



Schadeonderzoek Groningen Buitengebied

Technische rapportage

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

30 maart 2017

Project
Opdrachtgever

Schadeonderzoek Groningen Buitengebied
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Document
Status
Datum
Referentie

Technische rapportage
Definitief
30 maart 2017
ASN177-12/17-004.745

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

ASN177-12
ir. R.P.N. Pater
dr.ir. T.A.M. Salet

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

dr.ir. T.A.M. Salet, ir. M.J.A.M. Bruurs
ir. F.J. Kaalberg, ir. H.J. Lengkeek, dr.ir. S. Slob, ir.drs. R. de Nijs, ir. T.H. van Wee,
ing. H.L.M. Laagland
ir. R.P.N. Pater

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Onderzoeksgebied	6
1.3	Doel van het onderzoek	6
1.4	Randvoorwaarden	6
1.5	Samenstelling van het onderzoeksteam en begeleidingscommissie	7
1.6	Leeswijzer	8
2	AANPAK ONDERZOEK	9
2.1	Opzet van een PCA	9
2.2	Verzamelen van informatie	11
2.2.1	Identificeren van mogelijke schadeoorzaken	11
2.2.2	Omgevingskenmerken	12
2.2.3	Gebouwenkenmerken	13
2.2.4	Schadekenmerken	13
2.3	Beoordelen van schade	14
2.3.1	Falsificatie	14
2.3.2	Verificatie	15
2.4	Uitvoeren toets	15
2.4.1	Gestuurde patroonherkenning	16
2.4.2	Ongestuurde patroonherkenning	18
2.4.3	Aanvullende onderzoeken op locatie	19
2.5	Vaststellen definitieve schadeoorzaken	19
3	RESULTATEN	20
3.1	Algemeen	20
3.2	Belastingen	23
3.2.1	Geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel	24
3.2.2	Overbelasting door trillingen - aardbevingen	25
3.2.3	Overbelasting door trillingen - wegverkeer	32

3.3	Vervormingen	34
3.3.1	Verhinderde vervormingen - initieel	34
3.3.2	Opgelegde vervormingen - initieel	35
3.4	Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	37
3.4.1	Autonome zetting - gelijkblijvende belastingen	37
3.4.2	Verandering in de ondergrond - trillingen	39
3.4.3	Verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten	40

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 41

4.1	Conclusies	41
4.2	Aanbevelingen	43

5 REFERENTIES 45

Laatste pagina	46
----------------	----

Bijlage(n)

I	Verzamelen van informatie
I.1	Inleiding
I.1.1	Informatie verzamelen, de eerste stap van de PCA
I.1.2	Welke informatie is verzameld en op welke manier?
I.2	Overzicht mogelijke schadeoorzaken
I.2.1	Belastingen
I.2.2	Vervormingen
I.2.3	Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond
I.2.4	Geen schade
I.3	Inspectie van de woning
I.3.1	Inspectie
I.3.2	Controle en toetsing door W+B en bewoner
I.3.3	Resultaat
I.3.4	Inspectievragenlijst
I.4	Bureaustudie
I.4.1	Algemeen
I.4.2	Verkeer
I.4.3	Bodemdaling door diepe delfstofwinning
I.4.4	Bodemdaling ondergrondse gasopslag UGS Norg

- I.4.5 Bodemdaling ondiepe ondergrond
- I.4.6 Grondwaterstand
- I.4.7 Aardbevingen
- I.4.8 Bouwactiviteiten
- I.4.9 Bouwactiviteiten rondom UGS Norg
- I.4.10 Industriële activiteiten
- I.4.11 Achtergrondruis
- I.4.12 Bomen
- I.5 Aanbevelingen

II Beoordelen van informatie

- II.1 Inleiding
 - II.1.1 Beoordelen van informatie, de tweede stap van de PCA
 - II.1.2 Falsificeren en verifiëren
- II.2 Falsificatiecriteria
 - II.2.1 Falsificeren van schadeoorzaken
 - II.2.2 Omgeving: Trillingen vanuit de ondergrond
 - II.2.3 Omgeving: Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond (grondvervorming)
 - II.2.4 Gebouw: Interne vervormingen en belasting
 - II.2.5 Resultaat falsificatiecriteria
- II.3 Verificatiecriteria
 - II.3.1 Verifiëren van schadeoorzaken
 - II.3.2 Overzicht van veelvoorkomende schadeoorzaken
 - II.3.3 Resultaat verificatiecriteria
 - II.3.4 Spatkracht vanuit het dak
 - II.3.5 Onvoldoende stijfheid van de dakconstructie of de fundering ervan
 - II.3.6 Krimp van bouwmaterialen
 - II.3.7 Krimp van bouwmaterialen
 - II.3.8 Doorbuiging van een vrijdragende vloer
 - II.3.9 Thermische lengtevervorming van de latei
 - II.3.10 Thermische werking door afkoeling
 - II.3.11 Thermische werking door opwarming
 - II.3.12 Verschilzetting van de fundering
 - II.3.13 Verschilzetting als gevolg van een verbouwing/uitbreiding van een gebouw
 - II.3.14 Verschilzetting tussen fundering gebouw en fundering van de kelder
 - II.3.15 Verouderd van het voegwerk
 - II.3.16 Resultaat verificatiecriteria
- II.4 Preliminare schadeoorzaken

- II.4.1 Overzicht gefalsificeerde schadeoorzaken
- II.4.2 Overzicht geverifieerde schadeoorzaken
- II.5 Aanbevelingen
- II.5.1 Aanbevelingen falsificatiecriteria
- II.5.2 Aanbevelingen verificatiecriteria

III Uitvoeren toets

- III.1 Inleiding
 - III.1.1 Uitvoeren toets, de derde stap van de PCA
 - III.1.2 Wat is er getoetst?
 - III.1.3 Hoe is de toets uitgevoerd
 - III.1.4 Dataset
 - III.1.5 Controle dataset
 - III.1.6 Opwerking dataset
- III.2 Gestuurde patroonherkenning - methodiek
 - III.2.1 Algemeen
 - III.2.2 Combinatie-deductie-eliminatie
 - III.2.3 Toets op falsificatie
 - III.2.4 Toets op verificatie
 - III.2.5 Uitgangspunten
- III.3 Ongestuurde patroon herkenning - methodiek
 - III.3.1 Opzet statistische analyse
 - III.3.2 Lineaire Regressie
 - III.3.3 Exceptional Models
- III.4 Aanvullende onderzoeken op locatie
 - III.4.1 Algemeen
 - III.4.2 Sonderingen (46x), grondboringen (92x) en lintvoegmetingen (22x)
 - III.4.3 Interpretatie grondonderzoek
 - III.4.4 Analyse van informatie uit 73 bouwdoossiers welke niet door de bewoners zijn aangeleverd
 - III.4.5 Verzamelen van aanvullend beeldmateriaal (225 x)
 - III.4.6 Analyse van seriematige woningbouw in 5 geibeden met in totaal 19 woningen
 - III.4.7 Analyse van 50 mogelijke afwijkende gebouwen
 - III.4.8 Analyse 15 dossiers in het schade-afhandelingsgebied
- III.5 Toetsresultaten
 - III.5.1 Resultaten statistische analyse
 - III.5.2 Exceptional Models
 - III.5.3 Toets op falsificatie
 - III.5.4 Toets op verificatie

III.6 Conclusies en aanbevelingen

III.6.1 Conclusies

III.6.2 Aanbevelingen

III.7 Referentie

SAMENVATTING

Aanleiding

In gebieden buiten de voormalige contour van het schadeafhandelingsgebied, kortweg 'buitengebied' genoemd, is schade gemeld waarvan de eigenaar vermoedt dat deze veroorzaakt of verergerd is door mijnbouwactiviteiten. De onderzochte adressen in het buitengebied kenmerken zich door, in vergelijking met het schadeafhandelingsgebied, relatief lage, maar nog wel door bewoners gevoelde, trillingsbelastingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen. In opdracht van de NAM heeft Arcadis in 2015 door middel van een steekproef, onderzoek gedaan naar schades in het buitengebied. De conclusie van Arcadis was dat de kans op schade door aardbevingen in het gebied klein was voor gebouwen die in slechte staat zijn en verwaarloosbaar klein voor de overige gebouwen. De NAM heeft aan de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) gevraagd het onderzoek te laten controleren. Op grond van de onafhankelijke controle door de Technische Universiteit Delft, is door de minister van Economische Zaken aan de Tweede Kamer de conclusie van de NCG, dat het besluit van de NAM om geen schade-inspecties uit te voeren in het buitengebied niet langer houdbaar is, gemeld. De NCG heeft de NAM dringend geadviseerd om ook de schades in het buitengebied conform het schadeprotocol af te handelen. De NAM heeft dit advies opgevolgd en aan CVW opdracht gegeven de schademeldingen in behandeling te nemen.

Doel

In opdracht van de NAM is door Witteveen+Bos (W+B) een onderzoek uitgevoerd met als doel het achterhalen van de oorzaak of oorzaken van schade(s) aan gebouwen in het buitengebied. Het onderzoek is op transparante wijze uitgevoerd met in acht name van minimale hinder voor de bewoners, herleidbaarheid, reproduceerbaarheid en toetsbaarheid en binnen de beschikbare onderzoeksperiode (september 2016 - februari 2017). Bij de uitvoering van het onderzoek zijn uitsluitend reeds opgetreden gebeurtenissen beschouwd. Er is rekenschap genomen van de conclusies van de TU Delft in de keuze van de onderzoeksmethodiek. Het onderzoek staat intern onder inhoudelijke leiding van een Panel van deskundigen. Een door NCG ingestelde onafhankelijke begeleidingscommissie adviseert de NCG over de vormgeving en uitvoering van het onderzoek. De commissie zal het onderzoek evalueren, ook met het oog op de vraag of deze aanpak model zou kunnen staan voor bredere werking.

Onderzoeksmethode

De in het onderzoek gehanteerde methodiek is een 'Presumable Cause Analysis' (PCA). Deze methodiek kan in haar aanpak worden geplaatst tussen een gebied gerelateerde risicoanalyse door middel van een bureaustudie (zoals bijvoorbeeld het opstellen van een hazard map), en een volledig technisch onderzoek ter plaatse aan een individueel gebouw zoals een 'Root Cause Analysis' (RCA). De methodiek bestaat uit drie onderling samenhangende delen, te weten het verzamelen van informatie, het beoordelen van de schade en het uitvoeren van een toets.

Een PCA start met het identificeren van mogelijke schadeoorzaken en het op een systematische wijze verzamelen van informatie over de schade, het gebouw en de omgeving. Deze informatie wordt verzameld door middel van een bureaustudie en een bezoek aan het adres waar schade gemeld is. De bureaustudie is uitgevoerd door individuele leden uit het Panel op basis van de betreffende deskundigheid. De informatie is gedeeld met door hen geïnstrueerde inspecteurs (W+B) en bewonersbegeleiders (CVW) die zijn ingezet om interviews af te nemen en visueel kenmerken te verzamelen van alle schade, het gebouw en de omgeving. De informatie wordt centraal opgeslagen in een digitaal informatiemanagementsysteem.

Vervolgens worden de mogelijke schadeoorzaken op basis van de verzamelde informatie beoordeeld. De eerste stap is het reduceren van mogelijke oorzaken door falsificatie op basis van omgevings- en gebouwkenmerken. De falsificatie geschiedt op basis van discrete informatie (iets komt wel of niet voor) of op basis van een grenswaarde. De tweede stap is het koppelen van schadebeelden en schadeoorzaken door middel van verificatie, waarbij het mogelijk is dat meerdere oorzaken aan een schade gekoppeld kunnen worden. Het resultaat van de beoordeling zijn de preliminaire schadeoorzaken die op basis van waarnemingen geverifieerd zijn. In het geval er gebruik is gemaakt van schematisering of bij de falsificatie sprake is van een grenswaarde, dan is voorzichtigheid geboden.

Daarom is de laatste stap in het uitvoeren van een PCA een toets op de uitgangspunten. De toets bestaat uit aanvullende onderzoeken op locatie en patroonherkenning. De aanvullende onderzoeken bestaan uit aselechte grondonderzoeken en het select en aselechte verzamelen van aanvullende informatie over gebouwen door additionele metingen zoals sonderingen en het opvragen van aanvullende informatie. De patroonherkenning bestaat uit zowel het gestuurd als ongestuurd zoeken naar patronen, relaties, verbanden en trends in de verzamelde gegevens. Door het uitvoeren van de toetsen wordt de verificatie verder onderbouwd door aanvullend doch indirecte bewijsvoering en wordt gecontroleerd of uitgangspunten bij het falsificeren aantoonbaar invloed hebben gehad op het resultaat. Na het uitvoeren van de toets kunnen de definitieve schadeoorzaken worden vastgesteld, gebaseerd op de waarnemingen van de beoordelingen en de uitkomsten van de toetsen.

Resultaten

In het onderzoek zijn op 1.564 adressen, waar schade gemeld is, inspecties uitgevoerd aan 2.077 gebouwen waarbij in totaal 33.877 schades zijn vastgelegd. Van de schades betrof 95 % een scheur. Van de scheuren waarvan de scheurwijdte is gemeten wordt 92 % gecategoriseerd als 'zeer lichte' en 'lichte' schade op basis van de classificaties van de Building Research Establishment [6].

Uit het onderzoek volgt dat één of meer schades bij:

- 1.960 gebouwen veroorzaakt zijn door vervormingen;
- 1.831 gebouwen veroorzaakt zijn door belastingen;
- 1.651 gebouwen veroorzaakt zijn door ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

Deze resultaten gelden voor het totaal van de onderzochte gebouwen in het gebied. Specifiek per gebouw is in een individueel rapport voor de eigenaar per schade aangegeven wat de mogelijke oorzaak is of oorzaken van het schadebeeld zijn.

De beoordeling is gebaseerd op de waargenomen schadebeelden, de vergelijking van de berekende trillingssnelheid met de grenswaarde uit de SBR en ondersteund door de toetsing daarvan. Alhoewel voor een klein aantal individuele schades beïnvloeding door mijnbouwactiviteiten niet met zekerheid is uit te sluiten, is op basis van de beoordeling op gebiedsniveau en gebouwniveau schade veroorzaakt door mijnbouwactiviteiten niet geconstateerd. Besloten in het gebruik van de grenswaarde uit de SBR is dat beïnvloeding voor een klein aantal individuele schades in het hele onderzoek niet met zekerheid is uit te sluiten.

Aanbevelingen

Met het oog op het gebruik van de gehanteerde methodiek in de toekomst en een verdere ontwikkeling van de methodiek voor vaststellen van mogelijke oorzaken van schades is het volgende aan te bevelen:

- onderzoek gebouwen in gebieden waar trillingen veroorzaakt door aardbevingen niet meer voelbaar zijn, om meer waarde te kunnen geven aan het beperkte aantal schades in het onderzoek, waarvan niet met zekerheid is uit te sluiten dat deze beïnvloed zijn door aardbevingen;
- monitor periodiek en systematisch schades aan een groep gebouwen om bij mogelijke toekomstige geïnduceerde aardbevingen duidelijk andere patronen en trends te kunnen herkennen bij individuele schades;
- gebruik de analyses die hier zijn gebruikt voor een toets om, in gebieden waar, op basis van de vergelijking van de berekende VTOP met de SBR richtlijn, schade aan gebouwen door trillingen door aardbevingen verwacht kan worden, verbanden tussen deze trillingen en schade te verifiëren;
- bepaal hoe invulling gegeven dient te worden aan de hiervoor genoemde onderzoeken. Dit dient bij voorkeur te gebeuren samen met de TU Delft en TNO die andere onderzoeken uitvoeren aan gebouwen aan de rand van het aardbevingsgebied naar trillingen ten gevolge van aardbevingen en oorzaken van schades;
- verzamel aanvullende informatie uit bouwdoSSIERS over met name de funderingswijze van een gebouw of clusters van gebouwen om daarmee het aantal mogelijke schadeoorzaken dat per schade over blijft verder terug te kunnen brengen;

- voer geen verdiepend technisch onderzoek op locatie zoals een RCA uit omdat een dergelijk onderzoek naar onze verwachting niet zal leiden tot een kwantitatieve verandering van het kleine aantal schades en het identificeren van de individuele schades, dat mogelijk beïnvloed is door aardbevingen. Tevens wordt verwacht dat een RCA geen ander beeld zal geven met betrekking tot de voorkomende schadeoorzaken;
- onderzoek de mogelijkheden voor verdere automatisering en digitalisering van het proces om de effectiviteit en efficiëntie van het uitgevoerde onderzoek nog verder te verbeteren. Onderzoek ook de mogelijkheden om het proces voor de bewoner nog transparanter te maken

In de bijlagen I, II en III zijn voor het verzamelen van informatie, beoordelen van schade en de toets aanvullende specialistische aanbevelingen gedaan.

Daarnaast worden de volgende algemene aanbevelingen worden gedaan:

- voer aanvullend onderzoek uit naar schades aan gebouwen in zowel niet-aardbevingsgebied als aardbevingsgebied (en op schudtafels onder laboratorium omstandigheden) om de bestaande schadebeelden te verfijnen en aan te vullen met de tot nu nog ontbrekende schadebeelden en de schade aard en omvang mee te kunnen vergelijken. Wanneer deze kennis ontwikkeld is kunnen ook meer schadeoorzaken getoetst worden;
- blijf de methodiek aanpassen op basis van toekomstige ontwikkelingen in de GMPE-modellen om de mate van zekerheid over het al dan niet optreden van schade door trillingen uit aardbevingen met een voldoende en breed gedragen mate van nauwkeurigheid vast te kunnen stellen om daarmee de inspanning van de toets in de toekomst te beperken;
- stel instrumentele intensiteitskaarten op bij toekomstige aardbevingen om de beleving van de bewoners beter vast te leggen en relatie tussen het voelen van en beving en het melden van schade als gevolg van de aardbeving beter te begrijpen;
- het aanbrengen van een weging in de mogelijke schadeoorzaken kan in het kader van herstel nuttig zijn. Speciale aandacht zou dan uit dienen te gaan naar het uitvoeren van aanvullend onderzoek naar het wegen van verschillende schadeoorzaken bij schades die gekwalificeerd worden als 'zeer lichte' en 'lichte' schade omdat voor dergelijke schades de praktisch haalbare meetnauwkeurigheid van de aandrijvende mechanismen grote invloed heeft op het onderscheidende vermogen.

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Als gevolg van mijnbouwactiviteiten in het Groninger gasveld ontstaan worden aardbevingen geïnduceerd die kunnen leiden tot fysieke schade aan gebouwen. Fysieke schade kan mogelijk ook ontstaan door gasopslag in de regio. Meldingen van deze schade worden door het Centrum Veilig Wonen (CVW) in behandeling genomen. Een uitzondering hierop zijn schademeldingen die komen uit gebieden buiten de voormalige contour van het schadeafhandelingsgebied Groningen, in het vervolg van dit document kortheidshalve 'buitengebied' genoemd. In afbeelding 1.1 is de voormalige contour weergegeven. De onderzochte adressen in het buitengebied kenmerken zich door, in vergelijking met het schadeafhandelingsgebied, relatief lage, maar nog wel door bewoners gevoelde, trillingsbelastingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen. Het CVW heeft de schademeldingen in het buitengebied wel geregistreerd, maar nog niet in behandeling genomen.

In opdracht van de NAM heeft het onderzoeksbureau Arcadis in 2015 een onderzoek gedaan naar de schademeldingen die komen uit het buitengebied. Hierbij zijn in elf gebieden rondom de voormalige contourlijn in totaal 70 gebouwen onderzocht [1]. De uitkomsten van dit onderzoek zijn in november 2015 gepubliceerd met als conclusie dat 'de kans op schade door aardbevingen in het buitengebied klein is voor gebouwen die in slechte staat zijn en verwaarloosbaar klein voor de overige gebouwen' [1].

De NAM heeft aan de Nationaal Coördinator Groningen (NCG) gevraagd om het onderzoek van Arcadis te laten controleren. Deze controle is uitgevoerd door de Technische Universiteit Delft. De conclusie hiervan was dat de gevolgde onderzoeksmethode adequaat is voor het doel van het onderzoek [2]. De aanpak om per schadebeeld oorzaken vast te stellen, voor mogelijk te houden of uit te sluiten, is objectief, navolgbaar en inzichtelijk. Samengevat wordt er verder geconcludeerd dat:

- de omvang van de steekproef te klein is. Een verwaarloosbare kleine kans op schade aan een individueel bouwkundig object kan in een groot onderzoeksgebied met een zeer grote populatie bouwkundige objecten sommen tot een betekenisvolle kans op schade in het gebied;
- het gebruik van de SBR richtlijn als hulpmiddel bij het beoordelen van schade door trillingen een mate van onzekerheid in zich heeft. Recente ervaring opgedaan in het gebruik met deze methode voor het beoordelen van aardbevingsschade door gaswinning wijst in de richting dat de criteria uit SBR richtlijn A ook voor bevingstrillingen bruikbaar zijn. Voorzichtigheid bij de toepassing van de criteria blijft echter geboden;
- er in het algemeen nog weinig kennis beschikbaar is van de schadelijke invloed van (herhaald) kortdurende lichte trillingen op kwetsbare en reeds beschadigde constructies;
- het sensornetwerk van TNO methodologisch bruikbaar is voor grotere onderzoeksgebieden, maar tegelijk nog onvoldoende (kwantitatief) is onderbouwd;
- het begrip hoofdoorzaak van een schadebeeld in een aantal gevallen een onvoldoende effectief instrument is om combinaties van invloeden in een schadebeeld (zoals cumulatie van verschillende schadeoorzaken, degradatie-effecten en verergering van bestaande schade door verschillende schadeoorzaken) goed te kunnen onderscheiden en beoordelen. Dit geldt in het bijzonder bij het aspect schade door bevingen. Hierdoor kan de invloed van bevingen door gaswinning niet volledig worden uitgesloten, ook indien een andere oorzaak als 'hoofdoorzaak' is vastgesteld.

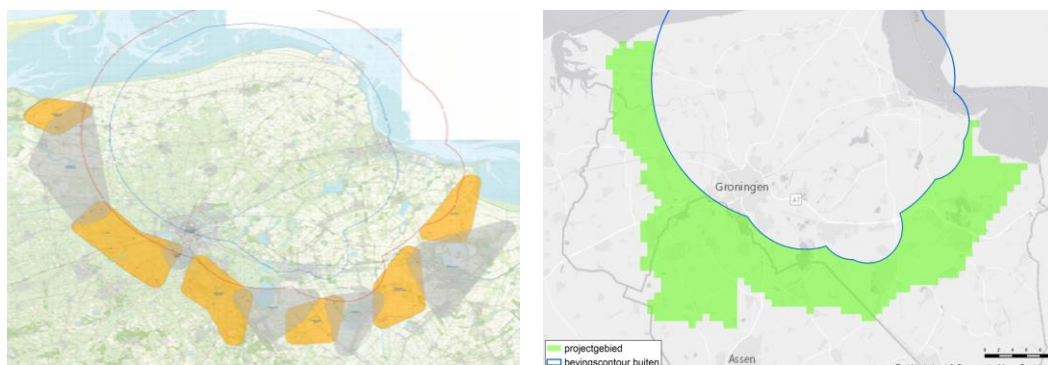
In een brief van de Minister van Economische zaken d.d. 18 augustus 2016 aan de Tweede Kamer wordt op grond van de bevindingen uit het validatie onderzoek door de NCG vastgesteld dat het besluit van de NAM, om voorlopig geen schade-inspecties uit te voeren naar meldingen van schade in het buitengebied, niet langer houdbaar is [3]. De NCG heeft de NAM dringend geadviseerd om ook de schades in het buitengebied conform het schadeprotocol af te handelen. Hierdoor ontstaat een noodzaak tot de behandeling van alle individuele schademeldingen.

1.2 Onderzoeksgebied

De behandeling van de individuele schademeldingen uit het buitengebied wordt door het CVW in opdracht van de NAM in fasen uitgevoerd. Fase 1 omvat de gebouwen in de (11) gebieden waar ook het eerder vermelde onderzoek door Arcadis betrekking op heeft, aangevuld met gebouwen waarvoor ook schade is gemeld in het gebied rond de gemeente Steenbergen, nabij de gasopslag in Norg (afbeelding 1.1). Dit betreft de schademeldingen die door het CVW en de NAM geregistreerd zijn in de periode tot 18 augustus 2016. In de vervolgfases 2 en 3 worden de overige schademeldingen, van voor 18 augustus en de schademeldingen die na 18 augustus door het CVW en de NAM zijn geregistreerd in het buitengebied, behandeld.

Dit onderzoek heeft betrekking op fase 1 en is beperkt tot reeds opgetreden schade. De invloed van mogelijk toekomstige bevingen is niet meegenomen.

Afbeelding 1.1 Onderzoeksgebied Arcadis onderzoek uit [1] (links) en in groen het gebied waarbinnen de meldingen in fase 1 liggen (rechts)



1.3 Doel van het onderzoek

In het kader van de afhandeling van de schademeldingen door het CVW is door Witteveen+Bos in opdracht van de NAM een onderzoek uitgevoerd met als doel de oorzaak of oorzaken van de schade(s) aan de gebouwen, waaraan schade is gemeld binnen het onderzoeksgebied, te achterhalen.

1.4 Randvoorwaarden

Het onderzoek is uitgevoerd met in acht name van een aantal randvoorwaarden:

- uitvoerbaar in een beperkte periode van september 2016 tot en met februari 2017;
- minimale hinder voor de bewoners;
- resultaten moeten herleidbaar, reproduceerbaar en toetsbaar zijn;
- transparantie over het proces;
- onderzoek naar reeds opgetreden gebeurtenissen. De invloed van toekomstige gebeurtenissen wordt niet onderzocht;

- zich rekenschap gevend van de conclusies uit het validatieonderzoek van de Technische Universiteit Delft op het onderzoek van Arcadis.

Specifiek voor het gebied gelegen rondom Langelo geldt dat de invloeden van de gasopslag UGS Norg voor zover mogelijke meegenomen zijn in de onderzoeksmethodiek gehanteerd voor het onderzoek aan de randen van de voormalige contourlijn. Dit betekent dat de jaarlijkse maaiveldbeweging en de bouwactiviteiten voor de uitbreiding tussen 2011-2015 wel zijn beschouwd. De mogelijke effecten van de in operatie zijnde gasopslag op de diepe ondergrond zoals de onder andere de breuklijnen en porositeit zijn niet beschouwd. Witteveen+Bos adviseert een aanvullend en specifiek onderzoek naar deze mogelijke effecten.

1.5 Samenstelling van het onderzoeksteam en begeleidingscommissie

Het team dat het onderzoek heeft uitgevoerd staat onder leiding van een Panel van deskundigen. Het Panel wordt in het onderzoek bijgestaan door inspecteurs voor de opnamen van de gebouwen en woningen, experts voor het beoordelen van de schade en het vaststellen van de mogelijke schadeoorzaken en data-analisten voor het uitvoeren van een toets op de beoordeling en het vaststellen van de definitieve schadeoorzaken.

Het Panel van deskundigen bestaat uit de volgende personen:

- dr.ir. T.A.M. Salet, constructeur (voorzitter van het Panel);
- ir. F.J. Kaalberg, expert risk assessment grond-constructie interactie en forensic engineering;
- ir. H.J. Lengkeek, geotechniek;
- dr.ir. S. Slob, geologie en aardbevingsproblematiek;
- ir.drs. R. de Nijs, specialist trillingen ondergrond;
- ir. T.H. van Wee, geohydroloog;
- ing. H.L.M. Laagland, bouwtechniek.

Specifiek voor de toepassing van *Ground Motion Prediction Equations* (GMPE's) is het Panel van deskundigen ondersteund door Deltares.

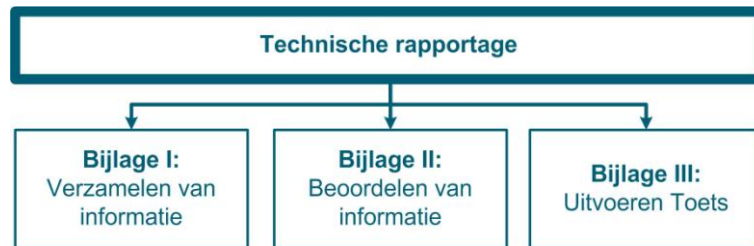
De NCG heeft een onafhankelijke begeleidingscommissie ingesteld voor de proef. Deze commissie adviseert over de vormgeving en uitvoering van de proef. De commissie zal de proef evalueren, ook met het oog op de vraag of deze aanpak model zou kunnen staan voor bredere werking.

De begeleidingscommissie bestaat uit de volgende personen:

- de heer Beukema, burgemeester van de gemeente Delfzijl;
- de heer Wassenaar, onafhankelijk bouwkundig expert;
- de heer Wienk, vertegenwoordiger van het Gasberaad;
- de heer Wiersema, burgemeester van de gemeente De Marne;
- de heer Wijte, hoogleraar aan de Technische Universiteit van Eindhoven.

1.6 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de wijze waarop het onderzoek is uitgevoerd en beschrijft de onderzoeksresultaten op gebiedsniveau en kan los worden gelezen van de bijlagen met nadere onderbouwing en uitleg.



Naast dit rapport zijn afzonderlijk individuele beoordelingsrapportages opgesteld. Deze zijn gericht aan de bewoners, met als bijlage een individueel inspectieverslag per woning.

2

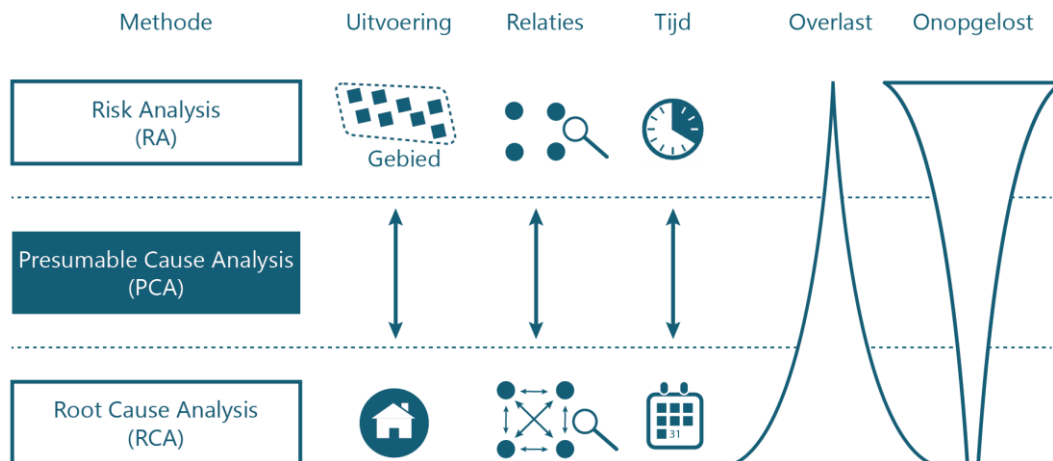
AANPAK ONDERZOEK

De oorzaak of oorzaken van de schade is, met in achtneming van de gegeven randvoorwaarden, achterhaalt met een methodiek die in dit document wordt geduid als 'Presumable Cause Analysis' (PCA). De methodiek bestaat uit drie, onderling samenhangende, onderdelen zijnde het verzamelen van informatie, het beoordelen van de schade en het uitvoeren van een toets. Deze drie onderdelen worden in dit hoofdstuk afzonderlijk beschreven en de onderlinge samenhang wordt nader toegelicht.

2.1 Opzet van een PCA

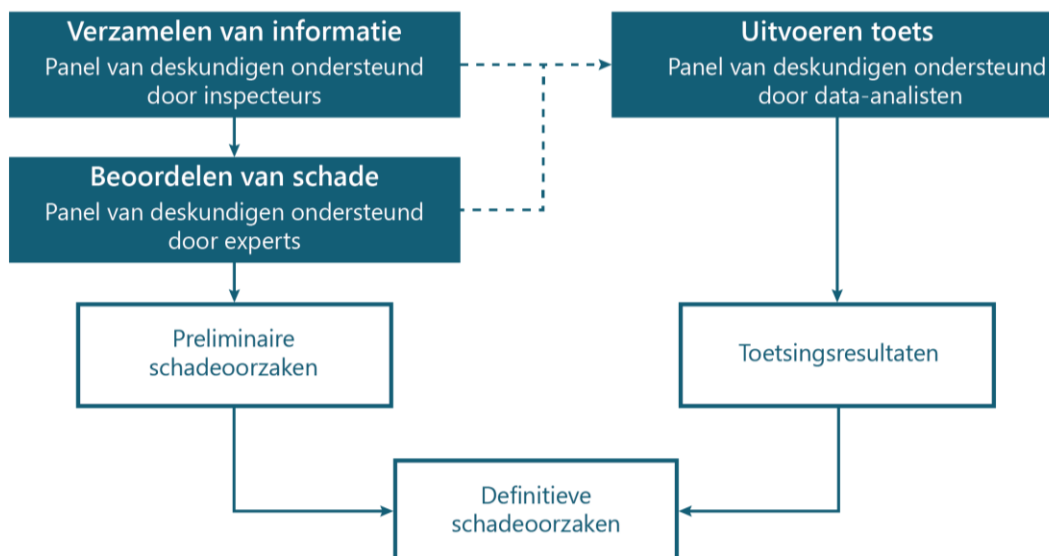
De 'Presumable Cause Analysis' (PCA) kan in haar aanpak worden geplaatst tussen een generieke Risk Analysis (RA) op gebouwen in een gebied door middel van uitsluitend een bureaustudie en een volledig technisch onderzoek aan een enkel afzonderlijk gebouw in het onderzoeksgebied door middel van een 'Root Cause Analysis (RCA), zoals schematisch weergegeven in afbeelding 2.1.

Afbeelding 2.1 Positionering PCA ten opzichte van RA en RCA



In de PCA methodiek wordt elke woning, tot op een bouwkundig en technisch niveau, individueel onderzocht en wordt daarnaast gebruik gemaakt van de verzamelde data afkomstig van alle onderzochte gebouwen in het gebied om patronen te herkennen. Deze combinatie maakt het mogelijk het onderzoek uit te voeren binnen een beperkte doorlooptijd, met minimale hinder voor de bewoners, een herleidbaar, reproduceerbaar en toetsbaar resultaat en met een hoog oplossend vermogen.

Afbeelding 2.2 Presumable Cause Analysis



De in afbeelding 2.2 weergegeven PCA-methodiek, start met het verzamelen van informatie die relevant is voor de beoordeling van de schade door het Panel van deskundigen, daarbij ondersteund door inspecteurs en bewonersbegeleiders van het CVW.

Nadat de informatie is verzameld wordt (op kantoor) de schade aan het gebouw beoordeeld door het Panel van deskundigen, hierbij ondersteund door een team van experts. Het verzamelen van informatie en het beoordelen is ontkoppeld. Daardoor ontstaat er een hogere mate van specialisatie/expertise en dus kwaliteit van de losse onderdelen. Door middel van een systematische werkwijze, het in detail vastleggen van de woning en schade op foto's in een robuust informatiemanagementsysteem, wordt een verlies van informatie tijdens de overdracht beheerst.

Resultaat van de beoordeling zijn preliminaire (voorlopige) schadeoorzaken van schades aan de gebouwen. Het is inherent aan de wijze van beoordelen dat hiermee een of meerdere schadeoorzaken aan een schade worden toegekend, zonder nadere weging in termen van een 'hoofdoorzaak' in deze fase van het proces.

De oorzaak van de schade die op grond van de beoordeling is bepaald, is op dat moment nog preliminair, omdat bij het verzamelen van informatie en de beoordeling gebruik is gemaakt van uitgangspunten, waarvan de invloed op de resultaten nog moet worden getoetst. Deze toets is de derde en noodzakelijk laatste stap in een PCA. De toets bestaat uit aanvullende onderzoeken op locatie en patroonherkenning. Met de toets worden, zowel op het niveau van individuele schade, gebouwniveau en omgevingsniveau, systematisch controles en onderzoeken uitgevoerd om uitgangspunten van gebruikte modellen te controleren. De toets wordt ingezet om aanvullend (indirect) bewijs te leveren om de aannemelijkheid van de benoemde schadeoorzaak verder te versterken, de invloed van uitgangspunten van de falsificatie op de resultaten te controleren en als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling te dienen.

Na het vaststellen van de preliminaire schadeoorzaken en de toetsresultaten kunnen de definitieve schadeoorzaken vastgesteld worden.

In de volgende paragrafen wordt de invulling van de onderdelen van een PCA nader toegelicht.

2.2 Verzamelen van informatie

Nadat in de eerste stap van de PCA-methodiek alle mogelijke oorzaken van schade voor het onderzoek zijn geïdentificeerd en gecategoriseerd, wordt op een systematische wijze informatie verzameld over de schade, het gebouw en de directe omgeving. Dit proces is schematisch weergegeven in afbeelding 2.3.

Afbeelding 2.3 Verzamelen van informatie



De informatie, die benodigd is voor het beoordelen van de schade, wordt verzameld door middel van een bureaustudie en een bezoek aan het adres waar schade gemeld is. Het Panel van deskundigen voert de bureaustudie uit naar omgevingskenmerken en zet door hen geïnstrueerde inspecteurs en bewonersbegeleiders in om alle gebouwen en schade aan de gebouwen op te nemen op locatie en een interview af te nemen met de bewoners.

De inspecteur en/of de bewonersbegeleider maken - indien aan de orde - melding bij het CVW van een vermoeden van een onveilige situatie met risico op persoonlijk letsel. De melding wordt door een speciaal team van het CVW beoordeeld met betrekking tot het risico op persoonlijk letsel. Indien dat risico reëel wordt geacht is de betreffende verantwoordelijke hierover geïnformeerd. Wanneer er sprake is van een acuut risico worden direct samen met de eigenaar maatregelen getroffen om de situatie veilig te stellen.

De afzonderlijke onderdelen worden in de volgende sub paragrafen nader toegelicht.

2.2.1 Identificeren van mogelijke schadeoorzaken

Schade wordt gedefinieerd als een scheur, afspatting, vervorming of scheefstand en lekkage. De mogelijke schadeoorzaken voor dit onderzoek zijn geïdentificeerd volgens het TNO-rapport 'Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade – versie 2' opgesteld door Borsje & Richemont [4]. Onder subcategorie niveau één 'Verandering in de ondergrond' worden voor dit onderzoek op subcategorie niveau twee, ten opzichte van [4] de mogelijke schadeoorzaken 'Bomen' en 'Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' toegevoegd. De mogelijke schadeoorzaak 'Bomen' is toegevoegd naar aanleiding van '*Bomen zijn soms een gevaar voor de fundering en riolering*' van KCAF [5]. De mogelijke schadeoorzaak 'Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' is toegevoegd omdat eigenaren aangaven te vermoeden dat dit de oorzaak van de door hun gemelde schade was. Ook is bij subcategorie niveau één 'geen overbelasting: onvoldoende sterkte' het woord 'stijfheid' toegevoegd om schade in deze categorie niet alleen gerelateerd kunnen zijn aan sterkte maar ook aan stijfheid. Daarnaast worden de hoofdcategorieën D. Geen schade toegevoegd.

De hoofdcategorie D. Geen schade is toegevoegd omdat de eigenaar van het gebouw soms schade anders definieert en ook wil dat deze onderdeel zijn van het dossier. Voorbeelden zijn slijtage, scheuren in kitnaden en scheuren in een enkele steen.

De hoofdcategorieën en subcategorieën niveau één zijn categorisch opgenomen in tabel 2.1. Een overzicht van alle mogelijke schadeoorzaken op subcategorie niveau twee en een beschrijving van de mogelijke oorzaken is opgenomen in bijlage I, hoofdstuk 2 (I.2).

Tabel 2.1 Identificeren van mogelijke oorzaken

Hoofdcategorie	Subcategorie niveau één
A. belasting	A.1 geen overbelasting: onvoldoende sterkte/stijfheid
	A.2 overbelasting vanuit gebruik
	A.3 overbelasting door trillingen
	A.4 incidentele overbelasting
B. vervormingen	B.1 verhinderde vervormingen
	B.2 opgelegde vervormingen
C. ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	C.1 autonome zettingen
	C.2 verandering van de belasting op de ondergrond
	C.3 verandering in de ondergrond
D. geen schade	

De omgevings-, gebouw- en schadekenmerken worden onderstaand toegelicht.

2.2.2 Omgevingskenmerken

Het hoogste aggregatieniveau waarop informatie wordt verzameld is de omgevingsinformatie. De omgevingsinformatie bestaat uit de onderdelen zoals gedefinieerd in [4] met toevoeging van informatie over achtergrondruis en de aanwezigheid van bomen:

- verkeer;
- bodemopbouw (inclusief diepe ondergrond);
- grondwaterstand;
- aardbevingen (alle geregistreerde bevingen tot oktober 2016 zijn meegenomen);
- bouwactiviteiten;
- industriële activiteiten;
- achtergrondruis;
- bomen.

De verzamelde omgevingskenmerken zijn locatiespecifiek gemaakt op het niveau van elk individueel gebouw en de resultaten daarvan zijn opgenomen in een Geografisch Informatie Systeem (GIS) dat beschikbaar is bij de beoordeling. Bij de omgevingskenmerken verkeer, bodemopbouw, grondwater, aardbevingen, bouwactiviteiten en achtergrondruis is bij het bepalen van de waarden of de vertaling naar de specifieke locatie, gebruik gemaakt van modellen, model parameters en inter- en extrapolaties van gegevens tussen de publiekelijk beschikbare meetpunten. Waar mogelijk is hierbij aansluiting gevonden bij algemeen beschikbare modellen omwille van openheid en traceerbaarheid.

Voor een nadere beschrijving van de gebruikte bronnen, omgevingskenmerken en de gehanteerde modellen met interpolatie technieken wordt verwezen naar technische beschrijvingen in bijlage I, hoofdstuk 4 (I.4).

2.2.3 Gebouwenkenmerken

Het volgende aggregatieniveau waarop informatie wordt verzameld, is het gebouw. Met het oog op de beoordeling is hierbij onderscheid gemaakt tussen gebouw, bouwlaag en bouwdeel, waarbij een aantal bouwdelen vooraf zijn gedefinieerd. Er is, anders dan beschreven in [4] geen onderscheid gemaakt in de dragende functie van het bouwdeel bij de inspectie. Er zijn vier soorten informatie geclassificeerd op gebouwniveau, te weten [4]:

- basisgegevens;
- bouwkundige wijzigingen;
- historische gegevens;
- historische gegevens schade.

De verzamelde gebouwenkenmerken zijn per sub-aggregatieniveau onderling gekoppeld opgeslagen in een database en vormen een digitaal informatiemodel van het gebouw dat beschikbaar is bij de beoordeling. De opname van de gebouwenkenmerken berust op openbare bronnen, visuele waarneming en informatie die door de bewoners beschikbaar is gesteld in het interview.

Voor een overzicht van de kenmerken die zijn verzameld wordt verwezen naar bijlage I, hoofdstuk 3 (I.3).

2.2.4 Schadekenmerken

Het laagste aggregatieniveau waarop informatie verzameld wordt, is het niveau van de individuele schade. Alle schades van een gebouw worden vastgelegd, ook de schade die niet is gemeld. Hierdoor kunnen schades worden gecombineerd tot schadebeelden en ontstaat er geen verschil in aantal schades tussen verschillende inspecties van gebouwen door de subjectiviteit van het aantal gemelde schades. Ook de historie van de schade wordt vastgelegd. In aanvulling op de methodiek in [4] wordt per schade vastgelegd of de schade gemeld is als zijnde schade ontstaan of verergerd ten gevolge van mijnbouwactiviteiten. De volgende kenmerken zijn verzameld [4]:

- plaats van de schade;
- vorm van de schade;
- overige kenmerken van de schade;
- overzichtsfoto's en detailfoto's van de schade.

De kenmerken van elke schade zijn gekoppeld aan een bouwdeel en opgenomen in het digitaal informatiemodel van het gebouw dat beschikbaar is bij de beoordeling. De inspectie betreft een systematische visuele inspectie (SVI), waarbij gebruik is gemaakt van een speciaal ontwikkelde inspectieapplicatie. Echter, ondanks de geautomatiseerde verwerking van de gegevens blijft de kans op menselijke fouten aanwezig bij de inspectie. Een andere beperking van de SVI is dat enkel zichtbare kenmerken vastgelegd worden. Ontoegankelijke plaatsen of plaatsen die niet veilig te bereiken zijn worden niet geïnspecteerd. Hierdoor wordt de overlast voor de bewoner beperkt en de veiligheid van de inspecteur geborgd. Tot slot wordt opgemerkt dat slechts voor een deel van de onderzochte gebouwen bij de inspectie en later bij de beoordeling bouwtekeningen beschikbaar waren. De tekeningen die er wel waren, betroffen vaak tekeningen uit de ontwerpfasen, waarbij het onduidelijk is of het gebouw daadwerkelijk overeenkomstig tekening is gebouwd.

Nadat een bezoek aan een adres is afgerond is de verzamelde informatie in de vorm van een individueel inspectieverslag gedeeld en besproken met de eigenaar. De eigenaar is hierbij in de gelegenheid gesteld om relevante ontbrekende informatie toe te voegen en mogelijke onjuistheden te laten corrigeren. Indien nodig heeft er een nieuw bezoek aan het adres plaatsgevonden.

Voor een overzicht van de kenmerken die zijn verzameld en de beperkingen die de visuele wijze van inspectie met zich meebrengt wordt verwezen naar bijlage I, hoofdstuk 3 (I.3).

2.3 Beoordelen van schade

Nadat de informatie is verzameld wordt de schade aan het gebouw beoordeeld, waarbij gebruik wordt gemaakt van alle verzamelde informatie in het GIS en het gebouw informatiemodel. De wijze waarop de beoordeling wordt uitgevoerd is gebaseerd op [4] en schematisch weergegeven in afbeelding 2.4.

2.3.1 Falsificatie

De eerste stap in de beoordeling is falsificatie op grond omgevingskenmerken en gebouwkenmerken, niet van schadekenmerken. Hierbij wordt van alle potentieel mogelijke schadeoorzaken (in afbeelding 2.4 zijn dit er bij wijze van voorbeeld vijf) vastgesteld of de oorzaak een verklaring kan geven van de schade. Indien dit niet het geval is, wordt de betreffende oorzaak als mogelijke hypothese voor de schade gefalsificeerd en verworpen. Dit proces, dat leidt tot een eerste reductie in het aantal mogelijke schadeoorzaken, geschiedt op grond van discrete informatie (iets komt wel of niet voor) of op basis van een grenswaarde, waarbij een zekere waarde moet worden overschreden om als schadeoorzaak in aanmerking te komen. In het geval er sprake is van grenswaarden, is het goed zich te realiseren dat de eerdergenoemde modellen, modelparameters en interpolatiewaarden direct van invloed zijn op de beoordeling. In afbeelding 2.4 zijn bij wijze van voorbeeld twee schadeoorzaken gefalsificeerd en blijven er nog drie mogelijke schadeoorzaken over.

Op basis van een grenswaarde wordt op omgevingsniveau de subcategorie A.3 'overbelasting door trillingen' en bijbehorende subcategorieën niveau twee gefalsificeerd, indien trillingen ten gevolge van wegverkeer, treinverkeer, bouwactiviteiten in de omgeving, industriële activiteiten en aardbevingen de grenswaarde niet overschreden hebben. Op basis van een andere grenswaarde worden bij subcategorie C.3 'verandering in de ondergrond' mogelijke schadeoorzaken op subcategorie niveau twee gefalsificeerd wanneer de trilling afkomstig van een van de mogelijke bronnen de grenswaarde voor verandering in de ondergrond niet overschrijdt. Voor lokale wijzigingen in grondwaterstand en wijzigingen van grondwaterstand door aanpassingen aan het peilbesluit, wordt ook aan de hand van grenswaarden bepaald of de mogelijke schadeoorzaak gefalsificeerd kan worden.

Op basis van het wel/niet optreden, worden op omgevingsniveau mogelijke schadeoorzaken gefalsificeerd op subniveau twee op basis van het:

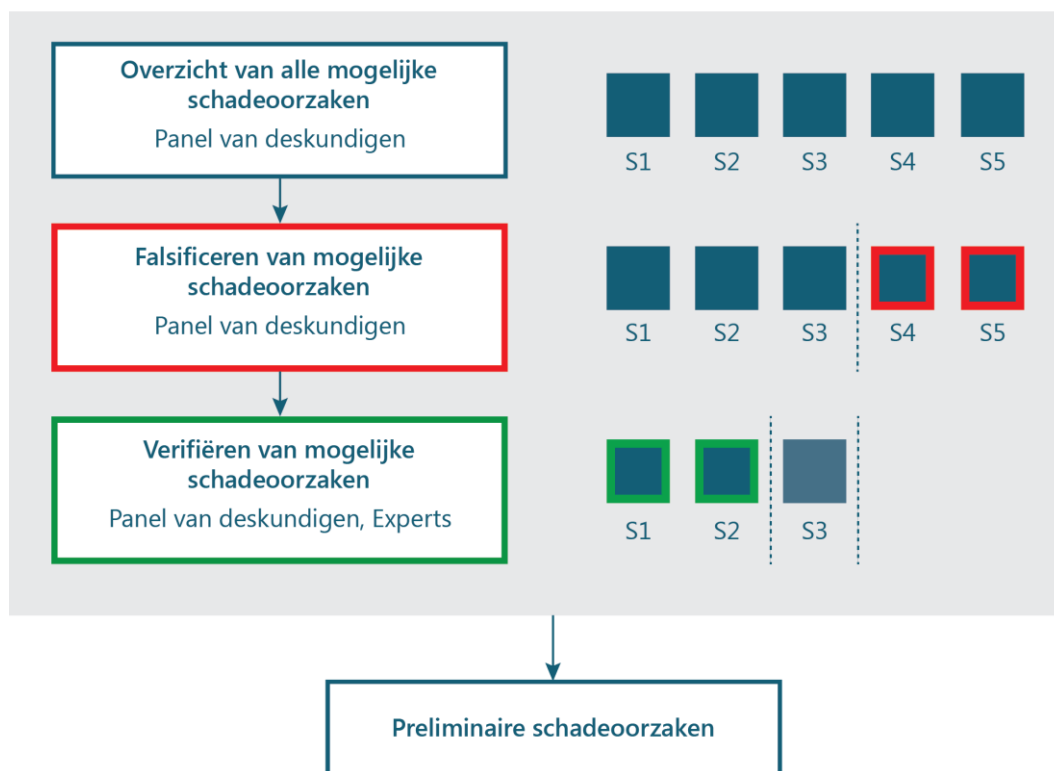
- wel/niet op kunnen treden van autonome zettingen van de ondergrond;
- het wel/niet voorkomen van geïnduceerde aardbevingen;
- het wel/niet voorkomen van een weg- en/of spoorlichaam en
- het wel/niet plaats hebben gevonden van bouwactiviteiten.

Op basis van het wel/niet optreden, worden op gebouwniveau mogelijke schadeoorzaken gefalsificeerd op subniveau twee, indien het gebouw:

- wel/niet ondiep of op staal gefundeerd is;
- er wel/niet sprake is geweest van een wijziging in gebruik;
- er wel/niet een verbouwing of uitbreiding heeft plaatsgehad;
- er wel/niet sprake kan zijn geweest van ophoping van regenwater en/of sneeuw en
- er wel/niet een calamiteit heeft plaatsgevonden in het verleden.

Voor een beschrijving van de falsificatie wordt verwezen naar bijlage II, hoofdstuk 2 (II.2).

Afbeelding 2.4 Beoordelen van schade



2.3.2 Verificatie

De tweede stap in de beoordeling is de verificatie. Hierbij worden de (nog) resterende schadeoorzaken gelegd naast schades en gecombineerde schadebeelden, waarbij het mogelijk is dat een schade aan meerdere oorzaken wordt gekoppeld. Het resultaat van de verificatie zijn preliminaire schadeoorzaken, zonder weging in termen van een mogelijke hoofdoorzaak. De oorzaak van de schade is op dat moment nog preliminair omdat bij de beoordeling gebruik is gemaakt van modellen en uitgangspunten, waarvan de waarde nog moet worden getoetst. Het is goed zich te realiseren dat in deze stap van de beoordeling een invloed aanwezig is van de persoon die de beoordeling uitvoert, ofwel de factor mens. De invloed van de factor mens is groter naarmate het onderscheidend vermogen afneemt, zoals bijvoorbeeld het geval is bij lichte schade. Een complicerende factor is dat eisen en voorschriften aan bestaande bouw en nieuwbouw de ontwikkeling van lichte schade niet uitsluiten. Met andere woorden, bij schadeklasse weinig schade (scheurwijdte < 5 mm) kan de behaalde bouwkwaliteit ook verantwoordelijk zijn voor het schadebeeld. In afbeelding 2.4 zijn van de drie overgebleven schadeoorzaken bij wijze van voorbeeld twee oorzaken geverifieerd.

Ook de expert kan op basis van de informatie (alsnog) melding maken van het vermoeden van een onveilige situatie bij het CVW.

Voor een beschrijving van de analysestappen binnen de verificatie procedure, op basis van schadeoorzaken en schadebeelden, wordt verwezen naar bijlage II, hoofdstuk 3 (II.3).

2.4 Uitvoeren toets

De schadeoorzaken die volgen uit de beoordeling zijn (nog) preliminair omdat bij het verzamelen van informatie en de beoordeling gebruik is gemaakt van uitgangspunten, waarvan de waarde nog moet worden getoetst. Om deze reden wordt als laatste belangrijke stap binnen de PCA een toets uitgevoerd. De toets wordt ingezet om aanvullend (indirect) bewijs te leveren om de aannemelijkheid van de benoemde

schadeoorzaak verder te versterken, de invloed van uitgangspunten van de falsificatie op de resultaten te controleren en als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling. De toets bestaat uit gestuurde en ongestuurde patroonherkenning en een aantal aanvullende onderzoeken op locatie. Met de toets worden op alle drie de aggregatieniveaus, schade, gebouw en omgeving systematisch onderzoeken en controles uitgevoerd. Door het uitvoeren van de toets wordt de cirkel van Deming gesloten.

2.4.1 Gestuurde patroonherkenning

Met behulp van gestuurde patroonherkenning is actief gezocht naar patronen, relaties, verbanden en trends. Door het analyseren van deze patronen zijn uitgangspunten achter de modellen getoetst. Daarnaast zijn opvallende afwijkingen ten opzichte van gevonden patronen zichtbaar en zijn deze uitzonderingen nader beschouwd.

De gestuurde patroonherkenning is uitgevoerd door het Panel van deskundigen. Het Panel voert deze patroonherkenning uit op basis van logica door toepassing van het principe van combinatie-deductie-eliminatie. Bij combinatie, deductie en eliminatie worden logische scenario's opgesteld en vervolgens getoetst. Bij het gebruik van combinatie, deductie en eliminatie wordt, op basis van de combinatie van gegevens, door middel van deductie hypothesen van mogelijke afwijkingen onderbouwd of juist geëlimineerd op basis van logica. Het Panel is hierbij ondersteund door data-analisten die de scenario's visualiseren.

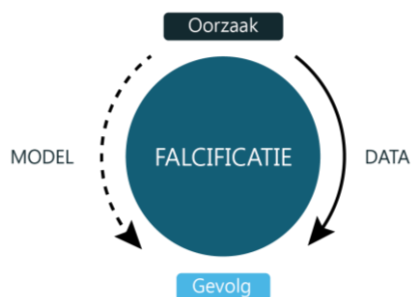
Bij het uitvoeren van de toetsen is gezocht naar meerdere patronen, relaties, verbanden en trends. In dit onderzoek gaat het vaak om een patroon tussen een mogelijke schadeoorzaak en schade, waarbij gebruik wordt gemaakt van gegevens op alle aggregatieniveaus. Om deze patronen te achterhalen zijn meerdere maatstaven gebruikt voor zowel de mogelijke schadeoorzaak als schade. Voor schade zijn dit bijvoorbeeld aantal schades, scheuoppervlakte, schades per vierkante meter vloeroppervlak, etc. De patronen worden zowel in de gehele groep onderzochte gebouwen gezocht als in subgroepen binnen de populatie. Door de expertise van het Panel van deskundigen in te zetten kunnen ook uitersten met elkaar vergeleken worden om patronen zichtbaar te maken.

De gestuurde patroonherkenning op alle verzamelde data wordt ingezet om de falsificatie en verificatie te toetsen en daarnaast als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling.

Falsificatie

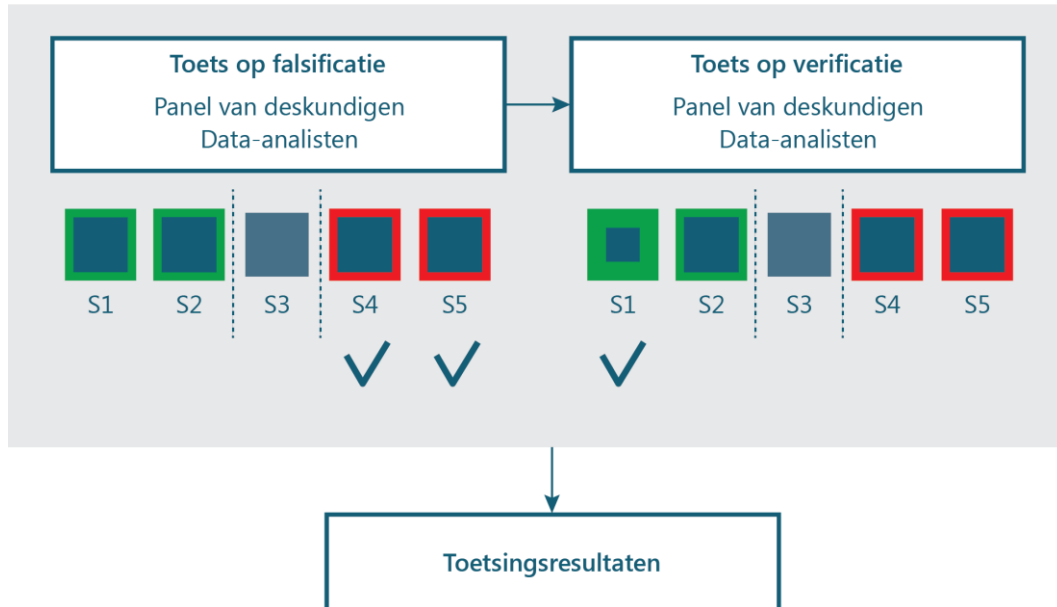
De toets op falsificatie is een toets op de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de modellen, modelparameters en interpolaties, die hebben geleid tot het falsificeren van bepaalde schadeoorzaken. Zoals weergegeven in afbeelding 2.5 wordt door de toets op falsificatie losgekomen van het model dat gebruikt wordt voor de relatie tussen de oorzaak en de schade (het gevolg) en wordt met gegevens (data) gezocht of de verwachte patronen ook zichtbaar zijn.

Afbeelding 2.5 Toets op falsificatie



Zonder deze toets kunnen deze schadeoorzaken immers op voorhand ten onrechte zijn verworpen. In afbeelding 2.6 is dit geïllustreerd door de twee schadeoorzaken die zijn verworpen bij de falsificatie weer zichtbaar te maken voor de toets.

Afbeelding 2.6 Uitvoeren toets door middel van patroonherkenning

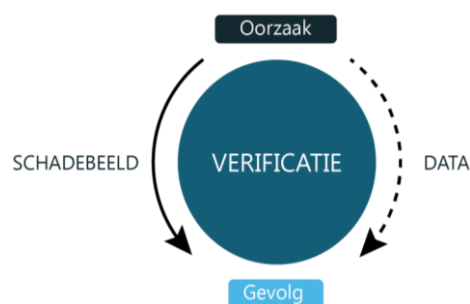


Door op basis van combinatie, deductie en eliminatie scenario's op te stellen is gekeken naar patronen, relaties, verbanden en trends en zijn eventuele opvallende afwijkingen van daarvan beschouwd. Hierdoor kan een uitspraak worden gedaan over de waarde van de gekozen uitgangspunten. Dit is in afbeelding 2.6 aangegeven door de 'vinkjes' onder de gefalsificeerde schadeoorzaken waarmee wordt aangegeven dat de uitgangspunten van de falsificatie getoetst zijn en geen aanleiding geven voor een aanpassing van de falsificatie.

Verificatie

De toets op verificatie is een toets op de uitgangspunten achter de schadeoorzaken die zijn geverifieerd. Deze schadeoorzaken zijn niet gebaseerd op modellen maar op (indirecte) waarnemingen van het schadebeeld. Een voorbeeld hiervan zijn zettingschades die volgen uit de waarneming van verschilverplaatsing in het metselwerk van een wand (zonder dat de fundering zelf is beschouwd). Zoals weergegeven in afbeelding 2.7 is op basis van patronen die waargenomen zijn in de gegevens (data) tussen oorzaak en schade (gevolg), de aannemelijkheid van de betreffende schadeoorzaken versterkt of ontkracht.

Afbeelding 2.7 Toets op verificatie



Het gaat hier om aanvullende doch indirecte bewijslast. In afbeelding 2.6 is dit schematisch aangegeven door de dikke groene lijn rondom het vakje, waarmee wordt bedoeld dat het bewijs dat de schadeoorzaak is geverifieerd door de toets in kracht is toegenomen.

Kwaliteit

De toets wordt ook ingezet om de kwaliteit van de data te controleren. Een deel van de data is immers afhankelijk van menselijk handelen en kan daarmee gevoelig zijn voor fouten en/of afwijkingen. Bij vrijwel elk patroon zijn er gebouwen waarvan de schade afwijkt van de trend. Deze 'uitbijters' zijn een reden de betreffende dossiers nog een keer te beoordelen en te toetsen op menselijke fouten. Hierdoor wordt de kwaliteit van de gegevens verder verbeterd.

Voor een uitgebreidere beschrijving van de gestuurde patroonherkenning wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 2 (III.2).

2.4.2 Ongestuurde patroonherkenning

Bij het gestuurd zoeken naar patronen, relaties, verbanden en trends bestaat het risico dat patronen die wel bestaan in de gegevens niet achterhaald worden, omdat het scenario niet is opgesteld. Gezien het grote aantal mogelijke scenario's dat opgesteld kan worden is het niet mogelijk om alle scenario's te doorlopen. Daarom wordt er door middel van data mining ook ongestuurd gezocht naar patronen in de gegevens.

Daarom is, in samenwerking met de TU/e, gezocht in alle gegevens met een 'multiple linear regression' (MLR) analyse en door middel van 'exceptional model mining' (EMM) naar patronen en speciale subgroepen.

Met MLR wordt de vergelijking van een hyperplane opgesteld op basis van elk gegeven aantal variabelen waarmee een doelvariabele het beste geschat kan worden. Hoe dichter de met het opgestelde model geschatte waarde van de doelvariabele overeenkomt met de werkelijke waarde van de doelvariabele, hoe interessanter de relatie. De kwaliteit van de schatting van het model wordt uitgedrukt in R^2 . Er zijn meerdere analyses uitgevoerd waarbij als doelvariabele zowel alle schades als de meest voorkomende schadeoorzaken zijn gebruikt. Op deze manier is wiskundig gekeken welke variabelen het meest van invloed zijn bij die schadeoorzaak.

Met EMM wordt binnen de relatie tussen verklarende variabele en doelvariabele die voor de gehele groep onderzochte gebouwen geldt, gezocht naar significante subgroepen met een afwijkende relatie. Het zoeken naar de subgroepen gebeurt middels een zoekalgoritme en waarbij de afwijkende relatie, de bijzonderheid van het model en de significantie van de subgroep, bepaald worden. Bij het toepassen van EMM is gefocust op de schadeoorzaken die gefalsificeerd zijn op basis van modellen en grenswaarden.

De resultaten van beide analyses zijn voorgelegd aan het Panel van deskundigen. Het Panel beschouwt de belangrijke variabelen en afwijkende subgroepen. Overige variabelen en subgroepen die op basis van de analyse niet interessant worden geacht, geven op basis van deze analyse geen aanleiding voor uitgebreidere analyse.

Voor een methodische beschrijving van de ongestuurde patroonherkenning wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 3 (III.3).

2.4.3 Aanvullende onderzoeken op locatie

Naast het toetsen van de gegevens door middel van patroonherkenning zijn ook meerdere aanvullende onderzoeken op locatie verricht om aannames te toetsen. Met de resultaten van de aanvullende onderzoeken op locatie worden de uitgangspunten van de methodiek en de gebruikte modellen getoetst. De aanvullende onderzoeken bestaan uit:

- grondonderzoek bestaande uit 46 sonderingen en 92 grondboringen op 23 locaties;
- uitvoeren van lintvoegmetingen aan 22 gebouwen;
- analyse van informatie uit bouwdoossiers op 73 locaties (exclusief door bewoner aangeleverde documentatie);
- verzamelen van aanvullend beeldmateriaal en uitvoeren van extra metingen op 225 locaties;
- analyse van schades bij seriematige woningbouw 5 gebieden met in totaal betrekking op 19 woningen;
- analyse van 50 mogelijk afwijkende gebouwen;
- analyse van 15 dossiers in het schadeafhandelingsgebied.

Voor een overzicht van de inhoud van de aanvullende onderzoeken op locatie wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 4 (III.4)

2.5 Vaststellen definitieve schadeoorzaken

Na het verzamelen van informatie, beoordelen en toetsen worden de definitieve mogelijke schadeoorzaken vastgesteld. De definitieve mogelijke schadeoorzaken zijn gebaseerd op de combinatie van waarnemingen, de resultaten van de patroonherkenning en de resultaten van de aanvullende onderzoeken op locatie.

3

RESULTATEN

3.1 Algemeen

In het buitengebied zijn in fase 1 in totaal op 1.564 adressen 2.077 gebouwen geïnspecteerd. De bezochte gebouwen zijn divers in type en omvang. De meeste geïnspecteerde gebouwen waren vrijstaande woningen (896) zoals te zien in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Aantal geïnspecteerde gebouwen per type

Gebouwtype	Aantal gebouwen
vrijstaande woning	896
schuur	368
twee onder één kap	294
woonboerderij	135
appartement	34
anders/niet opneembaar	99
hoekwoning	80
tussenwoning	69
boerderij	62
loods	40

Tijdens de inspecties zijn 33.877 schades vastgelegd. De mogelijke schadeoorzaken zijn beschreven in individuele beoordelingsrapporten voor iedere eigenaar van een gebouw. Om redenen van privacy wordt in dit technische rapport uitsluitend een totaaloverzicht van de resultaten van de beoordeling gegeven. Het aantal resultaten dat in dit hoofdstuk beschreven wordt is beperkt omwille van de leesbaarheid, meer resultaten van de beoordeling en de toets zijn te vinden in respectievelijk bijlage II en bijlage III.

Van alle vastgelegde schades tijdens de inspectie, vermoedt de eigenaar voor 56 % van de schades (18.921 schades) dat deze veroorzaakt of verergerd zijn door mijnbouwactiviteiten. Hiervan zijn 17.127 schades gemeld als veroorzaakt (nieuw) en 1.794 schades als verergerd. De andere 14.956 schades hadden volgens de eigenaar geen relatie met mijnbouwactiviteiten. Het verschil tussen het percentage schades waarvan per woning al dan niet vermoedt wordt dat deze veroorzaakt of verergerd zijn door mijnbouwactiviteiten, verschilt sterk. In sommige gevallen vermoedt de eigenaar dat alle schades veroorzaakt of verergerd zijn door mijnbouwactiviteiten, daar waar het in andere gevallen slechts bij één schade vermoedt wordt.

Tabel 3.2 toont dat het overgrote deel van de vastgelegde schades scheuren betrof. De overige schades waren vervormingen/scheefstanden, afspattingen en lekkages. In 577 gevallen (1,7 %) viel de tijdens de inspectie vastgelegde schade niet onder de definitie van schade zoals beschreven in paragraaf 2.2.1.

Tabel 3.2 Vastgelegde soorten schade

Soort schade	Aantal opgenomen	Percentueel
scheur	32.237	95,2 %
vervorming/scheefstand	775	2,3 %
afspatting	714	2,1 %
lekkage	151	0,4 %

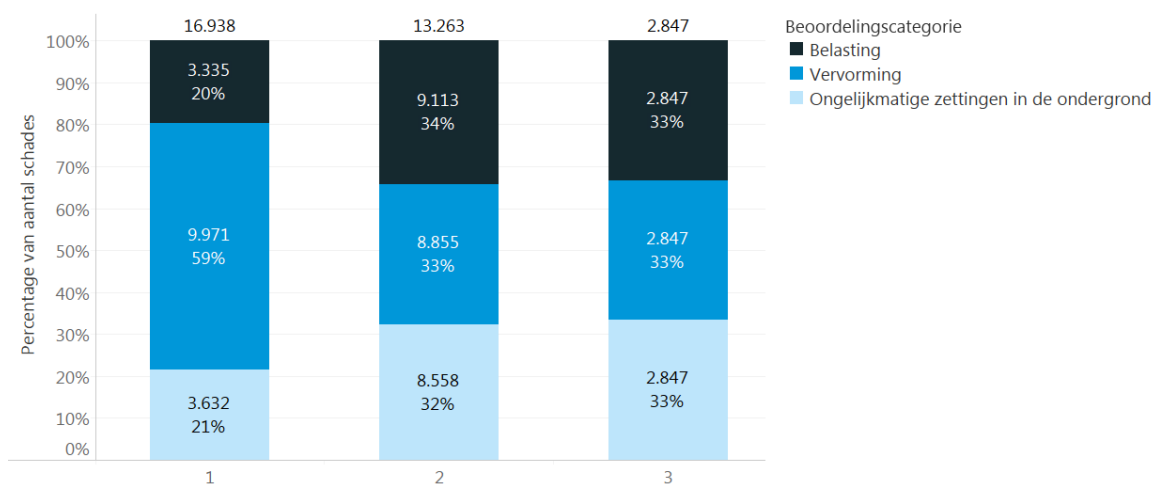
Van 252 schades (0,7 %) was op het moment van publiceren onvoldoende beeldmateriaal. Op basis van kenmerken van de omgeving en van het gebouw was het wel mogelijk een aantal oorzaken te falsificeren voor deze schades. Door aanvullende bezoeken die in uitvoering zijn kunnen deze schades wel worden toebedeeld aan één van de andere hoofdcategorieën.

Van de vastgelegde schades die wel volledig beoordeeld konden worden (33.048) zijn één of meerdere mogelijke oorzaken van de schade geverifieerd. Op basis van de indeling in hoofdcategorieën, kan een schade veroorzaakt zijn door belastingen, vervormingen of door ongelijkmatige zettingen in de ondergrond.

Bij 1.831 gebouwen zijn één of meer schades veroorzaakt door belastingen, bij 1.960 gebouwen zijn één of meer schades veroorzaakt door vervormingen en bij 1.651 gebouwen zijn één of meer schades veroorzaakt door ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

In afbeelding 3.1 is zichtbaar dat van de verschillende schadeoorzaken 'vervormingen' het meest voorkomt. Uit de afbeelding kan worden afgelezen dat bij 16.938 schades de mogelijke schadeoorzaak binnen één hoofdcategorie valt. Bij 3.335 schades met één oorzaak is de mogelijke oorzaak belastingen, bij 9.971 vervormingen en bij 3.632 ongelijkmatige zettingen in de ondergrond.

Afbeelding 3.1 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer hoofdcategorieën



Uit afbeelding 3.1 blijkt ook dat bij 13.263 schades de mogelijke oorzaken uit twee verschillende hoofdcategorieën afkomstig zijn. 9.113 schades kennen belastingen als mogelijke oorzaak, 8.855 vervormingen en 8.558 ongelijkmatige zettingen in de ondergrond. Omdat deze groep schades een mogelijke oorzaak heeft uit twee verschillende hoofdcategorieën dient de som van het aantal schades per hoofdcategorie door twee gedeeld te worden om het aantal schades in deze groep te vinden.

Bij 2.847 schades hebben de mogelijke schadeoorzaken betrekking op alle drie de hoofdcategorieën. Omdat er drie hoofdcategorieën zijn komen deze in gelijke mate voor.

De scheurvorming kan op basis van beschikbare literatuur worden geclassificeerd naar omvang op basis van scheurwijdte. In deze studie is gebruik gemaakt van de classificaties uit 'Assessment of damage in low rise building' de Building Research Establishment (BRE) [6], de 'Guide to standards and tolerance' van de Victorian Building Commission [7] en de *Manual 7 'Design Clay Masonry for Serviceability'* van TBA [8]. De indeling heeft voornamelijk betrekking op bruikbaarheids- en esthetische eisen die aan een gebouw worden gesteld, alleen de BRE hanteert een klasse > 25 mm waarbij schade als constructief gecategoriseerd wordt. Dit in tegenstelling tot [7] en [8] die geen uitspraken doen over schades met scheurwijdte > 25 mm. In tabel 3.3 staat de classificatie van deze schades op basis van 64 % van het totaal aantal aan scheuren waarvan tijdens de inspecties de scheurwijdte ook is vastgelegd. Van de overige scheuren was de scheurwijdte niet meetbaar.

Tabel 3.3 Classificatie van scheuren in het onderzoeksgebied

Klasse	Scheur-wijdte	Volgens [6]	Volgens [7]	Aantal scheuren	%	Omschrijving [7]
0	< 0,1 mm	verwaar-loosbaar	verwaar-loosbaar	176	0,9 %	- alleen haarscheurtjes
1	0,1 - 1 mm	zeer licht	heel weinig	11.248	54,8 %	- fijne scheuren die niet gerepareerd hoeven te worden
2	1 - 5 mm	licht	weinig	7.305	35,6 %	- scheuren zijn zichtbaar, maar makkelijk te vullen - ramen en deuren klemmen licht
3	5 - 15 mm of meerdere scheuren > 3 mm	matig	gemiddeld	1.453	7,1 %	- scheuren kunnen worden gerepareerd en er is minimale vervanging van de muur nodig - ramen en deuren klemmen verlies van dragend vermogen van balken; - mogelijk scheuren van pijpleidingen - aantasting van waterdichtheid
4	15 - 25 mm	ernstig	heel erg	228	1,1 %	- uitgebreid reparatiewerk en vervanging van delen van de muur - vervorming van muren balken verliezen dragend vermogen - zichtbare vervorming van muren - los scheuren van pijpleidingen
5	> 25 mm	zeer ernstig		98	0,5 %	

Op basis van de gradatie conform [6] valt 92 % van de scheuren in de categorie 'zeer lichte' en 'lichte'.

De Building Research Establishment geeft in [6] ook als enige een kwalificatie aan de scheuren. In tabel 3.4 is deze kwalificatie weergegeven. Een kwalificatie van scheuren op basis van alleen scheurwijdte dient vooral indicatief te worden beschouwd aangezien scheurwijdte niet het enige criterium is dat gehanteerd kan worden bij een kwalificatie.

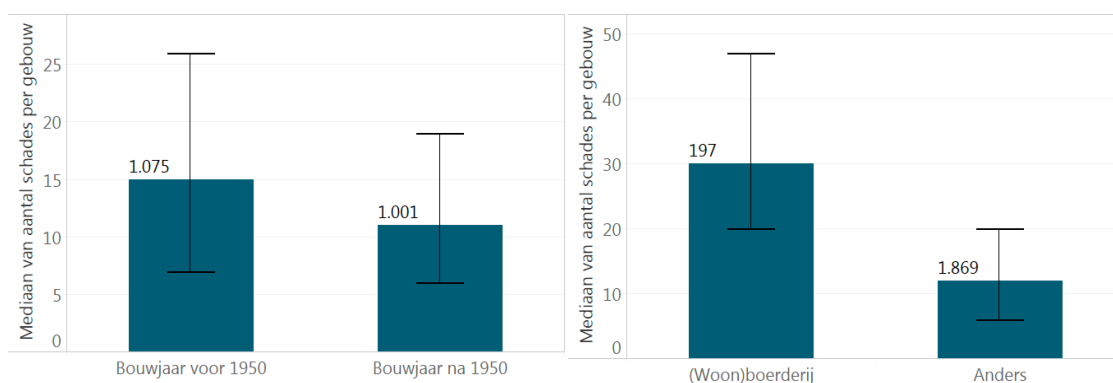
Tabel 3.4 Kwalificatie van scheuren op basis [6]

Kwalificatie	Klasse	Scheurwijdte
esthetisch	0,1,2	< 5 mm
functioneel	3,4	5 tot 25 mm
constructief	5	> 25 mm

Tijdens het uitvoeren van de inspecties en beoordelingen is op 64 adressen melding gemaakt bij het CVW van het vermoeden van een onveilige situatie. Het CVW heeft in zeven gevallen geoordeeld dat er inderdaad sprake was van een onveilige situatie en dit bij de gemeente gemeld. In drie van de zeven gevallen was sprake van een acuut onveilige situatie en zijn, in samenspraak met de eigenaar, maatregelen genomen om de situatie veilig te stellen.

Afbeelding 3.2 toont de diversiteit in de hoeveelheid schades binnen de populatie geïnspecteerde gebouwen. In de groep onderzochte gebouwen hebben oudere gebouwen meer schades dan nieuwere gebouwen en hebben de grote gebouwen, zoals (woon)boerderijen, meer schades dan kleinere gebouwen. Dit geldt zowel voor het totaal aantal schades als voor de grote scheuren. Grote scheuren zijn in dit onderzoek gedefinieerd als scheuren in klasse 3 en 4 met een scheurlengte van minimaal 1 meter.

Afbeelding 3.2 Gemiddeld aantal schades voor gebouwen van voor en na 1950 (links) en (woon)boerderijen en andere gebouwen (rechts)

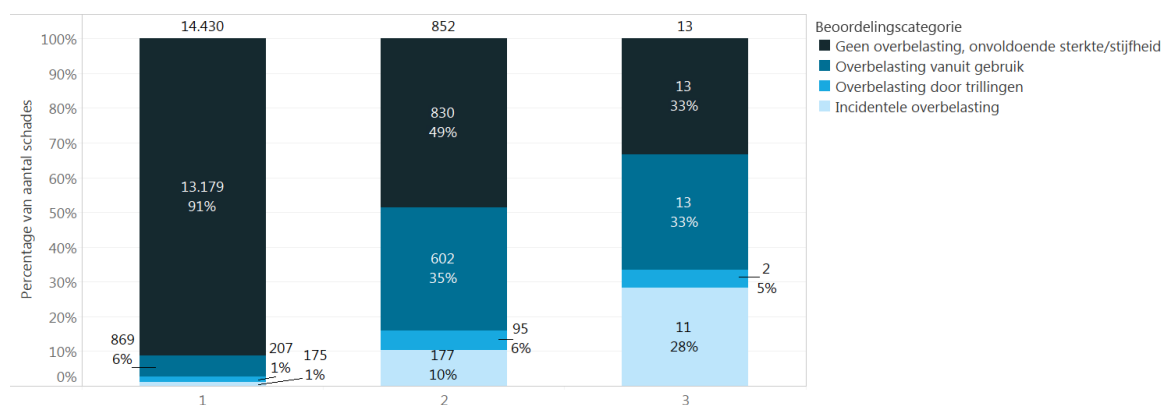


In de volgende paragrafen volgt een nadere beschouwing van iedere afzonderlijke hoofdcategorie. Per hoofdcategorie worden resultaten van de beoordeling en toetsing besproken. De beoordeling is beschreven in bijlage II, hoofdstuk 4 (II.4) en de toets in bijlage III, hoofdstuk 5 (II.5).

3.2 Belastingen

De hoofdcategorie belastingen is als mogelijke oorzaak van de schade vastgesteld bij 15.295 schades. Deze hoofdcategorie bestaat uit een viertal subcategorieën. De subcategorieën zijn 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid', 'overbelasting vanuit gebruik', 'overbelasting door trillingen' en 'incidentele overbelasting'. De verdeling over de subcategorieën is weergegeven in afbeelding 3.3.

Afbeelding 3.3 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer subcategorieën van de hoofdcategorie belastingen



De subcategorie A1 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid' komt het meest voor. Zichtbaar is verder in afbeelding 3.3 dat er bij 14.430 schades één mogelijke schadeoorzaak uit de hoofdcategorie belastingen is. Bij 13.179 schades is de mogelijke oorzaak 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid', bij 869 'overbelasting vanuit gebruik', bij 207 'overbelasting door trillingen' en bij 175 'incidentele overbelasting'.

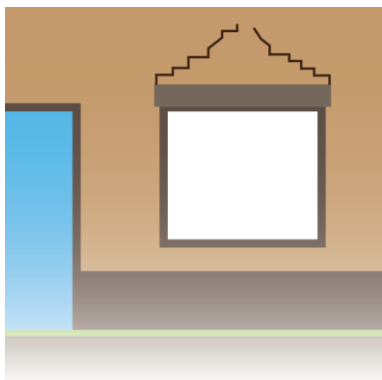
Ook is in afbeelding 3.3 is zichtbaar dat er bij 852 schades twee mogelijke schadeoorzaken uit de hoofdcategorie belastingen zijn. Een aantal van 830 schades heeft als mogelijke oorzaak 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid', 602 'overbelasting vanuit gebruik', 95 'overbelasting door trillingen' en 177 'incidentele overbelasting'.

3.2.1 Geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel

Binnen de hoofdcategorie belastingen komt de subcategorie 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid' het meest voor. Op basis van een nadere beschouwing blijkt dit voornamelijk voort te komen uit de subcategorie niveau twee 'geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel' (9.939 schades). Dit zijn schades die ontstaan zijn doordat de bouwkundige elementen die zijn toegepast bij de bouw onvoldoende sterkte of stijfheid hebben om de normale belastingen tijdens de levensduur op te nemen.

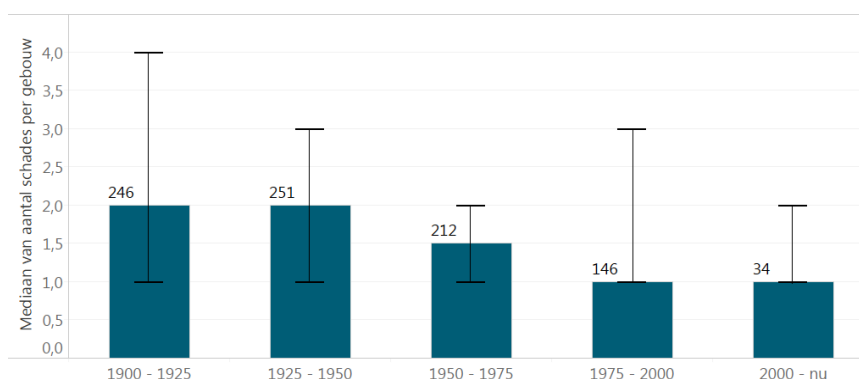
Een schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 5.843 keer is waargenomen zijn scheuren rondom gevelopeningen. Bij dit schadebeeld heeft de latei onvoldoende stijfheid om de bovenbelasting op de latei af te dragen zonder dat daarbij scheuren ontstaan in de latei zelf of in het bouwdeel waar de latei onderdeel van is. Een uiting van dit schadebeeld is weergegeven in afbeelding 3.4.

Afbeelding 3.4 Schadebeeld onvoldoende sterkte/stijfheid latei



Het schadebeeld kan niet alleen fysiek worden waargenomen bij de beoordeling maar kan ook getoetst worden door een trendanalyse. Verondersteld wordt dat het schadebeeld een relatie zal hebben met het bouwjaar waarbij het schadebeeld vaker voor zal komen bij oudere gebouwen. Deze veronderstelling wordt gedaan omdat het schadebeeld een sterke relatie heeft met de kwaliteit van de latei en de kwaliteit van de uitvoering van de lateiconstructie. Zowel de kwaliteit van lateien als de kwaliteit van de uitvoering van de lateiconstructie zijn in de tijd op basis van opgedane ervaringen verbeterd. Daarnaast zullen oudere gebouwen meer belastingscycli doorlopen hebben en is de invloed van tijd op degradatie van bouwmaterialen groot.

Afbeelding 3.5 Mediaan van aantal schades per gebouw ten gevolge van onvoldoende draagkracht latei ten opzichte van het bouwjaar



In afbeelding 3.5 is een dalende trend zichtbaar van de mediaan van het aantal schades door onvoldoende sterkte/stijfheid latei bij meer recent gebouwde woningen, zoals werd verwacht. De uitkomst van deze toets geeft daardoor geen aanleiding om over te gaan tot heroverweging van de beoordeling en versterkt daarmee de beoordeling van deze schades.

3.2.2 Overbelasting door trillingen - aardbevingen

Bij de hoofdoorzaak belastingen is op subniveau twee de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' voor alle gebouwen gefalsificeerd en daarmee in geen enkel geval op basis van een berekening als mogelijke schadeoorzaak vastgesteld. Zoals beschreven door Martens in [9] is het verband tussen scheurvorming in metselwerk en trillingen door aardbevingen een blinde vlek in diagnostiek met betrekking tot de Nederlandse bouwwijzen. Er is geen typisch schadebeeld voor schade ten gevolge van

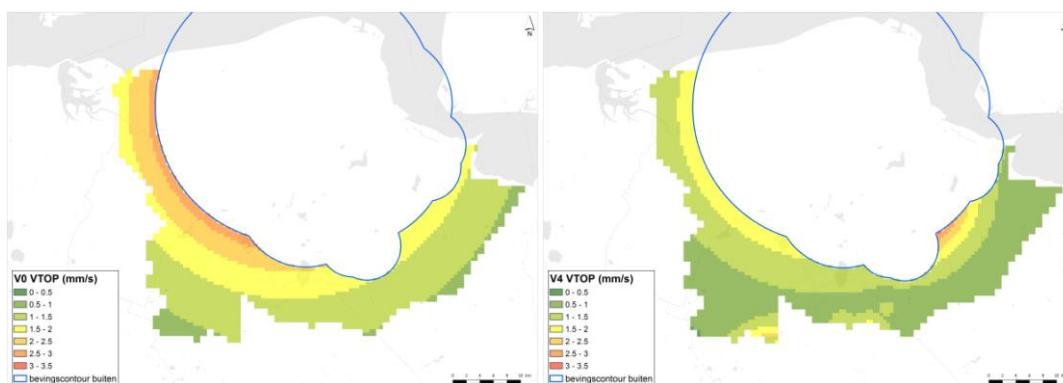
trillingen door geïnduceerde aardbevingen bij de intensiteiten die voorkomen in het buitengebied. Het is niet mogelijk, om enkel op basis van schadebeelden, deze oorzaak te herkennen. Het is daarnaast denkbaar dat schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen zich voordoet als een schade afkomstig van een andere oorzaak en niet los daarvan herkenbaar is. Hierbij kan worden gedacht aan een situatie waarbij bouwdelen onder spanning staan door andere oorzaken en de trillingen de laatste aanzet geven tot scheuren. Dit laatste 'tikje' kan niet worden waargenomen als een afzonderlijk schadebeeld.

Omdat het schadebeeld ontbreekt, is er bij de beoordeling gebruik gemaakt van rekenmodellen en grenswaarden om vast te stellen of de trillingen ten gevolge van de geïnduceerde aardbevingen schade veroorzaakt kunnen hebben. De empirische modellen zijn gebaseerd op registraties van het KNMI in Noordoost Nederland. Met de modellen is voor alle geregistreerde geïnduceerde aardbevingen sinds 1986 de piekgrondsnelheid (VTOP) of de piekgrondversnelling per adres bepaald. De berekende piekgrondsnelheid per adres is onder andere afhankelijk van de magnitude van de aardbeving, - afstand tot het epicentrum en de lokale grondcondities.

De gebruikte modellen zijn zogenaamde ground motion prediction equations (GMPE) of ground motion models (GMM). De trillingsbelasting voor vergelijking met de grenswaarde is berekend met de GMPE/GMM die als uitkomst direct een piekgrondsnelheid geven. De piekgrondsnelheid (PGV) wordt omgerekend met een factor naar een piektrillingssnelheid (VTOP) om de vergelijking aan de grenswaarde mogelijk te maken. Zowel GMPE V0 uit [10] en [11] is gebruikt omdat deze reeds gepubliceerd is, als GMM V4 uit [12] omdat dit de laatste stand van de techniek is en deze volgens de opstellers (Bommer, Deltares, KNMI, TNO en de NAM) een verbetering is ten opzichte van V0. GMM V4 een doorontwikkeling van GMM V2 welke reeds wetenschappelijk getoetst is door een internationaal onafhankelijk expertteam. GMM V4 wordt momenteel door een internationaal onafhankelijk expertteam getoetst en is nog niet gepubliceerd. In het kader van herleidbaarheid is vooralsnog GMPE V0 het uitgangspunt, waarbij GMM V4 wordt gebruikt om te kunnen oordelen of de resultaten van GMPE V0 al dan niet als conservatief beschouwd kunnen worden.

Het ruimtelijk patroon voor het buitengebied op basis van GMPE V0 is in afbeelding 3.6 links te zien en het patroon van GMM V4 rechts. Voor deze vergelijking is een constante conservatieve waarde voor de ondergrond aangehouden. Per adres is de ondergrond nauwkeuriger bepaald waardoor afwijkingen ten opzichte van onderstaande kaarten kunnen voorkomen. De individuele waarde per adres is daarbij altijd leidend ten opzichte van de waarden gepresenteerd in afbeelding 3.6. In bijlage I paragraaf 4.7 is beschreven hoe de trillingssnelheden met GMPE/GMM V0 en V4 bepaald zijn.

Afbeelding 3.6 Maatgevende berekende VTOP waarden op basis van model GMPE V0 (links) en op basis van GMM V4 (rechts)



In afbeelding 3.6 zijn de verschillen in piektrillingssnelheid (VTOP) tussen de resultaten van GMPE V0 en V4 zichtbaar, V0 geeft over het algemeen hogere waarden dan V4. De V4 geeft echter wel plaatselijk rondom de epicentra van kleinere aardbevingen buiten het Groninger gasveld hogere waarden dan de V0 berekening. Tabel 3.5 geeft weer dat voor het gehele gebied de V0 over het algemeen hogere (en dus conservatieve) trillingssnelheden als resultaat geeft.

Tabel 3.5 Overzicht aantal adressen waarvan de berekende VTOP op basis van GMPE V0 en GMM V4 in een bepaalde klasse valt

VTOP waarde (mm/s)	Aantal adressen GMPE V0	Aantal adressen GMM V4
0 - 0,5	0	546
0,5 - 1,0	548	843
1,0 - 1,5	575	171
1,5 - 2,0	276	4
2,0 - 2,5	159	0
2,5 - 3,0	6	0

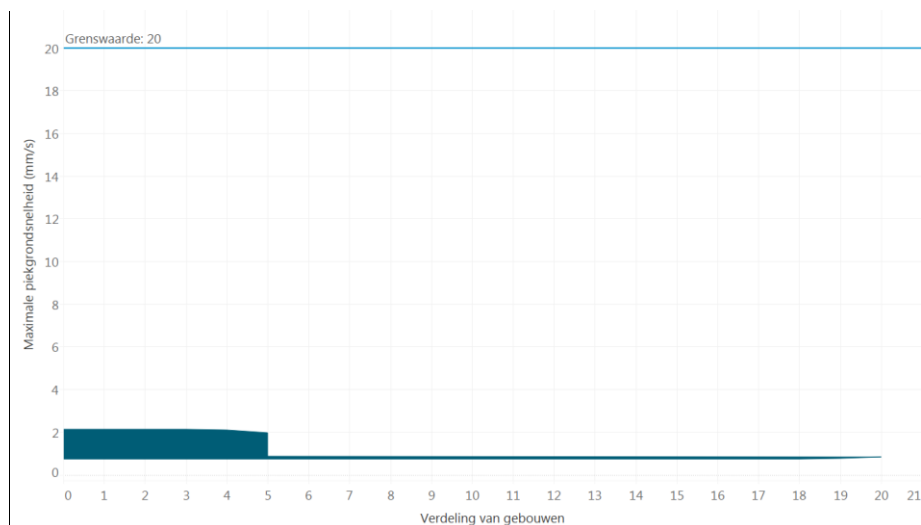
De mediane waarde van de berekende piektrillingssnelheid (VTOP) is getoetst aan de grenswaarde die is beschreven in de Nederlandse richtlijn voor schade aan de gebouwen ten gevolge van trillingen, de SBR richtlijn voor schade aan gebouwen [13]. Wanneer de grenswaarde niet overschreden wordt, is conform [13], de kans op schade 'aanvaardbaar klein'.

De grenswaarde is volgens [13] afhankelijk van de bouwwijze en staat van het gebouw, waarbij voor categorie 3 de strengste grenswaarde aangehouden wordt en voor categorie 1 de minst strenge. De indeling van de gebouwen in het onderzoeksgebied over de verschillende categorieën is als volgt: 35 in categorie 1, 1.806 in categorie 2 en 236 in categorie 3. De wijze waarop [13] is gehanteerd voor de toetsing aan de grenswaarde is beschreven in bijlage II hoofdstuk 2.2.

In afbeelding 3.7 en 3.8 zijn per categorie gebouwen de berekende grondsnelheden met GMPE V0 uitgezet tegen de bijhorende grenswaarden. In de afbeeldingen is in het donkerblauwe deel van de verticale as afgebeeld welke maximale trillingssnelheden zijn berekend en op de horizontale as is de verdeling over het aantal gebouwen afgebeeld, waarbij een grote uitschieter naar rechts betekent dat voor relatief veel gebouwen binnen de categorie die waarde de maximale waarde is.

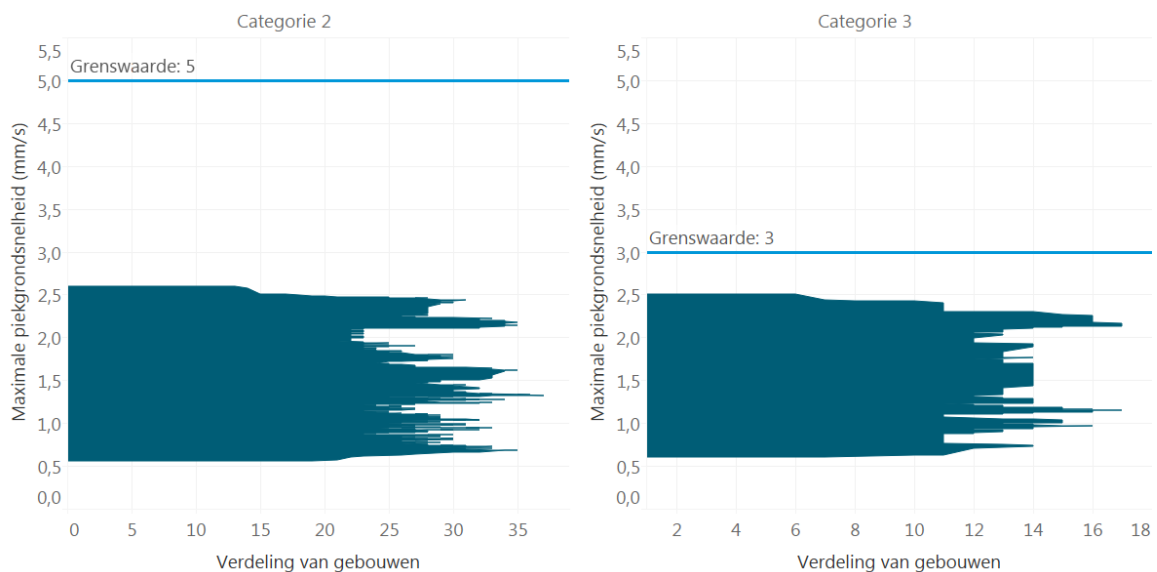
Afbeelding 3.7 toont voor gebouwcategorie 1 de vergelijking van de bepaalde trillingsniveaus per adres met de grenswaarde en de verdeling over het aantal gebouwen. Omdat op geen enkel adres de berekende trillingswaarde de grenswaarde heeft overschreden is deze mogelijke schadeoorzaak gefalsificeerd voor gebouwen in categorie 1.

Afbeelding 3.7 Vergelijking berekende VTOP op basis van V0 met grenswaarde voor categorie 1 gebouwen



In afbeelding 3.8 zijn de assen verschaald ten opzichte van afbeelding 3.7 om dezelfde vergelijking voor categorie 2 en 3 gebouwen beter zichtbaar te maken. Bij de categorie 3 gebouwen komt de grenswaarde wel in zicht bij. Van de categorie 3 gebouwen ligt 29 % van de berekende waarden boven de 1,5 op basis van de GMPE V0 en daarmee binnen een factor twee van de grenswaarde. Op basis van de GMM V4 geldt dit voor geen van de gebouwen. Bij de GMPE V0 zit er bij 97 % van de gebouwen meer dan een factor twee tussen de berekende trillingssnelheid en de grenswaarde. Bij de GMM V4 zit er altijd minimaal een factor twee tussen berekende trillingssnelheid en de grenswaarde. Ook voor deze categorieën worden de grenswaarden niet overschreden en daardoor zijn ook voor deze gebouwen schade als gevolg van trillingen door geïnduceerde aardbevingen gefalsificeerd.

Afbeelding 3.8 Vergelijking berekende VTOP op basis van V0 met grenswaarde voor categorie 2 en 3 gebouwen. De schaal op beide assen wijkt af ten opzichte van afbeelding 3.9



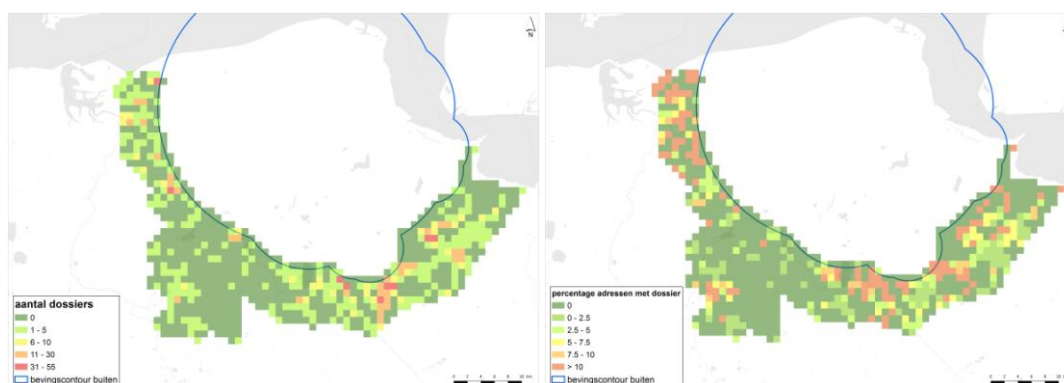
Gezien het feit dat deze mogelijke schadeoorzaak op basis van een rekenmodel, met bijhorende uitgangspunten, wordt gefalsificeerd, is extra aandacht gegeven aan het uitvoeren van een toets, door te kijken of er een patroon is tussen schades en geïnduceerde bevingen in het gebied. Met de toets wordt gecontroleerd of de falsificatie op basis van het model en de grenswaarde houdbaar is.

In het buitengebied zijn geen deterministische instrumentele intensiteitskaarten voor trillingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen gemaakt (Instrumental Intensity ShakeMaps). Deze kaarten kunnen direct na een aardbeving gemaakt worden op basis van een combinatie van metingen en de observaties van bewoners. Uiteindelijk geven deze kaarten per aardbeving de intensiteit weer naar mate van beleving van de trilling door bewoners en naar geobserveerde schade.

Deze beoogde intensiteitskaarten wijken af van de Shakemaps die het KNMI sinds 2013 maakt. Deze Shakemaps van het KNMI geven de verdeling van de piekgrondversnellingen (in g) weer rond een epicentrum en zijn gebaseerd op metingen in combinatie met GMPE-predicties. De beleving en mogelijk schade observaties zijn hier geen onderdeel van.

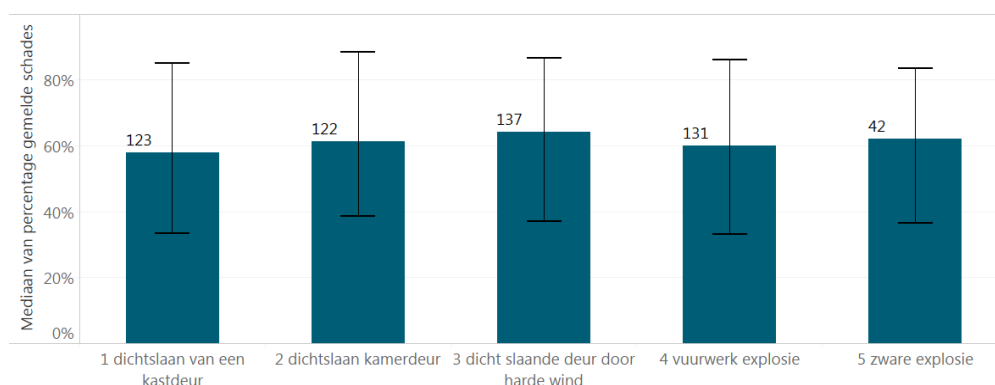
Een maat om de ervaring van de bewoners wel te beschouwen is door te kijken naar het (relatieve) aantal schademeldingen in het gebied. In afbeelding 3.9 is links weergegeven het aantal meldingen per vierkante kilometer in fase 1 en rechts hoeveel procent van de BAG-adressen een schademelding in fase 1 heeft gedaan. In deze afbeeldingen komen de patronen uit afbeelding 3.6 niet terug.

Afbeelding 3.9 Links absolute aantal meldingen (dossiers) in fase 1 per km², rechts relatieve aantal meldingen (dossiers) in fase 1 per km²



Wanneer de bewoner aangaf op het schadeadres een aardbeving te hebben gevoeld, is gevraagd hoe deze aardbeving is beleefd op een schaal van 1 tot 5. In afbeelding 3.10 is verticaal procentueel aangegeven hoeveel van het totaal aantal schades op het adres onderdeel is van de schademelding en horizontaal de beleving van de bewoner. Zichtbaar is dat het percentage gemelde schades geen duidelijke relatie heeft met de beleving. Opvallend is wel de grote spreiding in het percentage gemelde schades. Vanwege de tijd die verstreken is, tussen het optreden van de maatgevende aardbevingen, in de meeste gevallen Huizinge (16 augustus 2012), en het bezoek aan de woning, is voorzichtigheid geboden bij de interpretatie van de dit resultaat.

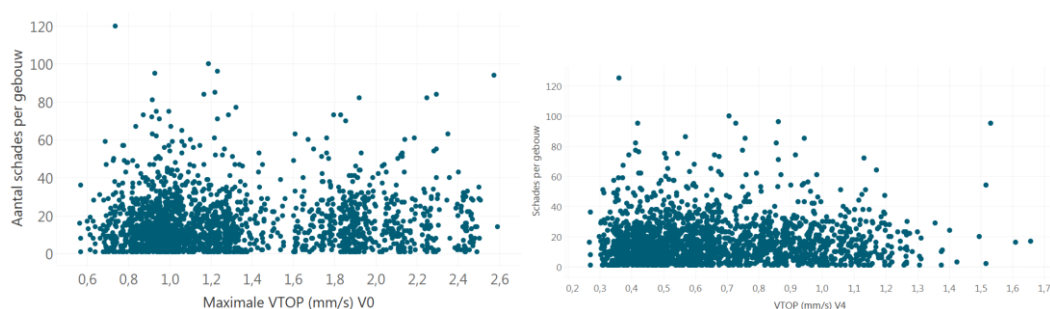
Afbeelding 3.10 Relatieve aantal gemelde schades (%) per adres ten opzichte van beleving van de zwaarst ervaren aardbeving



Omdat er geen eenduidige relatie is tussen de aardbeving en het aantal meldingen en het percentage gemelde schades per gebouw, is verder gezocht naar een verband tussen de hoeveelheid schade en de trillingssnelheid in het geval van aardbevingsschade.

Zoals eerder beschreven is het denkbaar dat schade als gevolg van geïnduceerde aardbevingen zich voordoet als schade afkomstig van een andere oorzaak, waarbij de trillingen door de aardbeving net het laatste 'tikje' zijn. Om te onderzoeken of dit 'tikje' zich heeft voorgedaan is gekeken of er een patroon bestaat in het aantal schades per gebouw en de trillingssnelheid op basis van GMPE/GMM V0 en V4 in afbeelding 3.12.

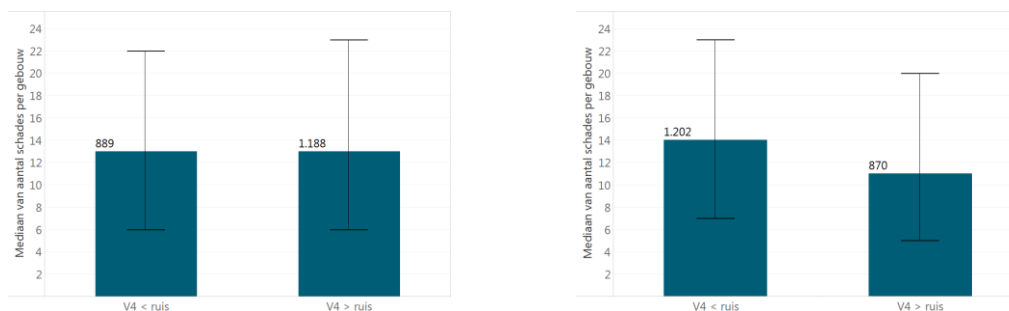
Afbeelding 3.11 Totaal aantal schades per gebouw ten opzichte van de VTOP voor V0 (links) en V4 (rechts)



Afbeelding 3.11 toont dat er in de dataset geen patroon zichtbaar is dat duidt op een relatie. Wat opvalt in de grafiek is een grote spreiding in het aantal schades per gebouw. Dit wordt verklaard uit de aanwezigheid verschillende gebouwtypes en bouwjaren zoals besproken bij afbeelding 3.2.

Op basis van de GMM V4 berekening volgt dat voor een groep gebouwen in het onderzoek de zogenaamde achtergrondruis hoger is dan de maximale berekende trillingsnelheid ten gevolge van de aardbevingen. Onder achtergrondruis wordt het achtergrondtrillingsniveau verstaan dat voor een gebouwtype door andere trillingsbronnen dan aardbevingen over een tijdspanne van een jaar verwacht kan worden. Hierdoor kan onderscheid in twee groepen gemaakt worden. Eén groep waarvoor verwacht kan worden dat aardbevingen de bron is van de maatgevende trillingsbelasting en één groep waarvoor aardbevingen niet de bron van de maatgevende trillingsbelasting zijn. In afbeelding 3.12 is aan de linkerzijde de vergelijking gemaakt op basis van de achtergrondruis zoals generiek bepaald per gebouwtype, aan de rechterzijde zijn hiervoor ook aanvullende trillingswaarden voor specifiek het wegverkeer gehanteerd.

Afbeelding 3.12 Vergelijking mediaan van het aantal schades per gebouw voor groep waarvoor volgens GMM V4 de trillingsniveaus ten gevolge van aardbevingen lager zijn dan de achtergrondruis (links) en de achtergrondruis of trillingsniveaus verwacht door verkeer (links)



Op basis van de GMPE V0 berekening is de trillingsintensiteit door de aardbevingen hoger dan de achtergrondruis en is het niet mogelijk om twee groepen te vergelijken.

Naast de toets voor alle gebouwen is in bijlage III ook naar speciale groepen gekeken die mogelijk gevoeliger zouden zijn. Voorbeelden zijn de categorie 3 gebouwen en gebouwen nabij epicentra in het buitengebied, waar TNO trillingsmetingen van vergelijkbare aardbevingen in het schadeafhandelingsgebied soms afwijkingen vertonen. Al deze toetsen bevestigden het resultaat van de beoordeling aan de hand van de berekende trillingsnelheid en de grenswaarde uit [13].

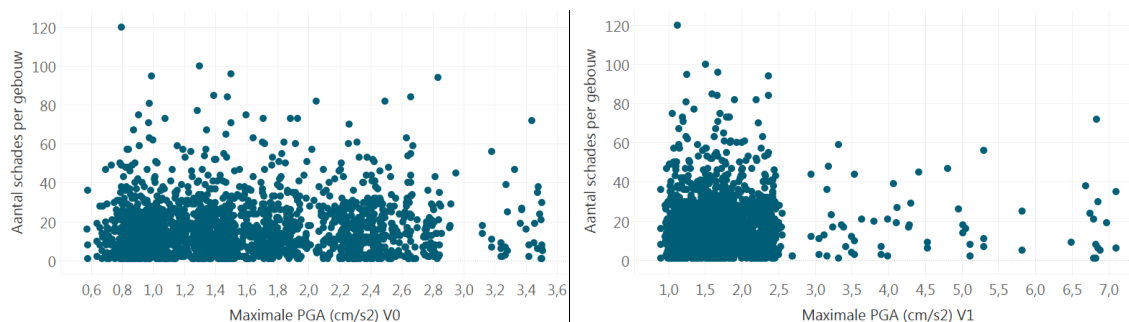
Een speciale toets die ook is uitgevoerd betrof een steekproef bestaande uit het beschouwen van 15 gebouwen in het schadeafhandelingsgebied. Deze 15 gebouwen zijn meegenomen om te beschouwen op het mogelijk is om de methodiek ook in het schadeafhandelingsgebied te kunnen toepassen. Bij de

beoordeling van schades aan deze gebouwen was het in deze gevallen conform de systematiek niet mogelijk om 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' te falsificeren. De beoordeling resulteerde bij circa 70 % van schadebeelden in verificatie van 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' als preliminaire schadeoorzaak. Gezien de omvang van de steekproef was het echter nog niet mogelijk om de toets uit te voeren.

Met behulp van EMM is ook ongestuurd naar afwijkende subgroepen gezocht voor de meest voorkomende schadeoorzaken in relatie met de trillingssnelheid op basis van GMPE V0. De resultaten zijn opgenomen in bijlage III paragraaf 5.2. Hieruit volgden geen subgroepen die aanleiding gaven om de beoordeling te herzien.

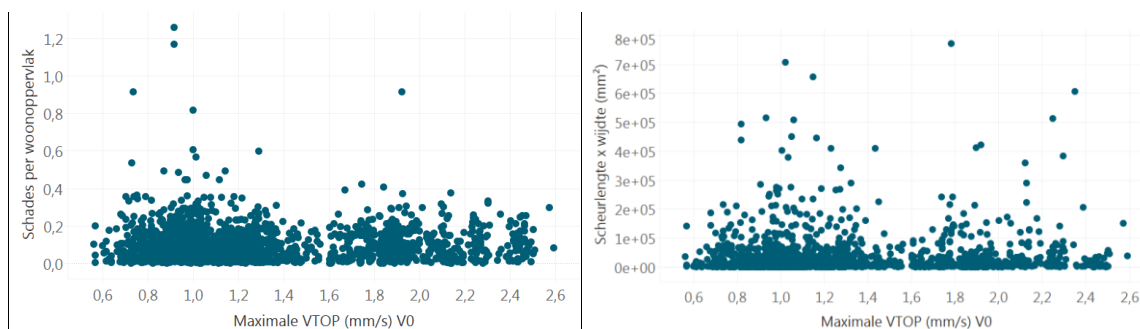
De schadeomvang is in alle voorgaande grafieken uitgezet tegen de berekende VTOP op basis van de GMPE-berekeningen. Andere maatstaven voor de trillingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen, zoals piekgrondversnelling (PGA), zijn ook gebruikt voor toetsing. Omdat er voor de Nederlandse bouwwijze geen relaties bestaan tussen PGA en schade is het niet mogelijk om deze berekende waarden te vergelijken met een normatieve grenswaarde. Wel kan er in de verzamelde gegevens onderzocht worden of er een patroon te herkennen is tussen PGA en hoeveelheid schade. Hiervoor is de PGA zowel berekend met GMPE V0 en met GMPE V1 uit [14] en [15] en uitgezet tegen het aantal schades per gebouw in afbeelding 3.13.

Afbeelding 3.13 Totaal aantal schades per gebouw ten opzichte van de PGA op basis van V0 (links) en V1 (rechts)



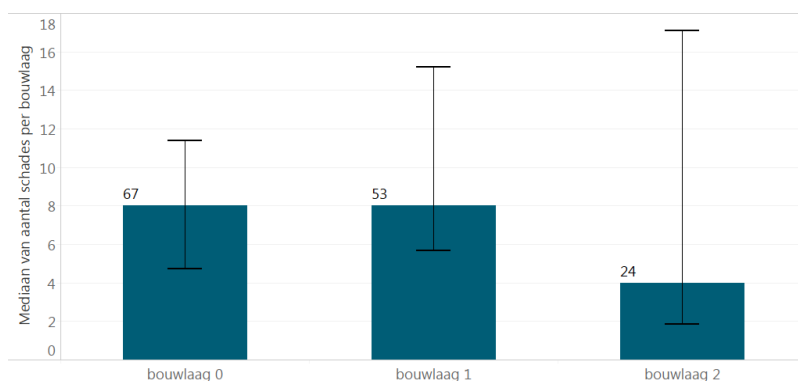
Afbeelding 3.14 toont ook andere maatstaven voor schade, zoals aantal schades per vierkante meter woonoppervlak of scheuroppervlak per gebouw (scheurwijdte x scheurlengte). Andere combinaties zijn weergegeven in bijlage III en tonen evenals afbeelding 3.13 en 3.14 geen patronen die duiden op een causaal verband.

Afbeelding 3.14 Totaal aantal schades per m² woonoppervlak (links) en scheuroppervlak per gebouw (rechts) ten opzichte van VTOP op basis van V0



Los van de relaties tussen trillingssnelheid of trillingsversnelling en maten voor de hoeveelheid schade aan gebouwen kan ook worden gekeken naar patronen op gebouwniveau zoals het zogenaamde 'opslingereffect'. Op basis van [13] kan worden verwacht dat de meeste schade op de begane grond voor zou komen. Als opslingering van het gebouw juist een belangrijk effect zou zijn, kan verwacht worden dat er in tegenstelling tot [13] meer schade is op de eerste verdieping (en tweede verdieping). Uit afbeelding 3.15 blijkt dat de mediaan van het aantal schades op de begane grond en eerste verdieping gelijk is voor tussenwoningen met de kanttekening dat er echter wel een verschil is in interkwartielafstand. Enkel schades die niet in het bouwdeeltype buitenzijde gevel voorkomen zijn meegenomen in de analyse, omdat de buitenzijde van de gevel altijd is toegekend aan de begane grond bij de inspectie.

Afbeelding 3.15 Aantal schades per verdieping in vloeren, daken en binnenwanden voor tussenwoningen



Voor een overzicht van alle analyses die zijn uitgevoerd om de falsificaties te toetsen wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 4 & 5 (III.4 en III.5). Van belang is dat de uitgevoerde toetsen geen aanleiding geven om de resultaten van de vergelijking van de berekende grondsnelheid met de grenswaarde uit [13] te herzien.

3.2.3 Overbelasting door trillingen - wegverkeer

Bij de hoofdoorzaak belastingen is op subniveau twee de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' gefalsificeerd als de weg meer dan 10 m van het gebouw af ligt en/of de maximum snelheid op de weg minder dan 50 km/u is. Dit criterium is vastgesteld op basis van metingen van TNO gebouwsensoren in Groningen en de grenswaarden uit [13].

Wanneer het criterium gehaald wordt, wordt de schadeoorzaak niet gefalsificeerd en is het een mogelijke schadeoorzaak die geverifieerd kan worden. De intensiteit van de trillingen is over het algemeen laag waarbij de overschrijding van de grenswaarde nog beperkt is. Er is geen uniek schadebeeld voor schade ten gevolge van trillingen door verkeer gegeven in 'Structural damage in Masonry' van De Vent [16]. Als een schade mogelijk veroorzaakt is door verkeerstrillingen zijn ook altijd meerdere andere mogelijke oorzaken mogelijk.

Daarom is bij schades waarbij de grenswaarde uit [13] waarschijnlijk overschreden is, de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' door de expert aangemerkt als een schade waarbij een trilling mogelijk van invloed kan zijn geweest. In totaal is voor 198 schades deze mogelijke schadeoorzaak aangemerkt als preliminaire schadeoorzaak. Het betrof echter altijd een schade waarbij ook meerdere andere mogelijke oorzaken geverifieerd waren.

Afbeelding 3.16 Invloed van verkeerstillingen op een gebouw

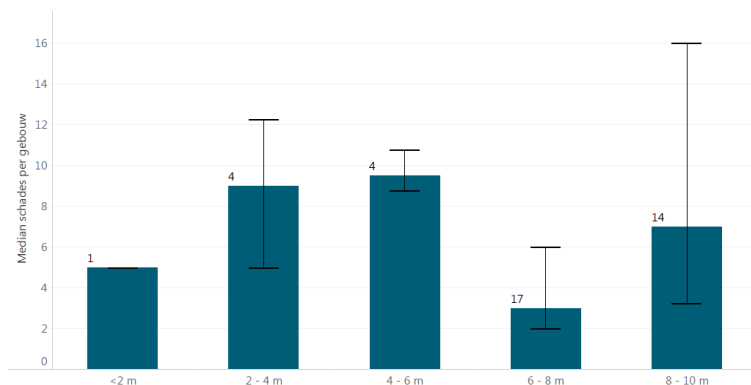


Omdat het schadebeeld niet los waarneembaar is en er gebruik wordt gemaakt van een model met een grenswaarde [13], is met een toets gecontroleerd of er een patroon te herkenbaar is tussen het verkeer en de schade.

Wanneer trillingen ten gevolge van wegverkeer van invloed zijn op schades aan gebouwen, wordt verwacht dat de intensiteit van de trilling invloed heeft op het aantal schades. De afstand van de woning tot de weg, de snelheid op de weg, en het wegdek spelen hierbij mogelijk een rol.

Afbeelding 3.17 toont de relatie tussen het aantal schades per gebouw en de afstand tot de weg. In de grafiek zijn alleen die woningen als groep meegenomen waarvoor de schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' is aangemerkt om vervuiling en verstoring van het beeld te voorkomen.

Afbeelding 3.17 Mediaan van het aantal schades ten gevolge van trillingen door wegverkeer ten opzichte van de afstand tot de weg



Het patroon dat wordt verwacht wordt niet bevestigd door de resultaten in het meetgebied. Er zijn echter te weinig waarnemingen om conclusies aan te kunnen verbinden. Ook de toetsen voor het type wegdek en de maximumsnelheid op de weg zijn gebaseerd op te kleine groepen.

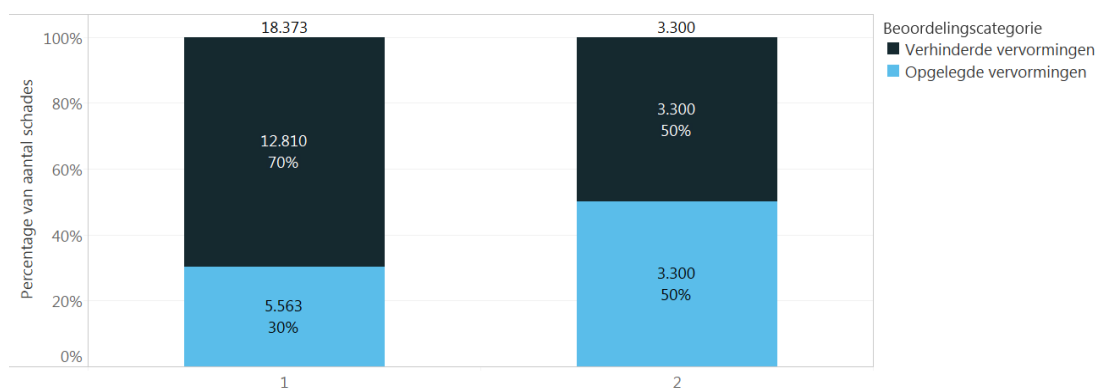
Omdat er geen duidelijk waarneembaar schadebeeld is en de toets de relatie tussen trillingen ten gevolge van wegverkeer en schade niet aantoont, is het niet mogelijk gebleken om de schadeoorzaak te verifiëren als definitieve schadeoorzaak. Gezien het mogelijk overschrijden van de grenswaarde kan deze mogelijke schadeoorzaak echter ook niet voor alle gebouwen gefalsificeerd worden. Daarom wordt de mogelijke schadeoorzaak niet gefalsificeerd en niet geverifieerd wanneer niet aan het falsificatiecriterium wordt voldaan.

3.3 Vervormingen

De hoofdcategorie vervormingen is bij 21.673 schades als mogelijke oorzaak van de schade vastgesteld. Deze hoofdcategorie bestaat uit twee subcategorieën. De eerste subcategorie is 'verhinderde vervormingen' en de tweede subcategorie is 'opgelegde vervormingen'. Bij verhinderde vervormingen wil een element vervormen, maar wordt deze vervorming verhinderd waarbij schade ontstaat in het element zelf. Bij opgelegde vervormingen vervormt een ander element en kan het element met schade deze vervorming niet volgen, waarbij schade ontstaat. Het onderscheidende vermogen in de schadebeelden is beperkt, waardoor het vaak lastig is om onderscheid te maken tussen beide schadeoorzaken.

De verdeling van de schades over de subcategorieën is weergegeven in afbeelding 3.18.

Afbeelding 3.18 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer subcategorieën van de hoofdcategorie vervormingen



In afbeelding 3.18 is zichtbaar dat er bij 18.373 schades één mogelijke schadeoorzaak uit de hoofdcategorie vervormingen is. Met 12.810 schades is de mogelijke oorzaak 'verhinderde vervormingen' een meer voorkomende schadeoorzaak dan 'opgelegde vervormingen' waarvan 5.563 schades zijn waargenomen. Bij een beperkt aantal van 3.300 schades zijn beide mogelijke subcategorieën van schadeoorzaken uit de hoofdcategorie vervormingen geverifieerd.

3.3.1 Verhinderde vervormingen - initieel

Binnen de hoofdcategorie vervormingen komt de subcategorie 'verhinderde vervormingen' het meest voor. Op basis van een nadere beschouwing blijkt dit voornamelijk voort te komen uit de subcategorie niveau twee 'verhinderde vervormingen - initieel' (15.624 schades). Dit zijn schades die ontstaan zijn doordat de vervormingen van het element zelf verhinderd worden met spanningen tot gevolg.

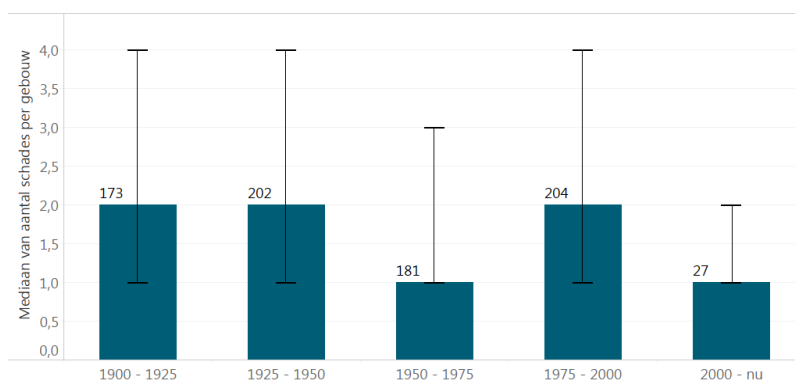
Een schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 4.476 keer is waargenomen, zijn scheuren in buitenwanden door het ontbreken van dilataties. Bij dit schadebeeld zet de buitenwand uit of krimpt deze ten gevolge van met name veranderingen in temperatuur. De wand wordt verhinderd (uit te zetten of te krimpen) door vloeren, andere wanden en/of de fundering, waardoor scheuren ontstaan. Een uiting van het schadebeeld is schematisch weergegeven in afbeelding 3.19.

Afbeelding 3.19 Schadebeeld ontbreken dilataties in een metselwerk buitenwand



De verwachting is dat de ervaringen door de tijd met dergelijke schade hebben geleid tot het meer en systematisch toepassen van dilatatievoegen. In de huidige bouw is dit een overweging die binnen een ontwerpproces veelal bewust wordt gemaakt. Daarnaast zullen metselwerk gevels van oudere gebouwen meer temperatuurswisselingen hebben doorlopen dan metselwerkgevels van nieuwere gebouwen. Dit betekent dat het aantal schades als gevolg van verhinderde vervormingen in de tijd af moeten nemen. Deze verwachting is getoetst aan alle schades in buitengevels die binnen dit onderzoek zijn geduid als schade als gevolg van verhinderde vervorming door het ontbreken van een dilatatie in metselwerk. De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 3.20.

Afbeelding 3.20 Mediaan van het aantal schades per gebouw in metselwerk buitenwanden ten opzichte van het bouwjaar



Uit de afbeelding is een afname zichtbaar van het aantal schades door verhinderde vervormingen bij meer recent gebouwde woningen, zoals werd verwacht. De uitkomst van deze toets geeft daardoor geen aanleiding om over te gaan tot heroverweging van de beoordeling en versterkt daarmee de beoordeling van deze schades.

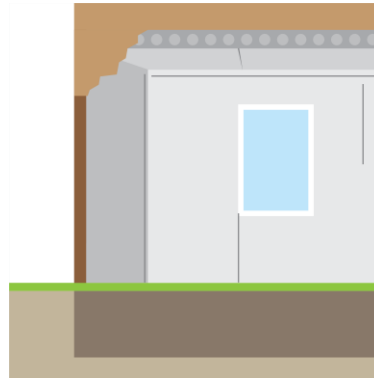
3.3.2 Opgelegde vervormingen - initieel

Binnen de hoofdcategorie vervormingen komen ook schades voor met als mogelijke schadeoorzaak 'opgelegde vervormingen'. Op subcategorie niveau twee is de meest voorkomende oorzaak 'opgelegde vervormingen - initieel' (8.255 schades). Dit zijn schades die ontstaan zijn doordat het element de vervormingen van een ander element niet kan volgen, waardoor er schade ontstaat.

Een schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 5.237 keer is waargenomen, zijn scheuren tussen bouwelementen binnen. Doordat de elementen uitzetten, krimpen en vervormen ten gevolge van

veranderingen in temperatuur, vocht en belastingen kunnen er scheuren ontstaan in of nabij overgangen tussen verschillende elementen. Een uiting van dit schadebeeld is te zien in afbeelding 3.21.

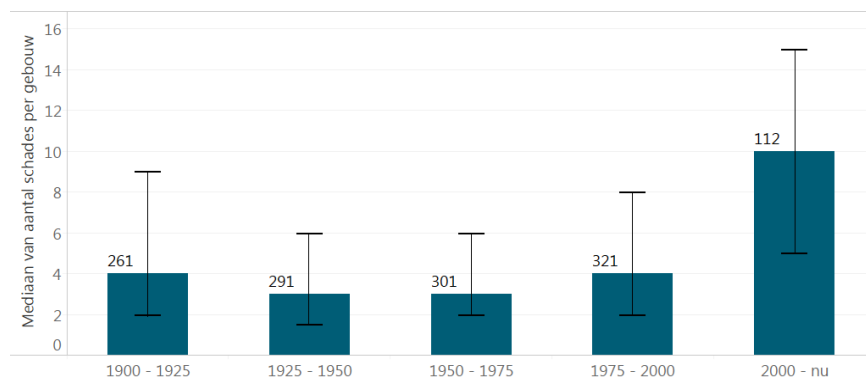
Afbeelding 3.21 Schadebeeld scheuren tussen bouwelementen binnen door vervormingen



Het schadebeeld heeft een sterke relatie met de hoeveelheid grote krimpgevoelige elementen dat gebruikt wordt in de bouw. Een groot element zet in absolute zin meer uit en krimpt meer dan een klein element, terwijl er minder aansluitingen zijn tussen de elementen waarin deze vervorming kan worden opgenomen. In de moderne bouw is een tendens waarneembaar naar steeds meer grote elementen (vloerelementen, binnenspouwbladen, binnenwanden) om sneller te kunnen bouwen. Het aantal scheuren ten gevolge van opgelegde vervormingen in binnenwanden zal naar verwachting dus toenemen naar mate woningen van recenter datum zijn.

Deze verwachting is getoetst aan alle schades aan binnenwanden die binnen dit onderzoek zijn geduid als schade als gevolg van opgelegde vervorming tussen twee elementen. De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 3.22.

Afbeelding 3.22 Mediaan van het aantal schades aan binnenwanden per gebouw ten opzichte van het bouwjaar

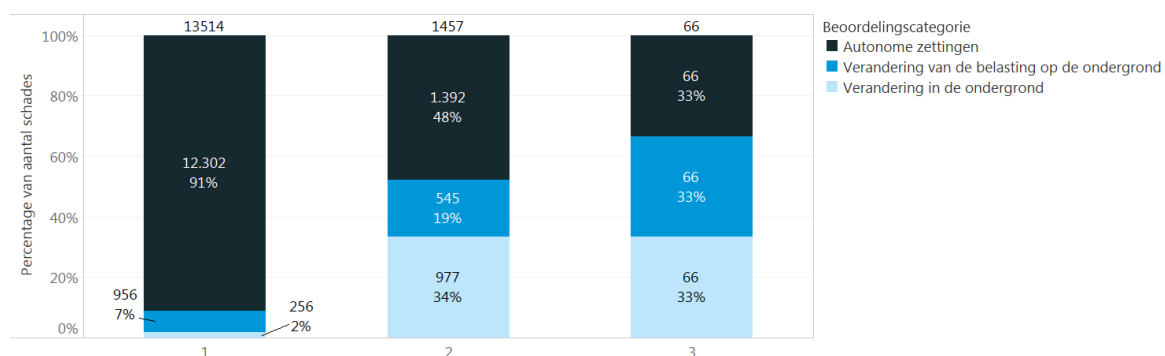


Uit de afbeelding is duidelijke toename zichtbaar van het aantal schades in binnenwanden door opgelegde vervormingen bij meer recent gebouwde woningen, zoals ook werd verwacht. De uitkomst van deze toets geeft daardoor geen aanleiding om over te gaan tot heroverweging van de beoordeling en versterkt daarmee de beoordeling van deze schades.

3.4 Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond

De hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is bij 15.037 schades als mogelijke oorzaak van de schade vastgesteld. Deze hoofdcategorie bestaat uit drie subcategorieën. De subcategorieën zijn 'autonome zettingen', 'verandering van belasting op de ondergrond' en 'verandering in de ondergrond'. De verdeling over de subcategorieën is weergegeven in afbeelding 3.23.

Afbeelding 3.23 Verdeling schadeoorzaak bij oorzaken afkomstig uit één of meer subcategorieën van de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond



De subcategorie 'autonome zettingen' komt met meest voor. De categorieën 'verandering van belasting op de ondergrond' en 'verandering in de ondergrond' komen veel minder voor.

Uit afbeelding 3.23 volgt dat er bij 13.514 schades één mogelijke schadeoorzaak uit de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is. Bij 12.302 schades is de mogelijke oorzaak 'autonome zetting', bij 956 'verandering van de belasting op de ondergrond' en bij 256 'verandering in de ondergrond'.

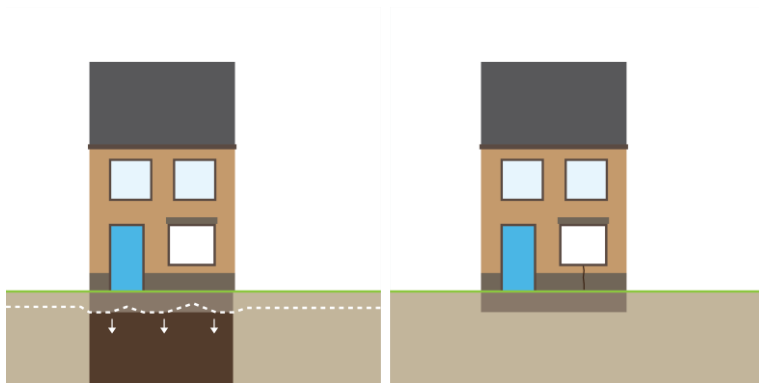
Ook is in afbeelding 3.23 is zichtbaar dat er bij 1.457 schades twee mogelijke schadeoorzaken uit de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond zijn. 1.392 schades hebben als mogelijke oorzaak 'autonome zetting', 545 'verandering van de belasting op de ondergrond' en 977 'verandering in de ondergrond'.

3.4.1 Autonome zetting - gelijkblijvende belastingen

Binnen de hoofdcategorie ongelijkmatige zettingen in de ondergrond komt de subcategorie 'autonome zetting' het meest voor (13.760 schades). Deze schades worden veroorzaakt doordat er of lokale variatie is in de autonome zetting van de ondergrond of de belasting niet uniform verdeeld wordt over de ondergrond of een combinatie van beiden.

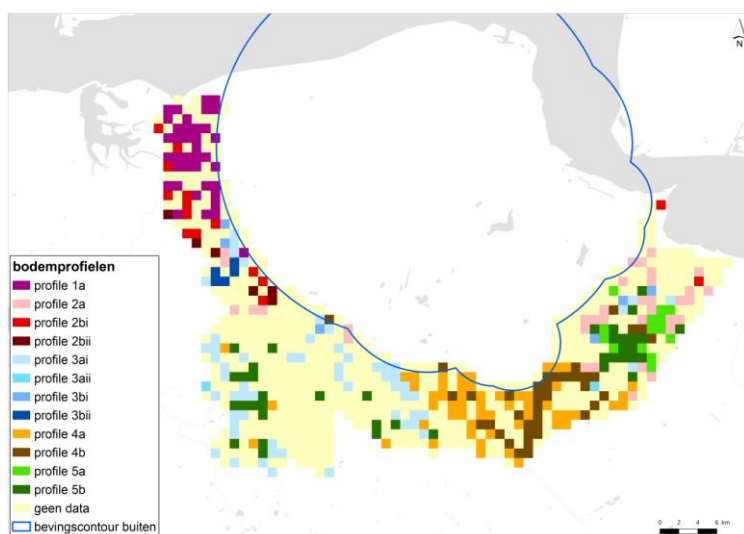
Het schadebeeld dat bij deze oorzaak hoort en 13.760 keer is waargenomen is schematisch weergegeven in afbeelding 3.24.

Afbeelding 3.24 Schadebeeld autonome zetting ten gevolge van niet uniforme belasting



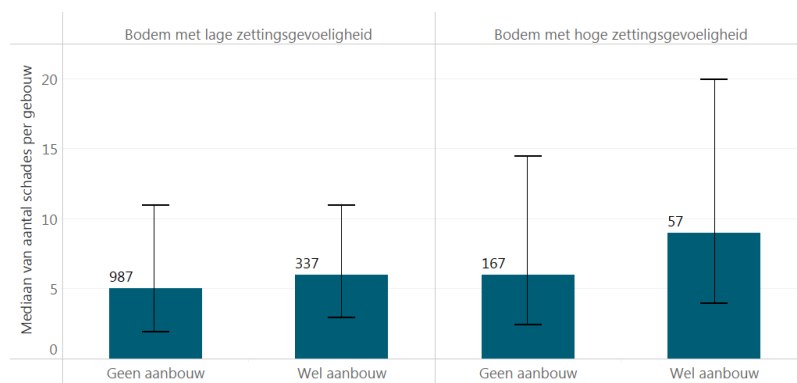
In het buitengebied komen verschillende ondergronden voor zoals weergegeven in afbeelding 3.25. Op basis van een analyse van de bodemopbouw is deze mogelijke schadeoorzaak niet te falsificeren voor alle gebouwen, omdat verschilzettingen bij alle ondergronden in het buitengebied kunnen leiden tot scheurvorming. De ervaring leert dat met name de werkwijze en maatregelen tijdens de bouw hierbij een belangrijke rol spelen. Hierdoor kunnen (onnodig) zettingen optreden bij gebouwen op zettingsongevoelige gronden en met de juiste maatregelen zettingen op zettingsgevoelige gronden worden beperkt.

Afbeelding 3.25 Overzicht van meest voorkomende verschillende bodemprofielen per km²



Aangezien het schadebeeld op basis van een analyse van de ondergrond nergens is te falsificeren is het verklaarbaar dat op iedere ondergrond het schadebeeld zettingschade is aangetroffen. Gegeven het feit dat het schadebeeld op ieder type ondergrond voorkomt, kan verwacht worden dat het schadebeeld relatief meer voorkomt op ondergrond die gevoeliger is voor zettingen. Om dit vermoeden te toetsen is een analyse uitgevoerd waarbij enkel naar schades met het schadebeeld ongelijkmatige zetting is gekeken. Hierbij is het aantal schades met dit schadebeeld vergeleken voor een ondergrond in het gebied met een relatief lage zettinggevoeligheid ten opzichte van een gebied met een relatief hoge zettinggevoeligheid. Dit is afgebeeld in afbeelding 3.26.

Afbeelding 3.26 Mediaan van het aantal schades per gebouw ten gevolge van ongelijkmatige zetting in ondergrond op relatief laag zettingsgevoelige ondergrond en relatief hoog zettingsgevoelige ondergrond voor gebouwen met en zonder aanbouw



Deze afbeelding toont dat het schadebeeld op alle soorten ondergrond is waargenomen in de beoordelingen, maar dat ongelijkmatige zetting inderdaad vaker voorkomen op ondergrond die gevoeliger is voor zettingen.

Naast de zettinggevoeligheid van de ondergrond kan ook een ongelijkmatige belasting leiden tot het schadebeeld ongelijkmatige zetting. De kans op het schadebeeld ongelijkmatige zetting zal groter zijn bij een aanbouw. De bestaande bouw en aanbouw zullen anders zetten in de tijd waardoor er een scheur kan ontstaan tussen de bestaande bouw en de aanbouw. In afbeelding 3.26 is zichtbaar dat gebouwen met aanbouw zowel op relatief weinig zettinggevoelige ondergrond en meer zettinggevoelige ondergrond meer schades hebben dan gebouwen zonder aanbouw. Wanneer naar de individuele schadebeelden wordt gekeken is bij een gebouw met aanbouw ook vaker een scheur tussen bestaande bouw en aanbouw zichtbaar.

Ook is er op 23 locaties aanvullend grondonderzoek verricht om het gebruikte ondergrondmodel (GeoTop) te toetsen op basis van project specifieke metingen. Deze locaties zijn op basis van de verwachte variatie in de ondergrond strategisch gekozen om zo een representatief beeld van het buitengebied te geven. Per locatie zijn twee sonderingen van 15 m diepte verricht, 4 handboringen tot 3 m diepte gemaakt en is een lintvoegmeting uitgevoerd. De uitkomst van dit onderzoek was dat het oordeel met betrekking tot de gevoeligheid voor zettingen van de ondergrond niet veranderd en ook de beoordeling niet veranderd door de aanvullende grondonderzoeken.

Voor een overzicht van de analyses die zijn uitgevoerd om de beoordeling van de ondergrond te toetsen wordt verwezen naar bijlage III, hoofdstuk 4 & 5 (III.4 en III.5).

3.4.2 Verandering in de ondergrond - trillingen

Bij de hoofdoorzaak zettingen in de ondergrond is de suboorzaak niveau twee 'verandering in de ondergrond - trillingen' voor alle gebouwen gefalsificeerd. Zoals in paragraaf 3.2.2 beschreven is er geen duidelijk schadebeeld voor schade ten gevolge van trillingen door aardbevingen met betrekking tot de Nederlandse bouwwijzen. Daardoor is het niet mogelijk om op basis van schadebeelden deze oorzaak te herkennen.

Het optreden van verandering in de ondergrond ten gevolge van trillingen door geïnduceerde aardbevingen is in dit onderzoek beschouwd als het optreden van verdichting van losgepakt zand of het optreden van *liquefaction*.

Om te beoordelen of trillingen ten gevolge van de aardbevingen veranderingen in de ondergrond veroorzaakt hebben, die mogelijk schade veroorzaakt kunnen hebben, is per adres de piekgrondversnelling bepaald. De piekgrondversnelling is bepaald met zowel de GMPE V0 als GMM V4 en getoetst aan de grenswaarde voor verweking van grond uit de NPR [17]. In bijlage I, hoofdstuk 4.6 is beschreven hoe deze waarden bepaald zijn. De grenswaarde is beschreven in de NPR 9998 [17] en is afhankelijk van de ondergrond. Hoe de richtlijn is toegepast voor toetsing is beschreven in bijlage II, hoofdstuk 2.3.3.

Gezien het feit dat deze mogelijke schadeoorzaak op basis van een model wordt gefalsificeerd is hier extra aandacht aan gegeven bij het uitvoeren van de toets. De uitgevoerde toets is gelijk aan de toets beschreven in paragraaf 3.2.2 en verder uitgewerkt in bijlage III, omdat het ook hier om de relatie tussen schade en trillingen ten gevolge van aardbevingen gaat. De toetsen geven geen aanleiding om de resultaten van de vergelijking van de berekende piekgrondversnelling met de grenswaarde uit [17] te herzien.

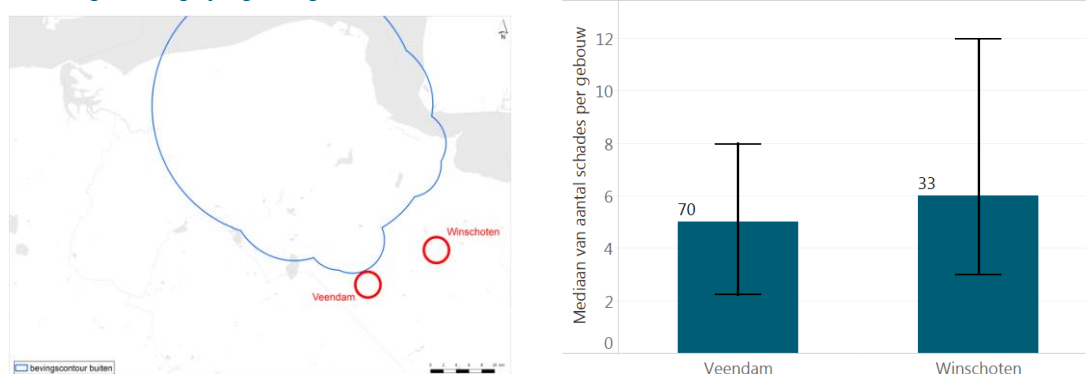
3.4.3 Verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten

Binnen de hoofdoorzaak ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is de oorzaak in subcategorie niveau twee 'verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' in alle gevallen niet gefalsificeerd noch geverifieerd.

Dit komt omdat het niet mogelijk is om voor panden met schades, ten gevolge van ongelijkmatige zetting van de ondergrond, een invloed als gevolg van een verwaarloosbaar kleine hoekverdraaiing, van in het buitengebied maximaal 0,5 mm per 10 m, ten gevolge van gaswinning op basis van [18] te falsificeren. Hetzelfde geldt voor de maximale hoekverdraaiing van 2,2 mm per 10 m ten gevolge van de zoutwinning nabij Veendam op basis van [19]. Het is ook niet mogelijk om de invloed hiervan te verifiëren, omdat deze hoekverdraaiing op zichzelf niet tot schade leidt. Dit omdat deze aanzienlijk kleiner is dan de strengste grenswaarde op basis van Kratzsch [20], namelijk 25 mm per 10 m. Op basis van deze grenswaarde is bodemdaling door gaswinning in het buitengebied daarmee altijd minimaal een factor 50 kleiner dan de andere aandrijvende mechanismen achter de ongelijkmatige zetting. De bodemdaling ten gevolge van zoutwinning is altijd een factor 11 kleiner.

Om te toetsen of er inderdaad geen directe aanwijzing is dat de bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten geleid heeft tot het schadebeeld ongelijkmatige zettingen, zijn twee onder een kap woningen en vrijstaande woningen met het schadebeeld ongelijkmatige zettingen uitgelicht in de omgeving Veendam en de omgeving van Winschoten, zie afbeelding 3.27. Er is gekozen voor deze vergelijking omdat in de omgeving van Veendam de bodemdaling ten gevolge van diepe bodemdaling het grootst is en de opbouw van de ondergrond in de omgeving van Winschoten een overeenkomstige opbouw heeft als die van Veendam. De keuze voor een beperkt aantal gebouwtypes maakt het mogelijk om het aantal variabelen nog verder te beperken in de vergelijking. Uit deze vergelijking in afbeelding 3.27 volgt dat er geen aanwijzing is om te concluderen dat het gehanteerde criterium niet klopt.

Afbeelding 3.27 Vergelijking zettingschades Veendam en Winschoten



CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

In het kader van de afhandeling van de schademeldingen door het CVW is door Witteveen+Bos, in opdracht van de NAM, een onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak of oorzaken van de schade(s) aan gebouwen in het buitengebied. De onderzochte adressen in het buitengebied kenmerken zich door, in vergelijking met het schadeafhandelingsgebied, relatief lage, maar nog wel door bewoners gevoelde, trillingsbelastingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen.

In het onderzoek zijn, in navolging op het advies van de validatiecommissie Rots, alle gebouwen waaraan schade is gemeld visueel onderzocht en zijn daarbij alle schades die op dat moment aanwezig waren, systematisch opgenomen en beoordeeld. Het onderzoek is op transparante wijze uitgevoerd met in acht neming een minimale hinder voor de bewoners, herleidbaarheid, reproduceerbaarheid en toetsbaarheid van de resultaten en binnen de beschikbare onderzoeksperiode (september 2016 - februari 2017).

In het onderzoek zijn op 1.564 adressen, waar schade gemeld is, inspecties uitgevoerd aan 2.077 gebouwen waarbij in totaal 33.877 schades zijn vastgelegd. Meer dan 95 % van de schades betrof een scheur. Van de scheuren waarvan de scheurwijdte is gemeten wordt 92 % gecategoriseerd als 'zeer lichte' en 'lichte' schade op basis van de kwalificaties van de Building Research Establishment [6]. Een kwalificatie van scheuren op basis van alleen scheurwijdte dient vooral als indicatief voor de staat van het gebouw te worden beschouwd aangezien scheurwijdte niet het enige criterium is voor kwalificatie van de ernst van een scheur. Een andere indeling voor de staat van het gebouw zoals bijvoorbeeld het aantal schades per gebouw is niet mogelijk bij gebrek aan een classificatie en/of gegevens van een referentiegebied.

Circa 2 % van de opgenomen schades viel niet onder de definitie van schade en betrof bijvoorbeeld een slijtage, verwerking van een kitnaad of een scheur in een enkele losse baksteen. Bij 97 % van de schades zijn de oorzaken achterhaald door middel van falsificatie en verificatie van mogelijke oorzaken zoals beschreven door Borsje & Richemont [4]. In minder dan 1 % van de gevallen was onvoldoende beeldmateriaal beschikbaar ten tijde van de publicatie van dit onderzoek. Aanvullende onderzoeken, die in uitvoering zijn, zullen naar verwachting nader uitsluitsel geven over de oorzaak van deze schades.

Uit het onderzoek volgt dat één of meer schades bij:

- 1.960 gebouwen veroorzaakt zijn door vervormingen;
- 1.831 gebouwen veroorzaakt zijn door belastingen;
- 1.651 gebouwen veroorzaakt zijn door ongelijkmatige zetting van de ondergrond.

Bij meer dan de helft van de schades is de oorzaak enkelvoudig, in de overige gevallen is er meer dan één mogelijke schadeoorzaak vastgesteld. Er is geen weging aangebracht in de verschillende oorzaken. Deze resultaten gelden voor het totaal van de onderzochte gebouwen in het gebied. Specifiek per gebouw is in een individueel rapport voor de eigenaar per schade aangegeven wat de mogelijke oorzaak is of oorzaken van de schades zijn. In bijlage II hoofdstuk 3 zijn de meest voorkomende schadebeelden met de bijbehorende oorzaak weergegeven.

De onderzoeksresultaten zijn gebaseerd op fysieke waarnemingen gedaan tijdens de inspecties, waarbij de informatie systematisch is verzameld en vastgelegd. De waarnemingen en informatie zijn gedeeld en besproken met de eigenaar. In 510 gevallen heeft de eigenaar gebruik gemaakt van de gelegenheid om relevante ontbrekende informatie toe te voegen en mogelijke onjuistheden te laten corrigeren. In een beperkt aantal gevallen heeft er een nieuw bezoek aan het adres plaatsgevonden. Daarnaast is aanvullend omgevingsinformatie verzameld uit publieke bronnen over onder andere ondergrond en grondwater. De schades zijn vervolgens beoordeeld door het verband te leggen tussen het complete beeld van het gebouw, bijbehorende waargenomen schadebeelden en de mogelijke schadeoorzaken. De beoordeling is uitgevoerd door het Panel van deskundigen ondersteund door een multidisciplinair team van experts. De inspectie en beoordeling zijn losgekoppeld om voor beiden een hogere mate van herleidbaarheid, specialisatie en daardoor kwaliteit te kunnen bereiken. Om deze reden is extra aandacht gegeven aan de informatieoverdracht door middel van het systematische verzamelen en vastleggen van de gegevens en een hoge kwaliteit van het beeldmateriaal dat gebruikt is bij het uitvoeren van de beoordeling en de toets.

Bij de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen ten gevolge van aardbevingen' is specifiek bij lage trillingsintensiteiten en lichte schade zoals in het buitengebied veel voorkomt een beoordeling op basis van het fysiek waargenomen schadebeeld niet mogelijk. Zoals Martens [9] beschrijft is het verband tussen scheurvorming in metselwerk en trillingen door aardbevingen een blinde vlek in diagnostiek met betrekking tot de Nederlandse bouwwijzen.

Daarom is de trillingsbelasting berekend met een GMPE/GMM, die direct een piekgrondsnelheid (PGV) als uitkomst geeft, en getoetst aan de grenswaarde uit de SBR richtlijn voor schade aan gebouwen door trillingen [13]. Er is in dit onderzoek gebruik gemaakt van twee verschillende modellen die beiden direct een piekgrondsnelheid (PGV) als uitkomst geven. Zowel GMPE V0 is gebruikt omdat deze reeds gepubliceerd is, als GMM V4 omdat dit de laatste stand van de techniek is en deze volgens de opstellers (Bommer, Deltares, KNMI, TNO en de NAM) een verbetering is ten opzichte van V0. GMM V4 een doorontwikkeling van GMM V2 welke reeds wetenschappelijk getoetst is door een internationaal onafhankelijk expertteam. GMM V4 wordt momenteel door een internationaal onafhankelijk expertteam getoetst en is nog niet gepubliceerd. De GMM V4 is toegepast als toetscriterium op de mate van conservatisme van het gehanteerde GMPE V0-model.

De PGV is omgerekend naar de piektrillingssnelheid (VTOP) voor vergelijking met de grenswaarde uit de SBR. Op basis van de vergelijking van de berekende VTOP met zowel GMPE V0 als V4 aan de grenswaarde uit de SBR is de kans op schade, aanvaardbaar klein, conform deze richtlijn, omdat deze onder de grenswaarde ligt. Op basis van de GMPE V0 ligt 97 % van de gebouwen hierbij minimaal een factor 2 van de grenswaarde af. Indien er geen wijzigingen optreden in de GMM V4 geldt dit zelfs voor alle gebouwen.

In het kader van zorgvuldigheid is toetsing van de resultaten noodzakelijk. Deze toetsing bestaat uit reguliere kwaliteitstoetsingen door reviews tijdens de afzonderlijke stappen, aanvullende onderzoeken op locatie en controle (via combinatie, deductie en eliminatie) op de gegevens die verzameld zijn tijdens de inspecties en uit zowel de publieke bronnen als de beoordeling.

De toets op verificatie heeft aanvullend indirect bewijs geleverd voor de meest voorkomende schadeoorzaken. Een voorbeeld hiervan is dat uit aanvullend grondonderzoek op locatie bleek dat op de locaties waar zettingsgevoelige grond verwacht werd, op basis van het ondergrondmodel deze grond ook is aangetroffen. Het aanvullende grondonderzoek leidde niet tot verandering van de beoordeling. Een ander voorbeeld is dat op basis van verandering in bouwwijze werd verwacht dat krimpscheuren tussen twee bouwelementen zich meer voor zal doen bij relatief nieuwe gebouwen, omdat steeds grotere en krimpgevoeligere elementen worden toegepast in de bouw. Een analyse op de verzamelde gegevens in dit onderzoek toonde deze relatie ook.

Op basis van de uitkomst van vergelijking van de berekende VTOP waarden aan de SBR grenswaarde is de verwachting dat er geen verband waar te nemen is tussen de schades en trillingen ten gevolge van aardbevingen in het buitengebied. Met de toets op falsificatie is onafhankelijk van het gebruikte model gekeken of er op basis van de verzamelde gegevens inderdaad geen aantoonbaar verband is. De analyses met de verzamelde gegevens tonen ook aan dat er geen verband waarneembaar tussen de schades en

trillingen ten gevolge van aardbevingen in het buitengebied en geven daarmee geen aanleiding om de uitkomsten van het model anders te interpreteren.

De beoordeling is gebaseerd op de waargenomen schadebeelden, de vergelijking van de berekende trillingssnelheid met de grenswaarde uit de SBR en ondersteund door de toetsing daarvan. Alhoewel voor een klein aantal individuele schades beïnvloeding door mijnbouwactiviteiten niet met zekerheid is uit te sluiten, is op basis van de beoordeling op gebiedsniveau en gebouwniveau schade veroorzaakt door mijnbouwactiviteiten niet geconstateerd. Besloten in het gebruik van de grenswaarde uit de SBR is dat beïnvloeding voor een klein aantal individuele schades in het hele onderzoek niet met zekerheid is uit te sluiten.

4.2 Aanbevelingen

Het onderzoek naar de oorzaken van de schade aan gebouwen in het buitengebied is uitgevoerd met in acht name van een aantal specifieke randvoorwaarden, zoals vermeld in hoofdstuk 1. Dit heeft geleid tot een Presumable Cause Analysis (PCA) als onderzoeksmethode. Na afloop van het onderzoek kunnen, op basis van de opgedane ervaringen voor dit toepassingsgebied, de volgende aanbevelingen worden gedaan met betrekking tot het uitgevoerde onderzoek;

- onderzoek gebouwen in gebieden waar trillingen veroorzaakt door aardbevingen niet meer voelbaar zijn, om meer waarde te kunnen geven aan het beperkte aantal schades in het onderzoek, waarvan niet met zekerheid is uit te sluiten dat deze beïnvloed zijn door aardbevingen;
- monitor periodiek en systematisch schades aan een groep gebouwen om bij mogelijke toekomstige geïnduceerde aardbevingen duidelijk andere patronen en trends te kunnen herkennen bij individuele schades;
- gebruik de analyses die hier zijn gebruikt voor een toets om, in gebieden waar, op basis van de vergelijking van de berekende VTOP met de SBR richtlijn, schade aan gebouwen door trillingen door aardbevingen verwacht kan worden, verbanden tussen deze trillingen en schade te verifiëren;
- bepaal hoe invulling gegeven dient te worden aan de hiervoor genoemde onderzoeken. Dit dient bij voorkeur te gebeuren samen met de TU Delft en TNO die andere onderzoeken uitvoeren aan gebouwen aan de rand van het aardbevingsgebied naar trillingen ten gevolge van aardbevingen en oorzaken van schades;
- verzamel aanvullende informatie uit bouwdoSSIERS over met name de funderingswijze van een gebouw of clusters van gebouwen om daarmee het aantal mogelijke schadeoorzaken dat per schade over blijft verder terug te kunnen brengen;
- voer geen verdiepend technisch onderzoek op locatie zoals een RCA uit omdat een dergelijk onderzoek naar onze verwachting niet zal leiden tot een kwantitatieve verandering van het kleine aantal schades en het identificeren van de individuele schades, dat mogelijk beïnvloed is door aardbevingen. Tevens wordt verwacht dat een RCA geen ander beeld zal geven met betrekking tot de voorkomende schadeoorzaken;
- onderzoek de mogelijkheden voor verdere automatisering en digitalisering van het proces om de effectiviteit en efficiëntie van het uitgevoerde onderzoek nog verder te verbeteren. Onderzoek ook de mogelijkheden om het proces voor de bewoner nog transparanter te maken.

In de bijlagen I, II en III zijn voor het verzamelen van informatie, beoordelen van schade en de toets aanvullende specialistische aanbevelingen gedaan.

Daarnaast worden de volgende algemene aanbevelingen worden gedaan:

- voer aanvullend onderzoek uit naar schades aan gebouwen in zowel niet-aardbevingsgebied als aardbevingsgebied (en op schudtafels onder laboratorium omstandigheden) om de bestaande schadebeelden te verfijnen en aan te vullen met de tot nu nog ontbrekende schadebeelden en de schade aard en omvang mee te kunnen vergelijken. Wanneer deze kennis ontwikkeld is kunnen ook meer schadeoorzaken getoetst worden;

- blijf de methodiek aanpassen op basis van toekomstige ontwikkelingen in de GMPE modellen om de mate van zekerheid over het al dan niet optreden van schade door trillingen uit aardbevingen met een voldoende en breed gedragen mate van nauwkeurigheid vast te kunnen stellen om daarmee de inspanning van de toets in de toekomst te beperken;
- stel instrumentele intensiteitskaarten op bij toekomstige aardbevingen om de beleving van de bewoners beter vast te leggen en relatie tussen het voelen van een beving en het melden van schade als gevolg van de aardbeving beter te begrijpen;
- het aanbrengen van een weging in de mogelijke schadeoorzaken kan in het kader van herstel nuttig zijn. Speciale aandacht zou dan uit dienen te gaan naar het uitvoeren van aanvullend onderzoek naar het wegen van verschillende schadeoorzaken bij schades die gekwalificeerd worden als 'zeer lichte' en 'lichte' schade omdat voor dergelijke schades de praktisch haalbare meetnauwkeurigheid van de aandrijvende mechanismen grote invloed heeft op het onderscheidende vermogen.

REFERENTIES

- [1] Nationaal Coördinator Groningen. (2016, augustus 18). *TU Delft: Omvang steekproef te klein om aardbevingen als oorzaak schade uit te sluiten*. Opgehaald van Nationaal Coördinator Groningen: <https://www.nationaalcoördinatorgroningen.nl/actueel/nieuws/2016/augustus/18/validatie-onderzoek-contouren>.
- [2] Rots, J.G., Blaauwendraad, J., Hölscher, P., & Van Staalduinen, P.C. (2016). *Validatieonderzoek rapporten Arcadis 'Schade buiten de Contour' - Fase 1*. Delft: TU Delft.
- [3] Kamp, H.G.J. (2016, augustus 18). Validatie onderzoek Arcadis 'schademeldingen buiten de contour'. Ministerie van Economische Zaken.
- [4] Borsje, H., & Richemont, S. (2011). *Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade – versie 2*. Delft: TNO.
- [5] Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (KCAF). (2012). *Bomen zijn soms een gevaar voor de fundering en riolering*.
- [6] Building Research Establishment (BRE). (1995). *Assessment of damage in low-rise buildings*. BRE digest 251.
- [7] Victorian Building Commission (2007). *Guide to standards and tolerances*. Melbourne.
- [8] TBA (2009). *Manual 7 Design Clay Masonry for Serviceability*.
- [9] Martens, D.R.W. (2016). *Scheurvorming bij metselwerk (1) Zijn scheuren zorgwekkend?*. Cement. (4) 2016. pp. 38-41.
- [10] Dost, B., Caccavale, M., Eck, T. van, en Kraaijpoel, D. (2013). Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen Area (Version 0). KNMI, December 2013. KNMI Report.
- [11] Beyer, K. and Bommer, J.J. (2006). Relationships between Median Values and Aleatory Variabilities for Different Definitions of the Horizontal Component of Motion. Bull. Seismol. Soc. Am., 96(4). pp. 1512-1522.
- [12] Julian J. Bommer, et al. (2017). *Summary of Groningen V4 Ground-Motion Model*. Unpublished report.
- [13] Waarts, P.H. (TNO Bouw) en Ostendorf, C.J. (Cauberg-Huygen) (2006). *Schade aan gebouwen, Deel A uit de Meet- en beoordelingsrichtlijn: Trillingen*. CUR-SBR.
- [11] Bommer, J.J., B. Dost, B. Edwards, P.J. Stafford, J. van Elk, D. Doornhof and M. Ntinalexis (2016). Developing an Application-Specific Ground-Motion Model for Induced Seismicity, Bull. Seismol. Soc. Am., 106(1).

[12] Julian J Bommer, Peter J Stafford, Benjamin Edwards, Bernard Dost and Michail Ntinalexis (2015). Development of GMPEs for Response Spectral Accelerations and for Strong-Motion Durations (Version 1). Eds: Jan van Elk en Dirk Doornhof (NAM). 21 June 2015.

[16] I.A.E. de Vent. (2011). *'Prototype of a diagnostic decision support tool for structural damage in masonry'*.

[17] NEN (2015), Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 9998, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren. Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen.

[18] NAM (2015). Bodemdaling door gaswinning. NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP201511213444.

[19] NEDMAG industries (2014). Contourkaart bodemdaling 1993-2014 (in mm.) Contourkaarten 2014. 14 augustus 2014.

[20] H. Kratzsch. (1983). Mining Subsidence Engineering.



Schadeonderzoek Groningen Buitengebied

Bijlage I - Verzamelen van informatie

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

30 maart 2017

Project
Opdrachtgever

Schadeonderzoek Groningen Buitengebied
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Document
Status
Datum
Referentie

Bijlage I - Verzamelen van informatie
Definitief
30 maart 2017
ASN177-12/17-004.731

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

ASN177-12
ir. R.P.N. Pater
dr.ir. T.A.M. Salet

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

ir. M.J.A.M. Bruurs, dr.ir. T.A.M. Salet, ing. H.L.M. Laagland, ing. R.A.R. Nelissen, ir.drs.
R.E.P. de Nijs, ir. R.P.N. Pater, mw. I.H. Phernambucq MSc, ir. S.J. Scheltens, dr.ir. S. Slob,
ir. E.J. Vlijm, ir. T.H. van Wee
ir. E.J. Vlijm, ir. T.H. van Wee, ing. H.L.M. Laagland, ir.drs. R.E.P. de Nijs,
ir. F. Besseling, ing. P.A.C. Slegt
ir. R.P.N. Pater

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Informatie verzamelen, de eerste stap van de PCA	1
1.2	Welke informatie is verzameld en op welke manier?	2
1.2.1	Schadekenmerken	3
1.2.2	Gebouwenkenmerken	3
1.2.3	Omgevingskenmerken	3
2	OVERZICHT MOGELIJKE SCHADEOORZAKEN	7
2.1	Belastingen	8
2.1.1	Geen overbelasting; onvoldoende sterkte of stijfheid	8
2.1.2	Overbelasting vanuit gebruik	8
2.1.3	Overbelasting door trillingen	9
2.1.4	Incidentele overbelasting	9
2.2	Vervormingen	9
2.2.1	Verhinderde vervormingen	9
2.2.2	Opgelegde vervormingen	10
2.3	Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	10
2.3.1	Autonome zetting	10
2.3.2	Verandering van de belasting op de ondergrond	10
2.3.3	Verandering in de ondergrond	11
2.4	‘Geen schade’	11
3	INSPECTIE VAN DE WONING	12
3.1	Inspectie	12
3.1.1	Uitrusting inspecteur	12
3.1.2	Inspectieonderdelen	13
3.2	Controle en toetsing door W+B en de bewoner	14
3.2.1	Toetsing	15
3.2.2	Reactie bewoner	15
3.2.3	Gereed voor beoordeling	15
3.3	Resultaat	15
3.4	Inspectievragenlijst	17
4	BUREAUSTUDIE	35

4.1	Algemeen	35
4.2	Verkeer	35
4.2.1	Doel	35
4.2.2	Methode	35
4.2.3	Resultaat	47
4.3	Bodemdaling door diepe delfstofwinning	47
4.3.1	Doel	47
4.3.2	Methode	47
4.3.3	Resultaat	49
4.4	Bodembeweging ondergrondse gasopslag UGS Norg	51
4.4.1	Doel	51
4.4.2	Methode	52
4.4.3	Resultaat	52
4.4.4	Referenties	62
4.5	Bodemdaling ondiepe ondergrond	62
4.5.1	Doel	62
4.5.2	Methode	62
4.5.3	Resultaat	67
4.5.4	Referenties	67
4.5.5	Grafische weergave berekeningsresultaten zettingen	68
4.6	Grondwaterstand	75
4.6.1	Doel	75
4.6.2	Methode	75
4.6.3	Resultaat	82
4.6.4	Referenties	90
4.7	Aardbevingen	90
4.7.1	Introductie	90
4.7.2	GMPE's ontwikkeld voor Groningen	92
4.7.3	Versie 0 GMPE	93
4.7.4	Versie 1 GMPE	93
4.7.5	Versie 2 GMPE	94
4.7.6	Versie 3 en Versie 4 GMPE	95
4.7.7	Keuze voor het gebruik van GMPE	95
4.7.8	Onzekerheden	96
4.7.9	Definitie van de gehanteerde Versie 0 GMPE	96
4.7.10	Definitie van de gehanteerde Versie 1 GMPE	98
4.7.11	Definitie van de gehanteerde Versie 4 GMPE	99
4.7.12	Correctie voor het geometrisch gemiddelde	100
4.7.13	Invoergegevens	111
4.7.14	KNMI aardbevingscatalogus	111
4.7.15	Invloed van de grondgesteldheid	112
4.7.16	Vergelijking van de berekende aardbevingbelasting met meetwaarden	113
4.7.17	Resultaten	129
4.7.18	Referenties	130
4.8	Bouwactiviteiten	131
4.8.1	Doel	131
4.8.2	Methode	131
4.8.3	Resultaat	132

4.9	Bouwactiviteiten rondom UGS Norg	133
4.9.1	Doel	133
4.9.2	Methode	133
4.9.3	Bouwactiviteiten	133
4.9.4	Resultaat	134
4.9.5	Referenties	135
4.10	Industriële activiteiten	135
4.10.1	Doel	135
4.10.2	Methode	136
4.10.3	Resultaat	136
4.11	Achtergrondruis	136
4.11.1	Doel	136
4.11.2	Methode	136
4.11.3	Resultaat	141
4.12	Bomen	145
4.12.1	Doel	145
4.12.2	Methode	145
4.12.3	Resultaat	145
5	AANBEVELINGEN	146
	Laatste pagina	148

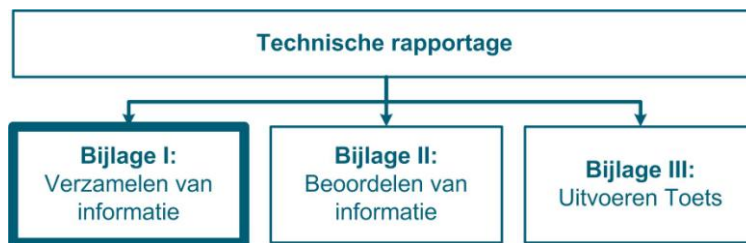
1

INLEIDING

1.1 Informatie verzamelen, de eerste stap van de PCA

In opdracht van NAM is een onderzoek uitgevoerd met als doel het achterhalen van de oorzaak of oorzaken van schade(s) aan gebouwen in het buitengebied. Het onderzoek is uitgevoerd met een methodiek die wordt geduid als 'Presumable Cause Analysis' (PCA). Voorliggende bijlage beschrijft de eerste stap van de drie stappen van de PCA-methodiek: het verzamelen van informatie (zie afbeelding 1.1).

Afbeelding 1.1 Documentstructuur, bijlage I verzamelen van Informatie



Cruciaal voor het toepassen van de PCA-methodiek is de kwaliteit van deze verzamelde informatie. Er worden drie aggregatieniveaus onderscheiden (zie afbeelding 1.2):

- schade;
- gebouw;
- omgeving.

Afbeelding 1.2 Verzamelen van informatie



1.2 Welke informatie is verzameld en op welke manier?

Op basis van het TNO rapport, opgesteld door Borsje & Richemont, is een overzicht opgesteld met mogelijke oorzaken van schades aan gebouwen. Dit overzicht is nader aangevuld met de schadeoorzaak bomen. In dit overzicht worden schades aan gebouwen onderverdeeld in vijf type schadeoorzaken: A) belastingen, B) vervormingen, C) Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond, D) geen schade en E) onbekend. In **hoofdstuk 2** zijn deze mogelijke schadeoorzaken nader toegelicht. Op basis van dit overzicht van mogelijke schadeoorzaken is vastgesteld welke informatie relevant is om te verzamelen.

Deze informatie is vervolgens op een systematische wijze verzameld middels een inspectiebezoek en een bureaustudie:

- een (inspectie)bezoek aan ieder adres waar schade is gemeld (**hoofdstuk 3**). Het bezoek bestaat uit een interview met de bewoner en een inspectie van het gebouw en de omgeving. De inspectie betreft een systematische visuele inspectie (SVI), waarin op een systematische vooraf vastgelegde methode de visuele schadekenmerken, gebouwkenmerken en omgevingskenmerken worden vastgelegd;
- een bureaustudie naar omgevingskenmerken (**hoofdstuk 4**).

In onderstaande tabel is weergegeven welke informatie op welke wijze is verzameld en waar deze informatie terug te vinden is in voorliggende bijlage. De opgehaalde informatie is onder de tabel samengevat voor de onderdelen schadekenmerken, gebouwkenmerken en omgevingskenmerken.

Tabel 1.1 Overzicht opgehaalde informatie

Informatie	Inspectie (hoofdstuk 3)	Bureauonderzoek (hoofdstuk 4)
SCHADEKENMERKEN		
plaats van de schade	X	
vorm van de schade	X	
overige kenmerken van de schade	X	
foto's van de schade	X	
GEBOUWKENMERKEN		
basisgegevens	X	X
bouwkundige wijzigingen	X	X
historische gegevens	X	
historische gegevens schade	X	
OMGEVINGSKENMERKEN		
verkeer	X	X
bodemdaling als gevolg van diepe delfstofwinning		X
bodemdaling als gevolg van autonome bodemprocessen		X
grondwaterstand	X	X
aardbevingen		X
bouwactiviteiten	X	X
industriële activiteiten	X	X
achtergrondruis		X
bomen	X	X

1.2.1 Schadekenmerken

De schadekenmerken zijn geïnventariseerd tijdens het inspectiebezoek. Samen met de bewoner worden de schades langsgelopen en wordt informatie verzameld over het ontstaan van de schades. Ook de schades die niet door de bewoner zijn gemeld worden vastgelegd. Deze informatie wordt door middel van foto's en een verslag vastgelegd. Een beperking van de SVI is dat enkel zichtbare kenmerken vastgelegd worden. Hierdoor wordt de overlast voor de bewoner beperkt en de veiligheid van de inspecteur geborgd, maar blijven niet zichtbare kenmerken onbekend.

1.2.2 Gebouwkenmerken

De gebouwkenmerken zijn geïnventariseerd door middel van het inspectiebezoek en op basis van bureauonderzoek.

Inspectiebezoek

In het interview met de bewoner (tijdens het inspectiebezoek) zijn door de inspecteur basisgegevens van het gebouw verzameld en is informatie vastgelegd over de historie van het gebouw zoals verbouwingen. Daarnaast is met behulp van een tekenapplicatie op de tablet het gebouw per bouwlaag in kaart gebracht op een globale plattegrond.

Bureaustudie

In de bureaustudie zijn kenmerken van het gebouw in beeld gebracht zoals het bouwjaar op basis van Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) en uitbreidingen op basis van jaarlijkse luchtfoto's. Voor enkele gebouwen is een bouwdoossier bij de gemeente opgevraagd.

1.2.3 Omgevingskenmerken

Voor het verzamelen van omgevingsinformatie is gebruik gemaakt van het inspectiebezoek en een bureaustudie. De omgevingsinformatie is systematisch vertaald naar omgevingskenmerken per individuele locatie en vervolgens gedigitaliseerd. Per woning is locatiespecifieke informatie verzameld over verkeer, bodemdaling diepe ondergrond, bodemdaling ondiepe ondergrond, grondwaterstand, aardbevingen, bouwactiviteiten, industriële activiteiten, achtergrondruis en bomen. Elk van deze omgevingskenmerken is hieronder nader toegelicht, waarbij onderscheid is gemaakt tussen opgehaalde informatie uit het inspectiebezoek en vanuit de bureaustudie.

Verkeer (paragraaf 4.2)

Verkeersactiviteiten over de weg en het spoor kunnen trillingen veroorzaken. Om te beoordelen of de schades aan woningen het gevolg zijn van trillingen veroorzaakt door verkeersactiviteiten, is informatie verzameld over onderstaande maatgevende verkeerssituaties:

- inspectiebezoek: tijdens het inspectiebezoek zijn onderstaande kenmerken in beeld gebracht:
 - de afstand tot aan een drempel;
 - het type bestrating (asfalt, bestrating, of grind/zandweg);
 - de wegcategorie, gebaseerd op snelheidslimieten;
- bureauonderzoek: op basis van BAG-gegevens, spoor- en weggegevens en Google Earth zijn per woning de volgende kenmerken in beeld gebracht:
 - de afstand tot aan het dichtstbijgelegen spoor;
 - de afstand tot aan de maatgevende weg;
 - de nabijheid van een buslijn.

Bodemdaling

Bodemdalingen in het projectgebied kunnen leiden tot schade aan gebouwen. Binnen het projectgebied zijn er verschillende oorzaken mogelijk voor deze bodemdalingen:

- 1 bodemdalingen door wijzigingen in de diepe ondergrond, zoals delfstofwinning;
- 2 bodemdalingen door zettingen in de ondiepe ondergrond, zoals het aanbrengen van belastingen;
- 3 bodemdalingen door veranderingen in de grondwaterstanden;
- 4 bodemdalingen door trillingen op ondergrond, zoals verweking en verdichting van los gepakt zand.

Het verzamelen van informatie over mogelijke oorzaken 1 t/m 3 is hieronder per mogelijk oorzaak toegelicht. De benodigde informatie voor punt 4, bodemdaling door trilling op ondergrond, is gelijk aan de informatie opgenomen onder punt 1 en 2 en is daarom niet expliciet opgenomen.

Bodemdaling diepe ondergrond (paragraaf 4.3)

Delfstofwinning (gas- en zoutwinning) kan leiden tot bodemdalingen met als gevolg schade aan gebouwen. In de bureaustudie is locatiespecifieke informatie verzameld om een beeld te krijgen van de verwachte bodemdaling als gevolg van delfstofwinning. De volgende gegevens zijn verzameld:

- bodemopbouw:
 - op basis van het Actueel Hoogtebestand Nederland is per locatie een kaart gegenereerd die lokale maaiveldverschillen inzichtelijk maakt (bijlage II.6);
- bodemdaling:
 - bodemdalingskaarten opgesteld door TNO voor de bodemdaling ten gevolge van veranderingen in de diepe ondergrond;
 - bodemdalingskaarten opgesteld door Deltares met de prognose van de bodemdaling ten gevolge van zoutwinning in de regio Veendam;
 - contourkaart van de bodemdaling in 2013 op basis van ruimte-tijd analyse van waterpasdata;
 - bodemdaling in de periode 1964-2013 van stabiele hoogtemeetpunten (bijlage II.6).

Bodemdaling ondiepe ondergrond (paragraaf 4.5)

Naast bodemdaling in de diepe ondergrond, kan er ook bodemdaling in de ondiepe ondergrond ontstaan, welke kan leiden tot schade aan gebouwen. Bodemdaling in de ondiepe ondergrond bestaat uit zettingreacties als gevolg van een belasting. In de bureaustudie is locatiespecifiek informatie verzameld om een beeld te krijgen van de verwachte bodemdaling als gevolg van zettingen in de ondiepe ondergrond. De volgende gegevens zijn verzameld:

- op basis van het GeoTOP 3D-model ontwikkeld door TNO voor Noord Nederland is per locatie een verwachte opbouw van de bovenste 15 m van de ondergrond gegenereerd middels een aantal basis bodemprofielen, waarmee het project gebied vervolgens is gecategoriseerd. De definiëring van de bodemprofielen is tot stand gekomen door dwarsdoorsneden te nemen uit het GeoTOP model;
- bodemkaarten met lithoklasse en bodemtype zijn verzameld;
- zettingsgedrag: per woning is het lokale zettingsgedrag bepaald met behulp van het software pakket van Deltares (Dsettlement versie 16.1) en de opgehaalde bodeminformatie uit het GeoTOP model, lokale sonderingen en boringen en labresultaten van grondmonsters. De resultaten van de analyse zijn tevens vergeleken met de zettingsprognose van Deltares, in geval van een bovenbelasting van 1 m droog zand;
- tijdens het bezoek wordt aandacht besteedt aan het vastleggen van eventuele wegspoelingen en wegzakkingen van grond rondom het gebouw.

Bodemdaling door veranderingen grondwaterstand (paragraaf 4.6)

Veranderingen in grondwaterstanden kunnen leiden tot maaiveld dalen en daarmee schade aan woningen. Per woning is daarom de lokale geohydrologie in beeld gebracht, specifiek de grond- en oppervlaktewaterstanden. Hierbij is gekozen voor een pragmatische manier van informatie verzamelen in plaats van gebruik te maken veldonderzoek of een tijdsafhankelijk grondwatermodel. Dit omdat er in korte tijd een grote hoeveelheid informatie verzameld moet worden en omdat de methodiek reproduceerbaar moet zijn voor andere woningen. De verzamelde informatie is hieronder samengevat:

- peilbuizen in Dino-loket: om een beeld te vormen van de grondwaterstand en het historische verloop ervan zijn per woning de drie dichtstbijzijnde peilbuizen beschikbaar in Dino-Loket geraadpleegd. De metingen van filter 1 uit deze peilbuizen zijn meegenomen als de peilbuis meer dan tien metingen heeft na 1 januari 2005. Op basis van deze peilbuis is per locatie een Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand

- (GHG) en Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) bepaald waarna er ook nog een trendanalyse is uitgevoerd voor peilbuizen met minimaal 12 metingen per jaar voor periodes van 10 jaar;
- lithostratigrafische kaarten van TNO: Om te kunnen beoordelen of de metingen in de peilbuizen representatief is voor de woning, is het bodemtype van de peilbuis vergeleken met het bodemtype van de woning, op basis van de lithostratigrafische kaarten;
- daarnaast zijn bij waterschappen peilgegevens opgevraagd. Voor het Hunze en Aa's zijn deze gegevens voor de periode 2001-2016 verkregen. Voor het waterschap Noorderzijlvest zijn de peilgegevens enkel voor 2016 verkregen;
- GeoTOP model: de aanwezigheid van Basisveen, Hollandveen en Griendtsveen is in beeld gebracht door middel van het GeoTOP model.

Aardbevingen (paragraaf 4.7)

Trillingen als het gevolg van aardbevingen kunnen leiden tot schade aan gebouwen. Door de aardbevingbelasting uit het verleden naast de gemelde schades te leggen, wordt onderzocht of er een relatie is tussen beiden. Hiervoor is de volgende informatie verzameld en opgesteld:

- verschillende aardbevingbelastingen (PGV, PGA en Sa waarden) ter plaatse van de woningen zijn bepaald. De theoretisch opgetreden aardbevingbelasting wordt berekend op basis van zogenaamde Ground Motion Prediction Equations (GMPE's). De GMPE's Versie 0 en Versie 1 die speciaal voor de geïnduceerde Groningen aardbevingen zijn ontwikkeld zijn hiervoor gebruikt;
- het uitgangspunt van de berekening van de aardbevingsbelastingen zijn alle tot nu toe geregistreerde aardbevingen uit de aardbevingcatalogus van het KNMI;
- in GMPE Versie 0 wordt per locatie gebruik gemaakt van de $V_{s,30}$ waarde (de gemiddelde schuifgolfsnelheid in de bovenste 30 m) om de invloed van de ondiepe ondergrond mee te nemen in de bepaling;
- trillingsmetingen van het KNMI en het TNO sensor netwerk zijn gebruikt om omrekenfactoren van PGV naar VTOP te bepalen voor de toetsing aan de SBR deel A;
- de trillingsmetingen zijn ook gebruikt om de theoretisch bepaalde aardbevingsbelastingen mee te vergelijken.

Bouwactiviteiten (paragraaf 4.8)

Bouwactiviteiten zoals heien, intrillen van damwanden, het uitgraven of ophogen van het maaiveld kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de bouwactiviteit. Per woning is de volgende informatie verzameld:

- van alle gebouwen in de omgeving is op basis van de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) het bouwjaar bepaald;
- historische hoge kwaliteit luchtfoto's (2011-2015) zijn verzameld die veranderingen in omgeving kunnen tonen;
- tijdens het bezoek is informatie verzameld over bouwactiviteiten in de omgeving en is gevraagd of er trillingen ten gevolge van bouwactiviteiten zijn ervaren door de bewoner;
- op basis van CUR166 zijn verwachte trillingsniveaus bij bepaalde bouwactiviteiten bepaald.

Industriële activiteiten (paragraaf 4.10)

Industriële activiteiten kunnen leiden tot schade aan gebouwen door trillingen als gevolg van industriële activiteiten of boor- en winningactiviteiten. Per woning is de volgende informatie verzameld:

- historische hoge kwaliteit luchtfoto's (2011-2015) zijn verzameld die veranderingen van gebouwen in de omgeving met een industrie functie kunnen tonen;
- tijdens het bezoek is informatie verzameld over industriële activiteiten in de omgeving en is gevraagd of er trillingen ten gevolge van industriële activiteiten zijn ervaren door de bewoner.

Achtergrondruis (paragraaf 0)

Achtergrondruis is de verzamelterm voor trillingen die niet door aardbevingen veroorzaakt worden.

- op basis van een analyse van TNO-gebouwsensoren is zowel in generieke zin als voor verschillende bouwtypen een trillingssnelheid bepaald die door de normale beweging van de ondergrond door gebruik en seismische activiteit verwacht kan worden.

Bomen (paragraaf 4.12)

Bomen in de nabijheid van een gebouw kunnen leiden tot schade aan dat gebouw door onder andere wortelgroei en/of de onttrekking van grondwater. Per woning is de aanwezigheid van bomen in kaart gebracht:

- tijdens het inspectiebezoek is informatie verzameld over de aanwezigheid van bomen en de afstand tot de woning;
- historische hoge kwaliteit luchtfoto's (2011-2015) zijn verzameld die de aanwezigheid van bomen in de omgeving weergeven.

OVERZICHT MOGELIJKE SCHADEOORZAKEN

In dit hoofdstuk zijn de mogelijke schadeoorzaken in het buitengebied beschreven.

Bouwkundige schade aan constructies ontstaat als de spanning in een materiaal gelijk worden aan de sterkte van het materiaal. De redenen waarom deze spanningen ontstaan zijn door Borsje & Richemont onderverdeeld in drie groepen:

- belastingen;
- vervormingen;
- ongelijkmatige zetting in de ondergrond.

Deze beschrijving van de mogelijke schadeoorzaken is grotendeels overgenomen uit het TNO rapport opgesteld door Borsje & Richemont. Onder subcategorie niveau één 'Verandering in de ondergrond' worden voor dit onderzoek op subcategorie niveau twee, ten opzichte van Borsje & Richemont de mogelijke schadeoorzaken 'Bomen' en 'Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' toegevoegd. De mogelijke schadeoorzaak 'Bomen' is toegevoegd naar aanleiding van '*Bomen zijn soms een gevaar voor de fundering en riolering*' van KCAF. De mogelijke schadeoorzaak 'Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' is toegevoegd omdat eigenaren aangaven te vermoeden dat dit de oorzaak van de door hun gemelde schade was. Ook is bij subcategorie niveau één 'geen overbelasting: onvoldoende sterkte' het woord 'stijfheid' toegevoegd om schades in deze categorie niet alleen gerelateerd kunnen zijn aan sterkte maar ook aan stijfheid. Daarnaast worden de hoofdcategorieën D. Geen schade toegevoegd.

Afbeelding 2.1 Mogelijke schadeoorzaken

Groepen van oorzaken	Oorzaken	Specifieke oorzaken
A. belastingen	A.1 geen overbelasting; onvoldoende sterkte/stijfheid	A.1.1 initieel (element met onvoldoende sterkte of stijfheid reeds vanaf bouw aanwezig)
		A.1.2 verbouwing/uitbreiding
		A.1.3 veroudering/aantasting
	A.2 overbelasting vanuit gebruik	A.2.1 in normale gebruikssituatie
		A.2.2 veranderend gebruik
		A.2.3 verbouwing/uitbreiding
	A.3 overbelasting door trillingen	A.3.1 wegverkeer
		A.3.2 treinverkeer
		A.3.3 bouwactiviteiten in de omgeving
		A.3.4 industriële activiteiten
		A.3.5 aardbevingen
	A.4 incidentele overbelasting	A.4.1 impact van voorwerpen/materieel
		A.4.2 explosie
		A.4.3 regen-/sneeuwval
		A.4.4 storm
		A.4.5 blikseminslag
B. vervormingen	B.1 verhinderde vervormingen	B.1.1 initieel
		B.1.2 verbouwing/uitbreiding
		B.1.3 veroudering/aantasting
	B.2 opgelegde vervormingen	B.2.1 initieel
		B.2.2 verbouwing/uitbreiding

Groepen van oorzaken	Oorzaken	Specifieke oorzaken
		B.2.3 corrosie metalen onderdelen
C. ongelijke zettingen in de ondergrond	C.1 autonome zetting	C.1.1 gelijkblijvende belasting
	C.2 verandering van de belasting op de ondergrond	C.2.1 verbouwing/uitbreiding
		C.2.2 bebouwing
		C.2.3 ophoging
		C.2.4 ontgraving
		C.2.5 weglichaam
		C.2.6 spoorlichaam
	C.3 verandering in de ondergrond	C.3.1 lokale wijzigingen grondwaterstand
		C.3.2 wijziging grondwaterstand door (bouw) werkzaamheden
		C.3.3 wijziging grondwaterstand door peilbesluit
		C.3.4 trillingen door wegverkeer
		C.3.5 trillingen door spoorverkeer
		C.3.6 trillingen door (bouw) werkzaamheden
		C.3.7 aardbevingen
		C.3.8. wijziging grondwaterstand door bomen
		C.3.9 bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten
D. geen schade	-	-

2.1 Belastingen

2.1.1 Geen overbelasting; onvoldoende sterkte of stijfheid

Indien scheuren zijn ontstaan als gevolg van onvoldoende sterkte of stijfheid van een constructieonderdeel, moet er sprake zijn van een relatie tussen de scheuren en de krachtsafdracht in het betreffende constructieonderdeel. Om deze relatie te kunnen vaststellen wordt nagegaan eerst van het betreffende constructieonderdeel welke belastingen daarop werken en daarna hoe die belastingen worden doorgegeven. Vervolgens wordt nagegaan of de betreffende scheuren samenvallen met locaties waar als gevolg van die krachtsafdracht sprake is van (buig)trekspanningen. Daarna wordt nagegaan of sprake is van onvoldoende sterkte of stijfheid van het constructieonderdeel (in relatie tot de ontwerpsterkte) of dat sprake is van een overbelasting (in relatie tot de ontwerpbelasting; zie ook 'Overbelasting vanuit gebruik').

Indien daadwerkelijk sprake is van onvoldoende sterkte of stijfheid wordt nagegaan of er vanaf de bouw al sprake is geweest van onvoldoende sterkte of stijfheid ('initieel onvoldoende sterkte/stijfheid'), of de constructie verzwakt is als gevolg van een verbouwing/uitbreiding of dat er sprake is van sterkteverlies als gevolg van veroudering/aantasting.

2.1.2 Overbelasting vanuit gebruik

Voor scheuren die zijn ontstaan als gevolg van overbelasting vanuit het gebruik, moet eenzelfde analyse worden uitgevoerd als omschreven in voorgaande paragraaf 'Onvoldoende sterkte'.

Indien daadwerkelijk sprake is van overbelasting vanuit het gebruik, wordt nagegaan of er sprake is (geweest) van een belasting die hoger is dan de ontwerpbelasting ('overbelasting in normale gebruikssituatie'), of er sprake is van een overbelasting als gevolg van een veranderd gebruik van (ruimten in) het gebouw of dat er sprake is van een overbelasting die is ontstaan als gevolg van een verbouwing/uitbreiding.

2.1.3 Overbelasting door trillingen

Voor scheuren die zijn ontstaan als gevolg van een overbelasting door trillingen geldt dat dergelijke scheuren veelal moeilijk zijn te onderscheiden van scheuren als gevolg van andere oorzaken. Daarom wordt voor de beoordeling van scheurvorming door trillingen veelal gebruik gemaakt van trillingsmetingen op het gebouw zelf. De meetmethode voor het uitvoeren van dergelijke metingen is uitgewerkt in de SBR-richtlijn A. De resultaten van die metingen worden vervolgens getoetst op basis van diezelfde richtlijn. Bij het voldoen aan de grenswaarden zoals genoemd in de SBR-richtlijn is het niet waarschijnlijk dat de scheurvorming is veroorzaakt door de trillingen. Anderzijds betekent het overschrijden van de grenswaarden van de SBR-richtlijn zeker nog niet dat de scheurvorming dan met grote zekerheid veroorzaakt zal zijn door de trillingen.

In het onderzoeksgebied worden door TNO trillingsmetingen uitgevoerd op gebouw niveau. Door het KNMI op gebiedsniveau.

2.1.4 Incidentele overbelasting

Incidentele overbelasting kan ontstaan als gevolg van impact van voorwerpen, een explosie of een blikseminslag. De scheurvorming die als gevolg daarvan ontstaat, is specifiek gekoppeld aan de plaats waar de belasting heeft plaatsgevonden. Tevens resulteert een dergelijke overbelasting veelal in schade in de vorm van plaatselijke verbrijzeling van constructieonderdelen.

Indien scheuren zijn ontstaan als gevolg van incidentele overbelasting door regen en/of sneeuwval, moet er sprake zijn van een relatie tussen de scheuren en een overbelasting op het dak. Om deze relatie te kunnen vaststellen wordt eerst nagegaan op welke wijze dergelijke belasting op het dak wordt afgedragen. Vervolgens wordt nagegaan of de betreffende scheuren samenvallen met locaties waar als gevolg van die belastingafdracht sprake is van (buig)trekspanningen.

Indien scheuren zijn ontstaan als gevolg van incidentele overbelasting door storm, moet er sprake zijn van een relatie tussen de scheuren en een overbelasting op het dak en/of de gevel als gevolg van een storm. Om deze relatie te kunnen vaststellen wordt eerst nagegaan op welke wijze dergelijke belasting op het dak en de gevel wordt afgedragen. Vervolgens wordt nagegaan of de betreffende scheuren samenvallen met locaties waar als gevolg van die belastingafdracht sprake is van (buig)trekspanningen.

2.2 Vervormingen

2.2.1 Verhinderde vervormingen

Voor poreuze bouwmaterialen, zoals metselwerk, hout en beton, geldt dat deze als gevolg van vochtopname verlengen. Dit gebeurt zowel wanneer de materialen direct in contact komen met water als wanneer de relatieve vochtigheid in de omgeving hoger wordt dan de relatieve vochtigheid waarmee het vochtgehalte in het materiaal op dat moment in evenwicht is. Evenzo geldt dat het uitdrogen van dergelijke materialen resulteert in een verkorting ervan. Verder geldt voor alle bouwmaterialen dat deze bij opwarming verlengen en bij afkoeling verkorten.

Zowel voor vervormingen als gevolg van vochtinvloeden als voor vervormingen als gevolg van temperatuursveranderingen geldt dat deze veelal verschillen per constructiemateriaal. Daarnaast geldt dat met name de buitenschil van gebouwen (de gevel en het dak) wordt blootgesteld aan grotere vocht- en temperatuursinvloeden in vergelijking tot de volledig binnen gesitueerde onderdelen.

Indien de verkorting van een constructieonderdeel, als gevolg van uitdroging en/of afkoeling, (gedeeltelijk) wordt verhinderd, resulteert dit in trekspanningen in het betreffende constructieonderdeel. Indien deze trekspanningen hoger worden dan de treksterkte van het betreffende onderdeel, ontstaat scheurvorming.

Het voorgaande betekent dat bij scheuren als gevolg van verhinderde vervormingen altijd sprake moet zijn van een verkorting van het betreffende constructieonderdeel én van een verhindering van die verkorting. Indien daadwerkelijk sprake is van verhinderde vervormingen, wordt nagegaan of er sinds de bouw sprake is (geweest) van verhinderde vervormingen (initieel) of pas na een verbouwing/uitbreiding. Verder wordt nagegaan of veroudering/aantasting van toegepaste materialen een rol gespeeld heeft.

2.2.2 Opgelegde vervormingen

Op een enigszins vergelijkbare wijze als in voorgaande paragraaf is beschreven, kunnen vocht- en temperatuurvervormingen in constructieonderdelen ook resulteren in opgelegde vervormingen aan andere onderdelen. Dit kan resulteren in trekspanningen in die materialen. Indien deze trekspanningen hoger worden dan de treksterkte van het betreffende onderdeel, ontstaat scheurvorming. Het voorgaande betekent dat bij scheuren als gevolg van opgelegde vervormingen altijd sprake moet zijn van een vervorming van een aansluitend (constructie)onderdeel ten opzichte van het betreffende constructieonderdeel.

Het voorgaande kan optreden als gevolg van vocht- en/of temperatuursinvloeden en kan optreden bij corrosie van metalen onderdelen, die zijn opgenomen in de betreffende onderdelen of daaraan aansluiten.

2.3 Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond

2.3.1 Autonome zetting

Autonome zetting heeft alleen effect op een 'ondiepe' fundering, dus indien er geen sprake is van een fundering op palen tot in de draagkrachtige laag. De gevoeligheid van de ondergrond voor autonome zetting kan worden vastgesteld aan de hand van informatie over de opbouw van de ondergrond en de grondwaterstand.

De belastingen die door een gebouw op de ondergrond worden uitgeoefend, resulteren in zettingen in de ondergrond. De grootte van deze zettingen is zowel afhankelijk van de draagkracht van de ondergrond als van de belasting op de ondergrond. Omdat zowel de opbouw van de ondergrond als de belasting op de ondergrond veelal variëren over het oppervlak van een gebouw, kunnen in de loop van de tijd verschilzettingen onder een gebouw ontstaan. Dergelijke verschilzettingen resulteren in vervormingen in het gebouw, die vervolgens resulteren in trekspanningen en ten slotte kunnen resulteren in scheurvorming.

Een specifiek aspect dat hierbij in beschouwing genomen dient te worden is de aanwezig van kelder. Vaak zijn kelders slechts onder een deel van een gebouw aanwezig en is er sprake van een verschilzetting tussen het onderkelderde, en dus dieper gefundeerde, deel van het gebouw en de overige delen van het gebouw.

Bij scheurvorming als gevolg van autonome zetting moet er altijd sprake zijn van verschilzettingen over het oppervlak van het gebouw. Daarnaast dient er een relatie te zijn tussen de locaties van de scheuren en de locaties waar als gevolg van de verschilzettingen trekspanningen in het gebouw ontstaan.

2.3.2 Verandering van de belasting op de ondergrond

Verschilzettingen over het oppervlak van een gebouw kunnen ook ontstaan als er sprake is van een inhomogene verandering van de belasting op de ondergrond rondom het gebouw. Dergelijke veranderingen kunnen ontstaan door een verbouwing/aanbouw, door bebouwing in de omgeving, door het aanbrengen van een weg-/spoorlichaam en door ophogingen en ontgravingen.

Bij scheurvorming als gevolg van een verandering van de belasting op de ondergrond moet er altijd sprake zijn van verschilzettingen over het oppervlak van het gebouw. Daarnaast dient er een relatie te zijn tussen de

locaties van de scheuren en de locaties waar als gevolg van de verschilzettingen trekspanningen in het gebouw ontstaan. Ten slotte dient er sprake te zijn van een daadwerkelijke wijziging in (het gebruik van) de omgeving rondom het gebouw.

2.3.3 Verandering in de ondergrond

Vershilzettingen over het oppervlak van een gebouw kunnen ook ontstaan als er sprake is van een verandering in de ondergrond onder het gebouw. Dergelijke veranderingen kunnen ontstaan als gevolg van wijzigingen in de grondwaterstand en als gevolg van verdichting van de ondergrond als gevolg van trillingen.

Bij scheurvorming als gevolg van een verandering van de eigenschappen van de ondergrond moet er altijd sprake zijn van verschilzettingen over het oppervlak van het gebouw. Daarnaast dient er een relatie te zijn tussen de locaties van de scheuren en de locaties waar als gevolg van de verschilzettingen trekspanningen in het gebouw ontstaan. Ten slotte dient er sprake te zijn van een daadwerkelijke wijziging in de ondergrond onder het gebouw.

2.4 'Geen schade'

In het onderzoek worden alleen schades aangeduid als ze het gevolg zijn van een oorzaak of oorzaken die zijn benoemd onder de categorieën belasting, vervorming, ongelijkmatige zettingen in de ondergrond en onbekend. De overige opgenomen schade valt onder de categorie 'geen schade'.

Voorbeelden van 'geen schade':

- incidentele breuk van een enkele steen;
- lekkage;
- slijtage;
- uitdroging van hout *;
- slecht uitgevoerd voegwerk;
- een bouwkundige naad tussen twee bouwonderdelen;
- et cetera.

Een schade valt niet onder de categorie 'Geen Schade' als deze schade een andere schade veroorzaakt. Bijvoorbeeld: een lekkage leidt tot zetting van een fundering. In dat geval valt de schade onder C3.1 lokale wijziging grondwaterstand.

* krimp valt onder de categorie B1.1.

INSPECTIE VAN DE WONING

Bij de inspectie van de woning wordt de informatie verzameld die relevant is voor de beoordeling van de schade. Tijdens de inspectie wordt door de inspecteur kenmerken van de omgeving, het gebouw en de schade opgenomen, zoals weergegeven in tabel 1.1. Het CVW verstrekt ongeveer 2 weken na de inspectie het verslag van de inspectie aan de bewoner. De bewoner kan reageren op het inspectieverslag en een enquête invullen.

3.1 Inspectie

Het verzamelen van informatie tijdens de inspectie verloopt volgens een vast protocol. Alle inspecteurs hebben, voorafgaand aan de inspecties, een werkinstructie gehad om ervoor te zorgen dat alle inspecties op vergelijkbare wijze worden uitgevoerd en dat de informatie over de omgeving, het gebouw en de schade volledig en eenduidig wordt geregistreerd. Die registratie gebeurt met een door Witteveen+Bos ontworpen inspectieapplicatie op een tablet, die gebaseerd is op het protocol en speciaal is ontwikkeld voor deze inspecties.

3.1.1 Uitrusting inspecteur

De inspecteur heeft voor het verzamelen van informatie een aantal middelen ter beschikking, zoals een tablet met de inspectie-app om de informatie te registreren, een camera om de omgeving, het gebouw, de bouwdelen en de schade vast te leggen en enkele hulpmiddelen om kenmerken van bouwdelen en schaden te kunnen opnemen, zoals een scheurwijdtemeter, een meetlint en een waterpas. De volledige lijst met hulpmiddelen tijdens de inspectie is weergegeven in tabel 3.1.

Tabel 3.1 Checklist uitrusting

Tablet	Camera	Gereedschap
hoesje	SD / eyefi kaart (code)	scheurwijdte meter
powerbank	extra batterij	schrijfblok met pen in map
auto oplader	oplader	meetlint
regenhoes	statief	digitale waterpas met laser afstandsmeter
digipen	hoesje	zaklamp
		zakmes
		werkinstructie
		werkschoenen
		pijlstickers

3.1.2 Inspectieonderdelen

Het verzamelen van informatie over de kenmerken van de omgeving, het gebouw en de schades is onder te verdelen in de volgende stappen:

- 1 voorbereiding;
- 2 interview met bewoner:
 - registreren eigendomstatus en historie van de kavel;
- 3 opname omgeving:
 - registreren van kenmerken van alle gebouwen op een adres;
 - registreren van kenmerken van de omgeving per gebouw;
- 4 opname gebouw (per adres kunnen meerdere gebouwen/woningen aanwezig zijn):
 - plattegronden van bouwlagen;
 - kenmerken en foto's van bouwdelen;
- 5 opname schade(s):
 - kenmerken en foto's van schade(s) per bouwdeel;
- 6 afsluiting.

1. Voorbereiding

Elke avond ontvangt elke inspecteur zijn schema voor de te inspecteren adressen van de volgende dag via de app op de tablet. Het adres en de naam van de bewoner zijn in de afspraak op de tablet te zien.

Daarnaast vindt voorafgaand aan de inspectie contact plaats met de bewonersbegeleider van het CVW.

2. Interview met de bewoner

De inspectie start met een korte kennismaking en een uitleg van de inspectie en schade afhandeling procedure. Vervolgens wordt gestart met het verzamelen van informatie. De bewonersbegeleider van CVW leidt dit deel van het gesprek als primair aanspreekpunt van de bewoner en de inspecteur registreert de antwoorden in de app. In het interviewdeel wordt de bewoner onder andere gevraagd naar de eigendomstatus en infrastructurele activiteiten die in het verleden in de omgeving zijn uitgevoerd, maar ook naar gebouwkenmerken zoals bouwjaar en bouwkundige ingrepen zoals een verbouwing. De volledige inspectievragenlijst is weergegeven in paragraaf 0. Tot slot wordt de bewoner in de gelegenheid gesteld om informatie als aantekening in het verslag toe te voegen of documenten op te sturen die relevant kunnen zijn voor de beoordeling van de schade, zoals een eerder schadeopnamerapport.

3. Opname omgeving

Tijdens de opname van de omgeving worden kenmerken van de directe omgeving vastgelegd met betrekking tot het verkeer, grondwater, bouwactiviteiten, industriële activiteiten en bomen. De volledige inspectievragenlijst is weergegeven in paragraaf 0. Naast het tekstueel registreren in de app (in de vorm van het invullen van de vragenlijst) zijn eveneens foto's van de omgeving toegevoegd.

Mogelijk zijn er meerdere gebouwen aanwezig op een adres. Omdat de directe omgeving op een kavel per gebouw kan verschillen, met name bij zeer grote kavels, worden alle gebouwen afzonderlijk meegenomen in de inspectie.

4. Opname gebouw

Bij de inspectie van een gebouw wordt het gehele gebouw opgenomen. Daarbij worden plattegronden van de bouwlagen gemaakt en bouwdelen en alle schades opgenomen.

Bouwlagen

Met een tekenapplicatie op de tablet wordt per bouwlaag een globale plattegrond getekend. De plattegronden worden samengesteld uit wanden en openingen en zijn uitsluitend informatief bedoeld om de locatie van bouwdelen en schades aan te geven. Er worden geen kenmerken en foto's aan de bouwlagen gekoppeld.

Bouwdelen

Elk bouwdeel waar schade in zit, wordt geregistreerd door de inspecteur. Daarnaast worden ook zoveel mogelijk de bouwdelen zonder schade geregistreerd. De volgende bouwdeeltyperingen worden onderscheiden:

- vloer;
- dak;
- binnenwand;
- woningscheidende wand;
- binnenzijde gevel;
- buitenzijde gevel;
- fundering.

De kenmerken die per bouwdeel worden geregistreerd zijn afhankelijk van de typering en betreffen onder andere de afmeting, het constructiesysteem, en de afwerking. Tot slot worden foto's gemaakt van het bouwdeel.

5. Opname schade(s)

Onder schade valt: scheuren, afspattingen, vervormingen/scheefstand en lekkages. Enkele zaken die niet onder schade vallen zijn:

- mechanische beschadiging (type: gat in de deur);
- bros voegwerk;
- gesloopte onderdelen;
- werkzaamheden die nog in uitvoering zijn, (type ontbrekende voeg);
- verkleuringen;
- schade door slijtage of gebruik;
- loszittend behang en andere gevel bekleding.

Aan de inspecteurs is meegegeven om bovenstaande uitgesloten situaties wel als schade op te nemen als de bewoner aangaaf daar belang bij te hebben.

Per schade wordt vermeld of deze volgens de bewoner onderdeel uitmaakt van de schademelding. De kenmerken die vervolgens per schade worden geregistreerd zijn afhankelijk van het type schade en betreffen onder andere de positie in het bouwdeel, de vorm en uiterlijk en ouderdomskenmerken. Tot slot zijn foto's gemaakt van de schade.

6. Afsluiting

De inspecteur toont aan het einde van de inspectie het resultaat aan de bewoner waarmee de bewoner in de gelegenheid wordt gesteld om de informatie aan te vullen of te corrigeren.

3.2 Controle en toetsing door W+B en de bewoner

De informatie over de omgeving, het gebouw en de schade die is verzameld tijdens de inspectie wordt getoetst op consistentie, kwaliteit en volledigheid (paragraaf 3.2.1). Vervolgens wordt die informatie vastgelegd in een inspectieverslag en aan de bewoner verstrekt. Daarmee wordt de bewoner in staat gesteld te reageren op het verslag (paragraaf 3.2.2). Opmerkingen van de bewoners worden inhoudelijk behandeld en kunnen resulteren in een aanpassing van het verslag of een aanvullende inspectie. In elk geval ontvangt de bewoner terugkoppeling op zijn of haar opmerkingen. Zodra de opmerkingen van de bewoner op het inspectieverslag zijn verwerkt, zijn de schades gereed om te worden beoordeeld door het Panel van deskundigen.

3.2.1 Toetsing

Alle dossiers waarbij met een inspectie informatie is verzameld, zijn getoetst op consistentie, kwaliteit en volledigheid. Die toetsing is per dossier steekproefsgewijs uitgevoerd op basis van een aantal vooraf vastgestelde criteria waaronder volledigheid van een ingevulde vragenlijst en de aanwezigheid van foto's van omgeving, gebouw, bouwdeel en schade.

Noodzakelijke correcties op basis van de toetsing zijn doorgevoerd door een correctieteam en teruggekoppeld aan de inspecteur om herhaling te voorkomen. Na toetsing en correctie is het dossier klaargezet voor publicatie. Na een eindtoets op hoofdzaken, wordt het dossier vrijgegeven. Na vrijgave wordt automatisch op basis van de verzamelde informatie een inspectieverslag gegenereerd en aan de bewoner verzonden.

3.2.2 Reactie bewoner

Het inspectieverslag wordt digitaal aan de bewoner verstrekt, of op aanvraag in hardcopy. Vanaf dat moment wordt de bewoner in staat gesteld te reageren op het verslag. Voor een reactie op het inspectieverslag wendt de bewoner zich tot de bewonersbegeleider van CVW. Als de bewoner geen opmerkingen op het verslag heeft dan krijgt het dossier de status 'bewoner geen opmerkingen'.

Opmerkingen van de bewoner worden door de bewonersbegeleider geregistreerd op een correctieformulier. Dit correctieformulier wordt aan Witteveen+Bos verstrekt. Witteveen+Bos behandelt elke opmerking inhoudelijk en reageert schriftelijk via het correctieformulier. De bewonersbegeleider koppelt de reactie van Witteveen+Bos vervolgens terug aan de bewoner. De reactie van Witteveen+Bos bestaat hoofdzakelijk uit drie verschillende antwoorden:

- 1 de informatie in het dossier blijft ongewijzigd;
- 2 de informatie in het dossier wordt digitaal gewijzigd;
- 3 om de informatie in het dossier te wijzigen wordt een afspraak met de bewoner ingepland voor een aanvullende inspectie.

3.2.3 Gereed voor beoordeling

Zodra de opmerkingen van de bewoner op het inspectieverslag zijn verwerkt, zijn de schades gereed om te worden beoordeeld door het Panel van deskundigen.

3.3 Resultaat

In totaal zijn er 2333 gebouwen geïnspecteerd. In tabel 3.2 en tabel 3.3 zijn deze gebouwen weergegeven, onderverdeeld per functie en gebouwtype. De inspectie resulteert in informatie over schadekenmerken, gebouwkenmerken en omgevingskenmerken, welke zijn vastgelegd in de centrale database. De verzamelde kenmerken zijn samengevat in tabel 3.4.

Tabel 3.2 Overzicht van het aantal gebouwen, onderverdeeld per functie

Functie	Aantal gebouwen
woonfunctie	1.503
overige gebruiksfunctie	644
winkelfunctie	13
sportfunctie	4

Functie	Aantal gebouwen
logiesfunctie	44
kantoorfunctie	10
industriefunctie	50
bijeenkomstfunctie	8
bouwwerk geen gebouw zijnde	39
onbekend	18

Tabel 3.3 Overzicht van het aantal gebouwen, onderverdeeld per type gebouw

Gebouwtype	Aantal gebouwen
vrijstaande woning	905
schuur	492
twee onder één kap	294
woonboerderij	131
appartement	120
anders	101
hoekwoning	80
tussenwoning	69
boerderij	63
loods	58
onbekend	16
zwembad	2

Tabel 3.4 Opgehaalde informatie in inspectie

Informatie	Inspectie
SCHADEKENMERKEN	
plaats van de schade	X
vorm van de schade	X
overige kenmerken van de schade	X
foto's van de schade	X
GEBOUWKENMERKEN	
basisgegevens	X
bouwkundige wijzigingen	X
OMGEVINGSKENMERKEN	
verkeer	X
grondwaterstand	X
bouwactiviteiten	X
industriële activiteiten	X
bomen	X

3.4 Inspectievragenlijst

Interviewvragen

Vraagnummer	Waarneming of vraag	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
1010	vraag	Wat is de naam van de gesprekspartner?	[voor+achternaam]	
1020	vraag	De rol van de gesprekspartner	eigenaar / vertegenwoordiger eigenaar /huurder / anders	
1030	vraag	Anders namelijk	[invulveld]	
1040	vraag	Aantal gemelde schades	[aantal]	
1050	vraag	Wat is de eigendomsstatus van het adres?	koop / huur / pacht / onbekend	
1060	vraag	Bent u de bewoner/gebruiker van het pand?	ja / nee	
1070	vraag	Bewoner/gebruiker sinds? (jaartal)	[Aantal] jaren	1060 → alleen als ja
1080	vraag	Welke van de volgende activiteiten hebben de afgelopen 10 jaar binnen 100 m plaatsgevonden?	nieuwbouw / aanbouw / aanleggen of herbestraten weg / spoorvernieuwing / bouwrijp maken / bemaling / heiwerkzaamheden / anders / onbekend / geen	
1090	vraag	Als anders, wat voor activiteit(en)?	[invulveld]	

Vraagnummer	Waarneming of vraag	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
1100	vraag	Welke van de volgende activiteiten hebben de afgelopen 10 jaar binnen 20 m plaatsgevonden?	bouw van kelder / (her)bestrating / aanleg vijver / leidingwerk / ophoging / rooien van bomen hoger dan de dakgoot / sloop van gebouwen of bouwdelen / gat gegraven / anders / onbekend / geen	
1110	vraag	Als anders, wat voor activiteit(en)?	[invulveld]	
1161	vraag	Voelt u trillingen op het schadeadres	ja / nee	1060 → alleen als ja
1171	vraag	Wat zou een eventuele oorzaak hiervan kunnen zijn?	luchtvaart / verkeer / bouwactiviteiten / industrie / vuurwerk / weer / aardbevingen / anders of onbekend	1061 → alleen als ja
1175	vraag	Anders namelijk	[invulveld]	1171 → alleen als anders of
1130	vraag	Wanneer was de aardbeving die u als zwaarst heeft ervaren op het schade-adres?	[dd-mm-jjjj] / weet niet	1171 → alleen als aardbevingen
1150	vraag	Wat heeft u gemerkt op de schaal van 1 tot 5 op het schadeadres?	1 (dichtslaan kastdeur) / 2 (dichtslaan kamerdeur) / 3 (dichtslaande deur door harde wind) / 4 (vuurwerk explosie) / 5 (zware explosie) / weet niet	1171 → alleen als aardbevingen
1180	vraag	Zijn er een of meer van de volgende incidenten geweest op het adres in de afgelopen 10 jaar?	aanrijding met gebouw / blikseminslag / explosie / overbelasting door sneeuw of regen / waterschade door overstroming / anders / geen	
1190	vraag	Als anders, wat voor incident(en)?	[invulveld]	1180 → alleen als anders

Vraagnummer	Waarneming of vraag	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
1200	vraag	Heeft u in het verleden een schadezaak op het adres gehad?	ja met NAM / ja met andere partij / nee	
1210	vraag	Wanneer was deze schadezaak?	[jaar]	1200 → alleen als ja met NAM of ja met andere partij
1220	vraag	Heeft het pand een beschermde status?	ja / nee	
6010	waarneming	Aantekeningen interview	[invulveld]	

Gebouw

Gebouwvragen - Binnen

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2010	Heeft u bouwtekeningen van het gebouw?	ja / nee	
2020	Wat is de hoofdfunctie van het gebouw?	woonfunctie / industriefunctie / sportfunctie / bijeenkomstfunctie / kantoorfunctie / winkelfunctie / logiesfunctie / overige gebruiksfunctie / bouwwerk geen gebouw zijnde / onduidelijk	
2030	Wat is het gebouwtype?	appartement / tussenwoning / hoekwoning / twee onder één kap / vrijstaande woning / woonboerderij / boerderij / schuur of garage / loods / sporthal / zwembad / molen / kerk / anders / onbekend	

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2040	Wat is het bouwjaar?	[jaartal]	
2050	Heeft het gebouw een kelder?	ja / nee	
2060	Waar bevindt de kelder zich?	onder het volledige gebouw / niet onder het volledige gebouw maar wel onder één van de buitengevels / niet onder het volledige gebouw en niet onder één van de buitengevels	2050 --> alleen als ja
2070	Erker later gebouwd?	ja / nee	
2071	Erker bouwjaar?	[jaartal]	2070 --> alleen als ja
2072	Erker uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2070 --> alleen als ja
2073	Balkon later gebouwd?	ja / nee	
2074	Balkon bouwjaar?	[jaartal]	2073 --> alleen als ja
2075	Balkon uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2073 --> alleen als ja
2076	Aanbouw 1 later gebouwd?	ja / nee	
2077	Aanbouw 1 bouwjaar?	[jaartal]	2076 --> alleen als ja

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2078	Aanbouw 1 uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2076 --> alleen als ja
2180	Is de aanbouw anders gefundeerd dan de rest van het gebouw?	ja / nee	
2079	Aanbouw 2 later gebouwd	ja / nee	
2080	Aanbouw 2 bouwjaar?	[jaartal]	2079 --> alleen als ja
2081	Aanbouw 2 uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2079 --> alleen als ja
2082	Metselwerk schoorsteen later gebouwd	ja / nee	
2083	Metselwerk schoorsteen bouwjaar	[jaartal]	2082 --> alleen als ja
2084	Metselwerk schoorsteen uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2082 --> alleen als ja
2085	Doorbraak later uitgevoerd?	ja / nee	
2086	Doorbraak jaartal	[jaartal]	2085 --> alleen als ja
2087	Doorbraak uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2085 --> alleen als ja

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2088	Extra verdieping later gebouwd	ja / nee	
2089	Extra verdieping bouwjaar?	[jaartal]	2088 --> alleen als ja
2090	Extra verdieping uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2088 --> alleen als ja
2091	Kozijnen later geplaatst of vervangen	ja / nee	
2092	Kozijnen later geplaatst of vervangen jaartal?	[jaartal]	2091 --> alleen als ja
2093	Kozijnen later geplaatst of vervangen door?	aannemer / bewoner / ander	2091 --> alleen als ja
2094	Dakkapel later geplaatst?	ja / nee	
2095	Dakkapel jaartal?	[jaartal]	2094 --> alleen als ja
2096	Dakkapel geplaatst door?	aannemer / bewoner / ander	2094 --> alleen als ja
2097	Verbouwing uitgevoerd?	ja / nee	
2098	Verbouwing jaartal	[jaartal]	2097 --> alleen als ja

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2099	Verbouwing uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2097 --> alleen als ja
2100	Andere bouwkundige wijziging(en)?	ja / nee	
2035	Anders namelijk	[invulveld]	2100 --> alleen als ja
2101	Andere bouwkundige wijziging(en) jaartal?	[jaartal]	2100 --> alleen als ja
2102	Andere bouwkundige wijziging(en) uitgevoerd door?	aannemer / bewoner / ander	2100 --> alleen als ja

Gebouvvragen - Buiten

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2200	Loopt er een weg binnen 20 m langs het gebouw?	ja / nee	
2210	Wat is de maximumsnelheid op deze weg?	meer dan 80 km/uur / 80 km/uur / 60 km/uur / 50 km/uur / 30 km/uur / minder dan 30 km/uur	2200 --> alleen als ja
2220	Ligt er een verkeersdrempel binnen 50 m van het gebouw?	ja / nee	2200 --> alleen als ja
2230	Wat voor wegdek heeft deze weg?	asfalt / beton / bestrating / zand	2200 --> alleen als ja

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
2240	Rijdt er zwaar verkeer, zoals vrachtwagens en tractoren, binnen 10 m van het gebouw over het erf?	ja / nee	
2250	Staan er bomen rond of nabij het gebouw?	boom dichterbij dan 3 m / grote boom 10 m / grote struik 1 m / nee	
2260	Wat is de afstand van de dichtst bijstaande boom tot het gebouw in meters?	[meters]	2250 --> alleen als boom of grote boom
2270	Is er ergens rondom het gebouw meer dan 10 cm diep grond weggespoeld of weggezaagd binnen 2 m van de gevel?	ja / nee	
2280	Zijn er lekkages zichtbaar bij hemelwaterafvoer/goot?	ja / nee	
2290	Zijn er kelders/water-/mestputten of iets dergelijks op een afstand minder dan 20 m van het gebouw?	ja / nee	

Verdiepingsvragen

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
3010	Welke verdieping?	< -1 / -1 (kelder) / 0 (begane grond) / 1 (eerste verdieping) / 2 (tweede verdieping) / 3 (derde verdieping) / 4 (vierde verdieping) / 5 (vijfde verdieping) / >5	

Bouwdeelvragen

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4010	Wat voor bouwdeeltype?	vloer /dak / binnenwand / woningscheidende wand / binnenwand gevel / buitenwand gevel / fundering	

Bouwdeel

Bouwdeelvragen

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4010	Wat voor bouwdeeltype?	vloer /dak / binnenwand / woningscheidende wand / binnenwand gevel / buitenwand gevel / fundering	

Vloer

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4110	Wat is de breedte van de vloer?	[meter]	
4120	Wat is de lengte van de vloer?	[meter]	
4130	Van welk materiaal is het bouwdeel?	hout / staal / beton / steenachtig / anders of niet opneembaar	
4140	Welk constructiesysteem is toegepast?	combinatievloer (broodjesvloer) / kanaalplaatvloer / breedplaatvloer / ribcasettevloer / massieve betonvloer / nehobo vloer / anders of niet opneembaar	4130 --> alleen als beton

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4150	Welk constructiesysteem is toegepast?	nehobo vloer / anders of niet opneembaar	4130 --> alleen als steenachtig
4160	Wat voor afwerking is toegepast aan de onderzijde?	stuc / spuitwerk / systeemplafond / anders / aftimmering / geen / niet waarneembaar	
4170	Wat voor afwerking is toegepast aan de bovenzijde?	vloerbedekking / vaste vloerafwerking / geen	
4180	Is een van de volgende kenmerken zichtbaar?	houtrot / afbladderende verf / corroderende onderdelen / vocht / schimmel / eerder uitgevoerde reparaties / nee	

Dak

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4210	Wat is de breedte van het hele dak op het geprojecteerde vlak?	[meter]	
4220	Wat is de lengte van het hele dak op het geprojecteerde vlak?	[meter]	
4230	Gaat het om een hellend dak?	ja / nee	
4240	Van welk materiaal is de constructie?	hout / staal / beton / staal+hout / anders of niet opneembaar	
4250	Welk constructiesysteem is toegepast?	gordingen / spanten / sporen / spanten+gordingen / scharnierkap / vakwerkliggers / anders of niet opneembaar	4240 --> alleen als staal of hout

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4260	Welk constructiesysteem is toegepast?	kanaalplaatvloer / breedplaatvloer / nehobo vloer / massieve betonvloer / anders of niet opneembaar	4240 --> alleen als beton
4270	Welke afwerking is aan de binnenzijde toegepast?	geen / spaanplaat / houten planken / stro / geïsoleerde dakplaat / stuc / spuitwerk / systeemplafond / anders	
4280	Welke afwerking is aan de buitenzijde toegepast?	dakpannen / staalplaten / golfplaten / dakleer of dakshingles / dakleer met grind / riet / anders of niet opneembaar	
4290	Is één van de volgende kenmerken zichtbaar?	houtrot / afbladderende verf / corroderende onderdelen / mossen / vocht / eerder uitgevoerde reparaties / los liggende laten of pannen of afdekkingen / lekkende goten / nee	
4295	Is er een schoorsteen?	ja / nee	

Binnenwand

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4310	Wat is de lengte?	[meter]	
4320	Wat voor type wand?	steenachtig / systeemwand / anders of niet opneembaar	
4330	Welk constructiesysteem is toegepast?	hout / metalstud / kozijn / anders of niet opneembaar	4320 --> alleen als systeemwand
4340	Welk constructiesysteem is toegepast?	beton / betonblokken / gipsblokken / cellenbetonblokken / kalkzandsteen / baksteen / glasblokken / anders of niet opneembaar	4320 --> alleen als steenachtig

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4350	Welk latei principe is toegepast?	rollaag / staal / beton / hout / wel opening maar geen latei / opening over volledige hoogte / geen opening in wand / anders of niet opneembaar	
4360	Is er een dilatatie?	ja / nee / anders of niet opneembaar	
4370	Wat is de afwerking aan zijde 1?	geen / stuc / spuitwerk / behang papier / behang glasweefsel / tegels / lambrisering / steen strips / hout / staalplaat / anders of niet opneembaar	
	Wat is de afwerking aan zijde 2?	geen / stuc / spuitwerk / behang papier / behang glasweefsel / tegels / lambrisering / steen strips / hout / staalplaat / anders of niet opneembaar	
	Is één van de volgende kenmerken zichtbaar?	houtrot / afbladderende verf / corroderende onderdelen / vocht / schimmel / eerder uitgevoerde reparaties / nee	

Woningscheiden

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4410	Wat is de lengte?	[meter]	
4420	Wat voor type wand?	steenachtig / systeemwand / anders of niet opneembaar	
4440	Welk constructiesysteem is toegepast?	beton / betonblokken / gipsblokken / cellenbetonblokken / kalkzandsteen / baksteen / glasblokken / anders of niet opneembaar	4420 --> alleen als steenachtig
4450	Is er een dilatatie?	ja / nee / anders of niet opneembaar	

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4460	Welke afwerking is toegepast?	geen / stuc / spuitwerk / behang papier / behang glasweefsel / tegels / lambrisering / steen strips / hout / staalplaat / anders of niet opneembaar	
4470	Is één van de volgende kenmerken zichtbaar?	houtrot / afbladderende verf / corroderende onderdelen / vocht / schimmel / eerder uitgevoerde reparaties / nee	

Binnenzijde gevel

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4510	Wat is de lengte?	[meter]	
4520	Hoe is gevel opgebouwd?	spouwmuur / massief / kozijn / anders of niet opneembaar	
4530	Van welk materiaal is de constructie?	staal / steenachtig / systeemwand / anders of niet opneembaar	
4540	Welk constructiesysteem is toegepast?	hout / metalstud / anders of niet opneembaar	4530 --> alleen als systeemwand
4550	Welk constructiesysteem is toegepast?	beton / betonblokken / gipsblokken / cellenbetonblokken / kalkzandsteen / baksteen / glasblokken / anders of niet opneembaar	4530 --> alleen als steenachtig
4560	Welk latei principe is toegepast?	rollaag / staal / beton / hout / wel opening maar geen latei / opening over volledige hoogte / geen opening in wand / anders of niet opneembaar	

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4570	Is er een dilatatie?	ja / nee / anders of niet opneembaar	
4580	Welke afwerking is toegepast?	geen / stuc / spuitwerk / behang papier / behang glasweefsel / tegels / lambrisering / steen strips / hout / staalplaat / anders of niet opneembaar	
4590	Is één van de volgende kenmerken zichtbaar?	houtrot / afbladderende verf / corroderende onderdelen / vocht / schimmel / eerder uitgevoerde reparaties / nee	

Gevel buiten

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4610	Van welk materiaal is de constructie?	hout / staal / steenachtig / anders of niet opneembaar	4520 --> alleen als spouwmuur
4620	Welk constructiesysteem is toegepast?	beton / betonblokken / gipsblokken / cellenbetonblokken / kalkzandsteen / baksteen / glasblokken / anders of niet opneembaar	4620 --> alleen als steenachtig
4630	Is er spouwventilatie?	ja / nee	
4640	Welk latei principe is toegepast?	rollaag / staal / beton / hout / wel opening maar geen latei / opening over volledige hoogte / geen opening in wand / anders of niet opneembaar	
4650	Zijn er slabben toegepast bij de gevelopening?	ja / nee / anders of niet opneembaar	
4660	Is er een dilatatie?	ja / nee / anders of niet opneembaar	

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4670	Welke afwerking is toegepast?	geen / stuc / spuitwerk / tegels / steen strips / hout / staalplaat / anders of niet opneembaar	
4680	Is één van de volgende kenmerken zichtbaar?	houtrot / afbladderende verf / corroderende onderdelen / vocht / schimmel / eerder uitgevoerde reparaties / golvende lintvoeg / nee	

Fundering

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
4710	Is er een fundering?	ja / nee	
4720	Is de fundering zichtbaar?	ja / nee / deels	
4730	Van welk materiaal is de constructie?	hout / beton / steenachtig / anders of niet opneembaar	4720 --> alleen als ja of deels
4740	Welk constructiesysteem is toegepast?	staal / palen / op zand / anders of niet opneembaar	4720 --> alleen als ja of deels
4750	Wat voor type fundering op staal?	getrapte fundering / stroken fundering / plaatfundering / fundering op stiepen / anders of niet opneembaar	4720 --> alleen als op staal
4760	Wat voor type paalfundering	houten palen / stalen palen / beton palen / anders of niet opneembaar	4740 --> alleen als op palen

Schade

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
5010	Is de schade gemeld?	ja / nee	
5011	Is de datum waarop de schade is ontdekt bekend?	ja / nee	5010 --> als ja
5020	Op welke datum is de schade ontdekt?	dd-mm-jjjj	5011 --> als ja
5021	Is de schade eerder opgemerkt?	ja / nee	5010 --> als ja
5030	In welk jaar is de schade (ongeveer) ontdekt?	dd-mm-jjjj	5021 --> als ja
5031	Opmerking	[tekst]	5021 --> als ja
5040	Wat was het effect van aardbevingen op de schade volgens de schademelder?	langere scheur / wijdere scheur / meer afgespatte delen / meer vertakkingen scheur / meer verplaatsing of scheefstand	5010 --> als ja
5050	Hoe is de schade verergerd volgens de schademelder?	langere scheur / wijdere scheur / meer afgespatte delen / meer vertakkingen scheur / meer verplaatsing of scheefstand	5040 --> alleen als verergerd
5060	Wat voor type schade?	scheur / afspatting / vervorming of scheefstand / lekkage	

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
5070	Wat is de positie van de schade in het bouwdeel?	in het vlak / aansluiting vloer-wand / aansluiting wand-wand / aansluiting wand-plafond/dak / aansluiting oorspronkelijk-aangebouwd / hoek sparing / boven sparing / onder sparing / naast sparing	
5080	Welk deel is afgespat?	alleen afwerking / deel van constructie+afwerking / voeg / niet opneembaar	5060 --> alleen als afspatting
5090	Breedte afspatting	[millimeter]	5060 --> alleen als afspatting
5100	Lengte afspatting	[millimeter]	5060 --> alleen als afspatting
5110	Veroorzaakt de vervorming één van de volgende problemen?	gebroken ruit / klemmende ramen of deuren / los spatten van tegelwerk of voegen	5060 --> alleen als vervorming/scheefstand
5120	Hoek in graden van de vervorming ten opzichte van de x-as?	[graden]	5060 --> alleen als vervorming/scheefstand
5130	Hoek in graden van de vervorming ten opzichte van de y-as?	[graden]	5060 --> alleen als vervorming/scheefstand
5140	Hoek in graden van de vervorming ten opzichte van de z-as?	[graden]	5060 --> alleen als vervorming/scheefstand
5150	Hoe verloopt de scheur	verticaal / horizontaal / diagonaal / crackele / vertakt / anders	5060 --> alleen als scheur
5160	Hoe verloopt de scheur door het bouwdeel?	getrapt / niet getrapt	5060 --> alleen als scheur

Vraagnummer	Vraag	Antwoord (mogelijkheden)	Koppeling met andere vragen
5170	Wat is de maximale scheurwijdte?	[millimeter]	5060 --> alleen als scheur
5180	Hoe verloopt de scheurwijdte?	redelijk constant / scheurwijdte neemt toe in 1 richting / variabel	5060 --> alleen als scheur
5190	Hoe lang is de scheur?	[millimeter]	5060 --> alleen als scheur
5200	Hoe diep is de scheur?	alleen zichtbaar in de afwerking / in de constructie (en in de afwerking) / door en door / niet opneembaar	5060 --> alleen als scheur
5210	Heeft de schade één of meer van de volgende zichtbare ouderdomskenmerken?	eerder uitgevoerde reparatie zichtbaar / vervuiling of begroeiing in scheur / erosie scheurranden- aanwezigheid van verf in de scheur / volgens de bewoners een oude schade / broosvoegwerk / breukvlak steen zelfde kleur als steen / corroderende onderdelen / nee	
5220	Heeft de schade één of meer van de volgende kenmerken?	scheur watervoerend / ter plaatse van aansluiting verschillende materialen / kleine afspattingen langs randen scheur / nee	

4

BUREAUSTUDIE

4.1 Algemeen

Er zijn verschillende oorzaken mogelijk voor schades aan gebouwen. In hoofdstuk 2 zijn deze verschillende oorzaken beschreven. Per woning wordt nagegaan of deze mogelijke oorzaken de oorzaak kunnen zijn van de vastgestelde schade. Hiervoor wordt middels inspectie en bureauonderzoek informatie verzameld over de schade, het gebouw en de omgeving. Voorliggend hoofdstuk beschrijft het bureauonderzoek, dat is uitgevoerd door individuele leden uit het Panel op basis van de betreffende deskundigheid.

4.2 Verkeer

4.2.1 Doel

In deze paragraaf worden trillingen geanalyseerd die mogelijk het gevolg zijn van activiteiten als wegverkeer en spoorverkeer. Hiervoor is gebruik gemaakt van de door de NAM beschikbaar gestelde TNO sensordata, afkomstig van 350 meetwoningen, waaraan in de loop van de tijd is gemeten. De beschikbare meetdata bestaat uit een registratie van trillingen en beslaat een tijdsvenster die varieert per woning.

Doel van deze analyse is om te bepalen of er relaties bestaan tussen de gemeten trillingen en trillingen als gevolg van verkeersactiviteiten.

4.2.2 Methode

Beschikbare meetdata en informatie

Door de NAM is TNO sensordata beschikbaar gesteld aan Witteveen+Bos. De data is afkomstig van 350 meetwoningen, waaraan in de loop van de tijd is gemeten. De beschikbare meetdata bestaat uit een registratie van trillingen en beslaat een tijdsvenster welke die varieert per woning. De meetdata geeft inzicht in de bijdrage van trillingsbronnen aan. Per woning is boven een ingestelde drempelwaarde (1 mm/s) het meetsignaal in alle drie de hoofdrichtingen opgeslagen (x, y en z). Dit resulteert in een dataset die qua omvang en karakteristiek per woning sterk varieert en is afhankelijk van hoe vaak trillingen (events) optreden met een trillingsniveau boven de drempelwaarde van 1 mm/s sinds de datum van installatie van de sensor.

Van de circa 350 meetwoningen was ten tijde van de analyse van 307 woningen eventdata beschikbaar. De eventdata kan worden onderverdeeld in de volgende twee categorieën:

- potential tremors: door de NAM/TNO is bepaald dat indien er sprake is van een triggerleveloverschrijding van drie of meer meters op hetzelfde tijdstip, er sprake is van een potential tremor;
- unknown causes: indien er maar in één pand een event is geregistreerd, dan is de oorzaak in eerste instantie onbekend, een 'unknown cause event'. Bewoners/eigenaren krijgen het verzoek een mogelijke oorzaak aan te duiden. Voor een deel van de unknown cause events is door bewoners/eigenaren

gereageerd waardoor een indicatie van de oorzaak beschikbaar is. De betrouwbaarheid van de indicaties blijkt de ene keer beter dan de andere.

Dit onderzoek heeft zich toegespitst op de unknown cause events.

Sensoren en plaatsing

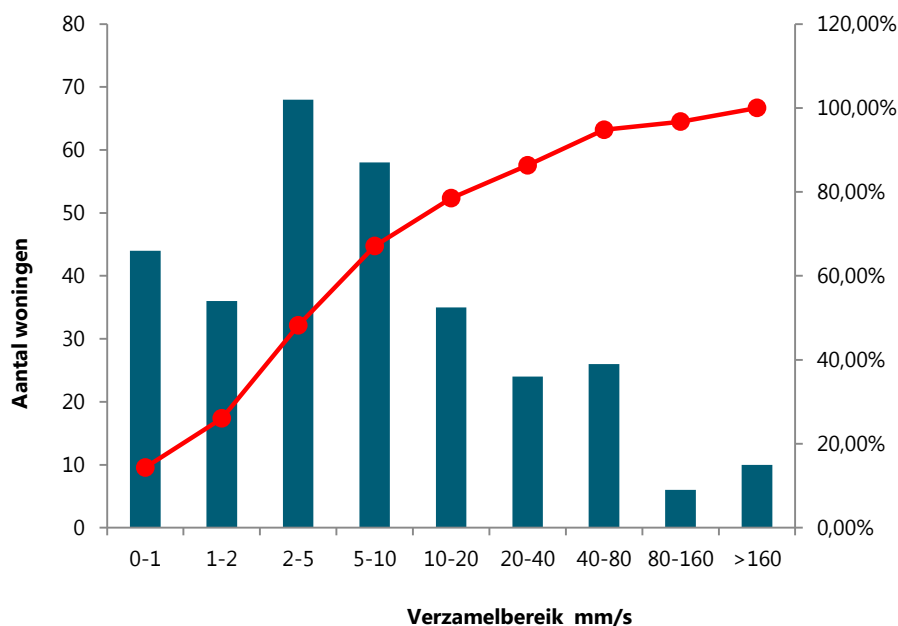
De bewegingen van de meetwoningen zijn geregistreerd door middel van sensoren van het TNO meetnetwerk. Deze sensoren zijn waar mogelijk geplaatst aan een stijf punt aan de fundering van de woning (conform de SBR richtlijn deel A). Bij een aantal woningen is hier vanuit praktische redenen echter van afgeweken. Dit betekent dat er niet vanuit kan worden gegaan dat alle sensoren enkel de beweging van de fundering van de panden meet. Invloed van bijvoorbeeld minder stijve muurdelen waaraan sensoren zijn bevestigd maken dat voor sommige woningen de meetdata niet enkel de beweging van de fundering weergeeft, maar mogelijk ook de beweging van muurdelen of andere constructieonderdelen. In de beoordeling van de resultaten dient hier rekening mee te worden gehouden.

Aanpak analyse

Eerste indruk meetdata

Als eerste is gekeken welke maximale trillingsniveaus (de VTOP-niveaus) zijn geregistreerd, zonder enige vorm van filtering. In onderstaande grafiek zijn de geregistreerde VTOP-niveaus in een histogram weergegeven. Voor circa 30 % van de woningen is een VTOP-niveau boven de 5 mm/s geregistreerd en voor circa 20 % van de woningen een VTOP-niveau boven de 10 mm/s. Bij een aantal woningen zijn zeer hoge VTOP-niveaus geregistreerd van boven de 160 mm/s.

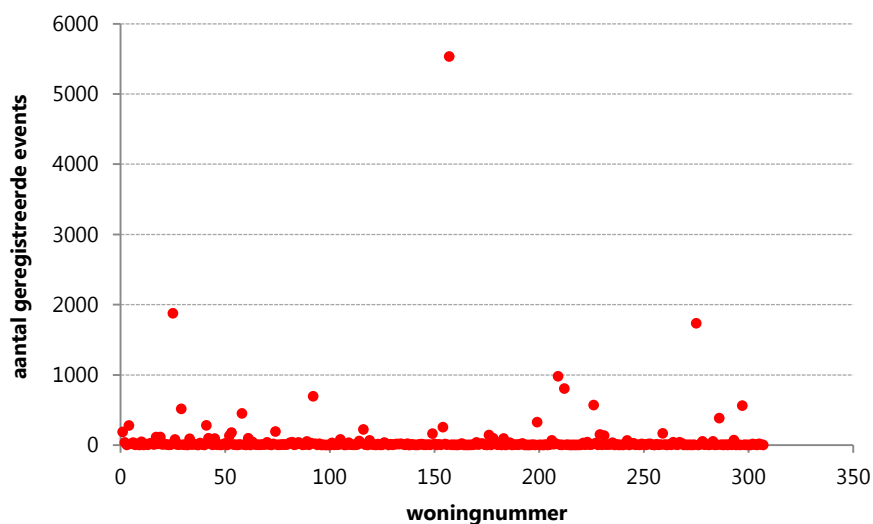
Afbeelding 4.1 Histogram van geregistreerde VTOP-niveaus zonderfiltering



De extreem hoge VTOP-niveaus zijn naar verwachting het gevolg van storingen van de meter, het plaatsen van de meter of een stoot aan de meter. Deze trillingssignalen worden er uitgefilterd voordat de meetdata nauwkeurig geanalyseerd wordt.

Naast de extreem hoge waarden blijkt uit de meetdata ook dat voor een aantal woningen onevenredig veel events zijn geregistreerd. Onderstaande afbeelding geeft per woning het aantal geregistreerde events weer.

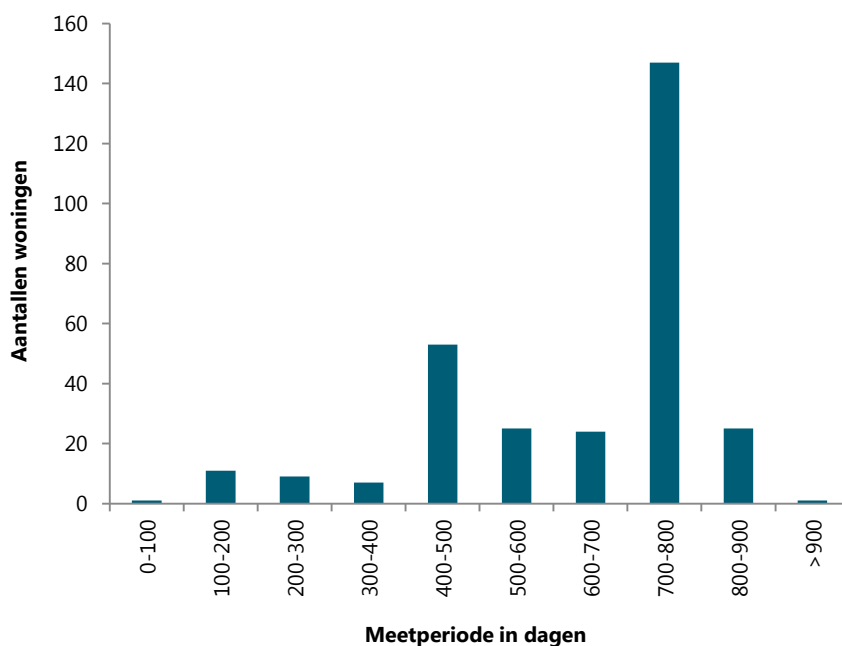
Afbeelding 4.2 Aantal geregistreerde events per woning



Er zijn drie adressen waarvoor meer dan 1.000 events zijn geregistreerd. Voor de woning met het meeste aantal events is een totaal van 5.533 events geregistreerd. Dat is meer dan 25 % van het totaal aan geregistreerde events over alle woningen.

Indien wordt gekeken naar de tijdsduur waarin sensoren operationeel zijn (zie afbeelding 4.3), blijkt dat het grootste deel van de meters meer dan twee jaar meetdata hebben verzameld. Voor alle sensoren geldt dat er voldoende lang is gemeten om een goed beeld van bronnen anders dan aardbevingen te krijgen.

Afbeelding 4.3 Overzicht van grootte van meetperiodes alle woningen*

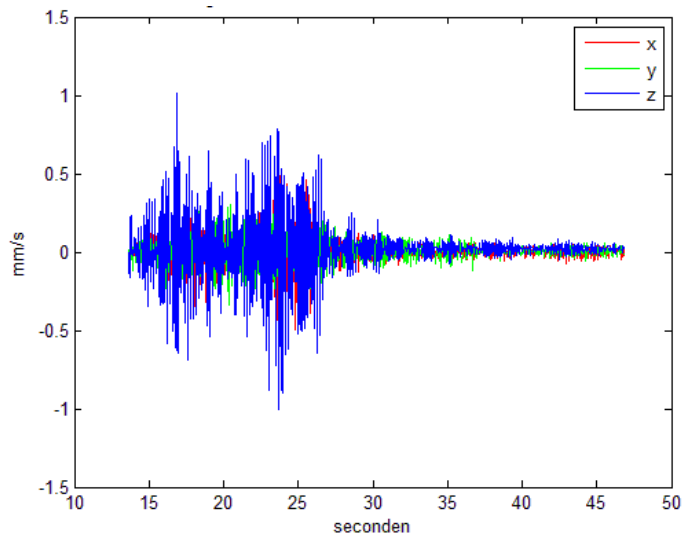


* Van enkele woningen kon de meetperiode niet worden bepaald.

Nadere signaalanalyse

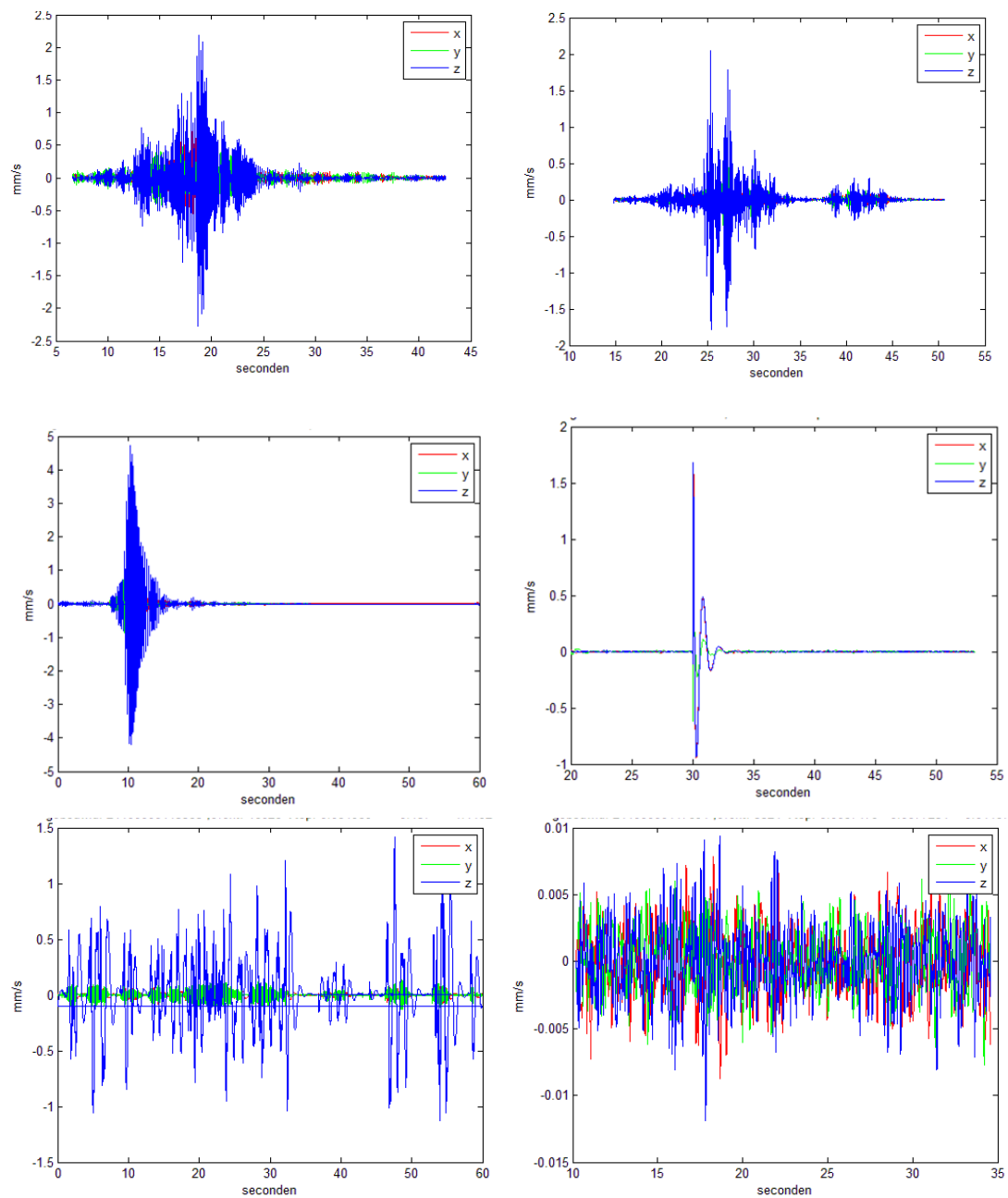
Om een beeld te kunnen krijgen van verschillende type trillingsbronnen en het bijbehorende optredende trillingsniveau zijn signalen onderzocht. Hiertoe is als eerste gekeken naar de woning met de meeste events. Deze woning ligt langs een spoorlijn waarop een grote hoeveelheid aan treinpassages is gemeten. Onderstaande afbeelding geeft een voorbeeld van gemeten events passend bij een woning langs een spoorlijn.

Afbeelding 4.4 Karakteristiek (trein)signaal voor woning met meer dan 5.000 geregistreerde events



Voor de andere twee woningen met meer dan 1.000 events blijkt geen sprake te zijn van treinpassages. De signalen zien er anders uit. Wanneer globaal naar de verschillende type beschikbare signalen gekeken wordt dan zijn een aantal karakteristieke signalen te onderkennen. Afbeelding 4.5 geeft deze verschillende type signalen weer.

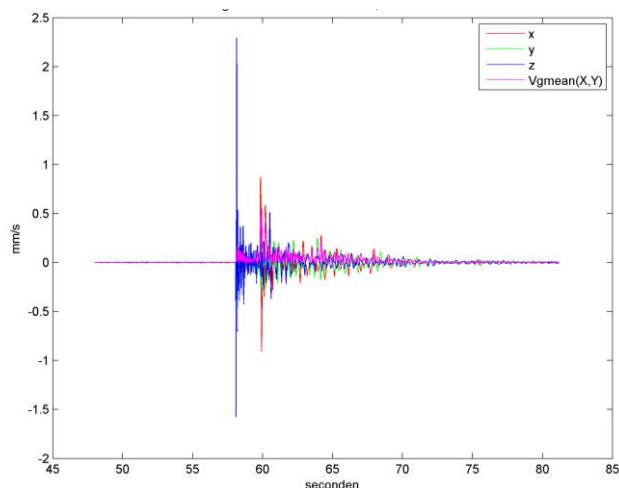
Afbeelding 4.5 Typische signalen: 1) treinpassages, 2) wegverkeer bij drempel, 3) zwaar wegverkeer zonder drempel, 4) stoot tegen sensor, 5) boren/bouwwerkzaamheden aan huis intern, 6) ruissignaal



Per woning kan onderscheid gemaakt worden in maximale trillingsniveaus als gevolg van een bepaalde bron door naar de signalen zelf te kijken. Hierbij is soms sprake van twijfelgevallen, waardoor de resultaten een mate van onzekerheid kennen.

De specifieke aardbeving events (potential tremors) zijn in deze analyse niet meegenomen, maar laten zich kennen door een ander karakteristiek signaal. Afbeelding 4.6 geeft een dergelijk signaal weer.

Afbeelding 4.6 Typisch aardbevingssignaal (potential tremor)



Vooraf geïdentificeerde mogelijke maatgevende situaties

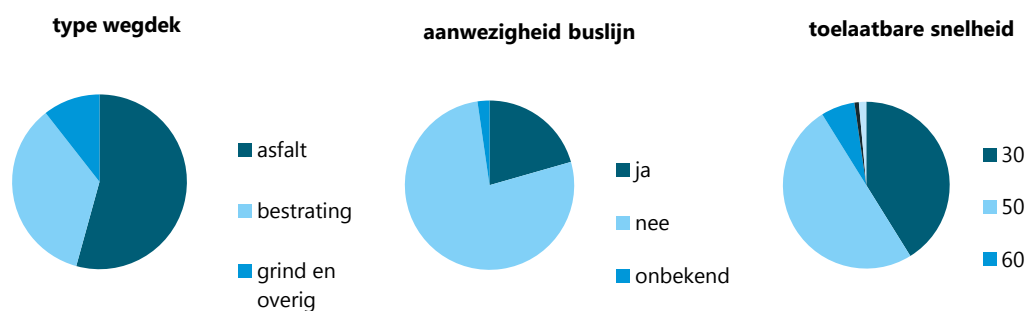
Om te bepalen welke trillingsbronnen, anders dan aardbevingen, de oorzaak kunnen zijn van schade aan woningen, zijn mogelijke maatgevende situaties geïdentificeerd. Bij deze inventarisatie zijn per meetwoningen de volgende kenmerken onderzocht:

- de afstand tot aan het dichtstbijgelegen spoor;
- de afstand tot aan de maatgevende weg (is er bijvoorbeeld een weg met een snelheidslimiet van 30 km/h met een paar meter daarachter een 80 km/h weg, dan is de 80 km/h weg maatgevend);
- in de wegcategory (gebaseerd op snelheidslimieten) is onderscheid gemaakt in toelaatbare snelheid;
- de afstand tot aan een drempel (binnen 50 m);
- het type bestrating (asfalt, bestrating, of grind/zandweg);
- de nabijheid van een buslijn.

Deze lijst is gaandeweg het onderzoek enigszins aangepast. Het type bestrating en de aanwezigheid van een buslijn bleken niet onderscheidend en zijn daarom niet nader onderzocht. Daar waar sprake was van een buslijn, was meestal ook sprake van ander mogelijk zwaar verkeer op de weg. De aanwezigheid van een buslijn leek niet onderscheidend. Verschillende soorten bestrating leidden ook niet tot een onderscheidend criterium. Uiteindelijk is specifiek nader gekeken naar drempels, de heersende snelheidslimiet en de afstand tot aan het spoor.

Deze kenmerken zijn bepaald op basis van BAG-gegevens, en spoor- en weggegevens. Met behulp van Google Earth is nadere informatie over snelheidslimieten en busverkeer verkregen. Deze informatie is weergegeven in onderstaande cirkeldiagrammen.

Afbeelding 4.7 Locatiespecifieke gegevens sensorwoningen



Van drempels binnen 50 m is bij 21 woningen sprake en er liggen 25 woningen op een afstand van 200 m of minder van het spoor.

Wegverkeer

Voor het wegverkeer worden er twee maatgevende situaties onderscheiden: de afstand tot aan een drempel en de snelheidslimiet van de maatgevende weg. Voor beide situaties zijn in onderstaande alinea's de geregistreerde events beschouwd.

Invloed drempels

Er zijn 21 woningen met een drempel binnen 50 m afstand. Voor deze woningen is per woning gekeken naar de beschikbare events en de hoogste VTOP-waarde als gevolg van wegverkeer. Hierbij is de signaalclassificatie volgens afbeelding 4.5 aangehouden. Tabel 4.1 geeft de resultaten weer.

Tabel 4.1 Nabijheid van drempels (minder dan 50 m)

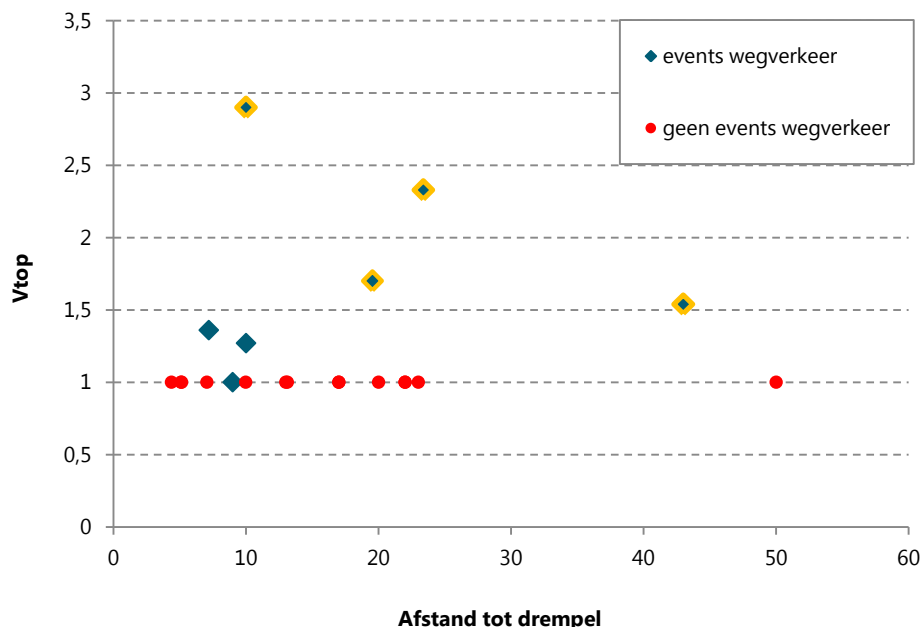
Top# woning dichtst bij spoor gelegen	Afstand tot weg	# Geregistreerde events	Max VTOP alle events	Max VTOP van events met wegverkeer-karakteristiek*	Type bestrating
1	8,3	3	52,18	-	bestrating
2	20,6	26	6,85	-	asfalt
3	5,1	16	67,97	-	bestrating
4	12,4	7	4,59	-	asfalt
5	11,4	3	1,54	1,54	asfalt
6	9,0	16	124,01	1,0	bestrating
7	9,0	3	3,96	-	bestrating
8	4,4	7	3,82	-	asfalt + bestrating
9	7,0	3	2,68	-	asfalt + bestrating
10	9,7	2	4,91	-	bestrating-asfalt
11	13,1	12	1,75	-	bestrating
12	7,2	8	10,16	1,36	bestrating
13	12,1	2	5,35	-	bestrating
14	10,0	18	32,35	-	asfalt
15	9,1	5	5,50	-	asfalt
16	7,0	4	0,00	2,9	bestrating
17	23,4	1.734	73,70	2,33	bestrating
18	19,5	7	2,60	1,7	asfalt
19	5,1	5	6,83	-	bestrating
20	16,8	1	6,88	1,27**	asfalt
21	8,6	0	3,19	-	bestrating

* Met - wordt aangegeven dat er geen event met een wegverkeer-karakteristiek is gevonden. De mogelijk gemeten trillingsniveaus als gevolg van wegverkeer liggen dan onder de gehanteerde drempelwaarde welke op 1 mm/s is gesteld bij de meeste adressen.

** Van dit adres is op basis van de signaalkarakteristiek onduidelijk of het al dan niet om wegverkeer gaat.

Er wordt geen consistent beeld gevonden. Naar verwachting zou er op kleine afstand van een drempel sprake zijn van een verhoogd trillingsniveau ten opzichte van locaties die op een grotere afstand van een drempel liggen. Dit wordt niet direct teruggevonden in de resultaten. In onderstaande afbeelding zijn de maximale trillingsniveaus van de woningen afgezet tegen de afstand tot aan de drempel.

Afbeelding 4.8 Geregistreerde VTOP-niveaus bij woningen in nabijheid van drempels



Omcirkelde hogere niveaus blijken situaties te zijn waarbij snelheidslimiet 30 km/h bedraagt.

Uit de afbeelding blijkt er op basis van de beschikbare informatie geen generieke relatie te zijn tussen het maximale trillingsniveau en de afstand tot aan de drempel. Uit een nadere analyse van de vier hoogste trillingsniveaus (geel omcirkeld), blijkt dat er voor deze vier woningen sprake is van een 30 km/h weg. Zou er sprake zijn van een 50 km/h weg, dan bestaat de verwachting dat de niveaus hoger liggen.

Snelheidslimiet

Er zijn 34 woningen met een doorgaande weg waar een snelheidslimiet van 50 km/h of meer geldt. Voor deze woningen is per woning gekeken naar de beschikbare events en de hoogste VTOP-waarde als gevolg van wegverkeer. Tabel 4.2 geeft de resultaten weer.

Tabel 4.2 Type weg doorgaande 50 km/h weg

Top# woning dichtst bij spoor gelegen	Afstand tot weg	# Geregistreerde events	Max. VTOP alle events	Max. VTOP van events met wegverkeer karakteristiek
1	4,1	8	12,50	1,22
2	5,0	15	84,08	-
3	5,6	6	4,71	1,09
4	6,5	96	5,82	4,72
5	7,6	8	799,58	-
6	8,0	27	2,44	2,44
7	8,0	80	73,08	3,77

Top# woning dichtst bij spoor gelegen	Afstand tot weg	# Geregistreerde events	Max. VTOP alle events	Max. VTOP van events met wegverkeer karakteristiek
8	8,4	1	0,00	-
9	9,3	10	0,00	1,81
10	9,8	3	1,40	-
11	10,0	162	21,53	2,04
12	10,4	3	0,00	1,34
13	10,5	1	3,00	-
14	10,6	7	0,00	2,73
15	11,4	6	4,19	-
16	11,5	4	0,00	-
17	11,8	142	2,87	1,98
18	12,1	47	2,15	1,79
19	12,3	1	0,00	-
20	12,6	22	1,24	1,24
21	13,1	1	19,38	-
22	13,2	5	2,25	1,06
23	13,3	2	4,28	-
24	13,9	3	9,64	-
25	14,2	1	0,00	-
26	14,6	29	7,15	-
27	14,7	33	6,02	-
28	15,0	10	5,56	-
29	15,8	1	1,41	-
30	20,1	4	0,00	-
31	23,0	11	8,42	-
32	23,0	9	3,57	-
33	24,0	1	2,26	-
34	24,3	17	1,64	-

De woningen zijn gerangschikt op afstand tot de weg. Voor in totaal 13 adressen is een event als gevolg van wegverkeer gevonden.

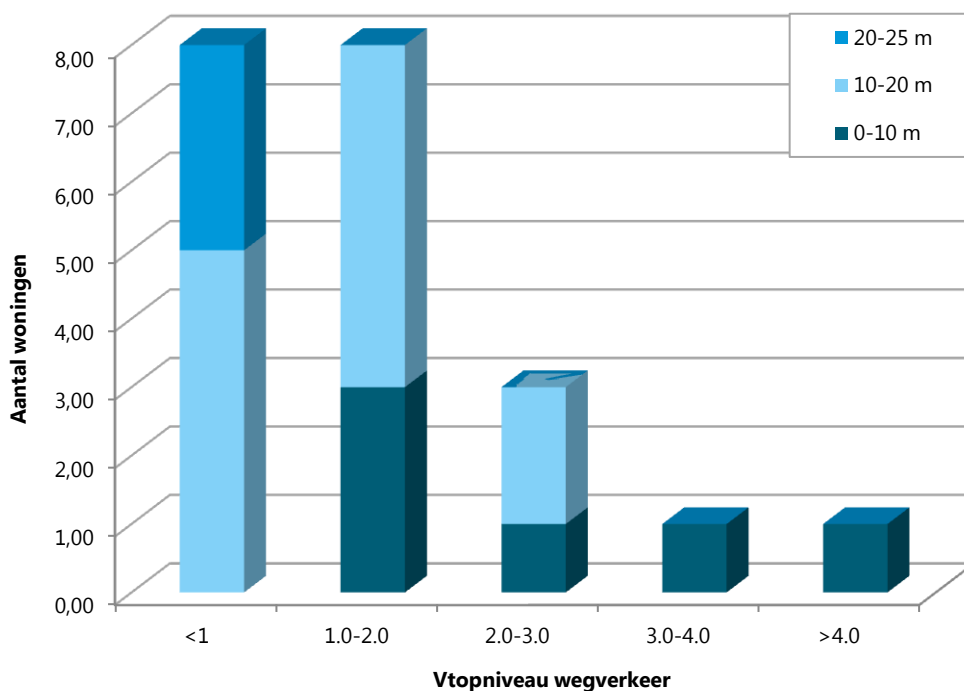
Bij een aantal woningen is op basis van de criteria wel sprake van een doorgaande weg met 50 km/h snelheidslimiet, maar is er in werkelijkheid sprake van langzamer verkeer omdat er bijvoorbeeld een scherpe bocht in de weg aanwezig is, of er sprake is van een kruising nabij de woning. Dergelijke situaties zijn er uitgefilterd. Tabel 4.3 geeft aan of er sprake is van een afwijkende situatie van de woningen waarvan - events zijn geregistreerd als gevolg van wegverkeer.

Tabel 4.3 Type weg doorgaande 50 km/h weg

Top# woning dichtst bij spoor gelegen	Afstand tot weg	Max. VTOP van events met wegverkeer-karakteristiek	Is er een afwijkende situatie?
2	5,0	-	ja, werkelijke snelheid ligt lager (smalle weg, bocht)
5	7,6	-	ja, woonwijk
8	8,4	-	ja
10	9,8	-	ja, werkelijke snelheid ligt lager (smalle weg, bocht)
13	10,5	-	nee
15	11,4	-	nee
16	11,5	-	ja, werkelijke snelheid ligt lager (smalle weg, bocht)
17	12,3	-	ja, vlak voor 30 km/h zone
20	13,1	-	ja, woonwijk
22	13,3	-	nee
24	13,9	-	nee
25	14,2	-	ja, werkelijke snelheid ligt lager (smalle weg, bocht)
26	14,6	-	nee
27	14,7	-	ja, doorgaande weg ligt verder
28	15,0	-	ja ligt een sloot tussen
29	15,8	-	ja woonwijk, werkelijke snelheid ligt lager
30	20,1	-	nee
31	23,0	-	ja, vlakbij kruising, wekelijkse snelheid ligt lager
33	23,0	-	ja, ligt sloot/kanaaltje tussen
34	24,0	-	nee
35	24,3	-	nee

Wanneer de adressen met afwijkende situaties niet worden meegenomen, dan blijven er in totaal 21 (34-13) adressen over. Van deze 21 adressen is de afstand tot aan de weg uitgezet tegen de maximale geregistreerde VTOP-waarde als gevolg van wegverkeer. Onderstaande afbeelding geeft de verdeling weer.

Afbeelding 4.9 Geregistreeerde VTOP-niveaus bij woningen aan doorgaande 50 km/h wegen waar zwaar verkeer te verwachten is, verdeeld in afstand van gevel tot hart weg. Afwijkende situaties waarvoor een lagere lokale snelheid te verwachte is, zijn er uitgefilterd*



* De waarden <1 betreffen de adressen waarvoor geen event met wegverkeer karakteristiek is gevonden.

Uit afbeelding 4.9 blijkt dat voor de 6 woningen met een afstand tussen de 0-10 m tot aan een 50 km/h doorgaande weg er voor alle 6 adressen VTOP-niveaus als gevolg van wegverkeer boven de 1,0 mm/s zijn geregistreerd. Voor woningen op een afstand van 10-20 m zijn er 2 adressen gevonden met een VTOP-niveau tussen de 2.0 en 3.0, 5 tussen de 1.0 en 2.0 en 5 onder de 1.0 mm/s. Voor woningen met een afstand tussen 20-25 m zijn events als gevolg van wegverkeer geregistreerd, oftewel de maximum VTOP-niveaus liggen onder de 1.0 mm/s.

Wordt getoetst aan de SBR deel A met als grenswaarde 3 mm/s en een partiële veiligheidsfactor van 1,5 voor herhaald kortdurende trillingen dan toont bovenstaande staafdiagram aan dat binnen 10 m van een doorgaande weg (50 km/h of meer, waarbij ook echt sprake is van een doorgaand verkeer en niet bijvoorbeeld een scherpe bocht in de weg of een kruising waar gestopt moet worden) er in een deel van de woningen trillingsniveaus boven de 2-3 mm/s zijn gevonden als gevolg van wegverkeer. Buiten de 10 m niet of enkele.

Karakteristiek zijn de doorgaande wegen door dorpen heen.

Treinverkeer

Bij treinverkeer speelt met name de afstand tot aan het spoor en het type treinverkeer een rol in trillingen. De ervaring leert dat buiten 100 m van het spoor zelden hinder, laat staan schade, als gevolg van treinverkeer optreedt. Kijken we naar de afstand tot aan het spoor dan volgt dat elf woningen op een afstand van minder dan 100 m van het spoor liggen.

Tabel 4.4 Geregisteerde VTOP-niveaus als gevolg van treinverkeer voor woningen tot een afstand van 200 m tot aan het spoor

Top# woning dichtst bij spoor gelegen	Afstand tot spoor	# Geregisteerde events	Max. VTOP alle events	Max. VTOP van events met treinpassagekarakteristiek	Mogelijke overige maatgevende bronnen
1	12,45	27	52,78	1,59	
2	15,38	3	87,63	-	
3	22,84	13	1,84	1,09	
4	29,72	2	2,77	-	
5	32,86	6	11,02	-	
6	37,21	4	0,00	-	
7	44,01	6	5,00	-	
8	53,12	1	47,19	-	
9	61,77	5.533	6,46	2,83	
10	78,67	20	16,39	-	
11	82,80	6	4,19	-	
12	101,84	9	5,30	1,4	
13	108,46	2	3,25	-	
14	119,91	1	8,51	-	
15	125,18	0	0,00	-	
16	142,35	15	3,18	-	
17	144,98	0	1,00	-	
18	151,94	7	0,00	-	
19	157,47	33	29,22	-	
20	158,05	8	11,88	-	
21	165,14	3	2,32	-	
22	172,19	6	4,71	1,09	
23	197,32	4	0,00	-	
24	199,32	150	3,65	1,74	
25	200,25	3	52,18	-	

Uit bovenstaande tabel blijkt dat er geen relatie gevonden kan worden tussen gemeten trillingniveau en afstand tot het spoor. Ervaring uit spoorprojecten leert dat wanneer naar trillingsniveaus op maaiveld gekeken wordt, er vaak wel een relatie gevonden kan worden (exponentiële afname), maar wanneer naar meetniveaus op de fundering gekeken wordt een veel grilliger beeld ontstaat. Dit komt overeen met de resultaten uit bovenstaande tabel.

4.2.3 Resultaat

Uit het onderzoek volgt:

- een onregelmatig patroon als het gaat om trillingsniveaus met afstanden tot het spoor;
 - een onregelmatig patroon als het gaat om trillingsniveaus binnen 50 m van een drempel;
 - op basis van een beperkt aantal woningen, een relatie tussen trillingsniveau en afstand tot de weg wanneer sprake is van een doorgaande weg met een snelheidslimiet van 50 km/h of meer op korte afstand van de woning.
-
- er is sprake van een 50 km/h weg (50 km/h of meer, dus ook provinciaal autosnelweg etc.) waarbij het doorgaande verkeer ook 50 km/h kan rijden (<10 m);
 - er is sprake van een 50 km/h weg (of meer, dus ook provinciaal etc.) en een drempel gelegen in de betreffende weg nabij de woning (<20 m).
-

4.3 Bodemdaling door diepe delfstofwinning

4.3.1 Doel

Het doel van het vergaren van de gegevens die in deze paragraaf staan beschreven is een maat te krijgen van de verwachte bodemdaling voor elke locatie ten gevolge van diepe delfstofwinning. Een maat voor de verwachte bodemdaling door gaswinning en zoutwinning kan direct worden verkregen door middel van de bodemdalingskaarten die, respectievelijk, namens de NAM en Nedmag zijn opgesteld. De bodemdalingkaarten zijn verkregen door metingen van maaiveldzakking.

4.3.2 Methode

Staatstoezicht op de Mijnen houdt toezicht op de bodembewegingen aan het maaiveld als gevolg van aardgaswinning en zoutwinning. De mijnbouwonderneming is verantwoordelijk voor het uitvoeren van de metingen van bodembeweging als gevolg van delfstofwinning. Wat er gemeten wordt ligt vast in een jaarlijks in te dienen en goed te keuren meetplan conform het Mijnbouwbesluit.

In het mijnbouwbesluit is niet vastgelegd met welke methode en met welke nauwkeurigheid de bodemdaling moet worden gemeten. Om een hoge nauwkeurigheid te bereiken wordt doorgaands gebruik gemaakt van een doorgaande waterpassing en wordt deze direct aangesloten op een of meerdere recentelijk gecontroleerde diep gefundeerde NAP-peilmerken. Deze punten worden niet beïnvloedt door seizoensfluctuaties of autonome zettingen. Een waterpassing die uit meer dan één slag bestaat heet een doorgaande waterpassing. Door de daling van alle meetpunten te interpoleren kan een contourkaart van de daling worden gemaakt waarbij de contouren in dit geval lijnen zijn met gelijke dalingen. Het geheel van contourlijnen is de bodemdalingskaart. Waar de contourlijnen het dichtst bij elkaar liggen is de relatieve hoekverdraaiing het grootst. Als er schade optreedt door bodemdaling zal dit op deze plekken het grootst zijn.

Schade door bodemdaling ten gevolge van gaswinning

Aardgaswinning heeft bodemdaling tot gevolg. Hierbij dient onderscheid gemaakt te worden tussen twee effecten die verantwoordelijk (kunnen) zijn voor deze bodemdaling:

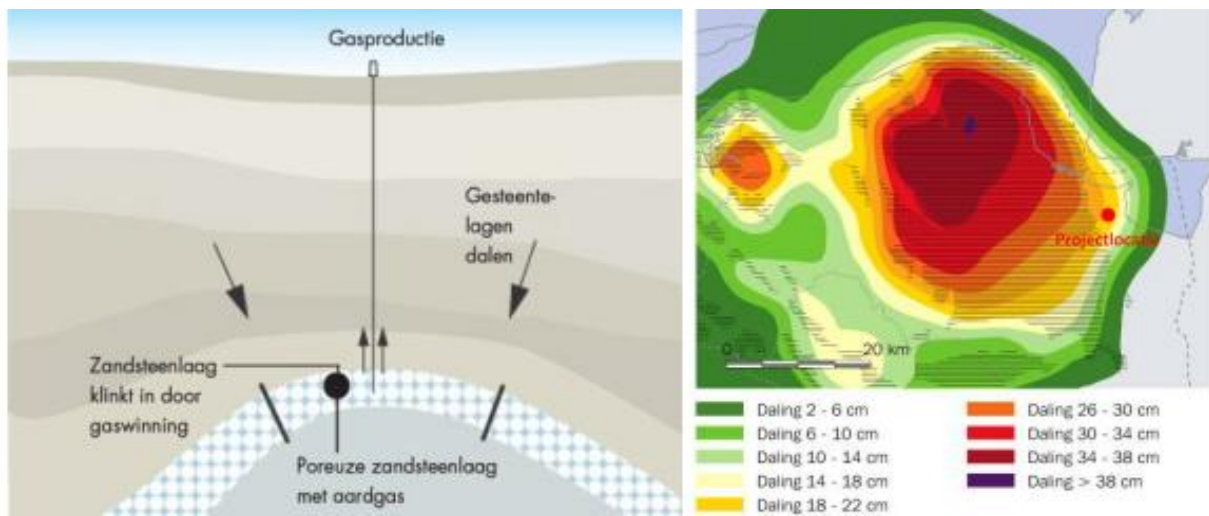
- een directe (diepe) oorzaak, te weten drukverlaging in het gesteente waar het aardgas wordt gewonnen;
- een indirecte (ondiepe) oorzaak, te weten wijzigingen in de waterhuishouding welke beschouwd wordt in paragraaf 4.5.

Bodemdaling door drukverlaging in het gesteente waar aardgas wordt gewonnen

Aardgas wordt in het Groningen veld gewonnen op circa 3 km diepte. Door drukverlaging in het gesteente waar het aardgas wordt gewonnen treedt compactie (samendrukking) op van het gesteente. Door het gewicht van de bovenliggende grondlagen zullen deze grondlagen zakken en ontstaat aan de oppervlakte een bodemdaling. Deze effecten spelen op regionale schaal boven het gehele gasreservoir. In welke mate bodemdaling optreedt, hangt onder andere af van de drukverlaging, de gesteente-eigenschappen en de diepte en omvang van het reservoir.

Bodemdaling door gaswinning verloopt zeer geleidelijk, gespreid over een groot oppervlak en is niet voor het oog zichtbaar. De bodemdaling is wel meetbaar als een komvormige bodemdaling. De bodemdalingskom beslaat een groter oppervlak dan het reservoir waarbij de grootte van de optredende bodemdaling kleiner is dan de compactie van het reservoir.

Afbeelding 4.10 Bodemdaling ten gevolge van gaswinning



Komvormige bodemdaling treedt op over een relatief groot oppervlak, met een maximale helling van 1 mm over een lengte van 25 m [1]. Doordat de bodem in een groot gebied langzaam en geleidelijk daalt, is er geen sprake van verschilzakking op het maaiveld. Een gebouw ondergaat hierdoor een vrijwel rechtstandige zakking waardoor schade aan gebouwen hierdoor niet is te verwachten.

Het gasreservoir in Groningen wordt gevormd door de Slochteren zandsteen. Het zandsteen heeft een gemiddelde dikte van 160 m en wordt doorsneden door talrijke grote en kleine breuken die allen een steile hellinghoek hebben. Indien bestaande of nieuwe breuken zich door zetten tot aan het maaiveld zouden ze daar ongelijkmatige zakkingen kunnen veroorzaken. De Commissie Bodemdaling heeft in 1987 de mogelijkheid tot het ontstaan van onregelmatige zakkingen ten gevolge van breukbeweging laten onderzoeken [2]. Op basis van uitgevoerd onderzoek mag uitgesloten worden geacht dat dit fenomeen zich manifesteert in het buitengebied.

Schade door bodemdaling ten gevolge van zoutwinning bij Veendam door Nedmag

Bodemdaling heeft vooral effect op de waterhuishouding en de gevolgen daarvan voor landbouw, natuur en gebouwen en kan niet of slechts zeer beperkt leiden tot directe schade aan gebouwen. De bodemdaling door de diepe zoutwinning is namelijk zeer gelijkmatig. Nedmag maakt bovendien sinds 1993 gebruik van de zogenaamde 'squeeze methode'. Deze methode wijkt af van de conventionele zoutwinning. De conventionele winning bestaat uit het onder hoge druk injecteren van water in zoutlagen, waardoor het zout oplost en via de put naar maaiveld wordt gepompt, daarmee een relatief grote caverne achterlatend. Na de productiefase zal door kruip na verloop van tijd de caverne kleiner worden (convergentie) en treedt nog gedurende lange tijd bodemdaling op.

De squeeze-methode bestaat uit het onder relatief lage druk injecteren van water in kleine cavernes. Hierbij worden de makkelijker oplosbare magnesiumzouten rondom de put door de heersende druk naar de caveerne geperst, waar het wordt gewonnen door het in oplossing gaan van deze zouten. Het voordeel is dat met een relatief kleine caveerne een relatief groot volume van het magnesiumzout kan worden gewonnen. Door het uitpersen (het 'squeeze') van het zout treedt bodemdaling al op tijdens de productiefase.

De nog te verwachten bodemdaling hangt sterk af van het winningsplan van Nedmag. Er is door Deltares een prognosemodel opgesteld [4] voor de squeeze-methode die door middel van numerieke modellen en bodemdalingsmetingen zijn gekalibreerd. Dit model beschrijft de zakking ten gevolge van squeeze in één caveerne in een punt aan het maaiveld op een horizontale afstand (r) van de caveerne. De variabelen in dit model zijn de kom-parameters (die de vorm van de kom bepalen) en het squeeze volume in de caveerne op basis van een productie scenario. Het model is opgesteld voor de huidige winlocaties.

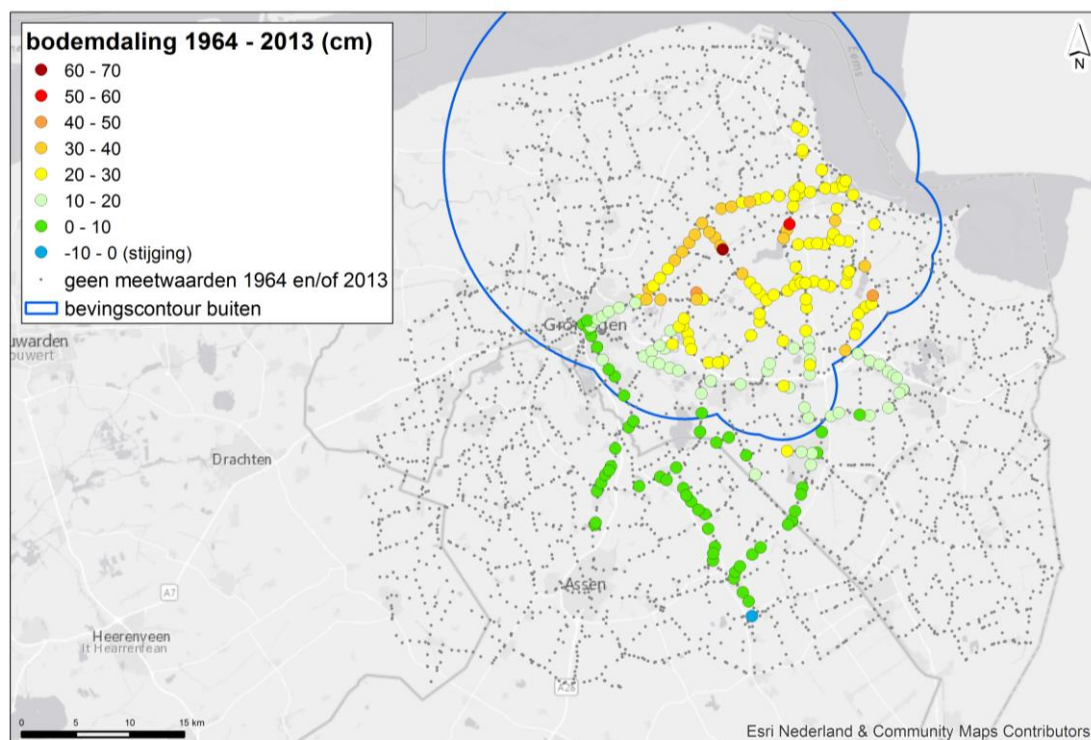
De bodemdaling ten gevolge van zoutwinning door Nedmag overlapt met de bodemdaling door jarenlange gaswinning in de nabijgelegen gasvelden en autonome zetting in de slappe holocene grondlagen in het gebied. Deze moeten worden opgeteld bij de bodemdalingcontouren van de zoutwinning om de totale bodemdaling te krijgen. Voor de omgeving is vooral relevant wat het totale gezamenlijke effect is van alle bodemdalingsoorzaken, inclusief de effecten van de mitigerende maatregelen zoals peilverlagingen van het oppervlaktewater.

4.3.3 Resultaat

Eén keer in de 5 jaar voert de NAM een zogenaamde 'grote waterpassing' uit in Noord-Nederland om de bodemdaling door gaswinning te monitoren. De laatste grote waterpassing was in 2013 [5], zie afbeelding 4.11. Deze kaart laat zien dat het diepste deel van het bodemdalingsgebied ongeveer 32 cm is gedaald.

Op een andere bodemdalingskaart, te zien in afbeelding 4.11 is bijgesloten is het hoogteverschil weergegeven tussen de metingen uitgevoerd in 1964 en 2013. Het betreft een weergave van enkel de stabiele meetpunten. De metingen bevestigen dat de bodemdaling heel geleidelijk verloopt.

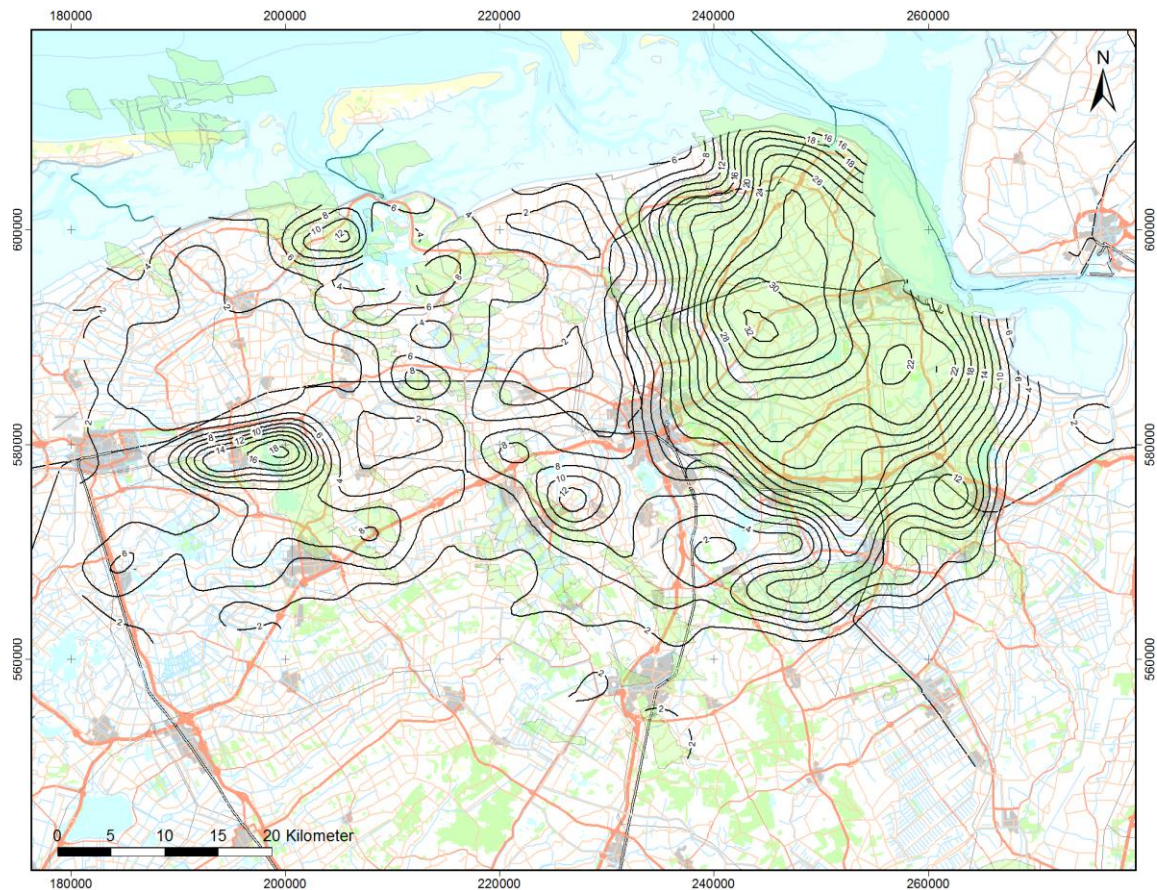
Afbeelding 4.11 Bodemdalingskaart



Uit deze vergelijking blijkt dat in 49 jaar de meetpunten in het buitengebied voor het overgrote deel tussen de 0 en 0,1 m zijn gedaald. Nabij Veendam worden grotere waarden gevonden. Deze verhoogde waarden worden veroorzaakt door de zoutwinning ten westen van Veendam.

De bodemdaling in het zoutwingebied van Nedmag nabij Veendam wordt iedere twee jaar met een waterpassing ingemeten [7]. Afbeelding 4.13 geeft een resultaat van de waterpassing van Nedmag uit 2014 [6]. Het diepste deel van het bodemdalingsgebied in de afbeelding is ongeveer 32 cm gedaald (gerekend vanaf 1996).

Afbeelding 4.12 Contourkaart van de bodemdaling in 2013 op basis van ruimte-tijd analyse van waterpasdata (cm) [5]



Afbeelding 4.13 Contourenkaart bodemdaling 1993-2014 (in mm) [6]



4.4 Bodembeweging ondergrondse gasopslag UGS Norg

4.4.1 Doel

Een deel van de schademeldingen in het buitengebied valt samen met het gebied waar de diepe ondergrond wordt gebruikt voor gasopslag. De locatie waar het gas in de diepe ondergrond wordt opgeslagen wordt UGS Norg genoemd. UGS is een afkorting voor Underground Gas Storage. De locatie ligt vlakbij het dorp Langelo, net ten noordwesten van Norg. In de winter, wanneer de vraag naar aardgas het grootst is, wordt gas uit het reservoir gepompt, terwijl in de zomer er weer gas wordt ingepompt als buffer voor de winter. Het afwisselend in- en uitpompen van gas leidt tot verschillen in druk in het (gesteente) reservoir. Dit leidt op het maaiveld tot cyclische (verticale) bodembewegingen: in de winter is er bodemdaling en in de zomer is er bodemstijging. De bodem gaat als het ware al een aantal jaren (sinds 2104) ritmisch op en neer. Een aantal kleinere aardbeving zijn opgetreden (van M 1,0 tot 2,1, zie afbeelding 4.24) tussen 1993 en 1996 tegen het einde van de gasproductiefase van het Norg veld. Sinds het gebruik als gas opslag zijn er geen aardbevingen meer opgetreden. Aardbevingen worden daarom in deze beschouwing niet meegenomen. Het optreden van aardbevingen wordt in paragraaf 4.7 behandeld, ook voor dit gebied. Een aantal bewoners heeft echter aangegeven dat er korte, diepe, voortdurende trillingen worden gevoeld van bodembewegingen. Het vermoeden bestaat bij de bewoners dat dit te maken heeft met continue (breuk)bewegingen in de ondergrond.

Het doel van dit deel van de bureaustudie is:

- om na te gaan hoeveel de bodembeweging er is geweest door de ondergrondse gasopslag;
- wat de relatie is tussen de bodembeweging en de gasdrukken in het reservoir;
- een overzicht te geven van de putten die gebruikt worden voor de gasopslag en de mogelijke relatie met de opgetreden aardbevingen;
- een overzicht te geven van de opgetreden trillingen in het gebied op basis van de lokaal aanwezig TNO trillingsensoren.

4.4.2 Methode

Om bovenstaande vragen te beantwoorden wordt er allereerst data verzameld die relevant zijn voor UGS Norg. Vervolgens wordt de data geanalyseerd en dan wordt met name gekeken naar de relatie tussen bodembewegingen en reservoirdrukverloop en de mogelijke relatie tussen de locaties en status van de putten en de opgetreden aardbevingen. Tenslotte wordt er gekeken of de aanwezige informatie voldoende is om de vragen afdoende te beantwoorden en of er mogelijk nog aanvullende informatie nodig is.

De gegevens over UGS Norg zijn vrij beschikbaar via de website van het NLog data platform [1]. Via deze website is informatie beschikbaar over boringen, seismische data, productie en injectie data, (gas)velden en overige modellen, kaarten en datasets. De gegevens over UGS Norg zijn verzameld in de vorm van GIS data (locaties van putten en velden), Excel tabellen (reservoirdruk gegevens en putgegevens) en rapporten (GPS monitoring data van de verticale grondbeweging op de locatie UGS Norg). De gegevens over geïnduceerde aardbevingen worden bijgehouden door het KNMI in de geïnduceerde aardbevingscatalogus [3].

Rondom de UGS locatie nabij Langelo zijn op vier locaties een TNO trillingsensor aanwezig. Hiervan zijn drie in gebouwen in het gebied van het Norg reservoir en een van de sensoren staat op de locatie UGS Norg zelf (nabij Langelo). Om een beeld te krijgen van opgetreden trillingsniveaus zijn de meetgegevens van deze vier trillingsensoren nader onderzocht. Hierbij is gekeken naar de beschikbare 'heartbeat data'. Dit betreft de meetdata waarbij elke minuut het hoogst gemeten trillingsignaal is opgeslagen in alle drie de meetrichtingen.

Om een indruk te krijgen van het gemeten gemiddelde achtergrondniveau van trillingen, is de meetdata als volgt verwerkt:

1. per gebouw is per etmaal een maximaal gemeten VTOP-niveau bepaald (maximum van drie richtingen samen);
2. over een heel jaar is een verdeling van de gemeten maximum VTOP-niveaus per etmaal bepaald;
3. de verdeling per pand is benaderd met een log-normaal verdeling. Er is gekozen voor een benadering met een log-normaal verdeling omdat de verdeling van gemeten etmaalmaxima een log-normaal vorm vertonen en met de log-normaal verdeling een verwachtingswaarde afhankelijk van het gekozen percentage boven- dan wel ondergrens kan worden bepaald;

4.4.3 Resultaat

Algemeen overzicht van de bodembeweging

Op de locatie UGS Norg worden sinds 19 februari 2014 continue GPS metingen uitgevoerd. De resultaten van deze GPS metingen worden regelmatig gerapporteerd en vrijgegeven via de Nlog site [1] [2]. De laatste rapportage bevat GPS-data t/m 3 december 2016 [2]. Vanaf 19 februari 2014 is een absolute verticale beweging van +1.9 mm gemeten [2]. De lineaire verticale bewegingssnelheid bedraagt +3,9 mm/jaar over de laatste 12 maanden.

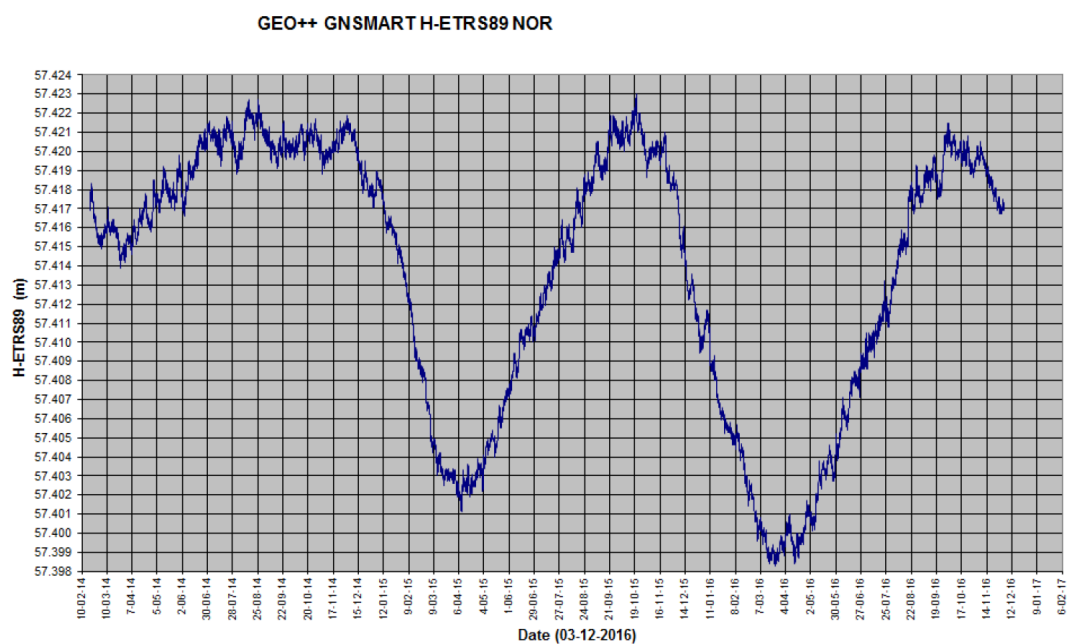
Relatie tussen de verticale grondbeweging en drukverandering

Een verhoging van de druk in het reservoir leidt tot een maaiveld stijging en een verlaging van de druk tot een maaiveld daling. De maaiveldstijging en -daling laat een zeer goede correlatie zien met het (gemiddelde) drukverloop in het gasreservoir (zie Afbeelding 4.15). Deze grafiek laat zien dat een drukverhoging van 1 bar gemiddeld leidt tot een maaiveldverhoging van 0,23 mm. Een drukverlaging van 1 bar leidt gemiddeld tot een maaiveld daling van 0,27 mm. De grootste maaiveld daling die is gemeten is 24,5 mm. Dit was in de periode eind oktober 2015 tot eind maart 2016 (dus in 5 maanden tijd), zie ook Afbeelding 4.15. Dit hing samen met een (gemiddelde) drukval van ongeveer 93 bar.

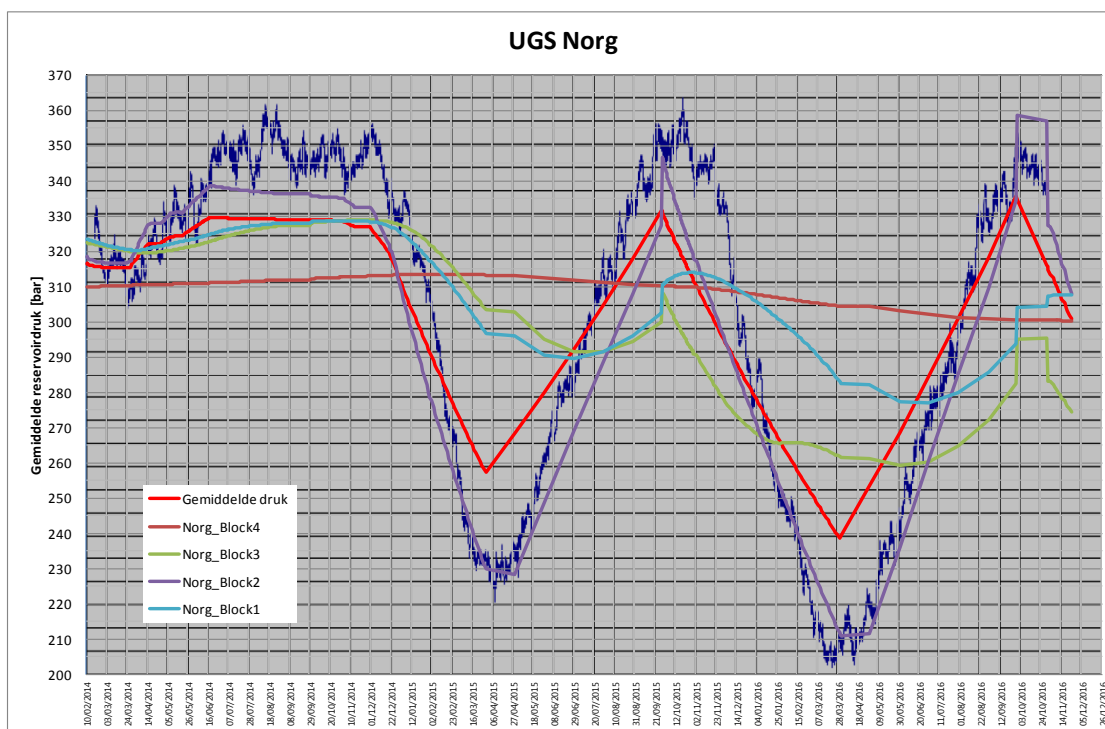
De verticale grondbeweging wordt gemeten op één locatie, namelijk op de NAM locatie UGS Norg. Dit is ook het centrale punt van het gasreservoir. Het betekent niet dat hier de grootste maaiveld daling optreedt. De drukverdeling zal zich over het gehele reservoir verdelen en de maaiveld daling zal zich daarmee over het gehele veld in meer of mindere mate manifesteren. In afbeelding 4.24 is goed te zien dat het zuidwestelijk deel van het gasveld wordt afgesloten door een noordwest-zuidoost lopende breuk. Deze breuk is een

afsluitende breuk. Dit betekent dat de drukverschillen zich niet voortzetten in het gebied ten westen van de breuk. De grootste drukverschillen en daarmee de grootste (differentiële) maaiveld dalingen kunnen zich daarmee langs dit breukvlak manifesteren. Dit zal, gezien de grote diepte van het reservoir (3 km) echter niet leiden tot zeer scherpe of abrupte veranderingen op het maaiveld. De verschillen kunnen hier echter wel groter zijn dan in het midden van het reservoir waar de huidige meting wordt uitgevoerd. De enige manier om dit na te gaan is om maaiveld monitoring uit voeren in raaien loodrecht op het geprojecteerde breukvlak, dus zowel ten zuidwesten (buiten het reservoir) als ten noordoosten van de breuklijn. Deze monitoring zou uitgevoerd kunnen worden met bestaande en toekomstige In SAR data, mits deze een temporele resolutie heeft die voldoende hoog is (een voldoende klein tijdsinterval) om de jaarlijkse fluctuatie te kunnen vastleggen.

Afbeelding 4.14 GPS meetdata op de locatie UGS Norg van 19-02-2014 tot 3-12-2016 [2]. De verticale schaal is in meters. De horizontale schaal is de tijd. De verticale schaal is niet in m. NAP, maar is gebaseerd op European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89), het driedimensionale geodetische referentiestelsel dat in Nederland wordt gebruikt



Abbeelding 4.15 Relatie tussen het verloop van de GPS meting op maaiveld (donker blauwe lijn) en de drukverschillen in het reservoir (overige lijnen). Bron: [1] en [2]. De schaal van de blauwe lijn is niet gegeven op deze grafiek, maar is af te lezen op afbeelding 4.14,



Overzicht van de aanwezige putten

De coördinaten van de putten (bovenkant en onderkant) zijn bekend en zijn geplott in afbeelding 4.24. Voor de locatie UGS Norg gaat het om 12 putten (zie tabel 4.5). Van 6 van deze putten is bekend dat ze produceren (Boorgatstatus: *producing*). De informatie van de laatste 3 geboorde putten (NOR-41, NORG-416 en NOR-43) zijn nog niet openbaar, dus de status hiervan is niet bekend. Alle putten zijn gedevieerd (onder een hoek) geboord. Zowel de locatie van de put aan het oppervlak als op reservoirdiepte zijn bekend (zie afbeelding 4.24). De putmonden op reservoirdiepte zitten ongeveer 500 tot 600 m. van de breuklijnen af. Een uitzondering is de putmond van NORG-35. Deze zit op minder dan 100 m van een breuk.

Het is onbekend wat het effect is van een putmond vlakbij een breuk en wat het effect is op de bovenliggende bewoning. Over het algemeen zal de drukval zich in een goed doorlatend reservoir snel herverdelen. Op ongeveer 3 km afstand van NORG-35 heeft zich op 5 maart 1993 een aardbeving voorgedaan met een Magnitude 1,5. Dit was nog voor de datum waarop de boring is uitgevoerd (1996). Deze boring heeft dus geen relatie gehad met deze beving.

De putmonden van de producerende boringen NORG-21 en NORG -31-SIDETRACK2¹ en liggen vrij dicht (respectievelijk, 1 tot 1,5 km) van de aardbeving van M 1.1 van 7 juni 1999. De gasproductie via deze twee putten hebben gezien het tijdstip waarop ze geboord zijn mogelijk geleid tot deze aardbeving. Boring NORG-04, is overigens gedaan vanaf een andere locatie iets ten noorden van Steenberg (Norg-3) is alleen niet gebruikt voor productie, maar voor metingen. De putten NORG-31 en NORG-31-SIDETRACK1 zijn niet in gebruik (geplugd), mogelijk vanwege problemen tijdens (het laatste deel van) de boring, of om andere (reservoir-)technische redenen.

¹ Een side track is het opnieuw boren van een sectie wanneer dit (als gevolg van technische redenen) nodig is.

Tabel 4.5 Overzicht van de putten geboord in en rondom de gasopslag UGS Norg

	Einddatum	Boorgatnaam	Boorgatdoel Code	Boorgatdoel	Boorgatstatus	Boorgatvorm
23/03/1977	17/05/1977	NORG-02	EVA-HC	Evaluatie koolwaterstof	Observing ¹	Gedevieerd
03/04/1991	16/06/1991	NORG-05	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Producing	Gedevieerd
07/03/1996	29/04/1996	NORG-21	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Producing	Gedevieerd
05/01/1996	03/03/1996	NORG-23	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Producing	Gedevieerd
25/08/1996	19/10/1996	NORG-31	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Plugged back and sidetracked	Gedevieerd
20/10/1996	31/10/1996	NORG-31- SIDETRACK1	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Plugged back	Gedevieerd
06/11/1996	18/11/1996	NORG-31- SIDETRACK2	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Producing	Gedevieerd
01/07/1996	25/08/1996	NORG-33	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Producing	Gedevieerd
03/05/1996	26/06/1996	NORG-35	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof	Producing	Gedevieerd
21/01/2014	26/05/2014	NORG-41	DEV-SG	Ontwikkeling gasopslag		Gedevieerd
22/06/2012	04/09/2012	NORG-416	DEV-HC	Ontwikkeling koolwaterstof		Gedevieerd
31/01/2014	03/05/2014	NORG-43	DEV-SG	Ontwikkeling gasopslag		Gedevieerd

Overzicht van de trillingen in het gebied rond UGS Norg

Met de verwerking van de trillingsmeetgegevens wordt een beeld verkregen van hoe de verdeling van de maximale per dag opgetreden trillingsniveaus per jaar er uitziet. In afbeeldingen 4.16 t/m 4.23 worden de gevonden verdelingen weergegeven. Door middel van de verdeling per adres kan een verwachtingswaarde maar ook een bovengrensbepaald worden. Tabel 4.6 geeft de verwachtingswaarde en de 95 % bovengrenswaarde van alle vier de gevonden verdelingen weer.

Tabel 4.6 Verwachtingswaarde en 95 % waarde van verdelingen meetwaarden. Omwille van privacy kunnen de precieze locaties van de gebouwen waar de sensoren zijn geplaatst niet worden weergegeven. Allen bevinden zich in het in het geprojecteerde gebied van het Norg gas reservoir

Locatie	Verwachtingswaarde (mm/s)	95 % bovengrens (mm/s)
gebouw A	0,22	0,64
gebouw B	0,09	0,26
gebouw C	0,09	0,14
gebouw NAM Langelo	0,08	0,25

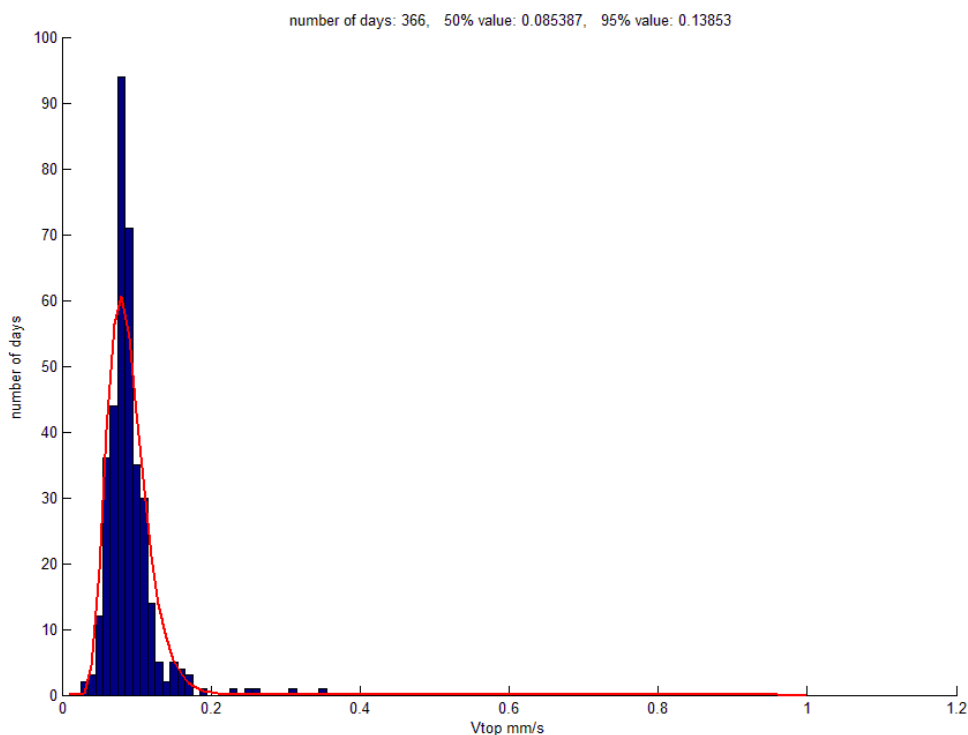
¹ Norg 02 wordt niet voor opslag gebruikt maar wel voor monitoring. In het verleden werd de put gebruikt voor productie (tot 1995). Norg 01, Norg 03 en Nor 04 worden ook gebruikt voor monitoring en werden in het verleden ook gebruikt voor productie. Deze putten staan echter op andere locaties en zijn daarom hier niet opgesomd.

Uit tabel 4.6 blijkt dat voor drie van de vier locaties een verwachtingswaarde onder de 0,1 mm/s wordt gevonden. Dit betekent dat op basis van de verdeling voor een gemiddelde dag een niveau onder de 0,1 mm/s wordt verwacht. Voor één woning ligt deze waarde op 0,22 mm/s. Voor 95 % van de dagen in het jaar blijkt het opgetreden niveau voor deze woning 0,65 mm/s te bedragen. Voor de andere drie locaties ligt dit niveau lager.

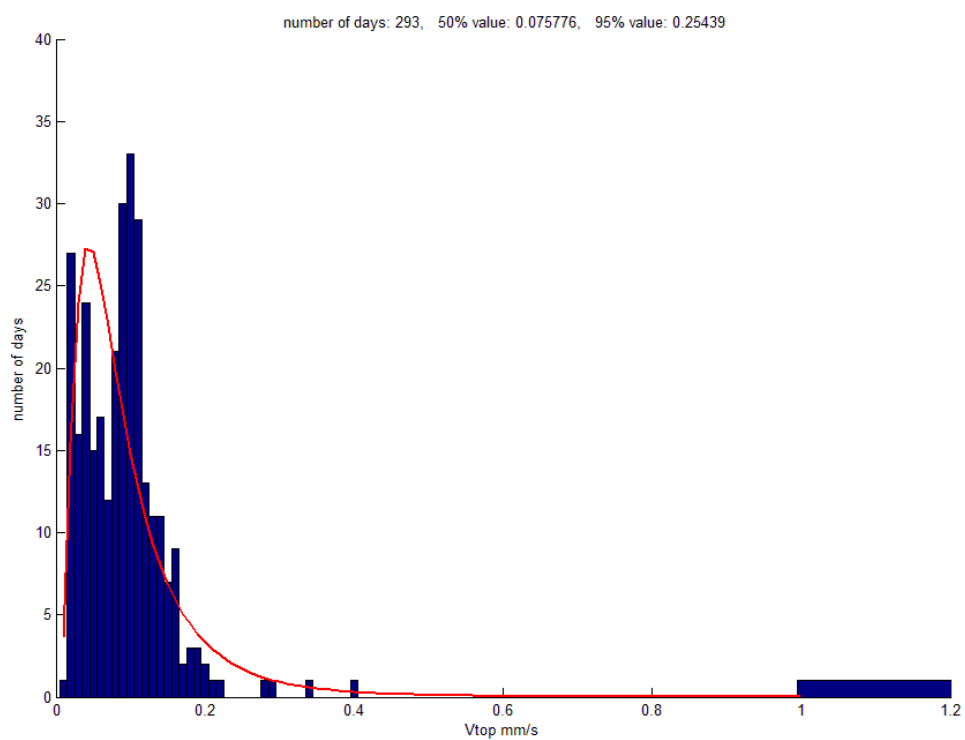
De meetdata van de vier locaties waarvan TNO sensormeetdata beschikbaar is laten een beeld zien waarbij het gemiddelde trillingsniveau laag ligt, namelijk onder 0,25 mm/s. Er lijkt geen structurele bron aanwezig die tot hoge niveaus leidt. Deze waarden liggen onder de gemiddelde (achtergrond)trillingsniveaus die met de TNO sensor data in de rest van het aardbevingsgebied worden gevonden (zie paragraaf 4.11). Wel worden er incidenteel enkele hoge pieken gevonden. Dit beeld wordt ook in vrijwel TNO meetdatasets teruggevonden en heeft meestal te maken met het per ongeluk stoten tegen de sensor.

Overigens zijn er ook een 4 KNMI stations in de omgeving (zie afbeelding 4.24) aanwezig. Deze leveren ook continue trillingsmetingen die niet beïnvloed worden door de woning of ander gebruik. Deze gegevens zijn in dit onderzoek echter niet meegenomen.

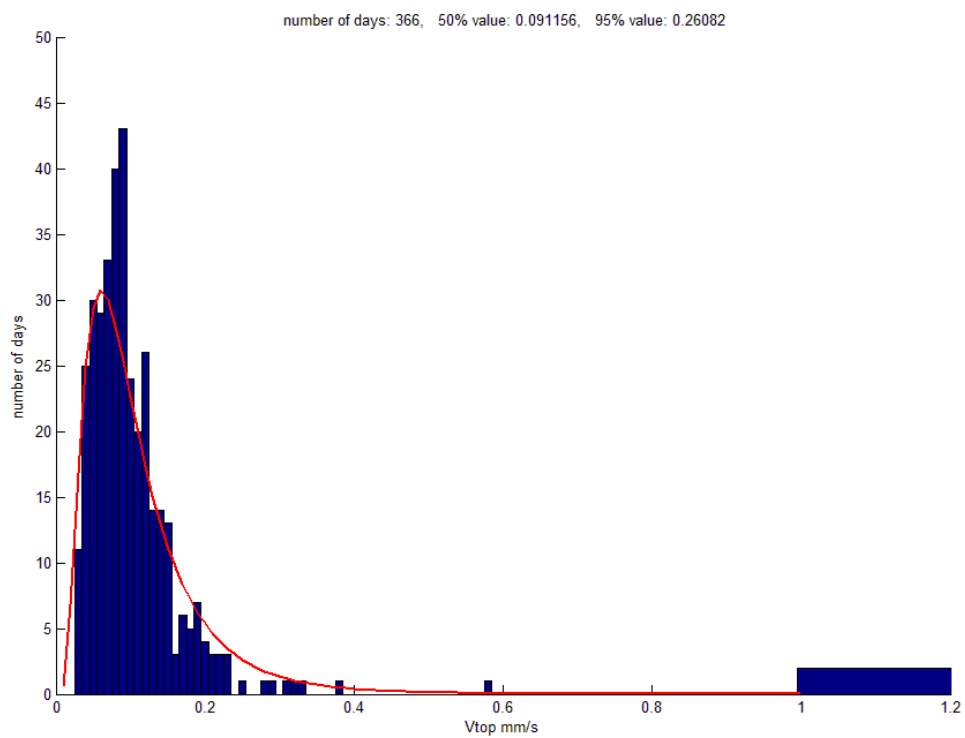
Afbeelding 4.16 Lognormaalverdeling VTOP-niveaus per dag Woning C



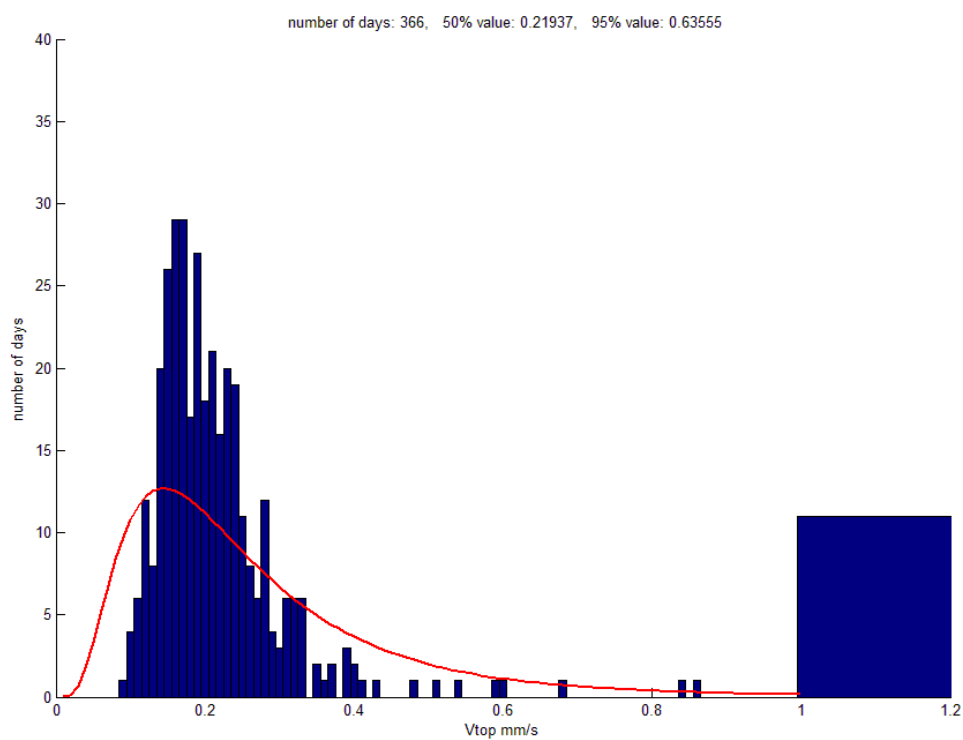
Afbeelding 4.17 Lognormaalverdeling VTOP-niveaus per dag gebouw NAM Langelo



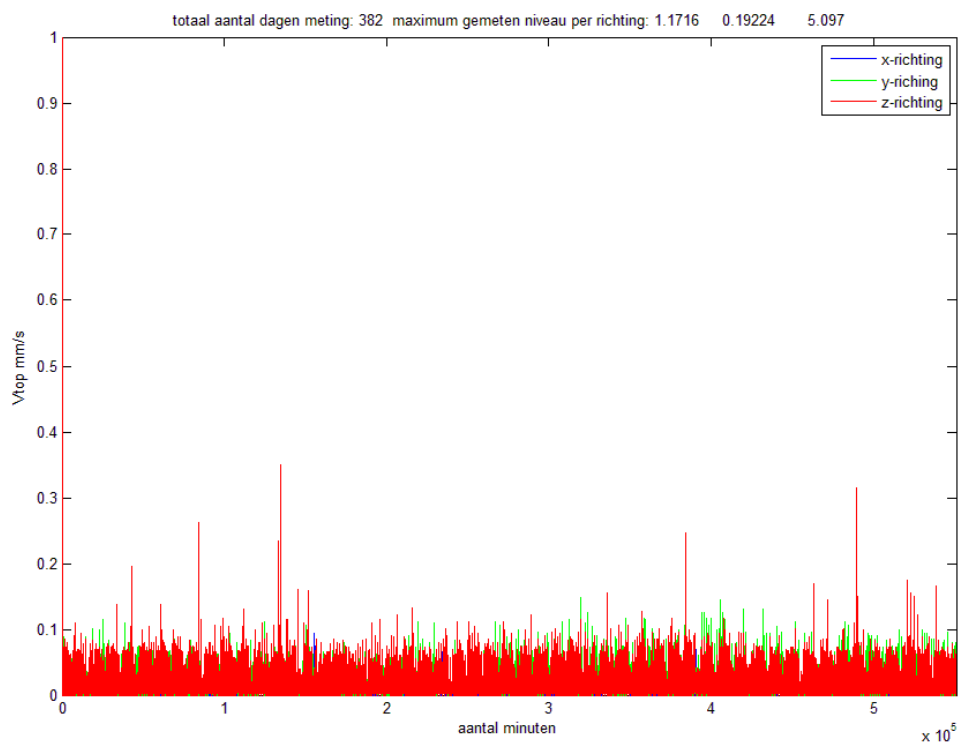
Afbeelding 4.18 Lognormaalverdeling VTOP-niveaus per dag woning B



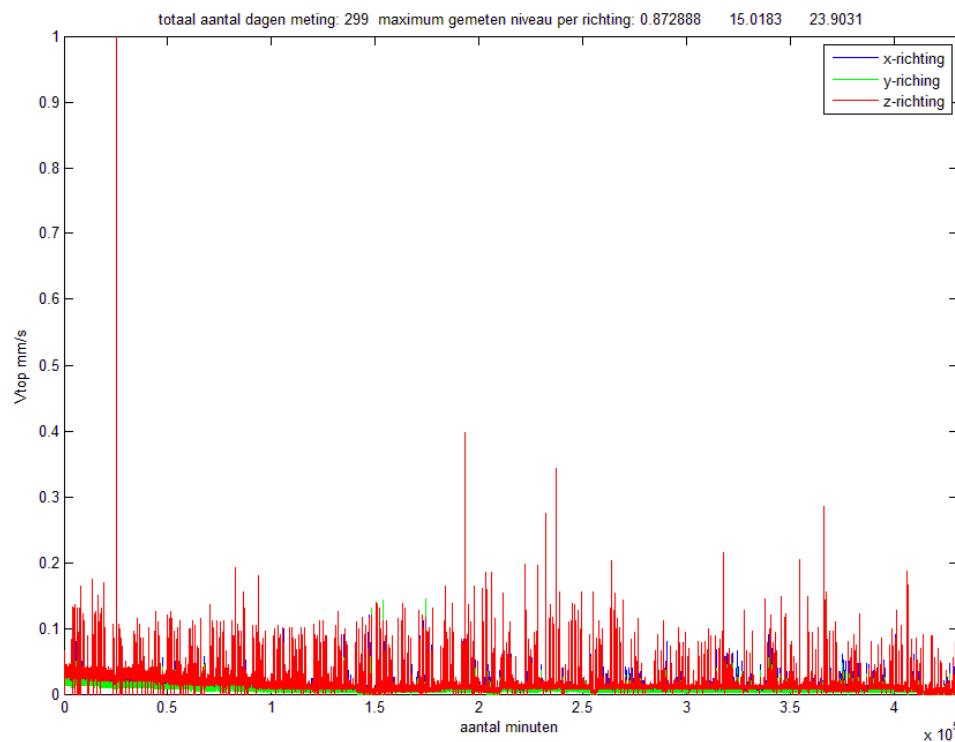
Afbeelding 4.19 Lognormaalverdeling VTOP-niveaus per dag woning A



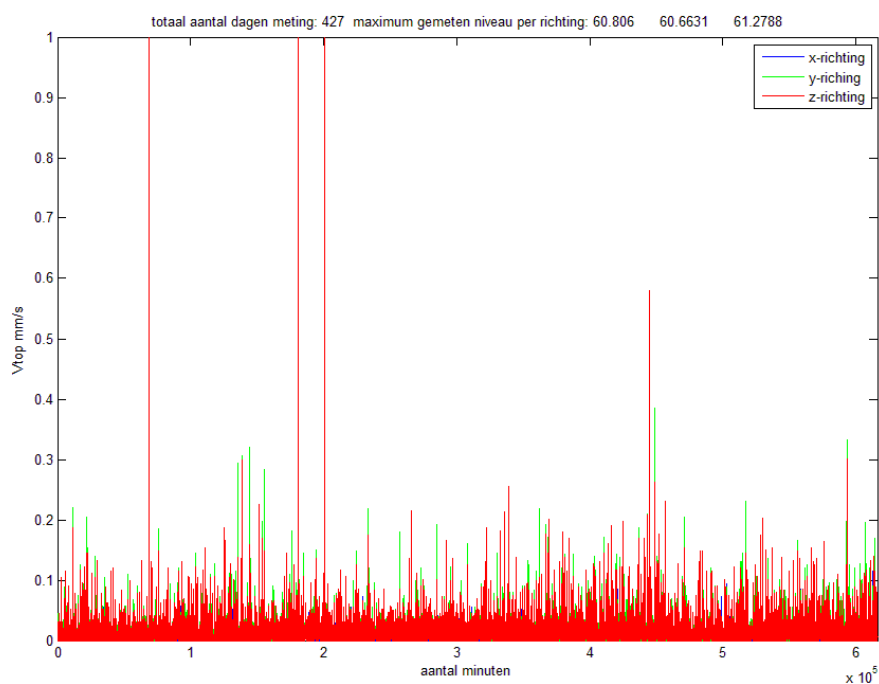
Afbeelding 4.20 Onbewerkte heartbeatdata VTOP-niveaus per minuut woning C



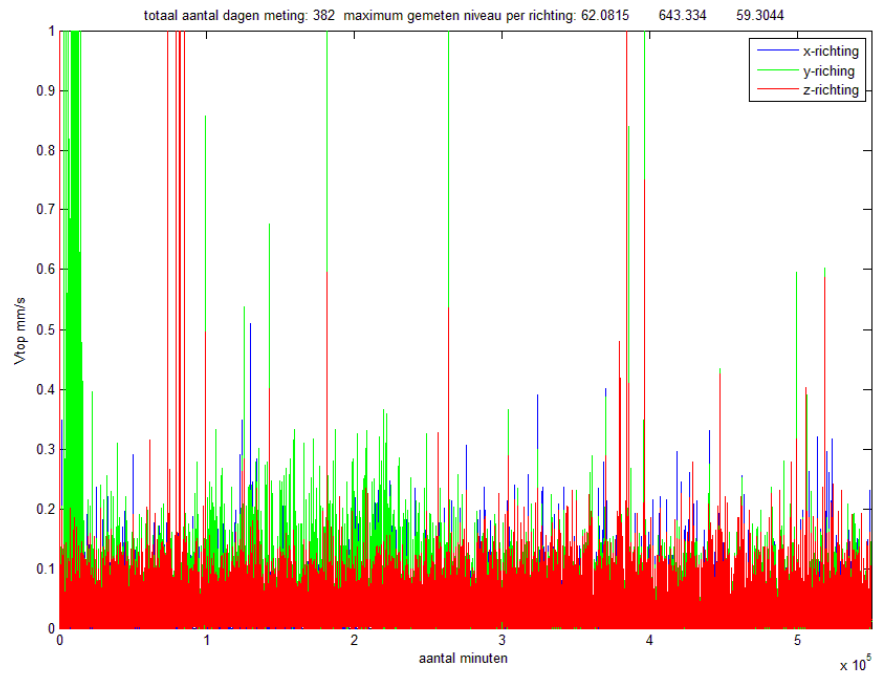
Afbeelding 4.21 Onbewerkte heartbeatdata VTOP-niveaus per minuut NAM gebouw



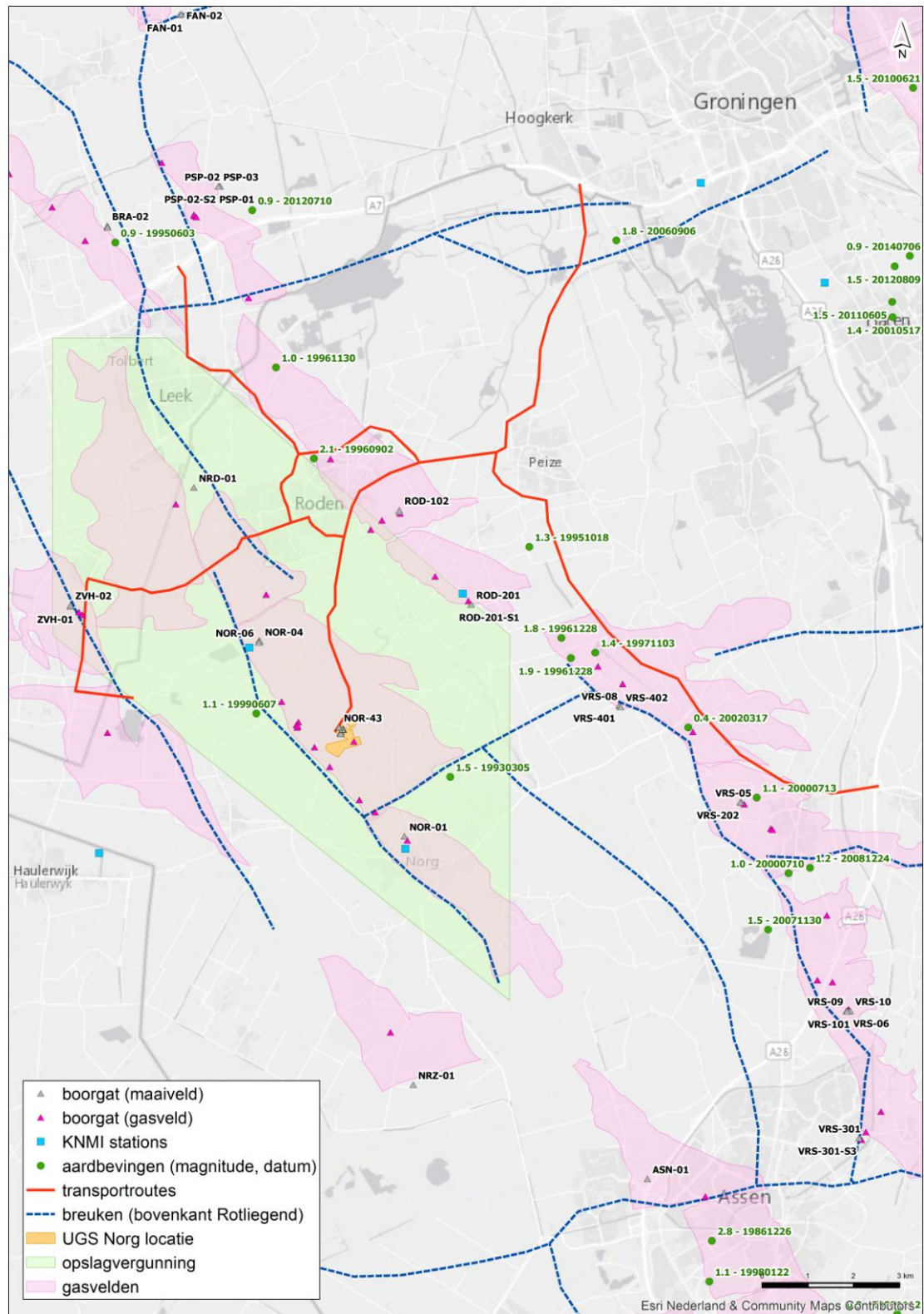
Afbeelding 4.22 Onbewerkte heartbeatdata VTOP-niveaus per minuut woning B



Afbeelding 4.23 Onbewerkte heartbeatdata VTOP-niveaus per minuut woning A



Afbeelding 4.24 Overzichtskaart van de locatie UGS Norg



4.4.4 Referenties

- 1 Nlog (2017). Informatie over mijnbouw in Nederland en het Nederlandse deel van het continentaal plat. Website: <http://www.nlog.nl/> (laatst geraadpleegd: 17 maart 2017).
- 2 NAM (2016). Continue GPS hoogtemetingen NAM Norg Rapportage november 2016.
- 3 KNMI (2016). Aardbevingscatalogus voor geïnduceerde aardbevingen: Website: http://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/seismologie/all_induced.pdf (laatst geraadpleegd: 2 december 2016).

4.5 Bodemdaling ondiepe ondergrond

4.5.1 Doel

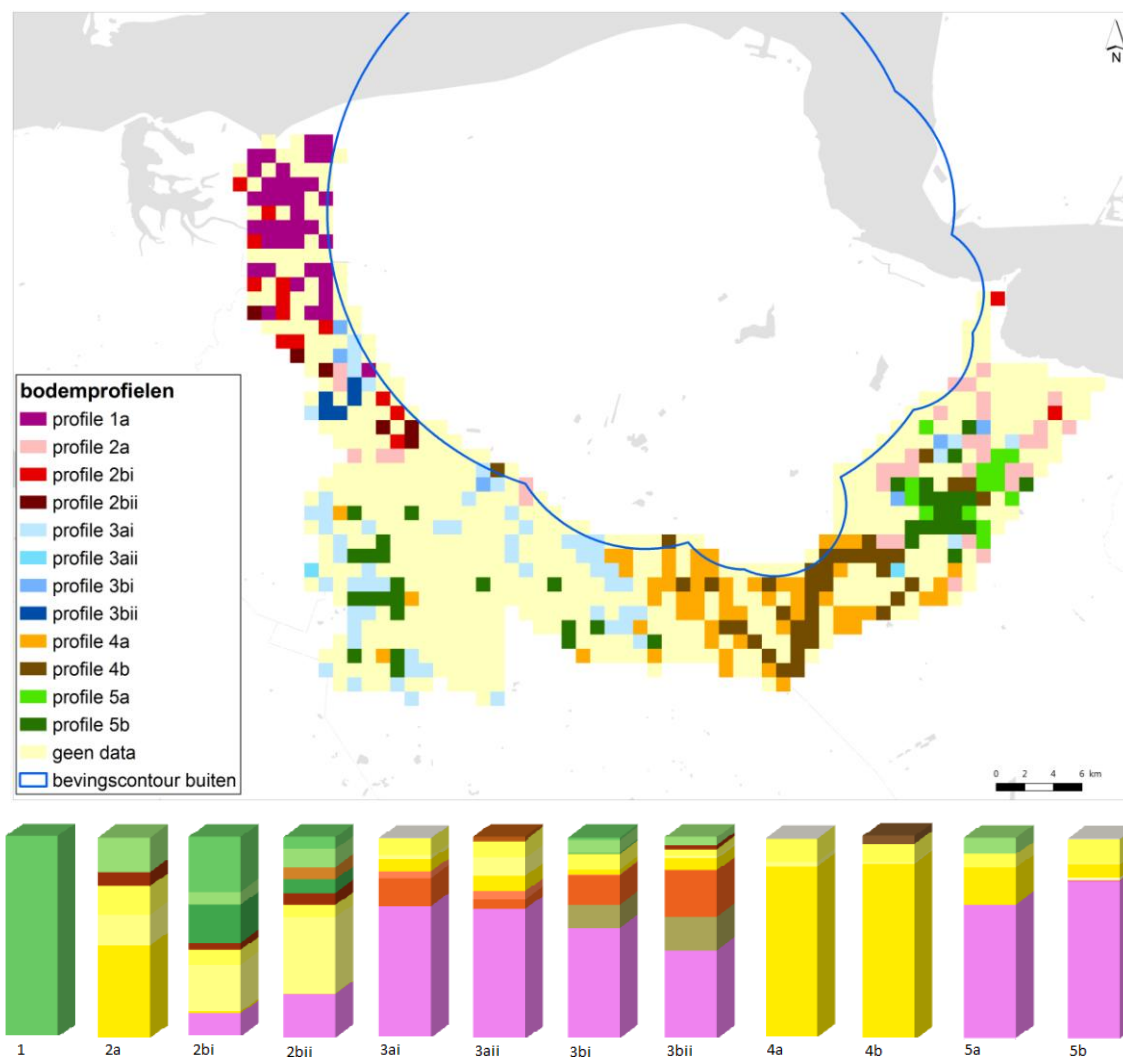
Bodemdaling in de ondiepe ondergrond kan veroorzaakt worden door zettingen als gevolg van het aanbrengen van een bovenbelasting. Om een maat te krijgen van de verwachte bodemdaling ter plaatse van elke woning, wordt informatie verzameld over de ondiepe ondergrond en de zettingsgevoeligheid ervan.

4.5.2 Methode

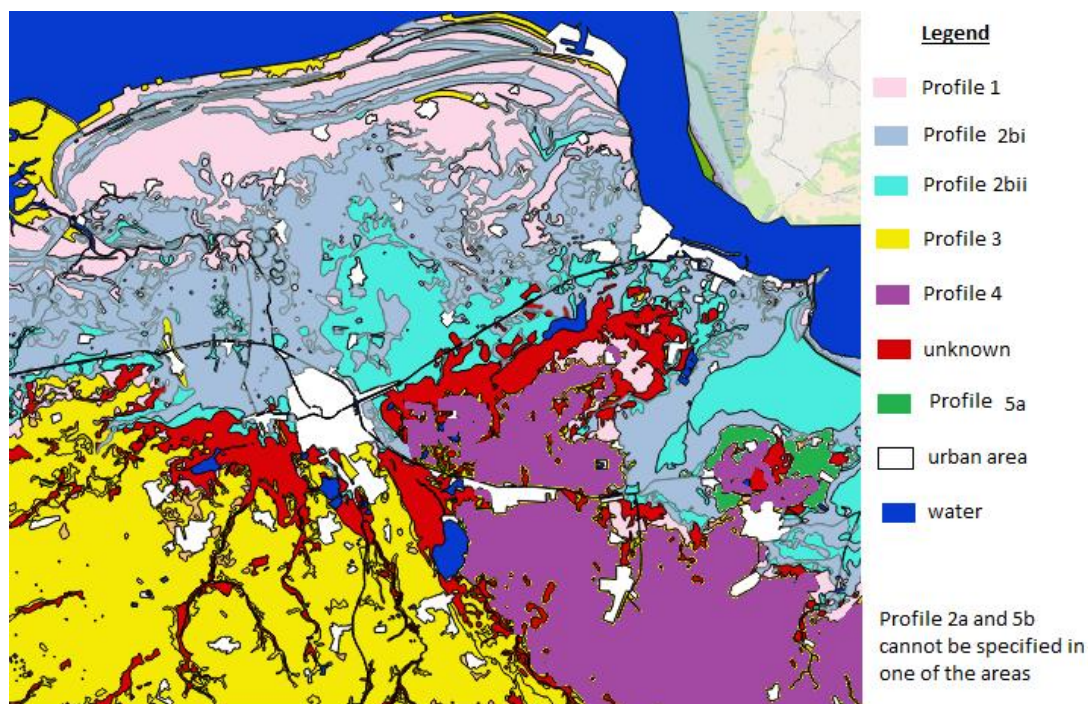
De aanpak is gebaseerd op het gegeven dat het aanbrengen van een funderingsbelasting een zettingsreactie teweeg brengt in de ondergrond over de eerste meters beneden het funderingsniveau, uitgaande van een fundering op staal. Dit vergt een beschrijving van de bodem, de bodemeigenschappen en de funderingswijze en belasting.

De bodemopbouw is verkend op basis van het GeoTOP model versie 1.3 van TNO [1]. Binnen het grondmodel zijn een aantal basis bodemprofielen gedefinieerd, waarmee het project gebied vervolgens is gecategoriseerd. De definiëring van de bodemprofielen is tot stand gekomen door dwarsdoorsneden te nemen uit het GeoTOP model. Vervolgens is gekeken naar het bodemprofiel per pand met schademelding. De initieel verkregen dwarsdoorsneden zijn vergeleken met de lokale profielen, waarna aanpassingen zijn gedaan op de profielindeling dan wel laagaanduiding. Tevens vond controle plaats of er geen significante lagen of profielen ontbraken. Indien aanpassing benodigd was werd deze doorgevoerd.

Afbeelding 4.25 Bodemprofielen in het projectgebied



Afbeelding 4.26 Bodemprofielen in het projectgebied



Het specifieke zettingsgedrag per bodemprofiel is ontleend aan de beschrijving van bodemprofielen in het GeoTOP model, waarbij ter interpretatie tevens gebruik is gemaakt van bijbehorende sonderingen en boringen. Op basis van deze informatie zijn de grondeigenschappen ontleend aan tabel 2.b uit NEN9997.

Tevens is ter interpretatie gebruik gemaakt van labresultaten verkregen op monsters genomen te Zuidhorn ter herkenning van de mate van overconsolidatie van enkele specifieke grondlagen.

Het zettingsgedrag per bodemprofiel is vervolgens verkend met behulp van het software pakket van Deltares, te weten Dsettlement versie 16.1. In de programmatuur is gekozen voor het model van Koppejan/Terzaghi.

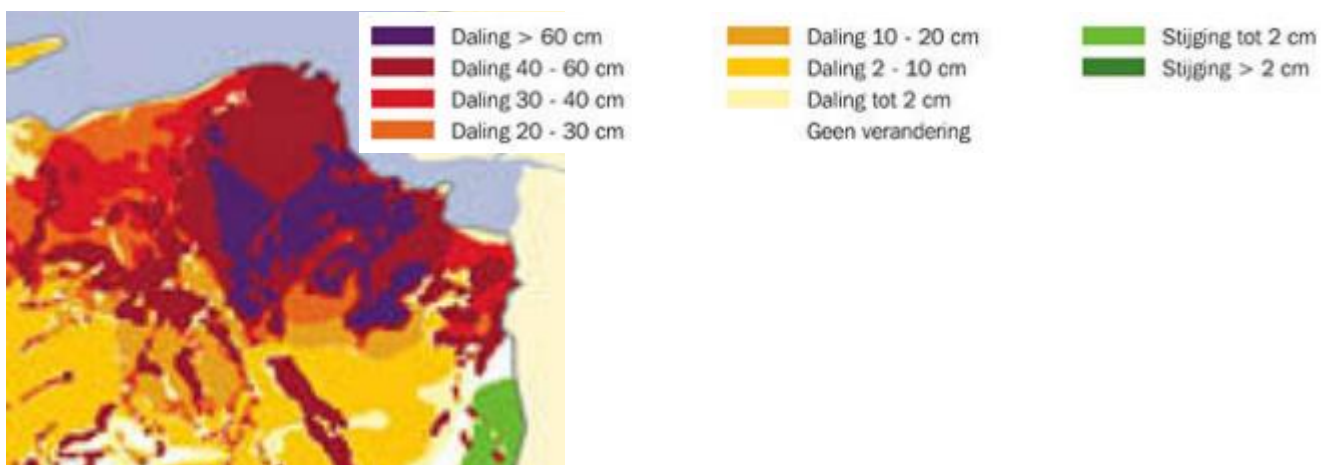
In de parameterbepaling is beneden de grensspanning een twee maal zo stijf gedrag aangehouden als boven de grensspanning. De grensspanning is rekenkundig bepaald middels een vooraf gestelde grensspanning POP dan wel een specifieke OCR. De waterstand ten behoeve van zettingsberekeningen is gesteld op 1 m minus maaiveld.

De zettingen zijn bepaald voor een fundering op staal, waarbij het funderingsniveau op 0,8 m beneden het maaiveld is aangehouden overeenkomstig de vorstgrens. De funderingsbreedte is gesteld op 1 m en de belasting per lopende meter muurveld is aangehouden op 80 kN. Hiermee ontstaat een funderingsdruk van 80 kN/m^2 , waarbij in de 2D snede in Dsettlement een tweede funderingsstrook met gelijke belasting en geometrie is aangehouden op een onderlinge afstand van 6 m.

Ijking zettingsanalyse

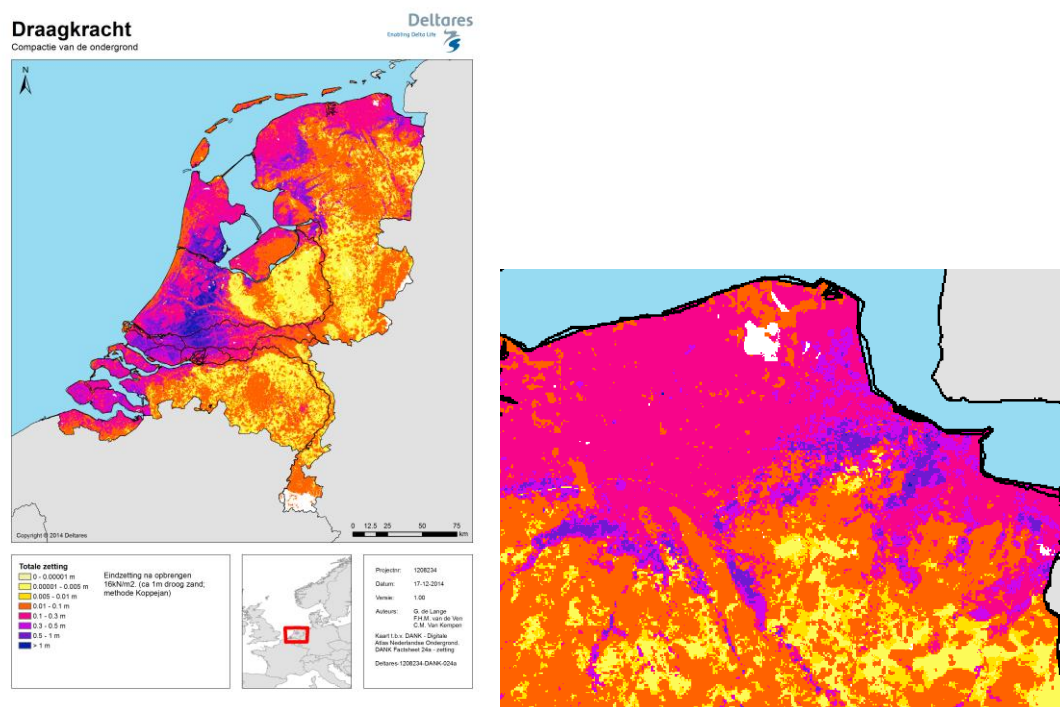
Om een mogelijkheid tot ijking te verkrijgen van de zettingsgevoeligheid van het projectgebied is getracht ondiep zettingsgedrag te herkennen uit de resultaten van de prognose van het zettingsgedrag tot 2050 van het projectteam NW4, 1997. Uit de weergave, zie afbeelding 4.27, blijkt dat de reservoirdaling in het winningsgebied in de regel aanzienlijk groter is dan het te verwachten zettingsgedrag direct onder de fundering. Ook is de resolutie naar verwachting te laag om op pandniveau een betrouwbare uitspraak te doen.

Afbeelding 4.27 RIZA Bodemdalingsprognose kaart toestand in 2050 (projectteam NW4, 1997)



Een andere benadering is de vergelijking met de analyse van TNO Deltares [1], waarin voor het projectgebied het zettingsgedrag is beschreven uitgaande van een integrale maaiveldbelasting van 1 m droog zand. Omdat dit in de basis niet hetzelfde is als een lokale funderingslast aangrijpend op 0,8 m beneden het maaiveld is het zettingsgedrag vergeleken met een aangepaste berekening, eveneens uitgaande van een integrale maaiveldbelasting van 1 m droog zand op het maaiveld.

Abbeelding 4.28 Eindzetting na opbrengen 1 m droog zand



Op basis van deze grafische informatie is een vergelijking met de door Witteveen+Bos berekende zetting gemaakt, welke in onderstaande tabel 4.7 samengevat is weergegeven. De kolommen 2 en 3 betreffen totaal zetting, de laatste twee kolommen betreffen seculaire zetting. De grafische weergave van de berekeningsresultaten zijn in paragraaf 4.5.5 toegevoegd.

Tabel 4.7 Samenvatting berekende zettingen per profiel

Profiel	TNO&Deltares (mm/40 jaar)	Witteveen+Bos totaal funderingslast (mm/30 jaar)	Witteveen+Bos integrale belasting (mm/30 jaar)	Witteveen+Bos seculair funderingslast (mm/30 jaar)
1a	10-300	192	59	53
2a	100-500	149	54	66
2bi	100-500	175	54	51
2bii	100-1000	232	80	91
3ai	5-100	26	9	6
3aii	5-100	36	59	6
3bi	10-100	54	24	14
3bii	10-100	51	35	19
4a	5-10	5	2	2
4b	5-100	6	90	2
5a	10-100	56	26	15
5b	10-100	36	11	8

De onderverdeling van de mate van zetting zoals beschreven door TNO/Deltares maakt een relatief grof onderscheid met een grotere marge, doch ook subtielere overgangen in definitie. Met name de interessante categorie 10-100 mm zetting is niet nader gespecificeerd, waarmee nagenoeg alle beschouwde profielen in deze categorie zijn onder te brengen. Het is daarmee een basale ijk van totaalzettingen op maaiveld niveau.

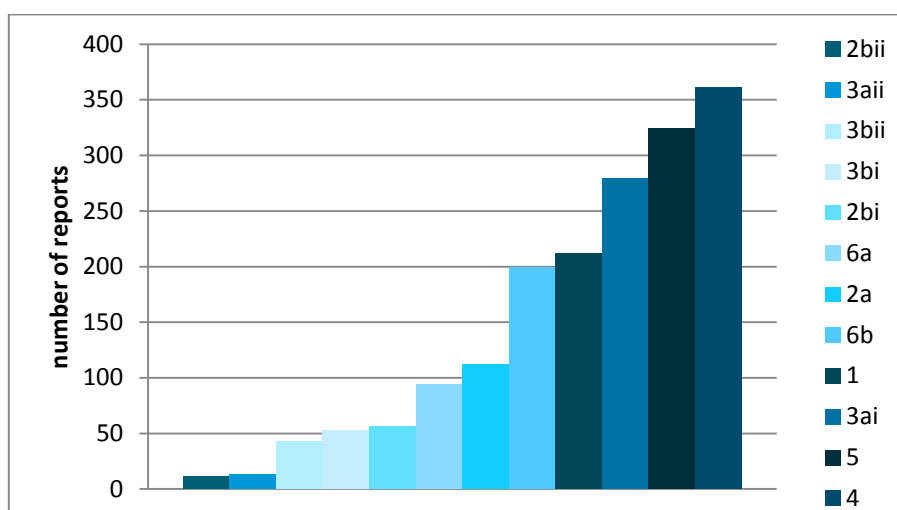
Opvallend is dat de vergelijking tussen de integrale belasting en de funderingsbelasting ten aanzien van totaal zetting (kolommen twee en drie) elkaar qua orde grootte niet tegenspreken en qua indeling goed volgen. Ten aanzien van kruip gedrag (seculaire zetting) ontstaan bij de profielen 3a_{ii} en 4b wel wat verschillen binnen de opgestelde analyse. Dit is te wijten aan zeer ondiep gelegen samendrukbare lagen, die bij de maaiveldbelasting sterk doorwerken. Bij de iets dieper gelegen samendrukbare lagen kan de hoge funderingslast in een iets grotere zetting resulteren, maar qua orde van grootte blijven de uitkomsten van profielen 2a en 2b_{ii} goed vergelijkbaar.

De mate van zetting (met name de kruip tak) is slechts in een beperkt aantal profielen groot te noemen. Wanneer de totale zetting wordt beschouwd neemt de zetting wel toe, onduidelijk blijft echter in hoeverre hierop is geanticipeerd tijdens de bouw, in de vorm van bodemverbetering, voorbelasting en funderingsaanpassing. Hoewel het merendeel van de profielen relatief geringe zetting vertoont (minder dan 45 mm kruip over 30 jaar), is geven de waargenomen variatie in de ondergrond en gegeven de onzekerheid ten aanzien van beheersmaatregelen tijdens de bouw, bouwkwaliteit, aanwezige grondsoorten en consistentie van die grondsoorten in het geoTOP model, zetting niet uit te sluiten. Op basis van de zettingsanalyse wordt verwacht dat de verschilzetting, uitgaande van circa 50 % van de absolute zetting verwacht aan een pand, eveneens relatief klein, doch zeker niet afwezig zal zijn.

Op voorhand zou een relatie kunnen worden verwacht tussen samendrukbaarheid en ernst en frequentie van het schadebeeld. Tijdens de bouw kan hier ook op geacteerd zijn, waardoor deze relatie juist is beheerst in de bouwkwaliteit. Het onderzoek kan hier echter niet op pandniveau uitsluitend over geven zonder specifiek detail onderzoek in de ondergrond ter plaatse en de details te kennen omtrent de aanleg van de fundering.

Op basis van de zettingsanalyse wordt ernstige zettingsschade (afwijkend veel scheurvorming en grote verschil zetting) minder aannemelijk geacht voor de gehele populatie. Dit gegeven het beperkte aantal profielen met grote berekende (lange termijn) zettingen en de mate waarin op deze profielen panden zijn gebouwd. Circa 25 % van de panden met schade melding is gebouwd op de als zettingsgevoelig geclassificeerde profielen 1 en 2, zie afbeelding 4.29.

Afbeelding 4.29 Histogram panden per bodemprofiel



**Histogram panden per bodemprofiel (2b_{ii} links, 4 uiterst rechts).

Individuele panden kunnen in incidentele gevallen echter wel forse zetting (orde 10 cm) hebben ondergaan. Het op grote schaal voorkomen van lichte schade (scheurwijdten tussen de 1 en 5 mm) is voor de gehele populatie panden zeker niet op voorhand uit te sluiten, ook op posities waar nagenoeg geen zetting wordt berekend. Dit gegeven de variatie in ondergrond, bouwwijze en beperking in GeoTOP resolutie, onderscheidend vermogen in de classificatie van grondsoorten en het toekennen van zettingsgedrag zonder specifieke labtesten.

4.5.3 Resultaat

Op basis van de zettingsanalyse wordt gesteld dat voor ieder op staal gefundeerd pand in beginsel geringe verschilzetting niet kan worden uitgesloten. Tevens wordt geconcludeerd dat een relatief klein deel (gedachten gaan uit naar een orde van 10 tot 20 %) van de panden een forsere verschilzetting kan hebben ondergaan.

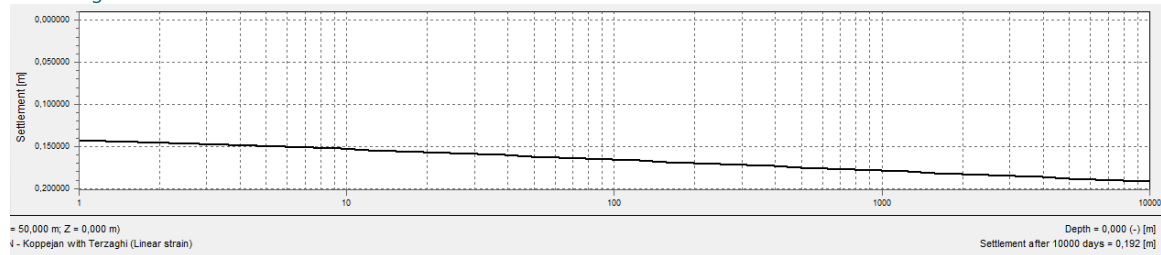
4.5.4 Referenties

- 1 Deltares en TNO-bouw (2011_ Gebouwschade Loppersum. Website: www.commissiebodemdaling.nl/files/1202097-000-BGS-0003-r-Gebouwschade%20Loppersum_def_par_20110421.pdf. Laatst gecontroleerd: 17 januari 2017.
- 2 Commissie bodemdaling door aardgaswinning (1987). Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen. Website: www.commissiebodemdaling.nl/files/Ongelijkmatige%20zakking%20deelonderzoek%201.pdf. Laatste gecontroleerd: 17 januari 2017.
- 3 NEDMAG en Provincie Groningen (2012). Literatuuronderzoek naar de effecten van zout- en gaswinning op bebouwing, in opdracht van Gemeente Menterwolde, Waterschap Hunze en Aa's, Gemeente Veendam, Nedmag en Provincie Groningen, 30 augustus 2012.
- 4 Deltares (2009). Bodemdaling door Nedmag Zoutwinning. Prognose bodemdaling bij maximum daling van 65 cm. 1200954-000-GEO-0002, Versie 2, 30 november 2009, conceptDinoloket (2017). Website: www.dinoloket.nl. Laatst gecontroleerd: 17 januari 2017.
- 5 NAM (2015). Bodemdaling door gaswinning. NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP201511213444.
- 6 NEDMAG industries (2014). Contourkaart bodemdaling 1993-2014 (in mm.) Contourkaarten 2014. 14 augustus 2014.
- 7 Deltares (2016). Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing. Kenmerk: 1221076-000-GEO-0004, Versie 4, 8 december 2016, definitief.

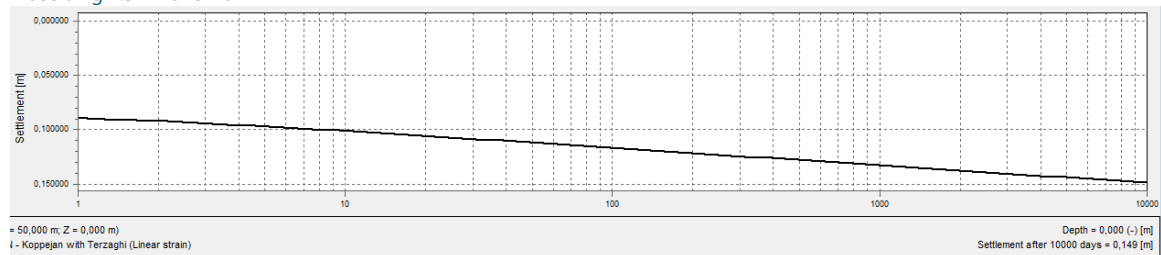
4.5.5 Grafische weergave berekeningsresultaten zettingen

Berekeningsresultaten totale zettingen met funderingslast

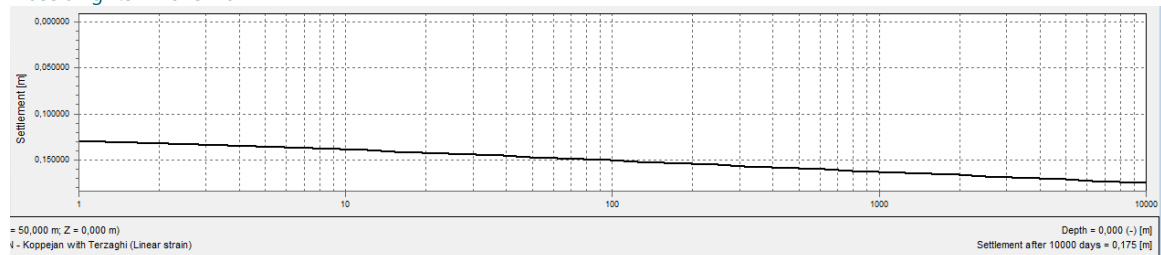
Afbeelding 4.30 Profiel 1a



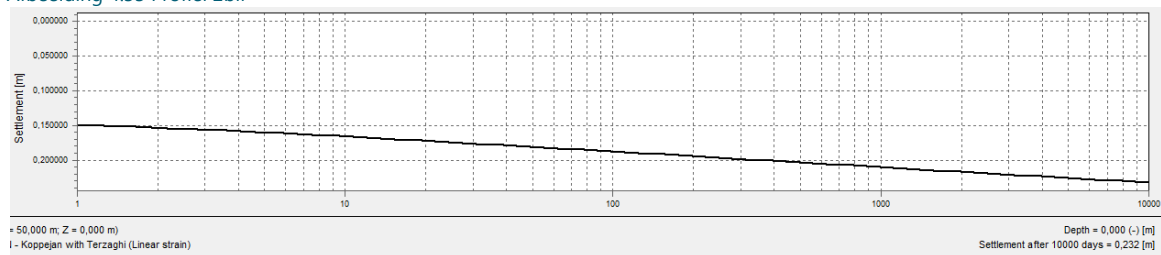
Afbeelding 4.31 Profiel 2a



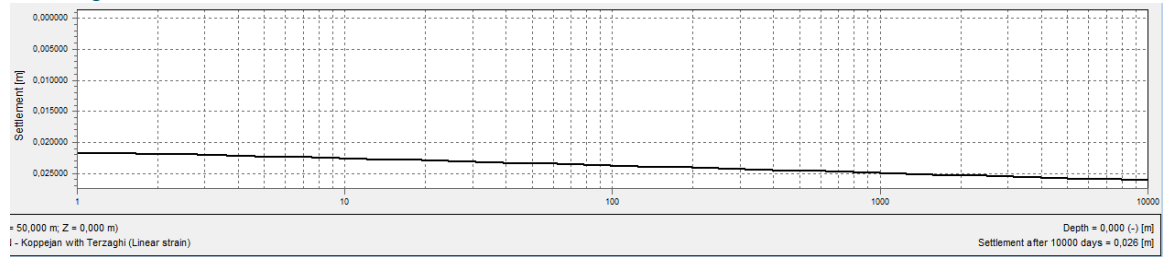
Afbeelding 4.32 Profiel 2bi



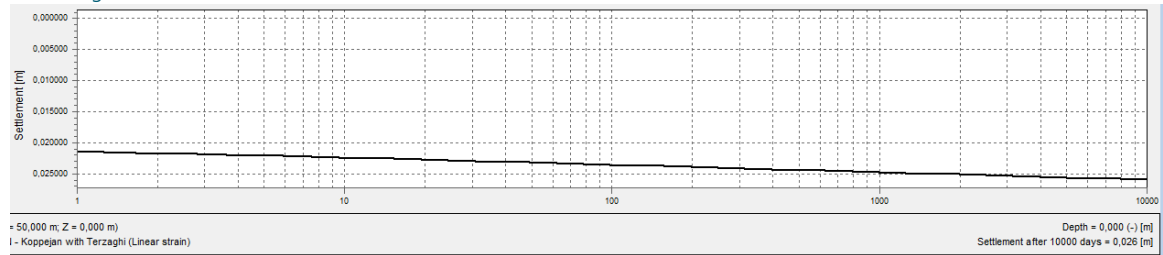
Afbeelding 4.33 Profiel 2bii



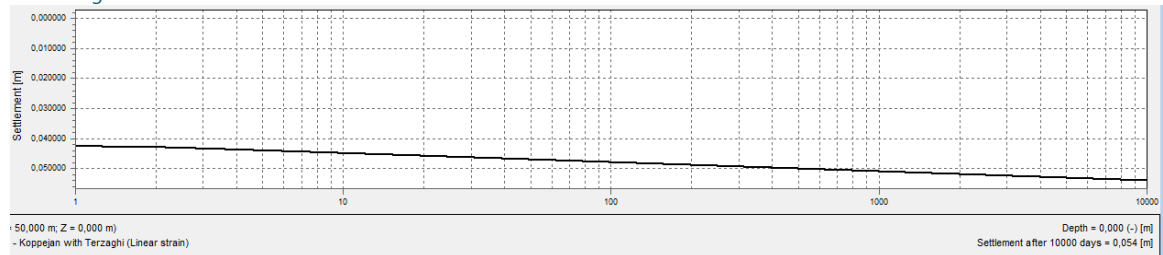
Afbeelding 4.34 Profiel 3ai



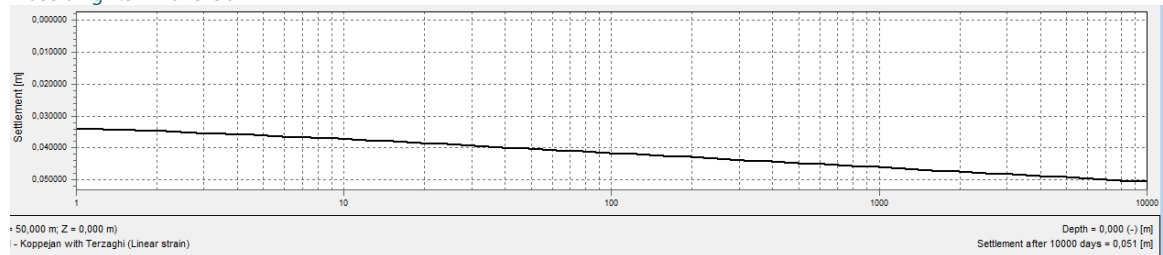
Afbeelding 4.35 Profiel 3aii



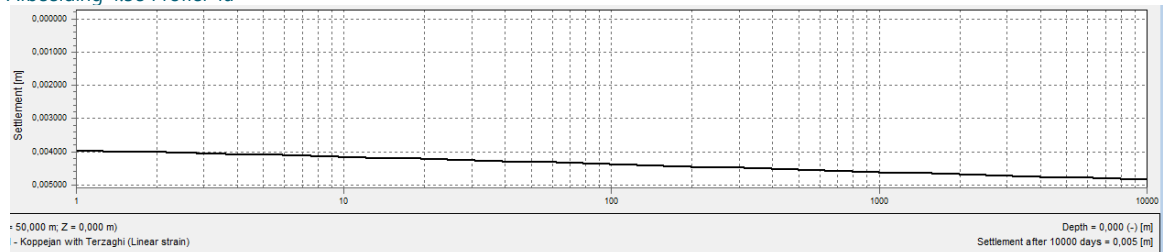
Afbeelding 4.36 Profiel 3bi



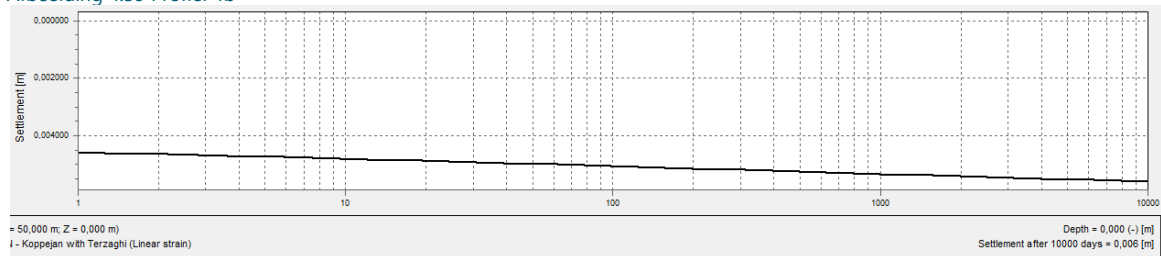
Afbeelding 4.37 Profiel 3bii



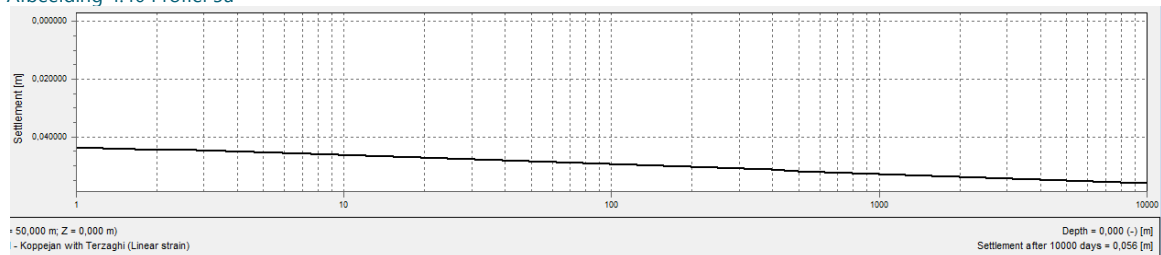
Afbeelding 4.38 Profiel 4a



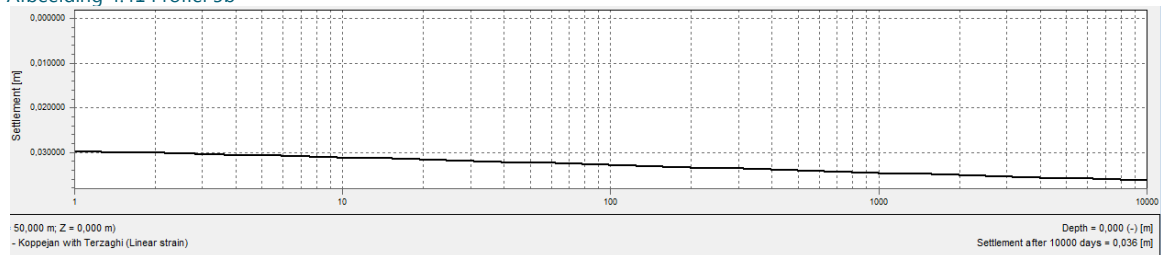
Afbeelding 4.39 Profiel 4b



Afbeelding 4.40 Profiel 5a

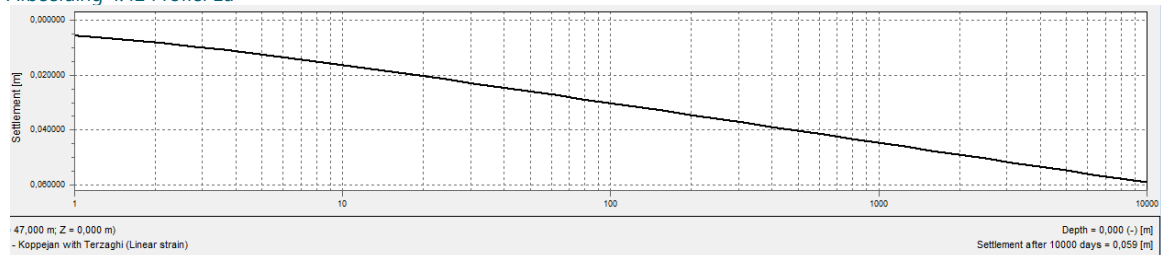


Afbeelding 4.41 Profiel 5b

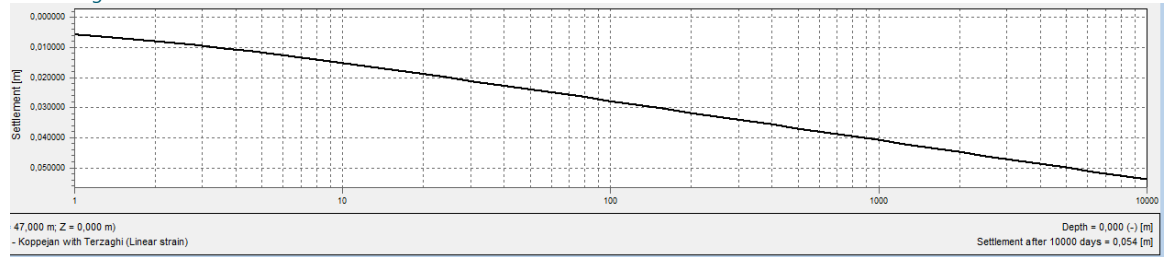


Berekeningsresultaten integrale belasting seculaire zettingen

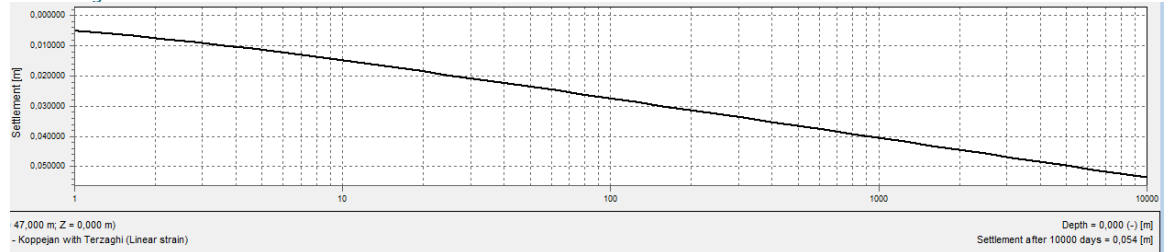
Afbeelding 4.42 Profiel 1a



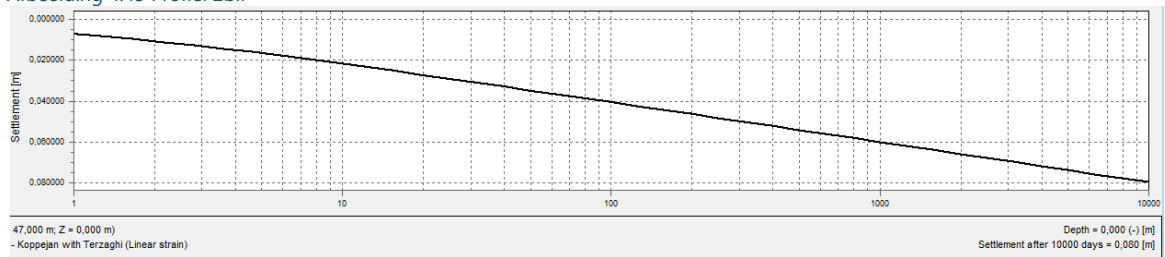
Afbeelding 4.43 Profiel 2a



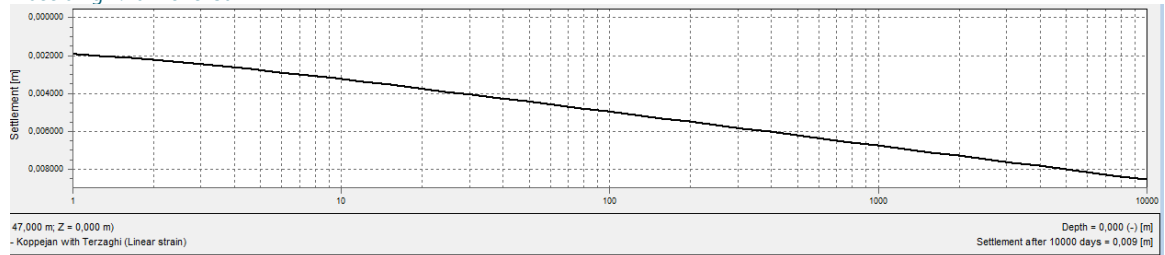
Afbeelding 4.44 Profiel 2b



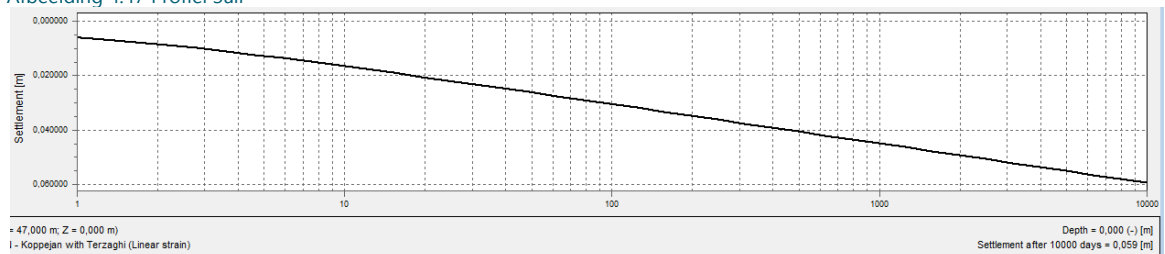
Afbeelding 4.45 Profiel 2bii



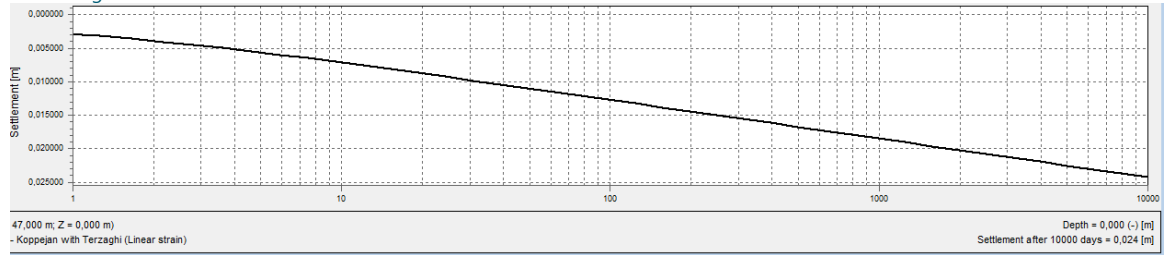
Afbeelding 4.46 Profiel 3ai



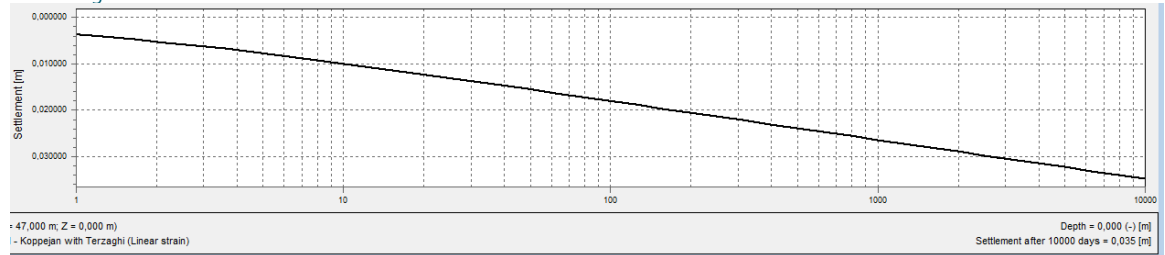
Afbeelding 4.47 Profiel 3aii



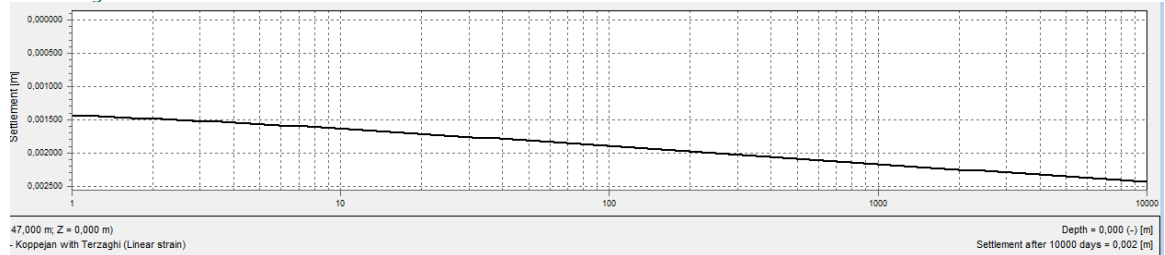
Afbeelding 4.48 Profiel 3bi



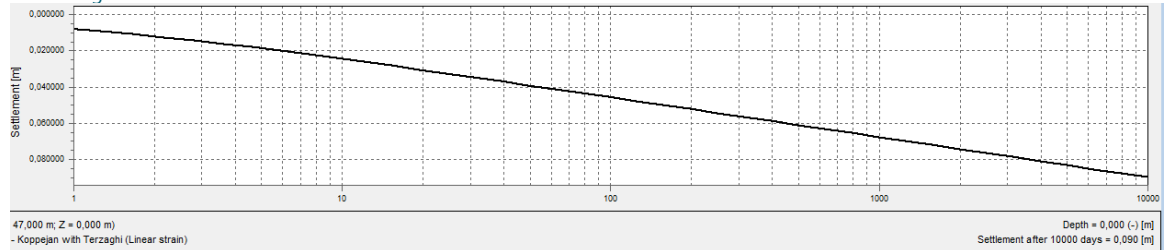
Afbeelding 4.49 Profiel 3bii



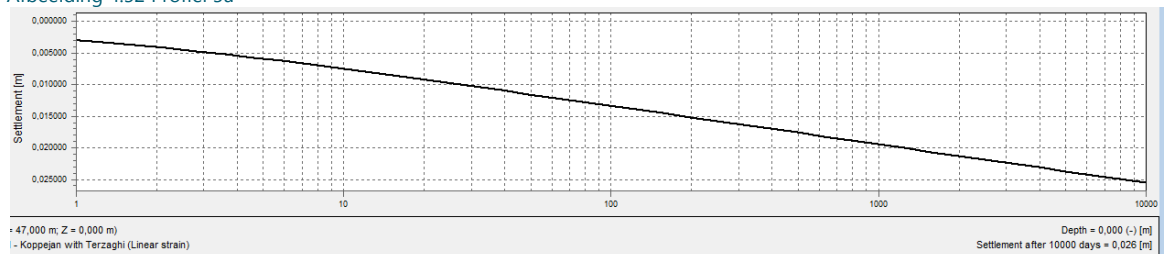
Afbeelding 4.50 Profiel 4a



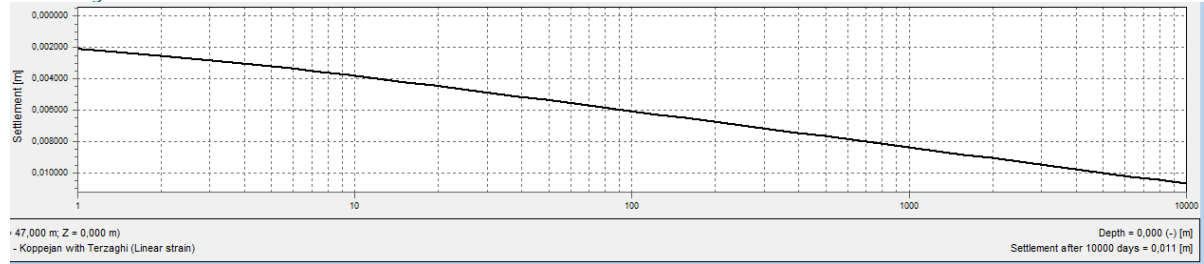
Afbeelding 4.51 Profiel 4b



Afbeelding 4.52 Profiel 5a

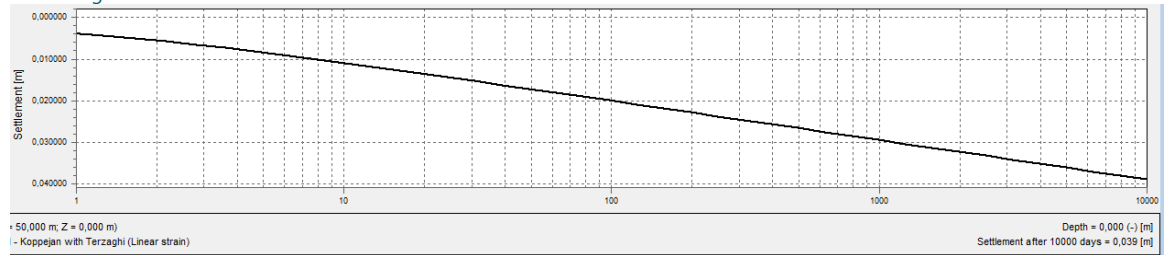


Afbeelding 4.53 Profiel 5b

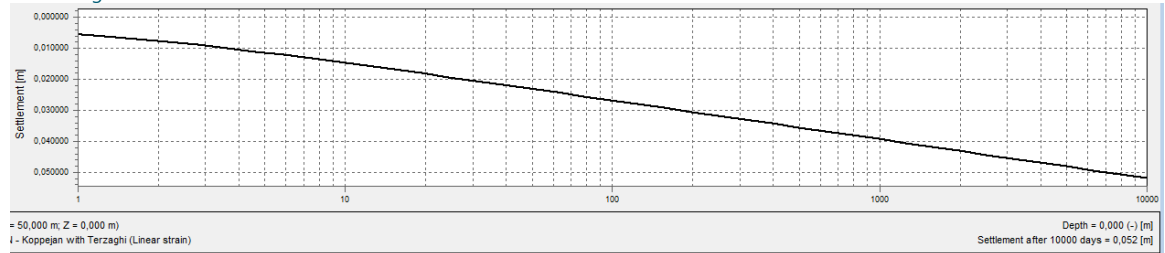


Berekeningsresultaten alleen seculaire zettingen met funderingslast

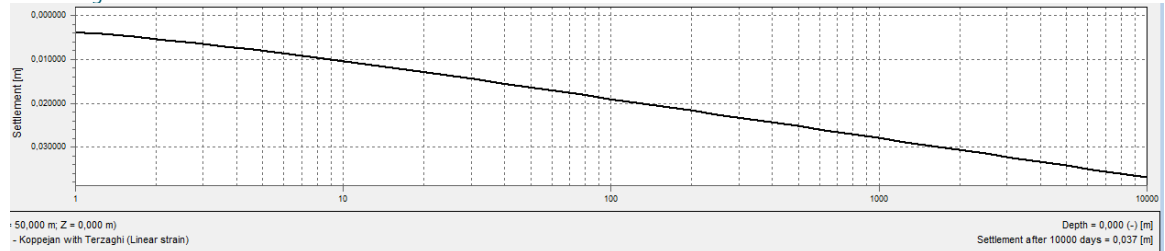
Afbeelding 4.54 Profiel 1a



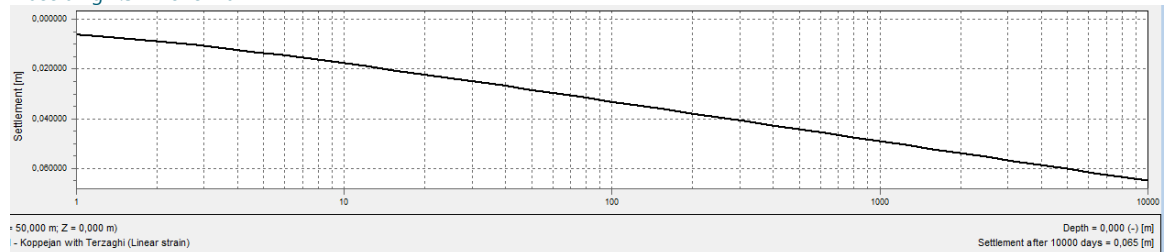
Afbeelding 4.55 Profiel 2a



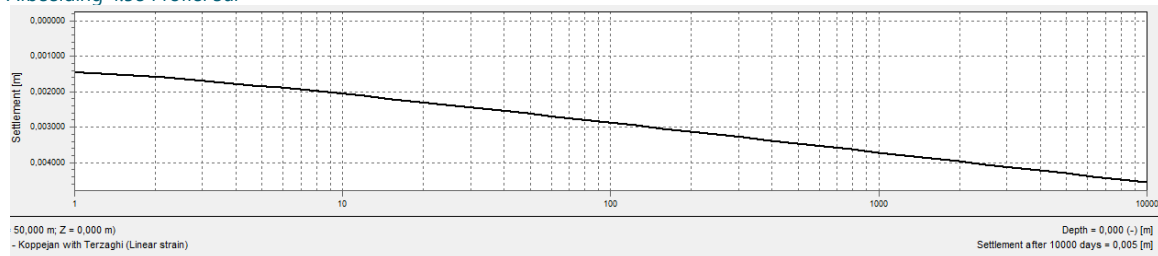
Afbeelding 4.56 Profiel 2b



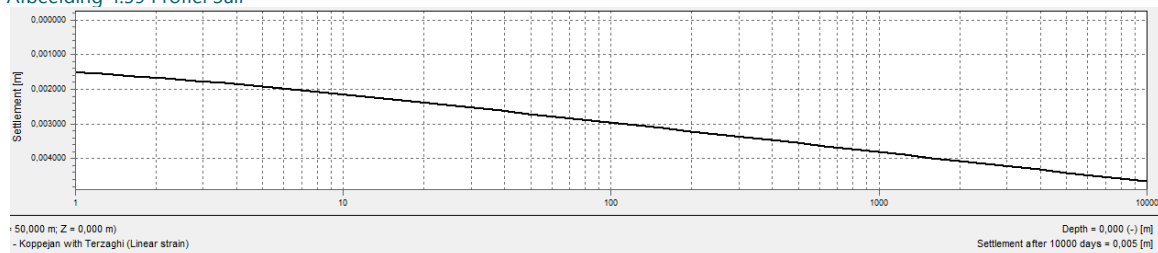
Afbeelding 4.57 Profiel 2bii



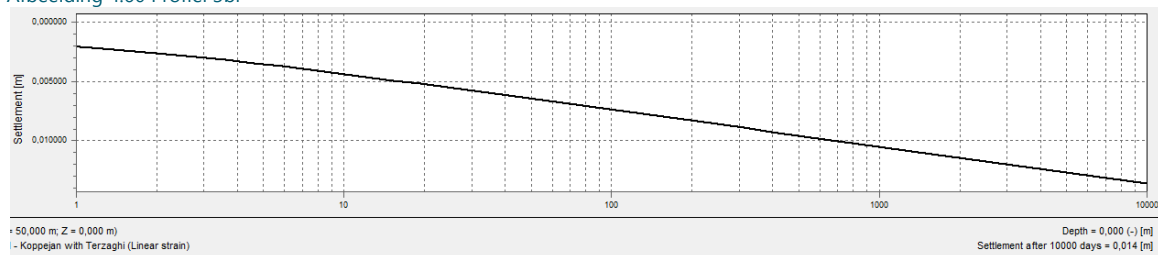
Afbeelding 4.58 Profiel 3ai



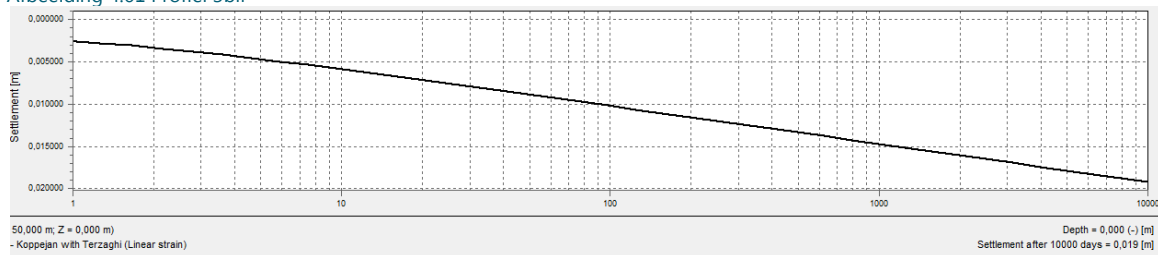
Afbeelding 4.59 Profiel 3aii



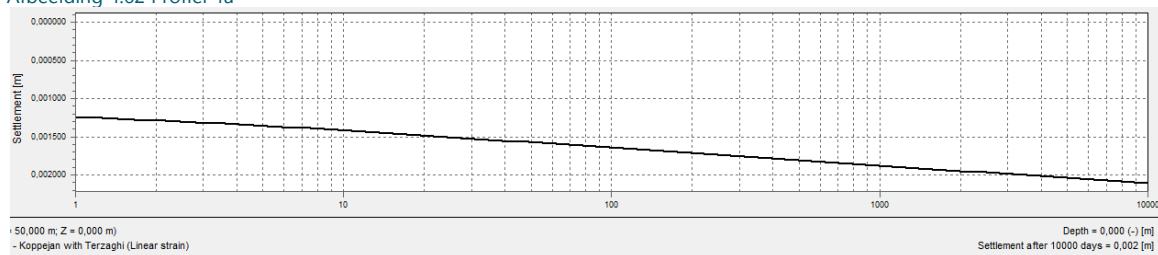
Afbeelding 4.60 Profiel 3bi



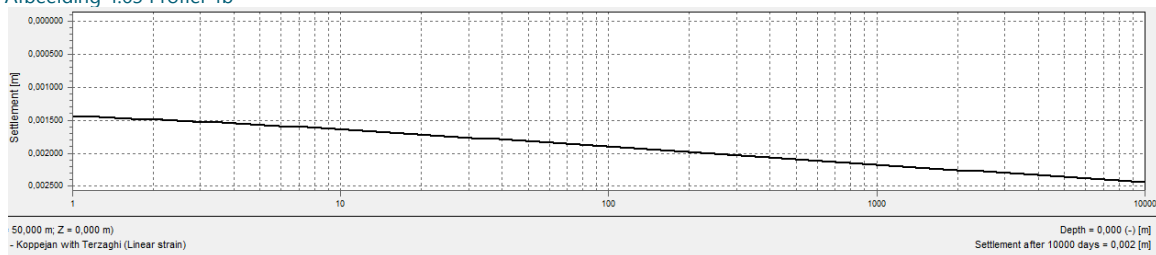
Afbeelding 4.61 Profiel 3bii



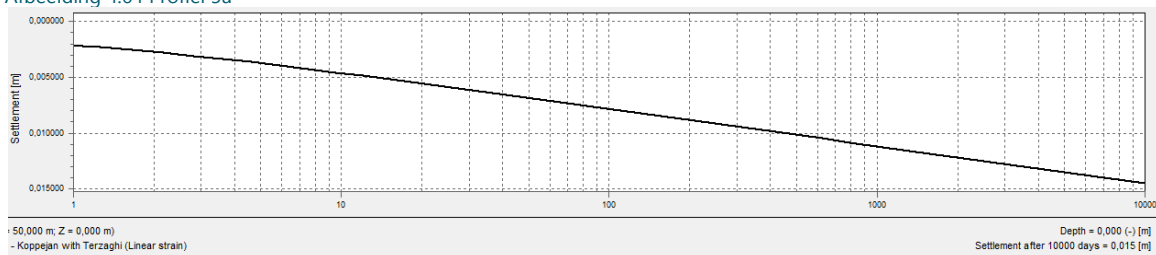
Afbeelding 4.62 Profiel 4a



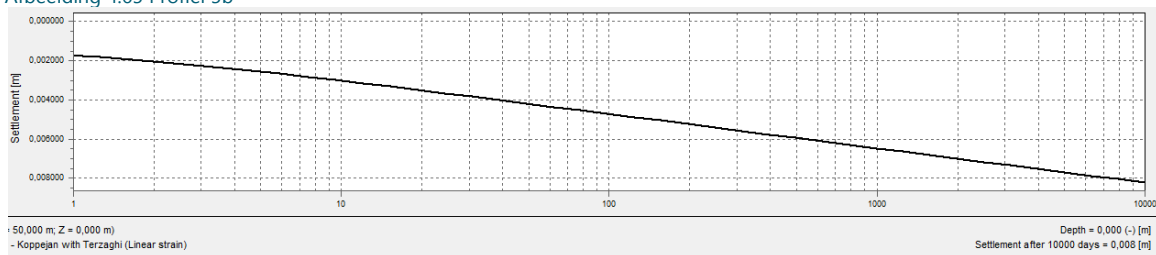
Afbeelding 4.63 Profiel 4b



Afbeelding 4.64 Profiel 5a



Afbeelding 4.65 Profiel 5b



4.6 Grondwaterstand

4.6.1 Doel

Het doel van deze paragraaf 4.6 is het beschrijven van de wijze waarop informatie verzameld wordt over de lokale geohydrologie, specifiek de grond- en oppervlaktewaterstanden.

4.6.2 Methode

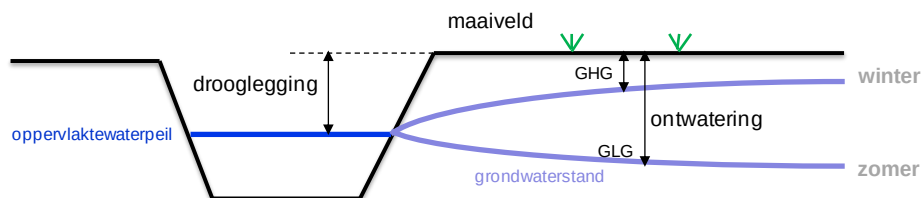
In de beoordeling van het risico op zettingsschade als gevolg van de verandering van de lokale (grond)waterstand is gekozen voor een pragmatische methode, omdat dit onderzoek een groot aantal woningen betreft die in een relatief korte tijd beoordeeld moeten worden. Daarnaast moet de methodiek herleidbaar zijn, zodat de methodiek herhaalbaar is voor andere woningen. Ten slotte zijn er keuzes gemaakt om de methode zo objectief mogelijk te houden, door zoveel dicht mogelijk bij metingen te blijven en geen gebruik te maken van bijvoorbeeld veldonderzoek of een tijdsafhankelijk grondwatermodel.

Voor deze werkzaamheden volgen we de redeneerlijn in het Arcadis-rapport [ref. 1] namelijk een analyse van langjarige waarnemingen in peilbuizen (Dino-loket) en veranderingen in het hydrologische systeem (peilbesluiten).

Toelichting begrippen grondwater

In het onderdeel grondwaterstand komen verschillende begrippen aan de orde, waaronder **GHG** en **GLG**. Deze begrippen zijn in afbeelding 4.66 schematisch weergegeven en eronder nader toegelicht.

Afbeelding 4.66 GHG en GLG



Lokale ontwatering kan verschillen van drooglegging i.v.m.:

- seizoensinvloeden grondwaterstanden
- afstand tot watergang
- maaiveldhoogteverschillen
- slecht doorlatende bodemlagen
- aanwezigheid drainage

De drooglegging is gedefinieerd als het verschil tussen de maaiveldhoogte en het oppervlaktewaterpeil. De ontwatering is gedefinieerd als het verschil tussen de maaiveldhoogte en de grondwaterstand.

Door het neerslagoverschot in de winter ontstaat er een opbolling van de grondwaterstanden tussen de sloten en de drains. De ontwatering wordt dan kleiner. In die periode treedt de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) op. In de zomer is meestal de verdamping hoger dan de neerslag, waardoor de grondwaterstanden uitzakken. In die periode treedt de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) op.

Het oppervlaktewater heeft een sterke invloed op de grondwaterstand. In het algemeen geldt dat een verhoging van het oppervlaktewaterpeil een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg heeft, alleen in mindere mate (bijvoorbeeld 10 cm hoger oppervlaktepeil leidt tot een gemiddeld 5 cm hogere grondwaterstand).

Naast de GHG en de GLG bestaat er ook de **GVG**, de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand. Deze drie begrippen samen worden ook wel als **GXG** aangeduid.

De GHG wordt berekend door in een hydrologisch jaar (1 april tot en met 31 maart) de drie hoogste grondwaterstanden te pakken en hiervan het gemiddelde te nemen voor een periode van minimaal 8 jaar (waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden). Op eenzelfde methode wordt de GLG berekend voor de laagste grondwaterstanden. De VVG wordt berekend door voor minimaal 8 jaar het gemiddelde te nemen van de grondwaterstanden op 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld. De VVG wordt in dit onderzoek niet gebruikt.

Een andere methodiek is die met grondwatertrappen (Gt). Dit zijn typische combinaties van klassen van GHG en GLG. Grondwatertrappen worden in deze inventarisatie niet gebruikt.

Freatische grondwaterstand

In dit onderzoek is de freatische grondwaterstand van belang. Dit is de grondwaterstand waarin de waterstand alleen afhangt van de hoogte van de waterkolom. Er is dus geen sprake van overdruk omdat het grondwater aan de bovenkant wordt afgesloten door een ondoorlatende laag.

Peilbuis

Grondwaterstanden worden gemeten in peilbuizen. Een peilbuis is een buis met een filter waar het water doorheen kan. De diepte van het water in de peilbuis wordt over het algemeen gemeten ten opzichte van de bovenkant van de peilbuis. Met de hoogte van de peilbuis in meters ten opzichte van NAP kan vervolgens de absolute grondwaterstand bepaald worden.

Oppervlaktewaterbeheer

De waterschappen in Nederland beheren het regionale oppervlaktewater. In een peilbesluit worden de hoogtes van het oppervlaktewaterpeil van een begrensd gebied (het peilvak) vastgelegd. Minimaal eens per tien jaar wordt een peilbesluit herzien. Dan kan het peil hetzelfde blijven, of peilverhoging of peilverlaging plaatsvinden. Ook kunnen de grenzen van de peilvakken dan gewijzigd worden.

Algemene aanpak

Schade aan woningen kan ontstaan doordat er aan geohydrologie gerelateerde maaiveldddaling heeft plaatsgevonden. Maaiveldddaling kan ontstaan door:

- 1 daling grondwaterstand en zetting;
- 2 veenoxidatie;
- 3 stijging grondwaterstand en zakking.

Om deze risico's te onderzoeken zijn verschillende analyses gebruikt. Deze zijn in onderstaande overzichtstabel weergegeven. In onderstaande subparagrafen is toegelicht hoe de benodigde informatie voor de analyses verkregen is.

Tabel 4.8 Mogelijke risico's en analyses

Risico	Analyse
1. daling grondwaterstand en zetting	1A. analyse daling GLG 1B. trendanalyse 1C. analyse verlaging oppervlaktewaterpeil
2. veenoxidatie	2. analyse GLG en diepteligging veen
3. stijging grondwaterstand en zakking	3A. analyse stijging GHG 3B. trendanalyse

Risico 1: Daling grondwaterstand en zetting

Daling van de grondwaterstand kan zetting veroorzaken. Er zijn drie analyses uitgevoerd om de daling van de grondwaterstand in beeld te krijgen. Deze worden hieronder besproken.

Methode 1A. Analyse daling GLG

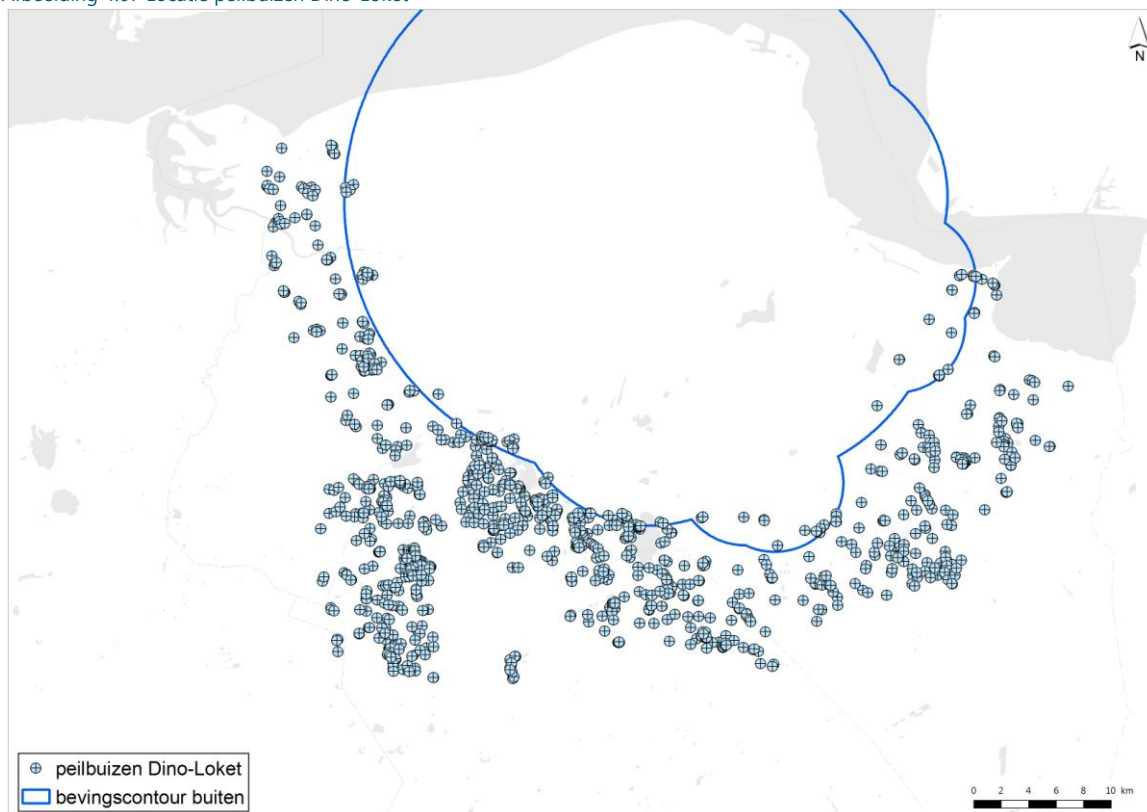
De volgende methodiek is gekozen:

- verzamelen gemeten grondwaterstanden;
- afleiden GLG per meetreeks voor verschillende meetperioden;
- relatie leggen tussen meetreeksen en woningen.

Verzamelen gemeten grondwaterstanden

In het Dino-Loket [ref. 2.] staan metingen van grondwaterstanden. Alle data in hetzelfde gebied als de betreffende woningen zijn gedownload, met een straal van 1 km rondom de buitenste woningen als grens. Van deze peilbuizen zijn de metingen van filter 1 gebruikt. Aangenomen wordt dat filter 1 maatgevend is voor de freatische grondwaterstand. Ten slotte zijn alleen peilbuizen gebruikt die meer dan 10 waarden hebben na 1 januari 2005.

Afbeelding 4.67 Locatie peilbuizen Dino-Loket



In tabel 4.9 is weergegeven voor hoeveel peilbuizen er gegevens zijn.

Tabel 4.9 Overzicht beschikbare data

Selectie van peilbuizen	Aantal peilbuizen
totaal in onderzoeksgebied	1.744
gebruikte selectie	1.494

Afleiden GLG per meetreeks voor verschillende meetperiodes

Zetting door verlaging van de grondwaterstand kan plaatsvinden wanneer de grondwaterstand zakt naar een niveau lager dan het ooit is geweest. Er is dan wel een bepaalde periode benodigd voordat er daadwerkelijk maaiveld daling plaatsvindt; wanneer de grondwaterstand slechts één dag historisch laag staat en vervolgens weer op het oude niveau is, zal er in die ene dag geen meetbare daling plaatsvinden. Alleen het gebruik van de historisch laagste grondwaterstand is daarom geen optimale indicator voor maaiveld daling. Bovendien kunnen er meetfouten inzitten, die de historisch laagste grondwaterstand direct kunnen beïnvloeden. Door het gebruik van de GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) wordt de kans op invloed van meetfouten verkleind en wordt automatisch een langere periode van grondwaterstands daling meegenomen, waardoor een bepaalde daling van de GLG (ten opzichte van maaiveld) duidt op risico op zetting.

De GLG is voor elke beschikbare peilbuis voor verschillende perioden uit gerekend:

- 2006-2015;
- 1996-2005;
- 1986-1995;
- 1976-1985;

- 1966-1975.

De GLG is berekend over minimaal 8 jaar. In dit onderzoek is gekozen voor een verdeling in perioden van 10 jaar. Er hebben namelijk voor elk vijfde jaar sinds 1970 maaiveldhoogtemetingen plaatsgevonden in verband met de bodemdaling (1970, 1975, 1980, etc.). Door de perioden voor de berekening van de GLG/GHG per 10 jaar te kiezen, kan er dus eenvoudig gebruik gemaakt worden van de beschikbare maaiveldhoogtemetingen, bijvoorbeeld voor een maaiveldcorrectie.

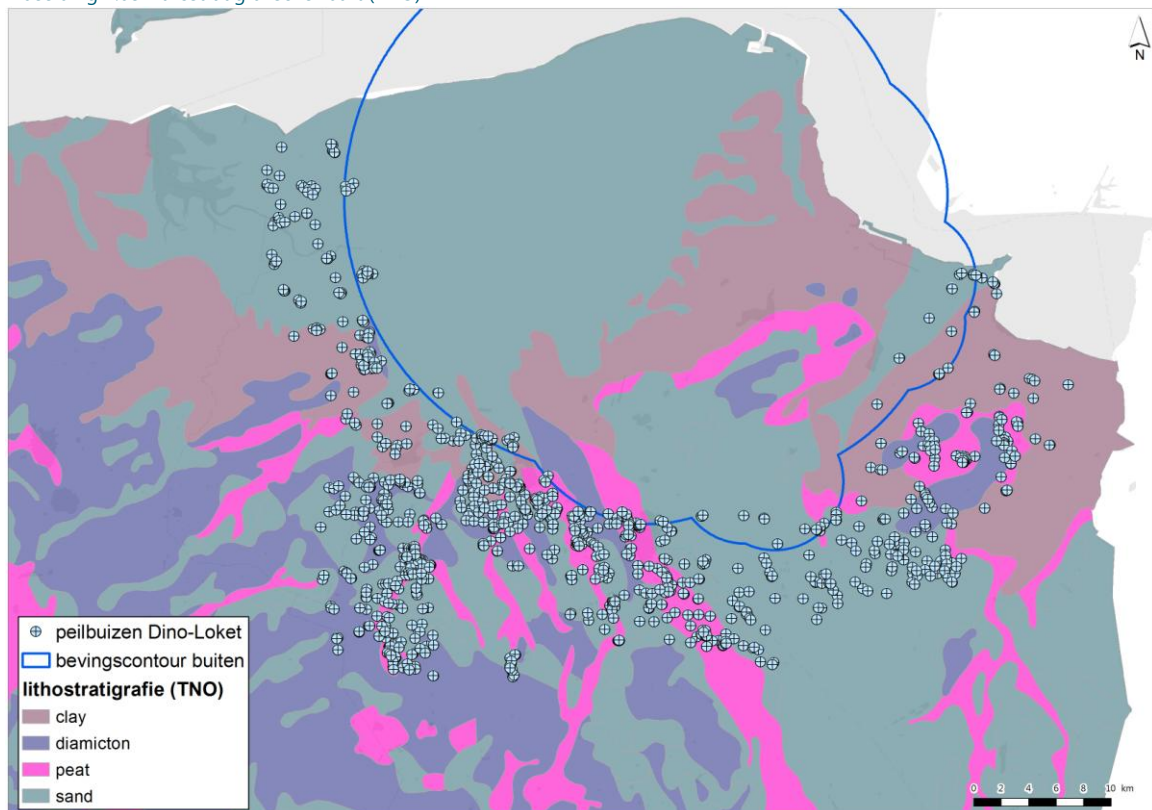
Voor de berekening van de GLG is daarna gekozen voor een minimum van 12 metingen per jaar. Voor peilbuizen met minder metingen per jaar is geen GLG berekend.

Relatie leggen tussen meetreeksen en woningen

De gebruikte grondwaterreeksen zijn puntwaarnemingen. Er is een vertalingslag nodig om de peilbuizen aan de woningen met schade toe te kennen. Een mogelijkheid om deze slag te maken is door een vlakdekkend beeld te maken van de GLG door interpolatie. Echter, omdat grondwaterstanden van veel factoren afhankelijk zijn en interpolatie een extra bewerking op de data is, is dit onwenselijk. Bovendien wordt er ook gebruik gemaakt van een trendanalyse, welke niet geïnterpoleerd kan worden. Daarom is ervoor gekozen om aan elke woning drie peilbuizen toe te kennen. Er is gekozen om meerdere peilbuizen toe te kennen, omdat (mogelijk) niet voor alle peilbuizen een GLG berekend is (door te weinig metingen of ontbrekende metingen in de gewenste periode).

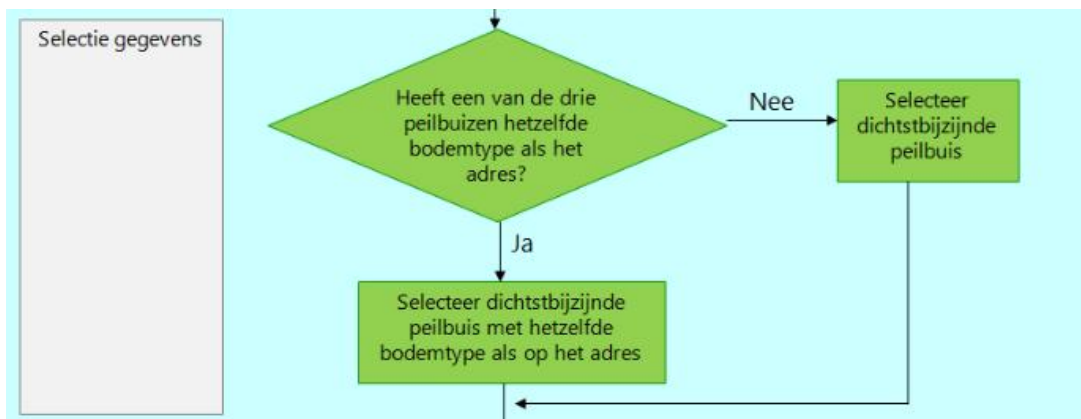
Allereerst zijn de drie dichtstbijzijnde peilbuizen voor elke woning geselecteerd. Het bodemtype is daarna bepaald met de lithostratigrafische kaart van TNO (afbeelding 4.68).

Afbeelding 4.68 Lithostratigrafische kaart (TNO)



Vervolgens zijn de drie peilbuizen geprioriteerd op basis van het volgende beslisschema.

Afbeelding 4.69 Flow chart selectie gegevens



In de database wordt bij de peilbuizen de afstand tot de woningen vermeld, alsmede het bodemtype.

Methode 1B. Trendanalyse

Naast analyse van de GLG is er een trendanalyse gedaan op alle meetreeksen uit het Dino-Loket. Deze analyse kan gebruikt worden als er te weinig data is om daling van de GLG te bepalen.

Voor de trendanalyse zijn de volgende stappen gevolgd:

- 1 alle peilbuisdata is ingelezen. De tijdreeksen zijn geïnterpoleerd naar een tijdreeks met een waarde op de 14e en de 28e van alle maanden in de periode 1976-2016. Voor de interpolatie wordt de dichtstbijzijnde (in de tijd) waarde gebruikt. Het verschil mag daarbij niet groter zijn dan 7 dagen;
- 2 alle reeksen die na deze stap leeg zijn, zijn verwijderd;
- 3 het tijdvak 1976-2016 is opgedeeld in 4 periodes van 10 jaar. Voor elke peilbuis is voor elke periode een lineaire trendanalyse gedaan;
- 4 voor de lineaire trendanalyse is gebruik gemaakt van de Seasonal Kendal test. Met deze test kunnen seizoensafhankelijke lineaire trends worden bepaald. De toets is toegepast met een betrouwbaarheid van 95 %. Er is alleen een trendtest uitgevoerd als minimaal 30 % van de metingen beschikbaar is in een periode.

Dit levert per peilbuis de volgende gegevens op:

- hoeveel data er beschikbaar is (waarbij meer data een betrouwbaarder resultaat oplevert);
- of er een significante trend is (ja/nee), of dat er te weinig data is (< 30 %) om een trend te bepalen;
- wat deze trend is (positief of negatief, grootte uitgedrukt in cm/jaar).

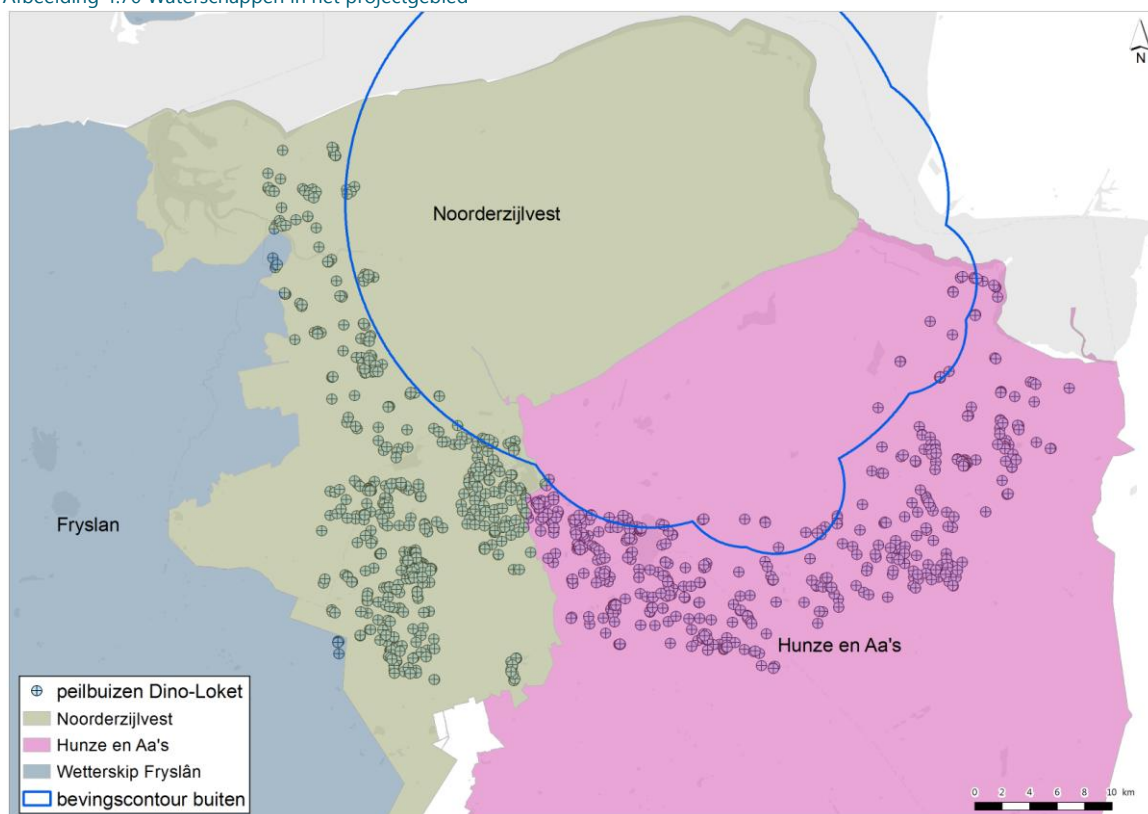
Wanneer bij een peilbuis een dalende trend is gevonden over 10 jaar, is de daling (in cm) weergegeven. Per woning zijn dezelfde drie peilbuizen gebruikt als beschreven in bovenstaande paragraaf.

Methode 1C. Analyse verlaging oppervlaktewaterpeil

Verlaging van het oppervlaktewaterpeil leidt tot verlaging van de grondwaterstand, terwijl verhoging van het peil tot een hogere grondwaterstand leidt. Daarom is naast analyse van de grondwaterstand, ook het oppervlaktepeil geanalyseerd. Deze analyse kan gebruikt worden wanneer er te weinig data voor de berekening van de GLG of de trendanalyse beschikbaar is.

Voor analyse van het oppervlaktewaterpeil zijn peilgegevens van de betreffende waterschappen (afbeelding 4.70) opgevraagd. Beschikbaar zijn peilgegevens voor 2001 en 2016 voor waterschap Hunze en Aa's en peilgegevens voor 2016 van waterschap Noorderzijlvest. Voor het gebied dat binnen Waterschap Hunze en Aa's valt, kan dus berekend worden of en hoeveel het oppervlaktewaterpeil is gedaald tussen 2001 en 2016.

Afbeelding 4.70 Waterschappen in het projectgebied



Omdat de waarden voor het oppervlaktewater vlakdekkend zijn (namelijk per peilgebied), kunnen deze waarden direct worden toegekend aan de betreffende woningen.

Risico2: Veenoxidatie

Veenoxidatie is mogelijk wanneer het veen droog komt te staan. Dit gebeurt als de grondwaterstand (GLG) lager ligt dan de veenlaag. Daarom is de GLG (m NAP) vergeleken met de bovenkant en de onderkant van de veenlaag (m NAP).

Voor elke locatie van de peilbuizen is bepaald of er veen aanwezig is, en op welke diepte deze aanwezig is. Als er veen aanwezig is, dan is de diepte van de veenlaag vergeleken met de GLG. Dit is gedaan voor het Basisveen, Hollandveen en Griendtsveen. Hiervoor is gebruik gemaakt van het GeoTOP model [ref. 3]. Dit is een model met cellen van 100 x 100 m en met een dikte van een halve meter.

Risico 3: Stijging grondwaterstand en zakking

Grondwaterstandverhoging kan leiden tot een lagere korrelspanning en een lager draagvermogen. Bij funderingen op staal met een normale veiligheidsmarge treedt in het algemeen geen zakking op als gevolg van grondwaterstandverhoging. Alleen in bijzondere gevallen kan grondwaterstandverhoging voor zakking en schade zorgen [ref. 4, 5]. Dit kan alleen gebeuren in een ondergrond met een zandig profiel.

Voor het risico op zakking in verband met verhoging van de grondwaterstand zijn er twee methodes toegepast.

Methode 3A. Analyse stijging GHG

In het kader van deze processen is de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) geanalyseerd. De GHG is om dezelfde reden gebruikt als de GLG (zie risico 1). De GHG is op dezelfde manier als de GLG bepaald. Ook de koppeling van peilbuizen aan adressen is op dezelfde manier gegaan als beschreven bij risico 1.

Methode 3B. Trendanalyse

Dezelfde trendanalyse is gebruikt als bij de toetsing van de GLG (zie methode 1B). Wanneer bij een peilbuis een stijgende trend is gevonden over 10 jaar, is de totale stijging (in cm) weergegeven. Per woning zijn dezelfde drie peilbuizen gebruikt als beschreven bij risico 1.

4.6.3 Resultaat

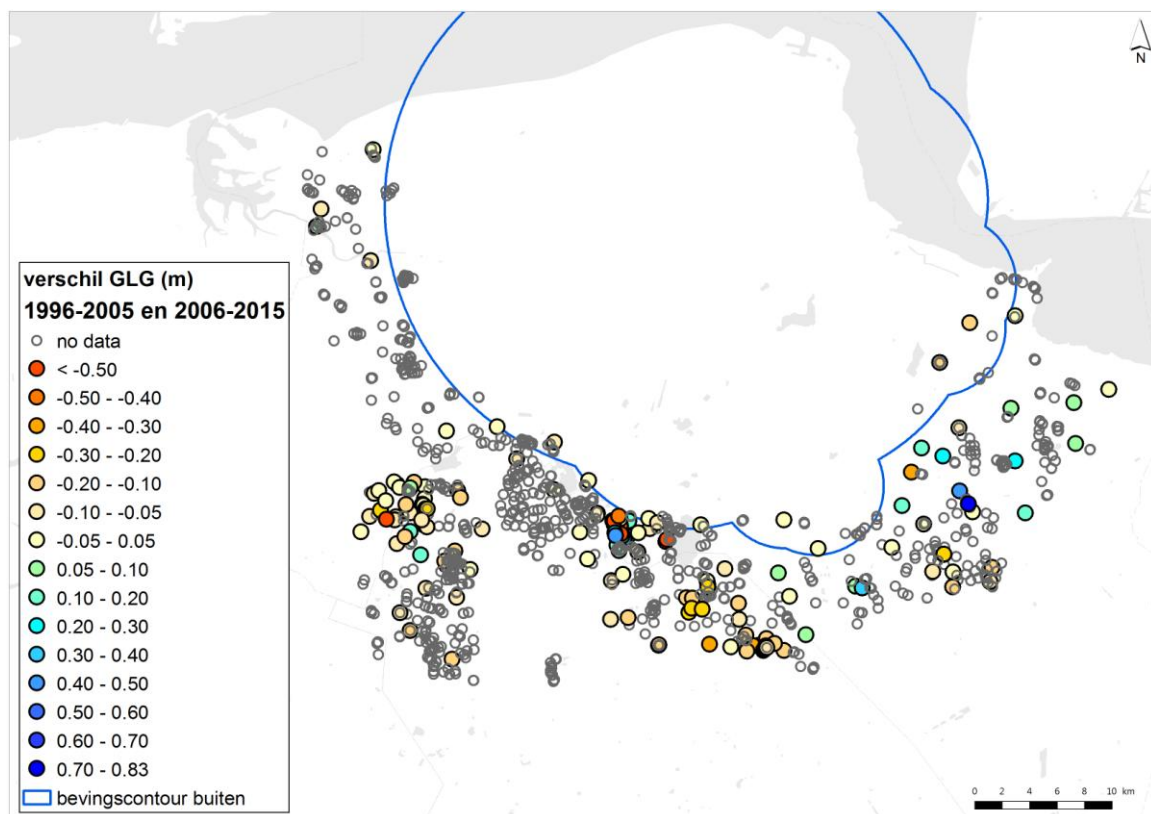
De resultaten zijn in onderstaande subparagrafen beschreven, uitgesplitst per risico.

Risico 1: Daling grondwaterstand en zetting

Methode 1A. Analyse daling GLG

In afbeelding 4.71 is de verandering in GLG van 1996-2005 tot 2006-2015 weergegeven. Een negatieve verandering in de GLG duidt op verlaging van de GLG. De kaart oogt heterogeen: de GLG is zowel gestegen als gedaald, dit verschilt per locatie. Dit kan het gevolg zijn van lokale factoren (peilbuis vlak naast een sloot, een bemaling), of lokale peilverlagingen van het oppervlaktewater.

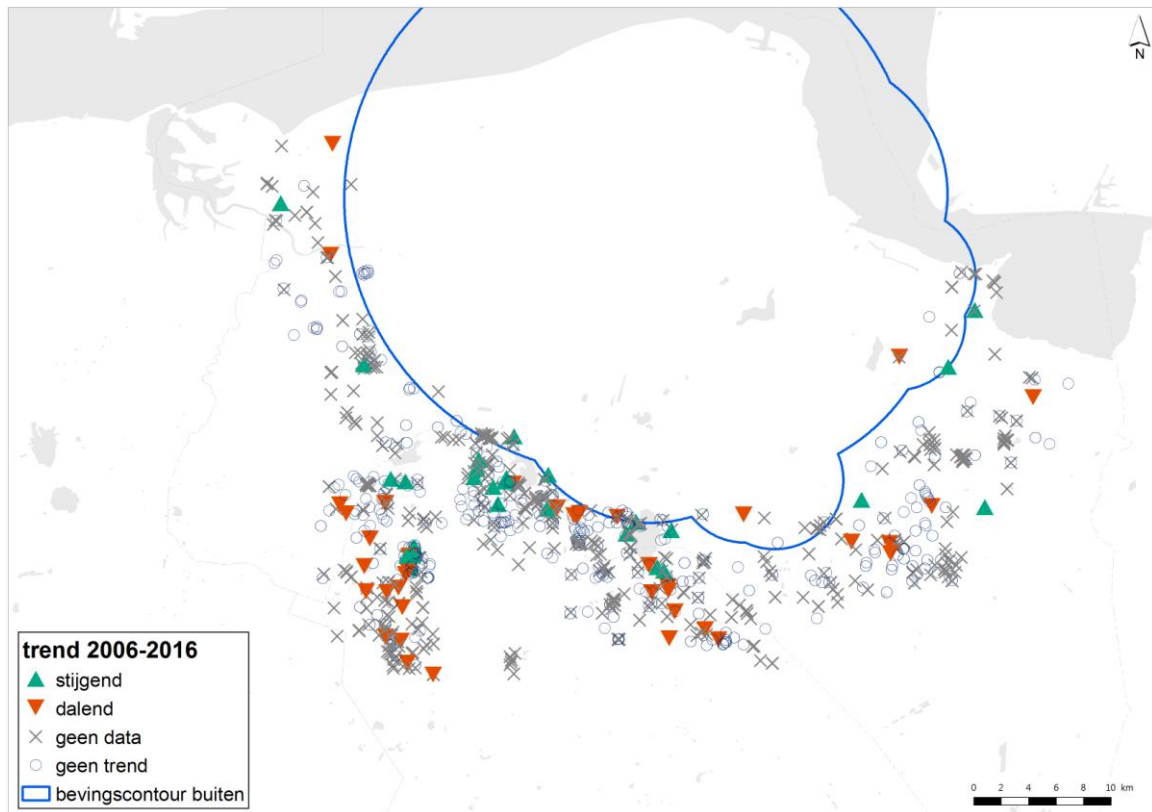
Afbeelding 4.71 GLG in de periode 2006-2015 minus GLG 1996-2005. Een negatieve verandering in GLG duidt op verlaging van de GLG, dus drogere omstandigheden, terwijl een positieve verandering in GLG op nattere omstandigheden duidt



Methode 1B. Trendanalyse

De resultaten van de trendanalyse zijn op kaart gezet. De trends van de meest recente periode zijn weergegeven in afbeelding 4.72. De kaart vertoont overeenkomsten met de kaart van de GLG-analyse. Ten zuidwesten van de stad Groningen zijn er meerdere peilbuizen die een dalende trend laten zien.

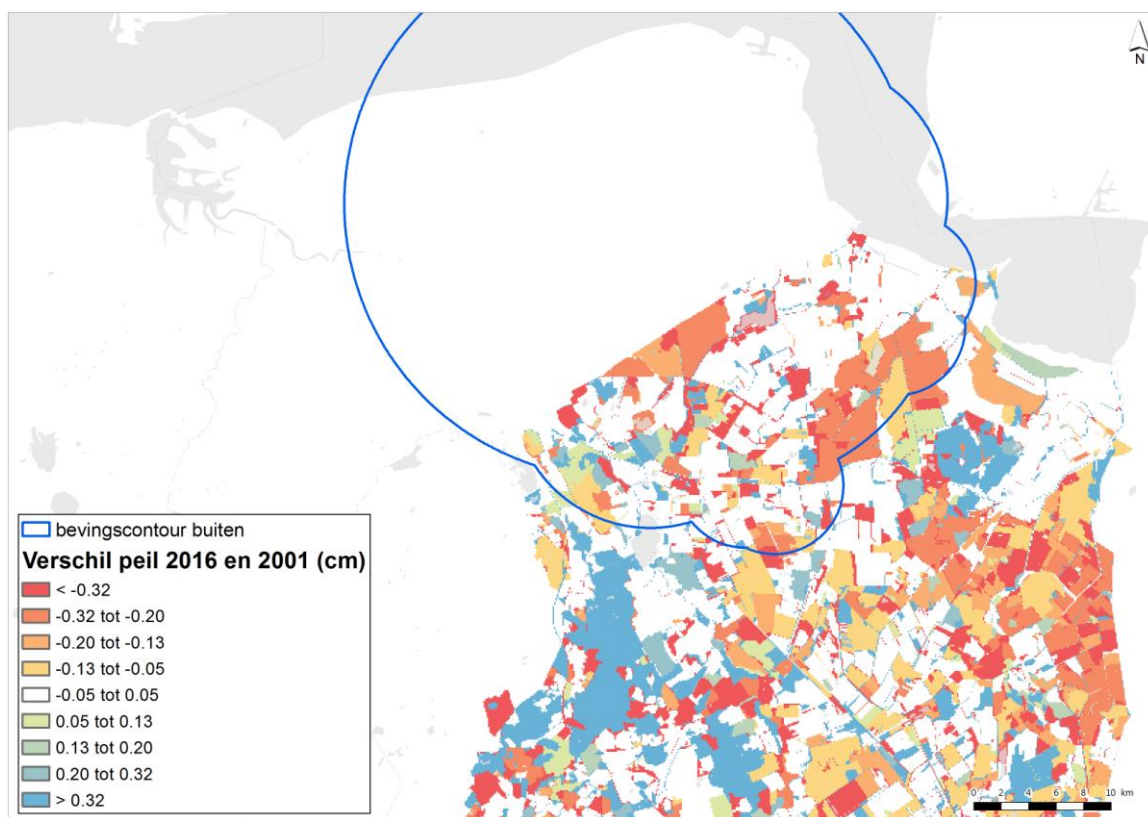
Afbeelding 4.72 Trendanalyse 2006-2016: geen data (kruisje), stijgende trend (groen), dalende trend (rood), of geen trend (rondje)



Methode 1C. Analyse verlaging oppervlaktewaterpeil

De verlaging en verhoging van het oppervlaktewaterpeil van 2016 in vergelijking met 2001 voor Waterschap Hunze en Aa's in het projectgebied is weergegeven in afbeelding 4.73.

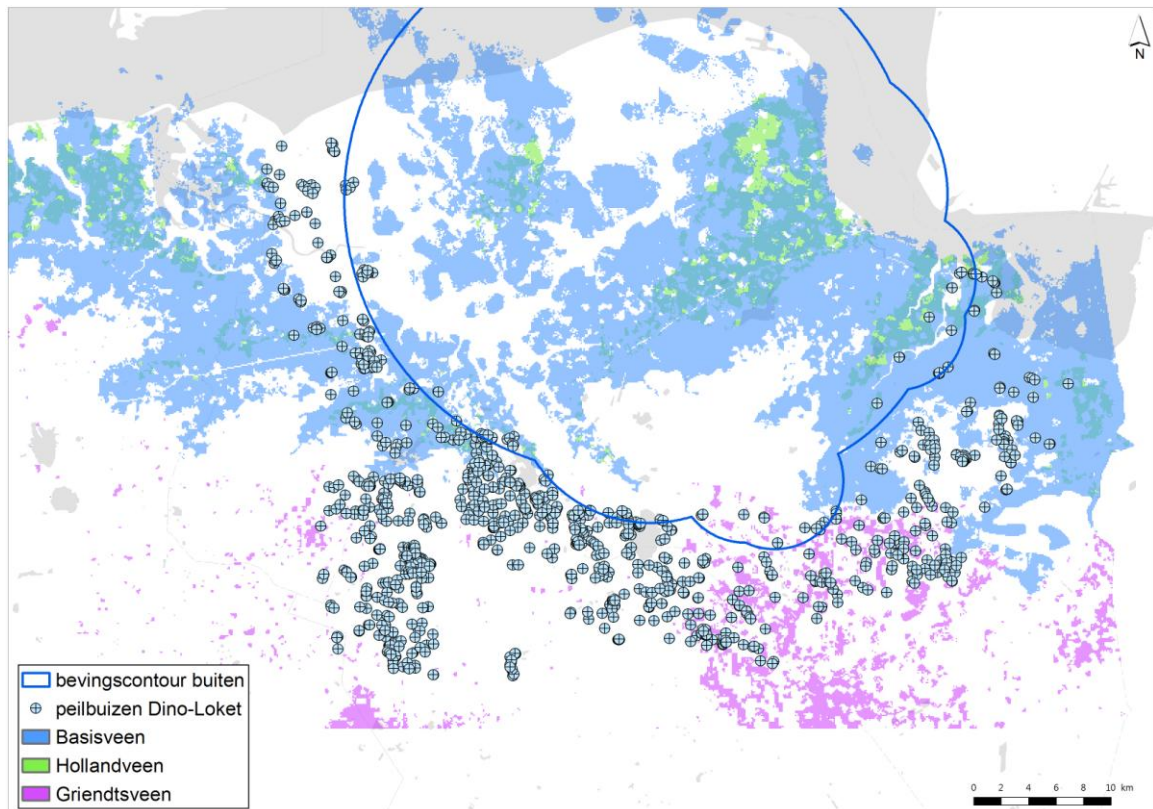
Afbeelding 4.73 Oppervlaktewaterpeil 2016 minus oppervlaktewaterpeil 2001 voor waterschap Hunze en Aa's. Rode tinten (negatieve getallen) staan voor dalingen van het oppervlaktewaterpeil (het peil in 2016 is lager dan dat in 2001). Blauwe tinten (positieve getallen) staan voor een stijging van het oppervlaktewaterpeil (het peil in 2016 is hoger dan dat in 2001)



Risico 2: Veenoxidatie

In afbeelding 4.74 is de verspreiding van de veenlagen weergegeven.

Afbeelding 4.74 Verspreiding van veen en de locatie van de peilbuizen

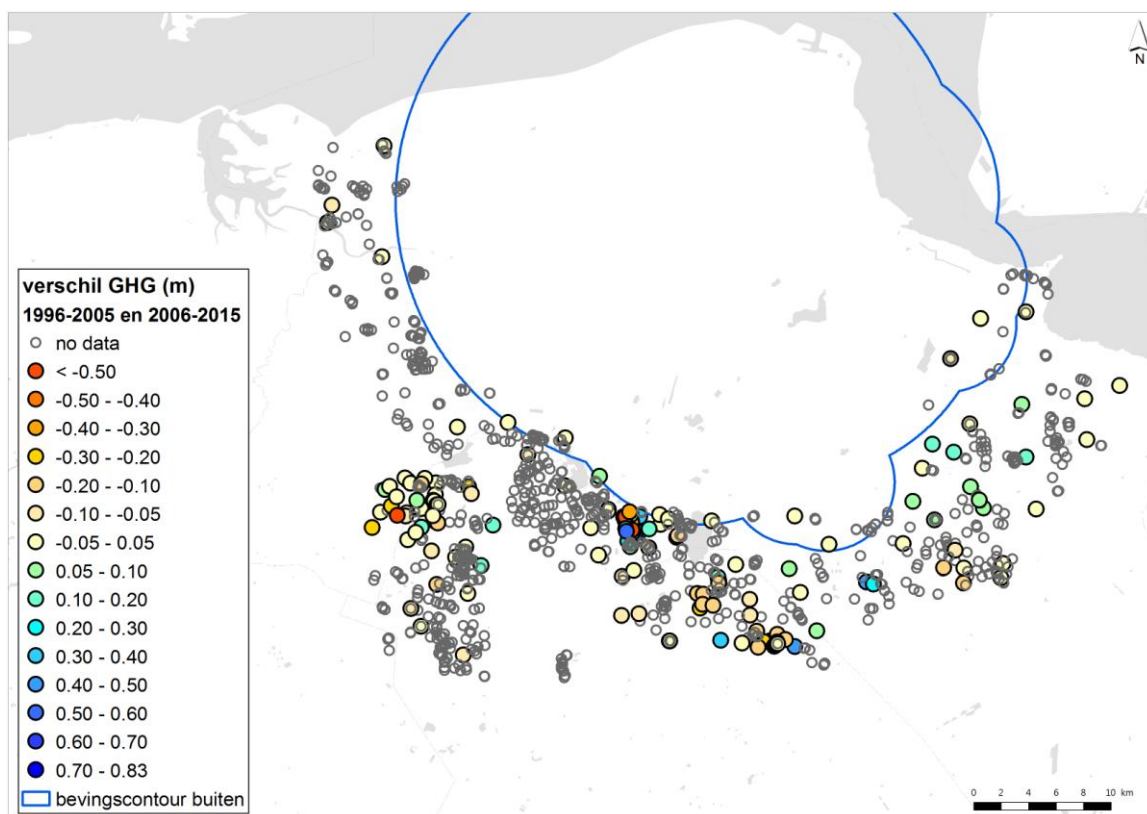


Risico 3: Stijging grondwaterstand en zakking

Methode 3A. Analyse stijging GHG

In afbeelding 4.75 is de verandering in GHG van 1996-2005 tot 2006-2015 weergegeven. Een positieve verandering in de GHG duidt op verhoging van de GHG. De kaart oogt heterogeen: de GHG is zowel gestegen als gedaald, dit verschilt per locatie. Ook uit analyse van het oppervlaktewaterpeil (zoals eerder weergegeven in afbeelding 4.73) komt geen eenduidig beeld van stijgende peilen.

Afbeelding 4.75 GHG in de periode 2006-2015 minus GHG 1996-2005. Een negatieve GHG duidt op verlaging van de GHG, dus drogere omstandigheden, terwijl een positieve GHG op nattere omstandigheden duidt



Methode 3B. Trendanalyse

De resultaten van de trendanalyse zijn hieronder op kaart gezet.

Evaluatie onzekerheden en aannames in informatie en methodiek

Voor de geohydrologische beoordeling zijn vier bronnen gebruikt:

- grondwaterstandsmetingen uit het Dino-Loket;
- peilgegevens voor 2001 en 2016 voor waterschap Hunze en Aa's en peilgegevens voor 2016 van waterschap Noorderzijlvest;
- de lithostratigrafische kaart van TNO (om het bodemtype te bepalen). Deze kaart laat de lithostratigrafie zien aan het maaiveldoppervlak tot een diepte van circa 5 m onder het maaiveld;
- de aanwezigheid van Basisveen, Hollandveen en Griendtsveen volgens het GeoTOP model.

De data en methodiek is erop gericht om binnen een relatief korte tijd tot een praktische, objectieve en herleidbare beoordeling te komen. Dit heeft geleid tot enkele aannames en onzekerheden.

Lokale afwijkingen van gebruikte data

De grootste onzekerheid voor de beoordeling die ontstaat door deze aanpak zit in locatiespecifieke afwijkingen van de gebruikte data. Dit uit zich op de volgende manier:

- grondwaterstand: De lokale grondwaterstand ter plekke van de woning kan afwijken van de grondwaterstand gemeten in peilbuizen, omdat de gebruikte peilbuizen op grote afstand van de woningen kunnen staan. Dit kan in de beoordeling twee kanten op werken: het risico kan zowel te hoog als te laag beoordeeld zijn. Met deze onzekerheid is omgegaan door van de drie dichtstbijzijnde peilbuizen per woning allereerst de dichtstbijzijnde peilbuis te gebruiken die volgens de lithostratigrafische kaart in hetzelfde bodemtype staat als de woning, waardoor het waarschijnlijker is dat de gemeten grondwaterstand representatief is voor de grondwaterstand bij de woning. De

grondwaterstand ter plekke van de woning kan nog steeds afwijken door bijvoorbeeld de nabijheid van een watergang of een bemaling;

- bodemopbouw: De werkelijke bodemopbouw ter plekke van de woning kan afwijken van de bodemopbouw volgens de gebruikte gegevens. Normaliter zou bij een geohydrologische analyse gebruik gemaakt worden van lokale preciezere bodemgegevens (bijvoorbeeld boringen en sonderingen). De lithostratigrafische kaart van TNO het GeoTOP model met cellen van 100 x 100 m zijn relatief grove kaarten op basis van interpolaties. De bodemopbouw is echter erg heterogeen en kan op kleine afstand verschillen. Daarnaast is er vanuit gegaan dat ter plaatse van de woningen de oorspronkelijke bodemopbouw aanwezig is, terwijl deze ontgraven kan zijn of andere wijzigingen kunnen hebben plaatsgevonden ten behoeve van bijvoorbeeld de fundering. Dit kan in de beoordeling zowel tot te hoge risico's leiden (wanneer er bijvoorbeeld veen aanwezig is volgens de kaart, maar in werkelijkheid zand), als tot te lage risico's (wanneer dit andersom is).

Bij gebruik van de oppervlaktewaterpeilen speelt het probleem van lokale afwijkende gegevens niet, omdat het oppervlaktewaterpeil per peilvak beheerd wordt en over het hele peilvak gelijk is.

Kwaliteit gebruikte data

De onzekerheid over de kwaliteit van de gebruikte data is relatief klein:

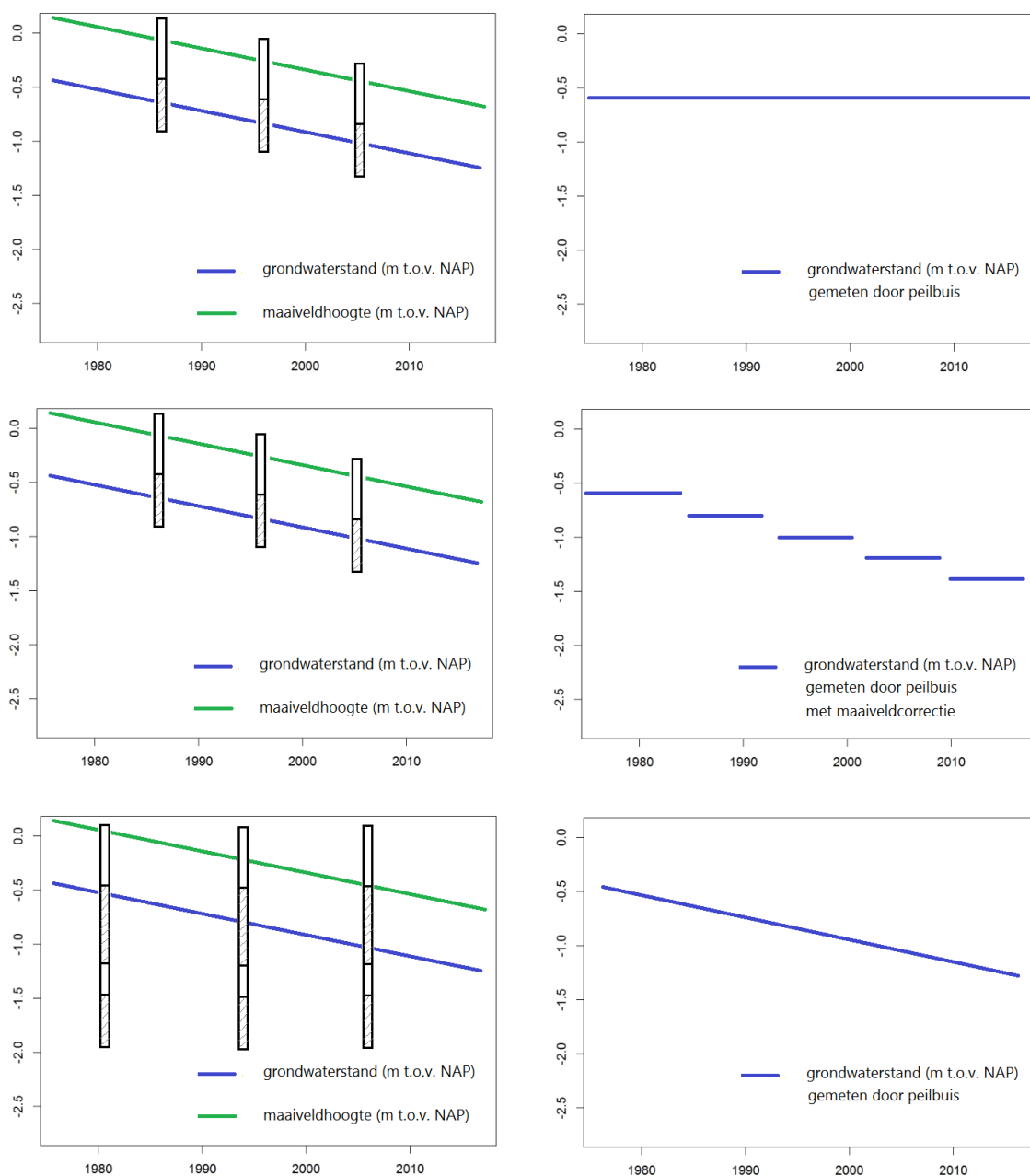
- de oppervlaktewaterpeilen zijn direct aangeleverd door de waterschappen. Een (kleine) afwijking kan ontstaan doordat in werkelijkheid het praktijkpeil afwijkt van dit streefpeil;
- de grondwaterstandmetingen worden gecontroleerd voordat deze op het Dino-Loket gepubliceerd worden. Bovendien is het effect van eventuele aanwezige meetfouten geminimaliseerd door de GLG als indicator te gebruiken (in plaats van laagst gemeten grondwaterstand) en de GLG over een lange periode (10 jaar) te berekenen. Bovendien zijn peilbuizen met te weinig gegevens niet gebruikt in de analyse;
- wel wordt de grondwaterstand gemeten ten opzichte van de bovenkant van de peilbuis, terwijl de hoogte van de bovenkant peilbuis kan veranderen wanneer er bodem- en/of maaiveld daling plaatsvindt. Wanneer de bovenkant peilbuis niet regelmatig opnieuw wordt ingemeten, kan dit leiden tot meetfouten. Dit wordt in onderstaande alinea verder onderzocht.

Analyse nauwkeurigheid maaiveldgegevens peilbuizen

Bij ondiepe peilbuizen bestaat de kans dat de peilbuizen meezakken wanneer er bodemdaling plaatsvindt. In dit geval daalt de peilbuis dus ten opzichte van NAP, maar niet ten opzichte van maaiveldhoogte. Wanneer de bovenkant van de peilbuis niet regelmatig opnieuw wordt ingemeten, wordt hiervoor geen correctie gedaan, en levert dit foutieve metingen op. Wanneer de peilbuis niet mee daalt met het maaiveld, is de correctie niet nodig en zijn de metingen van de peilbuis juist. Er zijn dus drie mogelijkheden:

- peilbuis zakt mee met bodemdaling, geen correctie maaiveldhoogte ten opzichte van NAP (foutieve meting, afbeelding 4.76, boven);
- peilbuis zakt mee met bodemdaling, maar dit wordt gecorrigeerd op basis van maaiveldmetingen (deels goede meting, trend is juist, afbeelding 4.76, midden);
- peilbuis zakt niet mee met bodemdaling en er is geen correctie nodig (goede meting, afbeelding 4.76, onder).

Afbeelding 4.76 Boven: peilbuis daalt mee met bodem (foutieve meting). Midden: peilbuis daalt mee met bodem, maar dit wordt af en toe gecorrigeerd op basis van maaiveldhoogtemeting. Beneden: peilbuis blijft op dezelfde hoogte ten opzichte van NAP (goede meting)



Om na te gaan of de grondwaterstanden in de peilbuizen van het Dino-Loket zijn berekend met de juiste maaiveldhoogten, zijn de maaiveldhoogten in het Dino-Loket vergeleken met het algemeen hoogtebestand AHN2. Dit is een vlakdekkend raster van ESRI van 50 x 50 cm. Het AHN2 bevat gegevens die tussen 2007 en 2012 zijn verzameld; het AHN3 is voor het projectgebied nog niet beschikbaar. (Omdat de vijfjaarlijkse maaiveldhoogtemetingen puntmetingen zijn, konden de maaiveldhoogtemetingen niet gebruikt worden voor deze analyse.)

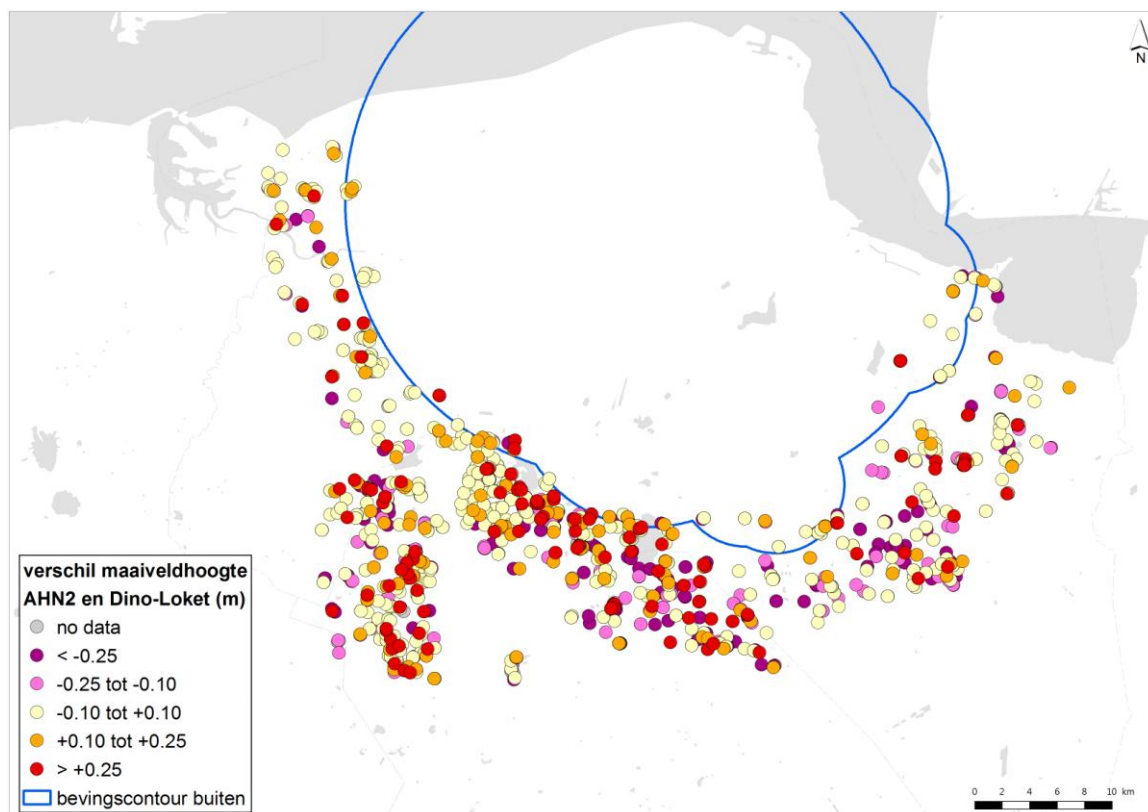
Uit de vergelijking blijkt dat er grote verschillen zitten tussen de maaiveldhoogte van het AHN2 en de maaiveldhoogte die in Dino-Loket wordt weergegeven. Dit kan bijvoorbeeld komen omdat de waarde in het AHN2 het gemiddelde voor de betreffende rastercel is. Het kan ook komen omdat er bodemdaling heeft plaatsgevonden en de maaiveldwaarden in Dino-Loket hiervoor niet zijn gecorrigeerd. Echter, de verschillen zijn zowel positief als negatief (tabel 4.10) en de verschillen geven geen eenduidig beeld over het

projectgebied, maar een erg heterogeen beeld (afbeelding 4.77). Dit is geen duidelijke aanwijzing dat het maaiveld in Dino-Loket gecorrigeerd zou moeten worden voor bodemdaling. Daarom is (vooralsnog) aangenomen dat het maaiveldsniveau (ten opzichte van NAP) in Dino-Loket correct is voor alle peilbuizen.

Tabel 4.10 Aantal peilbuizen per categorie 'verschil maaiveldhoogte'

Verschil maaiveldhoogte AHN2 en Dino-Loket	Aantal peilbuizen
< - 1 m	46
- 1 tot - 0,50 m	99
- 0,50 tot - 0,25 m	148
- 0,25 tot - 0,10 m	195
- 0,10 tot 0,10 m	746
0,10 tot 0,25 m	232
0,25 m tot 0,5 m	104
0,5 m tot 1 m	56
> 1 m	57
geen data	61
totaal	1.744

Afbeelding 4.77 Verschil tussen maaiveldhoogte AHN2 en maaiveldhoogte Dino-Loket (m)



4.6.4 Referenties

- 1 Onderzoeksgebied 'Steenbergen', Gebouwschade in relatie tot NAM-activiteiten Langelo, Arcadis, november 2015.
- 2 <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>.
- 3 <https://www.dinoloket.nl/detaillering-van-de-bovenste-lagen-met-geotop>.
- 4 Bodemdaling Groningen. Effecten peilverhoging op fundering op staal. Relatie afname draagvermogen en zakking fundering (projectfase 2). Gemeentewerken Gemeente Rotterdam, oktober 2003.
- 5 Bodemdaling Groningen. Effecten peilverhoging op fundering op staal. Relatie afname draagvermogen en zakking fundering. Gemeentewerken Gemeente Rotterdam, januari 2004.

4.7 Aardbevingen

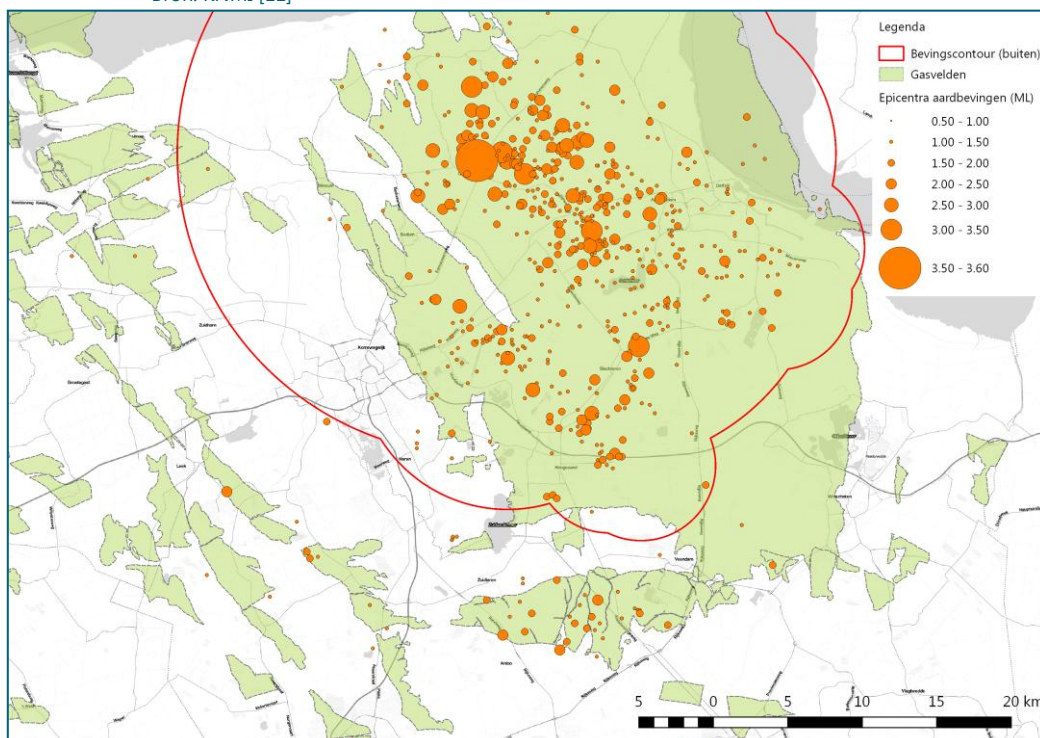
4.7.1 Introductie

Doel

Om te analyseren of de opgetreden aardbevingen uit het verleden aanwijsbaar tot schade hebben kunnen leiden in het buitengebied wordt op een deterministische manier de aardbevingsbelasting berekend. Met de berekende aardbevingbelasting kan enerzijds worden getoetst aan de SBR criteria (zie bijlage II en [1]) en anderzijds wordt op basis van een data-analyse bekeken of er een relatie is tussen de berekende aardbevingsbelasting en de gemelde schade.

Dit rapport beschrijft de methode die is gehanteerd om voor elke woning waarvoor een schademelding is ontvangen de theoretische aardbevingsbelasting te berekenen op basis van alle geregistreerde geïnduceerde aardbevingen (zie afbeelding 4.78). Met deze methodiek kan een inschatting worden gemaakt of de ooit opgetreden aardbevingbelasting in het verleden schade heeft kunnen veroorzaken wanneer boven de vigerende schadecriteria is uitgekomen. Daarnaast wordt besproken wat de beperkingen zijn van de gehanteerde methodiek en wat de onzekerheden zijn in de aannamen en de uitkomsten van de berekeningen.

Afbeelding 4.78 Verspreiding van alle door het KNMI geregistreerde geïnduceerde aardbevingen (van 1986 tot oktober 2016).
Bron: KNMI [11]



Methode

De methode voor het bepalen van de aardbevingsbelasting bestaat uit het gebruik van een *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) of *Ground Motion Model* (GMM). Omdat de term GMPE meer wordt gebruikt dan GMM, zullen we in deze rapportage vooralsnog de term GMPE hanteren. Met een GMPE kan op basis van alle geregistreerde aardbevingen voor elke locatie van de schademelding een berekening worden gemaakt van de theoretisch opgetreden aardbevingbelasting.

Deze aardbevingsbelasting wordt bepaald als piekgrondsnelheid. Piekgrondsnelheid is in het Engels *peak ground velocity* en wordt afgekort tot PGV. Deze PGV waarde kan vervolgens via een omrekening naar de VTOP-waarde (zie paragraaf 4.7.12) worden getoetst aan de SBR richtlijn A [1] (zie bijlage II) voor schade ten gevolge van trillingen om te bepalen of er kans is geweest op schade.

De methodiek die is gehanteerd om tot een berekening, validatie en toetsing van de mogelijke opgetreden aardbevingbelasting te komen wordt hieronder puntsgewijs omschreven. De methodiek wordt in de rest van dit rapport meer in detail beschreven.

- 1 **keuze voor GMPE:** GMPE's zijn empirische relaties voor het bepalen van aardbevingbelasting die door het KNMI in samenwerking met internationale seismologische experts zijn opgesteld. Er zijn in het verleden verschillende GMPE's gebruikt en ontwikkeld voor het Groningen aardbevingsgebied. Door voortschrijdend inzicht ontwikkeld tijdens het recente onderzoek naar de geïnduceerde aardbevingen in Groningen zijn verschillende versies van de GMPE opgesteld. In de huidige analyse wordt van de laatste versie (V4) gebruik gemaakt; De eerste versie (V0) wordt ook gebruikt ter vergelijking;
- 2 **definitie van de GMPE's:** de gekozen GMPE's bestaan uit een bepaalde vorm en kennen een aantal beperkingen, onzekerheden en variabelen;
- 3 **invoergegevens:** om tot een bepaling van de aardbevingbelasting te komen, hebben de GMPE's bepaalde invoergegevens nodig, zoals de sterkte van de aardbeving (Magnitude), de afstand tot de woning en de grondcondities;
- 4 **vergelijking van de resultaten:** de GMPE's zijn gebaseerd op aardbevingsmetingen van het KNMI. Inmiddels is er al een aantal jaren een dicht netwerk van aardbevingssensoren actief (hierna te noemen: het TNO netwerk) die geplaatst zijn in woningen in en rondom het Groninger aardbevingsgebied. De aardbevingsmetingen van het TNO netwerk en het KNMI netwerk zijn vergeleken met de berekende aardbevingsbelastingen;
- 5 **resultaten:** de locaties van de woningen worden vergeleken met de locaties van de epicentra van de aardbevingen. Dit levert voor elke mogelijke combinatie van aardbeving en woning een afstand op. Samen met de andere invoergegevens kan hiermee op basis van de GMPE's de aardbevingbelasting worden bepaald;
- 6 **toetsing aan de SBR richtlijn deel A:** de Stichting Bouw Research [1] heeft een richtlijn ontwikkeld voor het bepalen van schade ten gevolge van trillingen (deel A). De richtlijn wordt in de schadebeoordeling gehanteerd om te toetsen of de berekende aardbevingsbelasting de grenswaarden heeft overschreden, de 'falsificatie'. De achtergronden en definities uit deze richtlijn en de manier waarop de toetsing wordt uitgevoerd op basis van de berekening van de aardbevingsbelasting worden beschreven in bijlage II.

Definities

Een GMPE is een empirische relatie tussen de op het maaiveld of in boorgaten gemeten aardbevingsbelasting (bijvoorbeeld PGV of PGA) en de afstand tot het epicentrum. De aardbevingbelasting wordt uitgedrukt in:

- PGA (Peak Ground Acceleration): de piekgrondversnelling. Deze eenheid is meestal in cm/s^2 , g (9,81 m/s^2), of mgal;
- PGV (Peak Ground Velocity): de piekgrondsnelheid. Deze eenheid is meestal in mm/s, cm/s of m/s;
- Sa (Spectral Acceleration): de spectrale versnelling als functie van periode of frequentie. Dezelfde eenheden als PGA;
- Sv (Spectral Velocity): de spectrale snelheid als functie van periode of frequentie. Dezelfde eenheden als PGV.

De belangrijkste variabelen in deze relaties zijn magnitude en de afstand. De magnitude is een maat voor de energie die vrijkomt tijdens een aardbeving. Hoe groter de magnitude, hoe hoger de aardbevingsbelasting die wordt gemeten aan het maaiveld. De magnitude schaal heeft een logaritmisch verloop, dus het verschil tussen een magnitude 3,1 en 3,2 aardbeving is groter dan het verschil tussen een 2,9 en 3,0 magnitude aardbeving.

De magnitude schaal die door het KNMI wordt gehanteerd is de M_L schaal, de zogenaamde *Local Magnitude*. Dit is gelijk aan de welbekende Richter Magnitude schaal. Alle aardbevingen in Groningen worden in M_L geregistreerd en in de aardbevingscatalogus als zodanig opgeslagen. In sommige gevallen wordt echter gebruik gemaakt van andere magnitude schalen, zoals de *Moment Magnitude* (M_W).

De aardbevingbelasting neemt af met de afstand tot het epicentrum, dit wordt ook wel attenuatie genoemd. De afstand wordt in veel gevallen berekend tot aan het hypocentrum van deze aardbeving. Het hypocentrum is de locatie in de ondergrond waar de aardbeving ontstaat. Het epicentrum is de geprojecteerde locatie aan het maaiveld recht boven het hypocentrum.

Andere termen die terugkomen in dit deel van het rapport zijn:

- VTOP: de hoogste waarde van de piekgrondsnelheid in een van de drie meetrichtingen: x, y (horizontaal) en z (vertikaal). De SBR-A toetst op deze VTOP-waarde;
- *Geometric mean of geomean*: geometrisch gemiddelde van verschillende meetrichtingen. De door de GMPE bepaalde PGA of PGV is meestal gebaseerd op het geometrisch gemiddelde van de metingen;
- $V_{S,30}$: de gemiddelde schuifgolfsnelheid in de bovenste 30 m van de ondergrond (in m/s).

4.7.2 GMPE's ontwikkeld voor Groningen

GMPE's worden normaal gesproken afgeleid voor natuurlijke tektonische aardbevingen met magnitudes $M > 4,5$ en zijn bepaald voor relatief grote en tektonische gelijkwaardige gebieden, bijvoorbeeld Europa en het Midden Oosten en het westen van de VS. GMPE's worden hoofdzakelijk ontwikkeld voor het bepalen van probabilistische seismische hazard analyses die resulteren in hazard kaarten en als input dienen voor nationale en internationale aardbevingsnormen en risico analyses. Deze hazard kaarten geven een verwachting van de nog op te treden aardbevingsbelasting voor verschillende aardbevingsscenario's.

Voor het Groningen aardbevingsgebied zijn de afgelopen jaren specifieke GMPE's ontwikkeld door het KNMI, Deltares, TNO en de NAM in samenwerking met internationale experts, met als doel om (probabilistische) hazard kaarten op te stellen. Deze hazard kaarten dienen ook als basis voor de NPR ontwerprichtlijn voor Groningen [19]. Deze kaart wordt ook vaak de PGA contourkaart genoemd omdat deze het aardbevingsgevaar als lijnen van gelijke PGA (piekgrondversnelling) bij dezelfde kans op een aardbeving weergeeft. Er zijn in de afgelopen tijd inmiddels verschillende versies van deze hazard kaart door het KNMI gepubliceerd.

De GMPE's kunnen ook gebruikt worden om op een deterministische manier de piekgrondversnellingen of piekgrondsnelheden te berekenen. Hierbij wordt de empirische GMPE relatie gebruikt om op basis van een bepaald aardbevingsscenario de te verwachten aardbevingsbelasting op maaiveld te berekenen als functie van de afstand tot het epicentrum. Deze deterministische manier van berekenen wordt in deze studie gehanteerd.

Er is een continue ontwikkeling gaande in het vaststellen van deze GMPE's. Omdat er elk jaar steeds meer meetgegevens bijkomen en er steeds meer voortschrijdend inzicht is in de fysische mechanismen en oorzaken van de aardbevingen, worden de GMPE's steeds aangepast. Ook de hoeveelheid gas dat gewonnen wordt is aangepast, wat weer een andere aardbevingsverwachting geeft. Dit levert dan ook weer nieuwe (PGA) hazard contourkaarten op. Hieronder wordt de ontwikkeling en de huidige stand van zaken beschreven.

4.7.3 Versie 0 GMPE

De eerste GMPE's die voor het aardbevingsgebied in Groningen zijn ontwikkeld zijn door het KNMI gepubliceerd in 2013 als onderdeel van het winningsplan van de NAM [1]. Hierin worden 2 GMPE modellen besproken: het lokale D04 model [3] en het Europese ASB model [4]. Het Europese ASB model is gebaseerd op metingen uit Zuid Europa en Turkije met Magnitudes groter dan 4,5. Het toepassen van deze GMPE's voor kleinere magnitudes (zoals die in Groningen) leidt tot een overschatting van de groundbeweging en de hazard.

Daarom is het ASB model aangepast naar het ASB *modified* model [1]. Dit model is aangepast aan gemeten PGA's en PGV's voor 8 geïnduceerde aardbevingen uit Groningen, waaronder de Magnitude 3,6 Huizinge beving van 2012. Het aangepaste model bevat ook nog een correctiefactor voor een zoutlaag met een hoge schuifgolfsnelheid die aanwezig is in de ondergrond en die een defocussing effect heeft op de aardbevingen (zie ook paragraaf 4.7.4).

De invloed van de grondgesteldheid in de ondiepe ondergrond wordt meegenomen in de vorm van de $V_{S,30}$. De $V_{S,30}$ 0 is de gemiddelde schuifgolfsnelheid (in m/s) in de bovenste 30 m van de ondergrond (zie ook paragraaf 4.7.15). De minimale waarde van de $V_{S,30}$ waarvoor het ASB model nog geldig is, is 150 m/s [4].

Het ASB *modified* model wordt door het KNMI ook wel het Versie 0 model genoemd en diende als basis voor de seismische hazard kaart voor Groningen waarnaar in de eerste Versie van de aardbeving ontwerprichtlijn NPR 9998 [19] werd verwezen. De onzekerheden van de Versie 0 GMPE zijn relatief hoog. In deze versie werd bijvoorbeeld voor heel Groningen een $V_{S,30} = 200$ m/s aangenomen. Aanvullende ontwikkeling van de GMPE's voor Groningen waren daarom toegespitst om deze onzekerheden te reduceren.

4.7.4 Versie 1 GMPE

Door het verder bestuderen van de KNMI metingen gedaan in Groningen kwam men tot de conclusie dat de geïnduceerde aardbevingen in Groningen zich anders manifesteren dan de meer voorkomende tektonische aardbevingen in het buitenland [6] [7]. Daarmee waren de internationale GMPE's waarop de Versie 0 GMPE voor een belangrijk deel is gebaseerd minder goed bruikbaar.

Wat de data uit Groningen namelijk laat zien is dat de amplitudes van de metingen zeer snel afnemen over kleine afstanden. Dit heeft mogelijk te maken met de aanwezigheid van een Anhydriet laag met een hoge schuifgolfsnelheid vlak boven het Slochteren gas reservoir [6] [7]. Deze laag leidt tot sterke reflecties en refracties van de aardbevingsgolven. Dichtbij het epicentrum komt het aardbevingssignaal vrijwel verticaal aan met een relatief grote amplitude. Hier wordt de golf weinig afgebogen (gerefracteerd) en gereflecteerd vanwege de vrijwel loodrechte aankomst van het signaal. Het signaal dichtbij het epicentrum is relatief kort en geeft daarmee een korte, maar heftige puls aan het maaiveld. Zodra het aardbevingssignaal echter onder een hoek bij deze hoge snelheid laag aankomt treden er mogelijk herhaalde reflecties en refracties op wat leidt tot een relatief lage amplitude golf, maar met wel met een langere duur dan vlakbij het epicentrum. Dit is consistent met de metingen aan het maaiveld. Dit wordt ook wel het *defocussing effect* genoemd

In 2015 volgde daarom een eerste update van de GMPE, de Versie 1 [6] [7]. Versie 1 is rechtstreeks ontwikkeld op basis van aardbevingen uit Groningen. De extrapolatie naar grotere magnitudes is gedaan op basis van stochastische simulaties [5]. In Versie 1 zijn meer aardbevingmetingen meegenomen, mede dankzij de uitbreiding van het meetnetwerk van het KNMI in 2014. Daarmee is de onzekerheid van de predicties verkleind.

In aanvulling op relaties voor PGA zijn relaties voor S_a (spectrale versnelling) gegeven voor verschillend periodes, te weten: 0,2, 0,5, 1,0 en 2,0 seconden. In Versie 1 zijn er echter geen relaties gegeven voor PGV of S_v (spectrale snelheid). De lokale afwijkingen in grondgesteldheid wordt niet expliciet meegenomen in de analyse. Er wordt uitgegaan van de responsie voor grond met een gemiddelde $V_{S,30}$ van 200 m/s.

De stochastische simulaties hebben geresulteerd in verschillende GMPE's voor verschillende winningsscenario's. Deze verschillende winningsscenario's kunnen vervolgens worden meegenomen in de hazard analyse, zodat een betere voorspelling kan worden gedaan van de hazard. De grote uitdaging in het voorspellen van het toekomstig seismisch gevaar in Groningen is dat de seismische activiteit sterk afhangt van de hoeveelheid en mate waarin gas gewonnen is en nog gewonnen gaat worden. Dit wijkt sterk af van het voorspellen van de seismische hazard voor normale tektonische aardbevingen, waar de seismische activiteit meestal stabiel is.

4.7.5 Versie 2 GMPE

Vrijwel tegelijkertijd met het Versie 1 model, zijn de resultaten van het Versie 2 model gepubliceerd [0]. Het Versie 2 model van de GMPE is, als onderdeel van de algehele hazard en risico analyse voor het Groningen aardbevingsgebied, meegenomen in het Winningsplan 2016 [0]. Het Versie 2 model van de GMPE diende als basis voor de tweede versie van de NPR 9998 en werd eind 2015 gepubliceerd [20] [5] en is tot op dit moment de vigerende hazard kaart voor het Groninger aardbevingsgebied.

De belangrijkste verbetering van Versie 2 ten opzichte van Versie 1 is dat de lokale grondcondities en het niet-lineaire grondgedrag wordt meegenomen. De grondcondities zijn voor het hele aardbevingsgebied in kaart gebracht, geanalyseerd en de resultaten kunnen worden gebruikt om de lokale grondresponsie te integreren in de analyse. Het niet-lineaire grondgedrag is hierbij ook meegenomen. Dit effect speelt vooral bij grotere aardbevingen een rol en leidt in de regel tot een lagere grondresponsie bij slappere grondlagen, zoals ondiepe kleilagen. In sommige gevallen leidt de lokale grondresponsie tot amplificatie (opslingering) en dus tot hogere waarden. Tenslotte kunnen er met de GMPE relaties van Versie 2 spectrale versnellingen (S_a) voor meer perioden worden berekend dan in Versie 1. Dit betekent dat de vorm van de response spectra beter kan worden bepaald. Dit is weer van belang voor aardbevingsontwerp en -versterking van bestaande bouw. Nog steeds bevat Versie 2 geen relaties voor PGV (piekgrondsnelheid) of Sv (spectrale snelheid).

Versie 2 bestaat uit twee componenten:

- 1 een GMPE die de versnellingen aan de basis van de Boven Noordzee formatie (NU_B) modelleert - de referentie gesteente horizon (op ongeveer 300 m diepte);
- 2 een GMM die op basis van een zonering de niet-lineaire grondamplificatie definieert ten opzichte van de referentie gesteente horizon.

Overigens zijn de grondcondities in de vorm van een database met referentieparameters alleen gegeven voor het binnengebied (het Groninger gasveld met een 5 km bufferzone). Dit maakt dat Versie 2 maar beperkt toepasbaar is voor het buitengebied, omdat maar een deel van het projectgebied overlapt. Naar verwachting zijn de resultaten voor Versie 2 voor een soortgelijk winningsscenario en voor generieke grondcondities qua ordegrrootte vergelijkbaar met de resultaten op basis van Versie 1. Sterk afwijkende grondcondities bij grotere aardbevingsbelastingen kunnen wel zorgen voor grotere verschillen tussen Versie 1 en Versie 2 doordat het niet-lineaire gedrag van de grond (amplificatie of juist damping) hier een grotere rol speelt.

De complete hazard (de berekende PGA's) voor het gebied die op basis van de Versie 1 en Versie 2 zijn berekend zijn lager dan de berekende hazard op basis van Versie 0. Dit betekent overigens niet dat voor individuele gevallen, berekend op een deterministische manier, de PGA waarden voor Versie 1 en Versie 2 altijd lager zijn dan Versie 0.

4.7.6 Versie 3 en Versie 4 GMPE

Inmiddels zijn de Versie 3 en Versie 4 van de GMPE ontwikkeld. Naar verwachting wordt Versie 4 in de eerste helft van 2017 gepubliceerd. Versie 3 is een werkversie en wordt niet gepubliceerd omdat deze qua ontwikkeling al is ingehaald door Versie 4. Versie 4 omvat, in tegenstelling tot Versie 1 en Versie 2 wel relaties voor PGV.

Het Groningen Versie 4 Ground Motion Model is zeer recent vrijgegeven door NAM aan W+B en de details van dit model zijn gebaseerd op een nog ongepubliceerde samenvattende notitie van Prof. J.J. Bommer [22]. Naar verwachting zal de officiële publicatie zeer kort na het uitbrengen van dit rapport worden vrijgegeven. De GMPE modelparameters en de parameters van het ondergrondmodel (het GMM), die nodig zijn om het model te implementeren, zijn gegeven in de vorm van Excel tabellen.

Het belangrijkste verschil met het Versie 2 model is dat de referentie gesteente horizon in Versie 4 aan de basis van de Beneden Noordzee formatie is gedefinieerd (NS_B), op het grensvlak met de bovenkant van de Krijt-kalk. Dit niveau ligt aanmerkelijk lager (ongeveer op 750 m diepte) dan de basis van de Boven Noordzee groep (NU_B, ongeveer op 300 m diepte) die de referentie gesteente horizon is van Versie 2. De reden hiervoor is dat door nadere analyse van snelheidslogs in verschillende boorgaten er op dit niveau een belangrijke verhoging van de schuifgolfsnelheid (V_s) werd gemeten. Dit wijst op een grotere akoestische impedantie dan op het grensvlak NU_B. Ook is er een significant diepteverloop van dit grensvlak waarneembaar. De niet-lineaire grond responsie analyse is in belangrijke mate afhankelijk van de definitie van deze basis.

Dit betekent ook dat het Ground Motion Model (GGM) is aangepast en dat dit diepere grond model opnieuw met niet-lineaire analyse is doorberekend om de modelparameters te verkrijgen.

Ook voor Versie 4 geldt dat het ondergrondmodel is afgebakend tot het Groninger gasveld met een 5 km buffer eromheen. Omdat het projectgebied voor een deel buiten dit gebied ligt, moet er een extrapolatie worden gemaakt gedaan vanuit het gebied binnen de contour naar het gebied buiten de contour. Dit wordt beschreven in paragraaf 4.7.15

4.7.7 Keuze voor het gebruik van GMPE

Uiteindelijk is er in deze studie gekozen voor het hanteren van zowel Versie 0 GMPE en Versie 4 GMM voor het bepalen van de aardbevingbelasting als PGV. Gezien het feit dat alleen het GMPE model Versie 0 en Versie 4 op dit moment relaties geven voor PGV (in mm/s) en gezien het feit dat de toetsing aan SBR ook uitgaat van dezelfde eenheid, namelijk VTOP in mm/s, ligt het meest voor de hand om de aardbevingsbelasting met deze modellen te berekenen. Versie 4 is sterk verbeterd ten opzicht van Versie 0. Toch hanteren we in deze analyse nog beide modellen, omdat er tot nu toe veel gebruik is gemaakt van Versie 0. Door de aanvullende berekening met Versie 4 kan er een goede vergelijking worden gemaakt met de eerder gemaakte berekeningen op basis van Versie 0.

Met versie 0 kan ook de aardbevingsbelasting in de vorm van PGA worden berekend. In de data analyse (zie bijlage III) wordt PGA ook gebruikt als toetsing parameter. De berekende PGA waarde wordt in dit geval niet gebruikt als absolute waarde voor toetsing aan een schadegrens, maar als toetsing op mogelijk relatie met schadepatronen en aantal schades. Om de berekende PGA waarden met Versie 0 te vergelijken wordt de PGA ook berekend met Versie 1 en de Versie 1 PGA wordt vervolgens ook in de toetsing meegenomen. Versie 1 en 2 van de GMPE's voor het Groningen aardbevingsgebied hebben het nadeel dat ze geen relaties geven voor PGV, alleen voor PGA en S_a . Deze eenheden moeten daarom worden omgerekend naar PGV. Er zijn verschillende correlaties beschikbaar tussen S_a , PGA en PGV. Deze correlaties verschillen echter nog sterk van elkaar en het toepassen van deze correlaties zouden bovendien aanvullende onzekerheden introduceren in de modellen. Dit is de reden dat de Versies 1 en 2 uiteindelijk niet gebruikt zijn voor de toetsing aan de SBR.

4.7.8 Onzekerheden

In deze studie hanteren we de Versie 0, Versie 1 en Versie 4 GMPE's om aardbevingsbelasting in het buitengebied te berekenen die relatief ver van de belangrijkste epicentra zijn verwijderd. Dit brengt ook wel een extra onzekerheid met zich mee omdat een deel van de berekeningen geëxtrapoleerd zullen moeten worden. De analyse bevindt zich als het ware in de 'staart' van de GMPE's, waar er relatief weinig metingen gedaan zijn.

De invloed van de ondiepe ondergrond in Versie 0 wordt meegenomen in de vorm van een $V_{S,30}$ waarde. Ook hiervoor is voor het binnengebied (binnen de contour) een kaart gemaakt (zie Afbeelding). In Versie 1 wordt uitgegaan van een homogene grondopbouw met een $V_{S,30}$ van 200m/s . Net als voor het ondergrondmodel van Versie 4 is een ruwe $V_{S,30}$ kaart gemaakt voor deel van het projectgebied buiten de contour. Deze extrapolatie is beschreven in paragraaf 4.7.15. Een extra onzekerheid komt uit de fit gemaakt voor de aanpassing voor $M \leq 4.2$. Hierbij is uitgegaan van een $V_{S,30}$ van 200m/s. In Versie 1 wordt uitgegaan van een homogene grondopbouw met een $V_{S,30}$ van 200m/s .

Om de onzekerheden in de modellering te laten zien wordt er als controletoeets een vergelijking gemaakt met de metingen die in woonhuizen via het TNO sensor netwerk zijn gemaakt (zie paragraaf 4.7.16). Hierbij geldt overigens ook dat het TNO sensor netwerk weinig metingen geeft in de 'staart' van de GMPE's. Als aanvulling op de metingen van het TNO sensor netwerk worden in deze studie metingen van het KNMI gebruikt. KNMI metingen worden meestal uitgevoerd in boorgaten en afgeschermd locaties, ver van bewoning en verkeer. Deze metingen zijn daarom minder gevoelig voor verstoringen of afwijkingen. De kans is daarmee groter dat er betrouwbaarder metingen op grotere afstanden zijn gedaan. De KNMI metingen zijn overigens gebruikt als basis voor het opstellen van de GMPE's.

4.7.9 Definitie van de gehanteerde Versie 0 GMPE

De geselecteerde GMPE's van Versie 0 zijn empirische relaties gebaseerd op ondiepe aardbevingen uit Zuid-Europa en Turkije [2, 4] . Deze relaties zijn vervolgens aangepast op basis van gemeten PGA's en PGV's uit het Groningen aardbevingsgebied voor 8 geïnduceerde aardbevingen. Het model bevat een correctiefactor ($V_{S,30}$) voor een ondiepe laag met geringe snelheid, die in de regio aanwezig is [2, 4].

De algemene vergelijking voor seismische grondbelasting luidt volgens het ASB model als volgt [1].

$$\ln(PGV) = \ln(PGV_{REF}) + \ln(S) + \varepsilon\sigma$$

Vergelijking 1. Algemene vergelijking voor seismische grondbelasting [1].

Waarin:

- PGV = geometrische gemiddelde van de piekgrondsnelheid (voor bepaalde $V_{S,30}$) in cm/s;
- PGV_{REF} = geometrische gemiddelde van piekgrondsnelheid (voor $V_{REF} = 750$ m/s) in cm/s;
- σ = standaardafwijking. Voor ASB Modified is deze 0,71;
- ε = aantal malen +/- de standaardafwijking om verschillende betrouwbaarheidsintervallen vast te stellen.

In de term $\ln(S)$ zit de correctie voor het type ondergrond, versimpelt tot $V_{S,30}$, de gemiddelde schuifgolfsnelheid (Engels: shear wave velocity) in de bovenste 30 m. Voor de bepaling van de $V_{S,30}$ wordt verwezen naar Sectie 4.7.15. De term $\ln(S)$ wordt ook wel de niet-lineaire grond amplificatie functie genoemd (*nonlinear site amplification function*) en is als volgt gedefinieerd [1]:

$$\ln(S) = -0.72057 \ln\left(\frac{V_{S,30}}{V_{REF}}\right) - 0.19688 \ln\left(\frac{PGA_{REF} + 2.5 \left(\frac{V_{S,30}}{V_{REF}}\right)^{3.2}}{(PGA_{REF} + 2.5) \left(\frac{V_{S,30}}{V_{REF}}\right)^{3.2}}\right)$$

Vergelijking 2. Niet-lineaire grond amplificatie functie [1].

Waarin:

- V_{REF} = referentiewaarde voor de gemiddelde schuifgolfsnelheid in de bovenste 30 m: 750 m/s;
- $V_{S,30}$ = de gemiddelde schuifgolfsnelheid in de bovenste 30 m (zie ook Sectie 4.7.15);
- PGA_{REF} = geometrisch gemiddelde van de piekgrondversnelling (voor $V_{S,30 REF} = 750$ m/s) in g. Deze waarde wordt bepaald volgens vergelijking 4.

De Versie 0 GMPE's (ofwel het ASB modified model) voor PGV_{REF} en PGA_{REF} voor moment magnitudes van respectievelijk $M_W \leq 3,8$ en $M_W \leq 4,2$ (deze worden ook wel de 'functional forms' genoemd) zijn als volgt gedefinieerd [1]:

$$\ln(PGV_{REF}) = 1.136255 + 1.4529M_W - 0.11474(8.5 - M_W)^2 + [0.480586M_W - 3.749226]\ln\left(\sqrt{R^2 + (3.043M_W - 4.065)^2}\right)$$

Vergelijking 3. Functional form van de PGV_{REF} [1].

$$\ln(PGA_{REF}) = -3.161825 + 1.5029M_W - 0.04846(8.5 - M_W)^2 + [0.55634M_W - 4.460575]\ln\left(\sqrt{R^2 + (2.593M_W - 3.389)^2}\right)$$

Vergelijking 4. Functional form van de PGA_{REF} [1].

Waarin:

- PGV_{REF} = geometrisch gemiddelde van de piekgrondsnelheid voor gesteente (voor $V_{S,30 REF} = 750$ m/s) in cm/s;
- PGA_{REF} = geometrisch gemiddelde van de piekgrondversnelling voor gesteente (voor $V_{S,30 REF} = 750$ m/s) in g;
- M_W = Moment Magnitude. Voor Versie 0 wordt aangenomen dat Moment Magnitude gelijk is aan Local Magnitude (M_L). In de aardbevingcatalogus van het KNMI wordt altijd M_L gerapporteerd;
- R = afstand to hypocentrum in kilometers: $R^2 = (\text{diepte aardbeving})^2 + (\text{afstand to epicentrum})^2$.

De werkelijke afstand (R) die de aardbevingsgolf aflegt is niet vanuit het epicentrum, maar vanuit het hypocentrum. Het epicentrum is de geprojecteerde locatie van de aardbeving op het oppervlak. Het hypocentrum is de werkelijke locatie van de aardbeving in de ondergrond. Hierbij is ook dus ook de diepte van de aardbeving van belang. Vrijwel alle geïnduceerde aardbevingen in Groningen zijn op 3 km diepte, de gemiddelde diepte van de gasreservoirs.

De functional forms geven de PGV en PGA, respectievelijk in cm/s en g ($9,81 \text{ m/s}^2$). Voor deze analyse wordt de PGV uitkomst omgerekend naar mm/s omdat de SBR toetswaarden ook in mm/s zijn. De PGA uitkomst wordt in Groningen meestal om praktische redenen van g omgerekend naar cm/s^2 om hanteerbaarder (grotere) waarden te krijgen.

De berekende PGV's zijn gebaseerd op het geometrisch gemiddelde van de metingen. Het geometrisch gemiddelde is meestal kleiner dan de VTOP-waarde waaraan volgens de SBR richtlijn deel A dient te worden getoetst. Dit wordt hieronder verder beschreven..

De relaties die hier zijn beschreven zijn empirische relaties. Deze relaties zijn aangepast voor Groningen met metingen die door het KNMI in het aardbevingsgebied zijn uitgevoerd. De metingen zijn niet gebruikt om de vorm (de *functional form*) van de vergelijking aan te passen, slechts om de curve beter te laten 'fitten' met de meetdata. De fit is uitgevoerd met een aanname $V_{S,30} = 200$ m/s.

Deze empirische relaties passen zo goed mogelijk op de metingen, maar er blijft altijd een bepaalde onzekerheid over in deze vaststelling. Deze onzekerheid wordt uitgedrukt in de standaardafwijking of standaarddeviatie (σ). Voor de ASB modified GMPE is σ voor PGV gelijk aan 0,71 [1].

De GMPE levert de mediaan waarde, ofwel het 50-percentielpunt. Hierbij liggen 50 % van de metingen boven deze waarde en 50 % van de metingen onder deze waarde. Eenmaal de standaardafwijking of standaarddeviatie (σ) boven de Mediaan waarde wordt het 84-percentielpunt genoemd, dus 16 % van de metingen vallen naar verwachting boven deze waarde.

Tweemaal de standaardafwijking of standaarddeviatie (σ) boven de Mediaan waarde wordt het 95-percentieelpunt genoemd, dus 5 % van de metingen vallen in dit geval boven deze waarde.

4.7.10 Definitie van de gehanteerde Versie 1 GMPE

De observaties die zijn beschreven in paragraaf 4.7.4 hebben geleid tot het opstellen van een herziene algemene vergelijking (functional form) voor de GMPE voor het Groningen aardbevingsgebied. Deze algemene vergelijking beschrijft de hoge amplitudes bij het epicentrum en sterke afname op korte afstand beter dan de Versie 0 GMPE. De algemene vergelijking voor de seismische grondbelasting luidt volgens [6] als volgt (zie Vergelijking 5):

$$\ln(Y) = c_1 + c_2 M + c_4 \ln \sqrt{R_{epi}^2 + [\exp(c_5 M + c_6)]^2}$$

Vergelijking 5. Functional form voor de Groningen data [6]

Waarin:

- Y = PGA (piekgrondversnelling) of S_a (spectrale versnelling), afhankelijk van de gehanteerde parameters c_1 tot en met c_6 (zie Tabel)
- M = Magnitude. Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen Local Magnitude en Moment Magnitude.
- R_{epi} = afstand tot het epicentrum (in kilometers)
- $c_1 - c_6$: coëfficiënten (zie Tabel)

Op basis van regressieanalyse met metingen zijn de coëfficiënten c_1 tot en met c_6 vervolgens bepaald (zie Tabel 4.11). Hier wordt verder niet op ingegaan, dit is in detail beschreven in [6] en [7]. Naast deze coëfficiënten is de standaardafwijking (σ) van belang. Deze geeft de mate van onzekerheid van de regressie analyse weer. De totale standaardafwijking bestaat uit twee componenten: de inter- en intra-event onzekerheid, respectievelijk. De intra-event onzekerheid (ϕ) geeft de afwijkingen weer tussen alle metingen van één specifiek aardbevingsgebeurtenis. De inter-event (τ) onzekerheid geeft de afwijkingen weer tussen de verschillende aardbevingsgebeurtenissen. In de deterministische berekening die in deze studie gemaakt wordt is alleen de samengestelde standaardafwijking (σ) van belang.

De basis voor de regressie is een dataset van 12 aardbevingen uit het Groningen aardbevingsgebied variërend in Magnitude van 2.6 tot 3.6.

Tabel 4.11 Coëfficiënten and standaard deviaties voor Vergelijking 5 die met regressie zijn verkregen [130].

	PGA	Sa(0.2s)	Sa(0.5s)	Sa(1.0s)	Sa(2.0s)
c_1	-2.8209	-3.5853	-6.2052	-7.9647	-8.8322
c_2	2.4215	2.6958	3.0228	3.0875	2.9086
c_4	-1.6621	-1.3405	-0.9669	-1.0105	-1.0770
c_5	0.4233	0.4233	0.4233	0.4233	0.4233
c_6	-0.6083	-0.6083	-0.6083	-0.6083	-0.6083
τ	0.2039	0.2514	0.2467	0.3612	0.3359
ϕ	0.4831	0.4404	0.5208	0.4121	0.4170
σ	0.5243	0.5071	0.5762	0.5479	0.5355

4.7.11 Definitie van de gehanteerde Versie 4 GMPE

Het Versie 4 GMPE model wordt ook wel het *Groningen Ground Motion Model* (GGMM) genoemd. Dit model bestaat uit twee hoofdonderdelen:

- 1 een GMPE die de mediane grondbeweging op de NS_B referentie gesteente horizon geeft, dit is de onderkant van de Beneden Noordzee Formatie. Deze GMPE is volledig gebaseerd op aardbevingen uit Groningen en is een functie van magnitude en afstand tot het hypocentrum;
- 2 een model die de locatiespecifieke amplificatiefactoren (AF) tot op het maaiveld levert door middel van een zonering van het binnengebied (het Groningen veld, inclusief een 5 km buffer). De amplificatiefactoren zijn bepaald door responsieanalyse rekening houdend met niet-lineaire grondgedrag en bevatten tevens een magnitude- en afstandafhankelijkheid.

Hieronder wordt kort omschreven wat de hoofdonderdelen zijn waarmee de Versie 4 GMPE, ofwel het GGMM, is opgebouwd. Omdat de Versie 4 GMPE nog niet is gepubliceerd, kunnen hiervan op dit moment nog geen details worden gegeven.

Beschrijving van de GMPE voor de mediane bodembeweging

De GMPE is alleen een functie van Magnitude (M) en afstand (R). Magnitude is in dit geval de Lokale Magnitude (M_L) die ook in de aardbevingscatalogus van de KNMI staat. De afstand (in kilometer) is de afstand tot de locatie van het hypocentrum. R is een functie van de afstand tot het epicentrum en de diepte van de aardbeving. De gemiddelde diepte van de aardbevingen in Groningen is 3 km.

De GMPE bestaat ook weer uit twee componenten, een bron component (g_{source}) en een pad component (g_{path}). De bron component is alleen afhankelijk van Magnitude en de pad component is afhankelijk van zowel Magnitude als afstand (R), zie Vergelijking 6.

$$\ln(PGV_{NS_B}) = g_{source}(M) + g_{path}(R, M)$$

Vergelijking 6. GMPE voor berekenen van PGV waarden op de referentie horizon (onderkant NS_B)

De vergelijkingen voor bron- en pad componenten zijn hieronder gegeven. Er zijn vier verschillende versies voor deze vergelijkingen. De verschillende takken van de GMPE componenten zijn gebaseerd op de onzekerheid in de drukval. De drukval is een belangrijke aandrijvende factor voor de geïnduceerde aardbeving activiteit. Voor de probabilistische benadering wordt er daarom uitgegaan van een aantal mogelijkheden. Dit zijn de mogelijke modellen met verschillende drukval:

- Low model (code L);
- Central-lower (code Ca);
- Central-upper (code Cb);
- Upper (code U).

Het Upper model geeft de grootste aardbevingsbelasting. Omdat we van een worst-case scenario uitgaan en deterministisch rekenen, zijn de parameters van het Upper model gebruikt.

Bepaling van de niet-lineaire grond amplificatie factoren

Voor het bepalen van de grond amplificatie factoren (AF) wordt gebruik gemaakt van locatieafhankelijke parameters. De locatieafhankelijke parameters die de uiteindelijke waarde van de AF bepalen worden verkregen uit de referentielijst van parameters die is onderverdeeld in zones. In het binnengebied zijn dit 160 zones. Deze zones zijn naar het deel van het projectgebied geëxtrapoleerd die buiten de zonering vallen (zie paragraaf 4.7.15).

Beschrijving van de GGMM voor de mediane bodembeweging aan het maaiveld

Om de uiteindelijke mediane PGV aan maaiveld te bepalen dienen de afzonderlijke hoofdonderdelen die hiervoor zijn gedefinieerd te worden gecombineerd. Het gaat om de GMPE die de mediane grondbeweging op de referentie horizon geeft (Vergelijking 6) en het model dat de locatiespecifieke amplificatiefactoren geeft.

Daarnaast dienen ook nog de variabiliteit componenten bepaald te worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen:

- geometrisch gemiddelde (geometric mean) component - te gebruiken voor hazard (gevaaren) zonering;
- willekeurige (arbitrary) component - te gebruiken voor risico analyse.

Het enige verschil tussen de *geometric mean component* en de *arbitrary component* is de extra variabiliteit σ_{C2C} . Deze variabiliteit component is echter voor PGV niet gegeven, wat betekent dat er voor de bepaling van PGV geen onderscheid is tussen de *geometric mean* en *arbitrary* vergelijkingen. Voor de volledigheid wordt hieronder het willekeurige (arbitrary) vergelijking gegeven (zie Vergelijking 7).

$$\ln(PGV) = \ln(PGV_{NS,B}) + \ln(AF_j) + \varepsilon (\tau + \varphi_{SS} + \sigma_{C2C} + \varphi_{S2Sj})$$

Vergelijking 7. Vergelijking voor het berekenen van de mediane PGV aan maaiveld, inclusief de variabiliteit voor het bepalen van de standaardafwijkingen

Waarin:

- ε = aantal keren maal de standaardafwijking (1, 2, etc.)
- τ = variabiliteit tussen de verschillende aardbevingsoptreden (between-event of inter-event variability)
- φ_{SS} = variabiliteit binnen een aardbevingsoptreden (within-event of intra-event variability)
- σ_{C2C} = Dit is de component-tot-component variabiliteit .
- φ_{S2Sj} = Dit is de locatieafhankelijke (site-to-site) variabiliteit van de amplificatiefactor (AF). De j staat voor de zone waar dit voor geldt.

4.7.12 Correctie voor het geometrisch gemiddelde

De GMPE die wordt gebruikt in de berekening van de piekgrondsnelheden (PGV) en piekgrondversnellingen (PGA) is geldig voor de empirisch bepaalde *geometric mean* (geometrisch gemiddelde) waarden van de gemeten PGV's in het horizontale vlak (xy-richting). Voor toetsing aan de SBR richtlijn wordt er echter uitgegaan van de hoogste waarde in elke mogelijke richting (VTOP). De VTOP-waarde is in vrijwel alle gevallen groter dan de met de GMPE berekende PGV. De verhouding tussen de hoogste waarde in het horizontale vlak en het geometrisch gemiddelde voor tektonische bevingen is op basis van literatuur bekend [15].

De piekgrondsnelheden worden door trillingmeetinstrumenten (accelerometers en geofoons) meestal in drie richtingen gemeten: in x-, y- en z-richting, waarbij de x- en y-richting de horizontale componenten zijn en de z-richting de verticale component is. De relatie tussen de PGV_{geomean} en PGA_{geomean} en de horizontale componenten is gegeven in Vergelijking 8.

$$PGV_{\text{Geomean}} = \sqrt{PGV_x \times PGV_y}$$

Vergelijking 8. Relatie tussen de horizontale componenten van de PGV en het geometrisch gemiddelde hiervan.

De hoogste waarde in de x- of y-richting (de PGV_x of PGV_y uit Vergelijking 8) voor de meting in het horizontale vlak is de VTOP-waarde. Met de VTOP-waarde kan vervolgens direct aan de SBR deel A kan worden getoetst. Om de VTOP-waarde te kunnen afleiden moet de verhouding bekend zijn tussen VTOP/PGV. Deze verhoudingen zijn in [15] op basis van een grote aardbevingsdataset bepaald. In dit rapport wordt deze verhouding de $VTOP_{\text{factor}}$ genoemd. In Vergelijking 9 is dit weergegeven.

$$VTOP = PGV_{\text{Geomean}} \times VTOP_{\text{factor}}$$

Vergelijking 9. Relatie tussen de PGV_{geomean} en de VTOP-waarde waarmee aan de SBR kan worden getoetst, volgens [15] is de $VTOP_{\text{factor}}$ 1,15.

In de bepaling van deze verhouding zit ook nog een variabiliteit (onzekerheid). Deze variabiliteit werkt door in de bepaling van de standaardafwijking van de gehanteerde GMPE. Volgens [15] bestaat de variabiliteit in de bepaling van de verhouding tussen VTOP/PGV_{geomean} uit de volgende componenten:

- R: Ratio van de Sigma waarden. Op basis van een aantal GMPE's zijn verhoudingen afgeleid tussen de Sigma waarden van deze GMPE's voor PGV geomean en de Sigma waarden van de equivalente GMPE voor VTOP. Deze verhouding is een vrij lage waarde en heeft voor deze analyse weinig impact, maar is wel belangrijk in de totale foutpropagatie bij probabilistische analyses;
- S: standaardafwijking van de Log Ratios. Dit is de σ (standaard afwijking) die bepaald is op basis van een log-normaal verdeling van de ratios tussen VTOP/PGV_{geomean}.

Uiteindelijk kan de standaardafwijking van de aangepaste VTOP-berekening die doorwerkt in de standaardafwijking van de oorspronkelijke GMPE worden bepaald volgens:

$$\sigma_{VTOP (Versie n)} = \sqrt{\sigma_{PGV (Versie n)}^2 \times R^2 + S^2}$$

Vergelijking 10. Berekening van de standaardafwijking van de uiteindelijke VTOP of ATOP bepaling (volgens: [15])

Waarbij:

- $\sigma_{PGV (versie 0)} = 0,71$
- $\sigma_{PGV (versie 4)} = \tau + \varphi_{SS} + \varphi_{S2Sj} = 0,27 + 0,51 + \varphi_{S2Sj}$ (zie ook Vergelijking 7)
- $n = 1$ of 4
- $R = 1,03$ (VTOP/PGV), volgens [15];
- $S = 0,06$ (VTOP/PGV), volgens [15].

De algemene vergelijking voor de VTOP-waarde luidt daarmee (volgens Vergelijking 1 en Vergelijking 9) als volgt:

$$VTOP = VTOP_{factor} \times e^{(\ln(PGV_{REF}) + \ln(S) + \varepsilon \sigma_{VTOP \text{ Versie } 0})}$$

Vergelijking 11. Algemene vergelijking voor het afleiden van VTOP op basis van GMPE Versie 0

$$VTOP = VTOP_{factor} \times e^{(\ln(PGV_{NS,B}) + \ln(AF) + \varepsilon \sigma_{VTOP \text{ Versie } 4})}$$

Vergelijking 12. Algemene vergelijking voor het afleiden van VTOP op basis van GMPE/GMM Versie 4

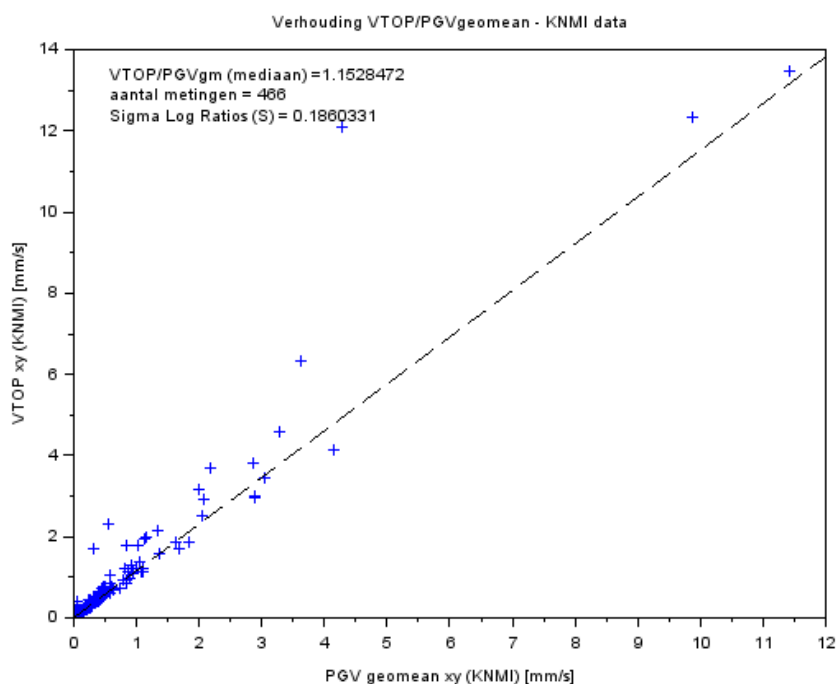
Hierbij is ε het aantal keer de standaarddeviatie. Bijvoorbeeld $\varepsilon = 0$ geeft de mediane waarde en $\varepsilon = +1$ geeft de 'mediane waarde + 1 maal de standaarddeviatie' ofwel het 84-percentiel interval.

Op basis van metingen van het KNMI en TNO netwerk (zie paragraaf 4.7.16) zijn deze verhoudingsgetallen tussen VTOP en PGV_{geomean} gecontroleerd. Op basis van deze meetgegevens wijken de verhoudingsgetallen af van de in [15] bepaalde waarden. In afbeelding 4.80 en afbeelding 4.81 zijn de meetgegevens van de VTOP en PGV (geomean) waarden ten opzichte van elkaar geplot. De mediane verhouding tussen beide waarden zijn afgerond 1,15 (voor KNMI data) en 1,19 (voor TNO data). Dit is vrijwel gelijk aan en iets hoger dan de literatuurwaarde van 1,15 [15].

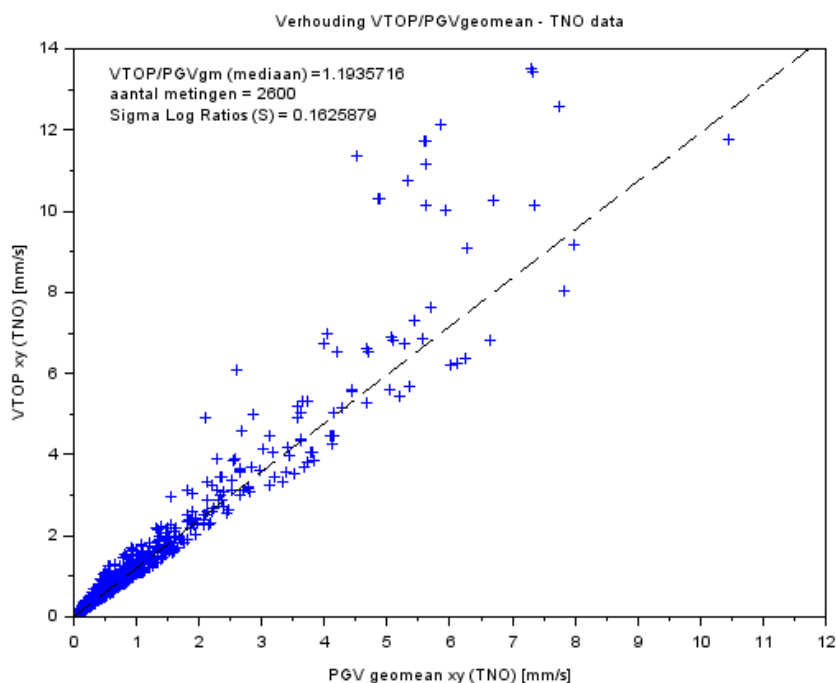
Voor een conservatieve benadering is hier daarom uitgegaan van de (hogere) gemeten verhoudingen 1,19 op basis van de TNO data in plaats van de verhouding op basis van de KNMI data en de in [15] gehanteerde verhouding. Samengevat worden er in deze studie de volgende factoren gebruikt:

De standaardafwijking van de log ratios (S, zie Vergelijking 11) wijken sterk (naar boven) af van de in [15] gehanteerde verhouding (zie afbeelding 4.80 en afbeelding 4.81). Deze waarden zijn respectievelijk 0,19; op basis van de KNMI meetdata en 0,16 op basis van de TNO meetdata (in plaats van 0,06 volgens [15]). Ook hier is de hoogste waarde (0,19) gehanteerd als conservatieve aanname.

Afbeelding 4.80 Plot van de verhouding tussen VTOP en PGVgeomean op basis van KNMI meetdata aan maaiveld. De gestippelde lijn geeft de mediane verhouding weer



Afbeelding 4.81 Plot van de verhouding tussen VTOP en PGVgeomean op basis van TNO meetdata. De gestippelde lijn geeft de mediane verhouding weer



Voorbeeld Versie 0 en Versie 4 GMPE curves voor PGV en VTOP

Op basis van de hiervoor gespecificeerde GMPE's voor Versie 0 en Versie 4 kunnen curves worden berekend voor PGV en VTOP voor elke magnitude als functie van de afstand tot het epicentrum en ondergrondkarakteristiek. Ter illustratie zijn een aantal curves gegeven voor VTOP op basis van Versie 0 in afbeelding 4.83 tot afbeelding 4.87 en voor Versie 4 in afbeelding 4.87 tot afbeelding 4.91. Voor de berekening van de curves op basis van Versie 0 is uitgegaan van een (lage waarde voor) $V_{S,30}$ van 160 m/s (zie ook afbeelding 4.82). Voor de berekening van de curves op basis van Versie 4 is uitgegaan van een zone die naar verwachting de grootste grondamplificatie geeft. De gestippelde lijnen geven de mate van onzekerheid weer in de vorm van een 84 % betrouwbaarheidsinterval (plus of min 1 keer de standaarddeviatie) rondom de mediane verwachtingswaarde.

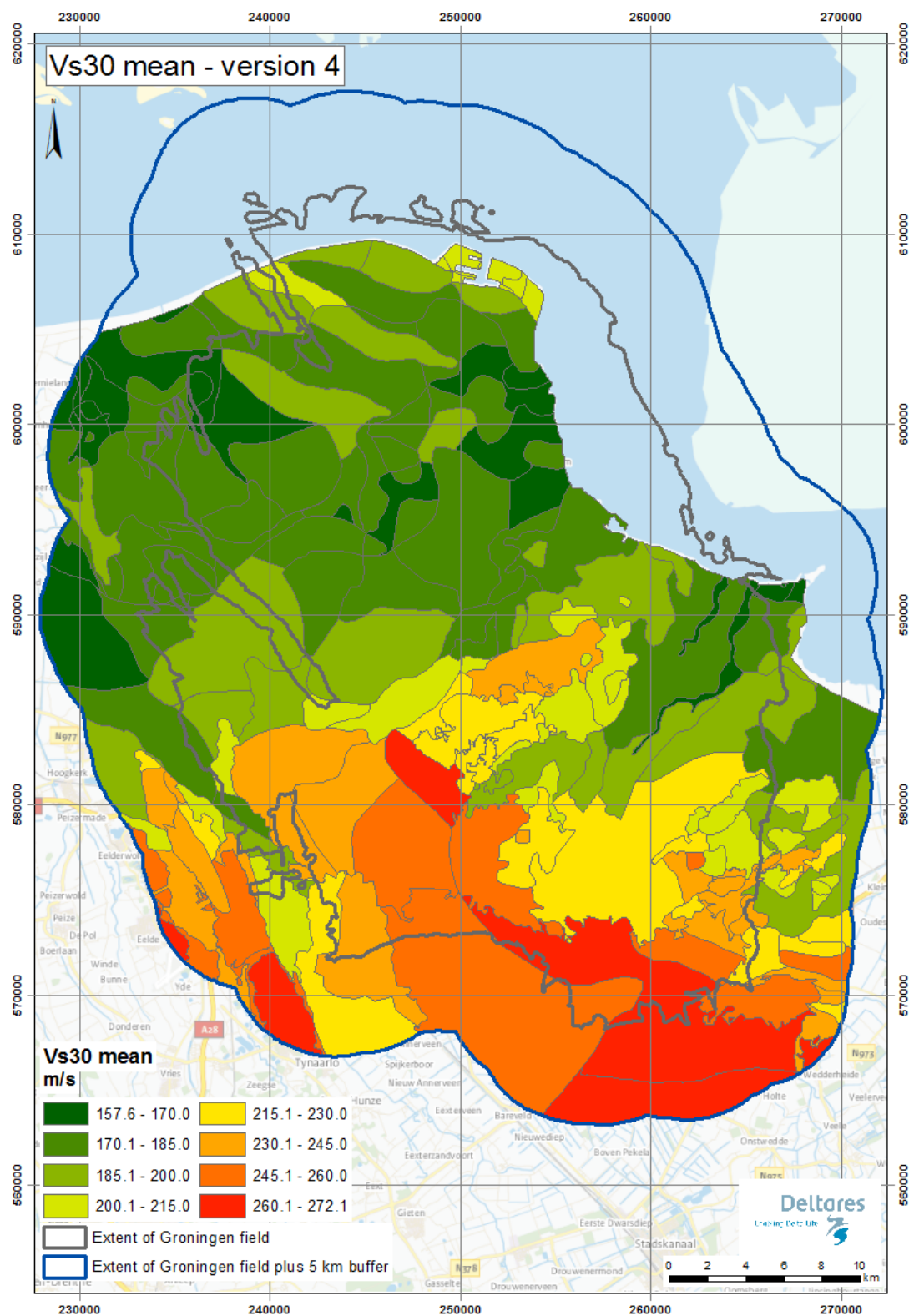
In de curves voor de VTOP op basis van Versie 4 GMPE zijn ook de curves van VTOP op basis van Versie 0 weergegeven. Dit laat zien dat de vorm van de curves het sterkst afwijken in het gebied vlakbij het epicentrum. Versie 4 laat net als Versie 1 en Versie 2 een zeer sterke afname zien vlakbij het epicentrum, terwijl Versie 0 vlakbij het epicentrum minder hoge waarde geeft, maar ook minder sterk afneemt. De curves die hier zijn getoond kunnen voor andere grondcondities naar boven of onderen afwijken, afhankelijk van de magnitude. De magnitudes in deze voorbeelden zijn zo gekozen dat deze een goede representatie vormen van de voorgekomen geïnduceerde aardbevingen in het Groninger aardbevingsgebied.

Er dient tenslotte nog te worden opgemerkt dat zowel de horizontale schaal (afstand tot epicentrum) en de verticale schaal (VTOP of PGV in mm/s) per grafiek kan verschillen. Dit heeft als doel om zoveel mogelijk detail per grafiek te kunnen weergeven. Bij het vergelijken van de verschillende grafieken moet daarom wel goed naar de schaal gekeken worden.

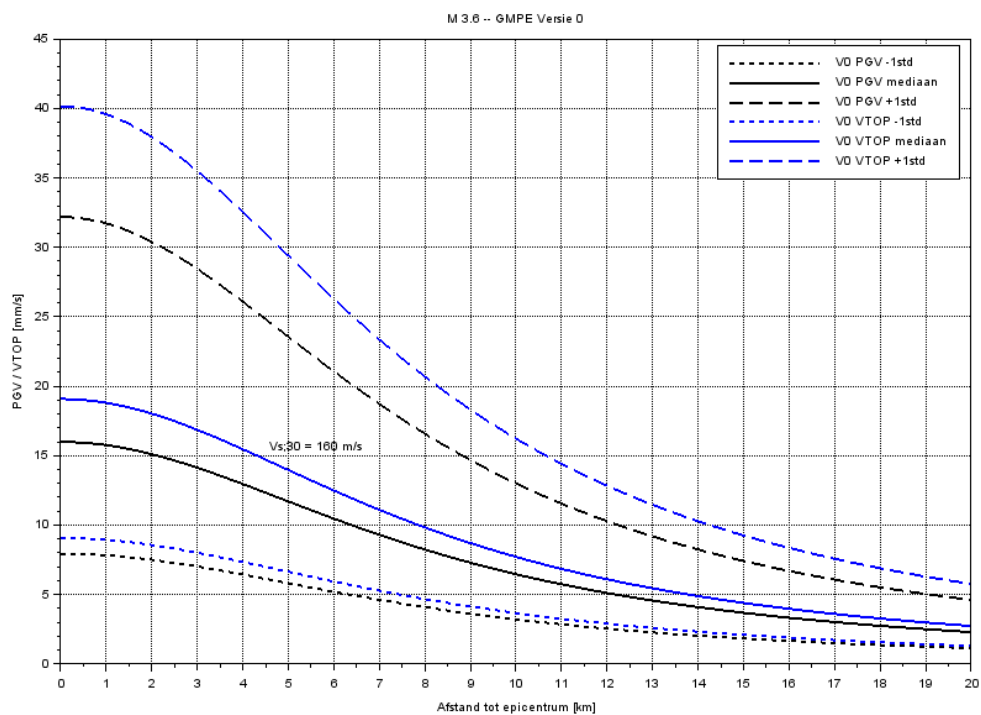
Voorbeeld Versie 0 en Versie 1 GMPE curves voor PGA

Op basis van de hiervoor gespecificeerde GMPE's voor Versie 0 en Versie 1 kunnen ook curves worden berekend voor PGA voor elke magnitude als functie van de afstand tot het epicentrum en ondergrondkarakteristiek. Ter illustratie zijn een aantal curves gegeven voor PGA op basis van Versie 0 en Versie 1 in afbeelding 4.91 tot afbeelding 4.95. Voor de berekening van de curves op basis van Versie 0 en Versie 1 is uitgegaan van een $V_{S,30}$ van 200 m/s. De afbeeldingen 4.91 tot 4.95. laten zien dat de vorm van de curves het sterkst afwijken in het gebied vlakbij het epicentrum. Versie 1 een zeer sterke afname zien vlakbij het epicentrum, terwijl Versie 0 vlakbij het epicentrum minder hoge waarde geeft, maar ook minder sterk afneemt.

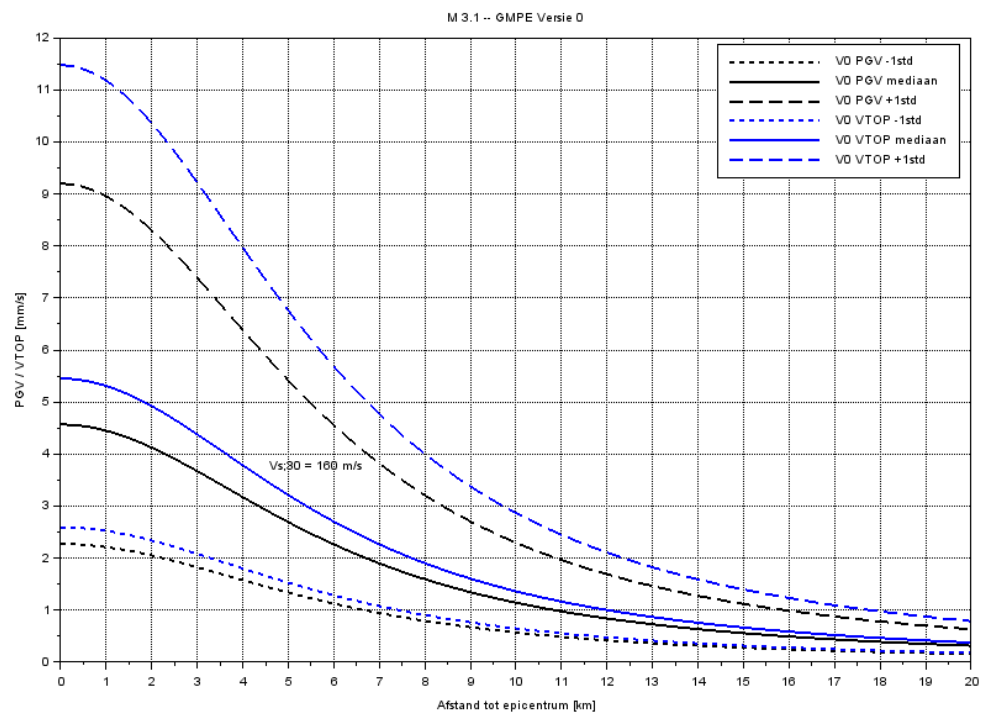
Afbeelding 4.82 Kaart van de gemiddelde Vs,30 waarde [22], opgesteld volgens de methode beschreven in [17]



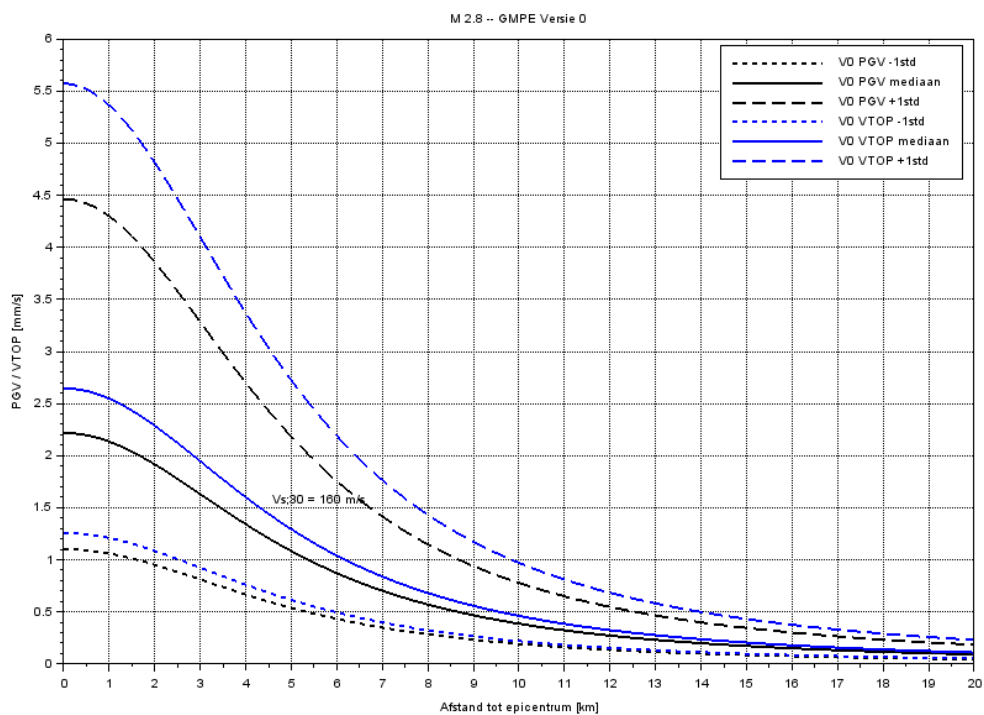
Afbeelding 4.83 Grafiek met PGV en VTOP op basis van GMPE Versie 0 voor Magnitude 3,6. De $V_{s,30}$ is 160 m/s



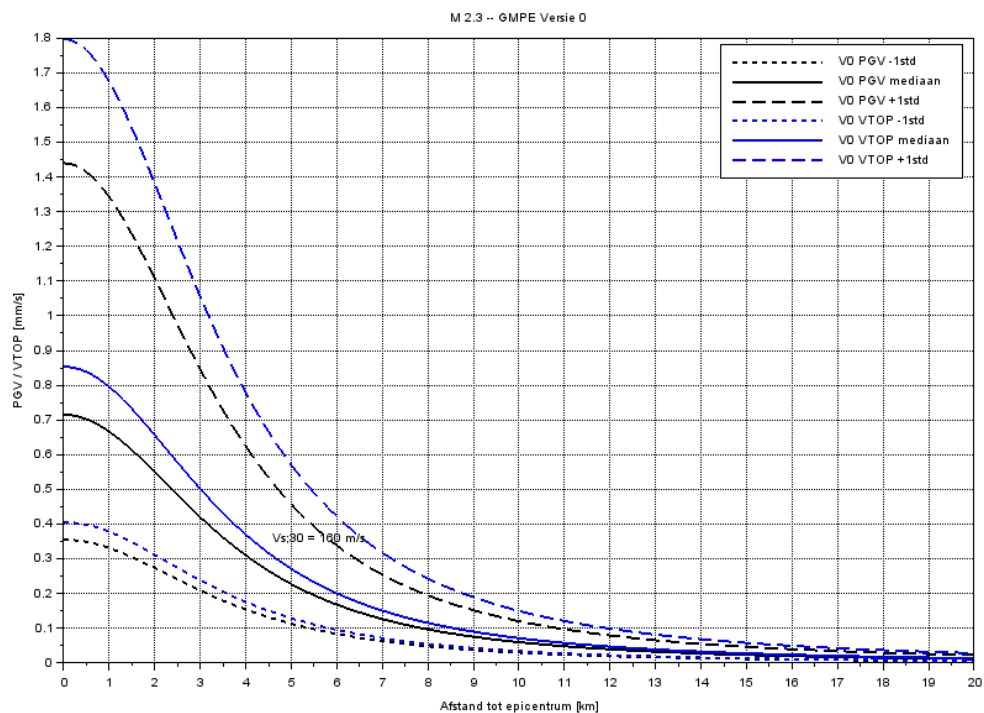
Afbeelding 4.84 Grafiek met PGV en VTOP op basis van GMPE Versie 0 voor Magnitude 3,1. De $V_{s,30}$ is 160 m/s



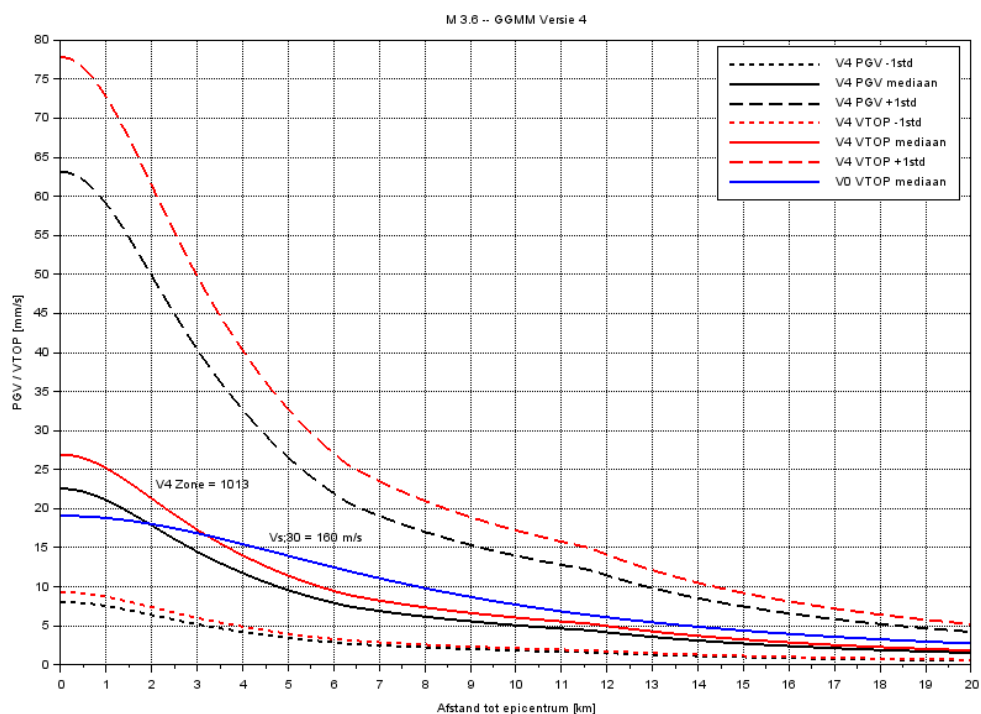
Afbeelding 4.85 Grafiek met PGV en VTOP op basis van GMPE Versie 0 voor Magnitude 2,8. De $V_{s,30}$ is 160 m/s



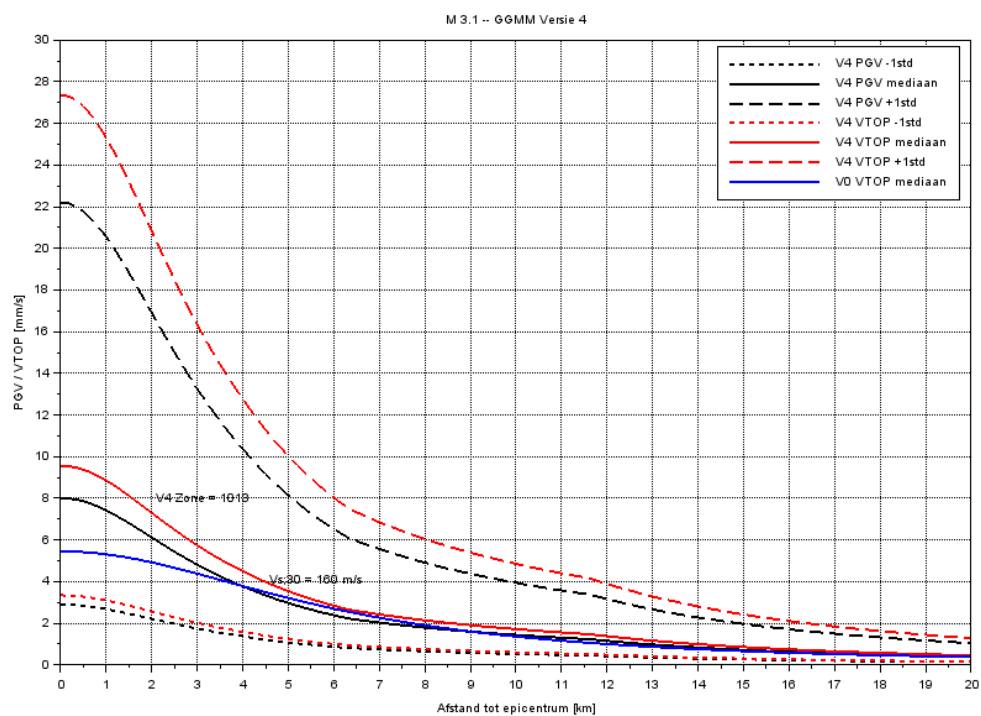
Afbeelding 4.86 Grafiek met PGV en VTOP op basis van GMPE Versie 0 voor Magnitude 2,3. De $V_{s,30}$ is 160 m/s



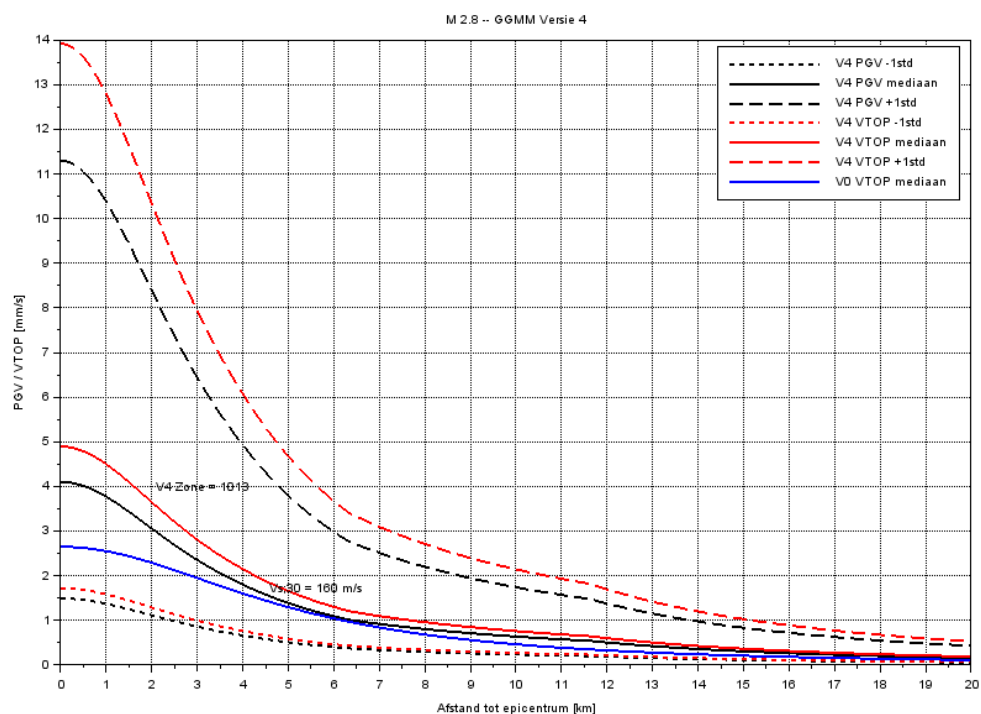
Afbeelding 4.87 Grafiek met de PGV en VTOP op basis van GGMM Versie 4 voor Magnitude 3,6. Ter vergelijking is ook de Versie 0 curve weergegeven



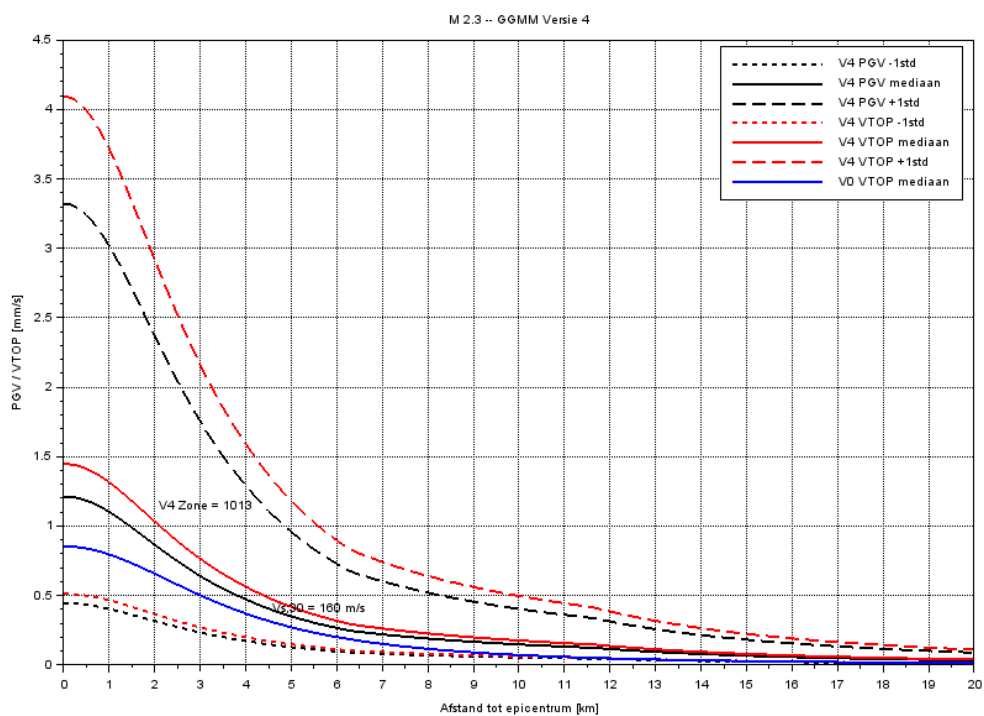
Afbeelding 4.88 Grafiek met de PGV en VTOP op basis van GGMM Versie 4 voor Magnitude 3,1. Ter vergelijking is ook de Versie 0 curve weergegeven



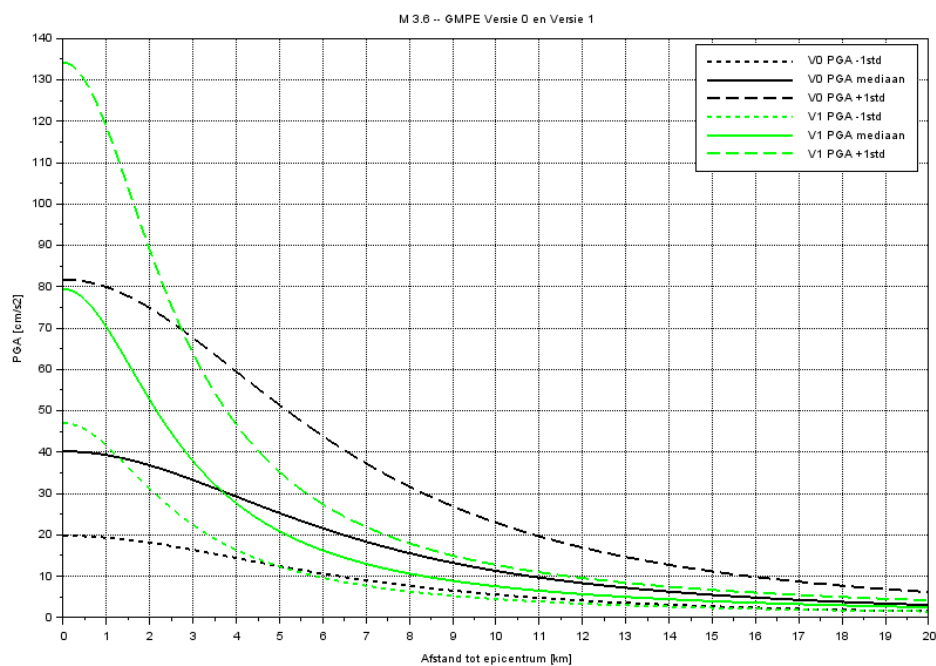
Afbeelding 4.89 Grafiek met de PGV en VTOP op basis van GGMM Versie 4 voor Magnitude 2,8. Ter vergelijking is ook de Versie 0 curve weergegeven



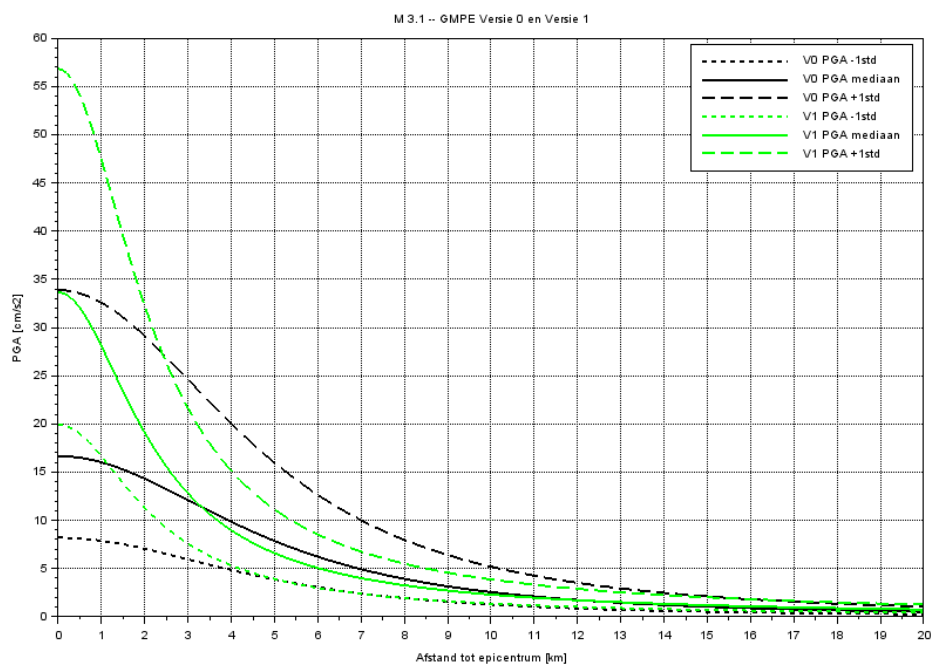
Afbeelding 4.90 Grafiek met de PGV en VTOP op basis van GGMM Versie 4 voor Magnitude 2,3. Ter vergelijking is ook de Versie 0 curve weergegeven



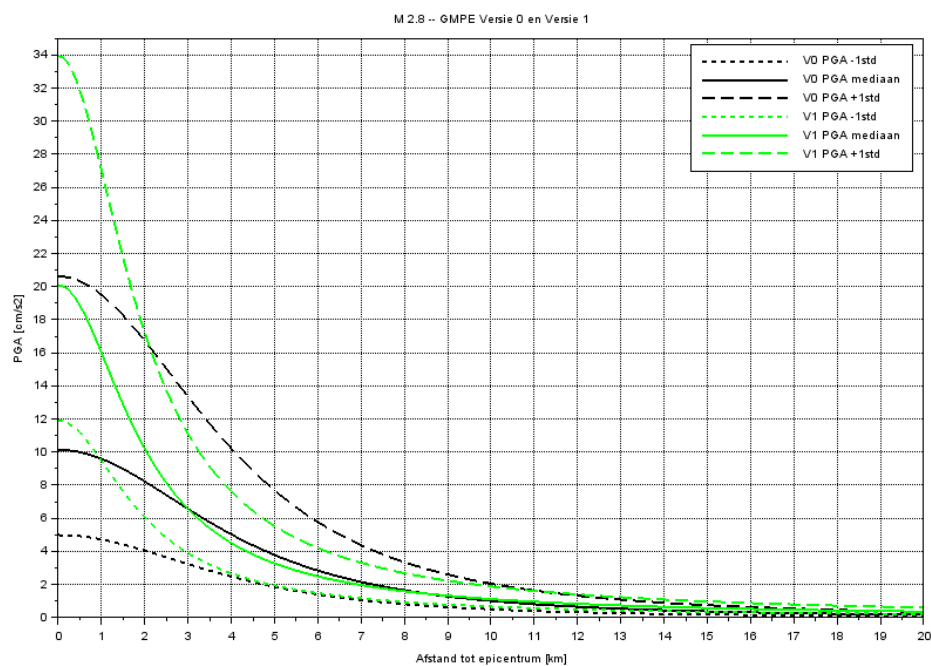
Afbeelding 4.91 Grafiek met PGA op basis van GMPE Versie 0 en Versie 1 voor Magnitude 3,6. De $V_{S,30}$ is 200 m/s



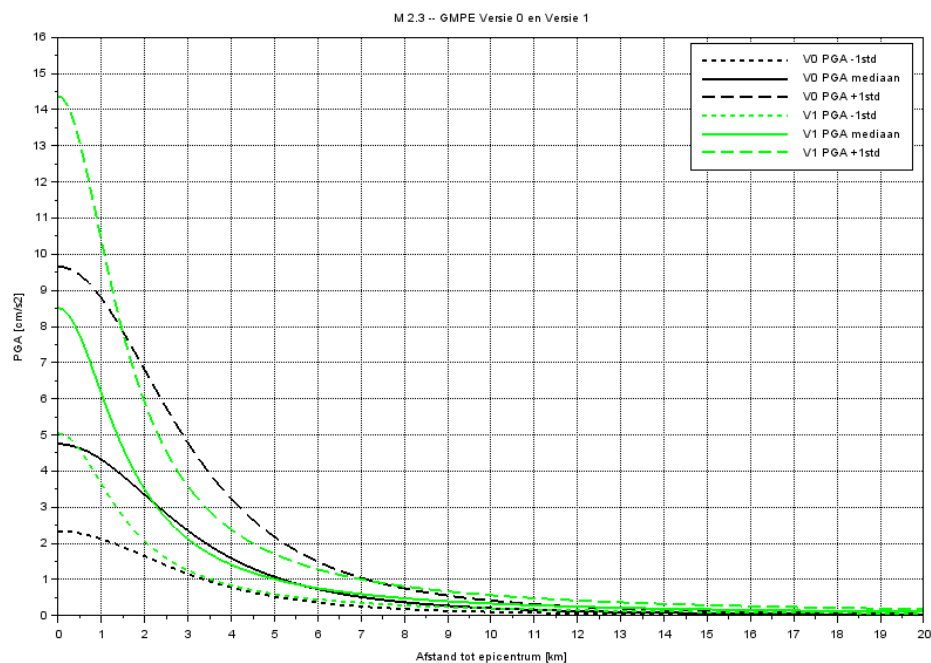
Afbeelding 4.92 Grafiek met PGA op basis van GMPE Versie 0 en Versie 1 voor Magnitude 3,1. De $V_{S,30}$ is 200 m/s



Afbeelding 4.93 Grafiek met PGA op basis van GMPE Versie 0 en Versie 1 voor Magnitude 2,8. De $V_{S,30}$ is 200 m/



Afbeelding 4.94 Grafiek met PGA op basis van GMPE Versie 0 en Versie 1 voor Magnitude 2,3 De $V_{S,30}$ is 200 m/



4.7.13 Invoergegevens

Voor de berekening van de aardbevingsbelasting voor elke locatie van de woning waar een schademelding is gedaan zijn de volgende gegevens nodig:

- locatie en Magnitude (M_L) van de reeds opgetreden aardbeving: deze informatie wordt gehaald uit de aardbevingscatalogus van het KNMI. Alleen aardbevingen met magnitudes (M_L) groter dan 2,2 worden gebruikt in de analyse, omdat de GMPE relaties zijn gebaseerd op metingen van aardbevingen met M_w waarden groter dan 2,0¹;
- lokale grondgesteldheid. Deze wordt gespecificeerd in de vorm van:
 - $V_{S,30}$ waarde, de gemiddelde schuifgolfsnelheid van de ondergrond over de eerste 30 m die is gespecificeerd per zone (zie afbeelding 4.82). Voor het toepassen van GMPE Versie 0 wordt de $V_{S,30}$ per locatie bepaald;
 - lokale amplificatiefactoren: deze worden gespecificeerd per zone en zijn bepaald op basis van niet-lineair grondgedrag. Om dit niet-lineaire grondgedrag te karakteriseren is gebruik gemaakt van equivalent-lineaire grond responsie analyse [22].

4.7.14 KNMI aardbevingscatalogus

Alle aardbevingen in Nederland worden door het KNMI bijgehouden in een aardbevingscatalogus [11]. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de aardbevingcatalogus voor natuurlijke (tektonische) aardbevingen en de aardbevingscatalogus voor geïnduceerde aardbevingen. De natuurlijke aardbevingen komen in Nederland voornamelijk voor in Zuid-Limburg en Noord-Brabant. De geïnduceerde aardbevingen komen in Nederland voornamelijk voor in het Groninger gaswinningsgebied. De grootste registreerde geïnduceerde aardbeving vond plaats in Groningen. Dit was de Huizinge aardbeving van 16 augustus 2012 met lokale Magnitude (M_L) 3,6. Er zijn ook geïnduceerde aardbevingen (met relatief grote magnitudes) voorgekomen in Drenthe (Roswinkel, 19 februari 1997, M_L 3,4) en Noord-Holland (Alkmaar, 9 september 2001, M_L 3,5), zie ook Tabel 4.12. De eerste geregistreerde geïnduceerde aardbeving was de nabij Assen, 26 december 1986, M_L 2,8. Naast de Magnitude worden de locatie, diepte, datum en tijdstip van de aardbeving opgeslagen in de catalogus. De volledige geïnduceerde aardbevingcatalogus kan worden gedownload via de KNMI website [11]. Een lijst van de grootste gemeten geïnduceerde bevingen is gegeven in tabel 4.12. Het KNMI meetnetwerk is beschreven in paragraaf 4.7.16.

¹ Volgens [21] is M_w 2,0 gelijk aan M_L 2,2.

Tabel 4.12 Geïnduceerde aardbevingen met Magnitude groter of gelijk aan 3,0 uit de aardbevingscatalogus van het KNMI [11].
Wat opvalt is dat van deze grotere aardbevingen er een relatief groot aantal buiten Groningen zijn opgetreden
(bijvoorbeeld Roswinkel en Alkmaar)

JJMMDD	Tijd	Locatie	Lat	Lon	Diepte (km)	M _L
20120816	203033,28	Huizinge	53,3450	6,6720	3,0	3,6
20010909	065812,52	Alkmaar	52,6510	4,7130	2,0	3,5
20060808	050400,05	Westeremden	53,3500	6,6970	3,0	3,5
19970219	215350,81	Roswinkel	52,8320	7,0380	2,0	3,4
19980714	121202,23	Roswinkel	52,8330	7,0530	2,0	3,3
19940921	011258,13	Alkmaar	52,6580	4,7080	2,5	3,2
20001025	181034,79	Roswinkel	52,8320	7,0520	2,3	3,2
20010910	043015,43	Alkmaar	52,6530	4,7120	2,0	3,2
20081030	055429,08	Westeremden	53,3370	6,7200	3,0	3,2
20110627	154809,71	Garrelsw eer	53,3030	6,7870	3,0	3,2
20130207	231908,97	Zandewe er	53,3890	6,6670	3,0	3,2
20111009	043342,84	Noordzee	53,2810	3,8850	3,0	3,1
20150930	180537,20	Hellum	53,2340	6,8340	3,0	3,1
19940806	180219,20	Alkmaar	52,6540	4,7110	2,5	3,0
20031024	015241,16	Hoeksmeer	53,2950	6,7920	3,0	3,0
20031110	002238,03	Stedum	53,3250	6,6900	3,0	3,0
20090508	052311,95	Zeerijp	53,3540	6,7620	3,0	3,0
20130702	230355,50	Garrelsw eer	53,2940	6,7850	3,0	3,0
20140213	021314,32	Leermens	53,3570	6,7820	3,0	3,0

4.7.15 Invloed van de grondgesteldheid

Invloed van de $V_{S,30}$ waarde

De gemiddelde schuifgolfsnelheid (in m/s) in de bovenste 30 m van de ondergrond ($V_{S,30}$) is een eigenschap om de stijfheid van de grond te karakteriseren, een belangrijke parameter voor het seismisch gedrag. De $V_{S,30}$ is voor een gedeelte van het projectgebied bepaald op basis van de beschikbare $V_{S,30}$ kaart (zie afbeelding 4.82). Deze $V_{S,30}$ kaart is specifiek voor het aardbevingsgebied ('binnen de contour') ontwikkeld door Deltares voor het NAM winningsplan 2016 [17] en is onder andere gebaseerd op het GeoTOP model [16] en het V_s model dat speciaal voor het Groninger aardbevingsgebied is ontwikkeld [23]. Het westelijk deel van het projectgebied wordt echter niet afgedekt door de bestaande $V_{S,30}$ kaart. De gegevens in dit deel zijn van door middel van de correlatie met het bestaande GeoTOP ondergrondmodel [23] geëxtrapoleerd

Invloed van het niet-lineaire gedrag van de ondergrond.

De $V_{S,30}$ zegt iets over het seismische gedrag van de ondergrond, maar vanwege het dikkere pakket aan ongeconsolideerde sedimenten hebben diepere grondlagen dan 30 m ook invloed op de aardbevingsbelasting aan het maaiveld. Tevens speelt het niet-lineaire gedrag van de ondergrond een belangrijke rol in de bepaling van de uiteindelijke aardbevingsbelasting op maaiveld. Dit kan met numerieke grondmodellen worden gesimuleerd. Dit is voor verschillende karakteristieke bodemprofielen gedaan voor Versie 2 [9] en dit is uitgebreid en verbeterd in Versie 4 [22]. Dit gedrag is uiteindelijk in vorm van amplificatie factoren vastgelegd welke weer als input dient voor het berekenen van de aardbevingsbelasting op basis van Versie 4. De amplificatiefactoren zijn per zone gedefinieerd. Het westelijk deel van het projectgebied wordt echter niet afgedekt door de bestaande zonering. De amplificatiefactoren in dit deel

van het projectgebied zijn op basis van de correlatie met het bestaande GeoTOP ondergrondmodel [16] geëxtrapoléerd.

Extrapolatie van de $V_{S,30}$ en Amplificatie Factoren naar het gehele projectgebied

Voor GMM Versie 4 zijn een $V_{S,30}$ kaart, een zoneringskaart voor de amplificatiefuncties (AF) en tabellen met parameterwaarden vastgesteld. Een deel van het projectgebied valt buiten de zone die is gedekt door GMM Versie 4. Voor de adressen die buiten GMM V4 vallen is de VTOP op een aangepaste manier vastgesteld dan voor de adressen binnen GMM V4. Voor het gebied buiten de GMM V4 zijn op basis van GeoTOP en de berekende $V_{S,30}$ een vergelijkbare zone van binnen de GMM V4 gezocht en is de AF van die vergelijkbare zone toegepast. Dit is een extrapolatie van het toepassingsgebied van GMM V4. Er zijn dus geen nieuwe AF berekeningen uitgevoerd voor het gebied dat buiten GMM V4 valt. Ook moet worden opgemerkt dat de extrapolatie geen rekening houdt met overeenkomsten of verschillen in de ondergrond dieper dan 30 m.

In de afleiding van de vergelijkbare zone is eerst de geografische dekking van $V_{S,30}$ kaart uitgebreid. Dit is gedaan op basis van GeoTOP (TNO Geologische Dienst Nederland) en het V_S model voor Groningen [23], waarbij uitgegaan is van het gemiddelde V_S model. De $V_{S,30}$ is derhalve niet stochastisch bepaald en gezoned zoals bij GMM V4 gedaan is. Vervolgens zijn er $V_{S,30}$ gebieden gedefinieerd met dezelfde contouren als de bins in de $V_{S,30}$ kaart van GMM V4 (afbeelding 4.82). Daarna is de opeenvolging van formaties ter plaatse van de adressen bepaald met behulp van GeoTOP. Dit is een grove indeling op profieltype. Er is geen volledig geologisch model afgeleid zoals gebeurd is in [23]. In het geologische model van Groningen volgens [23], is gebruik gemaakt van aanvullende bronnen zoals bijvoorbeeld CPT's (sonderingen) en is er rekening gehouden met diktes van veen- of kleilagen. De grenzen van de zones zijn aangepast op een regionaal aggregatieniveau.

De aardbevingsbelastingen binnen en buiten het gebied van GMPE V4 zijn op verschillende manieren bepaald. Binnen het GMPE V4 gebied zijn opslingerfactoren (AF) berekend met een uitgebreide analyse. Buiten het GMPE V4 gebied zijn de AF waarden afgeleid uit een vergelijking van de berekende gemiddelde $V_{S,30}$ en een ruwe inschatting van profieltypes met de in V4 gedefinieerde gebieden en bijbehorende AF. Bij een onvolledige match is voor de grootste opslingering (overeenkomend met de laagste damping) van een vergelijkbaar gebied in GMPE V4 gekozen. In het gebied dat buiten GMPE V4 valt zouden bij een volledige gebiedsanalyse en berekening van AF volgens de methode van GMPE V4 afwijkende waarden voor AF gevonden kunnen worden.

Na vaststelling van de vergelijkbare AF is dezelfde werkwijze gevolgd als voor de adressen binnen de GMM V4. Aangezien het een extrapolatie van GMM V4 betreft, is de afgeleide VTOP voor het gebied buiten GMM V4 een benadering. Na vaststelling van de vergelijkbare AF is dezelfde werkwijze gevolgd als voor de adressen binnen de GMM V4

4.7.16 Vergelijking van de berekende aardbevingbelasting met meetwaarden

In deze paragraaf worden de berekende PGV en VTOP waarden vergeleken met de metingen die zijn uitgevoerd in woningen voorzien van sensoren van het TNO netwerk en het monitoring netwerk van het KNMI.

Het TNO sensor netwerk

Sinds 2014 zijn er in woonhuizen van particulieren en andere gebouwen zoals gemeentehuizen, in en rondom het Groninger aardbevingsgebied, trillingsensoren (accelerometers) geïnstalleerd van het merk GeoSig. De sensoren zijn geïnstalleerd en worden beheerd door TNO. Dit monitoring systeem bestaat uit een combinatie van trillingsensor (AC-73 *Force Balance Accelerometer*) en data management systeem (GMSplus Measuring System) (zie afbeelding 4.95). Inmiddels zijn er ongeveer 380 van dit soort systemen geïnstalleerd waarvan de meeste tenminste 2 jaar meetgegevens gegenereerd hebben. In een woning wordt één sensor geplaatst. Deze wordt meestal in een stijf punt op een laag niveau op of onder de begane grond (vaak in de kruipruimte) aan een muur, fundering of balk gemonteerd. Via een online verbinding wordt de data doorgestuurd en opgeslagen in een centrale database. De sensor meet trillingen in 3 richtingen: x, y en

z. De x- en y-richting liggen in het horizontale vlak en de z-richting is de verticale richting. De sensor (accelerometer) meet versnelling in de tijd en het systeem converteert deze meting ook gelijk naar snelheid. De bewoner heeft via een online portal toegang tot zijn/haar eigen meetgegevens. In afbeelding 4.98 is een overzicht gegeven van de locaties van de TNO sensoren in en rondom het Groninger aardbevingsgebied.

Afbeelding 4.95 Trillingsmonitoring system (TNO)– data opnemer (links) en sensor (AC-73 Force Balance Accelerometer) (rechts)



Het KNMI meetnetwerk

Voor het onderzoek naar de aardbevingen in Noord-Nederland heeft het KNMI eind 1988 rond Assen een netwerk van seismometers ingericht. Dit netwerk heeft het KNMI in 1995 verder uitgebreid opgezet om de aardbevingen in deze regio verder in kaart te brengen. In 2014 heeft de laatste grote uitbreiding van netwerk plaatsgevonden. Afbeelding 4.97 geeft een overzicht van het KNMI meetnetwerk in Groningen. Er zijn in het gebied op ongeveer 116 locaties een of meerdere sensoren geïnstalleerd. Er geldt over het algemeen dat hoe meer seismometers er in het gebied zijn en hoe dichter het netwerk is, hoe nauwkeuriger de bepaling van de aardbeving is. Er blijft echter altijd een bepaalde onzekerheid bestaan in de locatiebepaling (van het epicentrum), de diepte bepaling (van het hypocentrum) en de Magnitude bepaling.

De locatiebepaling wordt met triangulatie gedaan. Als de aardbeving door minstens 3 sensoren is gemeten kan een nauwkeurige plaatsbepaling worden gedaan. Over het algemeen geldt dat de nauwkeurigheid in de locatiebepaling na 2014 ongeveer 500 m of minder is. De metingen van voor 2014 hebben een nauwkeurigheid van ongeveer 1 km. De dieptebepaling is meestal minder nauwkeuriger dan de horizontale locatie bepaling. De aardbevingen worden gegenereerd in het gasveld. Het Groninger gasveld ligt op een gemiddelde diepte van 3 km. Daarom worden vrijwel alle aardbevingen op deze diepte vastgesteld. De Magnitude bepaling kan een onnauwkeurigheid hebben van 0,1 tot 0,3 [21]. De meest maatgevende aardbeving voor het buitengebied (de Huizinge beving van 16 augustus 2012) met Magnitude 3,6 had volgens [21] een nauwkeurigheid van +/- 0,1.

Deze onzekerheid wordt echter al deels meegenomen in de GMPE, omdat deze mede is gebaseerd op metingen van aardbevingen in Groningen waar deze onzekerheid impliciet in zit. Deze onzekerheid wordt uitgedrukt in een standaardafwijking (zie paragraaf relaties voor GMPE Versie 0 en relaties voor GMPE Versie 1).

Meetgegevens TNO netwerk

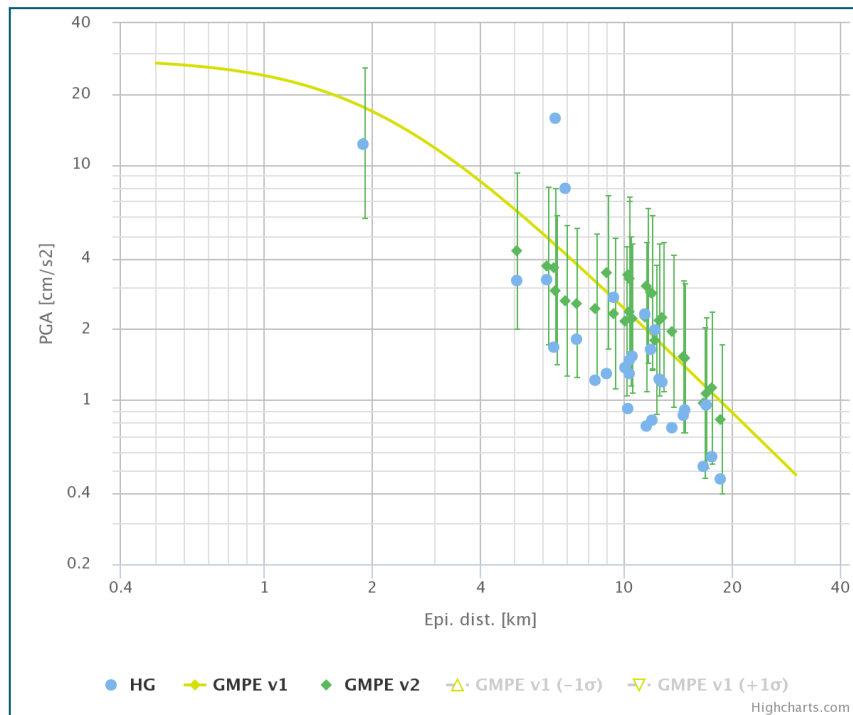
De meetgegevens van het TNO netwerk bestaan uit zgn. gebeurtenissen (*events*) en 'heartbeat' data. De events zijn continue trillingsmetingen (signalen met hoge *sample*-dichtheid) die zijn opgeslagen indien verschillende sensoren die vlakbij elkaar staan op vrijwel hetzelfde tijdstip uitslaan boven de 1 mm/s¹. Events kunnen aardbevingen zijn, maar kunnen ook andere oorzaken hebben. Naast de events wordt er elke minuut de hoogste waarde van snelheid en versnelling in x- y- en z-richting opgeslagen. Dit is de zogenaamde 'heartbeat data'. Voor een relatief kleine aardbeving of een sensor die relatief ver van het epicentrum af staat, waardoor de meter niet uitslaat boven de 1 mm/s is in sommige gevallen alleen de heartbeat data van de aardbeving beschikbaar en niet de volledig gemeten gebeurtenis (het signaal). Een overzicht van de aardbeving *events* (groter dan Magnitude 2,2) die inmiddels door het TNO netwerk is verkregen is gegeven in Tabel 4.13. In afbeelding 4.99 is door [24] een overzicht gegeven van de gemeten VTOP-waarden voor vijf aardbevingen over een periode van 1 jaar (vanaf de M 2,8 Garmerwolde beving van 30 september 2014 tot de M 3,1 Hellum beving van 30 september 2015). Het is te zien dat de Garmerwolde beving van 30 september 2014 onverwacht hoge meetwaarden te zien geeft. Dit is ook te zien in afbeelding 4.105.

Meetgegevens KNMI netwerk

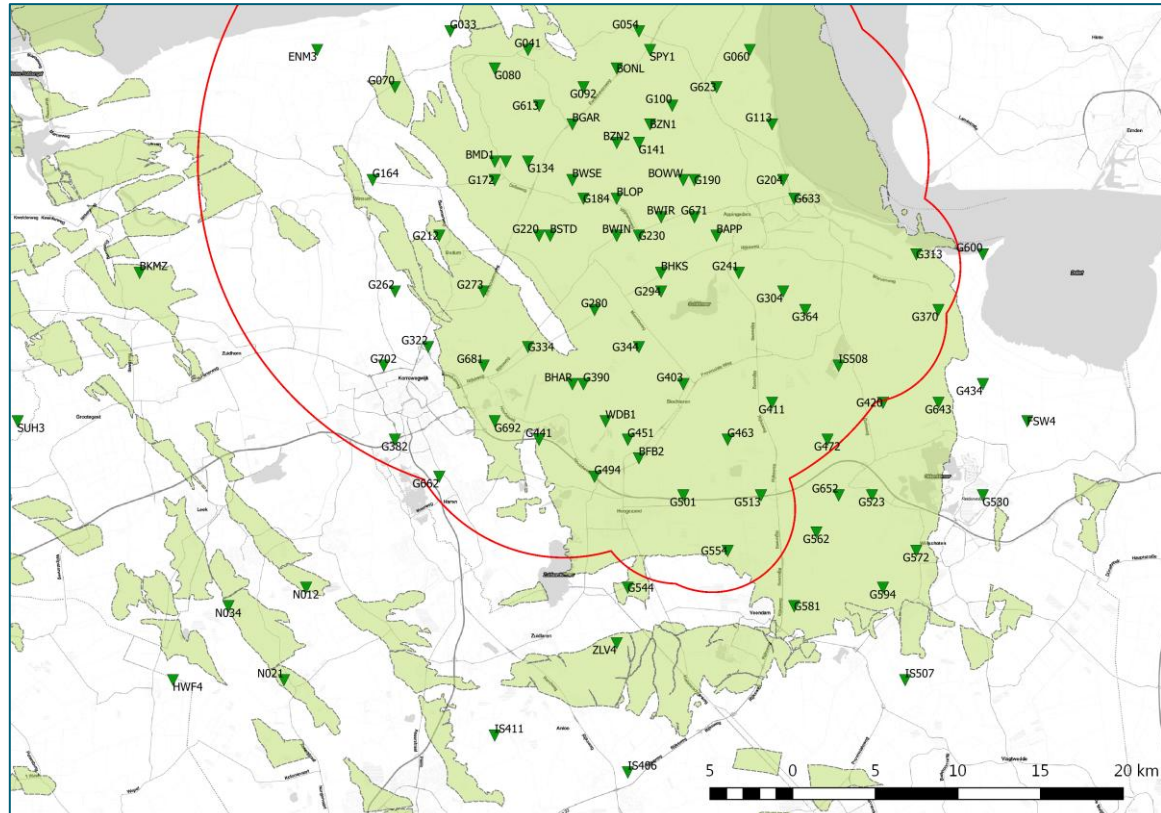
Vrijwel alle meetgegevens van het KNMI netwerk zijn publiek toegankelijk en te downloaden via het *Seismic & Acoustic Data Portal* [12]. Ook via het *Netherlands Rapid Raw Strong Motion Portal* [13] zijn de karakteristieken van de meest significante (> M 2,0) aardbevingen sinds 2013 te bekijken. Via dit portal kan een aardbeving geselecteerd worden, waarna een nieuw scherm wordt getoond die alle seismische meetstations geeft die deze specifieke aardbeving hebben gemeten en tevens een PGA regressie curve waar de meetdata wordt getoond met de verwachtingswaarden volgens GMPE Versie 1 en Versie 2 (zie afbeelding 4.96). Vervolgens kunnen de gegevens (data streams) van de meetstations worden gedownload via een link naar het *Seismic & Acoustic Data Portal*. Via het *Seismic & Acoustic Data Portal* kan ook interactief een selectie worden gemaakt van een combinatie van gewenst gebied, tijdsspanne en magnitude. Naargelang de selectie worden de zogenaamde data streams (de meetgegevens) klaargezet voor download. De meetgegevens worden in het zogenaamde SEED formaat gedeeld (Full SEED en Mini-SEED). SEED is een afkorting voor Standard for the Exchange of Earthquake Data [14]. SEED is een standaard (binair) data uitwisselingsformaat die door seismologen over de hele wereld wordt gebruikt. Via vrij beschikbare broncodes, python scripts en matlab scripts kan de data vervolgens worden ingelezen en verwerkt. Hier wordt verder niet ingegaan op specifieke stappen in deze data verwerking. Uiteindelijk was het doel om voor een (beperkte) selectie van recente aardbevingen (zie Tabel 4.13) de meetgegevens te verwerken om van daaruit de PGV (geomean) en VTOP-waarden te bepalen.

¹ Deze drempelwaarde is overigens arbitrair gekozen om de hoeveelheid events niet te groot te laten worden. Deze drempelwaarde heeft geen relatie met de minimum magnitude van 2,2 waarvoor de GMPE's geldig zijn.

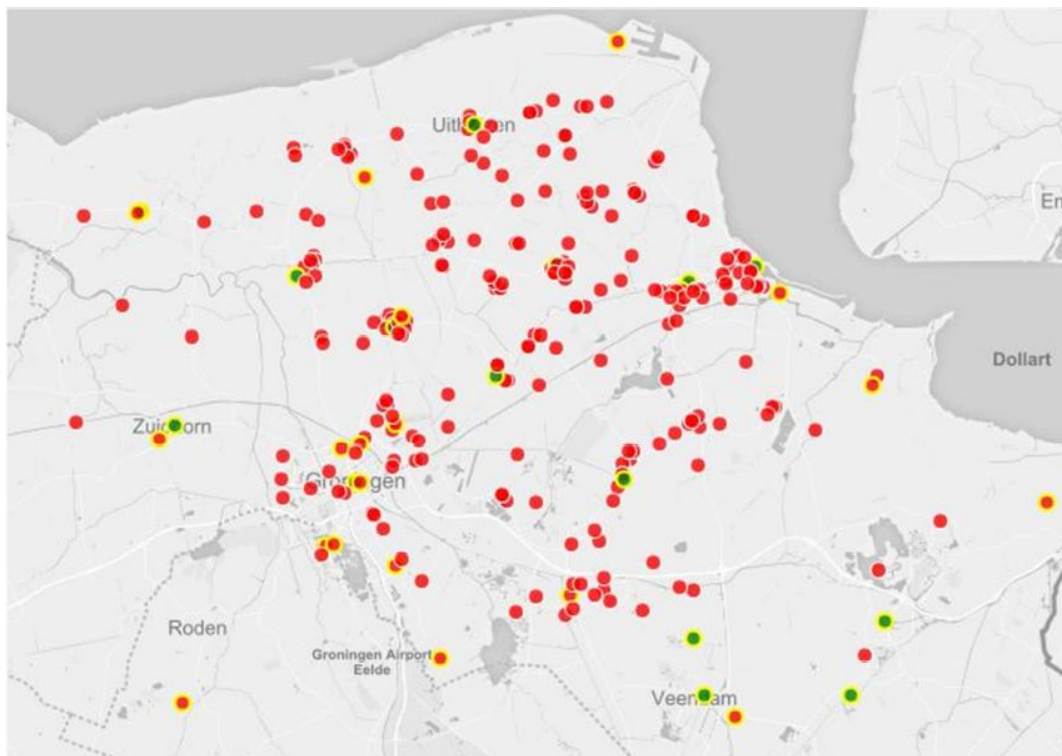
Afbeelding 4.96 Voorbeeld van de model- en meetgegevens (in PGA) zoals die door het KNMI via het *Netherlands Rapid Raw Strong Motion Portal* [13] worden getoond. Dit voorbeeld is van de M. 3.1 Helling aardbeving (30 september 2015). Te zien is dat hier de GMPE modellen V1 en V2 worden gebruikt. HG is de gemeten waarde



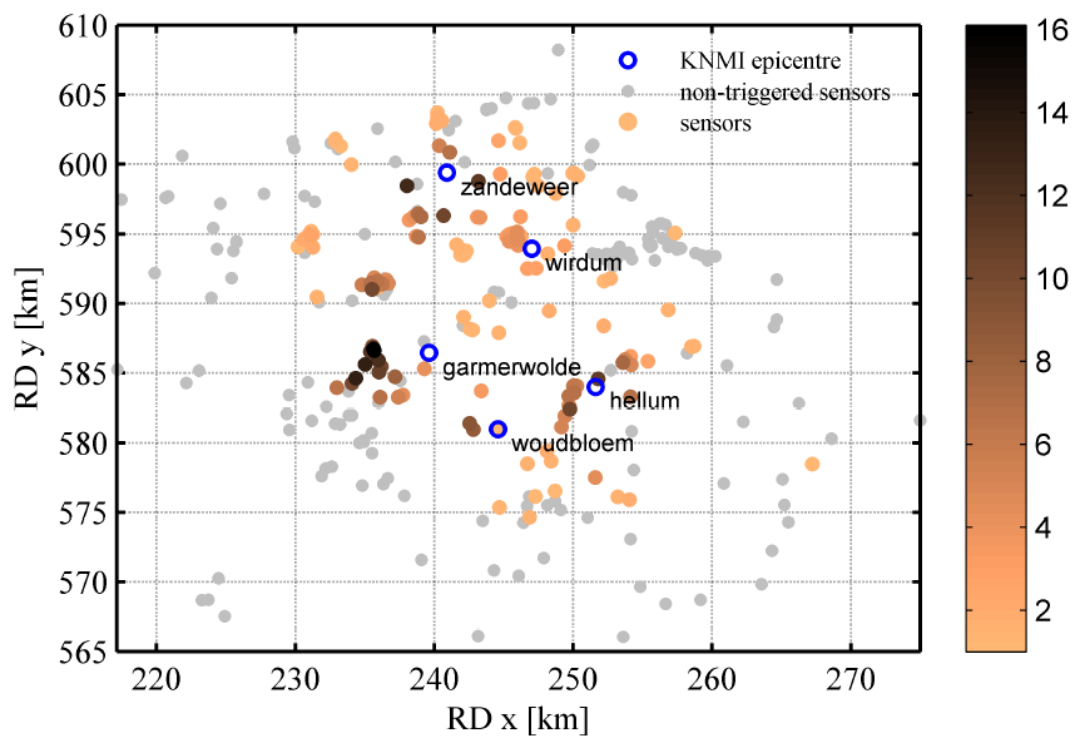
Afbeelding 4.97 Overzicht van het KNMI meetnetwerk



Afbeelding 4.98 Overzicht van het TNO meetnetwerk. Geïnstalleerde sensoren tot november 2015. (rood=woning, rood/geel = geen woning, groen/geel = gemeentehuis). [24]



Afbeelding 4.99 Overzicht van de maximaal gemeten horizontale component van de trillingsnelheden in de gebouwen of funderingsniveau (in mm/s) in relatie tot the epicentra van vijf aardbevingen [24].



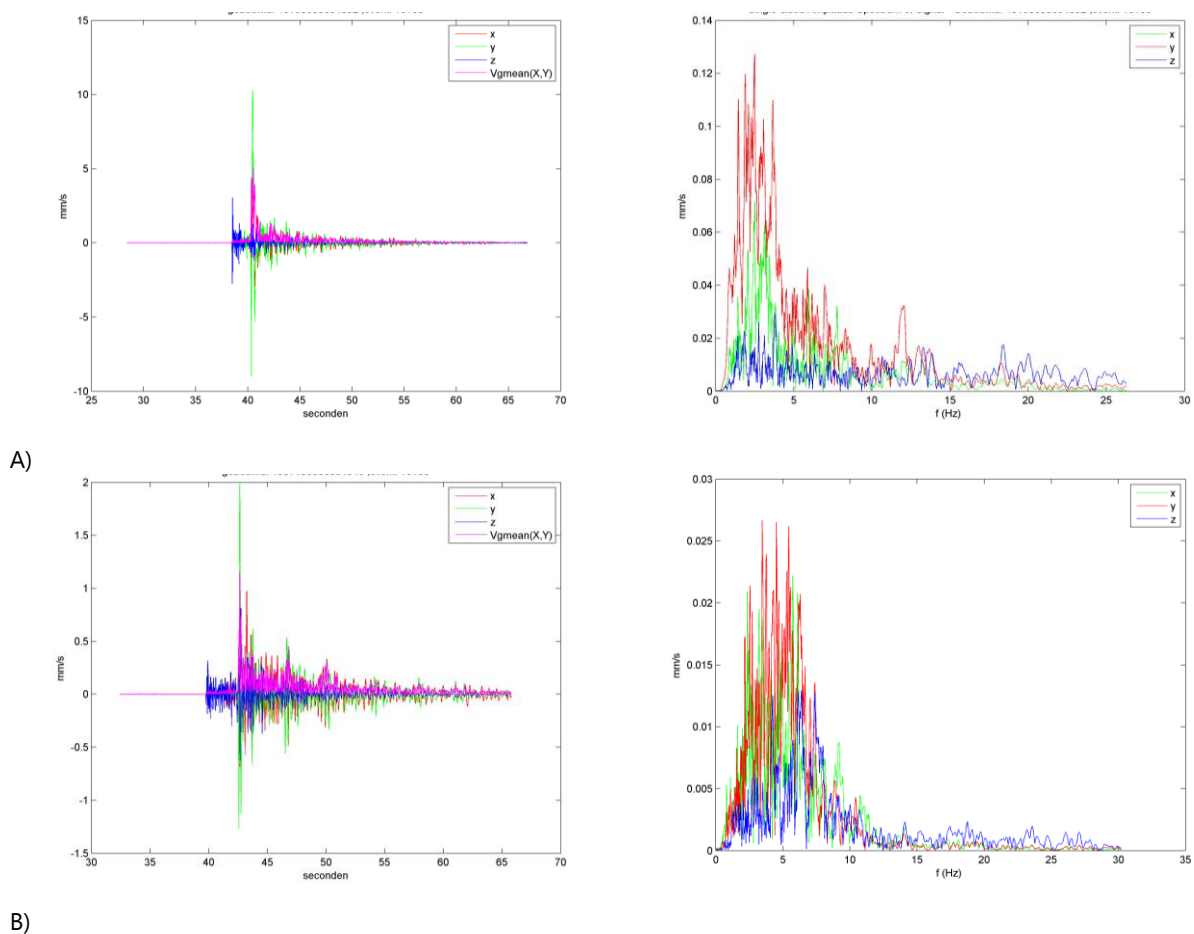
Tabel 4.13 Overzicht van de (21) aardbevingen waarvan de KNMI en TNO meetgegevens in deze studie zijn gebruikt. De door het TNO sensor netwerk geregistreerde aardbevingen zijn aangegeven met Event-ID. Als het Event-ID 0 is, is deze beving niet door het TNO netwerk gemeten

Datum/Tijd	M	Diepte (km)	Naam	LAT	LON	X (RD)	Y (RD)	Event-ID
2013-09-04 T01:33:32	2.8	3	Zeerijp	53.344	6.772	247228.0	596175.0	0
2013-11-26 T23:54:53	2.0	3	Appingedam	53.327	6.845	252127.8	594379.2	0
2014-02-13 T02:13:14	3.0	3	Leermens	53.357	6.782	247866.0	597634.5	0
2014-03-11 T09:08:23	2.3	3	Schildwolde	53.228	6.822	250815.1	583332.1	0
2014-03-18 T21:15:18	2.1	3	Rottum	53.390	6.618	236884.7	601107.6	0
2014-07-02 T17:34:16	2.1	3	Slochteren	53.214	6.790	248708.6	581732.1	0
2014-09-01 T07:17:42	2.6	3	Froombosch	53.194	6.787	248551.5	579502.7	0
2014-09-30 T11:42:03	2.8	3	Garmerwolde	53.258	6.655	239604.9	586461.2	3012
2014-11-05 T01:12:34	2.9	3	Zandeweer	53.374	6.678	240908.2	599397.0	4452
2014-12-30 T02:37:36	2.8	3	Woudbloem	53.208	6.728	244579.7	580985.6	6566
2015-01-06 T06:55:28	2.7	3	Wirdum	53.324	6.768	247004.4	593944.2	6992
2015-02-25 T10:02:56	2.3	3	Appingedam	53.323	6.857	252936.3	593950.4	8433
2015-03-24 T13:27:56	2.3	3	Appingedam	53.322	6.855	252805.3	593836.4	9593
2015-05-27 T10:52:10	2.0	3	Uithuizen Kern	53.404	6.668	240183.2	602723.7	0
2015-07-07 T03:09:00	2.1	3	Thesinge	53.262	6.631	237995.7	586878.4	12724
2015-08-18 T07:06:12	2.0	3	Kolham	53.185	6.754	246365.2	578458.9	0
2015-09-30 T18:05:37	3.1	3	Hellum	53.234	6.834	251602.9	584015.8	15166
2015-10-30 T18:49:01	2.3	3	Meedhuizen	53.285	6.920	257223.8	589809.5	15915
2016-02-25 T22:26:30	2.4	3	Froombosch	53.184	6.781	248172.1	578382.2	22875
2016-09-02 T13:16:00	2.1	3	Hellum	53.218	6.844	252306.6	582248.8	29066
2016-11-01 T00:57:46	2.2	3	Wirdum (Gr.)	53.306	6.809	249775.6	591994.4	0

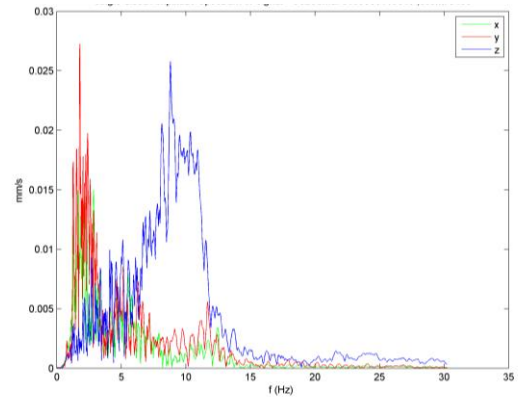
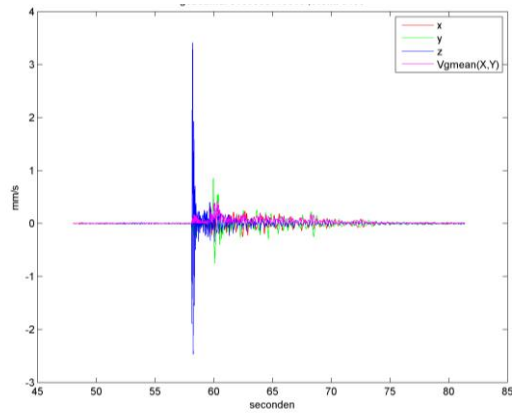
Signalen van enkele events gemeten door TNO netwerk

De aardbevingssignalen zijn goed herkenbaar, maar hebben ook een divers karakter. Het signaal verschilt per aardbeving, maar kan voor dezelfde aardbeving voor verschillende locaties ook sterk verschillen. Elke aardbeving heeft zijn eigen frequentie-inhoud en amplitude karakteristiek, maar kan naar gelang de locatie en afstand tot het epicentrum waar gemeten is ook nog afwijkingen vertonen. Wat vaak wel herkenbaar is in de signalen zijn de P-wave en de S-wave. De P-wave is de drukgolf (*Pressure- of Primary wave*) die als eerste aankomt en de S-wave is de schuifgolf (Shear wave of Secondary wave) die als tweede aankomt op de locatie. Vlakbij het epicentrum komen de P- en S-wave kort na elkaar aan. Vlakbij het epicentrum is de P-wave ook vrij groot in amplitude. De P-wave is meestal goed te herkennen, omdat deze vrijwel alleen uitslaat in de verticale (z-richting). In afbeelding 4.100 en afbeelding 4.102 zijn deze verticale componenten blauw gekleurd, zodat de P-wave meestal als blauwe curve is te herkennen. Door de relatief hoge frequentie van de P-wave, dempt deze vrij snel uit met de afstand tot het epicentrum. Op grotere afstand is de S-wave dan meestal de dominante component van het signaal die voornamelijk bestaat uit horizontale bewegingen (te herkennen aan de groene en rode curves). De signalen zijn in het tijdsdomein opgeslagen (snelheid of versnelling als functie van de tijd), maar kunnen via een fourier transformatie ook worden getoond in het frequentiedomein. PGV en PGA zijn de piekwaarden onafhankelijk van de tijd. Ze kunnen wel frequentieafhankelijk worden weergegeven. In het frequentiedomein kan de frequentie-inhoud of dominante frequentie van het gemeten signaal beter worden herkend.

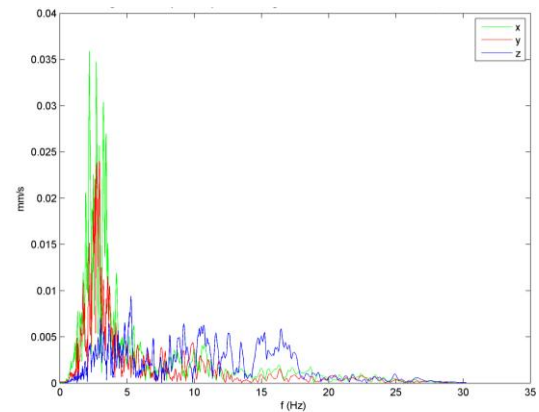
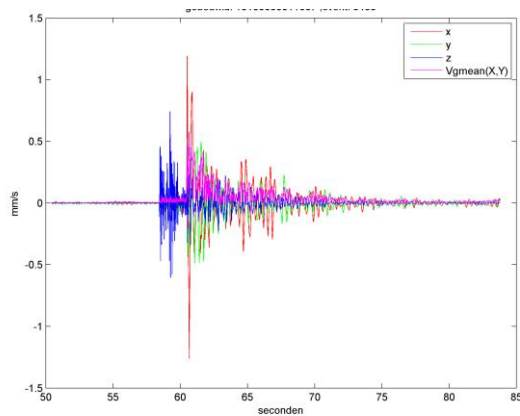
Afbeelding 4.100 Twee gemeten signalen van de M. 3,1 Hellum beving van 2 september 2016 (event 15166). A) is gemeten op 2,4 km afstand van het epicentrum, terwijl B) is gemeten op 8,5 km afstand van het epicentrum. Aan de linkerkant is het signaal in het tijdsdomein, aan de rechterkant in het frequentiedomein. De VTOP-waarde voor A was 10,2 mm/s en de VTOP-waarde voor B) was 1,98 mm/s. In beide tijdssignalen is de P-wave goed te herkennen



Afbeelding 4.101 Twee gemeten signalen van de M. 2,3 Appingedam beving van 25 februari 2015 (event 8433). A) is gemeten op 0,7 km afstand van het epicentrum, terwijl B) is gemeten op 3,0 km afstand van het epicentrum. Aan de linkerkant is het signaal in het tijdsdomein, aan de rechterkant in het frequentiedomein. De VTOP-waarde voor A was 3,4 mm/s en de VTOP-waarde voor B) was 1,2 mm/s. In beide tijdssignalen is de P-wave goed te herkennen, in A) is de P-wave het dominante deel van het signaal. de invloed op een gebouw wordt bepaald door de gevoeligheid voor PGV of PGA bij een bepaalde frequentie. In de grafiek rechtsboven is te zien dat bij een lage frequentie de horizontale S component het grootst is



A)



B)

Vergelijking van de KNMI en TNO meetdata met de berekende waarden

Op basis van de lijst van 21 aardbevingen uit Tabel 4.13 zijn de PGV (geomean) en VTOP-waarden uit de signalen gehaald die door de KNMI en TNO sensoren zijn vastgelegd. Deze zijn per aardbeving event gesorteerd en met de locatie van de sensoren is het vervolgens mogelijk om de afstand tot het epicentrum te berekenen. Hiermee kunnen de gemeten PGV en VTOP-waarden worden vergeleken met de verwachtingswaarden die met de GMPE modellen Versie 0 en Versie 4 worden berekend. Alleen de KNMI metingen op maaiveld zijn gebruikt.

Het Versie 4 model is volledig gebaseerd op KNMI metingen, dus naar verwachting zullen de KNMI meetdata een goede correlatie vertonen met de Versie 4 curves, beter dan de Versie 0 curves die maar voor een beperkt deel zijn gebaseerd op KNMI metingen. Overigens zijn er voor het opstellen van het Versie 4 model meer aardbevingen meegenomen dan hier zijn getoond. Metingen van de individuele aardbevingen kunnen daarom grotere afwijkingen van het model laten zien. Deze variabiliteit is echter in het model meegenomen in de vorm van de between-event variabiliteit (zie paragraaf 0), dus de afwijkingen zouden redelijkerwijs binnen gegeven foutmarge (de standaard deviatie) moeten liggen.

In afbeelding 4.102 tot afbeelding 4.114 zijn de VTOP-mediaan curves van Versie 0 en Versie 4 gegeven alsmede de variabiliteit van het model (mediaan + 1x standaarddeviatie). De TNO gegevens (indien aanwezig) en de KNMI data zijn gegeven in de vorm van VTOP-data in de x- en y-richting, dus in het horizontale vlak. De curves zijn geplot voor 14 aardbevingen van M. 2,2 en hoger die in Tabel 4.13 zijn opgesomd, op volgorde van datum van optreden. Het uitgangspunt voor het opstellen van de curves is dat de $V_{S,30}$ waarde gelijk is aan 160 m/s (Versie 0) en de (Versie 4) zone gelijk is aan zone 1013.

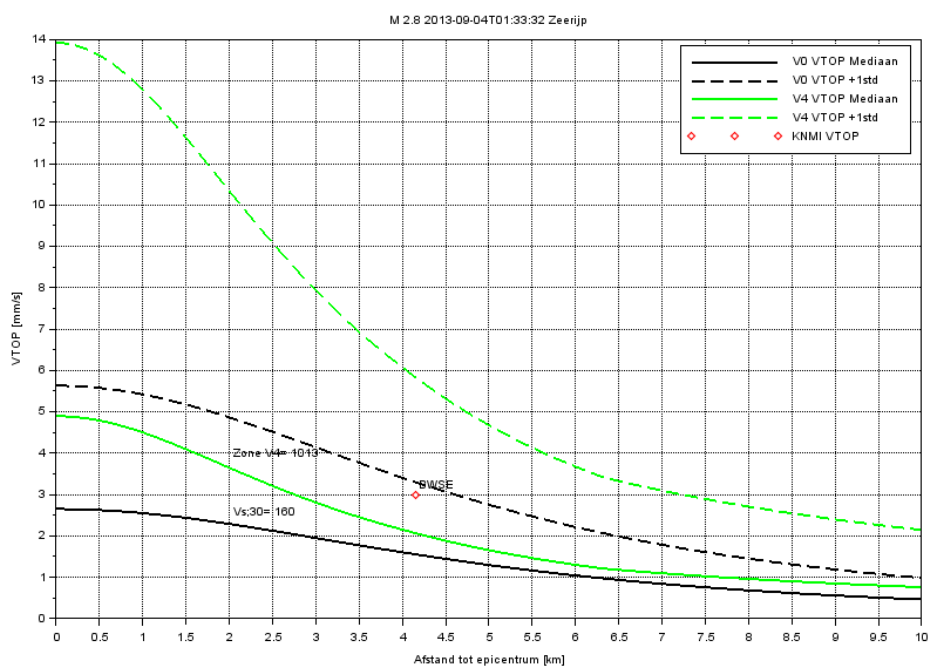
Wat direct opvalt in deze grafieken is dat de TNO sensoren over het algemeen hogere meetwaarden laten zien dan de KNMI sensoren. Vooral dicht bij het epicentrum lijken de TNO metingen hogere waarden te geven. Vooral bij de lagere magnitudes lijken de metingen vaker af te wijken van de berekende waarden. Juist bij de hoogste magnitude (de M 3,1 beving van Hellum van 30 september 2015) liggen de meetwaarden van zowel het KNMI als het TNO netwerk zeer dicht bij en zelfs onder de berekende GMPE curves (zie Afbeelding 4.111 en Afbeelding 4.112). De reden hiervoor is niet duidelijk. De KNMI meetstations liggen over het algemeen ver weg van verkeer en bebouwing op maaiveld en in boorgaten, zodat er weinig verstoring kan optreden. De TNO sensoren zijn in woningen geplaatst waar verstoring door gebruiksbelasting of verkeer van invloed kan zijn op de meting. Ook kan de overdracht van het aardbevingssignaal vanuit de ondergrond naar de woning van invloed zijn op de meting.

De aardbeving waarbij de metingen van de TNO sensoren het sterkst (naar boven) afwijken van de berekende waarden is de M 2,8 aardbeving van Garmerwolde van 30 september 2014 (zie Afbeelding 4.103). Deze metingen wijken ook sterk af van de KNMI metingen en de metingen bij de andere twee M 2,8 bevingen: Zeerijp (afbeelding 4.102) en Woudbloem (afbeelding 4.108). Het is niet duidelijk wat de oorzaak hiervan is. Mogelijk dat hier andere (locatiespecifieke) effecten in de diepe of ondiepe ondergrond een rol hebben gespeeld.

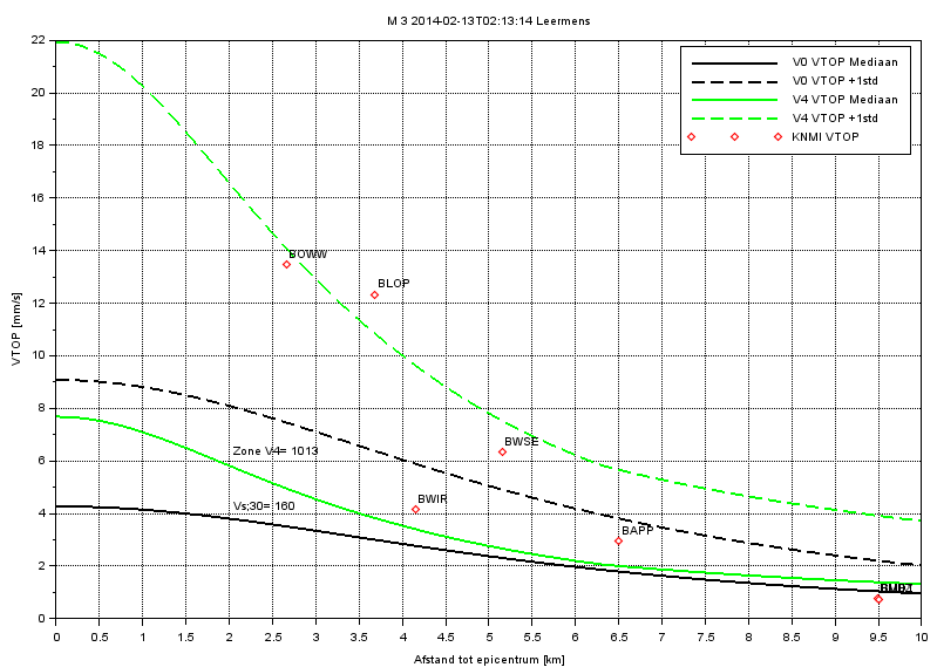
Over het algemeen vertoont de op basis van Versie 4 afgeleide VTOP-waarden een betere match met de gemeten waarden vlakbij het epicentrum dan de op basis van Versie 0 berekende VTOP-waarden. De waarden van Versie 0 zijn consistent lager dan de meetwaarden tot een radius van ongeveer 6 km van het epicentrum. Uiteraard is het uiteindelijke beeld ook weer afhankelijk van de lokale grondgesteldheid. Vooral op grotere afstanden en bij andere grondgesteldheid kan het Versie 0 model hogere waarden geven dan Versie 4.

Concluderend kan worden gezegd dat de meetwaarden van zowel de KNMI als TNO sensoren zich over het algemeen goed rondom de mediaan waarde en binnen de aangegeven foutmarge (1x de standaarddeviatie) van het Versie 4 model bevinden. Het Versie 4 model lijkt op basis van deze (beperkte) set metingen daarom een beter model dan Versie 0. Dit is overigens niet verassend, omdat het Versie 4 model volledig is gebaseerd op lokale (KNMI) metingen, terwijl het Versie 0 model een internationaal model is dat is aangepast op basis van een relatief beperkte dataset van 8 aardbevingen (zie paragraaf 4.7.3).

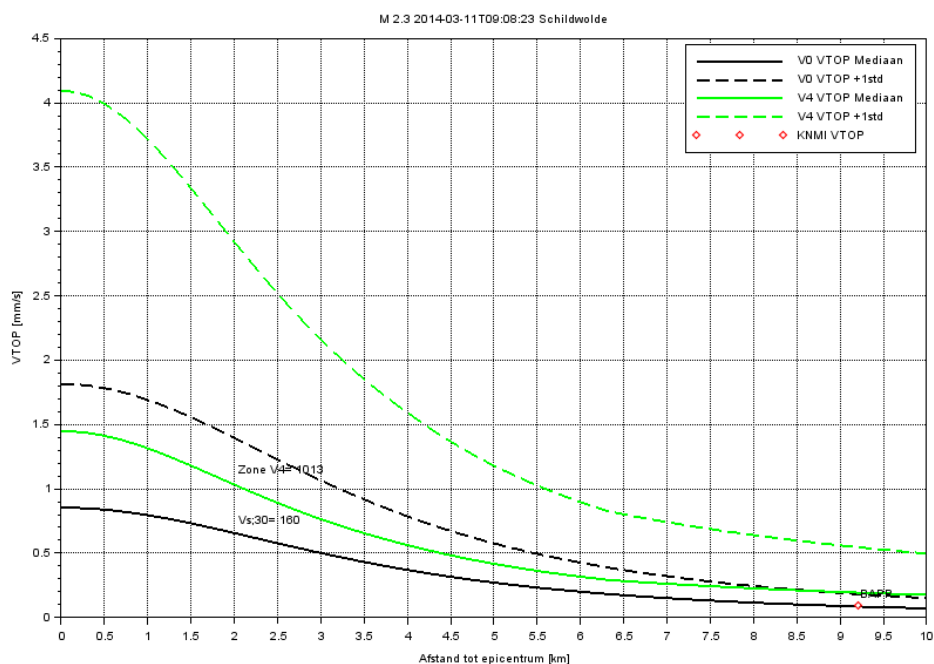
Afbeelding 4.102 VTOP-curves en metingen van de M. 2,8 beving van Zeerijp van 04 september 2013



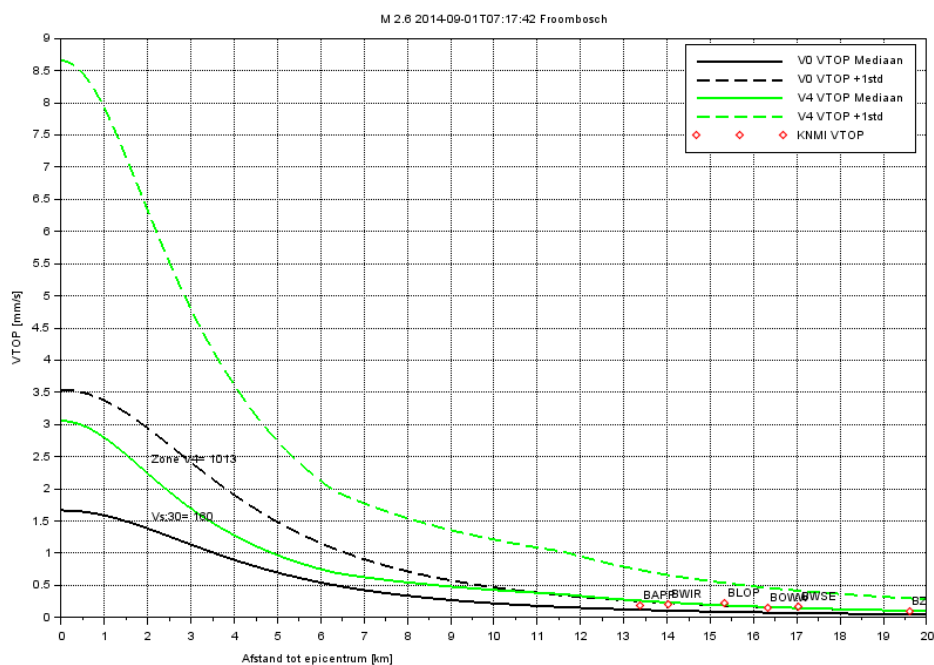
Afbeelding 4.103 VTOP-curves en metingen van de M. 3,0 beving van Leermens van 13 februari 2014



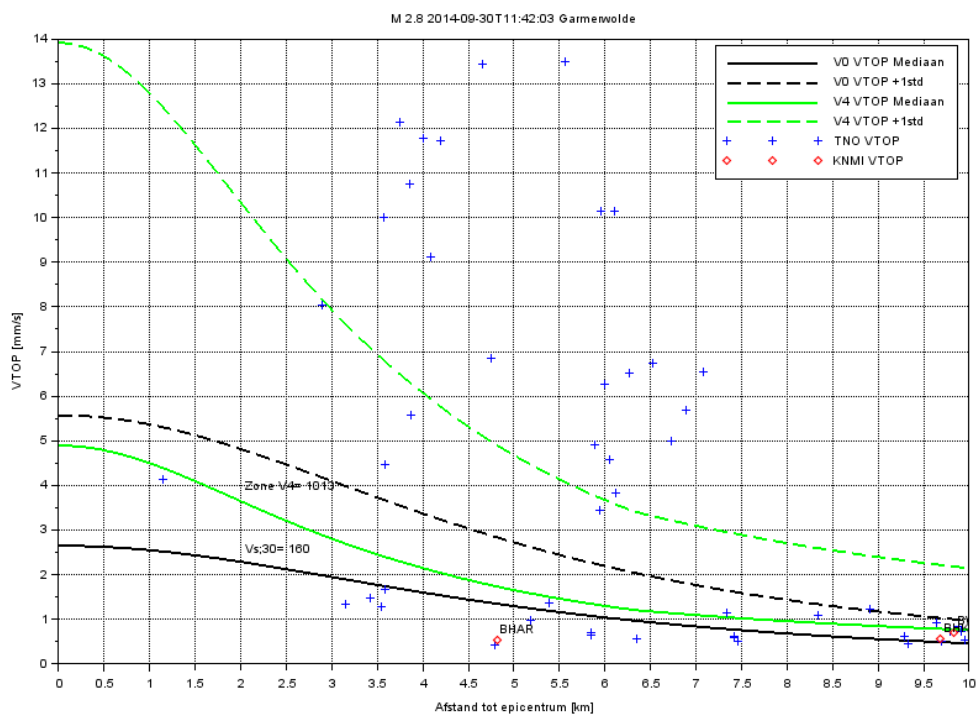
Afbeelding 4.104 VTOP-curves en metingen van de M. 2,3 beving van Schildwolde van 11 maart 2014



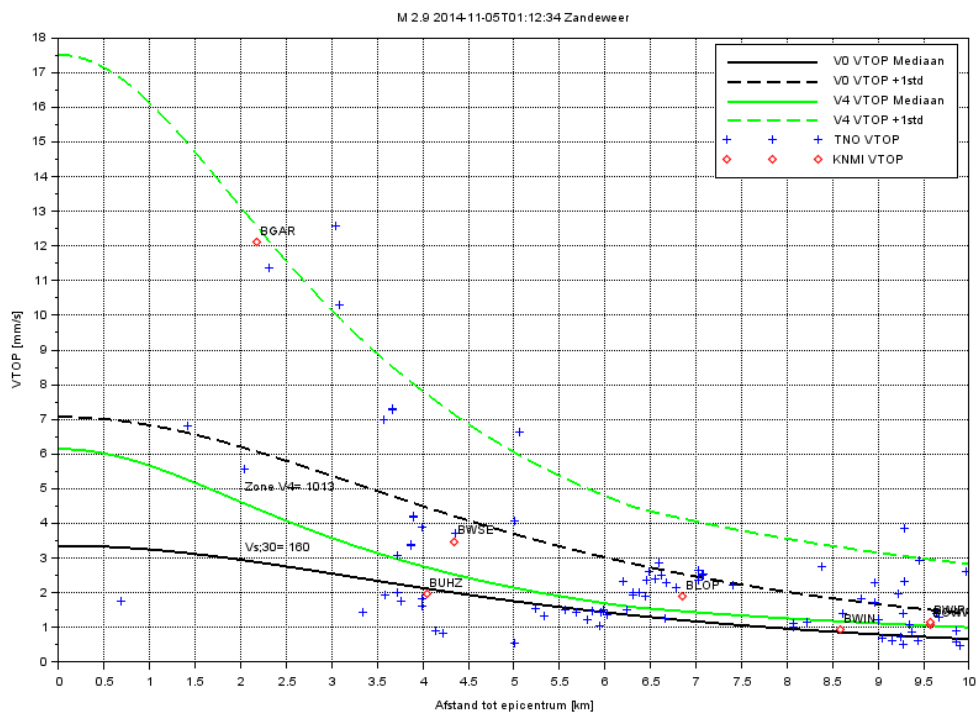
Afbeelding 4.105 VTOP-curves en metingen van de M. 2,6 beving van Froombosch van 1 september 2014. De horizontale schaal is hier als uitzondering verlengd tot 20 km om ook de KNMI metingen te laten zien.



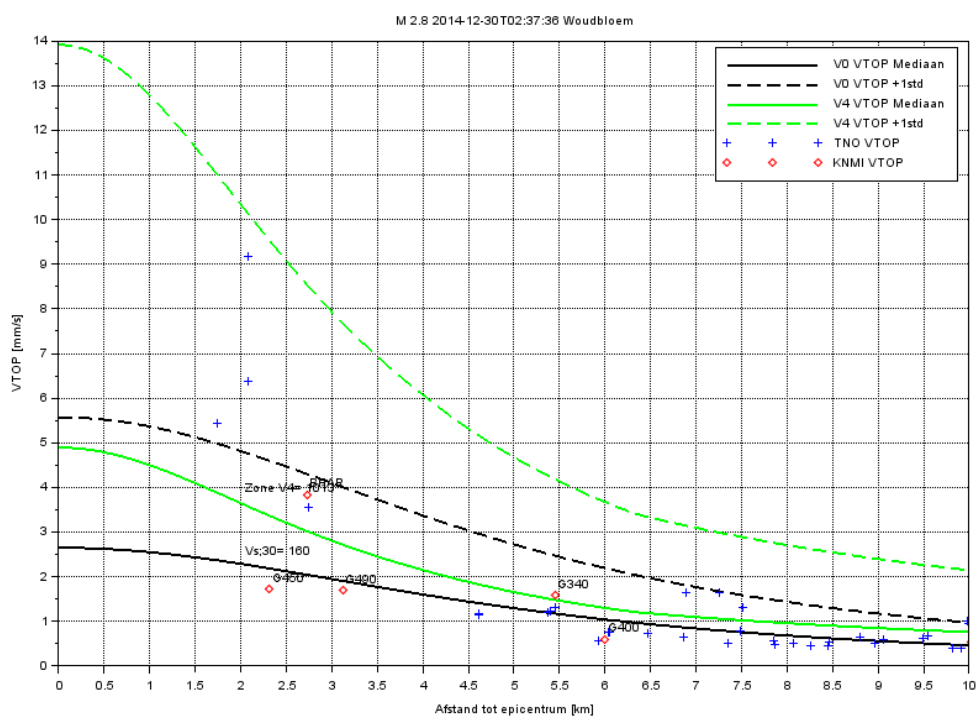
Afbeelding 4.106 VTOP-curves en metingen van de M. 2,8 beving van Garmerwolde van 30 september 2014



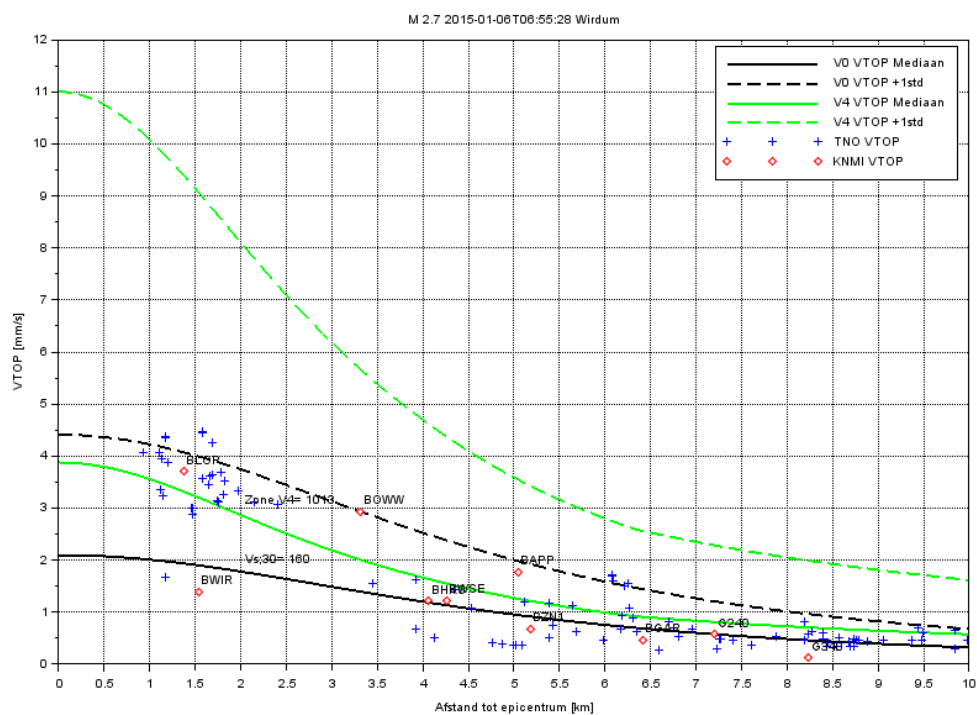
Afbeelding 4.107 VTOP-curves en metingen van de M. 2,9 beving van Zandweer van 5 november 2014



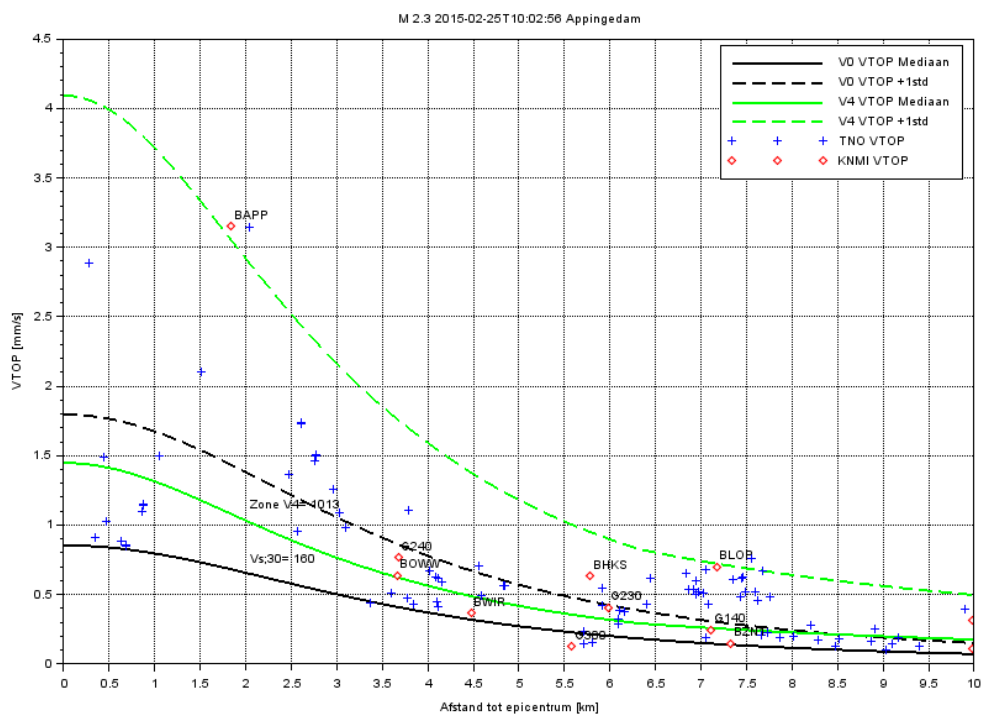
Afbeelding 4.108 VTOP-curves en metingen van de M. 2,8 beving van Woudbloem van 30 december 2014



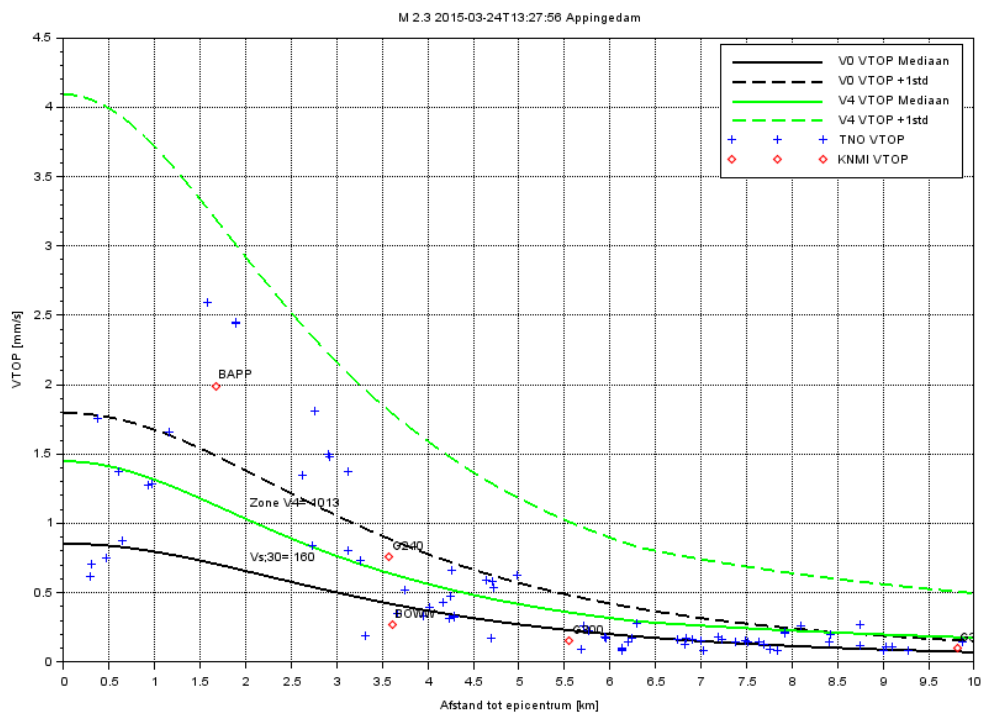
Afbeelding 4.109 VTOP-curves en metingen van de M. 2,7 beving van Wirdum van 6 januari 2015



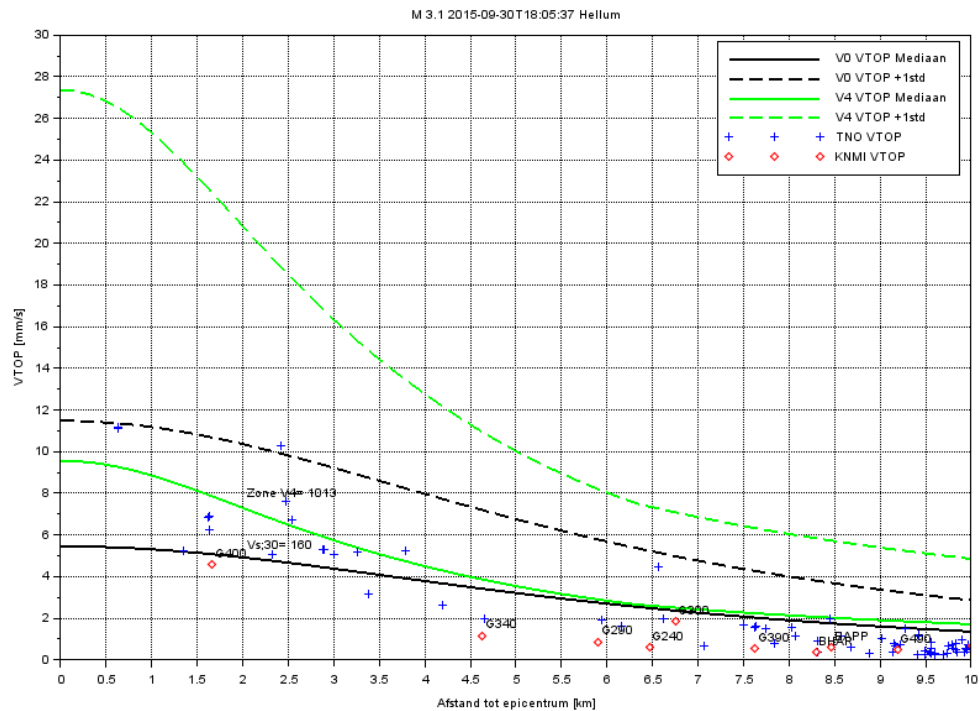
Afbeelding 4.110 VTOP-curves en metingen van de M. 2,3 beving van Appingedam van 25 februari 2015



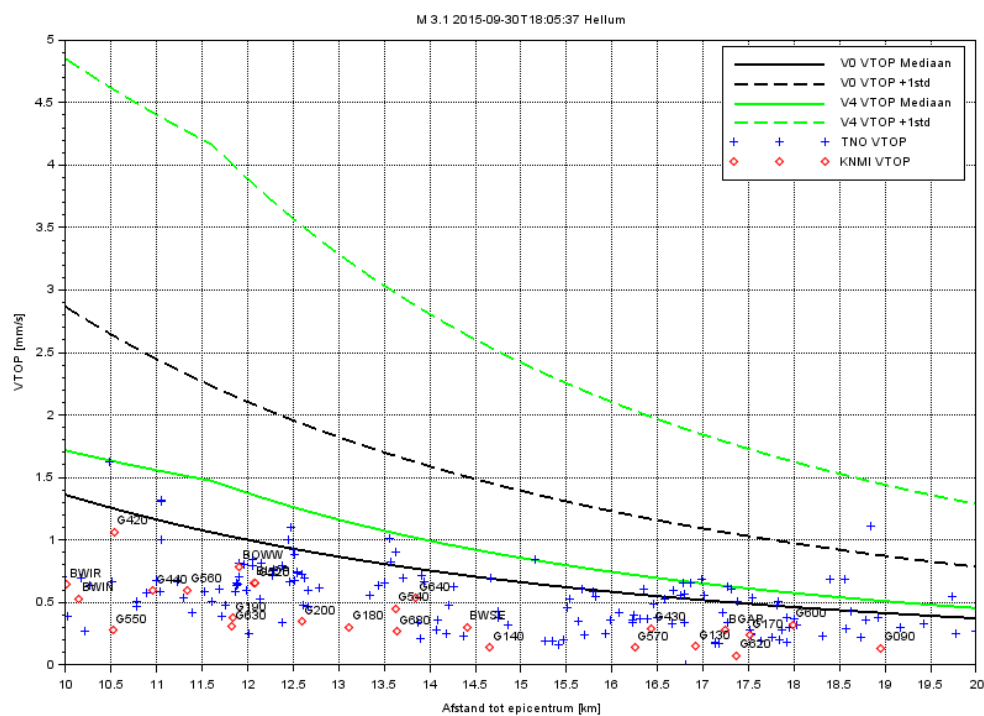
Afbeelding 4.111 VTOP-curves en metingen van de M. 2,3 beving van Appingedam van 24 maart 2015



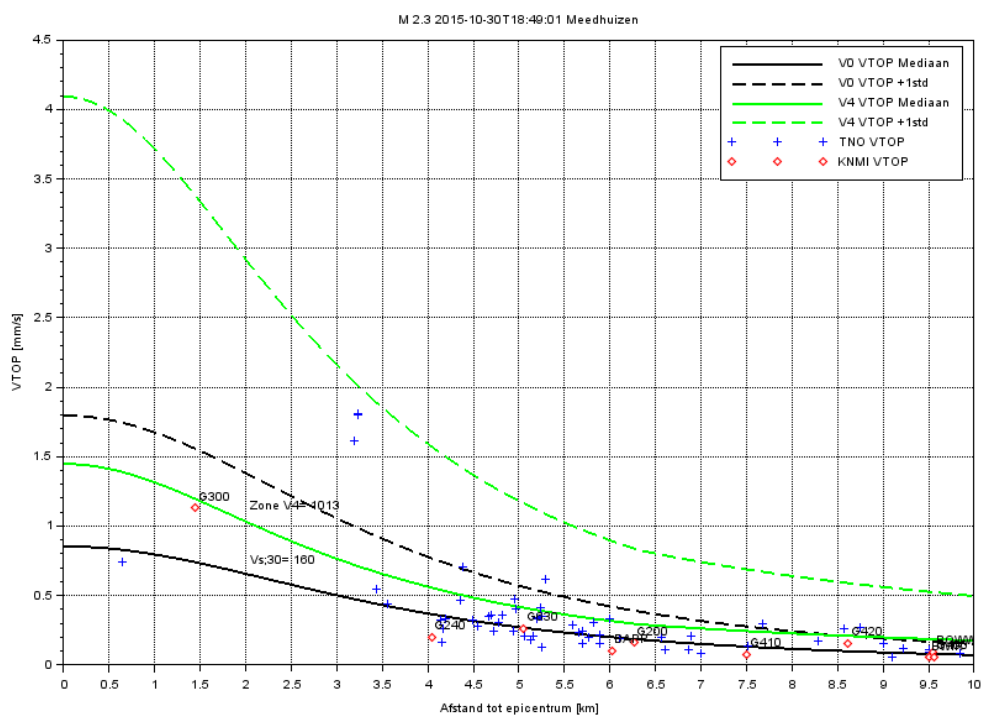
127 | 148



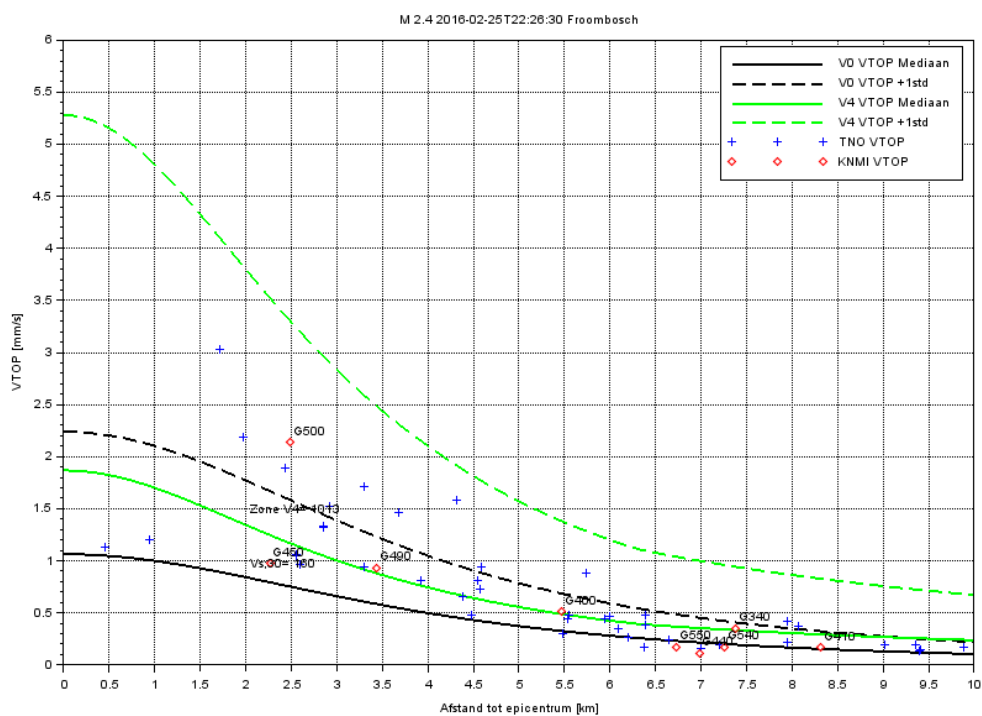
Afbeelding 4.113 VTOP-curves en metingen van de M. 3,1 beving van Hellum van 30 september 2015 (Zie ook afbeelding 4.112 voor dezelfde metingen, maar deze grafiek heeft een aangepaste schaal om de metingen verder van het epicentrum te laten zien)



Afbeelding 4.114 VTOP-curves en metingen van de M. 2,3 beving van Meedhuizen van 20 oktober 2015



Afbeelding 4.115 VTOP-curves en metingen van de M. 2,4 beving van Froombosch van 25 februari 2016



4.7.17 Resultaten

Introductie

De locaties van de woningen met schademeldingen worden vergeleken met de locaties van alle bevingen uit de aardbevingscatalogus. Dit levert voor elke mogelijke combinatie van aardbeving- en woninglocatie een afstand op. Op basis van de hiervoor beschreven modellen kan daarmee voor elke woning de mogelijk opgetreden aardbevingbelasting worden bepaald.

Data verwerking

De berekening is uitgevoerd met behulp van een script in Matlab. De invoer bestaat uit:

- lijst van schade adressen met BAG nummers. Via een BAG referentielijst kan vervolgens voor elke woning op elk schadeadres de bijbehorende RD coördinaten bepaald worden. Op basis van deze coördinaten worden ook de locatiespecifieke grondparameters ($V_{S,30}$ en amplificatiefactoren) bepaald.
- de meest actuele aardbevingscatalogus van het KNMI. De coördinaten van elke epicentrum staan in Lat/Lon geografische coördinaten. Deze locaties moeten eerste worden geprojecteerd in GIS om de bijbehorende RD coördinaten te berekenen.

Door het crosscorreleren van de lijst met schadeadressen met de aardbevingscatalogus kan voor iedere combinatie een afstand worden bepaald. Op basis van de afstand en de bijbehorende Magnitude en diepte van de aardbeving kan via de in paragraaf 4.7.9 en 0 gespecificeerde GMPE's de PGV waarden worden berekend, inclusief de bijbehorende standaardafwijkingen. Op basis van paragraaf 0 kan de PGV waarde worden omgerekend naar VTOP-waarde. Vervolgens kunnen de maximaal berekende waarden voor ieder schadeadres worden bepaald en de aardbeving die deze hoogste waarde gaf. Tevens kan het aantal overschrijdingen op basis van de verschillende SBR toetscriteria worden vastgesteld (zie bijlage II).

Resultaten Versie 0 berekening VTOP

Op basis van de in dit rapport bepaalde methodes en aannames en de hierboven geschetste praktische rekenmethode zijn voor alle schadeadressen de aardbevingsbelastingen berekend op basis van GMPE Versie 0. Het eerste dat opvalt, is dat de M. 3,6 beving van Huizinge van 18 augustus 2012 voor vrijwel alle woningen de maatgevende aardbeving is geweest. Voor elke woning is bovendien een top-5 van meest maatgevende aardbevingen bepaald op basis van de Versie 0 berekeningen. Bij vrijwel elke woning staat de Huizinge beving op nummer 1, maar aardbevingen die minder hoge belastingen te zien gaven, kunnen nogal verschillen. In Tabel 4.14 is een overzicht gegeven van de 5 aardbevingen die op basis van het V0 model de hoogste VTOP-waarden te zien gaven.

Tabel 4.14 Overzicht van de 'top 5' aardbevingen op basis van het V0 model. De rangschikking is op basis van de maximaal berekende VTOP-waarde per beving. en de daarbij behorende afstand tot het epicentrum van deze beving. Deze rangschikking is gegeneraliseerd voor het gehele projectgebied en kan per woning/schademelding verschillen

Nr	M _L	Naam, datum	Hoogste berekende VTOP-mediaan(V0) [mm/s]	Afstand tot epicentrum [km]
1	3,6	Huizinge, 16 augustus 2012	2,59	20,4
2	3,5	Westeremden, 8 augustus 2006	1,51	22,1
3	3,1	Hellum, 30 september 2015	1,16	9,7
4	2,8	Assen, 16 december 1986	0,96	5,7
5	3,4	Roswinkel, 19 februari 1997	0,48	28,0

De hoogst berekende waarde voor de VTOP-mediaan waarde (de 50-percentiel) is 2,59 mm/s. Met een conservatieve toetsing op een bovengrens van 1 x standaardafwijking (de 84-percentiel) is de hoogst berekende waarde voor de VTOP 5,48 mm/s. De hoogste waarden worden gevonden in het noordelijk deel van het projectgebied die het dichtst bij het Huizinge epicentrum liggen.

Resultaten Versie 4 berekening VTOP

Op basis van de in dit rapport bepaalde methodes en aannames en de hierboven geschetste praktische rekenmethode zijn voor alle schadeadressen de aardbevingsbelastingen berekend op basis van GMPE Versie 1. Het eerste dat opvalt, is dat de M. 3,6 beving van Huizinge van 18 augustus 2012 op basis van GMPE Versie 4 net als bij model V0 de meest maatgevende aardbeving is voor het merendeel van de huizen. De M. 3,1 beving van Hellum van 30 september 2015 was echter maatgevend voor ongeveer 1/3 van alle schadeadressen. Dit is het geval voor schademeldingen in het zuiden van het projectgebied. Voor elke woning is bovendien een top-5 van meest maatgevende aardbevingen bepaald op basis van de Versie 4 berekeningen. Bij de meeste woningen staat de Huizinge en Hellum beving op nummer 1. In tabel 4.14 is een overzicht gegeven van de 5 aardbevingen die op basis van het V4 model de hoogste VTOP-waarden te zien gaven. Het is duidelijk te zien dat dit een ander beeld geeft dan de resultaten op basis van Versie 0 (tabel 4.13).

Tabel 4.14 Overzicht van de 'top 5' aardbevingen op basis van het V4 model. De rangschikking is op basis van de maximaal berekende VTOP-waarde per beving en de daarbij behorende afstand tot het epicentrum van deze beving. Deze rangschikking is gegeneraliseerd voor het gehele projectgebied en kan per woning/schademelding verschillen

Nr	M _L	Naam, datum	Hoogste berekende VTOP-mediaan (V4) [mm/s]	Afstand tot epicentrum [km]
1	3,6	Huizinge, 16 augustus 2012	1,66	19,8
2	3,1	Hellum, 30 september 2015	1,38	9,7
3	3,5	Westeremden, 8 augustus 2006	1,10	21,0
4	2,2	Annerveen, 22 september 2000	0,84	0,4
5	2,3	Annen, 16 augustus 1994	0,73	1,3

De hoogst berekende waarde voor de VTOP-mediaan waarde (de 50-percentiel) is 1,66 mm/s. Met een conservatieve toetsing op een bovengrens van 1 x standaardafwijking (de 84-percentiel) is de hoogst berekende waarde voor de VTOP 4,57 mm/s.

4.7.18 Referenties

- 1 Waarts, P.H. (TNO Bouw) en Ostendorf, C.J. (Cauberg-Huygen) (2006). Schade aan gebouwen, Deel A uit de Meet- en beoordelingsrichtlijn: Trillingen. CUR-SBR.
- 2 Dost, B., Caccavale, M., Eck, T. van, en Kraaijpoel, D. (2013). Report on the expected PGV and PGA values for induced earthquakes in the Groningen Area (Version 0). KNMI, December 2013. KNMI Report;
- 3 Dost, B., T. Van Eck en H. Haak (2004). Scaling of peak ground acceleration and peak ground velocity recorded in the Netherlands, Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata, 45(3): 153-168.
- 4 Akkar, S., Sandikkaya, M.A. & Bommer, J.J. (2014). Empirical Ground-Motion Models for Point- and extended-Source Crustal Earthquake Scenarios in Europe and the Middle East, Bulletin of Earthquake Engineering. February 2014, 12(1), pp 359-387. DOI 10.1007/s10518-013-9461-4.
- 5 Dost, B. en Spetzler, J. (2015). Probabilistic Seismic Hazard Analysis for Induced Earthquakes in Groningen; Update 2015. KNMI report, October 2015.
- 6 J.J. Bommer, P.J. Stafford, B. Edwards, B. Dost en M. Ntinalexis (2015). Development of GMPE's for Response Spectral Accelerations and for Strong-Motion Durations (Version 1). Eds. Jan van Elk en Dirk Doornhof. Versie 2, 21 Juni 2015.
- 7 J.J. Bommer, B. Dost, B. Edwards, P.J. Stafford, J. van Elk, D. Doornhof en M. Ntinalexis (2016). Developing an Application-Specific Ground-Motion Model for Induced Seismicity, Bull. Seismol. Soc. Am., 106(1).
- 8 NAM (2013). Technical Addendum to the Winningsplan Groningen 2013. Subsidence, Induced Earthquakes and Seismic Hazard Analysis in the Groningen Field. November 2013.

- 9 Julian J Bommer, Bernard Dost, Benjamin Edwards, Pauline P Kruiver, Piet Meijers, Michail Ntinalexis, Barbara Polidoro, Adrian Rodriguez-Marek & Peter J Stafford. (2015). Development of Version 2 GMPs for Response Spectral Accelerations and Significant Durations from Induced Earthquakes in the Groningen Field. Version 2, 29 October 2015.
- 10 Dost, B., van Eck, T. and Haak, H. (2004). Scaling of peak ground acceleration and peak ground velocity recorded in the Netherlands. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata* (2004), Vol. 45, No. 3, pp. 153-168.
- 11 KNMI (2016). Aardbevingscatalogus voor geïnduceerde aardbevingen: Website: http://cdn.knmi.nl/knmi/map/page/seismologie/all_induced.pdf (laatst geraadpleegd: 2 december 2016).
- 12 KNMI (2017). Seismic and acoustic data portal: Website: <http://rdsa.knmi.nl/dataportal/> (laatst geraadpleegd: 3 februari 2017).
- 13 KNMI (2017). The Netherlands Rapid Raw Strong Motion (RRSM) portal: Website: <http://rdsa.knmi.nl/opencms/nl-rrsm/> (laatst geraadpleegd: 3 februari 2017).
- 14 IRIS (2017). Data Formats: Website: <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/> (laatst geraadpleegd: 3 februari 2017).
- 15 Beyer, K. and Bommer, J.J. (2006). Relationships between Median Values and Aleatory Variabilities for Different Definitions of the Horizontal Component of Motion. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 96(4). pp. 1512-1522.
- 16 Dinoloket (2016). Data and information of the Dutch subsurface. Website: <https://www.dinoloket.nl/>
- 17 Kruiver, P.P., G. de Lange, A. Wiersma, P. Meijers, M. Korff, J. Peeters, J. Stafleu, R. Harting, R. Dambrink, F. Busschers, J. Gunnink (2015). Geological schematisation of the shallow subsurface of Groningen - For site response to earthquakes for the Groningen gas field. *Deltares Report No. 1209862-005-GEO-0004-v5-r*, 16 Maart 2015.
- 18 NEN-EN 1998-1:2005 en (2005). Eurocode 8 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen.
- 19 NPR 9998. Praktijkrichtlijn NPR 9998 Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: Geïnduceerde aardbevingen. Versie 1 - 2014/2015.
- 20 NPR 9998. Praktijkrichtlijn NPR 9998 Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren - Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: Geïnduceerde aardbevingen. Versie 2 - 2015/2016.
- 21 Dost, B., Edwards, B. and Bommer, J.J. (2016) Local and Moment Magnitudes in the Groningen Field. 4 March 2016.
- 22 NAM (2017). Summary of Groningen V4 Ground-Motion Model. Niet gepubliceerd rapport.
- 23 Kruiver, P.P., van Dedem, E., Romijn, R., de Lange, G., Korff, M., Stafleu, J., Rodriguez-Marek, A., van Elk, J. & Doornhof, D. (2017). An integrated shear-wave velocity model for the Groningen gas field. *Bulletin of Earthquake Engineering*. doi: 10.1007/s10518-017-0105-y.
- 24 TNO (2016). Monitoringsnetwerk gebouwtrillingen - Analyse aardbevingen in 2014 en 2015. Dit is de vertaling van rapport TNO 2016 R11323/A. 12 december 2016.

4.8 Bouwactiviteiten

4.8.1 Doel

Bouwactiviteiten zoals heien, intrillen van damwanden, het uitgraven of ophogen van het maaiveld kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de bouwactiviteit. Om bouwactiviteiten als mogelijke schadeoorzaak te kunnen falsificeren of te kunnen verifiëren moet informatie over bouwactiviteiten worden verzameld.

4.8.2 Methode

We hebben per woning informatie verzameld met betrekking tot bouwactiviteiten in de omgeving. Hierbij is gebruik gemaakt van drie bronnen:

- informatie van de bewoner: de inspecteur vraagt aan de bewoner welke bouwactiviteiten in de omgeving hebben plaatsgevonden binnen 100 m, 20 m en direct aan het gebouw zelf;

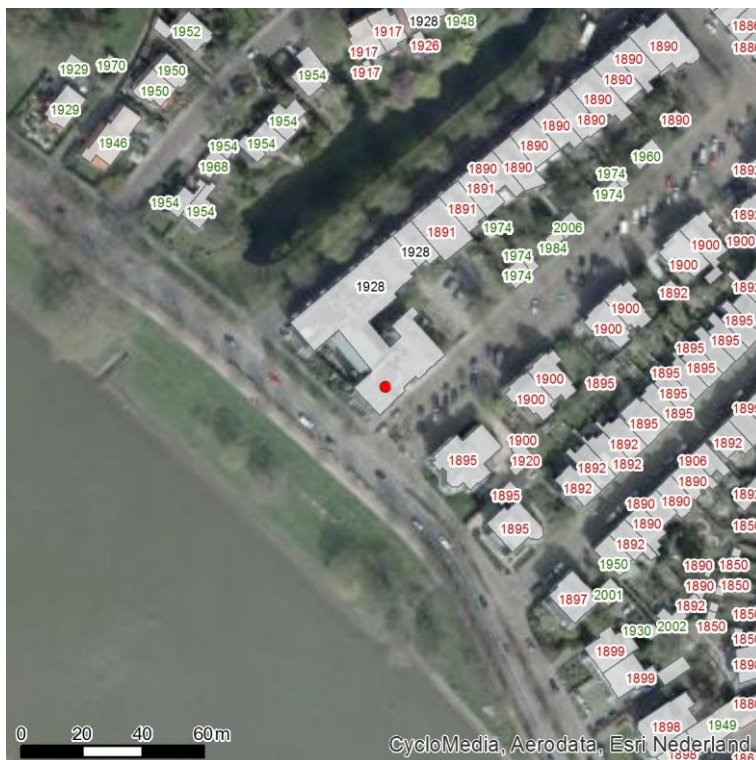
- BAG informatie: deze informatie maakt inzichtelijk welke omliggende gebouwen later zijn gerealiseerd dan het gebouw waarin schade is geconstateerd;
- jaarlijkse luchtfoto's van elk gebouw voor de periode 2011-2015. Deze luchtfoto's maken eventuele wijzigingen aan het gebouw en rondom het gebouw inzichtelijk (bijvoorbeeld als er een gebouw in de omgeving gesloopt is);
- CUR166: op basis van rekenformules uit de CUR166 is te bepalen wat voor trillingniveaus er kunnen worden verwacht op welke afstand van bouwwerkzaamheden.

4.8.3 Resultaat

De resultaten bestaan uit een overzicht van bouwactiviteiten in de omgeving van de woningen, de bouwjaren van de woning en omliggende woningen en luchtfoto's. Deze informatie is vastgelegd in een GIS-systeem en in afbeeldingen:

- inspectieresultaten met een omschrijving van eventuele bouwwerkzaamheden in de omgeving;
- een afbeelding per woning met de bouwjaren van de omliggende bebouwing. In afbeelding 4.113 is de woning met de rode stip het te onderzoeken object. De kleuren van de bouwjaren hebben de volgende betekenis:
 - zwart: gelijk bouwjaar;
 - rood: later gerealiseerd;
 - groen: eerder gerealiseerd;
- van elke woning is een jaarlijkse luchtfoto beschikbaar voor de periode 2011-2015. In afbeelding 4.113 is de woning met de rode stip het te onderzoeken object;
- waarden voor verschillende trillingsbronnen van bouwactiviteiten op basis van CUR166.

Afbeelding 4.116 Luchtfoto met bouwjaren van (omliggende) woningen



Afbeelding 4.117 Luchtfoto



4.9 Bouwactiviteiten rondom UGS Norg

4.9.1 Doel

De bewoners rondom UGS Norg hebben aangegeven dat er mogelijk schade kan zijn ontstaan door bouwactiviteiten die te maken hebben met de aanleg en uitbreiding van de locatie UGS Norg nabij het dorp Langelo. Ter beoordeling van deze schadekans is een trillingspredictie opgesteld alsmede de route van het bouwverkeer beoordeeld.

4.9.2 Methode

In de analyse is gebruik gemaakt van GEOTop model, ter beoordeling van mogelijke bodemweerstand tijdens het inbrengen van elementen. Ook is de geometrie van de bouwlocatie en omliggende panden geïnventariseerd in combinatie met de transportroute die destijds is gebruikt tijdens de bouw. Een trillingsprognose wordt gemaakt, gebaseerd op de zogenaamde Barkan formule, volgens CUR166. De prognose is opgesteld voor maatgevende activiteiten, te weten het heien van prefab betonpalen en het intrillen op maximale energie van stalen elementen. Het heien van stalen elementen is niet maatgevend t.o.v. heien van betonpalen, gegeven de hogere optredende frequentie in de bodem tijdens het inbrengen van stalen elementen.

4.9.3 Bouwactiviteiten

In onderstaand overzicht zijn de relevante bouwactiviteiten opgesomd:

24 juni 2013	geheid op well site cluster 3
18 april 2013	1 paal (3 m) geheid
08 oktober tot 9 oktober 2013	4 stalen buispalen geheid
Van 4 tot 18 oktober 2013	89 betonpalen geheid

17 december 2013 tot 8 januari 2014	diverse hei werkzaamheden
31 maart tot 2 april 2014	damwanden geheid
3 tot 10 april 2014	conductors pijpen putten Norg 41 en 43 geheid
16 en 17 april 2014	6 buispalen geheid
23 september tot 4 oktober 2014	22 buispalen geheid
april 2013 tot juni 2014	Aanleg NorGron leiding (van Hoogezand naar Norg)

4.9.4 Resultaat

Trillingen door boren van putten

Ten aanzien van de boorputten geldt dat deze in hoofdzaak al enige tijd geleden zijn uitgevoerd. De database van Nlog geeft aan dat deze vanaf eind jaren '70 zijn geboord waarvan de laatste in januari 2014 (zie ook paragraaf 4.4.3). De vibraties tijdens het boren zijn in de regel niet groot te noemen, de techniek wordt in binnenstedelijke civiele werken juist ingezet als trillingsarme methode. Zeker gezien de diepte waar geboord wordt. Een trillingsanalyse is voor deze techniek dan ook niet relevant. Normaal gesproken wordt tijdens het boorproces alleen overlast ervaren door geluid en licht (door het continue 24-uurs proces).

Trillingspredicties door heien van betonpalen

Vanuit een worst case benadering wordt uitgegaan van een bouwproces waarin op de locatie trillingen ontstaan door het inbrengen van funderingselementen door middel van heien. Op basis van de zogenaamde Barkan formule, volgens CUR166 [1], is een trillingsprognose gemaakt. Hierbij is een inschatting gemaakt van de benodigde bodemversnelling om de elementen te kunnen installeren. Hierbij is uitgegaan van het maatgevende heien van prefab beton palen. In het geval van heien van prefab palen is uitgegaan van een bron van 10 Hz, 0,1 g, reikwijdte 1 m.

Uit de prognose blijkt dat op een afstand van 30 m van de paal aan de SBR Richtlijn voor panden categorie 3 in geval van heien van prefab betonpalen aan de richtlijn wordt voldaan. De veilige contour voor dit proces wordt daarmee gesteld op 30 m. op basis van de SBR richtlijn (zie afbeelding 4.102). De afstand tot de belendingen is aanmerkelijk groter, enkele honderden meters, waarmee dit aspect als schade aspect niet aannemelijk wordt geacht.

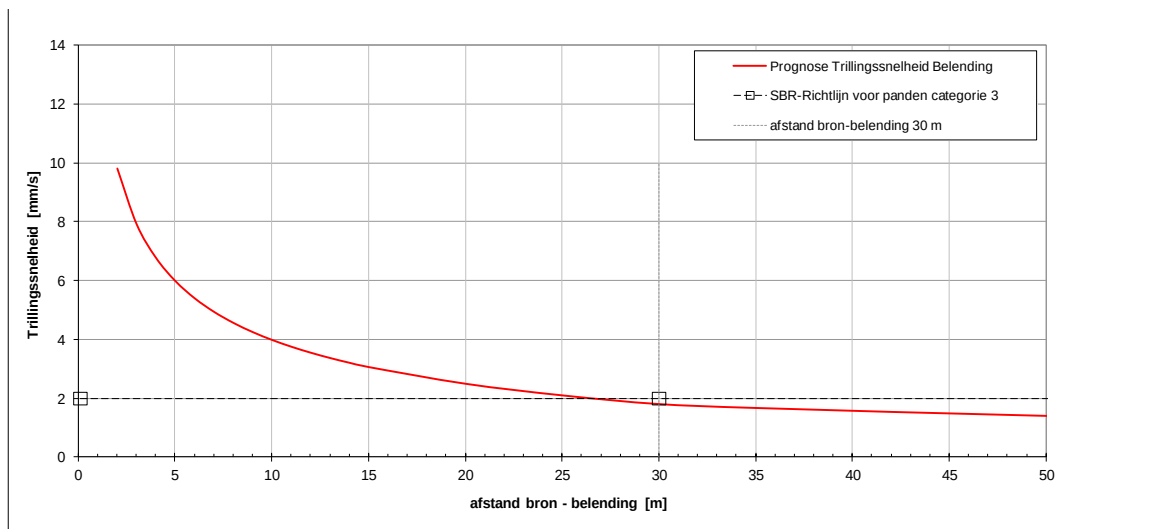
Trillingspredicties door trillen van stalen elementen

Wederom vanuit een worst case benadering is een trillingsprognose van damplanken trillen opgesteld. Daarbij is uitgegaan van een bronversnelling van 0,3 g bij 30 Hz. De reikwijdte van de bron is aangehouden op 1 m. Uit de prognose blijkt een veilige contour 15 m op basis van de SBR richtlijn (zie afbeelding 4.103). De afstand tot de belendingen is aanmerkelijk groter, enkele honderden meters, waarmee dit aspect als schade aspect niet aannemelijk wordt geacht.

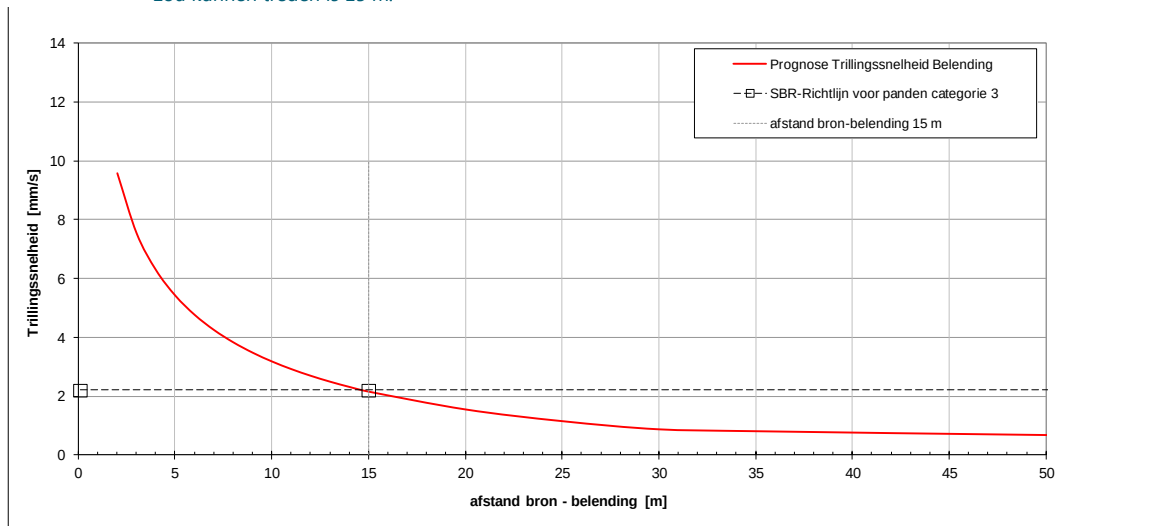
Bouwverkeer

Op basis de aangeleverde documentatie is het bouwverkeer via de N373 richting het noorden gereden en niet door de dorpskern van Langelo (zie ook afbeelding 4.24 in paragraaf 4.4). De rijsnelheid is niet nader vast te stellen, afgezien van het vaststellen van de geldende maximum snelheid over het traject, evenals een eventuele afwijking van de route van het bouwverkeer. Op basis van deze aspecten kan schade door verkeerstrillingen niet worden uitgesloten. Aandacht dient met name uit te gaan naar panden op minder dan 10 m afstand van de weg, waarbij oneffenheden of drempels in het wegdek extra aandacht behoeven. Mogelijke schade ten gevolge van trillingen door wegverkeer en ander bronnen worden verder besproken in paragraaf 4.11.

Afbeelding 4.118 Trillingsprognose door het heien van prefab betonnen palen, volgens CUR166 [1]. Het invloedsgebied waar schade op zou kunnen treden is 30 m.



Afbeelding 4.119 Trillingsprognose door het intrillen van damwanden, volgens CUR166 [1]. Het invloedsgebied waar schade op zou kunnen treden is 15 m.



4.9.5 Referenties

- 1 CUR166 - Damwandconstructies - 4^e druk, oktober 2005.

4.10 Industriële activiteiten

4.10.1 Doel

Industriële activiteiten in een gebouw of in de omgeving ervan kunnen leiden tot schade aan gebouwen. Onder industriële activiteiten wordt in dit geval verstaan: activiteiten die trillingen veroorzaken en/of de bodem beïnvloeden. Onder deze activiteiten worden ook de mijnbouwactiviteiten verstaan. Om industriële activiteiten als mogelijke schadeoorzaak te kunnen falsificeren of te kunnen verifiëren moet informatie over industriële activiteiten worden verzameld.

4.10.2 Methode

Per woning is informatie verzameld met betrekking tot industriële activiteiten in de omgeving of in het gebouw. Hierbij is gebruik gemaakt van twee bronnen:

- informatie van de bewoner: de inspecteur vraagt aan de bewoner of er trillingen worden gevoeld door industriële activiteiten;
- jaarlijkse luchtfoto's van elk gebouw voor de periode 2011-2015.

4.10.3 Resultaat

De resultaten bestaan uit een overzicht van industriële activiteiten in de omgeving van de woningen en luchtfoto's. Deze informatie is vastgelegd in een GIS-systeem en in afbeeldingen:

- inspectieresultaten met een omschrijving van eventuele industriële activiteiten in de omgeving;
- van elke woning is een jaarlijkse luchtfoto beschikbaar voor de periode 2011-2015.

4.11 Achtergrondruis

4.11.1 Doel

In dit onderzoek naar achtergrondruis wordt onderzocht of door middel van heartbeatdata een beeld verkregen kan worden van het achtergrondtrillingsniveau (anders dan aardbevingen) waaraan een pand wordt blootgesteld.

4.11.2 Methode

Beschikbare meetdata en informatie

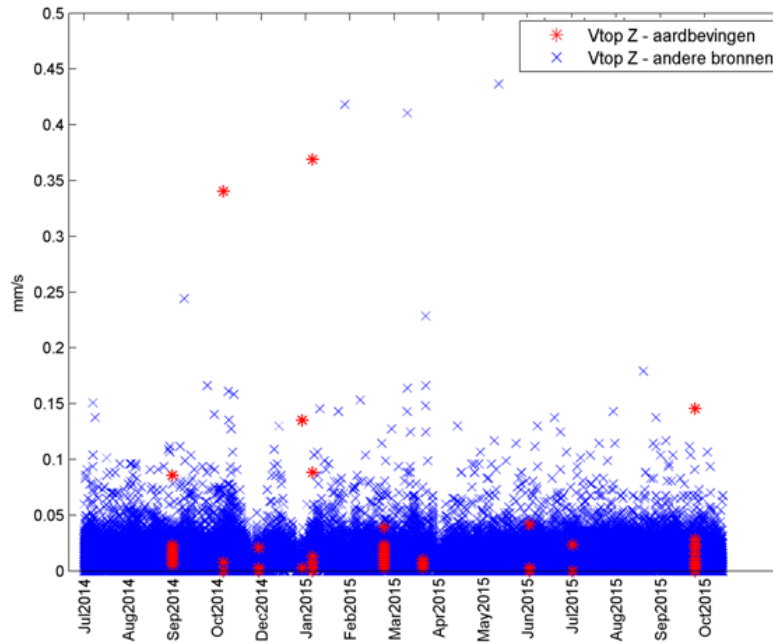
Door de NAM is TNO sensordata beschikbaar gesteld aan Witteveen+Bos. De data is afkomstig van 350 meetwoningen, waaraan in de loop van de tijd is gemeten. De beschikbare meetdata beslaat een tijdsvenster welke varieert per woning en afhankelijk is van de datum van installeren. De data bestaat uit een tweetal sets, namelijk:

- eventdata: per woning is boven een ingestelde drempelwaarde (meestal 1 mm/s) het meetsignaal in alle drie de richtingen met hoge sampledichtheid opgeslagen. Dit resulteert in een dataset per woning welke sterk varieert afhankelijk van hoe vaak events optreden met een trillingsniveau boven de 1 mm/s alsook sinds wanneer de meetsensor is geïnstalleerd;
- heartbeatdata: elke minuut is het gemeten VTOP-niveau in drie richtingen opgeslagen. Middels de heartbeatdata wordt gecontroleerd of de meter nog goed werkt. De heartbeatdata geeft ook de mogelijkheid om een indruk te krijgen wat gedurende een bepaalde periode voor achtergrondtrillingsniveaus optraden.

Meetdata

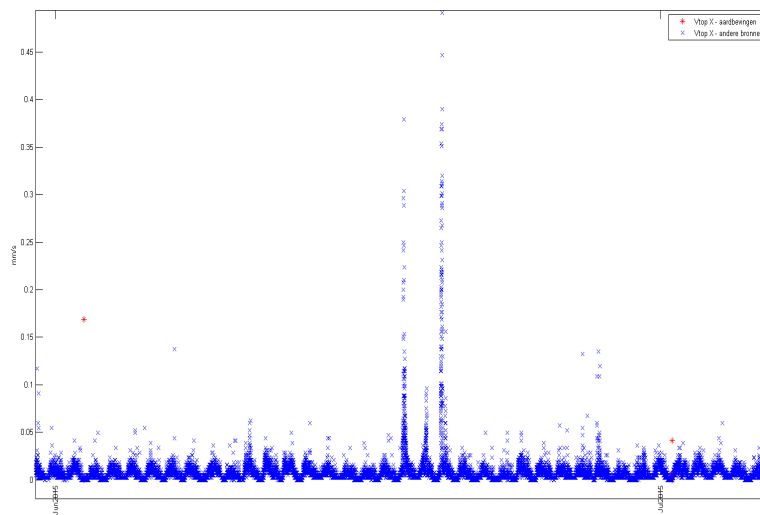
De beschikbare heartbeatdata geeft per woning het opgeslagen VTOP-niveau per minuut weer in de drie afzonderlijk richtingen. Afbeelding 4.120 geeft een voorbeeld van heartbeatdata van een pand in verticale richting gemeten in de periode juli 2014 - oktober 2015. In de verwerking van de heartbeatdata zijn de momenten waarop aardbevingen zijn opgetreden uit de data gefilterd. Hierbij is een tijdsvenster van 1 minuut voor het optreden van de aardbeving tot vijf minuten na het optreden van de aardbeving uit de data gefilterd. Met rode sterren zijn de niveaus ten tijde van de aardbevingstijdsvensters weergegeven.

Afbeelding 4.120 Voorbeeld beschikbare Heartbeatdata van een willekeurig pand



Wordt nader ingezoomd op een specifieke maand dan wordt vaak een verschil in niveaus tussen dag en nacht gevonden. Afbeelding 4.121 geeft dit patroon weer. In de afbeelding zijn enkele dagen met relatief hoge niveaus te zien. Dit wordt vaker teruggevonden.

Afbeelding 4.121 Patroon dag-nacht-ritme in heartbeatdata



Uit een globaal beeld van de heartbeatdata valt een aantal zaken op:

- in veel bestanden zijn een aantal hoge waarden gemeten, dit heeft te maken met stoten tegen de sensor vaak ten tijde van het plaatsen, maar soms ook op andere momenten;
- in de heartbeatdata zijn veel nullen aanwezig: er zijn altijd wel momenten op de dag dat er in het geheel geen trillingen optreden;
- er is vaak duidelijk een dag-nacht-ritme terug te vinden;
- enkel het VTOP-niveau in drie richtingen zijn opgeslagen en niet bijvoorbeeld de bijbehorende dominante frequentie. Dit maakt het niet mogelijk onderscheid te maken in verschillende bronnen.

Sensoren en plaatsing

De sensoren van het TNO meetnetwerk zijn waar mogelijk geplaatst aan een stijf punt aan de fundering van het pand (conform de SBR richtlijn deel A). Bij een aantal panden is hier vanuit praktische redenen echter van afgeweken. Dit betekent dat er niet vanuit kan worden gegaan dat alle sensoren enkel de beweging van de fundering van de panden meet. Invloed van bijvoorbeeld minder stijve muurdelen waaraan sensoren zijn bevestigd maken dat voor sommige panden de meetdata niet enkel de beweging van de fundering weergeeft, maar mogelijk ook de beweging van muurdelen of andere constructieonderdelen. In de beoordeling van de resultaten dient hier rekening mee te worden gehouden.

Aanpak analyse

Uit het vorige hoofdstuk blijkt dat de heartbeatdata een duidelijk dag-nacht-ritme toont. Ook blijkt dat per etmaal er veel nulwaarden optreden. Om een beeld te krijgen van het gemiddelde gemeten trillingsniveau en het te verwachten gemiddelde trillingsniveau (van bronnen anders dan aardbevingen) is onderstaande aanpak gehanteerd. In deze aanpak is gezocht naar een wijze waarop een beeld wordt verkregen zonder dat de nulwaarden het beeld domineren:

1. per woning is per etmaal een maximaal gemeten VTOP-niveau bepaald (maximum van drie richtingen samen);
2. over een heel jaar is een verdeling van de gemeten maximum VTOP-niveaus per etmaal bepaald;
3. de verdeling per pand is benaderd met een lognormale verdeling. Er is gekozen voor een benadering met een lognormale verdeling omdat de verdeling van gemeten etmaalmaxima een lognormale vorm vertonen en met de lognormale verdeling een verwachtingswaarde afhankelijk van het gekozen percentage boven- dan wel ondergrens kan worden bepaald;
4. welk te hanteren percentage een goede indruk geeft wat een pand als gevolg van bronnen anders dan stoten tegen de sensor en andere stoortrillingen aan maximale VTOP-niveaus ondervindt is nader onderzocht middels de eventdata met hoge sampledichtheid;
5. nadat voor ieder pand een 97 % waarde is bepaald, is een verdeling gemaakt van die 97 % waarde over alle panden. Hiermee volgt een beeld wat gemiddeld voor een pand wordt verwacht.

Omdat het beschikbare tijdsvenster waarin heartbeatdata beschikbaar is varieert en er juist een constant tijdsvenster is gewenst om onderling goed te kunnen vergelijken, is er voor gekozen om voor alle panden een tijdsvenster van een jaar aan te houden¹.

Aannames

Aan de aanpak liggen de volgende aannames ten grondslag:

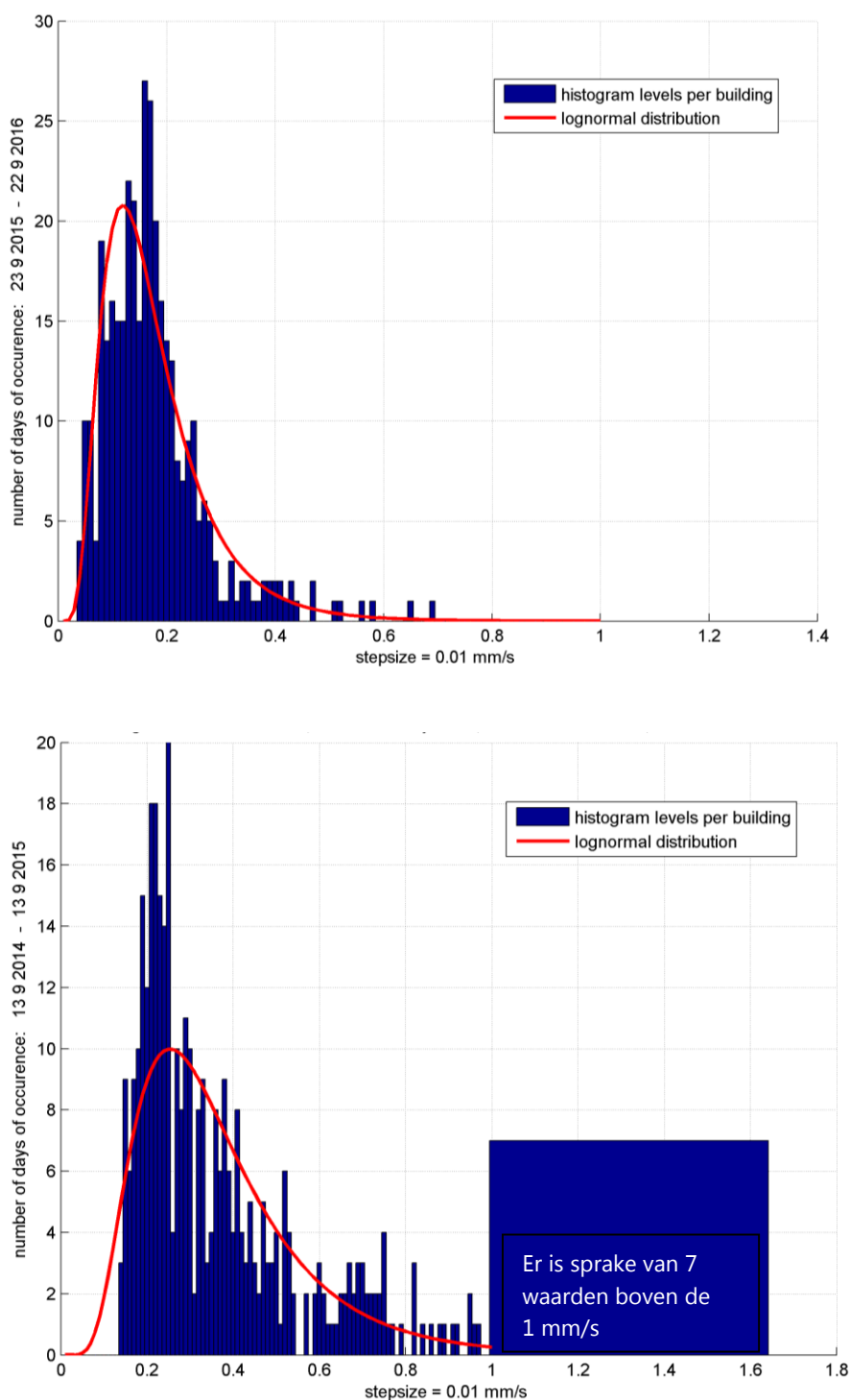
- het feit dat sommige sensoren niet direct aan de fundering zijn bevestigd heeft een beperkte invloed op het gemiddelde van alle sensorwoningen;
- wanneer trillingsniveaus door een sensor zijn geregistreerd, kan het gaan om (1) stoortrillingen door bijvoorbeeld het stoten tegen de sensor. Deze niveaus zijn er uitgefilterd middels de bepaling van een bovengrensperscentage op basis van nader onderzoek van de eventdata. Daarnaast kan het gaan om (2) interne bronnen welke als gevolg hebben gehad dat de fundering is gaan trillen, of kan het gaan om (3) externe bronnen welke eveneens als gevolg hebben gehad dat de fundering is gaan trillen. Tussen deze laatste twee is vaak moeilijk onderscheid te maken en beide komen voor in de heartbeatdata. Naar verwachting zijn daarom beide ook aanwezig in de gebruikte datasets waardoor de berekende verwachtingswaarden van achtergrondniveaus zowel interne als externe trillingen betreffen;
- de stoortrillingen tonen een karakteristiek signaal (stoot tegen de sensor) waardoor op basis van de eventdata een indruk verkregen kan worden welk percentage van de maximale trillingsniveaus per etmaal over een jaar het gevolg is van deze stoortrillingen.

¹ Voor enkele panden is minder dan een jaar meetdata beschikbaar en wordt hier van afgeweken.

Verdeling per pand

De aanpak resulteert in een verdeling per pand van het maximale VTOP-niveau per etmaal over 365 dagen. Afbeelding 4.122 geeft twee voorbeelden van gevonden verdelingen. Uit de afbeelding blijkt dat het ene pand (bovenste verdeling) gemiddeld lagere niveaus kent dan het andere pand. Wanneer naar de verdelingen van alle panden wordt gekeken dan blijkt dat er enkele zeer 'stille' panden tussen zitten maar ook enkele panden waar juist het tegenovergestelde van waar is. De rode lijn in de afbeeldingen geeft de lognormale benadering van de verdelingen weer.

Afbeelding 4.122 Voorbeelden gevonden verdelingen VTOP-niveaus per etmaal over een heel jaar

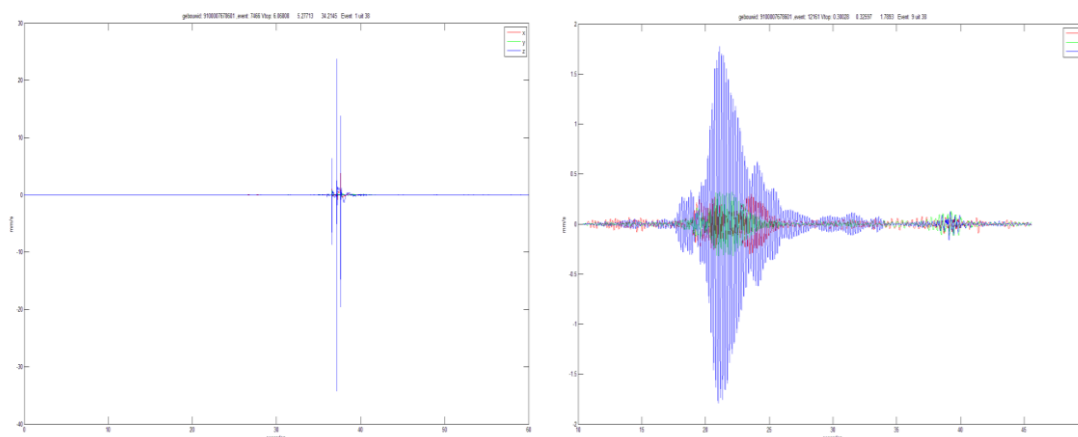


Middels de lognormale verdeling kan worden bepaald wat de verwachtingswaarde is (50 %-waarde) en wat het percentage bovengrenswaarde is. De verwachtingswaarde per pand is de waarde die op een gemiddelde dag optreedt. Er dient een percentage bovengrens te worden bepaald om de vraag te kunnen beantwoorden wat het maximale trillingsniveau per pand over een jaar is. De bovengrens dient zo te worden bepaald dat stoortrillingen die het maximum domineren niet worden meegenomen. Hiertoe is nader naar de eventdata gekeken.

Stoortrillingen

De eventdata betreft hoge sampledichtheidsignalen voor panden waar het maximale trillingsniveau boven de triggerlevel ligt (meestal 1 mm/s). Om een indruk te krijgen per pand wat het percentage topniveaus als gevolg van stoortrillingen is, zijn voor de panden waar eventdata voor beschikbaar is, de hoogste trillingssignalen bekeken. Hierbij is gekeken naar panden waarvoor minimaal 20 events beschikbaar zijn. Door de signalen te rangschikken naar grootte van het maximaal opgetreden trillingsniveau en te bepalen bij welke signalen het naar verwachting om stoortrillingen gaat, is een beeld verkregen hoeveel hoge trillingsniveaus per pand stoortrillingen betreffen. Onderstaande afbeelding geeft een voorbeeld van twee karakteristieke signalen, waarvan de ene een stoot tegen de sensor betreft en de ander het gevolg is van een andere trillingsbron.

Afbeelding 4.123 Voorbeeld event stoot tegen sensor (links) event andere bron (rechts)



Uit analyse van de eventdata blijkt dat bij een groot aantal panden de hoogst gemeten niveaus het gevolg zijn van stoten tegen de sensor of andere stoortrillingen. Het totaal aantal stoortrillingen per pand blijkt echter beperkt. Tabel 4.15 geeft de resultaten weer voor panden waar per pand 20 of meer events beschikbaar zijn.

Tabel 4.15 Aantallen geïdentificeerde stoorevents voor 59 panden

Aantal geïdentificeerde stoorevents	Aantal panden
0	18
0-5	26
5-10	14
10-15*	1
>15	0

* Het werkelijke aantal geïdentificeerde stoorevents bedraagt 11.

Uit de analyse van de eventdata bleek dat voor vier panden het aantal stoorevents meer dan 50 bedroeg. Uit nadere beschouwing van de oorzaken (naar onder andere wat de bewoners als verklaring gaven) bleek dat er uitzonderlijk vaak tegen de sensor was gestoten. Deze vier panden zijn uiteindelijk niet meegenomen in de verdere verwerking van de resultaten om te voorkomen dat de bepaling van achtergrondniveaus hierdoor wordt vertroebeld.

Uit tabel 4.15 blijkt dat het grootste aantal geïdentificeerde stoortrillingen 11 bedraagt. Zouden deze 11 events in hetzelfde jaar zijn opgetreden op afzonderlijke dagen, dan zouden $11/365=0,0301=3\%$ van de dagen niet moeten worden meegenomen. Oftewel, dan geeft een 97 % bovengrens een beeld van het maximaal te verwachten trillingsniveau waaraan een pand onderhevig is aan trillingen anders dan stoortrillingen zoals het stoten tegen de sensor.

Voor de bepaling van de aantallen stoorevents gelden de volgende aandachtspunten:

- in sommige gevallen is het niet te bepalen wanneer een signaal wel of niet een stoortrilling betreft, waardoor een behoorlijke onzekerheid in de aantallen geïdentificeerde stoorevents zit;
- de aantallen zijn bepaald voor de gehele meetperiode en niet voor een enkel jaar. Door uit te gaan van het feit dat de in tabel 4.15 genoemde aantallen per jaar optreden op afzonderlijke dagen, wordt het aantal niet mee te nemen topniveaus overschat;
- om naar verwachting conservatief te zijn is daarom de 97 % verwachtingswaarde van de berekende normaalverdeling van een pand gekozen als een goed beeld van het te verwachten maximale VTOP-niveau als gevolg van achtergrondtrillingsniveaus waaraan een pand in een jaar wordt blootgesteld. Van de overige 3 % dagen wordt verwacht dat deze mogelijk door stoortrillingen worden beïnvloed.

4.11.3 Resultaat

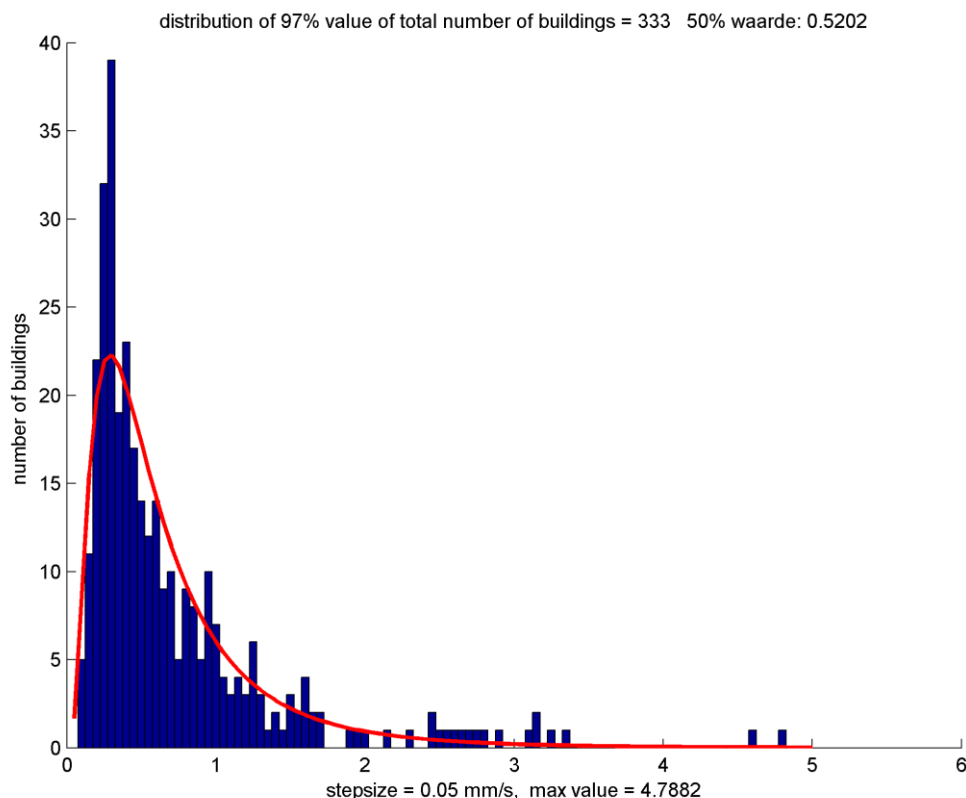
De resultaten zijn onderverdeeld naar generieke resultaten voor alle panden en resultaten waarbij rekening is gehouden met het type pand.

Generieke resultaten voor alle panden

Door voor alle panden de in het vorige hoofdstuk beschreven verdeling van maximale etmaal VTOP-niveaus te bepalen over een heel jaar en van de lognormale verdeling een 97 % waarde te bepalen, volgt opnieuw een verdeling. Deze verdeling betreft de 97 % waarden over alle panden. Afbeelding 4.124 geeft de gevonden verdeling weer.

De verdeling lijkt opnieuw een lognormale verdelingsvorm te tonen. De verdeling is daarom ook met een lognormale verdeling benaderd. Van de lognormale verdeling is vervolgens de verwachtingswaarde (50 % waarde) bepaald. Deze 50 % waarde geeft op basis van de set aan alle panden het maximale verwachte VTOP-niveau over een jaar voor een willekeurig pand weer waarvan wordt verwacht dat dit het gevolg is van achtergrondtrillingen anders dan stoortrillingen (bijvoorbeeld een stoot tegen de sensor).

Afbeelding 4.124 Verdeling over alle panden van 97 % waarde



De verwachtingswaarde van de verdeling uit afbeelding 4.121 over de 97 % waarden per pand bedraagt 0,52. Dit wil dus zeggen dat voor een gemiddeld pand uit de meetdataset wordt verwacht dat gedurende een jaar dit pand een VTOP-niveau als gevolg van achtergrondtrillingen kent van 0,52. Het uitgangspunt hierbij is dat de 97 % waarde van de lognormaalverdelingen per pand voldoende waarborgt dat de invloed van stoortrillingen is uitgesloten dan wel geminimaliseerd. Dit percentage overschat naar verwachting eerder het aantal stoorevents dan dat het onderschat. Om een indruk te krijgen hoe gevoelig de waarde is voor het percentage bovengrens wat wordt gehanteerd, zijn naast de verwachtingswaarde van de 97 % verdeling ook dezelfde verwachtingswaarden van de verdeling van percentages 95 % en 99 % bepaald. In tabel 4.16 worden de resultaten weergegeven.

Tabel 4.16 Gevoeligheid keuze bovengrenswaarde

Percentage bovengrens	Verwachtingswaarde (50 % waarde)
verdeling 95 % niveaus	0,460
verdeling 97 % niveaus	0,520
verdeling 99 % niveaus	0,657

Uit de tabel blijkt dat het verschil tussen de verwachtingswaarde van de 95 % en 97 % verdelingen minder groot is dan tussen de 97 % en 99 % verdelingen. Dit is het gevolg van het afnemende asymptotische gedrag van de verdeling. Het eerste verschil bedraagt zo'n 12 %, het tweede verschil zo'n 26 %. Gezien de onzekerheid van het bepaalde percentage van 97 % lijkt het reëel rekening te houden met een onzekerheid in de berekende verwachtingswaarde conform tabel 4.16 van orde 10-20 %.

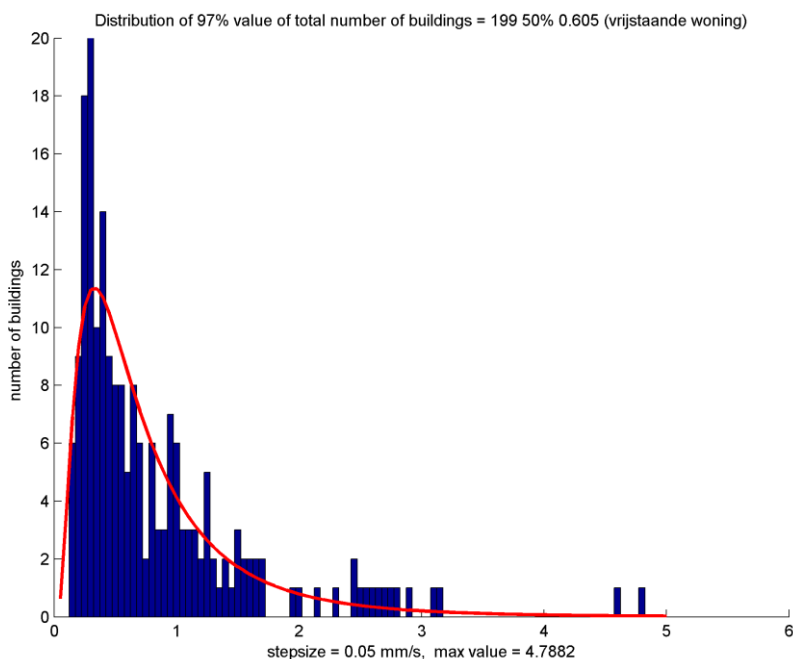
Resultaten onderverdeeld in gebouwtypen

In de generieke resultaten is bij de verwachtingswaarde geen onderscheid gemaakt in type pand, de waarde is namelijk gebaseerd op de verdeling van alle panden. Er wordt echter wel onderscheid verwacht. De reden is dat er veel sensoren geplaatst zijn aan vrijstaande metselwerk panden, maar er zijn ook sensoren geplaatst aan bijvoorbeeld appartementencomplexen en gemeentehuizen. Vanwege het verschil in omvang en massa tussen de verschillende type panden is ook een verschil in trillingsgevoeligheid en optredende trillingsniveaus te verwachten. Er is daarom voor die panden waarvan op basis van beschikbare informatie kon worden bepaald om wat voor type pand het gaat een verfijningslag uitgevoerd. De beschikbare dataset van panden is opgedeeld in de volgende categorie-indeling:

- vrijstaande woningen;
- twee-onder-een-kapwoningen;
- rijtjeshuizen;
- appartementencomplexen;
- overig.

Daarnaast konden 39 panden niet nader worden geïdentificeerd. Per pandcategorie is de verwachtingswaarde van de verdeling van 97 % waarden bepaald. Afbeelding 4.124 geeft de verdeling voor vrijstaande woningen weer. De verwachtingswaarde blijkt 0,605 te bedragen wat enigszins hoger ligt dan de verwachtingswaarde van de verdeling van alle panden (afbeelding 4.124) welke 0,520 bedraagt.

Afbeelding 4.125 Verdeling over vrijstaande woningen van 97 % waarde



In tabel 4.17 zijn de verwachtingswaarden voor alle categorieën weergegeven. De vrijstaande woningen tonen gemiddeld de hoogste achtergrondniveaus. Daarna volgen twee-onder-een-kapwoningen, rijtjeshuizen en appartementencomplexen. Uit deze resultaten blijkt dat naarmate een pand zwaarder en massiever is uitgevoerd, het verwachte achtergrondniveau naar beneden gaat. Dit ligt in lijn met de verwachting omdat de praktijk leert dat vaak een zware massieve fundering en ook massieve bovenbouw veel minder trillingsgevoelig is dan een licht flexibel gebouw. Overigens blijkt ook uit tabel 4.17 dat de grote van het aantal beschikbare panden afneemt met afname van de verwachtingswaarde. Naarmate de dataset kleiner wordt, neemt de betrouwbaarheid van de verwachtingswaarde af.

Tabel 4.17 Overzicht verschillende categorieën panden

Categorie	Aantal panden	Percentage van het totaal	Verwachtingswaarde 97 %
vrijstaande woningen	202	59,9 %	0,605
twee-onder-een-kapwoningen	47	13,9 %	0,455
rijtjeshuizen	31	9,2 %	0,382
appartementen (of vergelijkbaar)	12	3,6 %	0,233
overig (industrie, ...)	6	1,8 %	0,479
niet geïdentificeerd (geen adres beschikbaar)	39	11,6 %	0,467

Uit het onderzoek naar de resultaten van de heartbeatdata blijkt dat elk pand waaraan een TNO sensor is bevestigd aan trillingen onderhevig is. Daarbij is het ene pand 'stiller' dan het andere. Wanneer gekeken wordt naar verschil in type panden valt op dat vrijstaande woningen gemiddeld de hoogste achtergrondniveaus tonen. Daarop volgen twee-onder-een-kapwoningen, rijtjeshuizen en appartementencomplexen. Dit ligt in lijn met de verwachting, omdat met name appartementencomplexen vaak een zware fundering kennen en in totaal ook massief zijn en daardoor minder trillingsgevoelig.

Om tot een getalswaarde te komen die weergeeft waaraan een pand in een jaar als gevolg van achtergrondtrillingen maximaal aan onderhevig is, is middels lognormale verdelingen over de maximale gemeten VTOP-niveaus per etmaal gekeken naar een percentage bovengrensniveau. Uiteindelijk is gekozen voor een bovengrens van 97 %. Hiermee worden de 3 % hoogst gemeten dagen van het jaar (= 12 dagen) niet meegenomen omdat verwacht wordt dat er op deze dagen mogelijk sprake is van stoortrillingen (zoals stoten tegen de sensor).

De 97 %-waarden geven uiteindelijk per pand het maximale trillingsniveau gedurende een jaar ten gevolge van achtergrondtrillingen. Over alle panden gezamenlijk is vervolgens een verwachtingswaarde van dit maximale trillingsniveau (97 % waarde) bepaald. De verwachtingswaarde voor alle panden gezamenlijk bedraagt 0,520. Er is vervolgens onderscheid gemaakt in gebouwtype. Tabel 4.18 geeft de verwachtingswaarde van de 97 % verdelingen van de belangrijkste gebouwtypen weer.

Tabel 4.18 Verwachtingswaarden per type pand voor 97 % topniveau

Type pand	Verwachte 97 % waarde
vrijstaande woning	0,605
twee-onder-eenkap	0,455
rijtjeshuis	0,382
appartementencomplex	0,233

Uit de tabel blijkt dat gemiddeld de fundering van een vrijstaande woningen over een jaar een maximaal achtergrondtrillingsniveau kent van 0,605 mm/s. Voor twee-onder-eenkapwoningen neemt deze waarde af naar 0,455 mm/s en voor rijtjeshuizen en appartementencomplexen neemt deze waarde nog verder af.

Er geldt voor de gevonden uitkomsten dat er sprake is van een mate van onbetrouwbaarheid:

- van niet alle sensoren is zeker dat zij een goed beeld geven van het trillen van de fundering vanwege de gekozen bevestigingslocatie;

- er zit een onzekerheid in de keuze van de 97 % bovengrens waarvan wordt verwacht dat hiermee de invloed van stoortrillingen (stoten tegen sensor) is vermeden;
- voor de onderverdeling in type pand geldt dat de meeste panden vrijstaande woningen betreffen (202), van appartementencomplexen is slechts in 12 gevallen sprake. De betrouwbaarheid van de berekende 97 % waarden is voor appartementencomplexen daarom beperkt en neemt toe voor rijtjeshuizen, twee-onder-eenkapwoningen en vrijstaande woningen (in die volgorde).

Ondanks dat de resultaten onzekerheden kennen, geven de resultaten een goed beeld van de trillingsbelasting als gevolg van achtergrondtrillingen. In geval van beoordeling van schades aan panden waarbij de vraag speelt of een relatief lage trillingsbelasting als gevolg van aardbevingen tot schade kan hebben geleid, dient te worden meegenomen dat er altijd sprake is van achtergrondtrillingsniveaus. De in dit onderzoek bepaalde verwachtingswaarden in tabel 4.18 geven een indicatie van niveaus waar rekening mee gehouden moet worden.

4.12 Bomen

4.12.1 Doel

Bomen in de nabijheid van een gebouw kunnen leiden tot schade aan het gebouw. Wanneer een boom te dicht tegen de gevel staat, kan overbelasting door zware wortelgroei en/of onttrekking van grondwater plaatsvinden. Om de aanwezigheid van bomen als mogelijke schade te kunnen falsificeren of te kunnen verifiëren moet informatie over bomen in de nabijheid van een gebouw worden verzameld.

4.12.2 Methode

Per gebouw is informatie verzameld met betrekking tot bomen in de omgeving. Hierbij is gebruik gemaakt van twee bronnen:

- inspectiebezoek: de inspecteur brengt tijdens de inspectie de aanwezigheid van bomen en de afstand tot de woning in kaart;
- jaarlijkse luchtfoto's van elk gebouw voor de periode 2011-2015, waarin de aanwezigheid van bomen af te lezen is.

4.12.3 Resultaat

De resultaten zijn vastgelegd in:

- inspectierapport: een opname van bomen in de omgeving van het gebouw (grootte van de boom en afstand tot de woning);
- luchtfoto's: van elke woning is een jaarlijkse luchtfoto beschikbaar voor de periode 2011-2015.

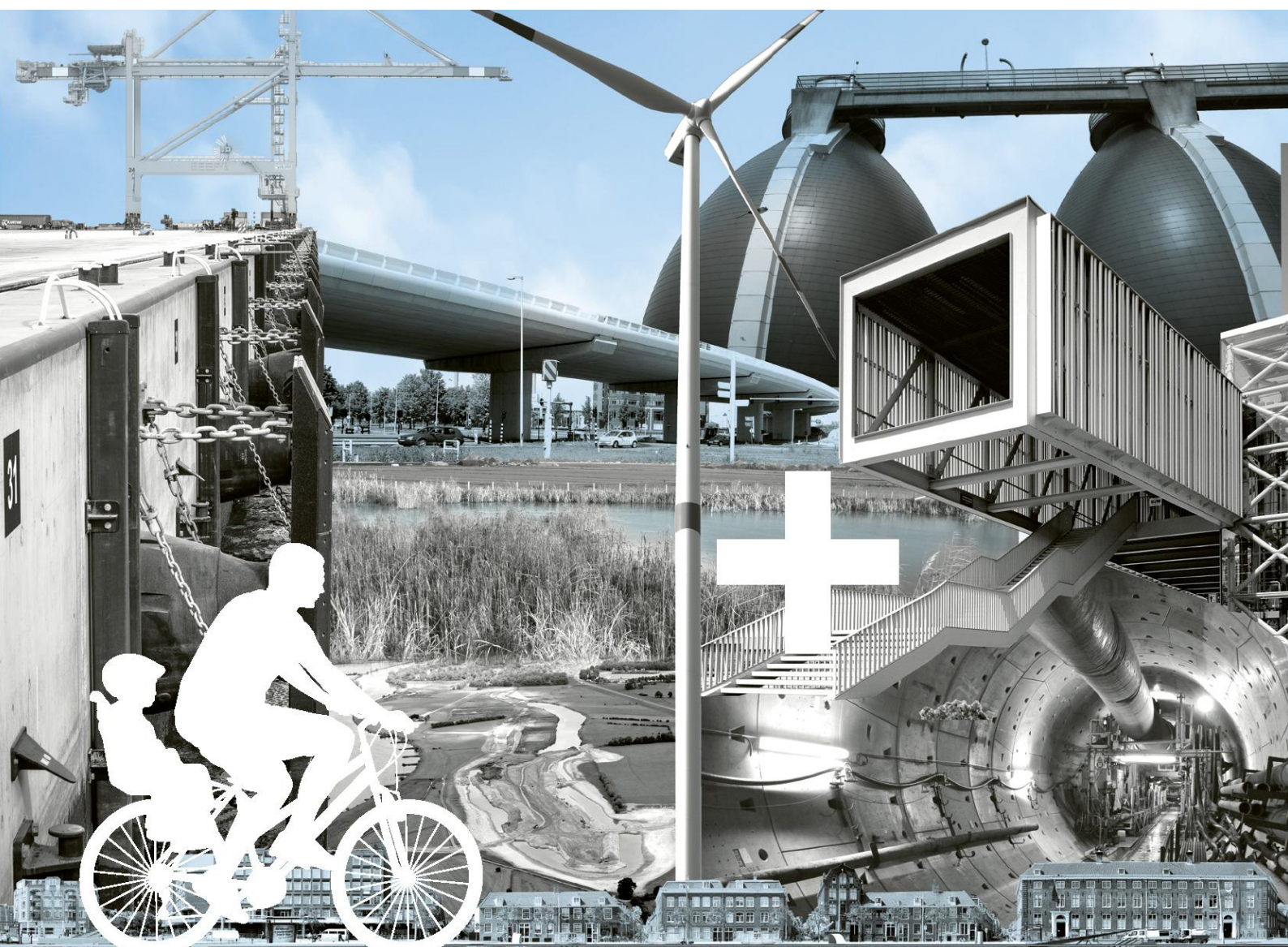
AANBEVELINGEN

In voorgaande hoofdstukken is weergegeven welke informatie verzamelt is (stap 1) om te kunnen beoordelen waardoor schade(s) aan gebouwen in het buitengebied worden veroorzaakt. Omdat niet alle informatie beschikbaar is, zijn een aantal uitgangspunten vastgesteld voor dit onderzoek. In onderstaande opsomming worden aanbevelingen gedaan om de verzamelde informatie verder te verbeteren:

- inspectie van de woning:
 - onderzoeken van mogelijkheden van verdere digitalisering van de opnames door bijvoorbeeld het inzetten van 3D-scans en het automatisch vastleggen van scheurwijdtes en scheurlengtes;
 - het verzamelen informatie uit bouwdoSSIers bij gemeentes;
 - meer informatie over historie van gebouw eerdere registraties;
 - het vastleggen van meer kenmerken van omgevingsinformatie tijdens de inspectie van bomen;
- bureauonderzoek:
 - verkeer:
 - het aantal woningen dat valt binnen het criterium afstand tot een doorgaande 50 km/h weg, is klein. Een groter aantal woningen zou het resultaat betrouwbaarder maken. In dat geval zou aan meer woningen gemeten moeten worden. Een mobiele meetopstelling zou hier uitkomst bieden;
 - hetzelfde geldt ook voor de invloed van drempels. Een mobiele meetopstelling waarbij op verschillende afstanden van een drempel wordt gemeten bij dezelfde voertuigpassage zou een beter beeld geven van de invloed van een drempel, daar waar nu met de data geen goede relatie is gevonden;
 - er is in de analyse geen relatie gevonden tussen trillingsniveau en afstand tot spoor. Voor trillingen (met name op maaiveld) leert de ervaring dat deze relatie wel bestaat, maar dat deze afhangt van verscheidene factoren. Een meting op verschillende afstanden tot het spoor zou hier meer inzicht in kunnen geven;
 - er zijn geen meetgegevens beschikbaar van woningen zeer dicht op het spoor (<10 m). Verwacht wordt dat voor dergelijke woningen schade als gevolg van trillingen niet op voorhand kan worden uitgesloten. Met het uitvoeren van metingen op dergelijke korte afstanden van het spoor zou een beter beeld kunnen worden verkregen van mogelijke kans op schade;
 - ondiepe bodemdaling:
 - inmeting pandvervorming: op meerdere posities vaststellen van de verticaliteit (eventueel met een digitale waterpas, smartphone) van het pand;
 - vastlegging herstelde scheuren / herstelde scheurwijdte: nu wordt in het protocol de openstaande scheurwijdte vastgelegd, het is tevens van belang de totale scheurwijdte vast te stellen, dat wil zeggen de herstelde dikte meemeten om zo het inzicht in de totale schade te verkrijgen;
 - trillingsmeting opslingering: in de huidige aanpak is gesteld dat de opslingering zoals die zich kan voordoen aan panden niet groter zal zijn dan de reeds onderkende marge binnen de SBR methodiek. Dat wil zeggen dat een verdiepingsvloer niet maatgevend is ten opzichte van een begane grond meting. Het is in het buitengebied mogelijk een meting te verrichten op begane grond en 1^e verdieping. Grote vraag is wel of zich een trillingsbron voor zal doen in de meetperiode en of de relatie afhankelijk is van de trillingssterkte;
 - in geval van panden met zettingsschade het uitvoeren van (lange termijn) herhalingsmetingen en eventueel plaatsen van scheurwijdte opnemers ter herkenning van zettingssnelheid;

- in geval van panden met zettingsschade: op een aantal bepalende panden een funderingsinspectie en een bodemverkenning;
- in geval van panden met zettingsschade het uitvoeren van een lintvoeg meting op een aantal bepalende panden. Voor een reguliere verslaglegging zou een foto per muurveld in lijn met de voegen genomen kunnen worden of met een aanwijslaser de rechtheid beoordeeld kunnen worden. Mogelijk dat ook een opstelling gemaakt kan worden met twee haaks op elkaar staande lasers of dat de aanwijzlezers afgelezen kunnen worden op hellingshoek;
- bodembeweging door ondergrondse gasopslag UGS Norg:
 - de bodembeweging wordt met GPS zeer nauwkeurig gemeten op één locatie. Het is echter niet duidelijk hoe de bodemdaling zich over het gehele gebied manifesteert. Het is bijvoorbeeld niet uit te sluiten dat er langs de breuken die het Norg reservoir in het westen afbakenen grotere verschillen in bodembeweging te zien geeft dan in het midden van het reservoir waar de GPS meting is uitgevoerd. Deze monitoring zou uitgevoerd kunnen worden met bestaande en toekomstige InSAR data, mits deze een temporele resolutie heeft die voldoende hoog is (een voldoende klein tijdsinterval) om de jaarlijkse fluctuatie te kunnen vastleggen;
 - als er bewegingen langs de breukvlakken optreedt dan zouden deze kunnen resulteren in kleine aardbevingen (microtremors). Deze micro bevingen zullen mogelijk door de in de buurt geplaatste TNO sensors niet gedetecteerd worden. Het is aan te bevelen continue metingen van de 4 KNMI sensoren die in het gebied staan opgesteld aanvullend te analyseren op achtergrondtrillingen;
- grondwater:
 - simulatie van de grondwaterreeksen met het grondwatermodel MIPWA in plaats van peilbuismetingen. Een grondwatermodel rekent in een grid van 25 x 25 m, waardoor voor elke woning een grondwaterreeks kan worden berekend over een periode van circa 15 jaar. Deze methode is betrouwbaarder en consistentere dan alleen uit te gaan van peilbuizen. Doordat een peilbuis soms relatief ver van een woning af lag (honderden meters tot wel 1 km), of doordat er geen peilbuismetingen waren, is gebruik gemaakt van oppervlaktewaterpeilen;
- oppervlaktewater:
 - peilaanpassingen worden door Waterschappen doorgevoerd. Een aanpassing van het peil kan het zettingsgedrag van een fundering beïnvloeden als het bepaalde kritische waarde overschrijdt. De data aangaande peilaanpassingen die door waterschappen worden doorgevoerd is slechts beperkt voorhanden. In delen van Groningen is niet duidelijk welke peilaanpassingen de afgelopen jaren zijn doorgevoerd. Wij bevelen aan een systeem op te zetten dat alle peilen en uitgevoerde peilaanpassingen op een gestructureerde wijze vastlegt en opvraagbaar maakt;
- aardbevingen:
 - gebruik van GMPE Versie 2: In dit onderzoek is GMPE Versie 2 niet gebruikt, alleen Versie 0 en Versie 1. De redenen hiervoor zijn onderbouwd in het rapport. In sommige gevallen (vooral in gebieden met sterk afwijkende ondergrond, bijvoorbeeld gebieden met dikke, slappe kleilagen) kan de berekende aardbevingbelasting op basis van een berekening met Versie 2 sterk afwijken van de berekening op basis van Versie 0 en Versie 1. De belangrijkste randvoorwaarde voor het implementeren van Versie 2 in het buitengebied is de beschikbaarheid van het referentie ondergrondmodel voor het gehele buitengebied;
 - er zijn in deze studie KNMI gegevens gebruikt van de laatste 21 aardbevingen (vanaf 4 september 2013 tot 1 November 2016) met M 2,0 en hoger. Om een volledige dataset te verkrijgen kunnen ook gegevens van meer (oudere) aardbevingen geanalyseerd worden. Hiermee kunnen betrouwbaarder omrekenfactoren (van PGA naar VTOP en van PGA naar PGV) verkregen worden en zijn er voor verificatie van de berekende waarden meer gegevens beschikbaar;
 - uit de KNMI signalen zijn alleen PGA en PGV gegevens verkregen. Ook spectrale acceleraties kunnen uit de data worden gehaald, maar deze vergen aanvullende conversies van de tijdsignalen om (pseudo) acceleratie spectra te genereren. Er kunnen namelijk goede (betere) correlaties te vinden zijn tussen S_a (bij 0.2 seconden) en PGV. Hiermee kunnen betrouwbaarder omrekenmodellen verkregen worden om op basis van GMPE V1 (of V2) PGV waarden te berekenen;
 - bij de M. 2,8 beving van Garmerwolde van 30 september 2014 heeft TNO netwerk uitzonderlijk hoge waarden tot ver van het epicentrum geregistreerd. Het KNMI meetnetwerk heeft deze hoge metingen niet geregistreerd. Dit is een fenomeen dat nader onderzocht dient te worden;

- er kan gekeken worden naar alternatieve schademodelen, bijvoorbeeld fragility curves die vaak PGA als basis hebben. De ontwikkeling van specifieke fragility curves voor gebouwen in Groningen is nog in volle gang. Wellicht kunnen interim resultaten of bestaande (buitenlandse) fragility curves in de tussentijd gebruikt worden als aanvullende toetsing op de SBR deel A;
- achtergrondruis:
 - in de bepaling van achtergrondruis is onderscheid gemaakt in type woningen maar bijvoorbeeld niet in type ondergrond. Dit kan een nader onderscheid geven in het verwachte achtergrondniveau. Ook bijvoorbeeld woningen die op terpen staan kunnen apart geclassificeerd worden;
 - door de hoogste events te bekijken en na te gaan of aan de hand van de signaalkarakteristiek verwacht wordt dat het om een stoortrilling gaat, is een schatting gemaakt hoeveel procent van de hoogste signalen het gevolg zijn van stoortrillingen die niet dienen te worden meegenomen in de bepaling van het achtergrondniveau. Op basis van de resultaten is de 97 % waarde gekozen als te hanteren percentage. Naar verwachting is de 97 % waarde conservatief, waardoor in veel gevallen het hoogst opgetreden trillingsniveau in de woningen als gevolg van achtergrondruis hoger ligt dan nu is bepaald. Aanbevolen wordt nader onderzoek te doen naar het te hanteren percentage;
 - het aantal vrijstaande woningen is groter dan het aantal twee-onder-eenkap en rijtjeshuizen, waardoor de betrouwbaarheid voor vrijstaande woningen het grootst is. Het aantal appartementencomplexen is dermate klein dat het bepaalde achtergrondniveau voor met name appartementencomplexen een beperkte betrouwbaarheid kent. Voor een hogere betrouwbaarheid dienen meer complexen te worden gemeten;
 - de heartbeatdata betreft het opgeslagen maximale trillingsniveau per minuut. De bijbehorende dominante frequentie wordt niet opgeslagen. De dominante frequentie kan meer inzicht geven in de trillingsbron. Aanbevolen wordt de dominante frequentie voortaan ook op te slaan in de heartbeatdata;
- categorisering van gebouwen:
 - gebouwen worden op ingedeeld in drie categorieën op basis van bouwwijze en de staat waarin ze verkeren. Een brede categorisering van gebouwen waar in meer detail wordt ingegaan op de bouwwijze van een gebouw, helpt om inzichtelijke te maken welke schades in welke categorie vaker voorkomen en kan het een beter beeld geven van schadepatronen in bepaalde categorie gebouwen.



Schadeonderzoek Groningen Buitengebied

Bijlage II - Beoordelen van informatie

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

30 maart 2017

Project Schadeonderzoek Groningen Buitengebied
Opdrachtgever Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
Bijlage II - Beoordelen van informatie
Document Bijlage II - Beoordelen van informatie
Status Definitief
Datum 30 maart 2017
Referentie ASN177-12/17-004.736

Opdrachtgever Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.
Projectcode ASN177-12
Projectleider ir. R.P.N. Pater
Projectdirecteur dr.ir. T.A.M. Salet

Auteur(s) ir. M.J.A.M. Bruurs, dr.ir. T.A.M. Salet, MSc, ir. R.P.N. Pater, dr.ir. S. Slob, ir. T.H. van Wee,
ir. E.J. Vlijm, mw. I.H. Phernambucq MSc, ir. S.J. Scheltens, ir.drs. R.E.P. de Nijs,
ing. H.L.M. Laagland
Gecontroleerd door ir. E.J. Vlijm, ir. T.H. van Wee, ing. H.L.M. Laagland, ir.drs. R.E.P. de Nijs,
ir. F. Besseling, mw. ir. I.A.A.C. Mouwen
Goedgekeurd door ir. R.P.N. Pater

Paraaf

RP

Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Beoordelen van informatie, de tweede stap van de PCA	1
1.2	Falsificeren en verifiëren	1
2	FALSIFICATIECRITERIA	2
2.1	Falsificeren van schadeoorzaken	2
2.2	Omgeving: trillingen vanuit de ondergrond	2
2.2.1	SBR-richtlijn deel A: schade als gevolg van trillingen	2
2.2.2	Aardbevingen	8
2.2.3	Bouwactiviteiten	9
2.2.4	Wegverkeer	9
2.2.5	Spoorverkeer	11
2.2.6	Overig	12
2.3	Omgeving: Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond (grondvervorming)	12
2.3.1	Methoden voor het bepalen van schade als gevolg van grondvervorming	12
2.3.2	Autonome zetting	14
2.3.3	Bodemdaling door gaswinning en zoutwinning	15
2.3.4	Grondwater	16
2.3.5	Verweking en verdichting van de grond door aardbevingen	28
2.3.6	Bouwactiviteiten	29
2.3.7	Industriële activiteiten	29
2.3.8	Bomen	30
2.4	Gebouw: interne vervormingen en belastingen	31
2.5	Resultaat falsificatiecriteria	31
3	VERIFICATIECRITERIA	33
3.1	Verifiëren van schadeoorzaken	33
3.2	Overzicht van veelvoorkomende schadebeelden	33
3.3	Onvoldoende stijfheid van de lateiconstructie	34
3.4	Spatkracht vanuit het dak	35
3.5	Onvoldoende stijfheid van de dakconstructie of de fundering ervan	36
3.6	Krimp van bouwmaterialen	37
3.7	Krimp van bouwmaterialen	38
3.8	Doorbuiging van een vrijdragende vloer	39

3.9	Thermische lengtevervorming van de latei	40
3.10	Thermische werking door afkoeling	41
3.11	Thermische werking door opwarming	42
	Scheuren nabij de aansluiting van een dak op een metselwerkbuitengevel en/of nabij onder een hoek op elkaar aansluiten de gevels.	42
3.12	Verschilzetting van de fundering	43
3.13	Verschilzetting als gevolg van een verbouwing/uitbreiding van een gebouw	44
3.14	Verschilzetting tussen fundering gebouw en fundering van de kelder	45
3.15	Verouderd van het voegwerk	46
3.16	Resultaat verificatiecriteria	47
4	PRELIMINAIRE SCHADEOORZAKEN	50
4.1	Overzicht van alle gefalsificeerde schadeoorzaken	50
4.2	Overzicht van alle geverifieerde schadeoorzaken	52
5	AANBEVELINGEN	54
5.1	Aanbevelingen falsificatiecriteria	54
5.2	Aanbevelingen verificatiecriteria	55
	Laatste pagina	55

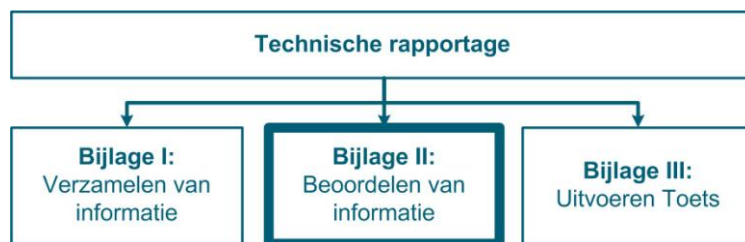
1

INLEIDING

1.1 Beoordelen van informatie, de tweede stap van de PCA

In bijlage I wordt ingegaan op het verzamelen van informatie. Alle beschikbare informatie is vervolgens beoordeeld en gebruikt om tot criteria te komen waarmee een schadeoorzaak wel of niet als mogelijke oorzaak voor een specifiek adres kan worden aangemerkt, de falsificatiecriteria. Voorliggende bijlage beschrijft deze falsificatiecriteria en bespreekt de verschillende mogelijke schadeoorzaken, stap II van de PCA-methodiek (zie afbeelding 1.1).

Afbeelding 1.1 Documentstructuur, bijlage I verzamelen van Informatie



1.2 Falsificeren en verifiëren

Om te beoordelen wat mogelijke schadeoorzaken zijn, wordt falsificatie gebruikt op grond van omgevingskenmerken en gebouwkenmerken. Hierbij wordt van alle potentieel mogelijke schadeoorzaken vastgesteld of de oorzaak een verklaring kan geven van de schade. In dit hoofdstuk wordt de methodiek van mogelijke oorzaken besproken zoals belasting ten gevolge van trillingen, bodemdaling, grondwater, grondverweking of liquifactie door aardbevingen, bouwactiviteiten, industriële activiteiten en bomen. Op basis van discrete informatie (iets komt wel of niet voor) of op basis van een grenswaarde worden mogelijke oorzaken voor schade gereduceerd. Bij gebruik van een grenswaarde zijn uitgangspunten van modellen, modelparameters en interpolatie en extrapolatie van modellen direct van invloed zijn op de beoordeling.

FALSIFICATIECRITERIA

2.1 Falsificeren van schadeoorzaken

Tijdens het falsificatieproces wordt per te beoordelen adres gekeken naar alle mogelijke oorzaken van schade zowel vanuit de omgeving als intern vanuit het gebouw zelf. Op grond van de verzamelde informatie (zie bijlage I) en de in deze bijlage gedefinieerde falsificatiecriteria wordt bepaald welke schadeoorzaken worden gefalsificeerd en welke overblijven als mogelijke oorzaak. Dit hoofdstuk bespreekt per schadeoorzaak de falsificatiecriteria.

2.2 Omgeving: trillingen vanuit de ondergrond

2.2.1 SBR-richtlijn deel A: schade als gevolg van trillingen

Methode: SBR-richtlijn Deel A (schade aan gebouwen)

De SBR-richtlijn Deel A [ref. 1] geeft een procedure voor het meten van trillingen en een procedure voor de beoordeling van de invloed van trillingen met het oog op mogelijke schade aan het bouwwerk of aan onderdelen daarvan. De richtlijn heeft betrekking op alle trillingsbronnen [red.: dus ook aardbevingen] voor zover de daardoor veroorzaakte trillingen in het beschouwde frequentie-interval voorkomen.

Onder schade aan een bouwwerk wordt een verandering van de eigenschappen of van de positie van (een onderdeel van) een bouwwerk verstaan, met één of meer van de volgende gevolgen:

- een verlies van functie, zoals het bezwijken van dragende onderdelen;
- een vermindering van de integriteit van het onderdeel of van het bouwwerk als geheel met betrekking tot zijn dragende functie, waarbij sprake is van een significante vermindering van de veiligheid op de korte of langere termijn (vermindering van de verwachte levensduur);
- een vermindering van de economische waarde of van de gebruikswaarde, zoals bij scheurvorming in afwerkragen of betegeling.

De meet- en beoordelingsrichtlijn is bedoeld om toe te passen op bestaande bouwwerken. De richtlijn kan ook worden gebruikt voor de beoordeling van predicties voor nieuw te bouwen bouwwerken. De meetprocedure kan volgens de richtlijn ook zelfstandig worden gebruikt, in combinatie met een andere beoordelingsprocedure; evenzo kan de beoordeling worden toegepast indien trillingssterkten bijvoorbeeld door middel van berekening zijn verkregen [red: zoals in deze analyse door middel van de GMPE-predictie].

Onderscheid wordt gemaakt in de constructiewijze en in de staat van het bouwwerk. De onderstaande indeling in categorieën van bouwwerken en onderdelen daarvan wordt aangehouden.

Categorie 1:

- in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;
- onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie (bijvoorbeeld scheidingsconstructies), indien deze bestaan uit gewapend beton of hout;

- draagconstructies van bouwwerken, geen gebouw zijnde, die bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke.

Opmerking 1: gebouwen gemaakt uit staal vallen buiten het toepassingsgebied van deze richtlijn. Deze zijn in het algemeen minder kwetsbaar dan gebouwen uit categorie 1.

Categorie 2:

- in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk;
- in goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals scheidingsconstructies die bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brosse steenachtige materialen.

Categorie 3:

- onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde;
- in slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of in slechte staat verkerende onderdelen van gebouwen;
- het bouwwerk kan in een slechte bouwkundige staat verkeren. Er is sprake van een slechte bouwkundige staat als:
 - de sterkte van de draagconstructie in belangrijke mate is verminderd door reeds aanwezige schade;
 - de onderlinge samenhang van onderdelen of de sterkte van verbindingen tussen onderdelen zodanig is, dat deze door trillingen kan bezwijken of in belangrijke mate kan verzwakken;
 - omstandigheden die duiden op een slechte bouwkundige staat zijn bijvoorbeeld: reeds aanwezige scheurvorming, kieren, sterke vervormingen, verzakkingen en scheefstand van een gebouw.

Opmerking 2: onderdelen bestaande uit staal of voorgespannen beton kunnen in categorie 1 worden ingedeeld, waarbij moet worden bedacht dat de mate waarin deze onderdelen tegen de effecten van trillingen bestand zijn aanzienlijk groter is dan de grenswaarden die hierna voor deze categorie zijn gegeven.

Tabel 2.1 Karakteristieke grenswaarde (V_{kar}) voor de gebouwcategorieën in mm/s [ref. 1]. Alleen de grenswaarden voor 0 Hz zijn weergegeven omdat deze samenvalt met de frequentie van de PGV zoals deze hierboven zijn gedefinieerd [ref. 1]

f [Hz]	cat. 1	cat. 2	cat. 3	fund.
0-10	20,00 mm/s	5,00 mm/s	3,00 mm/s	-

Vergelijking 1 Correctie van de karakteristieke waarde op basis van het type trilling

$$V_r = \frac{V_{kar}}{\gamma_t}$$

Waarin:

- V_r = de rekenwaarde van de grenswaarde;
- V_{kar} = de karakteristieke waarde van de grenswaarde volgens;
- γ_t = de partiële veiligheidsfactor die het type trilling in rekening brengt, volgens tabel 2.2.

Tabel 2.2 Partiële veiligheidsfactor γ_t die het type trilling in rekening brengt [ref. 1]

Type trilling	Partiële veiligheidsfactor γ_t
kortdurend	1,0
herhaald kortdurend	1,5
continue	2,5

Opmerking 3: de aardbevingen in Groningen resulteren in het algemeen in een korte puls van normaalgesproken 1 cyclus en in het uiterste geval voor zeer zware bevingen 2 of 3 cycli. De aardbevingen treden niet zeer frequent op en zijn bovendien verspreid over de gehele provincie Groningen en delen van Drenthe. Dit betekent dat het type trillingen die veroorzaakt worden door de aardbevingen kunnen worden geclassificeerd als (incidenteel) kortdurende trilling. Een verdere onderbouwing hiervan is opgenomen in paragraaf 3.2.

Opmerking 4: normaal gesproken gaat de SBR richtlijn uit van een trillingsmeting gedaan in een gebouw (bijvoorbeeld aan de fundering). Een indicatieve meting wordt volgens de SBR richtlijn uitgevoerd in een stijf punt van de draagconstructie op de begane grond van een gebouw (bijvoorbeeld in de hoek van een gebouw dichtbij of aan de fundering). De PGV-waarden die worden berekend aan de hand van de GMPE's zijn representatief voor de pieksnelheid aan maaiveld, dus niet in de woning. De trilling vanaf het maaiveld wordt meestal voor een deel opgenomen door de constructie van de woning of gebouw, dus zullen trillingsmetingen (aan de fundering) van het gebouw meestal kleiner zijn dan dezelfde trilling gemeten op maaiveld. Het gebruik van de berekende maaiveld waarde is in de regel dus een conservatief uitgangspunt. Bij aardbevingen speelt dit mogelijk een minder grote rol, omdat de golflengtes van aardbevingstrillingen in de regel vele malen groter zijn dan normale trillingen die bijvoorbeeld veroorzaakt worden door heien of treinverkeer. Bij aardbevingen zijn de maaiveldwaarden van de PGV daarom een goede representatie van de verwachte PGV op de fundering.

Rekening houden met verergering van de schade

Het bouwwerk en de onderdelen ervan worden op basis van de SBR schadecategorieën geclassificeerd. Onderdelen van het bouwwerk met hierin oude constructieve schade worden, indien dat mogelijk is, één categorie strenger geclassificeerd dan het bouwwerk zelf. Hiermee wordt rekening gehouden met de mogelijkheid dat een oude schade gevoeliger is voor verergering door trillingen dan een nieuwe schade of onderdelen zonder schade.

Het classificeren van een oude constructieve schade in een strengere SBR categorie heeft tot gevolg dat de aan te houden karakteristieke waarde van de grenswaarde uit tabel 6 van de SBR lager is dan die voor het bouwwerk zelf. Als een berekende optredende trilling voor een bouwwerk de grenswaarde voor het betreffende onderdeel overschrijdt, dan is volgens de SBR de kans groter dan 1 % dat de schade is verergerd door de trilling. Een dergelijke schade wordt aangemerkt als 'schade die mogelijk is verergerd door een trilling'.

Reductiefactor SBR, trillingsbron

In de SBR richtlijn A wordt onderkend dat naast frequentie van de trilling ook het aantal excitaties een rol speelt in de kans van het optreden van schade. De kans op vermoeiing en degradatie wordt middels een factor op de grenswaarde meegenomen in de beoordeling. In de richtlijn wordt echter niet gerekend met een exact aantal excitaties, maar met een omschrijving van de trillingsbron vanuit de civiele werken. In hoofdzaak wordt in de SBR richtlijn A het overzicht aangehouden zoals gepresenteerd in tabel 2.3.

Tabel 2.3 Grenswaarden SBR richtlijn A

Bron	Omschrijving	Factor	Grenswaarde cat 2	Grenswaarde cat 3
incidenteel	explosie, sloop etc.	1	5,0 mm/s	3,0 mm/s
herhaald kortdurend	palen heien, verkeer	1,5	3,3 mm/s	2,0 mm/s
continue trilling (resonantie)	trilhamer	2,5	2,0 mm/s	1,2 mm/s

In de beoordeling van aardbevingsschade op basis van SBR richtlijn A ontstaat een onduidelijke situatie wanneer sprake is van een serie bevingen met meerdere cycli per beving. De vraag die voor ligt, is wanneer de aard en het aantal van excitaties een vermoeiingseffect en degradatie tot gevolg heeft. Dit doet de schadekans toenemen en daarmee de noodzaak tot toetsing met een strenger criterium (herhaald kortdurend).

Schatting aantal cycli

Om inzicht te krijgen in het aantal cycli die ten grondslag liggen aan de specifieke factoren per trillingsbron worden de omschrijvingen op basis van ervaring nader gekwantificeerd. Gedacht wordt aan een ondergrens en een bovengrens van het aantal bijbehorende cycli. Omdat de incidentele bron de grootste onduidelijkheid betreft wordt er gestart met de herhaald kortdurende en de continue trilling, om vanuit deze twee categorieën een basis te vinden voor kwantificering van een incidentele bron.

Herhaald kortdurend

In het geval van een herhaalde, kortdurende trilling kan er gedacht worden aan heien. Wanneer uitgegaan wordt van het heien van een enkele paal nabij een belending zal zich al snel een situatie voordoen dat een prefab betonpaal meer dan 250 maatgevende klappen te verduren krijgt voordat het vereiste inheinniveau is bereikt. De heiklap is uitgedempt binnen een halve seconde, voordat de volgende klap wordt gegeven. Dit brengt per klap bij een frequentie van 10 Hz (heien prefab beton) al snel twee significante cycli. Als ondergrens wordt daarom gedacht aan 500 wisselingen. Als bovengrens wordt uitgegaan van zwaarder, langduriger heiwerk (500 klappen per paal), waarbij circa vijf palen zich binnen een maatgevende afstand bevinden. Dit brengt als bovengrens 5.000 wisselingen voor heitrillingen opgelegd aan belendingen.

De SBR richtlijn A schrijft onder punt 10.2.3 voor verkeerstrillingen in beginsel volgens herhaald kortdurend te beoordelen. Onder de passage wordt nog wel opgemerkt dat verkeerstrillingen (weg- en railverkeer) zowel continu als herhaald kortdurend kan zijn. Van belang is of er resonanties kunnen optreden. Bij bijvoorbeeld een lange goederentrein of een continue verkeersstroom van vrachtwagens kan dit het geval zijn. Gegeven de situatie in Groningen wordt in de standaard beoordeling van verkeerstrillingen niet uitgegaan van een continue verkeersstroom van vrachtwagens. Met deze keuze wordt niet uitgesloten dat zich in enkele specifieke gevallen een intensievere verkeertrillingsbelasting kan voordoen en feitelijk een strenger criterium zou moeten worden gehanteerd. Teneinde een robuuste analyse van de herkomst van schade te hanteren valt de keuze op herhaald kortdurend, opdat pandschade niet ongefundeerd wordt toegeschreven aan verkeerstrillingen.

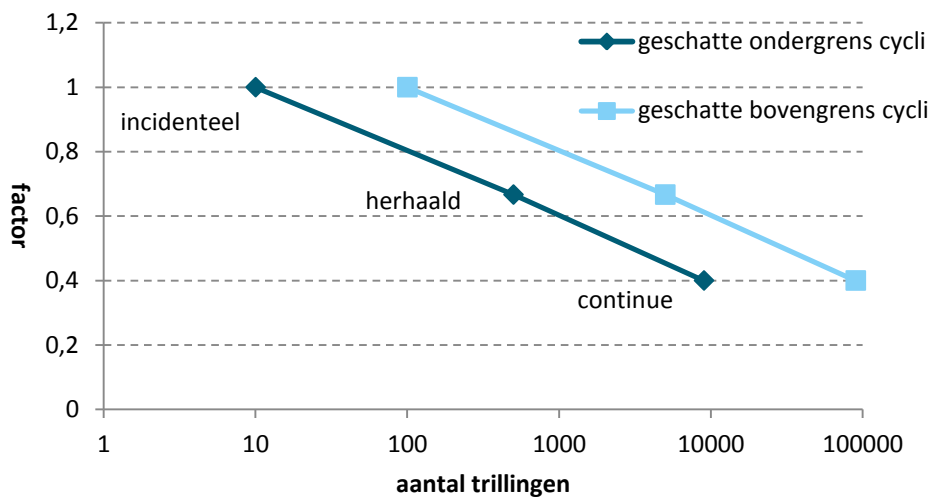
Continue trilling

In geval van een continue trilling kan gedacht worden aan het intrillen van damplanken. Een normaal criterium voor de inbreng snelheid bedraagt 1 m/minuut. Uitgaande van hoogfrequent intrillen (30 Hz) en een heitraject van circa 5 m, bedraagt het aantal cycli voor een enkele damplank circa 9.000 cycli. Als benedengrens kan gedacht worden aan een tweemaal zo lange heiduur per plank en wederom vijf maatgevende planken. Als bovengrens wordt gedacht aan 90.000 cycli. In dit type trilling is vermoeiing aan de orde, omdat de bron enige tijd aanhoudt. Het hoogfrequente trilblok tracht resonantie te voorkomen.

Incidenteel

Wanneer nu het aantal cycli van herhaald kortdurende en van continue trilling in een grafiek worden uitgezet tegen de bijbehorende reductiefactor ontstaat een indruk van het verloop van de factor als functie van het aantal cycli. In onderstaande afbeelding 2.1 is de x-as met het aantal cycli op logaritmische schaal weergegeven, zoals gebruikelijk in geval van vermoeiing. Vervolgens is een extrapolatie gedaan naar de factor 1 voor incidenteel, door de richtingscoëfficiënt vast te houden voor zowel de ondergrens als de bovengrens van het aantal cycli. Gesteld wordt dat voor de ondergrens een goede aansluiting wordt gevonden bij 10 cycli (een gebeurtenis kan meerdere cycli opleggen) en bij de bovengrens bij 100 cycli. Overigens voorziet de SBR richtlijn A niet in een continue functie voor de reductiefactor.

Afbeelding 2.1 SBR-reductie factor in relatie tot het aantal geschatte cycli



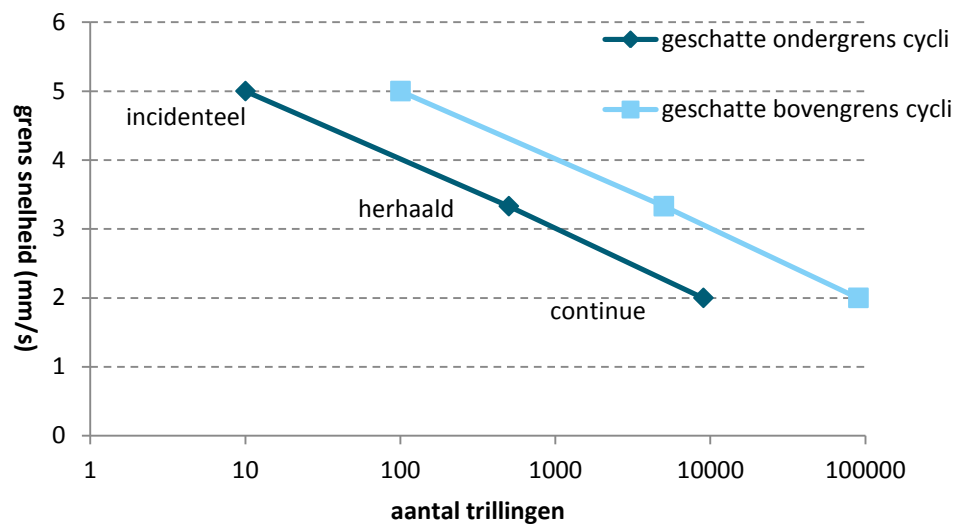
In onderstaande tabel is de toelichting en het aantal cycli nogmaals gepresenteerd.

Tabel 2.4 Aannee onder en bovengrens aantal cycli

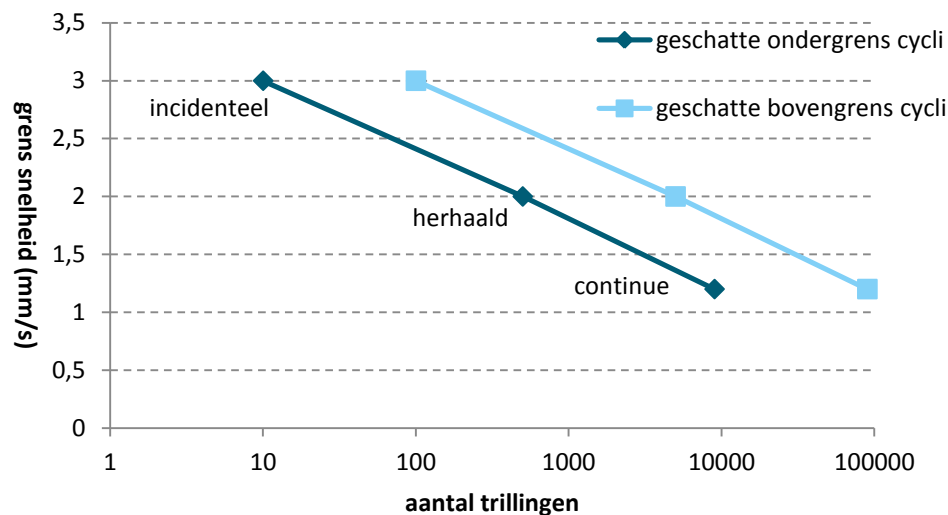
Bron	Omschrijving	Ondergrens	Bovengrens
incidenteel	aanname 3 tot 33 aardbevingen, 3 cycli per beving	10	100
herhaald kortdurend	1-5 palen, 250-1.000 klappen per paal, 2 cycli/klap	500	5.000
continue trilling	1-5 damplanken, 5 - 10 min per plank, 30 Hz	9.000	90.000

Deze onderverdeling kan doorvertaald worden naar pandspecifieke grenswaarden. In onderstaande grafiek is het resultaat gepresenteerd voor trillingen met een frequentie van 10 Hz of lager voor de pandcategorieën 2 en 3.

Afbeelding 2.2 Grenswaarde SBR pandcategorie 2 versus geschatte aantal cycli bij 10 Hz



Afbeelding 2.3 Grenswaarde SBR pandcategorie 3 versus geschatte aantal cycli bij 10 Hz



Reductiefactor SBR, meetprocedure

In de systematiek van de SBR moet onderscheid worden gemaakt tussen een indicatieve meting, een beperkte meting en een uitgebreide meting, waarbij gesteld wordt dat de indicatieve en beperkte meting alleen van toepassing zijn op trillingen die uit de fundering van het gebouw voortkomen. Er moet gemeten worden onder omstandigheden die aantoonbaar representatief zijn voor de trillingsbelasting waaraan een bouwwerk wordt onderworpen.

In de voorliggende gehanteerde beoordelingsmethodiek in het schadeonderzoek van het buitengebied is sprake van een situatie waarin de trillingbron op basis van historische meting in het binnengebied en rekenkundige extrapolatie naar het buitengebied wordt vastgesteld. In deze extrapolatie is gesteld dat de aldus vastgestelde bodemsnelheid gelijk is aan de integraal opgelegde funderingssnelheid van het te toetsen pand.

Dat brengt een onzekerheid met zich mee ten aanzien van respons binnen het bouwwerk, waarvoor binnen de SBR meetprocedure een uitgebreide meting wordt voorzien. De meetprocedure stelt in geval van een uitgebreide meting een meetpositie op hogere verdiepingen voor, waarbij specifieke karakteristieke waarden gelden volgens onderstaande tabel.

Tabel 2.5 Karakteristieke waarde van de grenswaarde ter voorkoming van schade aan de hoofddraagconstructie, gemeten op de hoogste verdieping en op onderdelen van de hoofddraagconstructie en elementen

Categorie volgens SBR tabel 10.2.1	Vkar (mm/s)
1	40
2	15
3	8

De SBR hanteert een factor wanneer er op één plek aan het pand gemeten wordt (zogenoemde indicatieve meting). Deze factor brengt het effect in rekening dat verschillende delen van het gebouw in bepaalde mate een andere trillingssnelheid kunnen hebben dan op de plaats waar gemeten wordt door bijvoorbeeld een opslinging. We bepalen de trillingssnelheid op maaiveldniveau en stellen deze zonder reductie gelijk aan pandsnelheid op de begane grond, en leggen deze naast de grenswaarde voor trillingssnelheid op de begane grond zonder factor voor indicatieve metingen omdat de bepaalde trillingssnelheid bij benadering constant is op maaiveld niveau rondom de woning gegeven de bron. Wanneer naar hoger gelegen verdiepingen wordt gekeken zou een factor voor opslinging wel meegenomen kunnen worden, echter is de grenswaarde voor deze verdieping ook hoger, waardoor deze opslinging in het buiten gebied niet maatgevend zal zijn.

Daarom wordt gesteld dat in de analyse van pandschade geen strenger criterium vereist is om schade door opslinging in het bouwwerk te beoordelen.

1. Waarts P.H., Ostendorf C.J. (2006), SBR-richtlijn Meet en beoordelingsrichtlijn: Trillingen, deel A Schade aan gebouwen. Stichting Bouw Research, Delft. Artikelnummer. SBR 001.10 ISBN 978-905367-428-4.

2.2.2 Aardbevingen

Op basis van de *ground motion prediction equation* (GMPE, Versie 0) en het Groningen ground motion model (GGMM, Versie 4) wordt per beoordelingspand tot een aardbevingsbelasting gekomen aan welke het pand naar verwachting is blootgesteld, zie bijlage I. De aardbevingsbelasting wordt berekend in de vorm van piekgrondsnelheid (PGV in mm/s) en wordt omgerekend naar piektrillingssnelheid (VTOP in mm/s). Als falsificatiecriteria is vervolgens de SBR-richtlijn deel A toegepast. In de vorige paragraaf is de richtlijn besproken. Trillingen als gevolg van aardbevingen worden getoetst als *incidenteel* voorkomende trillingen zoals is onderbouwd in de vorige paragraaf.

Er kan op basis van de modellen ook een betrouwbaarheidsinterval bepaald worden. Dit betrouwbaarheidsinterval is gebaseerd op de variabiliteit van een groot aantal aardbevingsmetingen. In bijlage I is geconstateerd met een eigen toets aan zowel TNO trillingsensormetingen in woningen als aan KNMI-metingen dat vrijwel alle VTOP-waarden inderdaad binnen het 84 % betrouwbaarheidsinterval liggen (binnen 1 x de standaarddeviatie van de mediaan).

Aan de hand van SBR-A richtlijn wordt aan de belastingkant getoetst met de mediaan waarde (het 50-percentiel) van de berekende VTOP. Er zou ook conservatief kunnen worden getoetst met een bovengrenswaarde (het 84-percentiel of de mediaan + 1 x standaarddeviatie). Dit wordt echter over het algemeen over-conservatief en onrealistisch geacht, aangezien de grenswaarden die in SBR-A worden

gehanteerd al gebaseerd zijn op een ondergrensbenadering van de kansverdeling op schade. De grenswaarde geeft namelijk aan of er meer of minder dan 1 % kans op schade is. Het is bovendien bij vervormingsgerelateerde bezwijkmechanismen gebruikelijk om met de verwachtingswaarde te rekenen van de belasting

2.2.3 Bouwactiviteiten

Bouwactiviteiten zoals heien, intrillen van damwanden, het uitgraven of ophogen van het maaiveld kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de bouwactiviteit. Om bouwactiviteiten als mogelijke schadeoorzaak te kunnen falsificeren of te kunnen verifiëren moet informatie over bouwactiviteiten worden verzameld. Is er sprake geweest van het heien van palen of het intrillen van damwanden dan zijn dit vaak de maatgevende werkzaamheden met betrekking tot mogelijk optreden van schade.

Voor bouwwerkzaamheden (en dan specifiek het heien van palen en het intrillen van damwanden) is op basis van rekenformules uit de CUR166 [ref. 1] te bepalen wat voor trillingsniveaus er kunnen worden verwacht op welke afstand van de werkzaamheden. Dit zijn empirische rekenformules. De niveaus kunnen worden getoetst aan de grenswaarden van de SBR richtlijn deel A, waarbij de trillingen als gevolg van bouwactiviteiten worden getoetst als *herhaald kortdurende* (palen heien) dan wel *continue* (damplanken trillen) trillingen.

Resultaat

Voor heiwerkzaamheden volgt uit een aftastende berekening voor een gemiddelde situatie dat binnen een afstand van 15-20 m schade niet op voorhand kan worden uitgesloten, uitgaande van pandcategorie 3 SBR deel A. De afstand voor het intrillen van damwanden is kleiner en bedraagt 5 tot maximaal 10 m. De afstanden zijn indicatief en kunnen in sommige situaties groter uitvallen. Dit hangt bijvoorbeeld af van de slagkracht waarmee gewerkt wordt. Als falsificatiecriterium is gekozen voor een afstand van 20 m tot aan bouwwerkzaamheden. Bouwactiviteiten kunnen ook leiden tot zettingen, dit wordt in paragraaf 2.3.1 besproken.

1. CUR (2012). Damwandconstructies. CUR aanbeveling 166. ISBN nummer 903760 063 8 + 90 3760 073 5.

2.2.4 Wegverkeer

Wegverkeer resulteert in trillingen in de omgeving. De mate van trillingsbelasting hangt af van meerdere factoren waaronder de grootte van de aslasten van passerende voertuigen, de onregelmatigheid van het wegdek en de heersende snelheidslimiet. De ervaring leert dat schade als gevolg van trillingen door wegverkeer niet vaak voorkomt, maar in sommige situaties niet uit te sluiten valt. Om tot een falsificatiecriteria te komen kan middels modelberekeningen een onderzoek uitgevoerd worden. Echter, gezien de complexiteit van het fenomeen en de grote variatie in spreiding van invloedsparameters wordt vaak een trillingsmeting uitgevoerd om meer duidelijkheid te krijgen voor een specifieke situatie.

TNO sensordata

Voor het huidige onderzoek is door de NAM TNO sensordata beschikbaar gesteld aan Witteveen+Bos. De data is afkomstig van 350 meetwoningen, waaraan in de loop van de tijd is gemeten. De beschikbare meetdata beslaat een tijdsvenster welke varieert per woning. Per woning is boven een ingestelde drempelwaarde (1 mm/s) het meetsignaal in alle drie de hoofdrichtingen opgeslagen (x, y en z). Dit resulteert in een dataset die qua omvang en karakteristiek per woning sterk varieert en is afhankelijk van hoe vaak events optreden met een trillingsniveau boven de drempelwaarde van 1 mm/s sinds de datum van installatie van de sensor.

De bewegingen van de meetwoningen zijn geregistreerd door middel van sensoren van het TNO meetnetwerk. Deze sensoren zijn waar mogelijk geplaatst aan een stijf punt aan de fundering van de woning (conform de SBR richtlijn deel A). Bij een aantal woningen is hier vanuit praktische redenen echter van

afgeweken. Dit betekent dat er niet vanuit kan worden gegaan dat alle sensoren enkel de beweging van de fundering van de panden meet. Invloed van bijvoorbeeld minder stijve muurdelen waaraan sensoren zijn bevestigd maken dat voor sommige woningen de meetdata niet enkel de beweging van de fundering weergeeft, maar mogelijk ook de beweging van muurdelen of andere constructieonderdelen. In de beoordeling van de resultaten dient hier rekening mee te worden gehouden.

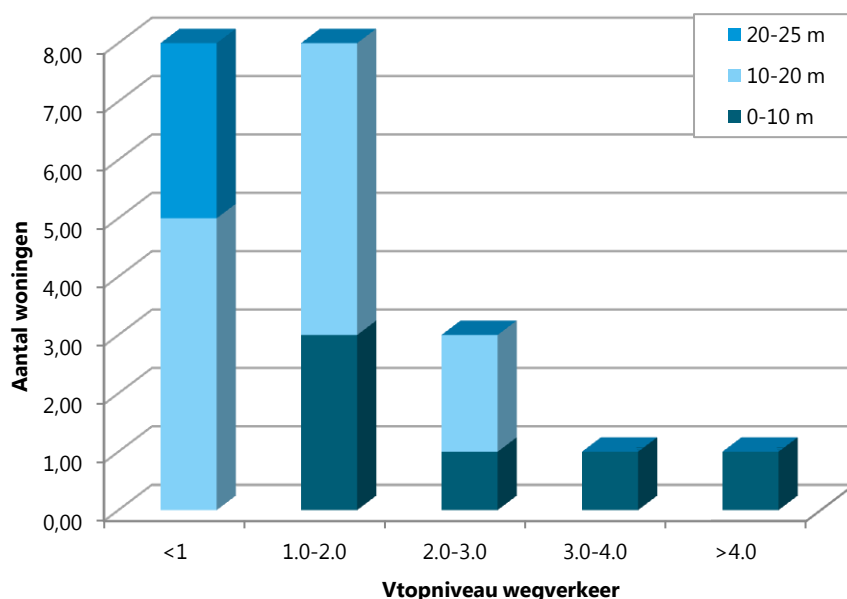
Bepaling falsificatiecriteria

Middels een onderzoek naar de meetdata is tot een falsificatiecriteria gekomen voor trillingen als gevolg van wegverkeer. In bijlage I wordt nader ingegaan op de TNO sensordata en de verwerking van de meetdata. In deze paragraaf worden de falsificatiecriteria gepresenteerd.

Voor alle woningen waar meetdata van beschikbaar is, is op basis van de karakteristieken van de signalen gezocht naar het hoogste trillingsniveau van de signalen welke wat betreft karakteristiek als trillings signaal als gevolg van wegverkeer kunnen worden aangeduid. In bijlage I wordt de verwerking van de meetdata nader beschreven.

In de analyse is voor meerdere omgevingskenmerken gekeken of er een verband met optredend maximaal trillingsniveaus (met verkeerskarakteristiek) wordt gevonden. De kenmerken betreffen afstand tot weg, heersende snelheidslimiet en de aanwezigheid van een drempel. Onderstaande afbeelding geeft de verdeling weer van gevonden maximale trillingsniveaus (VTOP) met afstand tot aan een weg met een snelheidslimiet van 50 km/h.

Afbeelding 2.4 Geregistreerde Vtopniveaus bij woningen aan doorgaande 50 km/h wegen waar zwaar verkeer te verwachten is, verdeeld in afstand van gevel tot hart weg. Afwijkende situaties waarvoor een lagere lokale snelheid te verwachte is, zijn er uitgefilterd*



* De waarden <1 betreffen de adressen waarvoor geen event met wegverkeer karakteristiek is gevonden.

Uit de afbeelding 2.4 blijkt dat voor de 6 woningen met een afstand tussen de 0-10 m tot aan een 50 km/h doorgaande weg er voor alle 6 adressen VTOP-niveaus als gevolg van wegverkeer boven de 1,0 mm/s zijn geregistreerd. Voor woningen op een afstand van 10-20 m zijn er 2 adressen gevonden met een VTOP-niveau tussen de 2.0 en 3.0, 5 tussen de 1.0 en 2.0 en 5 onder de 1.0 mm/s. Voor woningen met een afstand tussen 20-25 m zijn geen events als gevolg van wegverkeer geregistreerd, oftewel de maximum Vtopniveaus liggen onder de 1.0 mm/s. De gevonden waarden lijken in overeenstemming met praktijkervaring, zie bijvoorbeeld [ref. 1].

Verkestrillingen worden als herhaald kortdurende trillingen getoetst conform SBR-richtlijn deel A (zie paragraaf 2.2.1). Wordt de grenswaarde 3 mm/s aangehouden en een partiële veiligheidsfactor van 1,5 voor herhaald kortdurende trillingen, dan toont bovenstaande staafdiagram aan dat binnen 10 m van een doorgaande weg (50 km/h of meer, waarbij ook echt sprake is van een doorgaand verkeer en niet bijvoorbeeld een scherpe bocht in de weg of een kruising waar gestopt moet worden) er in een deel van de woningen trillingsniveaus boven de 2-3 mm/s zijn gevonden als gevolg van wegverkeer. Buiten de 10 m niet of enkele. Karakteristiek zijn de doorgaande wegen door dorpen heen.

Resultaat

Uit het onderzoek volgt:

- een onregelmatig patroon als het gaat om trillingsniveaus binnen 50 m van een drempel;
- op basis van een beperkt aantal woningen, een relatie tussen trillingsniveau en afstand tot de weg wanneer sprake is van een doorgaande weg met een snelheidslimiet van 50 km/h of meer op korte afstand van de woning.

Voor wegverkeer geldt dat alleen voor doorgaande 50 km/h wegen hoge niveaus zijn gemeten die aanleiding geven om schade als gevolg van trillingen door wegverkeer niet uit te sluiten. Hiervoor is de afstand <10 m aangehouden. De invloed van een drempel bleek geen consistent beeld te leveren. De vier hoogstgemeten niveaus in woningen nabij drempels bleken te zijn opgetreden op locaties waar sprake is van een 30 km/h weg. De niveaus liggen tussen de 1,5 en 3 mm/s. Deze niveaus hadden naar verwachting hoger gelegen wanneer sprake was geweest van een 50 km/h weg. Voor 50 km/h wegen is daarom gekozen om het criterium te hanteren dat schade niet valt uit te sluiten voor een afstand <20 m tot een drempel. Voor geen van de meetwoningen geldt deze situatie, waardoor dit tweede criteria minder hard is onderbouwd met de TNO sensordata.

De uit het onderzoek geformuleerde criteria waarbij kans op schade door wegverkeer trillingen niet kan worden uitgesloten worden in onderstaande tekst samengevat:

-
- er is sprake van een 50 km/h weg (50 km/h of meer, dus ook provinciaal autosnelweg, etc.) waarbij het doorgaande verkeer ook 50 km/h kan rijden (**<10 m**);
 - er is sprake van een 50 km/h weg (of meer, dus ook provinciaal, etc.) en een drempel gelegen in de betreffende weg nabij de woning (**<20 m**).
-

Ondanks dat de zekerheid van de resultaten beperkingen kent, geven de resultaten een beeld van de trillingsbelasting als gevolg van verschillende bronnen. De bovengenoemde criteria betreffen daarom een kader/richtlijn om de mogelijkheid van optreden van schade als gevolg van trillingen door wegverkeer wel of niet te kunnen uitsluiten.

1. Staaldunin, Smits (1993). Trillingscriteria m.b.t. schade aan gebouwen. TNO -bouw B-90 822.

2.2.5 Spoorverkeer

Middels de beschikbare meetdata welke is beschreven in de vorige paragraaf is eveneens gekeken naar falsificatiecriteria voor treinverkeer. In bijlage I wordt de analyse van de TNO sensordata in panden nabij het spoor beschreven.

Treinverkeer

Bij treinverkeer speelt met name de afstand tot aan het spoor en het type treinverkeer een rol in. De ervaring leert dat buiten 100 m van het spoor zelden hinder, laat staan schade, als gevolg van treinverkeer optreedt. Kijken we naar de afstand tot aan het spoor dan volgt dat elf woningen op een afstand van minder dan 100 m van het spoor liggen.

Uit bovenstaande de analyse blijkt dat er geen relatie gevonden kan worden tussen gemeten trillingniveau en afstand tot het spoor. Ervaring uit spoorprojecten leert dat wanneer naar trillingsniveaus op maaiveld

gekeken wordt, er vaak wel een relatie gevonden kan worden (exponentiële afname), maar wanneer naar meetniveaus op de fundering gekeken wordt een veel grilliger beeld ontstaat. Dit komt overeen met de resultaten uit bovenstaande tabel.

Resultaat

Op basis van de resultaten is voor spoor geen falsificatiecriterium opgesteld. Alleen op de locaties waar panden op één of enkele meters van het spoor staan kan mogelijk sprake zijn van schade als gevolg van trillingen door spoor. Dit is echter niet uit de TNO sensordata te halen omdat alle woningen met sensoren op een afstand tot aan het spoor staan groter dan 10 m. De dichtstbijzijnde woning waar een TNO sensor is geplaatst staat op 12,45 m van het spoor en toont een maximaal gemeten VTOP-niveau van 1,59 wat onder de grenswaarde van de SBR richtlijn deel A ligt. In de beoordeling dienen panden die op één of enkele meters (kleiner dan 10 m) van het spoor staan zorgvuldig te worden behandeld en per pand dient te worden gekeken of er mogelijk sprake is van kans op schade door trillingen spoor.

2.2.6 Overig

Naast de in paragraaf 2.2.1 tot en met 2.2.5 genoemde bronnen zijn er andere bronnen mogelijk welke sporadisch voorkomen. Hierbij valt te denken aan trillingen als gevolg van tijdelijk geplaatste generatoren, maar ook trillingen als gevolg van incidenten zoals explosies of dergelijke. Voor dergelijke sporadisch voorkomende bronnen zijn niet op voorhand specifieke falsificatiecriteria bepaald. De SBR richtlijn deel A geeft echter voor de meeste gevallen een te hanteren grenswaarde.

2.3 Omgeving: Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond (grondvervorming)

Bij gelijkmatige zetting van de ondergrond treedt er in principe geen schade op aan bebouwing op maaiveld, omdat het bebouwing in zijn totaliteit gelijkmatig de zetting volgt. Is er echter sprake van ongelijkmatige zetting in de ondergrond, dan kan er schade optreden in de bebouwing. De methoden voor het bepalen van schade door grondvervorming zijn uitgewerkt in paragraaf 2.3.1.

Er zijn diverse oorzaken aan te wijzen voor grondvervorming. Op hoofdlijnen kunnen deze worden ingedeeld in: (1) directe oorzaken en (2) indirecte oorzaken. Directe oorzaken zijn te verdelen in:

- diepe oorzaken: bodemdaling door gaswinning en zoutwinning (zie paragraaf 2.3.2);
- ondiepe oorzaken: autonome zetting door het eigengewicht van het gebouw (zie paragraaf 2.3.3).

Indirecte oorzaken leiden via een omweg mogelijk ook tot grondvervorming. Deze oorzaken worden in paragraaf 2.3.4 tot 2.3.8 besproken.

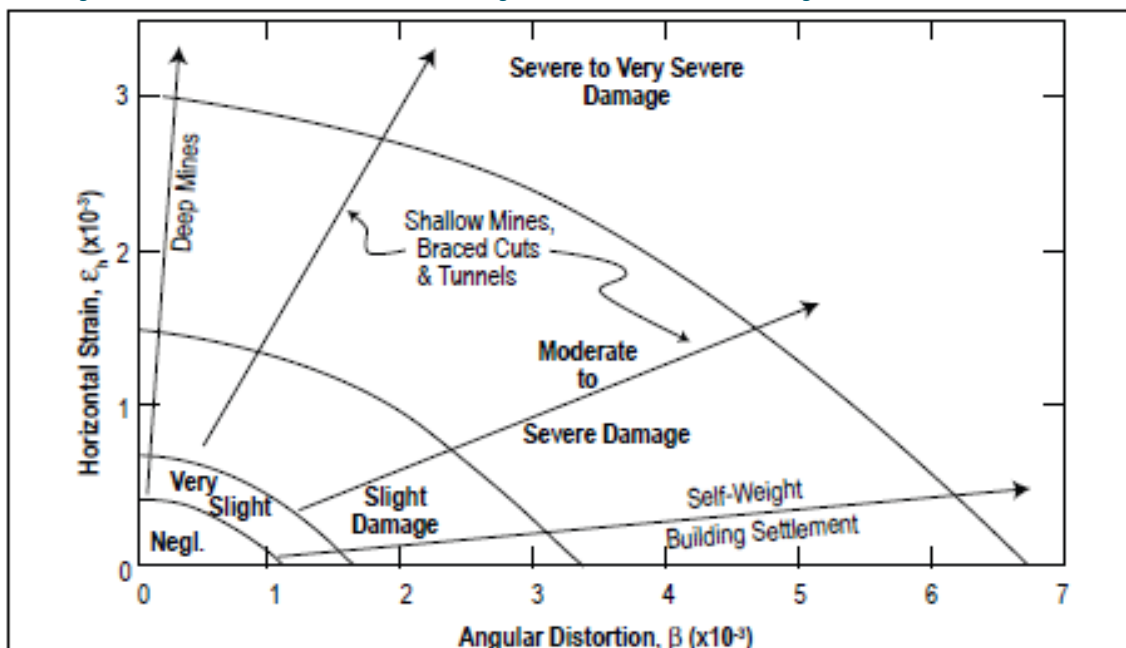
2.3.1 Methoden voor het bepalen van schade als gevolg van grondvervorming

Om te bepalen bij welke mate van bodemvervorming er schade optreedt en in welke mate, zijn verschillende methoden beschikbaar. Een veelgebruikte methode betreft de limiting tensile strain method (LTSM). De LTSM-methode wordt in volgende subparagrafen nader besproken.

Toelaatbare vervorming limiting tensile strain method (LTSM)

De aanpak is gebaseerd op het gegeven dat vervorming resulteert in scheurvorming. Des te groter de vervorming, des te groter de schade en vice versa. In de LTSM (Boscardin & Cording, 1989) [ref. 7] is hier nader inzicht in gegeven. Op basis van vervorming van een metselwerk muurveld zonder sparingen, waarin zowel horizontale rek als relatieve rotatie werd aangebracht, is inzicht opgebouwd in scheurvorming als functie van rek en relatieve rotatie. Bij toenemende rek dan wel relatieve rotatie of een combinatie van beide ontstaat grotere scheurvorming, zie afbeelding 2.5. De relatie is gebaseerd op vervorming van een metselwerk muurveld in L/H-verhouding van 1:1.

Afbeelding 2.5 Relatie rek, relatieve rotatie en schadecategorie ([ref.7] Boscardin and Cording (1989))



In afbeelding 2.5 zijn tevens verhoudingen tussen rek en relatieve rotatie weergegeven voor verschillende aandrijvende fenomenen, te weten diepe mijnschachten, ondiepe schachten/bouwkuipen/tunnels en tenslotte de lijn voor zetting onder eigen gewicht. Dit geeft aan dat autonoom zettingsgedrag volgens bovenstaande grafiek ook in schade aan metselwerk kan resulteren, waarbij de horizontale rek gering zal zijn en relatieve rotatie de hoofdaandrijving zal zijn in het ontstaan van scheurvorming.

Om een eenduidige relatie met scheurvorming te geven is onderstaande tabel opgesteld door Burland en verder verfijnd door de BRE (Building Research Establishment) [ref. 8].

Tabel 2.6 Definitie schadeklassen in scheurwijdte (bron: BRE (Building Research Establishment) [ref. 8])

Schadecategorie en -klasse	Omschrijving	Scheurwijdte
esthetisch	0	Verwaarloosbaar
	1	Zeer licht
	2	Licht
Functioneel	3	Matig
	4	Ernstig
constructief	5	Zeer ernstig

De consequenties van scheurvorming in termen van noodzaak tot herstel wordt ook benoemd in [ref. 4], waarin wordt doorverwezen naar een tabel opgesteld door de Think Brick Australia (TBA) [ref. 5], die hieronder wordt weergegeven. De tabellen 2.6 en 2.7 zijn tevens in samengestelde vorm opgenomen in de

beschrijving van schade door zoutwinning [ref. 6]. In het betreffende document wordt schade door bodemdaling door zoutwinning uitgesloten, zoals blijkt uit het document ook al in 2001 is gesteld. Dit gegeven het zeer gelijkmatige karakter van de daling op pandniveau. In de paragraaf 2.3.3 wordt hier op ingegaan.

Tabel 2.7 Classificatie schade metselwerkwanden en consequenties (bron: TBA [ref. 8])

Schade	Categorie	Typische schade en consequenties	Geschatte breukwijdte limiet
verwaarloosbaar	0	alleen haarscheurtjes	< 0,1 mm
zeer licht	1	fijne scheuren die niet gerepareerd hoeven te worden	< 1 mm
licht	2	scheuren zijn zichtbaar, maar makkelijk te vullen ramen en deuren klemmen licht	< 5 mm
matig	3	scheuren kunnen worden gerepareerd en er is minimale vervanging van de muur nodig ramen en deuren klemmen verlies van dragend vermogen van balken mogelijk scheuren van pijpleidingen aantasting van waterdichtheid	5 - 15 mm (of een groep van diverse breuken van > 3 mm)
ernstig	4	uitgebreid reparatiewerk en vervanging van delen van de muur vervorming van muren balken verliezen dragend vermogen zichtbare vervorming van muren los scheuren van pijpleidingen	15 - 25 mm

Resultaat

Afhankelijk van de mate van opgetreden relatieve rotatie en/of horizontale rek kan een beeld van de mate van opgetreden schade worden verkregen met afbeelding 2.5. Vervolgens geven tabellen 2.6 en 2.7 een nadere uitwerking van de mate van schade middels een beschrijving van het type schade en consequenties en een geschatte scheurwijdte.

Referenties

1. <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>, geraadpleegd eind 2016-begin 2017.
2. Ger de Lange, Jan Gunnink (2013), Bodemdalingskaarten, Deltares/ TNO, versie 2013-07-17.
3. Ger de Lange, Jan Gunnink (2014), Zettingskaart Nederland, <https://www.cob.nl/fileadmin/kennisbank/ZettingskaartNederland.pdf>.
4. D. Martens (2016), Zijn scheuren zorgwekkend?, Cement jaargang 2016 nummer 4.
5. Think Brick Australia (2009), Manual 7 Design Clay Masonry for Serviceability.
6. J. Brinkman, (2016), Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing, kenmerk 1221076-000-GEO-0004.
7. Boscardin, M. D., and Cording, E. J (1989). Building response to excavation-induced settlement. Journal of Geotechnical Engineering 115.
8. Building Research Establishment (1995), Assessment of damage in low-rise buildings, BRE digest 251.
9. Tu Son, M. en Cording, E.J. (2006) . Tunneling, building response, and damage estimation. Underground Space Technology, 2006.

2.3.2 Autonome zetting

De mate van schade aan een gebouw als gevolg van zetting van de ondergrond hangt af van de mate van optredende rek en/of relatieve rotatie in het gebouw. Dit wordt weergegeven in afbeelding 2.5. Schade door autonome zetting van de fundering (eigengewicht van gebouw) kenmerkt zich in hoofdzaak door relatieve

rotatie in een muurveld in combinatie met het uitblijven van horizontale rek. In dat geval treedt zuivere buiging op. Van enige vorm van zetting als gevolg van eigengewicht is vrijwel altijd sprake. De toegestane relatieve rotatie in geval van nieuwbouw ligt in de orde van 1:300 (bruikbaarheidsgrens: relatieve rotatie (β) NEN9997-1:2012 art 2.4.9 en bijlage H). Dit criterium bevindt zich, uitgaande van het uitblijven van een horizontale rek (in dat geval treedt zuivere buiging op), juist op het overgangsgebied van lichte schade naar matige tot ernstige schade (afbeelding 2.5). Dit betekent dat op basis van recente bouwregelgeving lichte schade in metselwerk niet op voorhand kan worden uitgesloten.

Resultaat

Gegeven de vervormingscapaciteit van metselwerk en gegeven de bouwregelgeving valt geringe schade (scheurwijdte <5 mm) binnen het reguliere bouwproces niet uit te sluiten. Dit betekent dat als gevolg van het reguliere bouwproces kleine scheuren met beperkte scheurwijdte (< 5 mm) kunnen zijn opgetreden.

Omdat de in een specifiek pand opgetreden verschilzetting niet bekend is en dit enkel kan worden bepaald middels een uitvoerige meting, kan niet op pandniveau een falsificatie plaatsvinden. Het is de verwachting dat op populatieniveau in een aantal gevallen van matige tot ernstige schade sprake kan zijn als gevolg van (autonome) zetting in de ondiepe ondergrond (orde 10-20 %), zie bijlage I.

2.3.3 Bodemdaling door gaswinning en zoutwinning

Zetting vanuit de diepe bodem resulteert uiteindelijk in zetting van de ondiepe bodem. De schadeklassen zoals gedefinieerd voor de ondiepe bodemdaling (afbeelding 2.5) zijn dan ook relevant voor de diepe bodemdaling. Wordt gekeken naar de oorsprong van diepe bodemdaling dan blijken de belangrijkste oorzaken gaswinning en zoutwinning te zijn. In bijlage I is de diepe bodemdaling door gaswinning en zoutwinning beschreven en zijn de relevante bodemdalingskaarten gegeven. De bodemdalingskaarten zijn weergegeven in de vorm van contourlijnen die de punten met gelijke bodemdaling verbinden. De grootste kans op schade is waar de bodemdalingcontourlijnen het dichtst bij elkaar liggen, omdat daar de (relatieve) rotatie en horizontale rek aan het oppervlak het grootst is.

Afbeelding 2.5 geeft afhankelijk van de mate van horizontale rek en/of relatieve rotatie een beeld van de mate van schade welke verwacht kan worden. Een eengetalswaarde voor een grens waaronder geen schade wordt verwacht wordt in [ref. 4] gegeven voor relatieve rotatie. De grenswaarde bedraagt 25 mm (zakking) per 10 m, oftewel een relatieve rotatie van 1/400. Dit komt overeen met de schadeklasse uit afbeelding 2.5 'lichte schade' (*slight damage*).

De in het verleden werkelijk opgetreden waarde voor de maximale relatieve rotatie is eenvoudig uit bodemdalingskaarten af te lezen (zie bijlage I). Op basis van de bodemdalingskaart door gaswinning [ref. 2] blijkt de opgetreden maximale rotatie 0,5 mm per 10 m. Op basis van de bodemdalingskaart door zoutwinning [ref. 3] blijkt de opgetreden maximale rotatie 2,2 mm per 10 m. De meest maatgevende bodemdaling is dus als gevolg van zoutwinning. De werkelijk opgetreden relatieve rotaties blijken onder de grenswaarde van 25 mm per 10 m te liggen en kleiner te zijn dan 1/1.000. Volgens het criterium uit [ref. 4] zal dit niet leiden tot schade. Volgens afbeelding 2.5 blijken de opgetreden rotaties te classificeren als: 'verwaarloosbare schade'.

Door Deltares [ref. 5] is de invloed van de bodemdaling door zoutwinning nabij Veendam in meer detail uitgewerkt. Hierbij is gekeken naar de rek en relatieve rotatie. Bij de berekening van de relatieve rotaties wordt ook de dimensie van het gebouw meegenomen. Een lang gebouw is namelijk kwetsbaarder voor relatieve rotatie dan een gebouw met relatief kleine dimensies. In [ref. 5] wordt een relatief lang gebouw van 20 m genomen als conservatieve aanname. Overigens wordt bij de berekening van de rek en relatieve rotatie ook uitgegaan van de contouren van de bodemdalingskaart door zoutwinning [ref. 3]. De berekende maximale relatieve rotatie (0,016 ‰) en rek (0,18 ‰) worden vervolgens aan de schadecriteria volgens Son en Cording [ref. 1] getoetst. Uit deze toetst blijkt dat de schade categorie 'verwaarloosbaar' is. Dit resultaat komt overeen met de resultaten beschreven in de voorgaande alinea.

Resultaat

De resultaten uit voorgaande alinea's geven aan dat als gevolg van maaiveldddaling vanuit de diepe ondergrond, de opgetreden verschilzettingen door zowel zoutwinning als gaswinning tot 'verwaarloosbare' schade leiden.

Referenties

1. Tu Son, M. en Cording, E.J. (2006) . Tunneling, building response, and damage estimation. Underground Space Technology, 2006.
2. NAM (2015). Bodemdaling door gaswinning. NAM-velden in Groningen, Friesland en het noorden van Drenthe. EP201511213444.
3. NEDMAG industries (2014). Contourkaart bodemdaling 1993-2014 (in mm) Contourkaarten 2014. 14 augustus 2014.
4. Kratzsch, H. (1983). Mining Subsidence Engineering. Springer Verlag, Berlijn 543 pagina's.
5. Deltares (2016). Invloed van bodemdaling door zoutwinning Nedmag op bebouwing. Kenmerk: 1221076-000-GEO-0004, Versie 4, 8 december 2016, definitief.

2.3.4 Grondwater

Maaiveldddaling door verandering van de grondwaterstand in verschillende bodemtypen

In een veenbodem kan maaiveldddaling plaatsvinden door verschillende oorzaken:

- veenoxidatie: wanneer er zuurstof bij het veen komt, verbrandt het veen. Dit gebeurt voornamelijk 's zomers bij lagere grondwaterstanden en hogere temperaturen. Veenoxidatie wordt versterkt als de grondwaterstand zakt, waardoor er meer zuurstof bij het veen kan komen;
- zetting: de grond drukt samen onder invloed van druk van bovenaf. Dit geldt zowel boven de grondwaterstand (inklinking) als beneden de grondwaterstand (samendrukking van verzadigde grond). Wanneer de grondwaterstand zakt, kan er zetting plaatsvinden.

Ook in een kleibodem kan zetting plaatsvinden. Wel is de gevoeligheid van een kleibodem voor zetting kleiner dan bij een veenbodem. In een zandbodem speelt zetting een nog kleinere rol. Pas bij een erg grote verlaging van de grondwaterstand kan er in een zandbodem zetting plaatsvinden. Dit kan gebeuren door infiltratie of uitspoeling, bijvoorbeeld bij kelders.

Daarnaast heeft een stijging van de grondwaterstand effect op woningen. Stijging van de grondwaterstand leidt tot een afname van de effectieve korrelspanningen, zowel bij veen als klei als zand. Dit kan weer tot zakking van de fundering leiden. Bij funderingen met voldoende draagvermogen is dit effect klein, bij funderingen met een lage veiligheid kan dit significant zijn.

Ten slotte is er de (theoretische) mogelijkheid van verweking. Bij verweking verliezen zandkorrels een deel van hun onderlinge contact en is er sprake van verzadiging en wateroverspanning. Daardoor neemt de korrelspanning en daarmee de sterkte af. Dit leidt tot een verminderd draagvermogen van de bodem en de fundering. De wateroverspanning zal leiden tot uitstroming van water en zandkorrels (sand boils). Wanneer het water is weggestroomd, zitten de zandkorrels dichter op elkaar en zakt het maaiveld (afbeelding 2.7). Verweking kan gebeuren door verzadiging, en wordt beïnvloed door een sterke verhoging van de grondwaterstand, en door aardbevingen. Door verhoging van de grondwaterstand wordt een voorwaarde voor verzadiging geïntroduceerd: in een natte bodem kan dit optreden, in een droge bodem niet.

Afbeelding 2.7 Gedrag zandkorrels bij wisselende belasting [ref. 1] door bijvoorbeeld een grondwaterstandsverhoging of een aardbeving



Uit bovenstaande beschrijving van de verschillende soorten maaiveldaling, blijkt dat:

- er bij droogstaand veen veenoxidatie kan plaatsvinden;
- door grondwaterstandsverlaging zetting kan plaatsvinden. De mate van gevoeligheid voor zetting verschilt per bodemtype;
- grondwaterstandsverhoging leidt tot een lagere korrelspanning en een lager draagvermogen;
- door grondwaterstandsverhoging de voorwaarde voor verzadiging en verweking van zand wordt geïntroduceerd.

Aspecten die de kans op schade beïnvloeden

Veenoxidatie en zetting, en daarmee maaiveldaling, hoeven niet automatisch tot schade te leiden. Wanneer een woning als geheel gelijkmatig zakt, veranderen de spanningen op de muren niet en zal de kans op schade ook nauwelijks toenemen. Risico op schade ontstaat voornamelijk bij ongelijkmatige daling, bijvoorbeeld door een inhomogene ondergrond. Volgens [ref. 2] heeft een daling van de grondwaterstand bij homogene grond nauwelijks invloed op de kans op schade, terwijl de kans bij inhomogene grond toeneemt met maximaal 10 % per 0,20 m grondwaterstands daling. Vooral bij op staal gefundeerde woningen is de inhomogeniteit van de grond erg belangrijk. Het risico op maaiveldaling (zetting en veenoxidatie) is dus niet gelijk aan het risico op zettingsschade.

Verloop grondwaterstand

De grondwaterstand wordt door verschillende factoren beïnvloed:

- neerslag, verdamping (= natuurlijke variatie, seizoenaal);
- oppervlaktewaterpeil (peilbesluiten hebben meestal een periode van circa 10 jaar);
- ondergrondkarakteristieken (veranderen over het algemeen niet);
- menselijke ingrepen (zoals bemalingen, drainage);
- maaiveldaling (dit beïnvloedt over het algemeen alleen de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld, niet de absolute grondwaterstand ten opzichte van NAP).

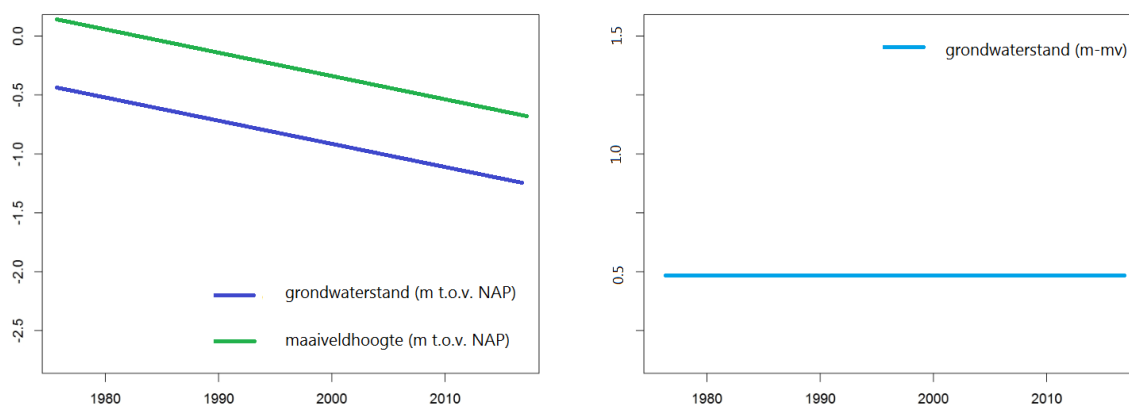
Het is onzeker of de grondwaterstanden in het onderzochte gebied beïnvloedt worden door de gaswinning en de bodemdaling die hierdoor veroorzaakt wordt (circa 5 tot 15 cm in het buitengebied). Wanneer de gaswinning geen invloed heeft, zijn neerslag, verdamping, het oppervlaktewaterpeil en menselijke ingrepen leidend voor de grondwaterstand. Wanneer het oppervlaktewaterpeil verlaagd wordt, resulteert dit in een verlaging van de grondwaterstand, met bijbehorende kans op maaiveldaling door veenoxidatie en zetting, en daardoor risico op schade.

Theoretisch verloop grondwaterstand onder invloed van gaswinning

Gaswinning veroorzaakt bodemdaling als gevolg van drukverlaging in het gesteente waar aardgas wordt gewonnen, op grote diepte. Dit geeft in principe geen aanleiding tot schade als de grondwaterstand de

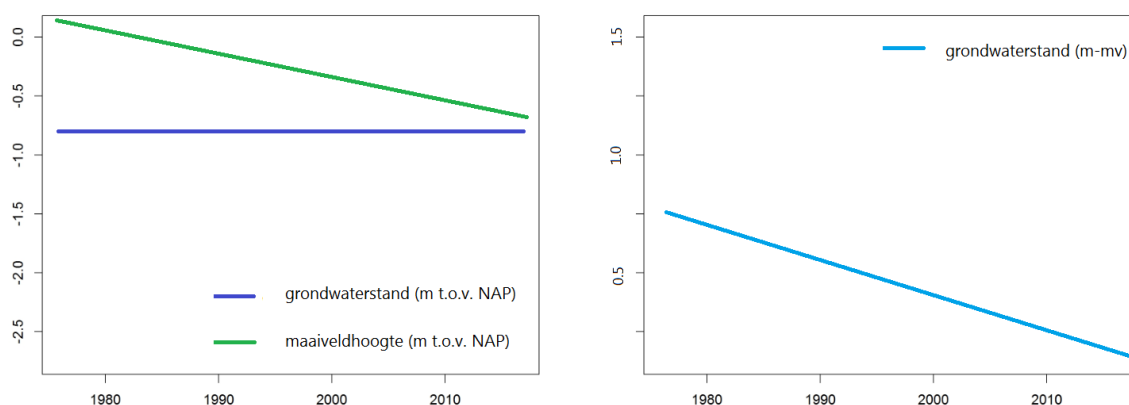
daling precies zou volgen (de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld blijft dan gelijk, afbeelding 2.8) [ref. 3].

Afbeelding 2.8 Illustratie: grondwaterstand volgt bodemdaling



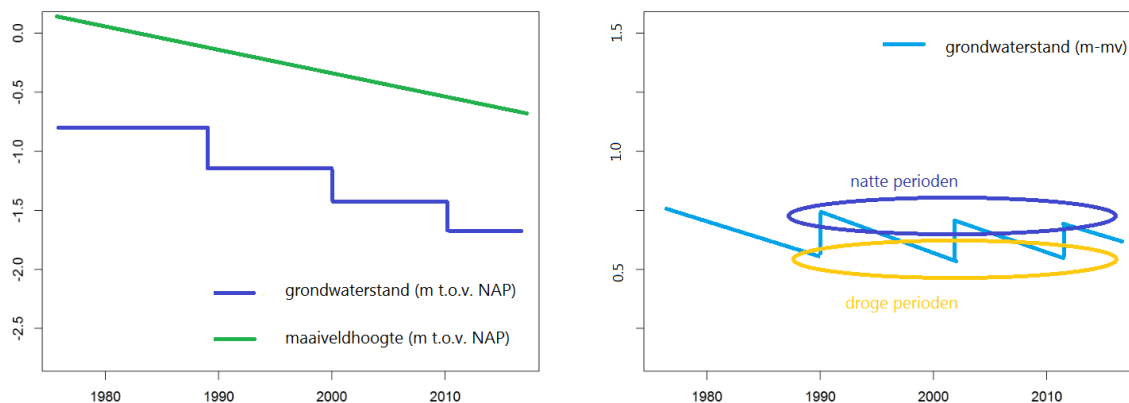
Echter, dit is niet het geval. De grondwaterstand blijft ongeveer op gelijke hoogte ten opzichte van NAP wanneer er geen maatregelen worden genomen. Wanneer er bodemdaling plaatsvindt, zal de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld stijgen en zal het gebied natter worden.

Afbeelding 2.9 Illustratie: maaiveld daalt, maar grondwaterstand ten opzichte van NAP blijft gelijk



Dit is voor waterschappen vaak aanleiding om bij een peilbesluit te besluiten tot verlaging van het oppervlaktewaterpeil, omdat dit verlaging van de grondwaterstand tot gevolg heeft. Omdat peilbesluiten circa eens per tien jaar herzien worden, levert dit een volgend beeld op.

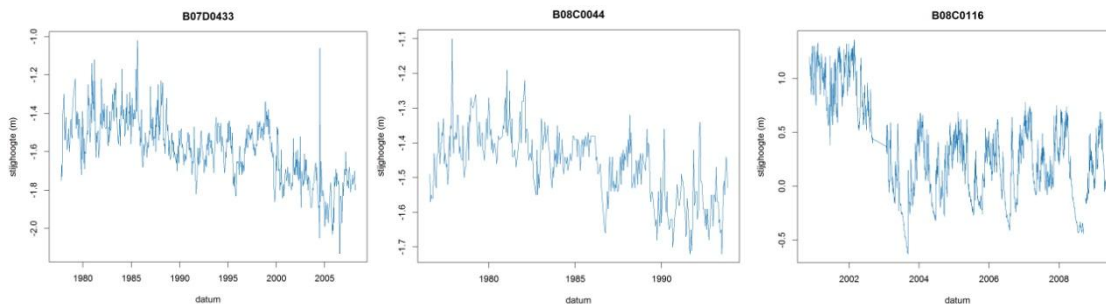
Afbeelding 2.10 Illustratie: maaiveld daalt, grondwaterstand volgt oppervlaktewater dat circa eens per 10 jaar wordt verlaagd



In theorie zou beeld van afbeelding 2.10 een beeld kunnen zijn van maaiveldhoogte en grondwaterstand als gevolg van diepe bodemdaling door gaswinning. Dit betekent dat droge en natte perioden elkaar opvolgen: de bodem daalt, de grondwaterstand ten opzichte van NAP blijft gelijk → het wordt natter → dit kan mogelijk leiden tot verweking van de ondiepe ondergrond → peilverlaging door het waterschap → grondwaterstand daalt → het wordt droger → dit kan mogelijk leiden tot maaiveld daling als gevolg van veenoxidatie en zetting.

Uiteraard moet bovenop dit beeld de natuurlijke fluctuaties door neerslag en verdamping wordt gelegd. Als voorbeeld van hoe het verloop van de grondwaterstand er dan uit kan zien zijn gegeven in afbeelding 2.11. Dit zijn drie peilbuizen uit het projectgebied. De meeste peilbuizen uit het projectgebied hebben niet zo een typisch verloop.

Afbeelding 2.11 Voorbeelden van peilbuizen uit het projectgebied met een dalende (of stap)trend in de grondwaterstand ten opzichte van NAP



Methode: Risico beoordeling

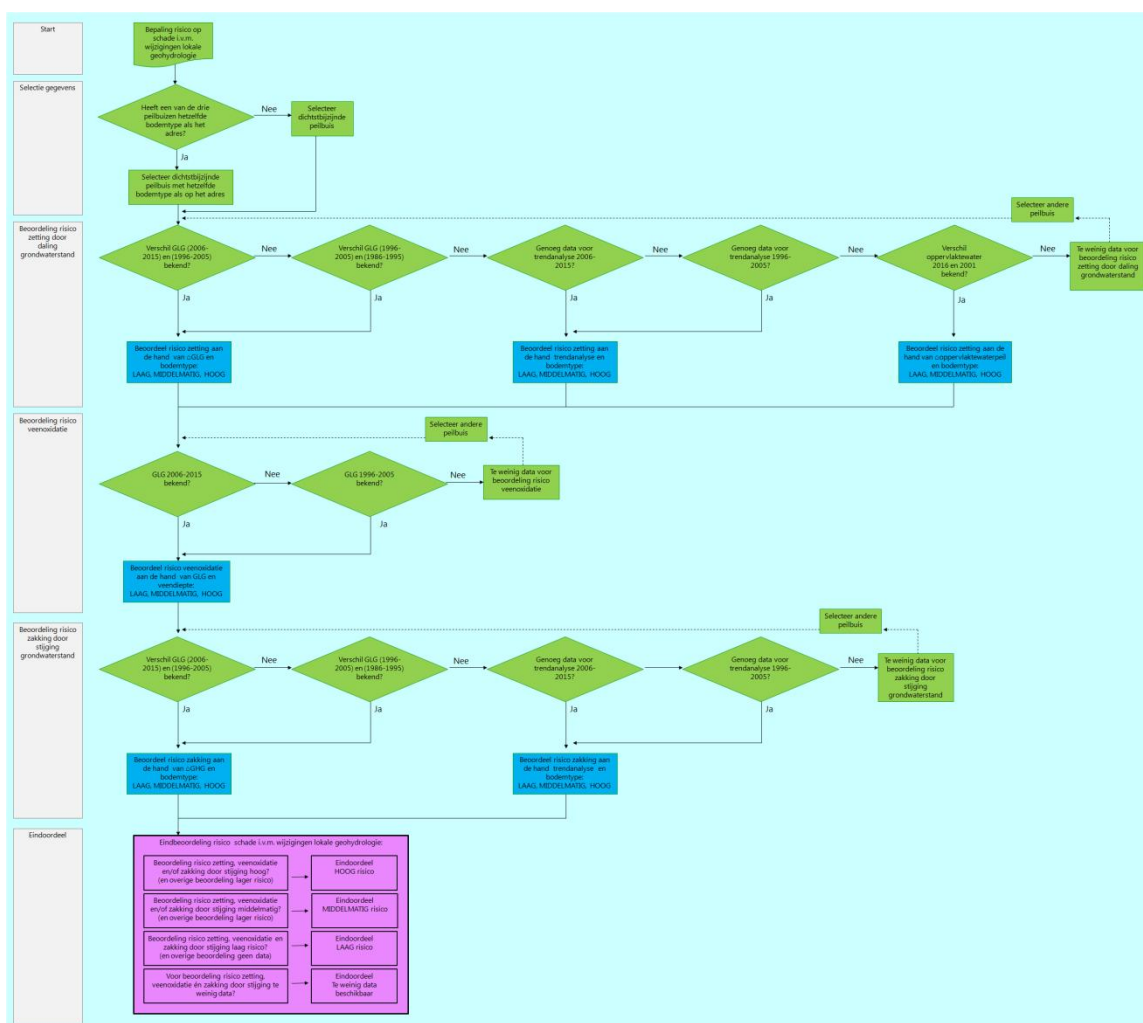
Er zijn drie risico's voor schade in verband met de geohydrologie. Voor elk risico is één of meerdere analyses uitgevoerd:

Tabel 2.7 Mogelijke risico's en analyses

Risico	Analyse
1. daling grondwaterstand en zetting	1A. analyse daling GLG 1B. trendanalyse 1C. analyse verlaging oppervlaktewaterpeil
2. veenoxidatie	2. analyse GLG en diepteligging veen
3. stijging grondwaterstand en zakking	3A. analyse stijging GHG 3B. trendanalyse

Elk van de risico's wordt beoordeeld. Dit leidt uiteindelijk tot een eindoordeel. In afbeelding 2.12 is het stroomschema voor beoordeling weergegeven. Deze wordt in onderstaande alinea's toegelicht.

Afbeelding 2.12 Stroomschema beoordeling



Selectie gegevens

Allereerst wordt het bodemtype bij de woning vergeleken met de bodemtypes bij de peilbuizen, volgens de lithostratigrafische kaart van TNO. Wanneer een van de drie peilbuizen hetzelfde bodemtype heeft als de woning, wordt de dichtstbijzijnde peilbuis met hetzelfde bodemtype geselecteerd. Wanneer de bodemtypes van alle drie de peilbuizen niet overeen komen met die bij de woning, wordt de dichtstbijzijnde peilbuis geselecteerd.

Daling grondwaterstand en zetting

Er zijn drie methodes om te beoordelen of er grondwaterstanddaling heeft plaatsgevonden en of er risico is op zetting: analyse daling GLG, trendanalyse en analyse verlaging oppervlaktewaterpeil.

Analyse daling GLG

Of er effecten aan maaiveld optreden voor de bebouwing door daling van de grondwaterstand kan worden beoordeeld aan de hand van de criteria weergegeven in tabel 2.8. Wanneer de daling van de GLG groter is dan de waarden uit deze tabel, is er risico op zetting. Deze tabel is gebaseerd op de meest ongunstige situatie met betrekking tot grondgesteldheid [ref. 4].

Er is geen periode bekend waarbinnen deze verlaging moet plaatsvinden om zetting te kunnen veroorzaken. Daarom worden de meest recente periodes vergeleken om de daling van de GLG uit te rekenen: de GLG van 2006-2015 wordt vergeleken met de GLG 1996-2005.

Tabel 2.8 Toelaatbare verlaging grondwaterstand [ref. 4]

Bodem voornamelijk opgebouwd uit	Toelaatbare verlaging grondwaterstand (GLG) in cm
zand	24
klei	10
veen met kleidek	7

In het projectgebied worden op de lithostratigrafische kaart van TNO vier eenheden onderscheiden: zand, klei, veen en 'diamicton' (keileem). Keileem is op dezelfde manier beoordeeld als klei. Op basis van het bodemtype kan de toelaatbare verlaging van de GLG (tabel 2.9) vergeleken worden met de gemeten verandering in GLG, en kan de volgende beoordeling plaatsvinden:

Tabel 2.9 Beoordeling risico zetting als gevolg van daling grondwaterstand, op basis van GLG

Verandering GLG	Risico zetting als gevolg van daling grondwaterstand
stijging	laag risico
daling, binnen toelaatbare verlaging	middelmatig risico
daling, groter dan toelaatbare verlaging	hoog risico

Hierbij is stijging van de GLG aangeduid als de klasse laag risico. In verband met onzekerheden in de gebruikte data blijft er namelijk altijd een klein risico over. Als de GLG van de twee meest recente periodes niet beschikbaar is, wordt er naar tien jaar eerder gekeken en dezelfde beoordeling uitgevoerd; de GLG van 1996-2005 wordt dan vergeleken met de GLG 1986-1995. Als er voor die perioden ook niet genoeg data is om een verschil in GLG te berekenen, wordt er naar de trendanalyse gekeken.

Trendanalyse

De trendanalyse is een tweede methode om te beoordelen of er grondwaterstanddaling heeft plaatsgevonden en of er risico is op zetting. De resultaten van de trendanalyse zijn bruikbaar als er bij een peilbuis te weinig metingen zijn om de GLG te berekenen. Als een dalende trend is gevonden over 10 jaar, is de totale

daling in cm weergegeven. Deze daling wordt vergeleken met de maximaal toelaatbare verlaging (tabel 2.10). Op basis van het bodemtype kan daarna de beoordeling plaatsvinden (tabel 2.10). Deze beoordeling is gelijk aan die van de analyse daling GLG.

Tabel 2.10 Toelaatbare verlaging grondwaterstand [ref. 4]

Bodem voornamelijk opgebouwd uit	Toelaatbare verlaging grondwaterstand (GLG) in cm
zand	24
klei	10
veen met kleidek	7

Tabel 2.11 Beoordeling risico zetting als gevolg van daling grondwaterstand, op basis van trendanalyse

Verandering GLG	Risico zetting als gevolg van daling grondwaterstand
stijging	laag risico
daling, binnen toelaatbare verlaging	middelmatig risico
daling, groter dan toelaatbare verlaging	hoog risico

Als er geen trend berekend kon worden in de meest recente periode, wordt de periode daarvoor bekeken. Als er ook voor de trenddata niet genoeg gegevens beschikbaar zijn, wordt naar het oppervlaktewaterpeil gekeken.

Analyse verlaging oppervlaktewaterpeil

Analyse van het oppervlaktewaterpeil is een derde methode om te beoordelen of er grondwaterstanddaling heeft plaatsgevonden en of er risico is op zetting. In principe wordt in de beoordelingsmethodiek van zetting uitgegaan van grondwaterstanden: alleen als voor bovenstaande analyses te weinig data beschikbaar is, wordt de analyse van verlaging van het oppervlaktewaterpeil gebruikt.

Op eenzelfde wijze als de verlaging van het grondwater wordt getoetst, wordt de verlaging van het oppervlaktewaterpeil getoetst (tabel 2.12). Omdat het effect van veranderingen in oppervlaktewater op de grondwaterstand gedempt wordt, zijn dit grotere toelaatbare verlagingen dan voor de GLG.

Tabel 2.12 Toelaatbare verlaging oppervlaktewaterpeil [ref. 4]

Bodem voornamelijk opgebouwd uit	Toelaatbare verlaging oppervlaktewaterpeil in cm
zand	32
klei	20
veen met kleidek	13

Op basis van deze tabel kan de volgende beoordeling plaatsvinden:

Tabel 2.13 Beoordeling risico zetting als gevolg van daling oppervlaktewaterpeil

Verandering oppervlaktewaterpeil	Risico zetting als gevolg van daling oppervlaktewaterpeil
stijging	laag risico
daling, binnen toelaatbare verlaging	middelmatig risico
daling, groter dan toelaatbare verlaging	hoog risico

Als er ook geen gegevens van verandering van het oppervlaktewaterpeil beschikbaar zijn, kan een andere peilbuis gekozen worden en op dezelfde manier het stappenplan voor risico op zetting doorlopen worden. Als voor alle drie de peilbuizen, behorend bij één adres, te weinig data beschikbaar is, dan is er te weinig data voor bepaling van het risico op zetting door daling van de grondwaterstand voor dat adres.

Veenoxidatie

De GLG is berekend ten opzichte van NAP, zodat de waarde eenvoudig vergeleken kan worden met de bovenkant en de onderkant van de veenlaag ten opzichte van NAP. Op basis van deze waarden kan een beoordeling uitgevoerd worden zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 2.14 Beoordeling veenoxidatie

Situatie	Beoordeling
veen aanwezig, GLG onder onderkant veenlaag	hoog risico
veen aanwezig, GLG boven onderkant en onder bovenkant veenlaag	middelmatig risico
veen aanwezig, GLG boven bovenkant veenlaag	middelmatig risico
geen veen aanwezig	laag risico
veen aanwezig, geen data GLG	geen data

Hierbij is de beoordeling 'laag risico' gegeven wanneer er volgens GeoTOP geen veen aanwezig is. In verband met onzekerheden in dit model blijft er namelijk altijd een klein risico over dat er wel veen aanwezig is en er veenoxidatie plaatsvindt.

Als de GLG in de meest recente periode niet bekend is, wordt de voorafgaande periode gebruikt. Als er ook geen GLG gegevens van die periode beschikbaar zijn, kan een andere peilbuis gekozen worden en op dezelfde manier het stappenplan voor risico op veenoxidatie doorlopen worden. Als voor alle drie de peilbuizen, behorend bij één adres, te weinig data beschikbaar is, dan is er te weinig data voor bepaling van het risico op veenoxidatie voor dat adres.

Stijging grondwaterstand en zakking

Voor het risico op zakking in verband met verhoging van de grondwaterstand zijn er twee analyses gedaan:

- 1 analyse stijging GHG;
- 2 trendanalyse.

Analyse stijging GHG

In een onderzoek van de effecten van grondwaterstandwijzigingen op funderingen [ref. 5, 6] wordt genoemd dat de zakking van de fundering als gevolg van 15 cm grondwaterrijzing minder dan 10 mm is en dus niet tot schade zal leiden. Omdat er verder geen beoordelingscriteria voor zakking bij een bepaalde grondwaterstijging zijn, wordt dit aangehouden als criterium.

Er is geen periode bekend waarbinnen deze verlaging moet plaatsvinden om zetting te kunnen veroorzaken. Daarom worden de meest recente periodes vergeleken om de stijging van de GHG uit te rekenen: de GHG van 2006-2015 wordt vergeleken met de GHG 1996-2005.

Omdat dit risico alleen speelt bij een zandige ondergrond, is ook per woning het bodemtype bepaald met de lithostratigrafische kaart van TNO. De beoordeling gaat daarna als volgt:

Tabel 2.15 Beoordeling risico zakking als gevolg van stijging grondwaterstand (GHG)

Verandering GHG	Risico zetting als gevolg van stijging grondwaterstand
geen zandig profiel	laag risico
daling of stijging <15 cm	laag risico
stijging >15 cm in zandig profiel	middelmatig risico

Als de GHG van de twee meest recente periodes niet beschikbaar is, wordt er naar tien jaar eerder gekeken en dezelfde beoordeling uitgevoerd: de GHG van 1996-2005 wordt dan vergeleken met de GHG 1986-1995.

Als er voor die perioden ook niet genoeg data is om een verschil in GHG te berekenen, wordt er naar de trendanalyse gekeken.

Trendanalyse

De trendanalyse is een tweede methode om te beoordelen of er grondwaterstandstijging heeft plaatsgevonden en er hierdoor risico is op zakking. De resultaten van de trendanalyse zijn bruikbaar als er bij een peilbuis te weinig metingen zijn om de GHG te berekenen.

Als een stijgende trend is gevonden over 10 jaar, is de totale stijging in cm weergegeven. Deze daling wordt vergeleken met de maximaal toelaatbare stijging van 15 cm. Op basis van het bodemtype kan daarna de beoordeling plaatsvinden (tabel 2.16).

Tabel 2.16 Beoordeling risico zakking als gevolg van stijging grondwaterstand (GHG) met trendanalyse

Verandering GHG	Risico zetting als gevolg van stijging grondwaterstand
geen zandig profiel	laag risico
daling of stijging >15cm	laag risico
stijging >15 cm in zandig profiel	middelmatig risico

Als er geen trend berekend kon worden in de meest recente periode, wordt de periode daarvoor bekeken. Als er ook daarvoor te weinig gegevens beschikbaar zijn, kan een andere peilbuis gekozen worden en op dezelfde manier het stappenplan voor risico op zakking door grondwaterstijging doorlopen worden. Als voor alle drie de peilbuizen, behorend bij één adres, te weinig data beschikbaar is, dan is er te weinig data voor bepaling van het risico op zakking door grondwaterstijging voor dat adres.

Eindoordeel risico schade als gevolg van wijzigingen lokale geohydrologie

Ten slotte wordt de beoordeling voor de risico's op zetting door grondwaterstanddaling, veenoxidatie en zakking door grondwaterstandstijging gecombineerd tot een eindoordeel. Wanneer één van de drie mechanismen een hoog risico geeft, is het eindoordeel van het risico op maaiveld daling ook *hoog risico*. Wanneer één of twee van de drie mechanismen een middelmatig risico heeft en de andere laag risico of geen data, is de eindbeoordeling *middelmatig risico*. Wanneer alle drie mechanismen een laag risico of geen

data geven, is het eindoordeel *laag risico*. Wanneer voor alle methoden niet genoeg data beschikbaar is, is het eindoordeel *te weinig data*.

Beschouwing grenswaarde

De toetsingscriteria voor daling van de grondwaterstand (tabel 2.9 en tabel 2.13) zijn afkomstig uit 'Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkings in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen' [ref. 2]. Deze criteria zijn ook gebruikt in het eerdere onderzoek van Arcadis [ref. 7].

Het toetsingscriterium voor stijging van de grondwaterstand (tabel 2.15) is afkomstig uit 'Effecten peilverhoging op fundering op staal. Relatie afname draagvermogen en zakking fundering' [ref. 5, 6]. Het is in dat onderzoek niet gepresenteerd als toetsingscriterium, maar er wordt wel geconcludeerd dat 15 cm stijging van de grondwaterstand in principe niet tot schade leidt. Hierbij wordt opgemerkt dat er altijd bijzondere gevallen kunnen zijn waar meer schade minder onaannemelijk is dan in het algemeen (bijvoorbeeld nieuwbouw op grond waar vroeger een pand heeft gestaan; een pand waar in de loop van de tijd de belastingen toenemen).

Daling grondwaterstand en zetting

In het projectgebied worden op de lithostratigrafische kaart vier eenheden onderscheiden: zand, klei, veen en 'diamicton' (keileem). Keileem is op dezelfde manier beoordeeld als klei. Keileem is waarschijnlijk minder gevoelig voor zetting dan klei, dus dit is een worst case benadering.

Veenoxidatie

Bij de beoordeling wordt er dus vanuit gegaan dat het bodemprofiel ter plaatse van de woningen onverstoorde is (en het veen niet is afgegraven). Daarnaast is het zo dat het bodemprofiel met de veenlaag kan zakken door diepe bodemdaling. In de werkwijze wordt hier geen rekening mee gehouden en wordt er vanuit gegaan dat GeoTOP de juiste hoogten weergeeft.

Stijging grondwaterstand en zakking

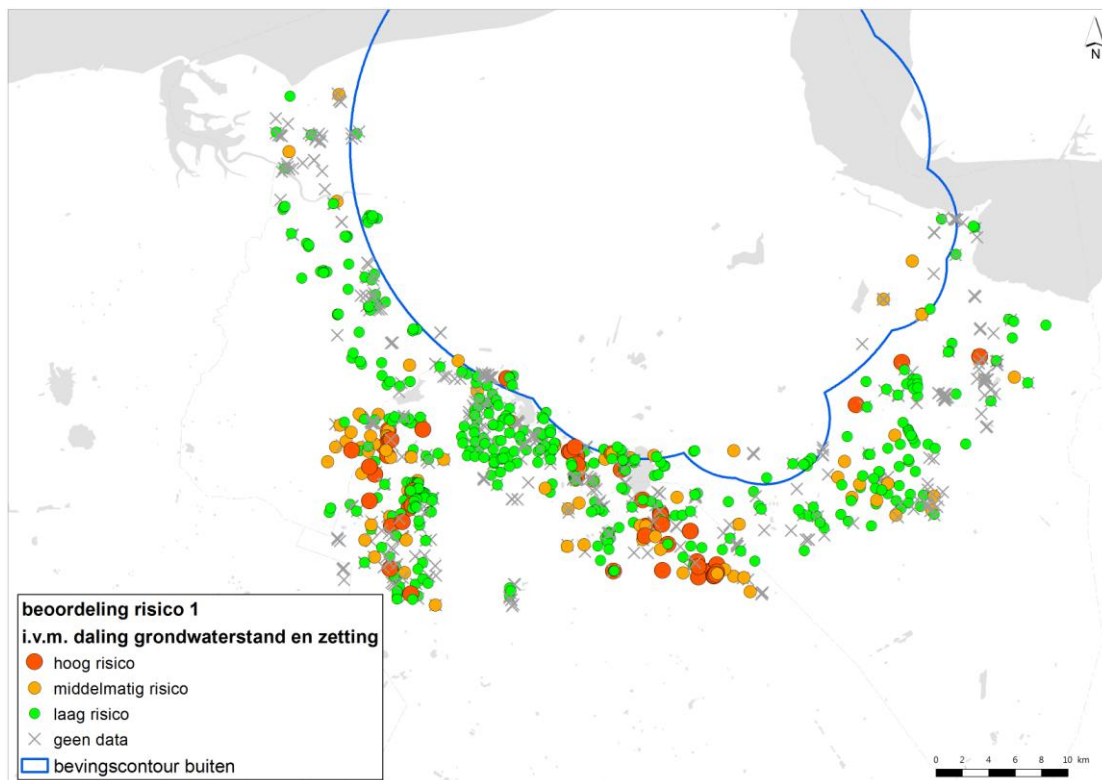
Naast effect op zakking kan door verhoging van de GHG de voorwaarde voor verzadiging en verweking van zand wordt geïntroduceerd. Het effect van stijgende grondwaterstanden op deze processen hangt onder andere af van de fundering. Er zijn geen beoordelingscriteria voor verweking die gekoppeld zijn aan grondwaterstanden of een bepaalde stijging hiervan. De kans op verweking is heel klein. Om deze reden is de beoordeling van verweking buiten de systematiek voor het eindoordeel gehouden.

Resultaat

Risico 1: daling grondwaterstand en zetting

De beoordeling voor het risico op zetting door daling van de grondwaterstand is op onderstaande kaart weergegeven. De woningen met te weinig data liggen voornamelijk in het noordwesten, met een laag tot middelmatig risico.

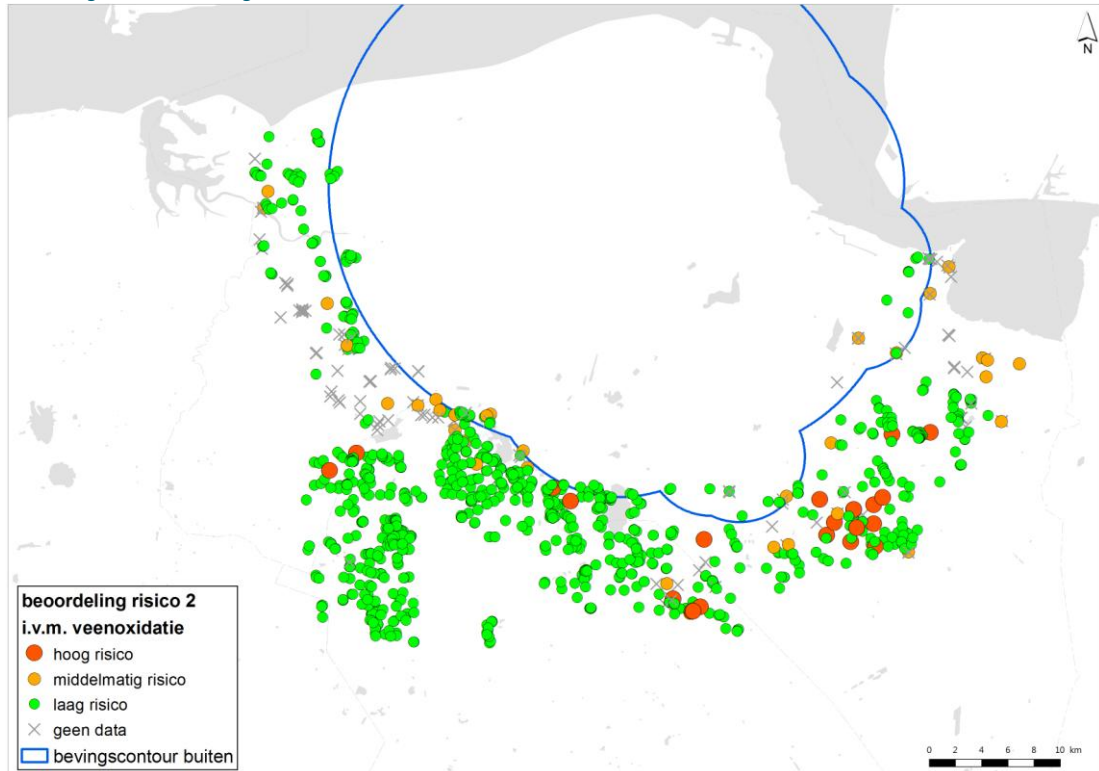
Afbeelding 2.13 Beoordeling risico daling grondwaterstand en zakking



Risico 2: veenoxidatie

In onderstaande afbeelding is de beoordeling voor het risico op veenoxidatie weergegeven. De woningen waar voor de peilbuizen geen GLG kon worden berekend, liggen over het algemeen in gebieden waar het veen lager ligt dan de GLG, dus waar het risico op veenoxidatie middelmatig is.

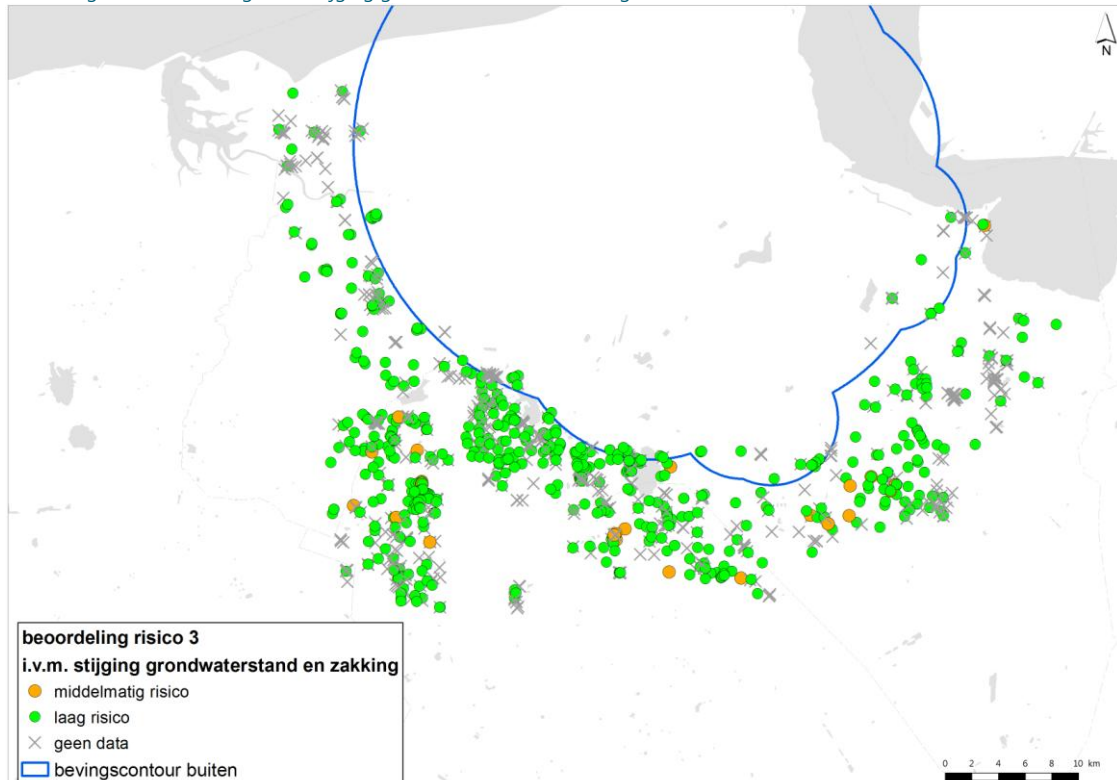
Afbeelding 2.14 Beoordeling risico veenoxidatie



Risico 3: stijging grondwaterstand en zakking

De beoordeling voor het risico op zakking door stijging van de grondwaterstand is op onderstaande kaart weergegeven. De woningen met te weinig data liggen voornamelijk in gebieden met een laag risico.

Afbeelding 2.15 Beoordeling risico stijging grondwaterstand en zakking



Eindresultaat

Op basis van het eindoordeel risico schade als gevolg van wijzigingen lokale geohydrologie heeft op pandniveau geen falsificatie plaatsgevonden. Het eindoordeel geeft aan of er op de locatie een laag, middelmatig of hoog risico is op zettingsschade als gevolg van de geohydrologie.

Referenties

- 1 Deltares (2009). Gedrag van zand onder cyclische belasting, Geotechniek januari 2009.
- 2 Commissie bodemdaling (1987). Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkings in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen,
- 3 <http://www.commissiebodemdaling.nl/sub/gevolgen-bodemdaling-voor-gebouwen/>.
- 4 Commissie bodemdaling (1987). Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkings in verband met aardgaswinning in de Provincie Groningen.
- 5 Gemeentewerken Gemeente Rotterdam (2003). Bodemdaling Groningen. Effecten peilverhoging op fundering op staal. Relatie afname draagvermogen en zakking fundering (projectfase 2).
- 6 Gemeentewerken Gemeente Rotterdam (2014). Bodemdaling Groningen. Effecten peilverhoging op fundering op staal. Relatie afname draagvermogen en zakking fundering.
- 7 Arcadis (2015). Onderzoeksgebied 'Steenbergen', Gebouwschade in relatie tot NAM-activiteiten Langelo.

2.3.5 Verweking en verdichting van de grond door aardbevingen

Trillingen, en dus ook aardbevingstrillingen, kunnen losgepakte grond verdichten zowel boven als onder de grondwaterstand. In verzadigd (fijn) zand en silt onder de grondwaterstand kan dit zelfs leiden tot vervloeien door wateroverspanning, ook wel bekend als verweking of *liquefaction* in het Engels. Hier wordt in het vervolg de term verweking gebruikt.

Trillingsverdichting

Door trillingsverdichting in de onverzadigde zone boven de grondwaterstand kan er in losgepakte zandige lagen een dichtere pakking op van de korrels optreden, waardoor ter plaatse van ondiepe funderingen (ongelijkmatige) zetting kan optreden. Dit zal sterk afhangen van de aanwezigheid, dikte en diepte van de losgepakte zandige lagen in relatie tot de fundering. Daarnaast moet de trilling uiteraard sterk genoeg zijn om verdichting op te laten treden.

Verweking

Verweking treedt op door een snel verlopende wisselende belasting, waardoor in zandlagen waterspanningsopbouw zal plaatsvinden. Op het moment dat de wateroverspanning zo groot wordt dat de korrelspanning nul wordt, is sprake van volledige verweking en verliest de ondergrond bijna al zijn sterkte. Het effect van een verweking is dat grond met een losse pakking na afloop van de aardbeving een vastere pakking inneemt. Dat betekent dat er een zakking zal optreden die op maaiveldniveau merkbaar zal zijn. Een op staal gefundeerd pand die op een verweekte zandlaag staat, verliest bijna al zijn draagkracht, waardoor bezwijken kan optreden en grote vervormingen kunnen ontstaan. Ook panden die op palen zijn gefundeerd kunnen door het (tijdelijk) wegvallen van de zijdelingse gronddruk in de verweekte grond rondom de palen schade ondervinden.

De belangrijkste basis grondeigenschappen in relatie tot verwekingsgevoeligheid zijn de grondsoort en de pakkingsdichtheid. Algemeen wordt aangenomen dat klei en veen niet verwekingsgevoelig zijn. Voorwaarde is dat, naast de genoemde basis grondeigenschappen, er ook een bepaalde sterkte en duur (hoeveelheid energie) van een trilling moet optreden, welke worden uitgedrukt in Magnitude en PGA (maximale grondversnelling).

Resultaat

Bij de tot op heden opgetreden aardbevingen in Groningen zijn geen locaties vastgesteld waar verweking is opgetreden. Bij een sterkere aardbeving (met piekgrondversnellingen vanaf ongeveer 0,2 g, of omgerekend 196 cm/s²) neemt de kans op verweking volgens de huidige inzichten sterk toe ([ref. 1], [ref. 2]). Volgens de NPR 9998 [ref. 3] behoeft het aspect verweking niet te worden meegenomen in de berekeningen indien de

rekenwaarde van de ontwerp piekgrondversnelling (PGA) aan het maaiveld kleiner is dan 0,1 g (98,1 cm/s²). De NPR geldt overigens alleen voor het bepalen van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren. De hoogst berekende piekgrondversnellingen in het buitengebied is 0,007 g (7,1 cm/s²) op basis van de mediane waarde van de V1 GMPE. Hiermee zijn naar verwachting de tot op heden opgetreden piekgrondversnellingen (PGA waarden) in het buitengebied te laag om verdichting of verweking van losgepakte zandlagen te initiëren. Op basis hiervan kan plaatselijke ongelijkmatige bodemdaling als gevolg van trillingsverdichting of -verweking worden uitgesloten.

Referenties

- 1 Deltares (2014a) Effecten aardbevingen op kritische infrastructuur – Verwekingstudie, Kenmerk 1208624-007-GEO-0001, januari 2014.
- 2 Deltares (2014b) Effecten aardbevingen op hoogspanningsnet in Groningen, Kenmerk 1208624-010-GEO-0001, januari 2014.
- 3 NEN (2015), Nederlandse praktijkrichtlijn NPR 9998, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren. Grondslagen voor aardbevingsbelastingen: geïnduceerde aardbevingen.

2.3.6 Bouwactiviteiten

Bouwactiviteiten zoals heien, intrillen van damwanden, het uitgraven of ophogen van het maaiveld kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de bouwactiviteit. Om bouwactiviteiten als mogelijke schadeoorzaak te kunnen falsificeren of te kunnen verifiëren moet informatie over bouwactiviteiten worden verzameld. Is er sprake geweest van het heien van palen of het intrillen van damwanden dan zijn dit vaak de maatgevende werkzaamheden met betrekking tot mogelijk optreden van schade. Voor bouwwerkzaamheden (en dan specifiek het heien van palen en het intrillen van damwanden) is op basis van rekenformules uit de CUR166 te bepalen wat voor trillingsniveaus er kunnen worden verwacht op welke afstand van de werkzaamheden. Dit zijn empirische rekenformules. De niveaus kunnen worden getoetst aan de grenswaarden van de SBR richtlijn deel A.

Voor heiwerkzaamheden volgt uit een aftastende berekening voor een gemiddelde situatie dat binnen een afstand van 15-20 m schade niet op voorhand kan worden uitgesloten, uitgaande van pandcategorie 3 SBR deel A. De afstand voor het intrillen van damwanden is kleiner en bedraagt 5 tot maximaal 10 m. De afstanden zijn indicatief en kunnen in sommige situaties groter uitvallen. Dit hangt bijvoorbeeld af van de slagkracht waarmee gewerkt wordt. Als falsificatiecriterium is gekozen voor een afstand van 20 m tot aan bouwwerkzaamheden.

2.3.7 Industriële activiteiten

Industriële activiteiten kunnen in sommige gevallen leiden tot schade aan nabijgelegen gebouwen. Zo is er bijvoorbeeld in sommige gevallen sprake van werkzaamheden die trillingen veroorzaken waardoor mogelijk schade optreedt of kan er sprake zijn van boor- en winningactiviteiten welke mogelijk schade tot gevolg hebben wanneer zettingen in de ondergrond optreden. Om een industriële activiteit als mogelijke schadeoorzaak te kunnen falsificeren of te kunnen verifiëren het is dan ook van belang dat er informatie over de specifieke aard van de industriële activiteit wordt verzameld.

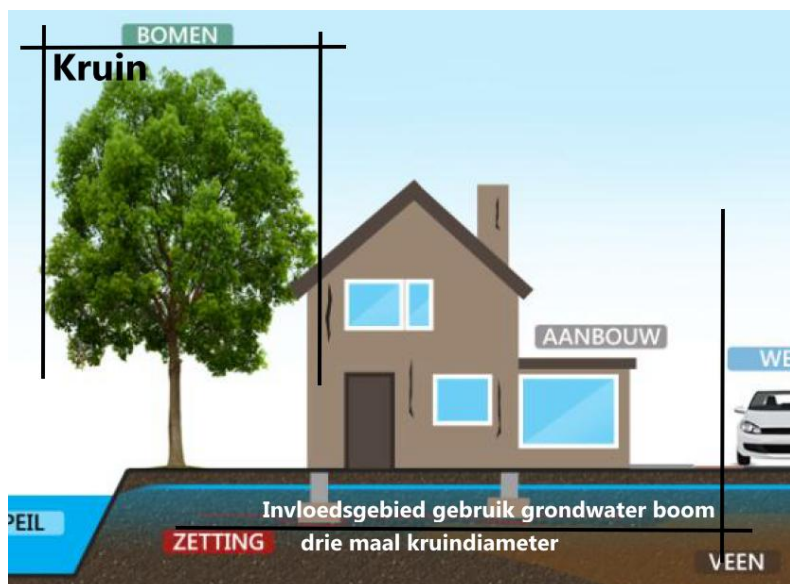
Resultaat

Omdat er een grote variatie aan industriële activiteiten mogelijk is en de belasting op de omgeving sterk varieert afhankelijk van het type werkzaamheden is er geen algemeen falsificatiecriterium opgesteld voor industriële activiteiten. Tijdens de inspectie is telkens gevraagd naar mogelijke industriële bouwactiviteiten en heeft op basis van de beschikbare gegevens per woning een falsificatieafweging plaatsgevonden. Vaak geldt hierbij dat de specifieke industriële activiteit onderverdeeld kan worden in één van de andere oorzaken waaronder geohydrologie, trillingen als gevolg van wegverkeer.

2.3.8 Bomen

Voor de falsificatie van de aanwezigheid van bomen in de nabijheid als mogelijke schadeoorzaak zijn twee grenswaarden gebruikt. Dit is enerzijds het invloedsgebied van de grondwateronttrekking door een boom, anderzijds de oppervlakte van het wortelstelsel.

Afbeelding 2.17 Schematische weergave invloedsgebied



Uit [1] blijkt dat de oppervlakte van het wortelstelsel van een boom net iets groter kan zijn dan de kruin van de boom. Dus bevindt de kruin van een boom zich dicht bij een woning dan is het niet ondenkbaar dat de fundering schade ondervindt van het wortelstelsel van de boom.

Uit [1] blijkt ook dat de invloedssfeer van grondwateronttrekking van een boom ongeveer drie maal de kruinbreedte is. Bevindt de fundering van een woning zich in dit invloedsgebied dan is het niet ondenkbaar dat door de onttrekking van grondwater plaatselijk ongelijkmatige zetting ontstaat door verandering in de draagkracht van de ondergrond.

Voor de bovengenoemde grenswaarden is geen rekening gehouden met het soort boom. Uit [1] blijkt ook dat de verschillende soorten bomen verschillende wortelkenmerken hebben. Zo kan een boom een vlak wortelsysteem hebben of een diep wortelsysteem. Tevens kan de dichtheid van het wortelsysteem variëren. Om het aanwezige wortelsysteem per soort boom te beschouwen is deskundigheid noodzakelijkheid. Deze is bij dit onderzoek niet ingezet.

Resultaat

De aanwezigheid van een boom kent twee falsificatiecriteria voor mogelijke oorzaak van schade aan een gebouw. Hierbij is het criteria als gevolg van het onttrekken van grondwater door het wortelsysteem maatgevend en leidt tot het falsificatiecriterium dat binnen een invloedsgebied van driemaal de kruinbreedte schade als gevolg van verschilzetting niet kan worden uitgesloten.

Referenties

- 1 Kennis Centrum Aanpak Funderingsproblematiek (2012), Bomen zijn soms een gevaar voor de fundering en riolering.

2.4 Gebouw: interne vervormingen en belastingen

Schades kunnen veroorzaakt zijn door gebouwfactoren, zoals interne vervormingen of belastingen. Op basis van Borsje [1] en aangevuld door het Panel van deskundigen, zijn voor de onderliggende schadecategorieën de volgende falsificatiecriteria geformuleerd:

- schadecategorie: 'ongelijkmatige zettingen in de ondergrond'(bijlage III.10):
 - ongelijkmatige zettingen in de ondergrond kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer het gebouw op palen op een voldoende draagkrachtige laag gefundeerd is;
- 'verbouwing/uitbreiding' als sub-oorzaak horende bij alle hoofdcategorieën:
 - verbouwing/uitbreiding kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer er geen bouwkundige wijzigingen zijn geweest;
- 'veranderend gebruik':
 - veranderend gebruik kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer er geen wijziging is geweest van de gebruiksfunctie van het gebouw;
- 'impact van voorwerpen/materieel':
 - impact van voorwerpen/materieel kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer er in het verleden geen calamiteiten hebben plaatsgevonden die impact hebben op het gebouw. Hierbij moet worden gedacht aan bijvoorbeeld aanrijdingen;
- 'explosie':
 - explosie kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer er in het verleden geen calamiteiten hebben plaatsgevonden in de vorm van explosies;
- 'regen/sneeuwval':
 - regen/sneeuwval kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer de opbouw van het gebouw dusdanig is dat er geen sprake kan zijn van ophoping van regenwater en/of sneeuw;
- 'blikseminslag':
 - blikseminslag kan worden uitgesloten als schade oorzaak, wanneer er in het verleden geen calamiteiten hebben plaatsgevonden in de vorm van blikseminslag.

[1] Borsje, H., & Richemont, S. (2011). Methodiek voor onderzoek naar de oorzaak van gebouwschade – versie 2. Delft: TNO.

2.5 Resultaat falsificatiecriteria

Uit de voorgaande paragrafen volgen voor de verschillende mogelijke schadeoorzaken één of meerdere falsificatiecriteria. De criteria worden in deze paragraaf samengevat.

In onderstaande tabel worden per schadeoorzaak de gehanteerde falsificatiecriteria weergegeven.

Tabel 2.17 Achterliggende toetsingsprocedure/richtlijn per schadeoorzaak

Schadeoorzaak	Falsificatiecriterium
aardbevingen	per adres aardbevingsbelasting conform GMPE onder waarde richtlijn?
trillingen door bouwactiviteiten	afstand tot gebouw > 20 m
trillingen door wegverkeer	- afstand doorgaande weg met snelheidslimiet 50 km/h > 10 m - bij sprake van een drempel in combinatie met doorgaande weg met snelheidslimiet 50 km/h > 20 m
trillingen door spoorverkeer	op basis van beschikbare meetdata kon geen criterium worden afgeleid. Afstand tot spoor > 10 m aangehouden.
trillingen door overige bronnen	afhankelijk van bronkenmerken. Geen criterium afgeleid
ongelijkmatige zetting door grondwater	omdat de in een specifiek pand opgetreden verschilzetting

Schadeoorzaak	Falsificatiecriterium
ongelijkmatige zetting door grondverweking/liquefactie	niet bekend is en dit enkel kan worden bepaald middels een uitvoerige meting, kan niet op pandniveau een falsificatie plaatsvinden. Op populatieniveau volgt de verwachting dat van gemiddelde en erge schade in een beperkt aantal gevallen sprake kan zijn (orde 10-20 %), zie bijlage I.
ongelijkmatige zetting door bouwactiviteiten	
ongelijkmatige zetting door industriële activiteiten	
ongelijkmatige zetting door bomen	
	Uit paragraaf 2.3.3 volgt dat naar verwachting geen verweking heeft opgetreden in het onderzochte buitengebied.
interne vervormingen en belastingen door ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	gebouw op palen op een voldoende draagkrachtige laag gefundeerd
interne vervormingen en belastingen door verbouwing/uitbreiding	er is geen sprake van bouwkundige wijzigingen
interne vervormingen en belastingen door veranderend gebruik	geen wijziging van gebruiksfunctie van het gebouw
interne vervormingen en belastingen door impact van voorwerpen/materieel	in het verleden hebben geen calamiteiten plaatsgevonden die impact hebben op het gebouw
interne vervormingen en belastingen door explosie	in het verleden hebben geen calamiteiten plaatsgevonden in de vorm van explosies
interne vervormingen en belastingen door regen/sneeuwval	opbouw van het gebouw is dusdanig dat er geen sprake kan zijn van ophoging van regenwater en/of sneeuw
interne vervormingen en belastingen door blikseminslag	in het verleden hebben geen calamiteiten plaatsgevonden in de vorm van blikseminslag

De achterliggende toetsingsprocedure/richtlijn per schadeoorzaak wordt in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 2.18 Achterliggende toetsingsprocedure/richtlijn per schadeoorzaak

Schadeoorzaak	Richtlijn/toetsingsprocedure
aardbevingen	SBR deel A toetsing, <i>incidentele trillingen</i>
trillingen door bouwactiviteiten	SBR deel A toetsing, <i>herhaald kortdurende/continue¹ trillingen</i>
trillingen door wegverkeer	SBR deel A toetsing, <i>herhaald kortdurende trillingen</i>
trillingen door spoorverkeer	SBR deel A toetsing, <i>herhaald kortdurende trillingen</i>
trillingen door overige bronnen	SBR deel A toetsing, <i>afhankelijk van bronkenmerken</i>
ongelijkmatige zetting door grondwater	tabel 6 en 7: Schade classificatie en scheurwijdte
ongelijkmatige zetting door grondverweking/liquefactie	tabel 6 en 7: Schade classificatie en scheurwijdte
ongelijkmatige zetting door bouwactiviteiten	tabel 6 en 7: Schade classificatie en scheurwijdte
ongelijkmatige zetting door industriële activiteiten	tabel 6 en 7: Schade classificatie en scheurwijdte
ongelijkmatige zetting door bomen	tabel 6 en 7: Schade classificatie en scheurwijdte
interne vervormingen en belastingen	geen expliciet criterium

¹ Afhankelijk van type bouwactiviteit.

VERIFICATIECRITERIA

3.1 Verifiëren van schadeoorzaken

In het vorige hoofdstuk zijn de schadeoorzaken besproken waarbij is ingegaan op grenswaarden voor het wel of niet optreden van schade. Op basis van deze falsificatiecriteria kan per gebouw gekeken worden bepaald welke schadeoorzaken wel of niet kunnen worden uitgesloten. Vervolgens vindt de verificatiestap plaats door de waargenomen schadebeelden tijdens de inspectie te beschouwen en vervolgens te beoordelen of de schadeoorzaken welke uit de falsificatiestap als mogelijke schadeoorzaken zijn aangemerkt, overeenkomen met het schadebeeld. Voor de verificatiestap is het daarom van belang een beeld te hebben van schadebeelden en bijbehorende schadeoorzaken. Dit hoofdstuk bespreekt de schadebeelden en verificatiecriteria voor de veelvoorkomende schadebeelden.

3.2 Overzicht van veelvoorkomende schadebeelden

Uit de schadebeoordelingen volgt dat een aantal schadebeelden dat relatief veel voorkomt. Om de wijze van bepaling van verificatiecriteria weer te geven zijn op de volgende pagina's veelvoorkomende schades aan gebouwen weergegeven. De uitwerking is bedoeld om een beeld te schetsen van de verschillende schadebeelden. In het volgende hoofdstuk wordt een lijst met alle waargenomen schades gegeven. De uitwerkingen zijn geordend in de drieslag: (a) belastingen, (b) vervormingen, (c) ondergrond.

3.3 Onvoldoende stijfheid van de lateiconstructie

Schadebeeld:

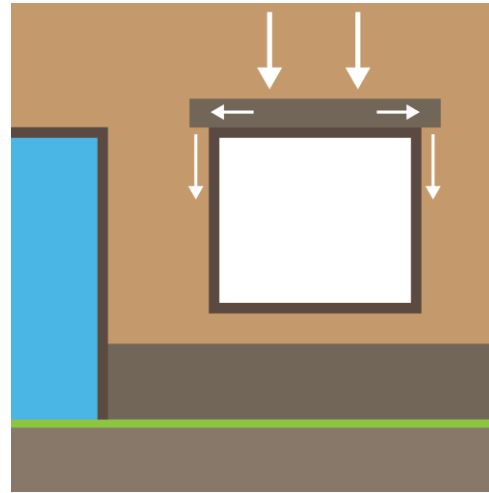
Scheurvorming boven een gevelopening.

Oorzaak:

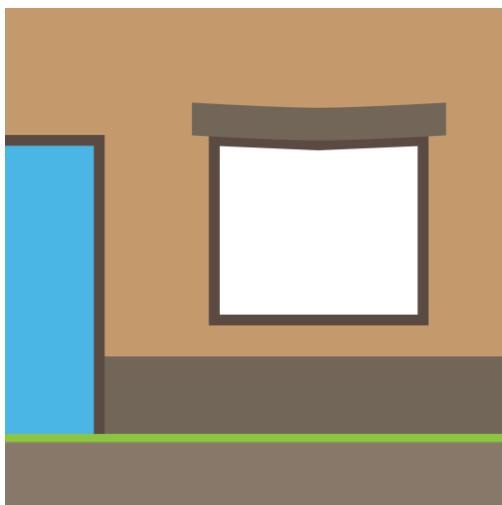
A Overbelasting. A1 Onvoldoende stijfheid.



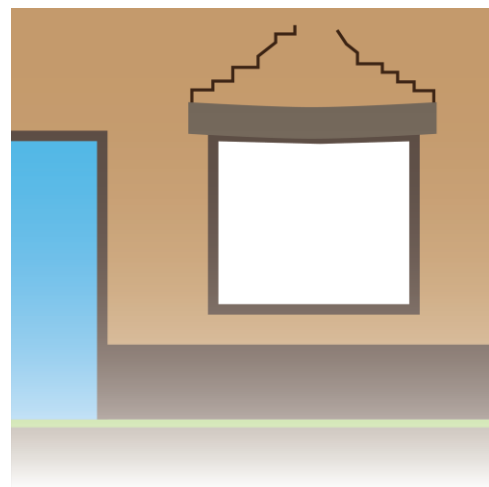
- 1 Boven elke opening in een gevel bevindt zich een lateiconstructie. De lateiconstructie bestaat uit een rollaag of een balk van bijvoorbeeld natuursteen, beton, staal, hout of een gemetselde constructie. Lateien kunnen zichtbaar of onzichtbaar gemonteerd zijn.



- 2 Een latei draagt de bovenliggende wand. De krachten uit deze wand wordt door de lateiconstructie afgedragen naar de beide zijden van de gevelopening. Daar worden de krachten doorgegeven aan de onderliggende wand.



- 3 Soms komt het voor dat een latei onvoldoende stijfheid heeft. Als gevolg hiervan buigt de latei door.



- 4 Zelfs bij een kleine doorbuiging van de latei, komt er spanning te staan op de bovenliggende wand. Hierdoor kan scheurvorming ontstaan boven en/of in de latei. De scheurvorming verloopt in de meeste gevallen trapsgewijs.

3.4 Spatkracht vanuit het dak

Schadebeeld:

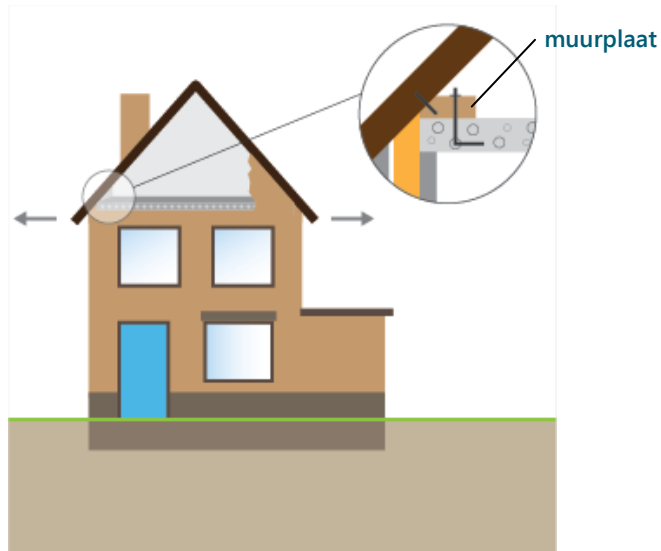
Scheurvorming nabij een aansluiting van een dak op een vloer.

Oorzaken:

A Overbelasting. A1.1 of A1.2 Onvoldoende sterkte.



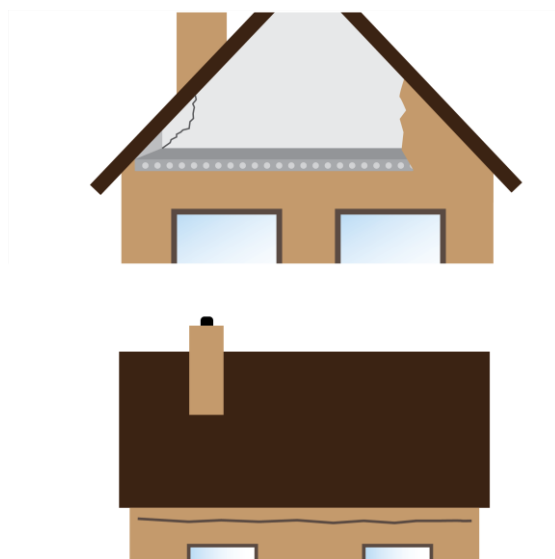
- 1 Gebouwen kunnen een schuin dak hebben. Dit komt zowel eenzijdig (lessenaarsdak) als tweezijdig (zadeldak of mansarddak) voor.



- 2 Om het spatten te voorkomen is het dak in veel gevallen via een muurplaat (zie detail) aan de vloer verbonden.



- 3 Door de helling van het dak kan het dak spatten. De muurplaat wordt door het dak in de verticale en horizontale richting belast. De grootte van deze belasting is afhankelijk van het type dakconstructie en de afmeting. De vloer, waarop de muurplaten zijn verbonden, voorkomt dat de muurplaten door de horizontale kracht naar buiten worden gedrukt.



- 4 Soms kan de vloer of muurplaat de horizontale trekkraft niet goed opvangen. In deze gevallen verplaatst de onderkant van de kap (en soms ook een deel van de vloer) naar buiten. Als gevolg hiervan drukt de muurplaat het aansluitende metselwerk naar buiten. Hierdoor kan er scheurvorming optreden in de wanden die naar buiten wordt gedrukt en wanden die hierop aansluiten.

3.5 Onvoldoende stijfheid van de dakconstructie of de fundering ervan

Schadebeeld:

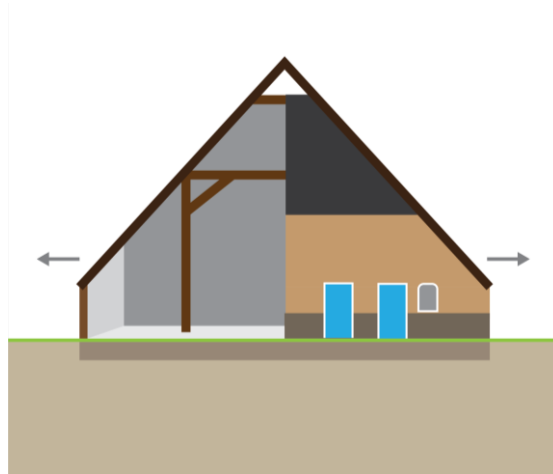
Scheuren nabij een aansluiting van het dak op een metselwerk buitenwand van een schuur en/of boerderij.

Oorzaken:

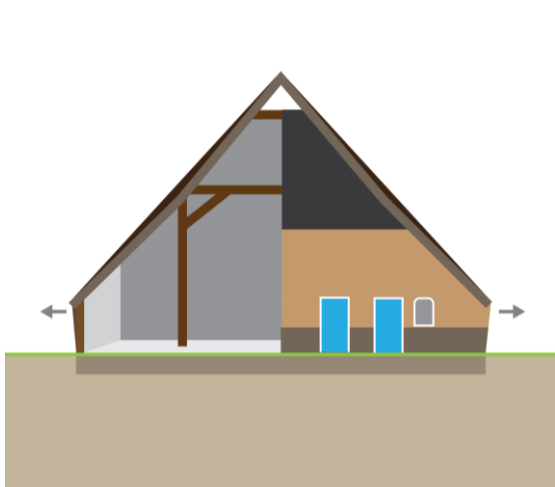
A Overbelasting. A1.1 of A1.2 Onvoldoende sterkte.



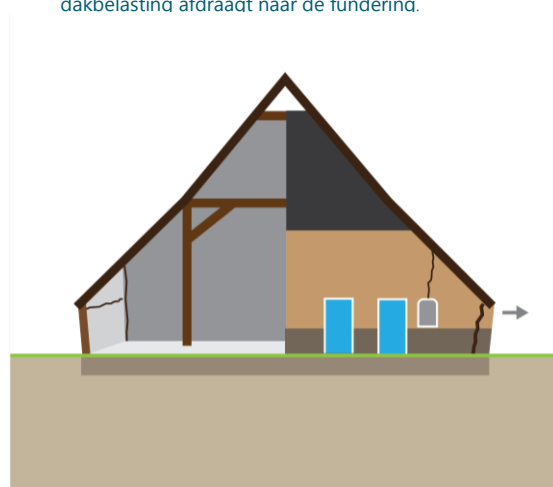
- 1 Het dak van de romp van een (woon)boerderij is meestal hellend. De constructie die het dak is een samenstelling van houten elementen.



- 2 Het hellend dak bestaat hoofdzakelijk uit houten elementen (sporen) die op regelmatige afstand van elkaar zijn geplaatst. De sporen worden aan de bovenzijde aan elkaar gekoppeld (door een hanenbalk), aan de onderzijde liggen ze via een muurplaat op het metselwerk (langswand). Halverwege de spoor steunt deze op een houten draagconstructie (gebint) welke de dakbelasting afdraagt naar de fundering.



- 3 Als de houten draagconstructie onvoldoende stijfheid heeft of als de fundering ervan meer zakt dan de fundering van de langswand, wordt de langswand door vervorming van de sporenkap naar buiten gedrukt.



- 4 Doordat de langswand naar buiten wordt gedrukt zal deze scheuren. Kenmerkende scheuren worden aangetroffen daar waar de langswand aansluit op wanden die er onder een hoek tegenaan zijn gebouwd. De langswand kan horizontaal en diagonaal scheuren daar waar hij niet gelijkmatig naar buiten wordt gedrukt.

3.6 Krimp van bouwmaterialen

Schadebeeld:

Fijne scheurvorming in de afwerking.

Oorzaak:

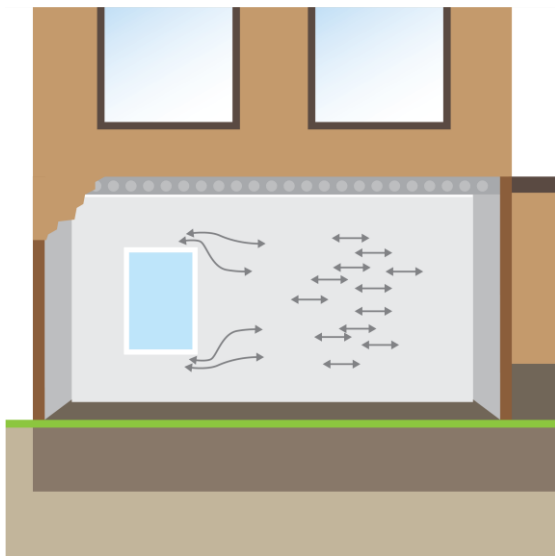
B Vervormingen. B1 Verhinderde vervorming.



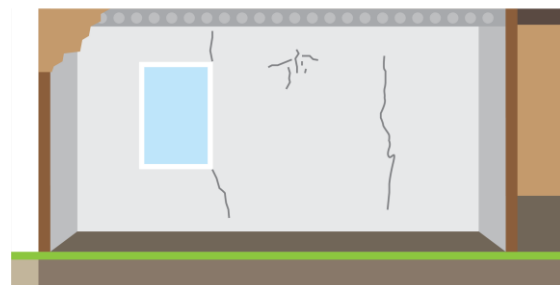
- 1 Elk gebouw is opgebouwd uit verschillende bouwdeelen, zoals wanden, vloeren en daken. Deze bouwdeelen zijn onderling gekoppeld.



- 2 Het vochtgehalte in de bouwmaterialen zal gedurende de tijd, langzaam in evenwicht komen met het vochtgehalte in het gebouw. Ten gevolge hiervan treedt vocht uit het materiaal en wil het korter worden. De mate van krimp verschilt per bouw materiaal. Bijvoorbeeld: kalkzandsteen krimpt meer dan beton- of baksteen.



- 3 Als krimp van een bouwdeel wordt verhinderd dan kan dit leiden tot scheuren in het betreffende bouwdeel. Deze bouwdeelen scheuren op de zwakste plekken in het bouwdeel zoals rondom openingen of alleen in de afwerklaag op een wand.



- 4 Indien de scheuren optreden in het bouwdeel kunnen deze zich doorzetten in de afwerking op dit bouwdeel als dit materiaal onvoldoende flexibel is. Ook kan het voorkomen dat de scheuren zich alleen in de afwerking bevinden. In dat geval krimpt de afwerking en wordt de krimp verhinderd door het bouwelement waarop dit is aangebracht.

3.7 Krimp van bouwmaterialen

Schadebeeld:

Strakke scheur of naad tussen twee elementen.

Oorzaak:

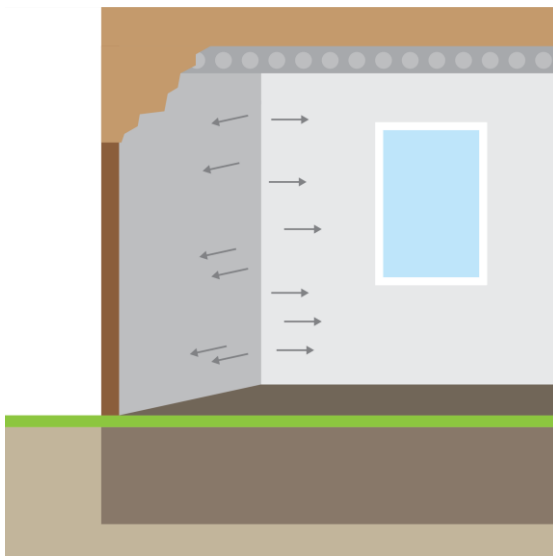
B Vervormingen. B1 Verhinderde vervorming.



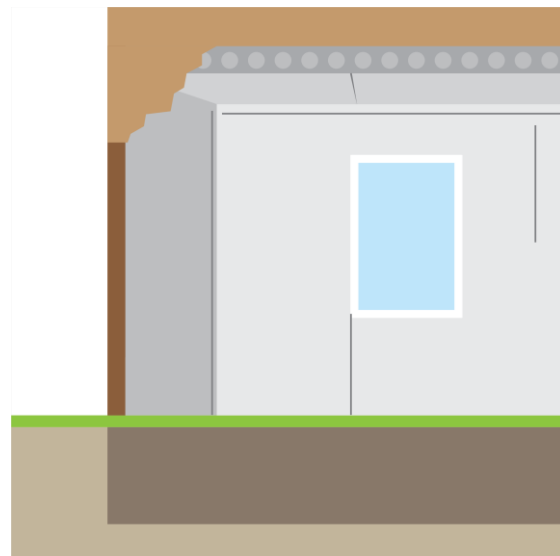
- 1 Elk gebouw is opgebouwd uit verschillende elementen zoals metselstenen, vloerdelen, dakplaten en plafondplaten.



- 2 Het vochtgehalte in de bouwmaterialen zal gedurende tijd, langzaam in evenwicht komen met het vochtgehalte in het gebouw. Ten gevolge hiervan treedt vocht uit het materiaal en wil het korter worden. De mate van krimp verschilt per bouw materiaal. Bijvoorbeeld: kalkzandsteen zal meer krimpen dan beton- of baksteen.



- 3 Daar waar twee elementen op elkaar aansluiten en niet met elkaar zijn verbonden, kan de voeg tussen de elementen vergroten als gevolg van krimp van aansluitende elementen. Voorbeelden van dergelijke voegen zijn: een dilatatie, de aansluiting tussen een plafond en wand, een aansluiting van een vloer op wand, twee plafondplaten die tegen elkaar zijn gelegd etc.



- 4 Indien een afwerking wordt doorgezet over een dergelijke voeg dan bestaat de kans dat op de afwerking de verkorting in de voeg niet kan opnemen en scheurt.

3.8 Doorbuiging van een vrijdragende vloer

Schadebeeld:

Scheur in een wand die is geplaatst op een vrijdragende vloer.

Oorzaak:

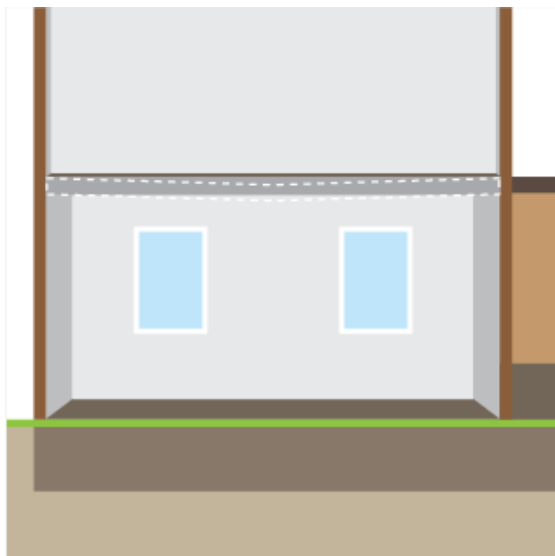
B Vervormingen. B2 Verhinderde vervorming.



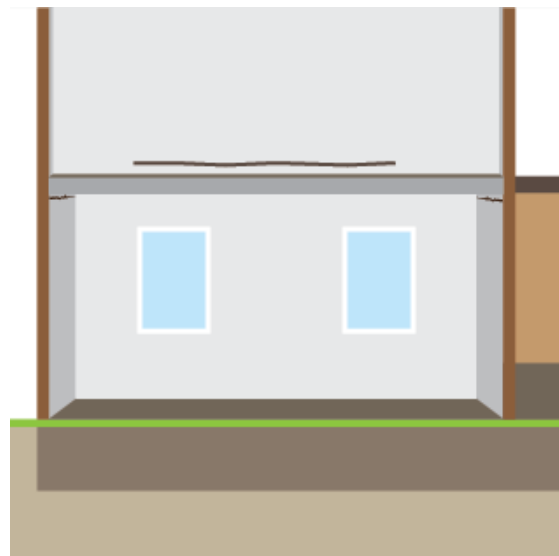
1 Een vloer draagt zijn belasting af naar de wanden waarop hij is opgelegd.



2 De belasting is een samenstelling van eigen gewicht, de bouwdelen die op de vloer staan en belasting door gebruik. De vloer buigt als gevolg van het belasten door.



3 De mate van doorbuiging is afhankelijk van het type vloer, de overspanning en de belasting. In de tijd zal de doorbuiging van de vloer kunnen toenemen (net zoals bij een boekenplank). Dit komt door kleine veranderingen in het materiaal waaruit de vloer is samengesteld. Bij de oplegging van de vloer ondergaat hij als gevolg van de belasting een hoekverdraaiing.



4 In de op de vloer geplaatste steenachtige wand kan scheurvorming optreden als er bij het ontwerp geen rekening is gehouden met de doorbuiging. In dergelijke gevallen wordt er in wand horizontale scheurvorming aangetroffen vanuit het midden van de overspanning. Bij de oplegging van de vloer kan door de hoekverdraaiing de oplegging afbrokkelen, dit uit zich als scheurvorming bij de overgang van de vloer naar wand.

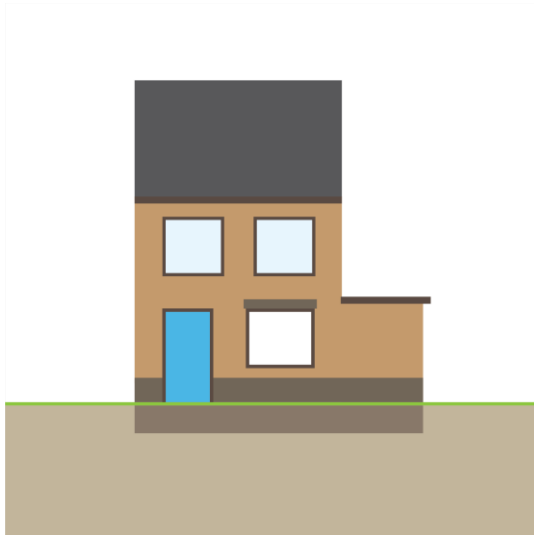
3.9 Thermische lengtevervorming van de latei

Schadebeeld:

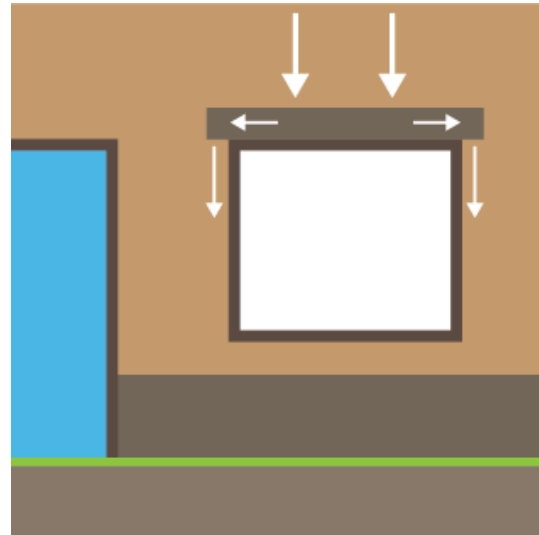
Scheur nabij de oplegging van een latei.

Oorzaak:

B Vervormingen. B2 Opgelegde vervorming.



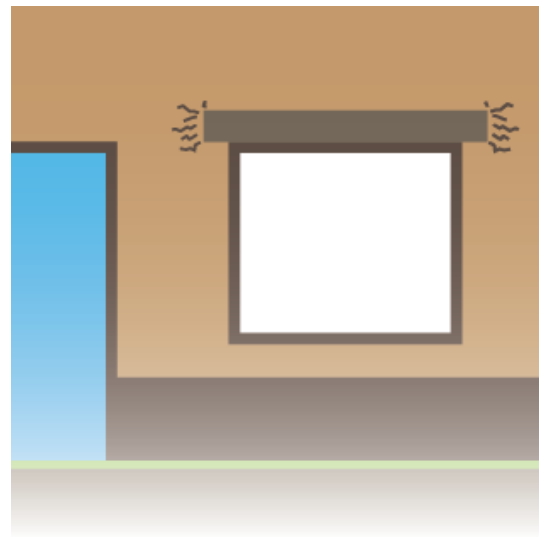
1 Boven elke opening in een gevel bevindt zich een lateiconstructie. De lateiconstructie bestaat uit een rollaag of een balk van bijvoorbeeld natuursteen, beton, staal, hout of een gemetselde constructie. Lateien kunnen zichtbaar of onzichtbaar gemonteerd zijn.



2 Een latei draagt de bovenliggende wand. De krachten uit deze wand wordt door de lateiconstructie afgedragen naar de beide zijden van de gevelopening. Daar worden de krachten doorgegeven aan de onderliggende wand.



3 Indien de latei is gemaakt van een materiaal dat meer uitzet dan de omliggende baksteen kan er bij grote temperatuurswisselingen ruimtegebrek ontstaan bij de oplegging van de latei. Bij opwarmen van de wand zet de latei meer uit dan de bakstenen wand.



4 Als er bij de steunpunten onvoldoende ruimte aanwezig is om de verlenging van de latei op te kunnen nemen, zal de zwakste schakel breken. In de meeste gevallen is dat de baksteen. Op de kop van de latei zal scheurvorming optreden en stukken van de baksteen kunnen afspringen.

3.10 Thermische werking door afkoeling

Schadebeeld:

Scheurvorming nabij de eerste verdieping in een metselwerk buitengevel.

Oorzaak:

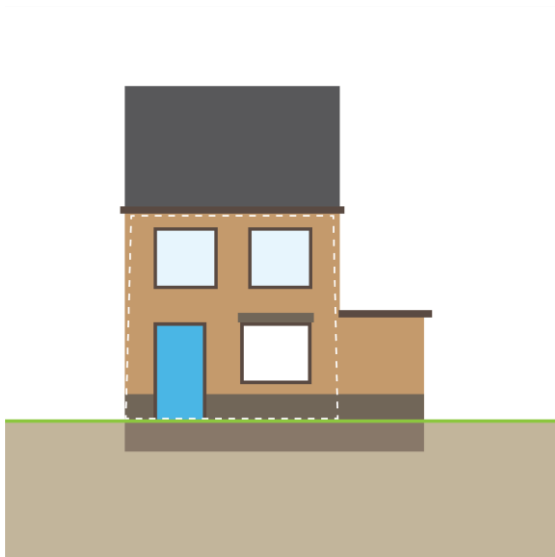
B Vervormingen. B1 Opgelegde vervorming.



1 De buitengevel van een gebouw wordt beïnvloed door het weer.



2 Hij volgt de dagelijkse temperatuurswisselingen en het jaarlijkse temperatuursverloop. Dit wordt 'thermische belasting' genoemd. Als een gevel warmer wordt dan zet hij uit en wordt langer, als hij afkoelt wordt hij korter.



3 Bij vorst (lage temperaturen) zal de gevel verkorten. Op de eerste verdieping koelt de gevel meer af dan het metselwerk onder de grond. Dit komt voornamelijk doordat de fundering de temperatuur van de bodem overneemt. Bij vorst is deze hoger dan de buitenluchttemperatuur.



4 De fundering verhindert het verkorten van gevel die hier direct op is geplaatst. Hierdoor ontstaan er horizontale spanningen en eventueel scheuren in het metselwerk. Op de eerste verdieping is de kans op dergelijke scheuren kleiner omdat de gevel hier minder wordt gehinderd bij het vervormen.

3.11 Thermische werking door opwarming

Schadebeeld:

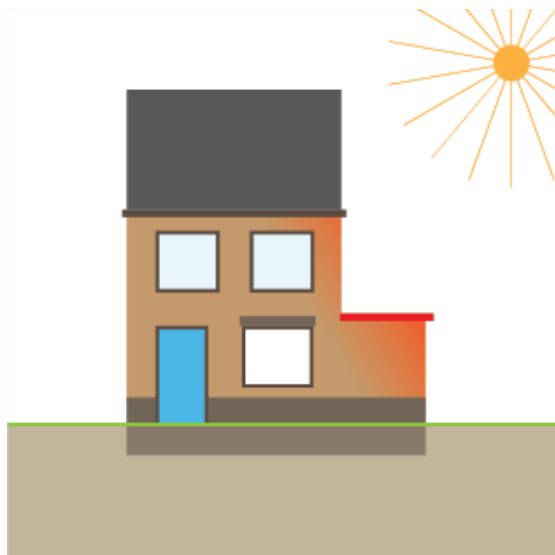
Scheuren nabij de aansluiting van een dak op een metselwerkbuitengevel en/of nabij onder een hoek op elkaar aansluiten de gevels.

Oorzaak:

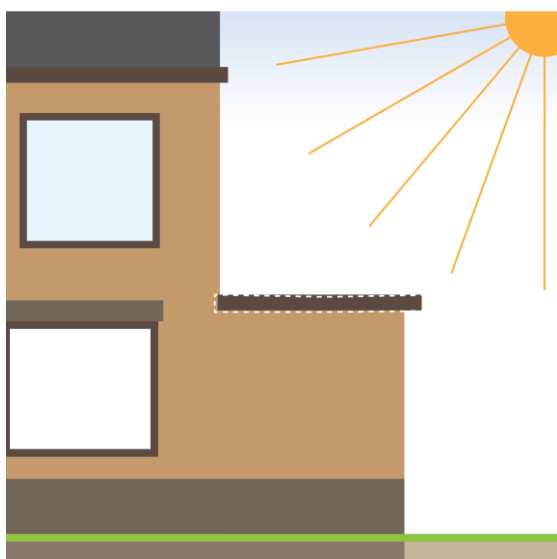
B Vervormingen. B2 Opgelegde vervorming.



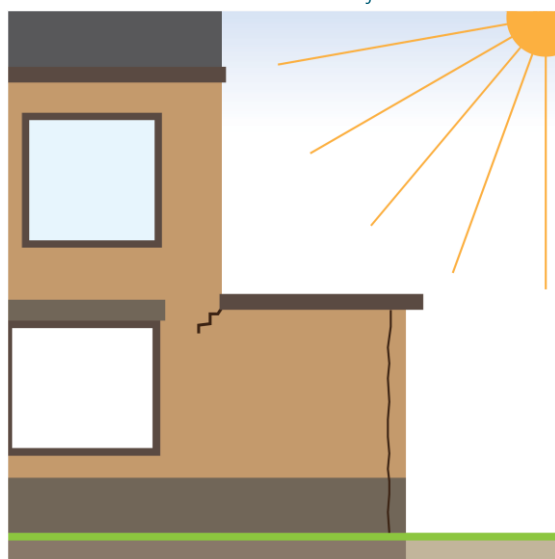
1 De buitenkant van een gebouw wordt beïnvloed door het weer.



2 De zon straalt het gebouw aan. Dit wordt 'thermische belasting' of 'zonbelasting' genoemd. Een plat dak heeft een grotere zonbelasting dan een noordgevel. Als een bouwdeel warmer wordt dan zet hij uit.



3 Elk onderdeel van een gebouw kent zijn eigen zonbelasting. Zo zal een platdak van een uitbouw een hogere zonbelasting kennen dan de zijwanden van de uitbouw of heeft het platdak een grotere uitzettingscoëfficiënt dan de zijwanden. Hierdoor ontstaat een verschil in opwarming van de materialen en dus een verschil in uitzetting.



4 Omdat bouwmaterialen aan elkaar gekoppeld zijn ontstaat er spanning wanneer er een verschil in uitzetting tussen materialen plaats vindt. Zelfs bij een klein verschil in uitzetting kan de spanning zo hoog oplopen dat er scheurvorming optreedt bij overgangen tussen materialen. Schade veroorzaakt door thermische belasting is herkenbaar aan: verticale scheurvorming op hoek van een gebouw of ter plaatse van een zwak deel in de gevel. Bij thermische werking van een dak is de schade herkenbaar door horizontale of schuine scheuren doordat het dak uitzet.

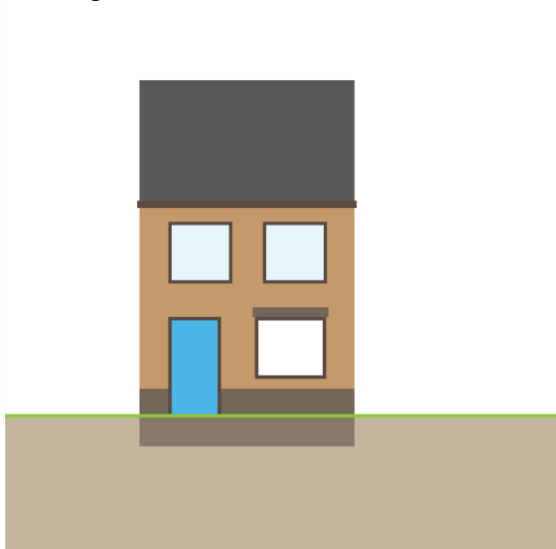
3.12 Verschilzetting van de fundering

Schadebeeld:

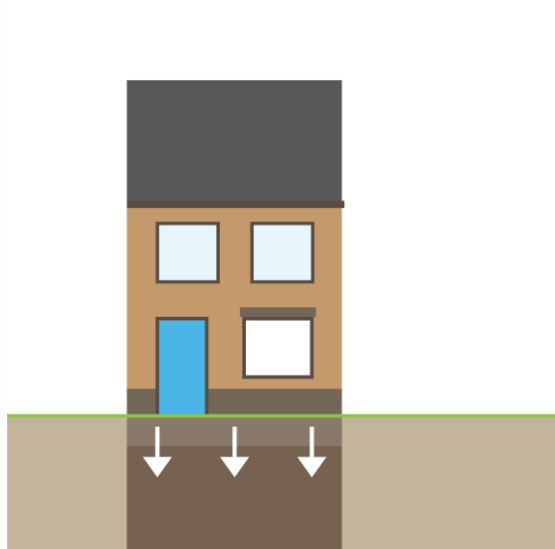
Scheur onder een gevel openingen op begane grond niveau.

Oorzaken:

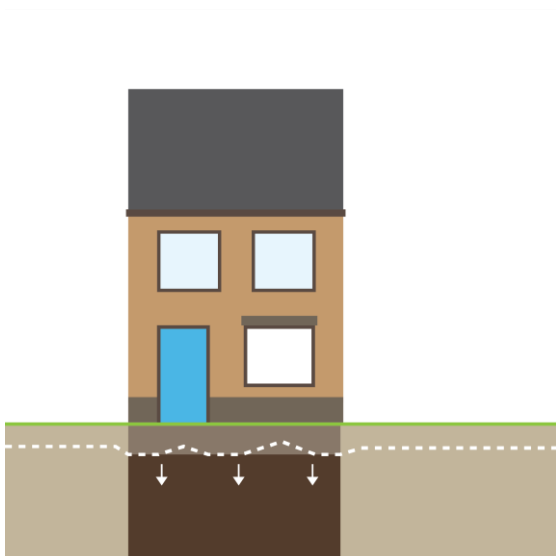
C Ondergrond.



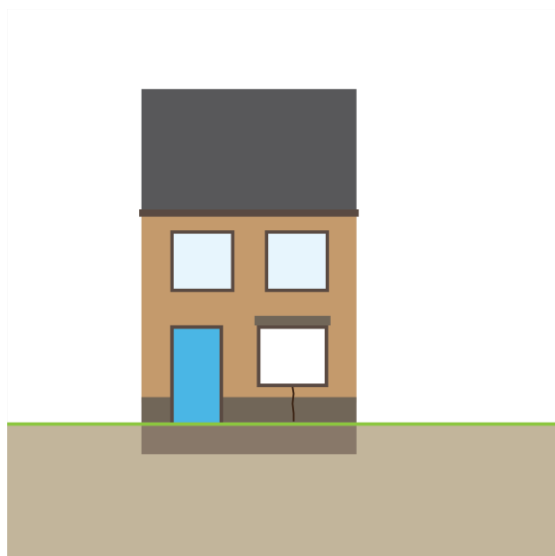
- 1 Elk gebouw heeft een fundering. Een gebouw staat op palen of op een funderingsstrook. In dit laatste geval spreekt men van een 'fundering op staal'.



- 2 Door het gewicht van de bouwdeelen wordt de ondergrond als het ware ingedrukt. De ondergrond 'zet' zich, vandaar de bouwkundige term 'zetting'. Hoe zwaarder het bouwdeel, hoe groter de zetting.



- 3 De fundering van het gebouw moet de belasting van het gebouw zo gelijkmatig mogelijk op de ondergrond verdelen. Als dit niet het geval is zal de fundering ongelijkmatig zetting. Dit komt vaak voor onder sparingen (deuren, ramen) in de gevel, door een lagere funderingsdruk zet de fundering onder de sparing minder dan er naast.



- 4 Door verschil zetting ontstaat er spanning in het metselwerk boven de locaties waar de fundering minder is gezakt. Die spanning kan zo hoog oplopen dat er scheurvorming optreedt.

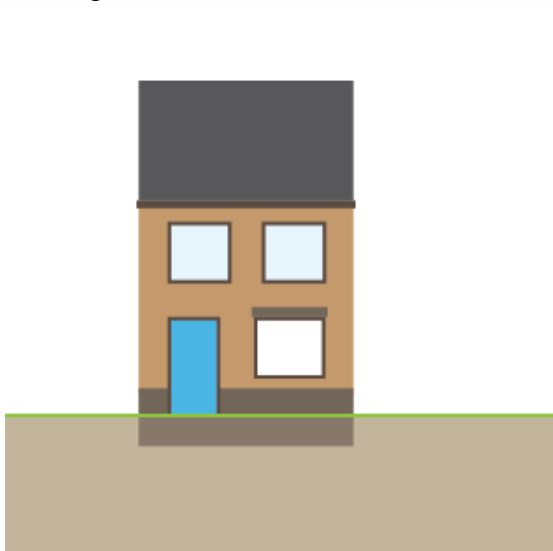
3.13 Verschilzetting als gevolg van een verbouwing/uitbreiding van een gebouw

Schadebeeld:

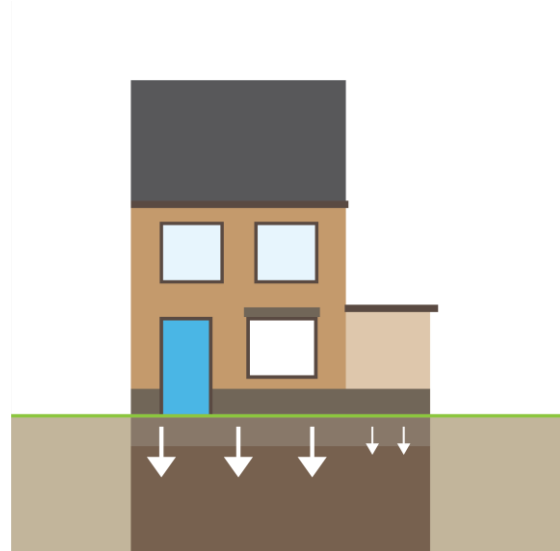
Scheur tussen oorspronkelijke bouw en een verbouwing/uitbreiding.

Oorzaken:

C Ondergrond.



- 1 Elk gebouw heeft een fundering waarbij in meer of mindere mate een vorm van zetting zal plaatsvinden. Bij een gelijkmatige zetting, waarbij de zetting over het gehele gebouw gelijk is, leidt dit niet tot schade.



- 2 Bij een uitbouw wordt deze apart gefundeerd.



- 3 Als de aanbouw op staal is gefundeerd zal deze zetten. Deze zetting zal niet gelijk zijn aan de zetting van het oudere gebouw omdat deze al een mate van zetting heeft ondergaan en omdat de belasting verschilt.



- 4 Het is gebruikelijk dat er tussen deze bouwdelen een dilatatie wordt aangebracht. Een dilatatievoeg is een voeg die als functie heeft het uitzetten en krimpen van materialen en verschilzetting tussen bouwdelen op te vangen. Als de aanbouw direct aan het bestaande gebouw is bevestigd of de dilatatie is niet juist uitgevoerd, kan dit leiden tot schade.

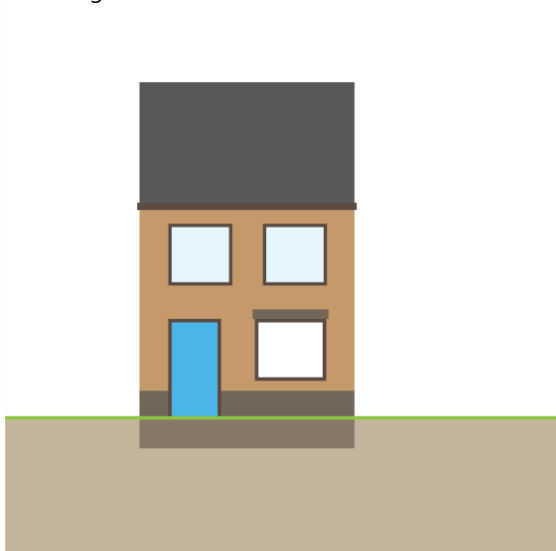
3.14 Verschilzetting tussen fundering gebouw en fundering van de kelder

Schadebeeld:

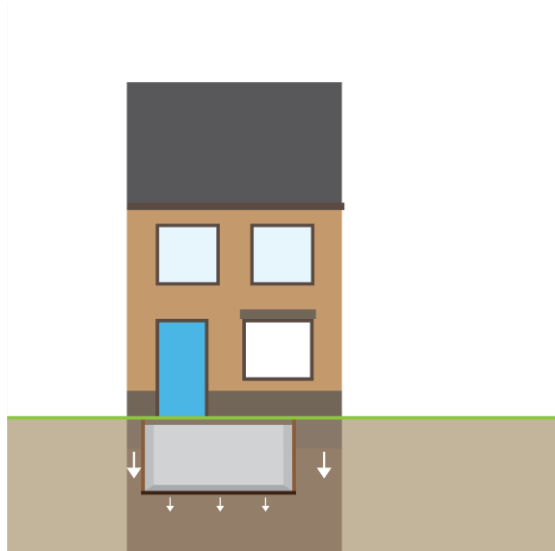
Scheur in metselwerk boven kelderwanden.

Oorzaken:

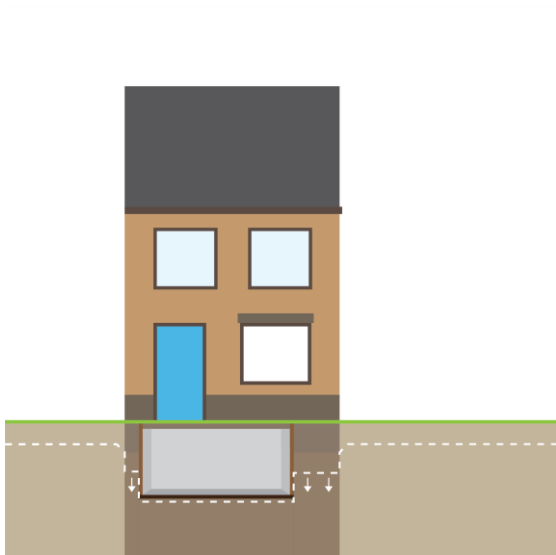
C Ondergrond



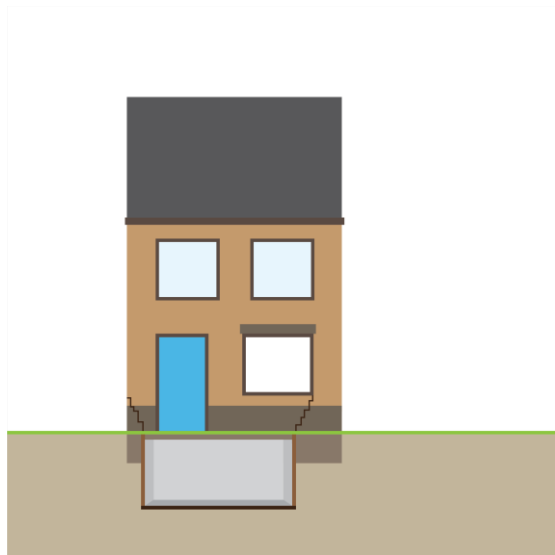
- 1 Elk gebouw heeft een fundering waarbij in meer of mindere mate een vorm van zetting zal plaatsvinden. Bij een gelijkmatige zetting, waarbij de zetting over het gehele gebouw gelijk is, leidt dit niet tot schade.



- 2 Indien een gebouw op staal is gefundeerd en deels op een kelder staat zal het in veel gevallen ongelijkmatig zetten. De kelder zet minder dan de fundering van het gebouw.



- 3 Hoeveel een fundering zet is onder ander afhankelijk van de grondspanning (als gevolg van de belasting) onder de fundering. Bij een lage grondspanning zet bodem onder de fundering minder dan bij een hoge grondspanning. Onder de kelder is door het grote oppervlak ervan een lagere grondspanning aanwezig dan onder de fundering van de



- 4 In veel gevallen is aan de gevel te zien waar een kelder zich onder een gebouw bevindt. Het gebouw lijkt over de kelder te zakken. Kenmerkende scheurvorming hiervan wordt aangetroffen op overgang kelderwoning. De scheurvorming is trapsgewijs en de horizontale voegen staan deels open.

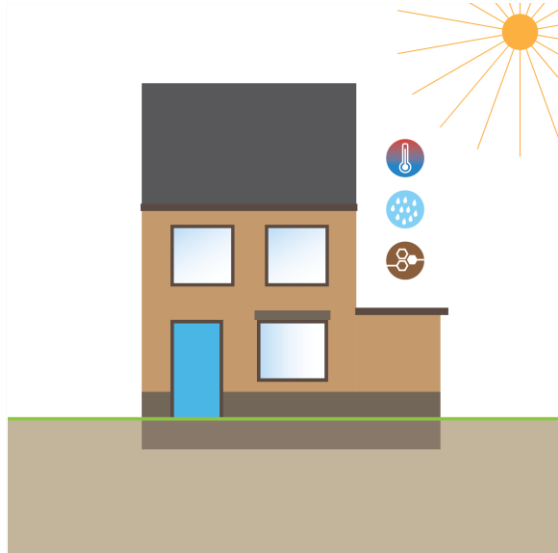
3.15 Verouderd van het voegwerk

Schadebeeld:
Beschadigd voegwerk.

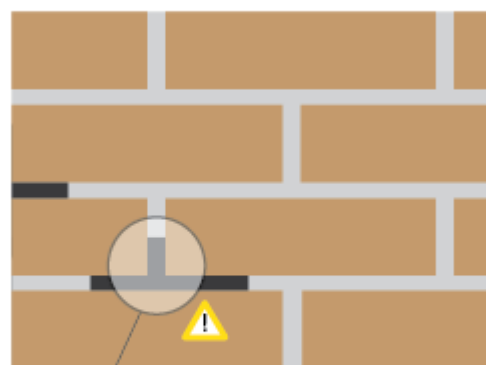
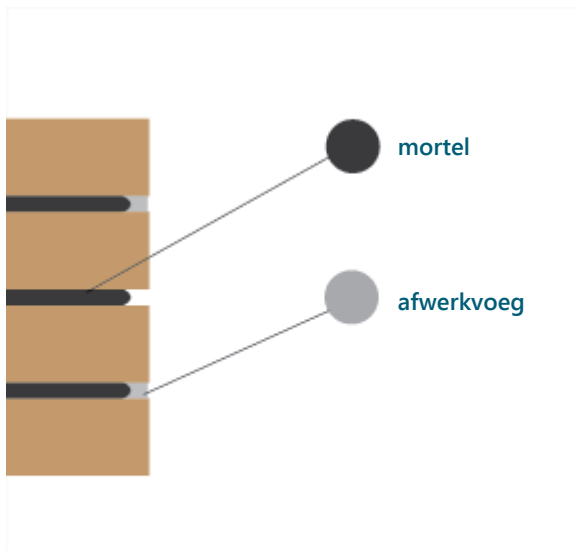
Oorzaken:
A Overbelasting. A1.3 Onvoldoende sterkte door veroudering/aantasting.



1 In Nederland kennen wij een traditie van het bouwen met baksteen. Na het metselen van de wand wordt de wand afgevoegd.



2 De baksteen muren vormen de huid van het gebouw en worden in grote mate beïnvloed door invloeden van buiten, zoals zonbelasting, temperatuurverschillen en vocht. Door het inwerken van deze weersinvloeden wordt het voegwerk poreuzer, het verouderd. Als gevolg hiervan vallen stukken afwerkvoeg uit de wand. Veroudering is herkenbaar aan verzanding, verbrokkeling, wegspoeling of uitvallen van de afwerkvoeg.



Uitgevallen afwerkvoeg

3.16 Resultaat verificatiecriteria

Schade oorzaak/Schadebeeld	Verificatiecriterium	Geverifieerde mogelijke schadeoorzaak
onvoldoende stijfheid van de lateiconstructie/scheurvorming boven een gevelopening	Het metselwerk direct boven de latei is gescheurd, de scheurvorming verloopt in de veel gevallen trapsgewijs en de latei buigt zichtbaar door. Het metselwerk direct boven en/of in de rollaag is gescheurd, hoofdzakelijk verticale scheurvorming. Er is boven de rollaag over beperkte hoogte metselwerk aanwezig.	A.1
spatkracht vanuit de kap/scheurvorming nabij een aansluiting van een dak op een vloer	Een hellende dak is constructief onvoldoende met de muurplaat gekoppeld of de horizontale spatkracht vanuit de kap is niet in evenwicht. Hierdoor spat de kap aan de onderzijde naar buiten. Als gevolg van het spatten wordt het aansluitende metselwerk naar buiten gedrukt met scheurvorming in het metselwerk als gevolg. De wand staat uit het lood. Wanden die haaks op de muurplaat staan en verbonden zijn met de buitenwand kunnen stapsgewijs scheuren. De spatkracht kan leiden tot lokaal bezwijken van een constructie. Bijvoorbeeld een aantal stenen wordt uit het vlak van een wand gedrukt.	A.1.1 of A.1.2
onvoldoende stijfheid van de dakconstructie/scheuren nabij een aansluiting van een hellend dak op een metselwerk buitenwand van een schuur en/of boerderij	Als de houten draagconstructie van het dak onvoldoende stijfheid heeft en/of als de fundering ervan meer zakt dan de fundering van de langswand, wordt de langswand door vervorming van de sporenkap naar buiten gedrukt. Scheuren worden aangetroffen in de langswand en wanden die hier onder een hoek mee zijn verbonden. De langswand kan horizontaal en diagonaal scheuren daar waar hij niet gelijkmatig naar buiten wordt gedrukt. De vervorming van de kap kan leiden tot lokaal bezwijken van het metselwerk. Bijvoorbeeld: een aantal stenen wordt uit het vlak van een wand gedrukt.	A.1.1 of A.1.2
krimp van bouwmaterialen/ fijne scheuren in afwerking	Als krimp van een bouwdeel wordt verhinderd kan dit leiden tot scheuren in het betreffende bouwdeel. Deze bouwdeelen scheuren op de zwakste plaats zoals rondom openingen of alleen in de afwerklaag op een wand. Indien de scheuren optreden in het constructieve deel van het bouwdeel kunnen deze zich doorzetten in de afwerking op dit bouwdeel als dit materiaal onvoldoende flexibel is. Ook kan het voorkomen dat de scheuren zich alleen in de afwerking bevinden. In dat geval krimpt de afwerking en wordt de krimp verhinderd door het bouwelement waarop dit is aangebracht.	B.1.
krimp van bouwmaterialen/strakke scheur of naad tussen twee elementen	Daar waar twee elementen op elkaar aansluiten en niet met elkaar zijn verbonden, kan de voeg tussen de elementen vergroten als gevolg van krimp van aansluitende elementen. Op de plek waar twee elementen op elkaar aansluiten kan een scheur ontstaan. Als over deze voeg een afwerking is aangebracht kan deze scheuren als deze onvoldoende flexibel is.	B.1.

Schade oorzaak/Schadebeeld	Verificatiecriterium	Geverifieerde mogelijke schadeoorzaak
	Voorbeelden van dergelijke voegen zijn: een dilatatie, de aansluiting tussen plafond en wand, aansluiting van een vloer op wand, twee plafondplaten die tegen elkaar zijn gelegd etc.	
doorbuiging van een vrijdragende vloer/scheur in een wand die is geplaatst op een vrijdragende vloer	In een steenachtige wand kan scheurvorming optreden als gevolg van doorbuiging van de vloer waar hij op staat. De wand kan de doorbuiging van de vloer niet volgen.	B.2
	In dat geval wordt er in wand horizontale scheurvorming aangetroffen vanuit het midden van de overspanning in de onderste regionen van de wand. De onderste rij stenen volgt de doorbuiging van de vloer. Het overige deel van de wand voert via gewelfwerking haar eigen gewicht af.	
thermische lengtevervorming van de latei/scheur nabij de oplegging van een latei	Als er bij de steunpunten onvoldoende ruimte aanwezig is om de verlenging van de latei op te kunnen nemen, zal de zwakste schakel breken. In de meeste gevallen is dat de baksteen. Op de kop van de latei zal scheurvorming optreden en stukken van de baksteen kunnen afspringen.	B.2
thermische werking door afkoeling/scheurvorming nabij de eerste verdieping in een metselwerk buitengevel	De fundering verhindert het verkorten van gevel die hier direct op is geplaatst. Hierdoor ontstaan er horizontale spanningen en eventueel scheuren in het metselwerk. Deze bevinden zich vaak halverwege de gevelhoogte en zijn hoofdzakelijk verticaal georiënteerd.	B.1
	Op de eerste verdieping is de kans op dergelijke scheuren kleiner omdat de gevel hier minder wordt gehinderd bij het vervormen.	
thermische werking door opwarming/scheuren nabij een aansluiting van een dak op een metselwerk buitengevel en(of) nabij onder een hoek op elkaar staande gevels	Schade veroorzaakt door thermische werking door opwarming is herkenbaar aan: verticale scheurvorming op hoek van een gebouw daar waar twee wanden op elkaar aansluiten. Bij thermische werking van een dak is de schade herkenbaar door horizontale of schuine scheuren in het metselwerk waarop het dak aansluit. In veel gevallen ter plaatse van de uiteinden van een dak, daar is het verplaatsingsverschil als gevolg van de opwarming tussen het dak en het aansluitende metselwerk het grootst.	B.2.
verschilzetting van de fundering/scheuren onder een gevelopening op begane grondniveau	Door verschilzetting van de fundering kan er onder een gevelopening scheurvorming ontstaan. Deze kan verticaal of trapsgewijs georiënteerd zijn. De fundering onder de opening is minder gezet dan de fundering naast de opening.	C
verschilzetting als gevolg van een verbouwing(uitbreiding) van een gebouw/scheuren tussen oorspronkelijke bouw en een verbouwing(uitbreiding)	De lintvoeg in een metselwerkwand wordt door een scheur onderbroken ter plaatse van een gebouw en haar uitbreiding. De scheur loopt getrapt via een kopvoeg naar de volgende lintvoeg of staat verticaal en loopt dwars door de bakstenen. De lintvoeg links en rechts naast de scheur lopen niet in het zelfde horizontale vlak. De lintvoeg in een metselwerkwand wordt door een scheur onderbroken ter plaatse van een gebouw en haar uitbreiding. De scheur staat verticaal en loopt dwars door de bakstenen. De scheur wijkt over de lengte van de scheur, de scheur heeft een V-vorm.	C
verschilzetting tussen fundering van het gebouw en de kelder/scheuren in metselwerk	Kenmerkende scheurvorming wordt aangetroffen op de overgang van kelder-woning. De scheurvorming is trapsgewijs en de horizontale voegen staan deels open.	C

Schade oorzaak/Schadebeeld	Verificatiecriterium	Geverifieerde mogelijke schadeoorzaak
boven kelderwand	Het gebouw lijkt over de kelder te zakken.	
verouderd voegwerk/beschadigd voegwerk	Veroudering is herkenbaar aan verzanding, verbrokkeling, wegspoeling of uitvallen van de afwerkvoeg. De afwerkvoeg kan kenmerken vertonen van mos- en/of algengroei, de voeg desintegreert en/of stenen rondom de voeg vriezen kapot.	A1.3

4

PRELIMINAIRE SCHADEOORZAKEN

4.1 Overzicht van alle gefalsificeerde schadeoorzaken

Hoofdoorzaak	Suboorzaak niveau 1	Suboorzaak niveau 2	Gebouwen (totaal = 2.077)
A. Belastingen	A.1 Geen overbelasting; onvoldoende sterkt	A.1.1 Initieel	0
		A.1.2 Verbouwing/uitbreiding	617
		A.1.3 Veroudering/aantasting	0
	A.2 Overbelasting vanuit gebruik	A.2.1 In normale gebruikssituatie	0
		A.2.2 Veranderend gebruik	1.832
		A.2.3 Verbouwing/uitbreiding	617
	A.3 Overbelasting door trillingen	A.3.1 Wegverkeer	1.116
		A.3.2 Treinverkeer	1.116
		A.3.3 Bouwactiviteiten in de omgeving	1.184
		A.3.4 Industriële activiteiten	1.780
		A.3.5 Aardbevingen	2.077
	A.4 Incidentele overbelasting	A.4.1 Impact van voorwerpen/materieel	1.101
		A.4.2 Explosie	1.101
		A.4.3 Regen-/sneeuwval	0
		A.4.4 Storm	1.365
		A.4.5 Blikseminslag	1.365
B. Vervormingen	B.1 Verhinderde vervormingen	B.1.1 Initieel	0
		B.1.2 Verbouwing/uitbreiding	0

Hoofdoorzaak	Suboorzaak niveau 1	Suboorzaak niveau 2	Gebouwen (totaal = 2.077)
		B.1.3 Veroudering/aantasting	0
	B.2 Opgelegde vervormingen	B.2.1 Initieel	0
		B.2.2 Verbouwing/uitbreiding	0
		B.2..3 Corrosie metalen onderdelen	0
C. Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	C.1 Autonome zetting	C.1.1 Gelijkblijvende belasting	0
	C.2 Verandering van de belasting op de ondergrond	C.2.1 Verbouwing/uitbreiding	0
		C.2.2 Bebouwing	1.203
		C.2.3 Ophoging	30
		C.2.4 Ontgraving	1.184
		C.2.5 Weglichaam	1.599
		C.2.6 Spoorlichaam	1.121
	C.3 Verandering in de ondergrond	C.3.1 Locale wijzigingen grondwaterstand	0
		C.3.2 Wijziging grondwaterstand door (bouw) werkzaamheden	1.203
		C.3.3 Wijziging grondwaterstand door peilbesluit	0
		C.3.4 Trillingen door wegverkeer	1.121
		C.3.5 Trillingen door spoorverkeer	1.121
		C.3.6 Trillingen door (bouw) werkzaamheden	1.203
		C.3.7 Aardbevingen	2.077
		C.3.8 Wijziging grondwaterstand door bomen	30
		C.3.9 Verandering als gevolg van bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten	0

4.2 Overzicht van alle geverifieerde schadeoorzaken

Hoofdoorzaak	Suboorzaak niveau 1	Suboorzaak niveau 2	Gebouwen (Totaal = 2.077)
A. Belastingen	A.1 Geen overbelasting; onvoldoende sterkte	A.1.1 Initieel	1.619
		A.1.2 Verbouwing/uitbreiding	528
		A.1.3 Veroudering/aantasting	1.031
	A.2 Overbelasting vanuit gebruik	A.2.1 In normale gebruikssituatie	746
		A.2.2 Veranderend gebruik	0
		A.2.3 Verbouwing/uitbreiding	42
	A.3 Overbelasting door trillingen	A.3.1 Wegverkeer	0
		A.3.2 Treinverkeer	1
		A.3.3 Bouwactiviteiten in de omgeving	20
		A.3.4 Industriële activiteiten	1
		A.3.5 Aardbevingen	0
	A.4 Incidentele overbelasting	A.4.1 Impact van voorwerpen/materieel	55
		A.4.2 Explosie	0
		A.4.3 Regen-/sneeuwval	60
		A.4.4 Storm	94
		A.4.5 Blikseminslag	0
B. Vervormingen	B.1 Verhinderde vervormingen	B.1.1 Initieel	1.847
		B.1.2 Verbouwing/uitbreiding	214
		B.1.3 Veroudering/aantasting	63
	B.2 Opgelegde vervormingen	B.2.1 Initieel	1.584
		B.2.2 Verbouwing/uitbreiding	82
		B.2.3 Corrosie metalen onderdelen	329
C. Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond	C.1 Autonome zetting	C.1.1 Gelijkblijvende belasting	1.588

Hoofdoorzaak	Suboorzaak niveau 1	Suboorzaak niveau 2	Gebouwen (Totaal = 2.077)
	C.2 Verandering van de belasting op de ondergrond	C.2.1 Verbouwing/uitbreiding	319
		C.2.2 Bebouwing	5
		C.2.3 Ophoging	2
		C.2.4 Ontgraving	1
		C.2.5 Weglichaam	0
		C.2.6 Spoorlichaam	0
	C.3 Verandering in de ondergrond	C.3.1 Locale wijzigingen grondwaterstand	93
		C.3.2 Wijziging grondwaterstand door (bouw) werkzaamheden	8
		C.3.3 Wijziging grondwaterstand door peilbesluit	6
		C.3.4 Trillingen door wegverkeer	0
		C.3.5 Trillingen door spoorverkeer	0
		C.3.6 Trillingen door (bouw) werkzaamheden	28
		C.3.7 Aardbevingen	0
		C.3.8 Bomen	125
		C.3.9 Bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten	0

AANBEVELINGEN

5.1 Aanbevelingen falsificatiecriteria

Met betrekking tot het hanteren van de falsificatiecriteria voor trillingen en de gehanteerde grenswaarden zijn de volgende aanbevelingen opgesteld:

- door een simultane meting aan het maaiveld, begane grond voorgevel en begane grond achtergevel uit te voeren kan naar verwachting aangetoond worden dat maaiveldwaarden voor trillingen in de regel een conservatief uitgangspunt zijn voor trillingen van de fundering;
- in geval van incidentele trillingen speelt in de specifieke Groningse situatie dat de periode tussen twee trillingsincidenten een lange termijn (meer dan een jaar) kan verstrijken. Deze tussenliggende periode kan afbouw van spanningen bewerkstelligen waarmee scheurvorming mogelijk later optreedt / een groter aantal belastingscycli vergt in vergelijking met een belasting in een korte periode. Nader onderzoek zou uitgevoerd kunnen worden naar dit aspect;
- door een simultane meting aan een pand of enkele panden uit te voeren op begane grond en hogere verdieping(en), kan in het veld het effect van opslinging vast worden gesteld bij een representatief pand.

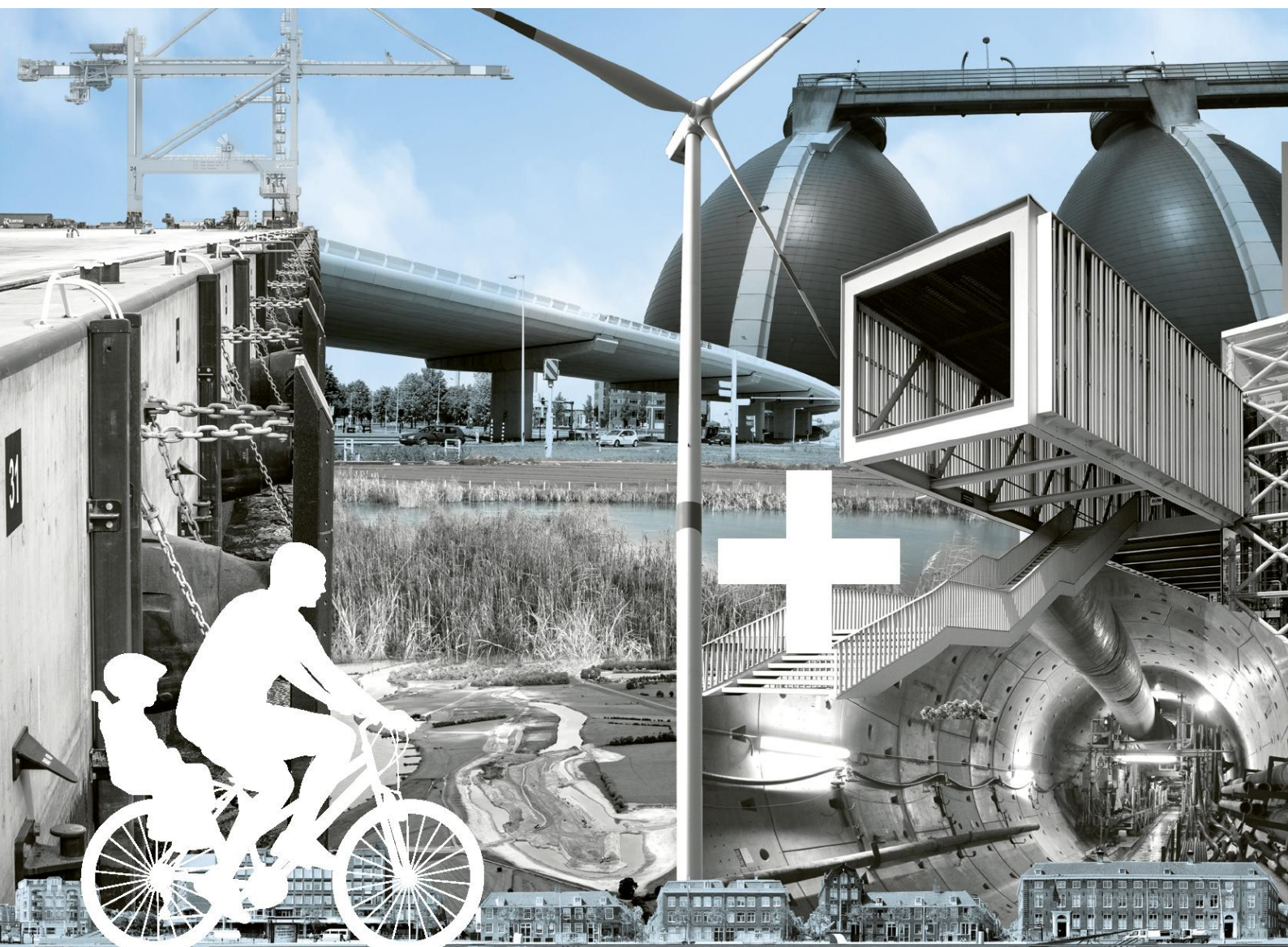
In voorgaande hoofdstukken is de geohydrologische informatie vertaald naar beoordeling. Deze beoordelingen hebben plaatsgevonden op criteria. Omdat niet alle informatie beschikbaar is, zijn een aantal uitgangspunten vastgesteld voor dit onderzoek. In onderstaande opsomming worden aanbevelingen gedaan om deze criteria aan te scherpen, te detailleren of verder te verbeteren. In het kader van de geohydrologie vinden er drie beoordelingen voor de falsificatie plaats:

- Beoordeling zetting in verband met grondwaterstanddaling:
De bron voor de criteria voor de toelaatbare verlaging grondwaterstand (tabel 2.8) en toelaatbare verlaging oppervlaktewaterpeil (tabel 2.12) is 'Studieresultaten betreffende ongelijkmatige zakkingen in verband met aardgaswinning in de provincie Groningen', Commissie bodemdaling 1987 [ref. 4]. Bij een verlaging van de waterstand binnen de gegeven criteria zou de kans op scheurvorming met maximaal 5 % toenemen.
In het onderzoek wordt aangegeven dat de studie een algemeen karakter heeft, de criteria globaal zijn en niet bedoeld zijn als een handleiding waarmee de oorzaak van scheurvorming in een willekeurig gebouw kan worden opgespoord. In het onderzoek is een rijtje van 6 woningen gebruikt. Er wordt hierbij aangegeven dat het niet te voorkomen is om met gemiddelden te werken, terwijl bijvoorbeeld de treksterkte van het metselmateriaal aanzienlijk verschilt per gebouw, waardoor ook de maximale toelaatbare verlagingen per gebouw anders zijn.
-> Aanbevolen wordt om nader wetenschappelijk onderzoek uit te voeren naar validatie en/of aanscherping van deze criteria. Daarnaast kunnen de criteria uitgebreid worden voor meer typen ondergrond, door bijvoorbeeld onderscheid te maken in verschillende typen klei (lemig, weinig, zwaar/licht, etc.).
- Beoordeling veenoxidatie:
Voor de beoordeling van veenoxidatie zijn geen criteria uit andere onderzoeken gebruikt. De beoordeling is puur gebaseerd op de diepte van de veenlaag in verhouding tot de GLG (zie tabel 2.14). Hierbij is er een hoog risico toegekend als de GLG onder de onderkant van de veenlaag ligt en een middelmatig risico als de GLG hoger ligt, en er wel veen aanwezig is.

- > Een verbetering van deze methode zou zijn om onderscheid te maken in de dikte van de veenlaag boven de GLG, en hieraan criteria te koppelen. Hier zou nader onderzoek naar gedaan moeten worden.
- Beoordeling zakking in verband met grondwaterstandstijging:
De bron voor de criteria voor de toelaatbare stijging van de grondwaterstand is 'Bodemdaling Groningen. Effecten peilverhoging op fundering op staal. Relatie afname draagvermogen en zakking fundering', Gemeentewerken Gemeente Rotterdam 2003, 2014 [ref. 5, 6]. Bij een stijging van de grondwaterstand van minder dan 15 cm in een zandig profiel zou de zakking van fundering minder dan 10 mm zijn en dus niet tot schade leiden. Het onderzoek is gedaan met analytische en numerieke modellen. De maximale stijging van 15 cm wordt expliciet niet gepresenteerd als toetsingscriterium: de onderzoeksvraag was wat de effecten waren van een grondwaterstandstijging van 15 cm. Er wordt bovendien opgemerkt dat de daadwerkelijke kans op schade van veel meer factoren afhangt dan alleen de grondwaterstandstijging (fundering, nieuwbouw, etc.).
-> Aanbevolen wordt om wetenschappelijk onderzoek uit te voeren met als onderzoeksdoel een criterium voor grondwaterstandstijging. Daarbij wordt aanbevolen niet alleen modellen te gebruiken, maar ook veldonderzoek uit te voeren.

5.2 Aanbevelingen verificatiecriteria

- Borsje beschrijft de verificatiecriteria op hoofdlijnen. Voor de meest voorkomende schades heeft Witteveen+Bos de verificatiecriteria op een hoger detailniveau uitgewerkt. Wij bevelen aan om dit voor alle schadebeelden te doen en de criteria uit te breiden met schadebeelden (plaatjes) die als voorbeeld kunnen dienen bij het beoordelen van de schades;
- het ontwikkelen van een handboek waarin voor specifiek gebouwen in Groningen en omgeving schadebeelden worden beschreven. Als naslagwerk hebben de beoordelaars onder andere gebruik gemaakt van: I.A.E. de Vent, prototype of a diagnostic decision support tool for structural damage in masonry, 2011; Stichting Bouwresearch, scheurvorming in gemetselde wanden, SBR publicatie 54, 1976; Stichting Bouwresearch, scheuren in woningen, SBR publicatie 8, 1981. Een handboek Schadebeelden kan helpen om de oorzaak van een schade op eenduidige wijze vast te leggen. Daarnaast kan het de bewoners helpen om een schade en de oorzaak beter te kunnen begrijpen;
- gebouwen worden op ingedeeld in drie categorieën op basis van bouwwijze en de staat waarin ze verkeren. Een brede categorisering van gebouwen waar in meer detail wordt ingegaan op de bouwwijze van een gebouw en staat helpt om inzichtelijke te maken welke schades in welke categorie vaker voorkomen. Daarnaast kan het een beter beeld geven van schadepatronen in bepaalde categorie gebouwen;
- de methodiek van Borsje is goed toepasbaar, echter er mogelijk oorzaken van schade zouden breder kunnen worden uitgeschreven. Bijvoorbeeld zouden de mogelijke oorzaken verhinderde vervorming en opgelegde vervormingen herschreven moeten worden omdat niet altijd even duidelijk is of een schade wordt veroorzaakt door een verandering of een opgelegde vervorming. Daarnaast zou de categorie 'geen overbelasting; onvoldoende sterkte' herschreven moeten worden, hier is vaak sprake van onvoldoende stijfheid van een constructie in plaats van onvoldoende sterkte;
- het verder uitbreiden van de methodiek om ook op schadeniveau mogelijke schadeoorzaken uit te sluiten;
- meer onderzoek naar het ontstaan van lichte schades (slight damage) om het aantal mogelijk schadeoorzaken te kunnen reduceren.



Buitengebied Groningen

Bijlage III - Uitvoeren Toets

Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

30 maart 2017

Project
Opdrachtgever

Buitengebied Groningen
Nederlandse Aardolie Maatschappij B.V.

Document
Status
Datum
Referentie

Bijlage III - Uitvoeren Toets
Definitief
30 maart 2017
ASN177-12/17-004.695

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

ASN177-12
ir. R.P.N. Pater
dr.ir. T.A.M. Salet

Auteur(s)

J.H. Boersma MSc, ir. M.J.A.M. Bruurs, ing. H.L.M. Laagland, ir.drs. R.E.P. de Nijs, ing. P.A.L. van Ogtrop, mw. I.H. Phernambucq MSc, dr.ir. S. Slob, M. Stam MSc

Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

dr.ir. J.L. Korving, dr. W. Duivesteijn (TU/e), ir. T.H. van Wee, mw. Ir. I.A.A.C. Mouwen
ir. R.P.N. Pater

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Van Twickelostraat 2
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.
© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	1
1.1	Uitvoeren toets, de derde stap van de PCA	1
1.2	Wat is er getoetst?	1
1.2.1	Falsificatie	1
1.2.2	Verificatie	2
1.2.3	Kwaliteit	2
1.3	Hoe is de toets uitgevoerd?	2
1.3.1	Gestuurde patroonherkenning	3
1.3.2	Ongestuurde patroonherkenning	3
1.3.3	Aanvullende onderzoeken op locatie	4
1.4	Dataset	4
1.5	Controle dataset	4
1.6	Opwerking dataset	5
2	GESTUURDE PATROONHERKENNING - METHODIEK	6
2.1	Algemeen	6
2.2	Combinatie-deductie-eliminatie	7
2.3	Toets op falsificatie	7
2.4	Toets op verificatie	8
2.5	Uitgangspunten	9
3	ONGESTUURDE PATROONHERKENNING - METHODIEK STATISTISCHE ANALYSE	10
3.1	Opzet statistische analyse	10
3.2	Lineaire Regressie	10
3.3	Exceptional Models	11
4	AANVULLENDE ONDERZOEKEN OP LOCATIE	16
4.1	Algemeen	16
4.2	Sonderingen (46 x), grondboringen (92 x) en lintvoegmetingen (22 x)	16
4.2.1	Geotechnisch grondonderzoek	17

4.2.2	Vergelijking Geotop	17
4.2.3	Interpretatie lintvoegmeting	18
4.2.4	Conclusie	18
4.2.5	Onderzoek 1	19
4.2.6	Onderzoek 2	21
4.2.7	Onderzoek 3	24
4.2.8	Onderzoek 4	28
4.2.9	Onderzoek 5	31
4.2.10	Onderzoek 6	33
4.2.11	Onderzoek 7	36
4.2.12	Onderzoek 8	40
4.2.13	Onderzoek 9	42
4.2.14	Onderzoek 10	45
4.2.15	Onderzoek 11	48
4.2.16	Onderzoek 12	51
4.2.18	Onderzoek 13	54
4.2.19	Onderzoek 14	56
4.2.20	Onderzoek 15	59
4.2.21	Onderzoek 16	62
4.2.22	Onderzoek 17	65
4.2.23	Onderzoek 18	67
4.2.24	Onderzoek 19	70
4.2.25	Onderzoek 20	73
4.2.26	Onderzoek 21	76
4.2.27	Onderzoek 22	80
4.2.28	Onderzoek 23	82
4.3	Interpretatie grondonderzoek	82
4.4	Analyse van informatie uit 73 bouwdoossiers welke niet door de bewoner zijn aangeleverd	84
4.5	Verzamelen van aanvullend beeldmateriaal (225 x)	85
4.6	Analyse van seriematige woningbouw in 5 gebieden met in totaal 19 woningen	85
4.7	Analyse van 50 mogelijk afwijkende gebouwen	89
4.8	Analyse 15 dossiers in het schade-afhandelingsgebied.	89
5	TOETSRESULTATEN	91
5.1	Resultaten statistische analyse	91
5.1.1	Lineaire regressie-analyse	91
5.2	Exceptional Models	98
5.3	Toets op falsificatie	109
5.3.1	Trillingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen	109
5.3.2	Bodemdaling ten gevolge van verandering in de diepe ondergrond	150
5.4	Toets op verificatie	151
5.4.1	Geen overbelasting, onvoldoende sterkte of stijfheid	151
5.4.2	Trillingen ten gevolge van verkeer	153
5.4.3	Verhinderde vervorming	158
5.4.4	Ongelijkmatige zetting, gelijkblijvende belasting	160

5.4.5	Ongelijkmatige zetting, verandering in de ondergrond ten gevolge van wijziging locale grondwaterstand	168
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	171
6.1	Conclusies	171
6.2	Aanbevelingen	171
7	REFERENTIES	173
	Laatste pagina	173

1

INLEIDING

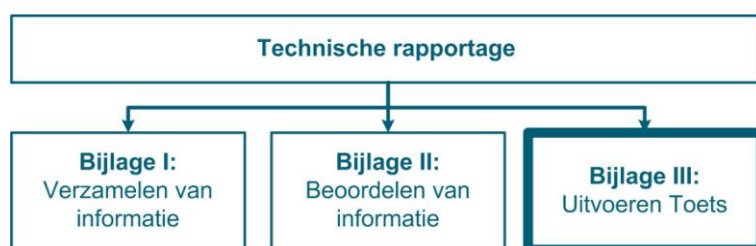
1.1 Uitvoeren toets, de derde stap van de PCA

De toets is de derde en noodzakelijke laatste stap in een PCA. De toets bestaat uit aanvullende onderzoeken op locatie en zowel gestuurde als ongestuurde patroonherkenning. De ongestuurde patroonherkenning is een statistische analyse en de gestuurde patroonherkenning is een analyse op plausibiliteit waarbij domeinkennis een rol speelt.

Met de toets wordt zowel op het niveau van de individuele schade, gebouwniveau en omgevingsniveau systematisch controles en onderzoeken uitgevoerd om uitgangspunten van gebruikte modellen te controleren.

In dit bijlagenrapport wordt de methodiek en de resultaten van de toets beschreven.

Afbeelding 1.1 Documentstructuur, bijlage III - Uitvoeren Toets



1.2 Wat is er getoetst?

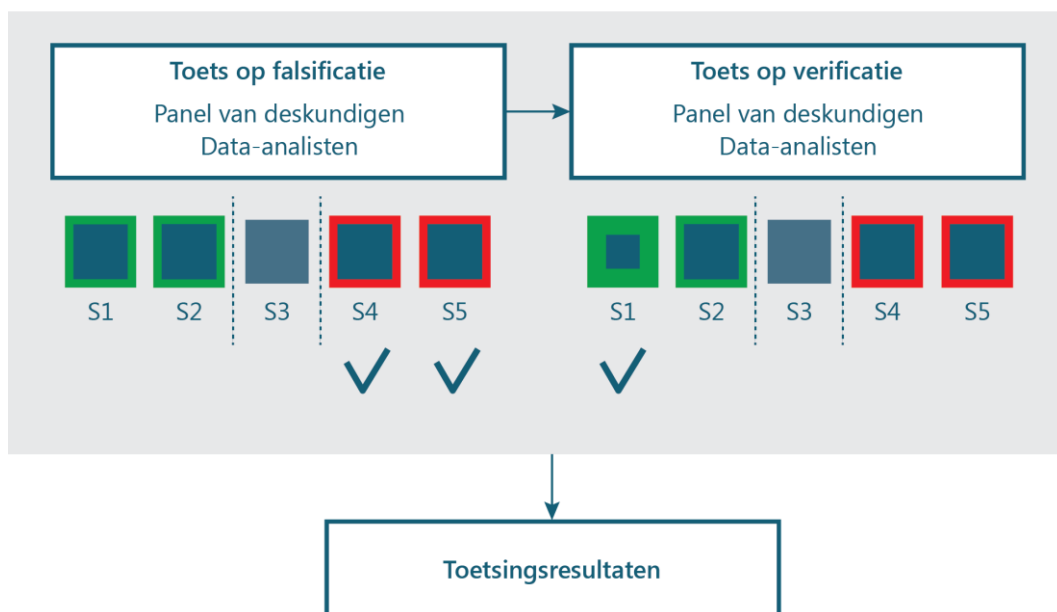
De toets wordt ingezet om:

- de invloed van uitgangspunten van de falsificatie op de resultaten te controleren (falsificatie);
- aanvullend (indirect) bewijs te leveren om de aannemelijkheid van de benoemde schadeoorzaak verder te versterken (verificatie);
- als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling (kwaliteit).

1.2.1 Falsificatie

De toets op falsificatie is een toets op de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de modellen, modelparameters en interpolaties die hebben geleid tot het falsificeren van bepaalde schadeoorzaken. Zonder deze toets kunnen deze schadeoorzaken immers op voorhand ten onrechte zijn verworpen. In afbeelding 1.2 is dit geïllustreerd door de twee schadeoorzaken die zijn verworpen bij de falsificatie weer zichtbaar te maken voor de toets.

Afbeelding 1.2 Uitvoeren toets op falsificatie en verificatie



Door de toets kan een uitspraak worden gedaan over de waarde van de gekozen uitgangspunten. Dit is in afbeelding 1.2 aangegeven door de 'vinkjes' onder de gefalsificeerde schadeoorzaken waarmee wordt aangegeven dat de uitgangspunten van de falsificatie getoetst zijn en geen aanleiding geven voor een aanpassing van de falsificatie.

1.2.2 Verificatie

De toets op verificatie is een toets op de uitgangspunten achter de geverifieerde schadeoorzaken. Deze geverifieerde schadeoorzaken zijn niet gebaseerd op modellen, maar op direct en indirecte waarnemingen. Een voorbeeld van een indirecte waarneming is zettingschade die volgt uit de waarneming dat er verschilverplaatsing is opgetreden in het metselwerk van de wand. Hierbij is de fundering zelf niet beschouwd, omdat de schadeoorzaak zich aan de waarneming laat aflezen. Op basis van patronen die waargenomen zijn, is de aannemelijkheid van de betreffende schadeoorzaken versterkt of ontkracht. Het gaat hier om aanvullende bewijslast. In afbeelding 1.2 is dit schematisch aangegeven door de dikke groene lijn rondom het vakje waarmee wordt bedoeld dat het bewijs dat de schadeoorzaak is geverifieerd door de toets in kracht is toegenomen.

1.2.3 Kwaliteit

De toets wordt ook ingezet om de kwaliteit van de data te controleren. Een deel van de data is immers afhankelijk van menselijk handelen en kan daarmee gevoelig zijn voor fouten en/of afwijkingen. Bij vrijwel elk patroon zijn er gebouwen waarvan de schade afwijkt van de trend. Deze 'uitbijters' zijn een reden om de betreffende dossiers nog een keer te beoordelen en te toetsen op menselijke fouten. Hierdoor wordt de kwaliteit van de gegevens verder verbeterd.

1.3 Hoe is de toets uitgevoerd?

De toets is uitgevoerd door middel van zowel gestuurde als ongestuurde patroonherkenning en aanvullende onderzoeken op locatie.

1.3.1 Gesteuurde patroonherkenning

Met behulp van gestuurde patroonherkenning is actief gezocht naar patronen, relaties, verbanden en trends. Door het analyseren van deze patronen zijn uitgangspunten achter de modellen getoetst. Daarnaast zijn opvallende afwijkingen ten opzichte van gevonden patronen zichtbaar en zijn deze uitzonderingen nader beschouwd.

De gestuurde patroonherkenning is uitgevoerd door het Panel van deskundigen. Het Panel voert deze patroonherkenning uit op basis van logica door toepassing van het principe van combinatie-deductie-eliminatie. Bij combinatie, deductie en eliminatie worden logische scenario's opgesteld en vervolgens getoetst. Bij het gebruik van combinatie, deductie en eliminatie wordt, op basis van de combinatie van gegevens, door middel van deductie hypothesen van mogelijke afwijkingen onderbouwd of juist geëlimineerd op basis van logica. Het Panel is hierbij ondersteund door data-analisten die de scenario's visualiseren.

Bij het uitvoeren van de toetsen is gezocht naar meerdere patronen, relaties, verbanden en trends. In dit onderzoek gaat het vaak om een patroon tussen een mogelijke schadeoorzaak en schade, waarbij gebruik wordt gemaakt van gegevens op alle aggregatieniveaus. Om deze patronen te achterhalen zijn meerdere maatstaven gebruikt voor zowel de mogelijke schadeoorzaak als schade. Voor schade zijn dit bijvoorbeeld aantal schades, scheuroppervlakte, schades per vierkante meter vloeroppervlak, etc. De patronen worden zowel in de gehele populatie gezocht als in subgroepen binnen de populatie. Door de expertise van het Panel van deskundigen in te zetten kunnen ook uitersten met elkaar vergeleken worden om patronen zichtbaar te maken.

1.3.2 Ongestuurde patroonherkenning

Bij het gestuurd zoeken naar patronen, relaties, verbanden en trends bestaat het risico dat patronen die wel bestaan in de gegevens niet achterhaald worden omdat het scenario niet is opgesteld. Gezien het grote aantal mogelijke scenario's dat opgesteld kan worden is het niet mogelijk om alle scenario's te doorlopen. Daarom wordt er door middel van data mining ook ongestuurd gezocht naar patronen in de gegevens.

Daarom is, in samenwerking met de TU/e, gezocht in alle gegevens met een 'multiple linear regression' (MLR) analyse en door middel van 'exceptional model mining' (EMM) naar patronen en speciale subgroepen.

Met MLR wordt de vergelijking van een hyperplane opgesteld op basis van elk gegeven aantal variabelen waarmee een doelvariabele het beste geschat kan worden. Hoe dichter de met het opgestelde model geschatte waarde van de doelvariabele overeenkomt met de werkelijke waarde van de doelvariabele, hoe interessanter de relatie. De kwaliteit van de schatting van het model wordt uitgedrukt in R^2 . Er zijn meerdere analyses uitgevoerd waarbij als doelvariabele zowel alle schades als de meest voorkomende schadeoorzaken zijn gebruikt. Op deze manier is wiskundig gekeken welke variabelen het meest van invloed zijn bij die schadeoorzaak.

Met EMM wordt binnen de relatie tussen verklarende variabele en doelvariabele die voor de volledige populatie geldt, gezocht naar significante subgroepen met een afwijkende relatie dan de volledige populatie. Het zoeken naar de subgroepen gebeurt met een zoekalgoritme en waarbij de afwijkende relatie, de bijzonderheid van het model en de significantie van de subgroep bepaald worden. Bij het toepassen van EMM is gefocust op de schadeoorzaken die gefalsificeerd zijn op basis van modellen en grenswaarden.

De resultaten van beide analyses zijn voorgelegd aan het Panel van deskundigen. Het Panel beschouwt de belangrijke variabelen en afwijkende subgroepen. Overige variabelen en subgroepen die op basis van de analyse niet interessant worden geacht, geven op basis van deze analyse geen aanleiding voor uitgebreidere analyse.

1.3.3 Aanvullende onderzoeken op locatie

Naast het toetsen van de gegevens door middel van patroonherkenning zijn ook meerdere aanvullende onderzoeken op locatie verricht. Met de resultaten van de aanvullende onderzoeken op locatie worden de uitgangspunten van de methodiek en de gebruikte modellen getoetst. De aanvullende onderzoeken bestaan uit:

- grondonderzoek bestaande uit 46 sonderingen en 92 grondboringen op 23 locaties;
- uitvoeren van lintvoegmetingen aan 22 gebouwen;
- analyse van informatie uit bouwdoossiers 73 (exclusief door de bewoner aangeleverde informatie);
- verzamelen van aanvullend beeldmateriaal en uitvoeren van extra metingen op 225 locaties;
- analyse van schades bij seriematige woningbouw in 5 gebieden met in totaal betrekking op 19 woningen;
- analyse van 50 mogelijk afwijkende gebouwen;
- analyse van 15 dossiers in het schade-afhandelingsgebied.

1.4 Dataset

De inspecties en beoordelingen van gebouwen in Groningen leveren veel data op. Bij elke inspectie wordt een uitgebreid vragenschema doorlopen, zodat een duidelijk beeld van de situatie ter plaatse ontstaat. Beoordelingen worden gedaan aan de hand van een protocol. Zo wordt per schade een mogelijke schadeoorzaak of worden meerdere mogelijke schadeoorzaken vastgesteld.

De dataset is in een relationele database opgeslagen waarbij de verschillende tabellen via unieke ID's met elkaar worden gekoppeld. Op deze manier wordt alle data enkelvoudig opgeslagen en worden duplicaten voorkomen. Elke schademelding is gekoppeld aan een adres. Dit is het hoogste niveau in de database. Elke schade is via meerdere 'one-to-many' relaties aan het adres gekoppeld volgens de volgende structuur:

- elk **adres** heeft diverse eigenschappen en één of meerdere **gebouwen**;
- elk **gebouw** heeft diverse eigenschappen en één of meerdere **bouwlagen**;
- elke **bouwlaag** heeft diverse eigenschappen en één of meerdere **bouwdelen**;
- elk **bouwdeel** heeft diverse eigenschappen, en geen, één of meerdere **schades**;
- een **schade** heeft tot slot ook diverse eigenschappen.

In het vragenschema zijn verschillende typen vragen opgenomen:

- vragen met diverse antwoordcategorieën (bijvoorbeeld 'hout', 'steen', 'beton'), al dan niet met meerdere mogelijke opties zonder duidelijke ordening (nominale vragen);
- vragen met diverse antwoordcategorieën met duidelijke ordening (ordinale waarden);
- vragen die met 'ja' of 'nee' worden beantwoord (binaire vragen);
- vragen die met een getal worden beantwoord (numerieke vragen).

Vragen met antwoordcategorieën waarbij meerdere antwoorden mogelijk waren, zijn opgedeeld. Per antwoordcategorie wordt een deelvraag gecreëerd met als antwoord 'WAAR' of 'ONWAAR'. In de onderliggende deelvragen is dus meerdere keren 'WAAR' mogelijk. Als in een categorievraag slechts één antwoord mogelijk is, is deze opdeling niet noodzakelijk. De gebruikte techniek van Exceptional Model Mining (EMM) kan worden toegepast op datasets met numerieke, nominale en binaire waarden.

1.5 Controle dataset

De data is onder andere verkregen door inspecties en beoordelingen. Deze inspecties en beoordelingen zijn uitgevoerd door een verscheidenheid aan inspecteurs (59) en experts (32). Deze inspecteurs zijn weliswaar op dezelfde manier getraind, maar dat is geen garantie dat alle gebouwen helemaal op dezelfde manier geïnspecteerd zijn. Datzelfde geldt voor beoordelingen van gebouwen.

Om de consistentie van de inspecteurs te toetsen is gekeken naar het aantal schades per gebouw die de inspecteurs hebben opgenomen en de compleetheid. Elke inspecteur heeft een bepaald aantal inspecties gedaan, waarbij voor elke inspectie het aantal opgenomen schades bekend is. Deze inspecties worden vergeleken met de inspecties (met elk een aantal schades) van alle andere inspecteurs. We toetsen of het aannemelijk is dat de inspecties met het aantal schades van de betreffende inspecteur uit dezelfde kansverdeling komt als de inspecties (met aantal schades) van de andere inspecteurs.

De toets is uitgevoerd met de Kolmogorov-Smirnov-test. Om deze toets betrouwbaar te kunnen toepassen moet de volgende vuistregel gelden:

$$\frac{N_i * N_T}{N_i + N_T} > 4$$

waarbij N_i het aantal inspecties is van de te toetsen inspecteur. N_T is het totaal aantal inspecties van alle andere inspecteurs. Als de vuistregel niet voldoet, dan is voor die inspecteur de toetsing niet uitgevoerd. Het toetsresultaat is negatief als de aantallen schades per inspectie van de betreffende inspecteur anders verdeeld zijn dan de aantallen schades per inspectie van de andere inspecteurs.

Er zijn 10 inspecteurs met negatief toetsresultaat. Deze zijn geïnterviewd om een beeld te krijgen van eventuele afwijking in inspectiemethodiek. Daarnaast is gekeken naar de variabiliteit van de adressen die door de betreffende inspecteur zijn geïnspecteerd. Verder zijn de inspecties van deze inspecteurs volledig doorgenomen en vergeleken met dossiers van andere inspecteurs om een mogelijk afwijkend patroon te ontdekken. Ook is een testruimte door meerdere inspecteurs opgenomen om de uniformiteit van de inspecties te onderzoeken.

Op basis van deze interviews, de variabiliteit van de adressen, de vergelijking van de inspecties en de inspectie van de testruimte is geen reden gevonden om data van de inspecteurs met afwijkend toetsresultaat te verwijderen.

Voor controle op consistentie van de experts is gekeken naar de verschillende type schadebeelden. Voor iedere expert is gekeken naar de ratio van het bepaalde type schadebeeld en de totaal beoordeelde schades van deze expert. Dit is vergeleken met dezelfde ratio van alle experts. Deze controle gaf geen aanleiding om de data van bepaalde experts nader in detail te beschouwen en te verwijderen voor de wiskundige analyses.

1.6 Opwerking dataset

Op adresniveau is de dataset verrijkt met modeldata en open data. De modeldata bevat informatie over onder andere de ondergrond, geohydrologie en berekende trillingssnelheden. De open data bevat informatie over onder meer de omgeving (infrastructuur) en het bouwjaar zoals dat in het BAG-register is opgenomen.

Daarnaast is afwijkende data niet meegenomen in de patroonherkenning. De volgende regels zijn opgesteld op basis waarvan data verworpen wordt:

- de waarde valt tussen de bandbreedte: functie geeft dezelfde waarde weer terug;
- de waarde is geen geldig getal: functie geeft -9999 terug als waarde;
- de waarde valt boven de bovengrens: functie geeft -9999 terug als waarde;
- de waarde valt onder de ondergrens en is een jaartal: functie berekend 2017 - waarde en geeft het resultaat of -9999 terug;
- de waarde valt onder de ondergrens en is geen jaartal: functie geeft -9999 terug als waarde.

In de volgende hoofdstukken wordt de toets methodologisch in meer detail beschreven en worden de uitgebreide resultaten gepresenteerd.

GESTUURDE PATROONHERKENNING - METHODIEK

2.1 Algemeen

Onderdeel van de toets binnen de gehanteerde PCA-methodiek is de gestuurde patroonherkenning. De gestuurde patroonherkenning is uitgevoerd door het Panel van deskundigen, ondersteund door data-analisten en dient een drietal doelen:

- de invloed van uitgangspunten van de falsificatie op de resultaten te controleren (falsificatie);
- aanvullend (indirect) bewijs te leveren om de aannemelijkheid van de benoemde schadeoorzaak verder te versterken (verificatie);
- als extra kwaliteitstoets op de verzamelde informatie en beoordeling (kwaliteit).

Met de gestuurde patroonherkenning worden patronen, relaties, verbanden en trends zichtbaar. Daarnaast vallen afwijkingen op doordat deze buiten de patronen vallen. Deze afwijkingen kunnen zo geïdentificeerd worden en nader worden beschouwd.

Hiervoor wordt door het Panel gebruik gemaakt van logica. Door het principe van combinatie-deductie-eliminatie worden scenario's opgesteld en vervolgens getoetst. Bij het gebruik van combinatie, deductie en eliminatie wordt op basis van de combinatie van gegevens door middel van deductie hypothesen van mogelijke afwijkingen onderbouwd of juist geëlimineerd op basis van logica.

Er is gezocht naar meerdere patronen, relaties, verbanden en trends. In dit onderzoek gaat het vaak om een patroon tussen een mogelijke schadeoorzaak en schade, waarbij gebruik wordt gemaakt van gegevens op alle aggregatieniveaus (omgeving, gebouw en schade). Om deze patronen te achterhalen zijn meerdere maatstaven gebruikt voor zowel de mogelijke schadeoorzaak als schade. Voor schade zijn dit bijvoorbeeld aantal schades, scheuroppervlakte, schades per vierkante meter vloeroppervlak, etc. De patronen worden zowel in de gehele populatie gezocht als in subgroepen binnen de populatie. Door de expertise van het Panel van deskundigen in te zetten kunnen ook uitersten met elkaar vergeleken worden om patronen zichtbaar te maken.

Voor het visualiseren van de data is gebruik gemaakt van Tableau, een business intelligence tool geoptimaliseerd voor het snel visualiseren van verschillende, aan elkaar gekoppelde, databronnen. Tableau maakt gebruik van een 'view' op de database. Hierdoor wordt gegarandeerd dat de data up-to-date blijft zonder dat de data gewijzigd kan worden. In Tableau worden de tabellen gekoppeld en verrijkt met de informatie verzameld door de verschillende deskundigen. Tableau is zeer geschikt voor het snel analyseren en visualiseren van verbanden tussen data, maar beperkt in het uitvoeren van ruimtelijke GIS-analyses. Daarom is er voor verschillende analyses gebruik gemaakt van ArcGIS.

Bij het maken van verschillende visualisaties zijn de verschillende schadebeelden, zoals opgenomen door de inspecteurs, niet meer te zien. Dit heeft als voordeel dat objectief naar de data wordt gekeken en onverwachte waarden (uitschieters) sneller worden gedetecteerd. Bij het beoordelen van deze uitschieters schiet de data-analyse tekort en zal naar de individuele schademelding gekeken moeten worden.

2.2 Combinatie-deductie-eliminatie

Bij zoeken naar de patronen maakt het Panel van deskundigen gebruik van het principe van combinatie-deductie-eliminatie. Met combinatie-deductie-eliminatie worden scenario's getoetst door het Panel van deskundigen en worden opvallende afwijkingen visueel inzichtelijk gemaakt. Bij het gebruik van combinatie, deductie en eliminatie wordt, op basis van de combinatie van algemene kenmerken, door middel van deductie hypothesen van mogelijke afwijkingen onderbouwd of juist geëlimineerd op basis van logica.

Ter illustratie van de werkwijze is hieronder een voorbeeld geschetst van de toepassing op de inspectie. In dit voorbeeld is de hypothese van de mogelijke afwijking dat de maximumsnelheid op een weg niet goed is vastgelegd bij twee geïnspecteerde woningen aan dezelfde weg.

Combinatie:

- huisnummer 3 in een straat is gelegen aan een 50 km/u weg;
- huisnummer 5 ligt aan dezelfde weg.

Deductie:

- huisnummer 5 is aan een 50 km/u weg gelegen.

Op basis van een vergelijking van deze waarde, met de informatie vastgelegd tijdens de inspectie, wordt vervolgens bepaald of de hypothese van mogelijke afwijking onderbouwd is door middel van deductie of dat deze stelling geëlimineerd kan worden. Als de hypothese onderbouwd wordt is dit reden om nog eens kritisch naar deze weg te kijken en waar nodig de vastgelegde informatie te corrigeren. Door de afwijkingen op basis van combinatie, deductie en eliminatie visueel zichtbaar te maken kan het Panel van deskundigen snel oordelen of een hypothese van mogelijke afwijking overeind blijft of niet. Afwijkingen die worden geconstateerd kunnen niet direct worden aangemerkt als foutief door de weerbarstigheid van de gebouwde omgeving. Wanneer een hypothese niet geëlimineerd wordt is dit reden voor een nadere beschouwing van de informatie of de beoordeling door het Panel van deskundigen.

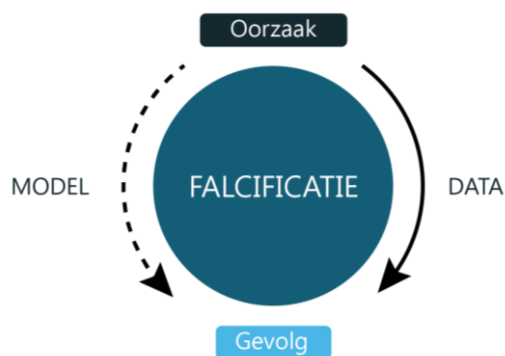
2.3 Toets op falsificatie

Bij de toets op falsificatie wordt door het Panel van deskundigen getracht om op basis van logica een patroon te vinden dat duidt op het onterecht falsificeren van een bepaalde mogelijke oorzaak van de schade.

Falsificeren gebeurt op basis van het wel of niet voordoen van iets of een grenswaarde. Gebruik van een grenswaarde is vaak noodzakelijk omdat iets zich wel voordoet, maar de invloed ervan op een gebouw is dusdanig klein dat onder deze grenswaarde de invloed verwaarloosd kan worden.

Bij het gebruik van een grenswaarde is daarmee altijd sprake van de introductie van een model in de beoordeling met bijhorende modelonzekerheden. Vandaar de gestippelde lijn linksom in afbeelding 2.1. Met de toets op falsificatie wordt, onafhankelijk van het model, onderzocht of er niet toch een relatie vast te stellen is tussen de oorzaak en de schade.

Afbeelding 2.1 Toets op falsificatie



De toets op falsificatie wordt systematisch uitgevoerd door het toepassen van combinatie-deductie-eliminatie op verschillende niveaus. De eerste hypothese die opgesteld kan worden door toepassing van combinatie is dat op basis van de grenswaarde, de beschouwde oorzaak en de schade zelf, in de hele groep onderzochte gebouwen waarvoor de oorzaak gefalsificeerd is, geen patroon te herkennen is tussen oorzaak en gevolg (schade).

Als deze hypothese overeind blijft en de grenswaarde niet geëlimineerd kan worden, kan de kennis van de modelonzekerheid benut worden om door combinatie en deductie tot scenario's te komen die wel of niet geëlimineerd kunnen worden. Het ligt bijvoorbeeld voor de hand om een groep dichtbij de grenswaarde apart te beschouwen omdat verwacht zou kunnen worden dat een patroon zich daar als eerste af zou tekenen. Door kennis van de modelonzekerheid kunnen zo meerdere groepen getoetst worden waar het patroon als eerst zichtbaar zou moeten worden, wil de hypothese geëlimineerd kunnen worden.

Naast het gebruik van de kennis over de modelonzekerheid kan ook de kennis van de ingenieur ingezet worden. Een model zal immer een mate van versimpeling kennen om deze generiek toepasbaar te maken. Op basis van kennis van de ingenieur kunnen ook speciale groepen of relaties worden getoetst waar een verband zich mogelijk eerder zou aftekenen.

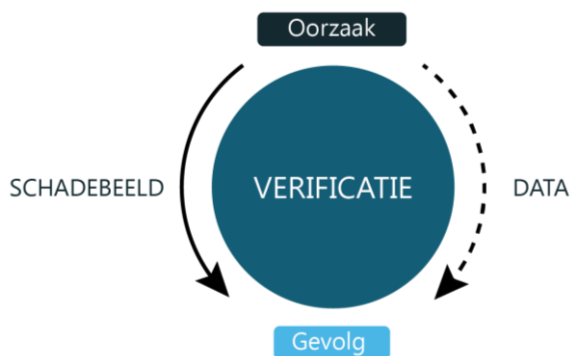
Door het op basis van combinatie-deductie-eliminatie aflopen van verschillende scenario's wordt aanleiding gevonden om het gebruik van de grenswaarde te herzien of niet.

2.4 Toets op verificatie

Bij de toets op verificatie wordt door het Panel van deskundigen getracht om op basis van logica een patroon te vinden dat duidt op het terecht verifiëren van een bepaalde mogelijke oorzaak van de schade.

De verificatie van een mogelijke oorzaak gebeurt op basis van schadebeelden en is gebaseerd op een waarneming. Daarom staat in afbeelding 2.2 een ononderbroken lijn (linksom) tussen de oorzaak en het gevolg (de schade). Met de patroonherkenning is het mogelijk om ook de relatie tussen oorzaak en gevolg te tonen. Echter, omdat hier gebruik wordt gemaakt van gegevens is het enkel mogelijk om een uitspraak te doen over de groep schades met bijbehorende mogelijke oorzaak en niet over een individuele schade. Daarom staat in afbeelding 2.2 (rechtsom) een gestippelde lijn. De toets levert voor de groep schades aanvullend doch indirect bewijs dat de verificatie van de mogelijke schadeoorzaak terecht is geweest.

Afbeelding 2.2 Toets op verificatie



De toets op verificatie wordt systematisch uitgevoerd door het toepassen van combinatie-deductie-eliminatie. Ook bij de toets op verificatie speelt domeinkennis een grote rol. Het Panel identificeert eerst op basis van de domeinkennis mogelijk parameters waarvan verwacht kan worden dat deze een relatie hebben met de schade. Door combinatie en deductie wordt deze verwachting vervolgens getoetst en al dan niet geëlimineerd.

Om het patroon beter scherper te maken wordt op basis van de domeinkennis ook gekeken of er een subgroep te definiëren valt waarbij de relatie zich eerder zal aftekenen. Door op basis van domeinkennis combinatie-deductie-eliminatie toe te passen kan de oorzaak-gevolg relatie zo goed mogelijk worden weergegeven.

Door het uitvoeren van de toets op verificatie wordt de aannemelijkheid van de verificatie vergroot of afgezwakt.

2.5 Uitgangspunten

Door het toepassen van gestuurde patroonherkenning op de verzamelde gegevens wordt op een andere manier dan de beoordelingssystematiek gekeken naar de relatie tussen oorzaak en schade. Hierdoor is het mogelijk de uitgangspunten van de beoordeling te toetsen.

Om een patroon te herkennen dienen de parameter voor de oorzaak en de indicator voor het gevolg bewust te worden gekozen. De keuzemogelijkheden worden beheerst door de gegevens die verzameld zijn en het huidige kennisniveau.

Er is geen eenduidige indicator voor de hoeveelheid schade. Zo kan het aantal schades per gebouw gebruikt worden, maar ook het aantal schades per vierkante meter vloeroppervlak, de totale scheurlengte of het scheuroppervlak (scheurlengte x scheurwijdte). Meerdere maatstaven zijn denkbaar. Omdat er geen eenduidige indicator is, zijn meerdere maatstaven naast elkaar gebruikt om de invloed op de uitkomst te bepalen. Bij de overweging welke indicator te gebruiken, speelt domeinkennis ook weer een belangrijke rol. In sommige gevallen kan verwacht worden dat gezien de oorzaak het aantal schades minder afhankelijk is van bijvoorbeeld omvang van het gebouw dan in andere gevallen.

Ook de keuze van de parameter voor de oorzaak is soms lastig en daarom worden waar relevant, ook meerdere mogelijke parameters gebruikt. Dit speelt met name bij de falsificatie, omdat wanneer er zich geen patroon aftekent, onduidelijk is of het aan de parameter ligt of aan het feit dat er daadwerkelijk geen verband waarneembaar is.

Een nadeel, met name bij de toets op falsificatie, is dat er zoveel verwachtingen getoetst worden dat de kans groter wordt dat, zonder dat er een relatie bestaat, onterecht toch een patroon wordt ontdekt. Dit komt doordat de kans steeds groter wordt dat een toevallige relatie ontdekt wordt.

ONGESTUURDE PATROONHERKENNING - METHODIEK STATISTISCHE ANALYSE

3.1 Opzet statistische analyse

De statistische analyse dient twee doelen:

- 1 het onderbouwen van falsificatie en verificatie van hypothesen met betrekking tot gebouweigenschappen;
- 2 het aanzetten tot kijken naar specifieke combinaties en samenstellingen van gebouweigenschappen.

De eerste stap in het statistisch kijken naar de gebouweigenschappen, dit wordt gedaan met Lineaire Regressie-analyse. Dit levert direct en eenvoudig inzicht op in de relaties tussen parameters. Dit inzicht wordt gebruikt voor falsificatie en verificatie van hypothesen.

De verificatie wordt verdiept met het zoeken naar Exceptional Models. Deze methodiek heeft een globaal (regressie)model nodig als input: daarvoor worden de uitkomsten van de Lineaire Regressie-analyse gebruikt. De zoektocht naar Exceptional Models geeft enerzijds een gedetailleerdere verificatie, anderzijds geeft het een scherper beeld van de samengestelde factoren die een rol kunnen spelen in de relatie tussen verschillende gebouweigenschappen.

3.2 Lineaire Regressie

Als eerste worden verbanden tussen eigenschappen onderzocht. Dit wordt gedaan met behulp van lineaire regressie (LR). Deze methode zorgt ervoor dat een bepaalde eigenschap (y) kan worden geschat ($\hat{y}$) met andere eigenschappen (x_i):

$$\hat{y} = \alpha_i + \beta_i x_i$$

Hoe beter de schatting ($\hat{y}$) overeenkomt met de werkelijke waarde, hoe beter de relatie. Regressie-analyse levert naast het regressiemodel $\hat{y} = \alpha_i + \beta_i x_i$ ook twee statistische waarden: een R^2 en een p-waarde. R^2 is een maat voor de kwaliteit van de schatting. De p-waarde is een maat voor de betrouwbaarheid van het model.

- de R^2 is een indicatie hoeveel variabiliteit van y kan worden beschreven door x . Hoe groter de R^2 , hoe beter het model de y -waarden kan voorspellen op basis van de x -waarden. Als de data één grote puntenwolk vormt, dan is R^2 bijna 0, als de data in één lijn liggen, dan $R^2 = 1$;
- de p-waarde is een indicatie hoe betrouwbaar we kunnen zeggen dat de lijn die door de punten wordt getrokken, afwijkt van een horizontale lijn. Hoe kleiner de p-waarde, hoe groter de waarschijnlijkheid dat x een verband heeft met y . Dit hoeft niet noodzakelijkerwijs een oorzakelijk verband te zijn.

Deze twee indicatoren zorgen dus voor vier mogelijkheden:

- 1 een lage R^2 met een lage p-waarde:
Er is een significante relatie tussen x en y , maar x kan slechts een klein deel van de variabiliteit van y duiden;
- 2 een lage R^2 met een hoge p-waarde:
Er is geen significant verband, en dat verband verklaart daarnaast ook weinig variatie;

- 3 een hoge R^2 met een lage p-waarde:
Er is een significante relatie tussen x en y. Op basis van x kan een goede schatting worden gegeven van y, de relatie is duidelijk. Dit is van de vier mogelijkheden de meest positieve;
- 4 een hoge R^2 met een hoge p-waarde:
Op basis van x kan een goede schatting worden gegeven van y, maar heeft geen meerwaarde boven een horizontale lijn (op hoogte a). Het model heeft geen (meer)waarde.

Welke doelvariabelen gebruiken we?

De verhouding tussen het totaal aantal schades per gebouw en alle numerieke waarden is geanalyseerd. Dit geeft een eerste beeld van een eventuele rol van eigenschappen van een gebouw ten opzichte van het aantal schades. Daarmee wordt een beperkte hoeveelheid data van de geïnspecteerde gebouwen gebruikt.

Er is gekeken naar alle numerieke waarden ten opzichte van drie categorieën beoordeelde schadeoorzaken, A11, B11 en C11. De relatie bij de andere 34 schadeoorzaken is niet onderzocht, omdat de aantallen onvoldoende variabiliteit hebben om een model op te baseren.

Hoe hebben we deze analyse toegepast?

- alle numerieke en ordinale attributen worden bekeken. De ordinale waarden zijn vertaald naar een numerieke schaal. Dit wordt gedaan omdat de waarden op deze manier ook een model kunnen vormen;
- alle (dan) numerieke waarden worden geschaald van 0 tot 1 over het bereik van het minimum en maximum. Zo worden de coëfficiënten, en daarmee de invloed van de verschillende factoren, vergeleken en omdat er anders mogelijk één attribuut gaat overheersen;
- bouwdeeleigenschappen worden geaggregeerd per gebouw naar aantal bouwdelen met betreffende eigenschap. Deze eigenschappen worden gedeeld door het totaal aantal bouwdelen van het specifieke gebouw. Dit omdat we niet geïnteresseerd zijn in het aantal schades op basis van het aantal bouwdelen (dit is namelijk al direct aan elkaar gerelateerd), maar in het aantal schades uitgezet tegenover een specifiek deel van een bouwdeel;
- schade-eigenschappen worden geaggregeerd per gebouw naar het aantal schades met de betreffende eigenschap. Deze eigenschappen worden niet gedeeld door het totaal aantal schades van het specifieke gebouw;
- er worden alleen relaties van modellen beschreven die gebaseerd zijn op minstens één derde van de resultaten. Modellen met minder data zijn niet relevant meer;
- er worden alleen relaties beschreven met voldoende p-waarde ($< 0,05$) en een voldoende R^2 .

3.3 Exceptional Models

De dataset met inspecties is ook geanalyseerd met behulp van de techniek van Exceptional Model Mining (EMM). In eerste instantie is gezocht naar patronen en afwijkingen van patronen in de data zonder voorkennis te gebruiken over verbanden in de dataset. Daarnaast is op basis van uitkomsten van de Lineaire Regressie een model gekozen waarop vervolgens met EMM afwijkingen worden gezocht. De data en de afwijkingen spreken zo als het ware voor zichzelf en voor zover mogelijk kunnen nieuwe hypothesen worden geformuleerd. Deze nieuwe hypothesen zijn ter toetsing voorgelegd aan domeinexperts met de vraag of een gevonden verband plausibel is. Bovendien is de waarschijnlijkheid van het verband statistisch getoetst.

Binnen de data-analyse wordt de techniek van Exceptional Model Mining (EMM) gezien als generalisatie van de techniek Subgroup Discovery (SD). Met deze technieken wordt gekeken naar bepaalde patronen in de data. Afwijkingen van patronen zijn een teken dat er iets bijzonders aan de hand is, iets waarvoor een verklaring kan worden gezocht. Patronen die een afwijking vormen zijn namelijk interessant en duiden op een subgroep in de dataset met een bepaald onderling verband.

Hoe werkt het zoeken naar patronen op een intuïtieve manier?

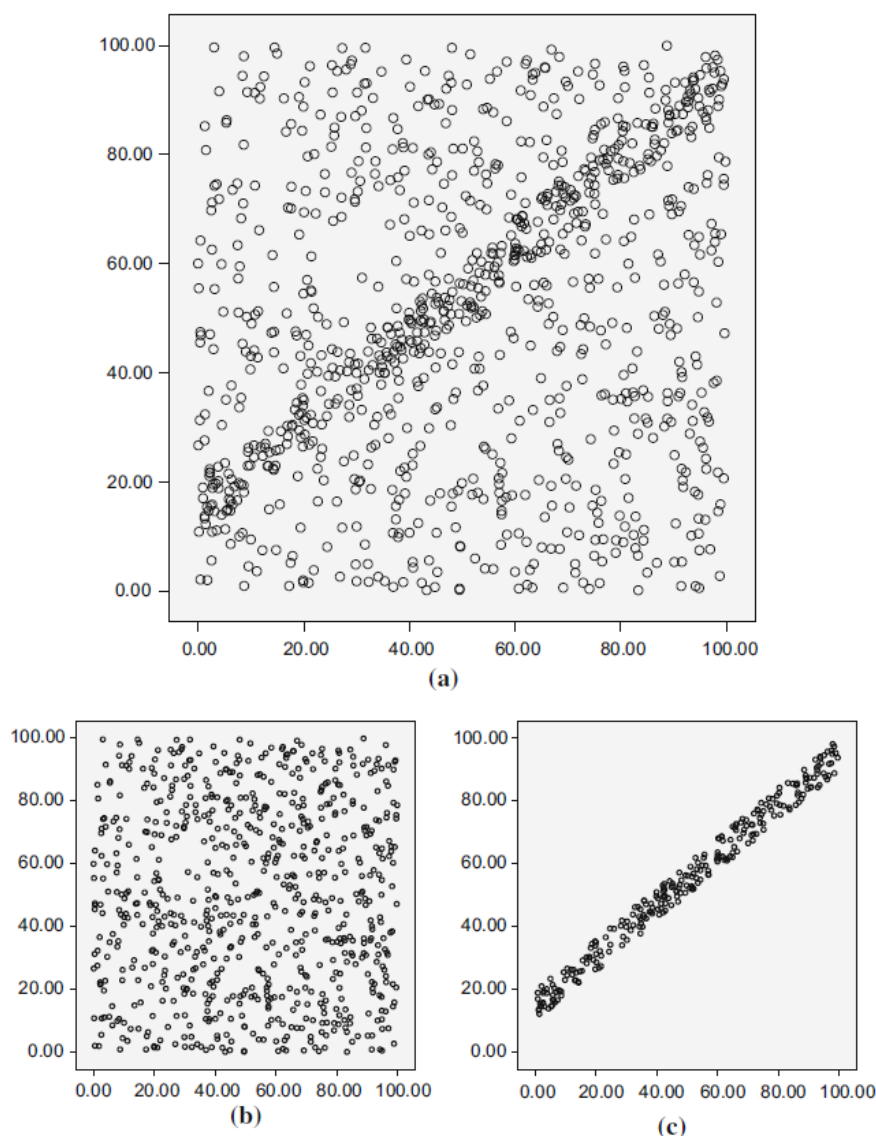
Het zoeken naar patronen en afwijkingen in patronen wordt geïllustreerd aan de hand van het voorbeeld in afbeelding 3.1. In de afbeelding staat een min of meer random puntenwolk afgebeeld met geen of nauwelijks verband en punten in een duidelijke diagonale band met een sterk onderling verband. Deze diagonaal vormt een subset van de data waar iets interessants gebeurt.

Helaas is het niet zo triviaal om een automatisch algoritme te laten nadoen wat op het oog eenvoudig te zien is. Daar zijn verschillende redenen voor:

- van elk punt in de dataset is op voorhand niet duidelijk of het bij de puntenwolk of de diagonaal hoort. Uiteraard is een punt linksboven of rechtsonder onderdeel van de puntenwolk, maar zodra we dichterbij de diagonaal komen, is het onderscheid minder eenvoudig. Uiteindelijk moet de hele dataset worden opgedeeld in diagonaal en puntenwolk en niet in diagonaal en puntenwolk min diagonaal;
- om ook iets met de onderverdeling te kunnen is een beschrijving nodig van de diagonaal in termen van andere kenmerken van de punten in de dataset. Anders is het onmogelijk om nieuwe punten eenvoudig te classificeren als behorend bij één van beide delen van de dataset. Daarnaast is het doel een gevonden verband te kunnen laten interpreteren door domeinexperts voor het volledige bereik van de dataset;
- het type verband waar naar wordt gezocht in de dataset is niet op voorhand duidelijk. Op het oog is te zien dat het verband een rechte diagonale lijn is, maar dat moet het algoritme wel eerst vertellen;
- de modelparameters zijn onbekend. Als het algoritme al kan vertellen dat gezocht moet worden naar een diagonaal, dan ontbreekt nog de informatie wanneer een diagonaal interessant genoeg is. Is bijvoorbeeld het verband nog voldoende sterk als de diagonaal in afbeelding 3.1 twee keer zo breed is? Waar ligt de grens voor een verband dat voldoende interessant is?

Om de interessantheid van subgroepen in beeld te brengen wordt Exceptional Models (EM) gebruikt. Dit is een algoritme dat kan nabootsen wat op het oog aan verbanden in een dataset gezien kan worden. Daarnaast kunnen EM worden gemaakt met meer dan twee dimensies zoals in afbeelding 3.1. Dan zijn verbanden op het oog allang niet meer herkenbaar in de dataset.

Afbeelding 3.1 Een mengsel van twee verdelingen (a). In het ideale geval kunnen we dit ontleden in de puntenwolk (b) en de diagonaal (c) waaruit het is opgebouwd (bron: Duivesteijn et al., 2016)



Hoe werkt het EMM-algoritme?

Een groot voordeel van EMM ten opzichte van andere Subgroup Discovery (SD) technieken is dat EMM met meerdere doelvariabelen tegelijk kan omgaan. Traditionele SD beperkt zich tot enkelvoudige doelvariabelen. Daarnaast kunnen zeer verschillende modelbeschrijvingen gebruikt worden om verbanden te beschrijven (bijvoorbeeld lineaire regressie of Bayesiaanse netwerken). Daarmee is EMM veel flexibeler dan andere SD-technieken om zeer uiteenlopende vormen van interessantheid van subgroepen in beeld te brengen.

Om de EMM-aanpak te kunnen toepassen op een dataset verdelen we deze eerst in verklarende variabelen en doelvariabelen. Beide typen variabelen houden we strikt gescheiden. De eerste categorie variabelen wordt gebruikt om subgroepen te beschrijven en de tweede om de mate van interessantheid of bijzonderheid van subgroepen te kwantificeren.

De interessantheid of bijzonderheid van subgroepen wordt beoordeeld op basis een selectiecriteria. Dit selectiecriteria wordt gekozen in relatie tot de gehanteerde modelbeschrijving. In dit geval is gebruik gemaakt van een lineair regressiemodel met als criterium de Cook's distance [Duivesteijn et al., 2012]. De bijzonderheid van een subgroep die is gebaseerd op een beperkt aantal verklarende variabelen uit de complete dataset wordt beoordeeld door de kwaliteit van het model (Cook's distance) dat de subgroep

beschrijft te vergelijken met de kwaliteit van het model op basis van alle verklarende variabelen in de dataset. Hoe groter de Cook's distance, des te bijzonderder de verbanden in die subgroep.

Het vinden van de subgroepen gaat bij EMM met de beam-search strategie. Eerst worden alle subgroepen langs gegaan die worden beschreven door maximaal één verklarende variabele. We noemen dit een subgroep van niveau 1. Vervolgens worden van deze subgroepen de beste geselecteerd en diepere subgroepen bepaald (beschreven door 2 verklarende variabelen, dus van niveau 2). Daarvan worden opnieuw de beste geselecteerd en zo verder. Zo wordt steeds verder gezocht naar subgroepen van een dieper niveau. De exacte beschrijving van de methode is te vinden in [Duivesteijn et al., 2011].

Deze analyse is uitgevoerd met behulp van Cortana [Cortana1782], een java-programma voor Subgroup Discovery waarmee ook Exceptional Model Mining kan worden uitgevoerd.

Welke doelvariabelen gebruiken we?

Met EMM zijn twee modellen geanalyseerd:

- totaal aantal scheuren uitgezet tegen maximale piekgrondsnelheid;
- schades per oorzaakcategorie per vierkante meter uitgezet tegen bouwjaar.

Deze modellen zijn relevant omdat ze kunnen toetsen of aardbevingstrillingen invloed hebben op aantallen schades. Niet alleen voor de gehele dataset wordt dit getoetst, maar voor alle subgroepen van de dataset.

Totaal aantal scheuren uitgezet tegen maximale piekgrondsnelheid

De relatie tussen het aantal scheuren van een gebouw en de maximale piekgrondsnelheid (pgv_{max}) wordt beschreven door:

$$aantal\ scheuren = a + b * pgv_{max}$$

De Lineaire Regressie-analyse laat geen duidelijk verband zien tussen de aantallen schades en maximale piekgrondsnelheid. Toch is het mogelijk dat dit verband voor bepaalde subgroepen er wel degelijk is. Daarom wordt dit verder met Exceptional Models getoetst.

Er wordt dus specifiek naar subgroepen gezocht waarbij het verband tussen de maximale piekgrondsnelheid en het aantal scheuren in een gebouw anders is dan het globale model. Het gaat met name om hoe de verandering in maximale piekgrondsnelheid doorwerkt in de verandering in aantal schades. Daarom wordt gefocust op de coëfficiënt 'b' die volgt uit de Exceptional Models, omdat deze coëfficiënt ervoor zorgt dat het aantal scheuren verandert bij verandering in maximale piekgrondsnelheid. De a's zijn voor het schatten van het regressiemodel wel relevant, maar voor het waarden van de bijzonderheid van het regressiemodel niet.

Schades per oorzaakcategorie per vierkante meter uitgezet tegen bouwjaar

Er is een zwakke relatie tussen bouwjaar en aantal schades van type A11, B11 en C11 (een lage R^2). Dat sluit echter niet uit dat er scherpere relaties zijn wanneer naar bepaalde subgroepen wordt gekeken. Wellicht zijn er wel scherpe verbanden bij specifieke gebouweigenschappen, of bouwdelen. Daarom wordt onderzocht hoe deze relatie is bij bepaalde subgroepen van de dataset.

Verondersteld wordt dat de oppervlakte van een gebouw ook een (kleine) rol speelt in de relatie tussen aantal schades en het bouwjaar. Daarom is ervoor gekozen het aantal schades te delen door de oppervlakte van het gebouw. De globale modellen zien er dan als volgt uit:

$$\begin{aligned}\frac{A11}{gebouwoppervlakte} &= a_{A11} + b_{A11} * bouwjaar \\ \frac{B11}{gebouwoppervlakte} &= a_{B11} + b_{B11} * bouwjaar \\ \frac{C11}{gebouwoppervlakte} &= a_{C11} + b_{C11} * bouwjaar\end{aligned}$$

De verhouding tussen het bouwjaar en het aantal schades per vierkante meter is interessant. Net als bij de relatie tussen maximale piekgrondsnelheid en aantal scheuren per gebouw, speelt ook hier de doorwerking van het bouwjaar naar het aantal schades een rol. Daarom wordt ook bij deze modellen gekeken naar de coëfficiënt b die volgt uit de Exceptional Models, omdat deze coëfficiënt ervoor zorgt dat het aantal schades verandert bij verandering in bouwjaar. De a 's (de intercepts) zijn niet relevant voor deze doorwerking. Ze zeggen echter wel iets over de zeggingskracht (R^2) van een model.

Hoe hebben we de analyse toegepast?

Specifiek voor de toepassing van EMM zijn een aantal voorbereidingen op de data gedaan. Daarnaast zijn bepaalde parameterinstellingen gekozen voor de methodiek.

Vorbewerking data

- de analyse wordt op gebouwniveau uitgevoerd, omdat dit objecten zijn die minder onderhevig zijn aan 'inspectieruis'. Een gebouw heeft namelijk vrij veel onderliggende objecten (bouwlagen en bouwdelen). De variabiliteit tussen de gebouwen is echter wel vrij groot, maar vanwege de methodiek van Exceptional Models hoeft daar geen rekening mee gehouden te worden;
- het aantal bouwdelen met specifieke eigenschappen is gedeeld door het totaal aantal bouwdelen van een gebouw om voor deze eigenschappen relatieve waarden te krijgen;
- alle aantallen schades met specifieke eigenschappen zijn gedeeld door het totaal aantal schades van een gebouw om ook voor deze eigenschappen relatieve waarden te krijgen;
- voor de relatie tussen aantal scheuren en maximale piekgrondsnelheid zijn de schadebeoordelingen niet meegenomen: deze groepen zijn al (sterk) gecorreleerd met aantal schades en voor onze modellen niet relevant. We zoeken namelijk een relatie tussen een gebouw en modeluitkomsten en niet zozeer hoe een schadebeeld is beoordeeld;
- de spatiële (positionele) eigenschappen (breedtegraad, hoogtegraad, x , y , postcode, etc.), die niet direct de fysische staat of de omgeving van een gebouw beschrijven, zijn niet meegenomen;
- nominale en binaire waarden worden meegenomen in deze analyse. Ordinale waarden worden niet geconverteerd, omdat deze in de EMM-methode goed worden meegenomen. Alleen de doelvariabelen moeten numeriek zijn voor goede toepassing van de methode. Dat is in beide onderzochte relaties het geval.

Instellingen algoritme

De analyse is uitgevoerd met behulp van Cortana [Cortana1782]. In dit java-programma zijn diverse parameters in te stellen voordat de berekening wordt uitgevoerd. De volgende instellingen zijn gekozen in de analyse:

- bij de Exceptional Models van het aantal scheuren versus maximale piekgrondsnelheid zijn alleen subgroepen met meer dan 20 records ($\pm 1\%$ van de totale dataset) meegenomen. Bij de Exceptional Models van schadeoorzaak versus bouwjaar moeten de subgroepen ten minste 50 records bevatten. Bij een kleiner aantal zijn wellicht subgroepen te vinden die nog meer bijzonder zijn, maar vanwege dit kleinere aantal ook minder significant en relevant;
- de analyse van subgroepen van de relatie tussen aantal scheuren en de maximale piekgrondversnelling is uitgevoerd met subgroepen tot en met 3 verschillende condities. De analyse van relatie van schadeoorzaken en bouwjaar is uitgevoerd tot en met 2 verschillende condities. Exceptionaliteit op basis van meer dan 3 resp. 2 condities is dus niet onderzocht. De verwachting is namelijk dat bij meer verklarende variabelen de subgroepen al dusdanig klein worden dat verder zoeken geen zin meer heeft.
- betrouwbaarheidswaarden worden bepaald door 100 maal de dataset te analyseren, waarbij telkens de records van de verklarende variabelen willekeurig door elkaar zijn gehusseld. De hoogste Cook's distance die dan door een subgroep wordt gehaald laat zien dat deze waarde kan worden bereikt met een gerandomiseerde dataset.

4

AANVULLENDE ONDERZOEKEN OP LOCATIE

4.1 Algemeen

Meerdere aanvullende onderzoeken zijn uitgevoerd om het effect van uitgangspunten van methodiek en gebruikte modellen op de resultaten te toetsen.

Het aanvullende onderzoek bestaat uit:

- sonderingen (46 x), grondboringen (92 x) en lintvoegmetingen (22 x);
- verzamelen van aanvullend beeldmateriaal (225 x);
- analyse van seriematige woningbouw in 5 gebieden met in totaal 19 woningen;
- analyse van 50 mogelijk afwijkende gebouwen;
- analyse van informatie uit 73 bouwdoSSIers welke niet door de bewoner zijn aangeleverd;
- analyse 15 doSSIers in het schade-afhandelingsgebied.

De resultaten van deze analyses zullen in de hierop volgende paragrafen nader beschreven worden.

4.2 Sonderingen (46 x), grondboringen (92 x) en lintvoegmetingen (22 x)

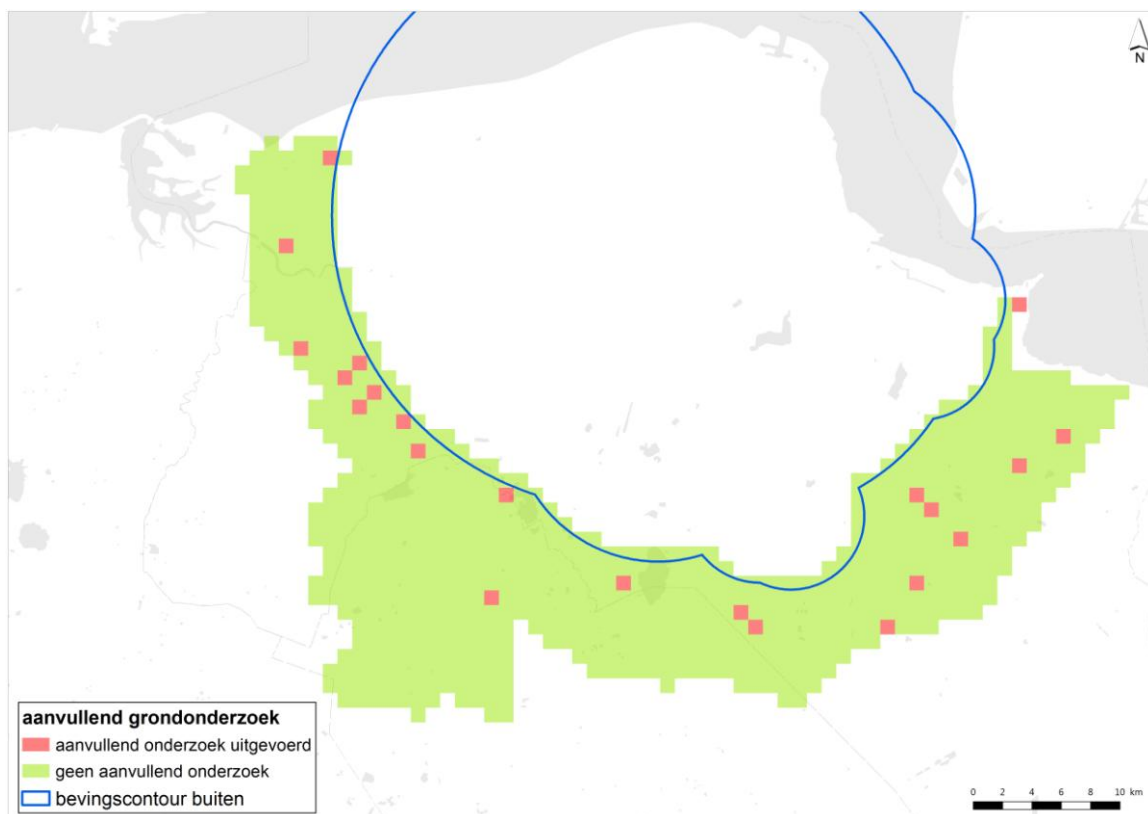
In dit onderzoek zijn steekproefsgewijs locaties gekozen waar een grondonderzoek is uitgevoerd ter verificatie van de in het onderzoek gebruikte uitgangspunten:

- geologisch GeoTOP model;
- de bepaling van de gevoeligheid van de ondergrond voor zettingen;
- de beoordeling schade ten gevolge van ongelijkmatige zettingen op basis van het waargenomen schadebeeld.

Aan de hand van alle, door Wiertsema & Partners, uitgevoerde grondonderzoeken is er per locatie een interpretatie van de resultaten uitgevoerd, is de representativiteit van GeoTOP model geverifieerd en zijn deze schades opnieuw beschouwd. Indien er aan de hand van het grondonderzoek afwijkingen zijn waargenomen is dit gerapporteerd en beschreven. Eerst wordt de algemene conclusie gegeven, op basis van de 23 onderzoekslocaties waarna de resultaten van de individuele onderzoeken besproken worden.

Afbeelding 4.1 toont waar de onderzoeken zijn uitgevoerd. De onderzochte locaties zijn bepaald op basis van de indeling in de verschillende representatieve grondprofielen zoals beschreven in bijlage I paragraaf 4.5. De 23 locaties geven daarmee een representatief beeld van het hele onderzochte gebied. In één gebied waren onvoldoende bewoners bereid om mee te werken aan het onderzoek, en zijn daarom sonderingen en grondboringen in het vrije veld uitgevoerd. Vanzelfsprekend was het op die locatie niet mogelijk om een lintvoegmeting uit te voeren.

Afbeelding 4.1 Overzicht onderzoekslocaties



4.2.1 Geotechnisch grondonderzoek

De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd in februari en maart en heeft per locatie globaal bestaan uit:

- 2 tot 4 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

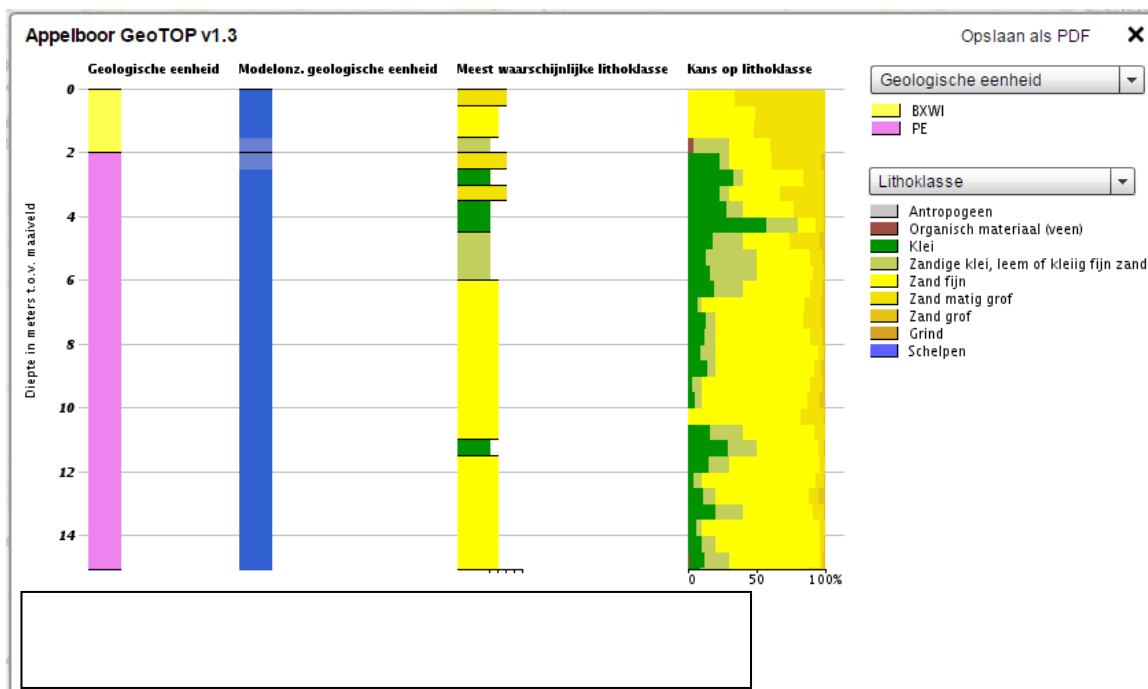
Aan de hand van de sonderingen en de boringen is een geotechnische gelaagdheid en grondsoort bepaald. Hierbij is ook aangegeven of de laag integraal is aangetroffen of dat er een heterogeniteit is de gelaagdheid is waargenomen die invloed kan hebben op de schadebeoordeling.

4.2.2 Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven. In afbeelding 4.2 is een voorbeeld weergegeven van het gebruikte GeoTOP model waarvan de representativiteit is geverifieerd aan de hand van het geotechnisch onderzoek.

Hierbij is in eerste instantie gekeken naar de Geologisch eenheid en is daaropvolgend gekeken naar de meest waarschijnlijk Lithoklasse.

Afbeelding 4.2 Appelboor GeoTOP VOORBEELD



4.2.3 Interpretatie lintvoegmeting

Voor de meeste onderzoekslocaties is daar waar mogelijk een lintvoeg meting uitgevoerd. Met meetnauwkeurigheid van 10 mm is het niet mogelijk iets over de relatieve rotaties in een muurvlak te zeggen maar kan wel een algehele scheefstand van het pand worden waargenomen.

4.2.4 Conclusie

De overkoepelende conclusie van het aanvullende grondonderzoek is dat de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd zijn en dat er geen afwijkingen zijn geconstateerd die van invloed hebben op de schadebeoordeling.

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is gebleken dat het GeoTOP model goed overeenkomt met de waargenomen gelaagdheid en grondsoort. Van de 22 onderzoekslocaties waarbij een geotechnisch grondonderzoek is uitgevoerd is 20 maal geconcludeerd dat er geen significante afwijkingen zijn waargenomen tussen het grondonderzoek en het GeoTOP model.

Bij 1 locatie is er geconcludeerd dat het grondonderzoek niet overeenkomt met GeoTOP model en dat de zettingsgevoeligheid groter was dan aangegeven in het GeoTOP model. Op een andere locatie is een afwijkende gelaagdheid waargenomen maar is de zettingsgevoeligheid onveranderd.

Over het algemeen kan ook worden geconcludeerd dat de gelaagdheid van de grond op de schaal van de onderzoekslocaties homogeen is. Er is slecht bij 2 locaties een wezenlijke afwijking geconstateerd waarbij de dikte van de laag niet overeenkwam of waar een bepaalde laag zelfs helemaal niet aanwezig is.

De resultaten van de lintvoegmeting tonen een veranderlijk beeld. Bij een groot aantal locaties zijn er geen noemenswaardige scheefstanden waargenomen. Bij een aantal locaties zijn echter zeer forse scheefstanden waargenomen (variërend van 1:60 tot 1:200). Bij de waargenomen scheefstanden is er gekeken naar de homogeniteit van het grondonderzoek op de locatie en is er gekeken of aan de hand van een eventuele heterogeniteit een bepaald scheefstandrichting kan worden verwacht.

Op basis van deze check is geconcludeerd dat de meeste scheefstanden niet kunnen worden verklaard door de heterogeniteit van het grondonderzoek, slechts bij 1 locatie kan de scheefstand wel eenduidig worden verklaard door de afwezigheid van een laag zettingsgevoelige laag.

Nu zullen de resultaten van de individuele onderzoeken beschreven worden.

4.2.5 Onderzoek 1

Geotechnisch grondonderzoek

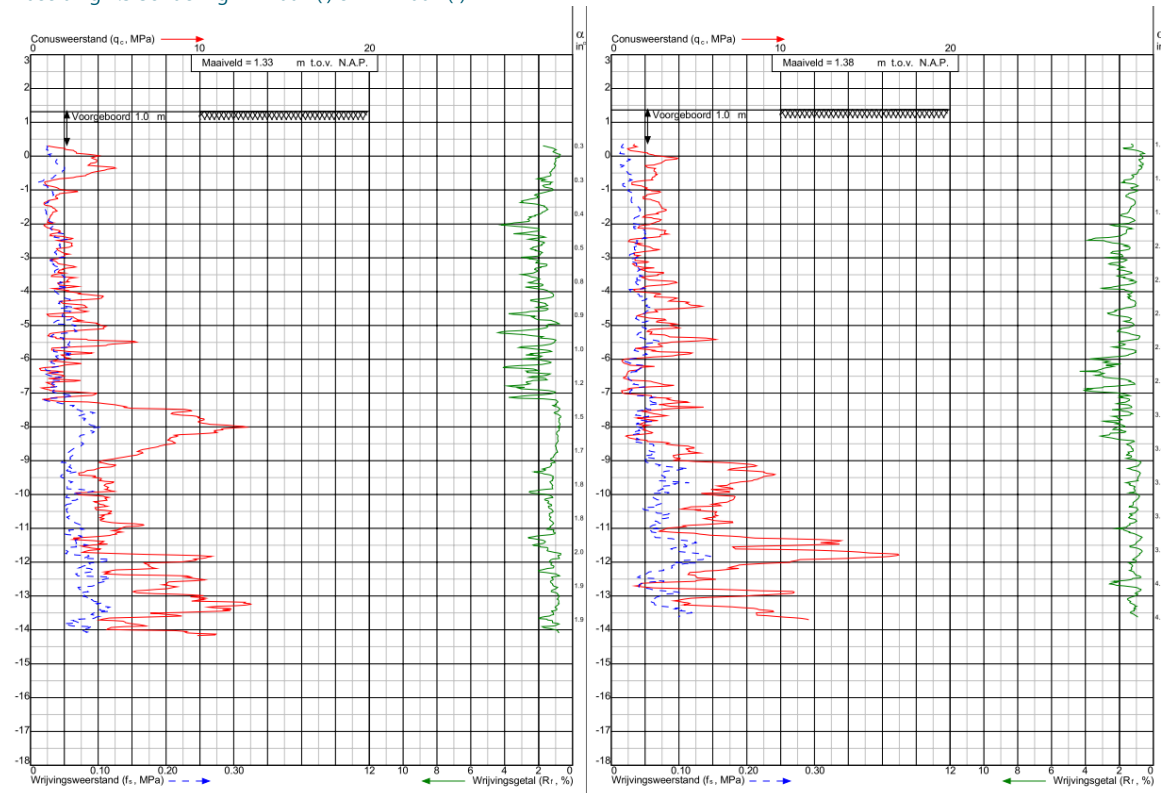
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 1 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.3 en de handboringen over de eerste 3 meter van het grondpakket is in tabel 4.1 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.3 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.1 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	Samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	Ouderdom [-]
mv 1,35	0,49	toplaag: Klei/ zand, humeus	-	-	
0,49	-7,5 a -8,5	klei, sterk zandig	2	1,8	
-7,5 a -8,5	-> -15	zand, met kleilaagjes	5	1,2	

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag.

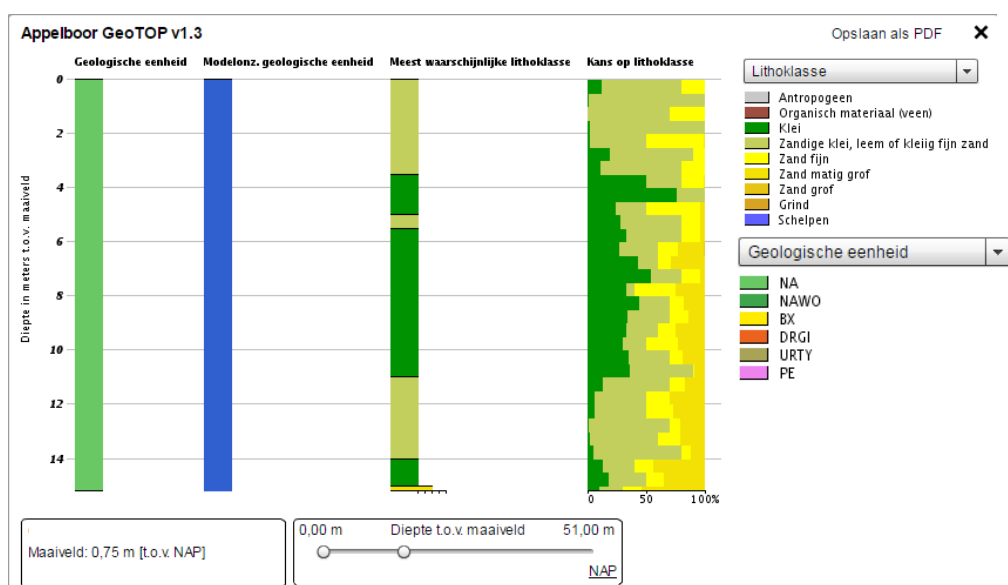
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot 1,0 m - mv) bestaat uit matig tot zwak zandige klei. Er is geen funderingslaag aangetroffen en daar waar zand is aangetroffen is dit zeer fijn en sterk humeus. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van circa 8,5 m sterk zandige klei. De eerste twee meter van dit pakket is ook waargenomen in de handboringen en het sondeerbeeld toont een continue afwisseling van conusweerstand en wrijvingsgetal. De foto's van de ongeroerde monsters tonen ook duidelijk de sterkte aanwezigheid van zand. Na de sterk zandige klei is een vanaf circa - 8,5 m NAP een schonere zandlaag aangetroffen met dunne kleilagen. Het zand is op basis van de conusweerstand los gepakt zand. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.4 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Leensterweg 52



Het GeoTop model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.4 wordt geconcludeerd dat de schone kleilagen (donker groen) niet zijn aangetroffen in de sonderingen maar dat het pakket volledig bestaat uit Zandige Klei.

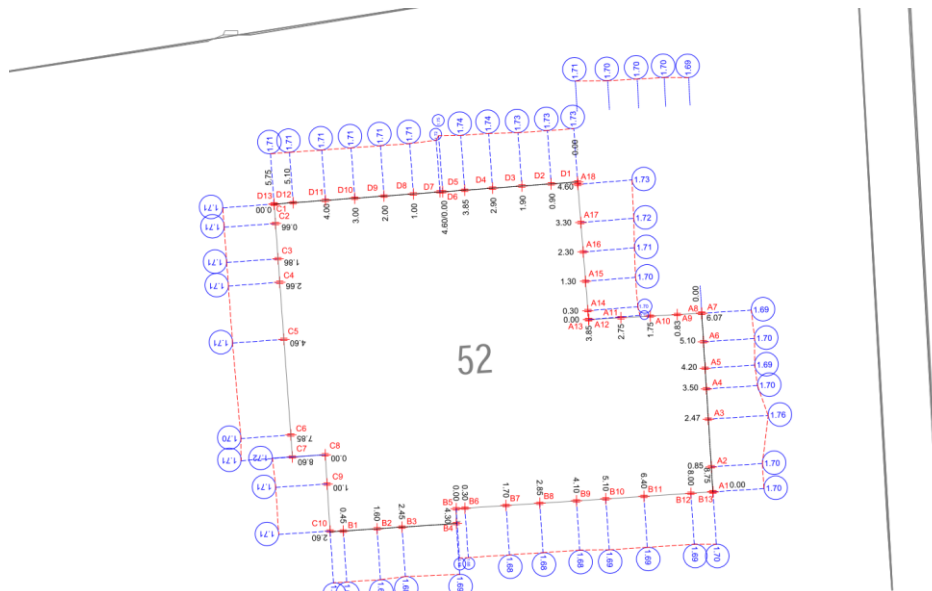
De afwezigheid van schone kleilagen is gunstig voor de te verwachten zettingen. De zandige klei is minder zettingsgevoelig.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. over as A13 t/m A18 is over een lengte van 4,6 m een scheefstand 3 cm waargenomen hetgeen overeenkomt met een rotatie van 1:150;
2. over as A1 t/m A7 is ter plaatse van A3 een afwijking van 6 cm geconstateerd;
3. verder vallen de meetmarges binnen 10 mm en zij geen opvallendheden waargenomen.

Afbeelding 4.5 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed zijn op de schadebeoordeling.

4.2.6 Onderzoek 2

Geotechnisch onderzoek

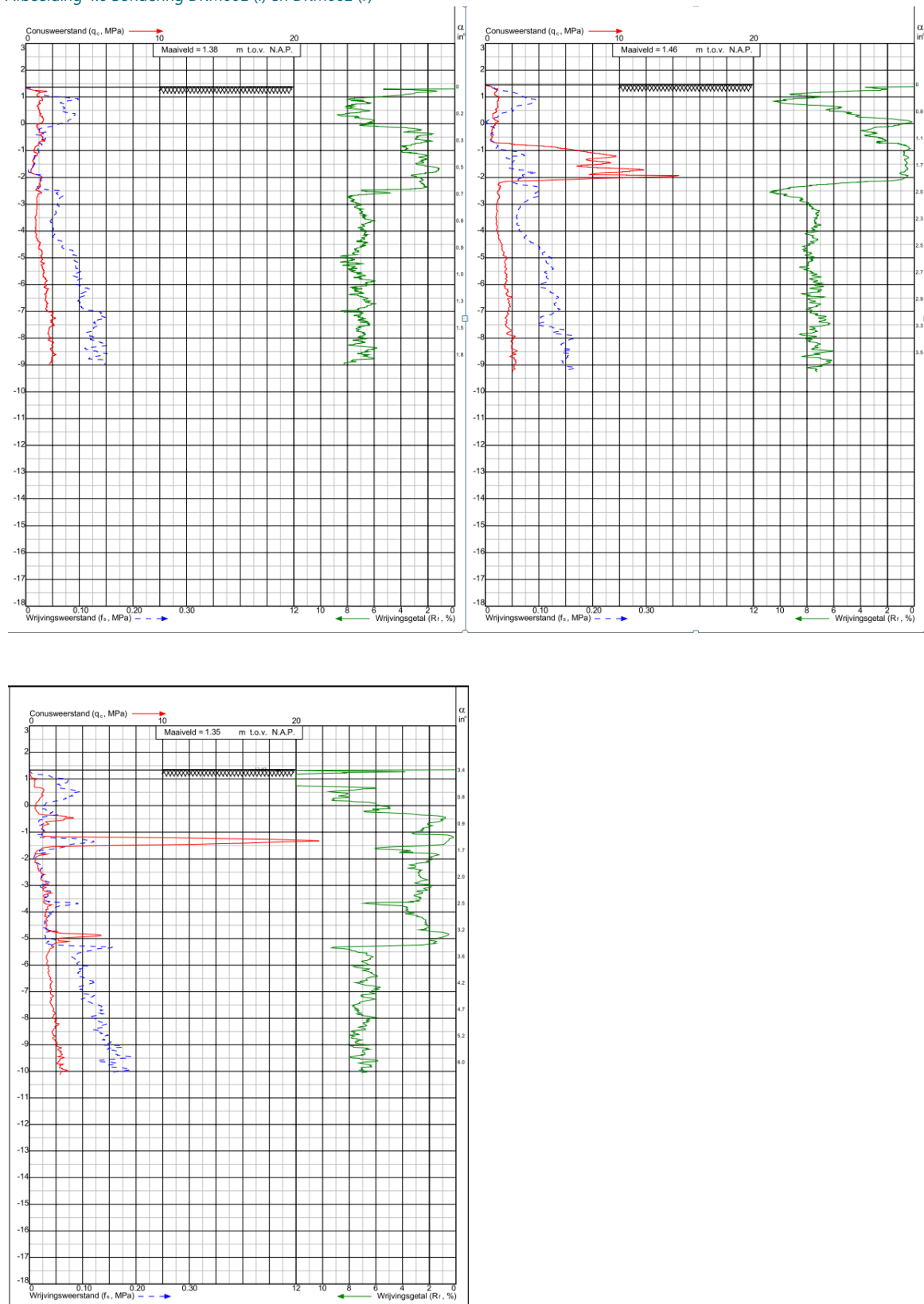
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 13 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 3 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.6 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.2 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Abbeelding 4.6 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.2 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	Samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	Ouderdom [-]
mv 1,40	-0,5 a -1,0	toplaag: Klei, siltig	1	5	holoceen
-0,5 a -1,0	-1,4 a -2,0	zand met klei	2	2	holoceen
-1,4 a -2,0	-> -10	klei	5	6,5	pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag.

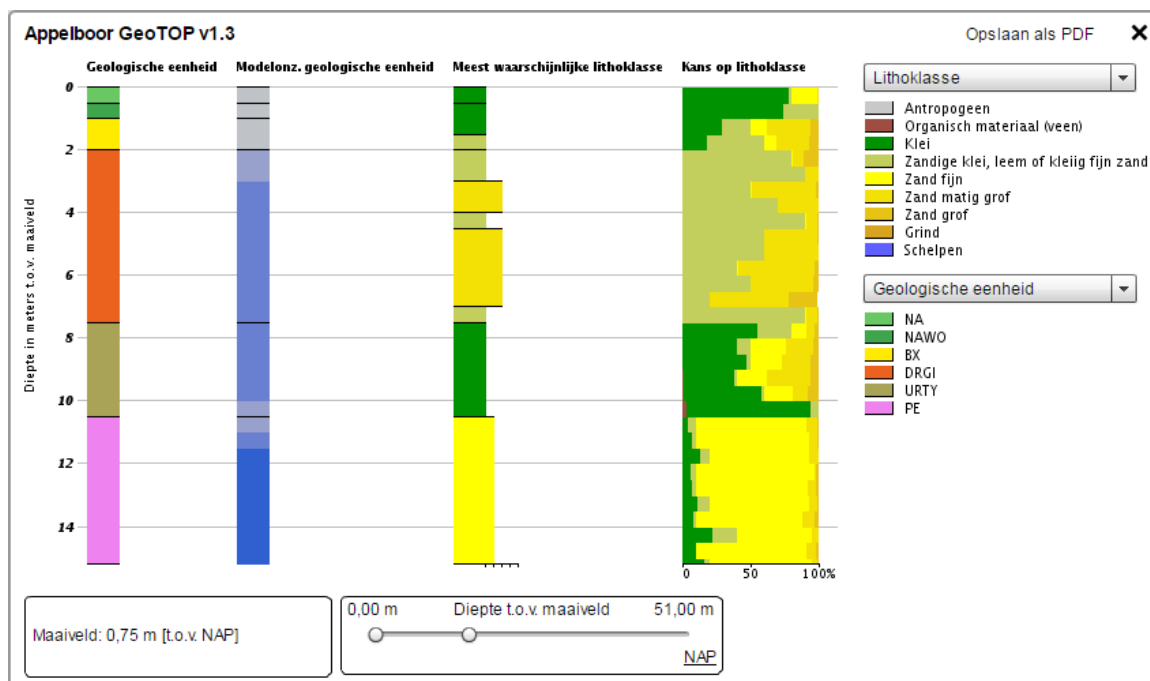
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot 2,0m - mv) bestaat uit matig tot siltige zwak humeuse Klei. De laag is gevoelig voor autonome zettingen;
- onder de toplaag bevindt zich een minder zettingsgevoelige zandlaag met een dikte van circa 1 à 1,5 m, dit verschilt per sondering. Vooral bij sondering DKM002 aan de oostzijde van het gebouw is een goed verdicht zand pakket aangetroffen, in de andere sonderingen is deze aanzienlijk dunner of helemaal niet aanwezig in DKM001. Dit komt overeen met de boringen waarbij alleen bij boring B003 zandresten zijn aangetroffen op circa 3 m onder mv. De aan/ afwezigheid van deze laag kan lokaal resulteren in zettingsverschillen. Vanaf circa NAP - 2 m is een overgeconsolideerde zandige Klei (mogelijk potklei) aangetroffen met conusweerstand van circa 1,5 MPa. Hierbij valt op dat het wrijvingsgetal relatief hoog is voor klei, dit zou duidt op een overgeconsolideerde Klei met een horizontale opspanning;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.7 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Starkenborgkanaal Nz 1B



Bevindingen

Het GeoTOP model komt niet volledig overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 5.1 wordt geconcludeerd dat de dikte van het zandpakket en de zandige klei in de sonderingen aanzienlijk minder dik is. De zettingsgevoeligheid in de sonderingen is groter dan wanneer naar het GeoTOP model wordt gekeken.

De aangetroffen Kleilaag vanaf circa NAP -2,0 m is aanzienlijk dikker en zettingsgevoeliger al is deze wel overgeconsolideerd. De invloed hiervan zal ten opzichte van het GeoTOP model niet groot zijn.

4.2.7 Onderzoek 3

Geotechnisch grondonderzoek

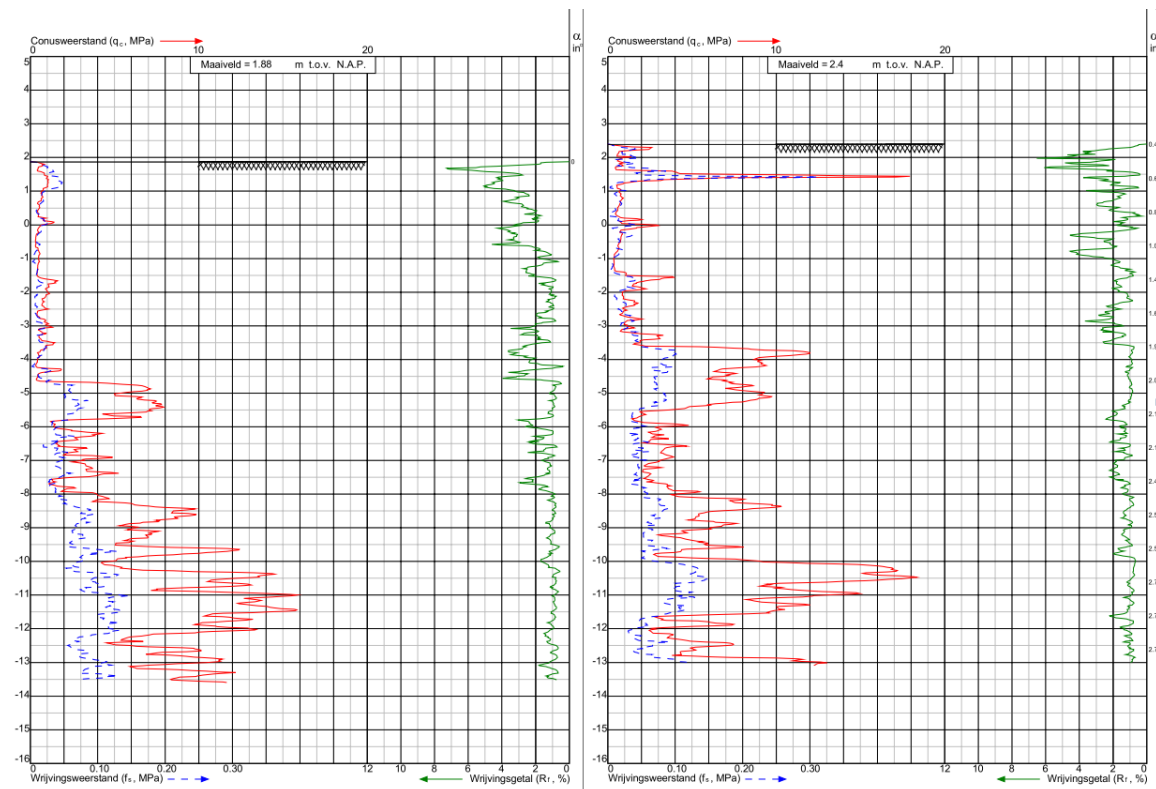
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 17 februari 2017 en heeft bestaan uit:

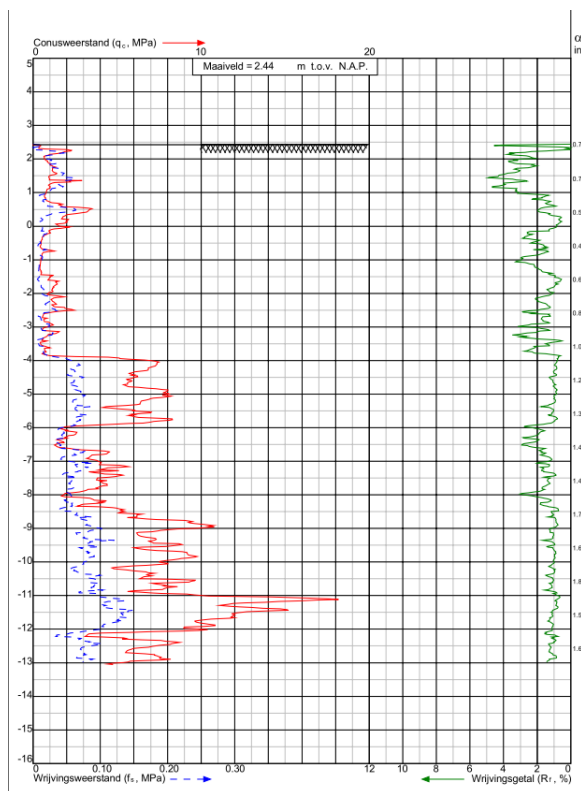
- 3 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.8 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.3 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.8 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)





Tabel 4.3 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	Samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	Ouderdom [-]
mv 2,5	-3,5 a -4,5	Toplaag: Klei/ zwak zandig	1	2	
-3,5 a -4,5	-5,5 a -6,5	Zand, schoon	2	1,8	Holoceen
-5,5 a -6,5	-8,0	Zand, matig met kleilagen	3	1,5	Holoceen
-8,0	-> -15	Zand , klei houdend	8	1,2	Holoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Alleen de toplaag is gevoelig voor zettingen.

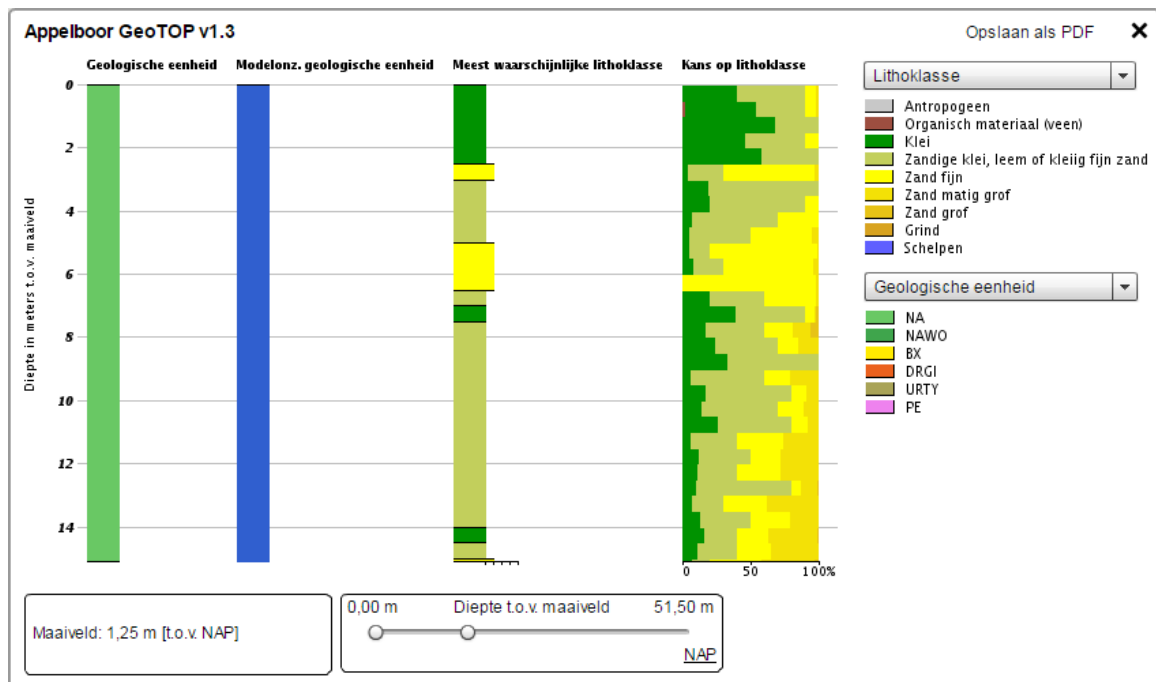
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 4 m - mv) bestaat uit matig tot zwak zandige klei. Er is geen duidelijke draagkrachtige funderingslaag aangetroffen. De toplaag is een relatief dikke laag waarbij geen duidelijke laagscheidingen zijn waargenomen. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van circa 2,0 m sterk schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Onder de schone zandlaag is sterk zandige kleilaag van circa 2 m waargenomen die overgaat in een kleihoudende zandlaag. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.9 Appelboor GeoTOP model ter plaatse Zoutkamperweg 4



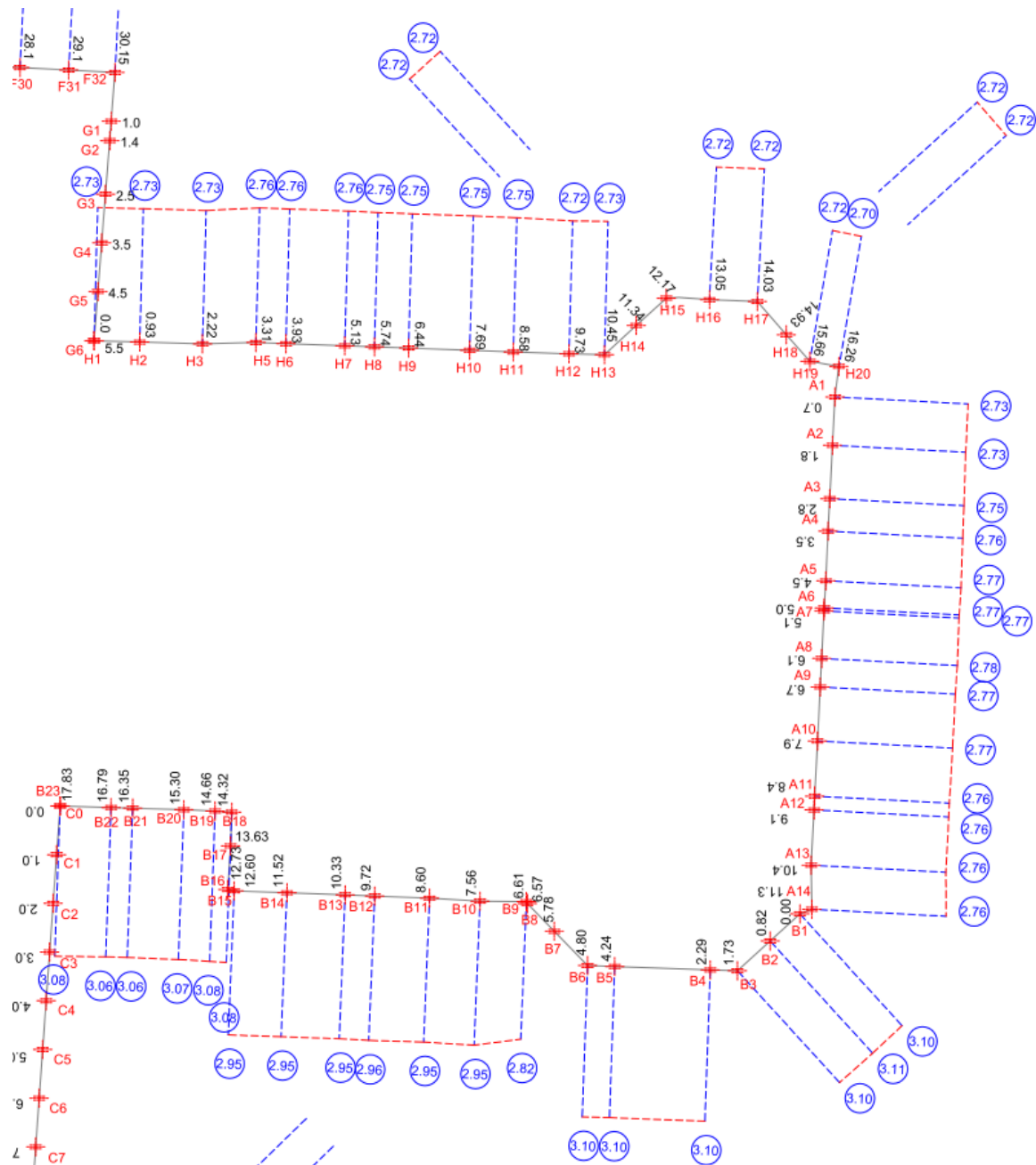
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.9 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

- 1 over as A is tussen A1 en A8 een scheefstand van circa 1:150 waargenomen;
- 2 voor de overige assen is niet mogelijk iets over de scheefstanden te zeggen Wel valt op dat tussen H3 en H5 een verschilzetting van 3 cm is waargenomen, wellicht is dit een voegovergang.

Abbeelding 4.10 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. In de lintvoeg zijn vooral op as A rotaties waargenomen die kunnen duiden op een zettingsverschil.

4.2.8 Onderzoek 4

Geotechnisch grondonderzoek

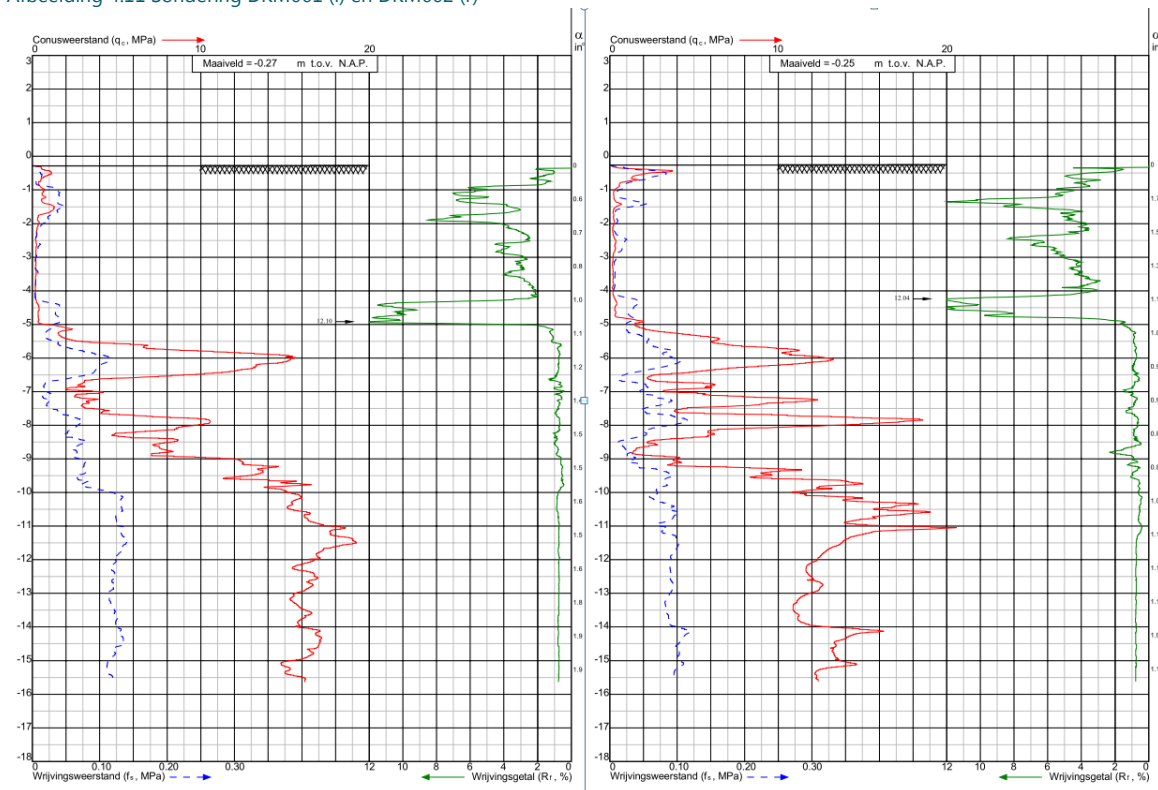
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 24 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.11 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.4 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.11 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.4 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	Samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv -0,2	-4,0	toplaag: Klei, Veen houdend	0,3	4	
-4,0	-5,0	veen	0,4	9	Holoceen
-5,0	-> -15	zand, met kleilagen	8	1,0	Holoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip zeer hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Alleen de toplaag is gevoelig voor zettingen.

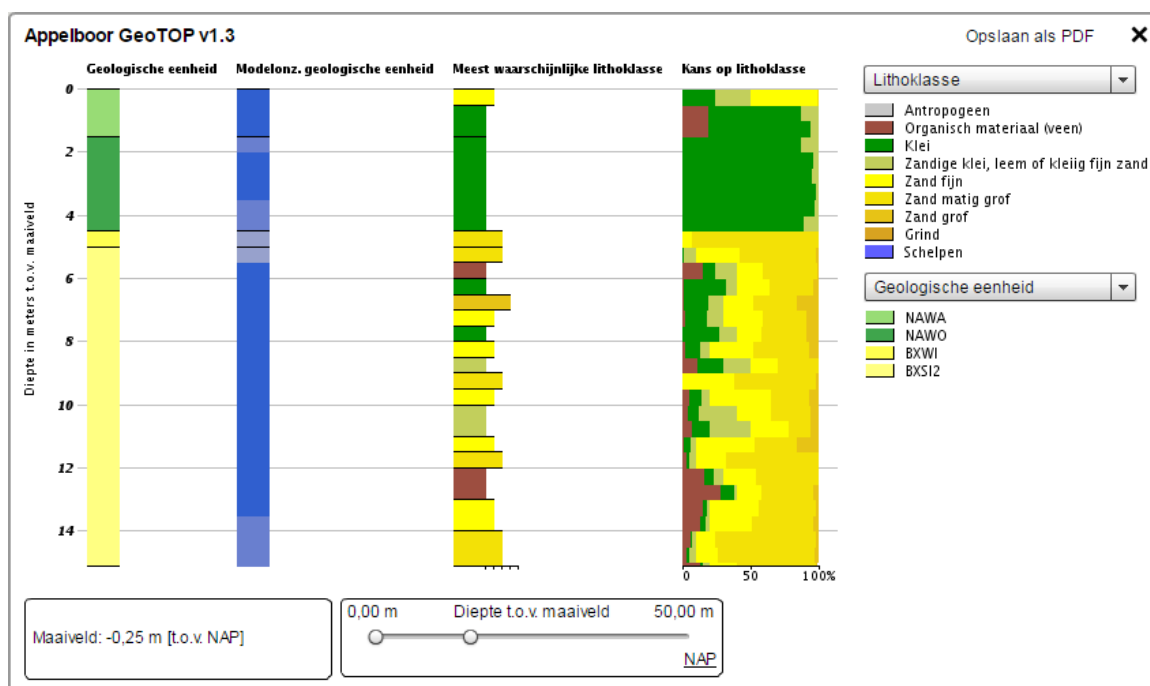
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 4 m - mv) bestaat uit matig tot zwak zandige klei. Er is geen duidelijke draagkrachtige funderingslaag aangetroffen. De toplaag is een relatief dikke laag waarbij geen duidelijke laagscheidingen zijn waargenomen. Tussen de sonderingen en boringen zijn geen noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van circa 2,0 m sterk schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Onder de schone zandlaag is sterk zandige kleilaag van circa 2 m waargenomen die overgaat in een kleihoudende zandlaag. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.12 Appelboor GeoTOP model ter plaatse Hoendiep 2



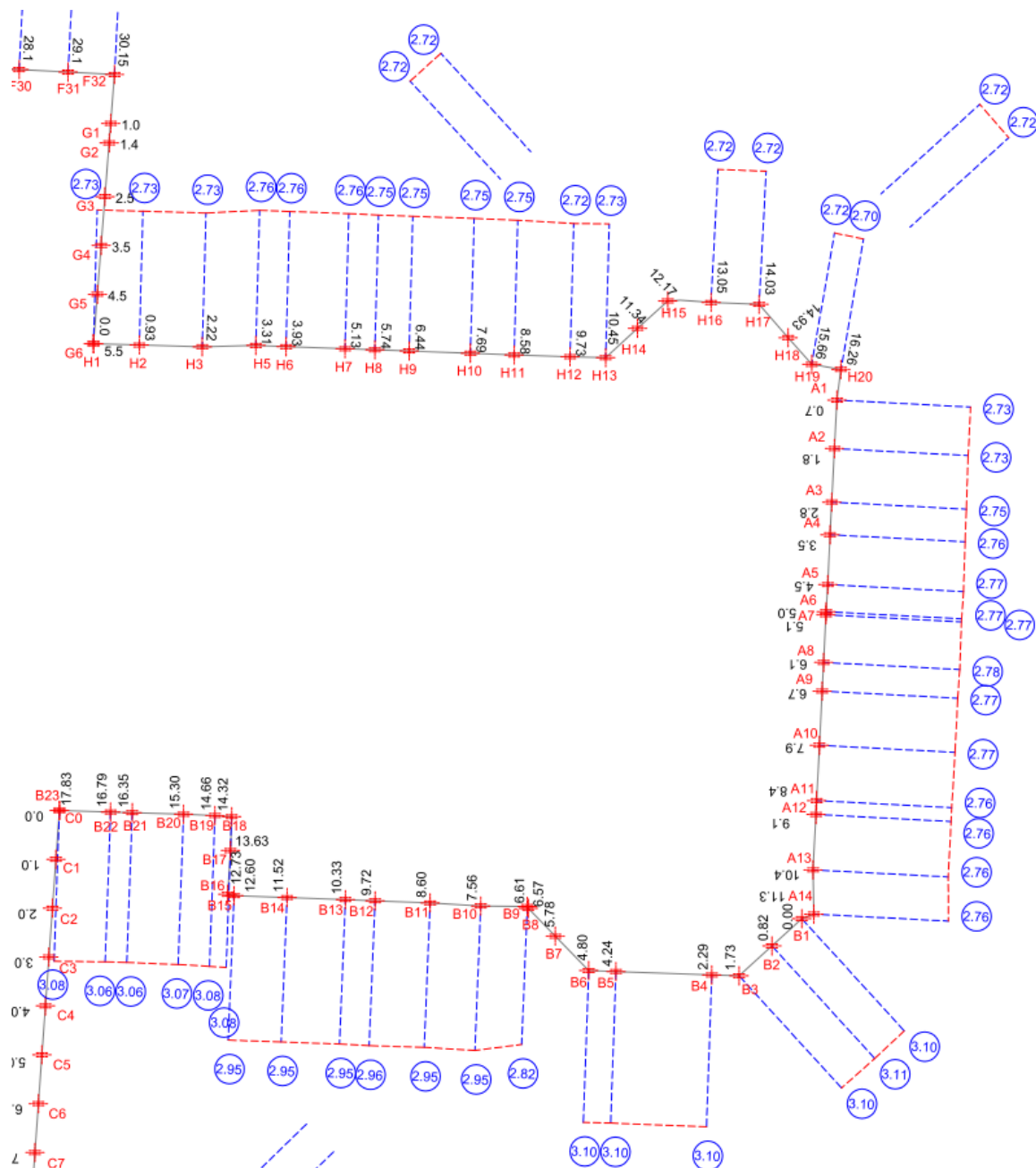
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.12 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. over as A is tussen A1 en A8 een scheefstand van circa 1:150 waargenomen;
2. voor de overige assen is niet mogelijk iets over de scheefstanden te zeggen. Wel valt op dat tussen H3 en H5 een verschilzetting van 3 cm is waargenomen, wellicht is dit een voegovergang.

Abbeelding 4.13 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. In de lintvoeg zijn vooral op as A rotaties waargenomen die kunnen duiden op een zettingsverschil.

4.2.9 Onderzoek 5

Geotechnisch grondonderzoek

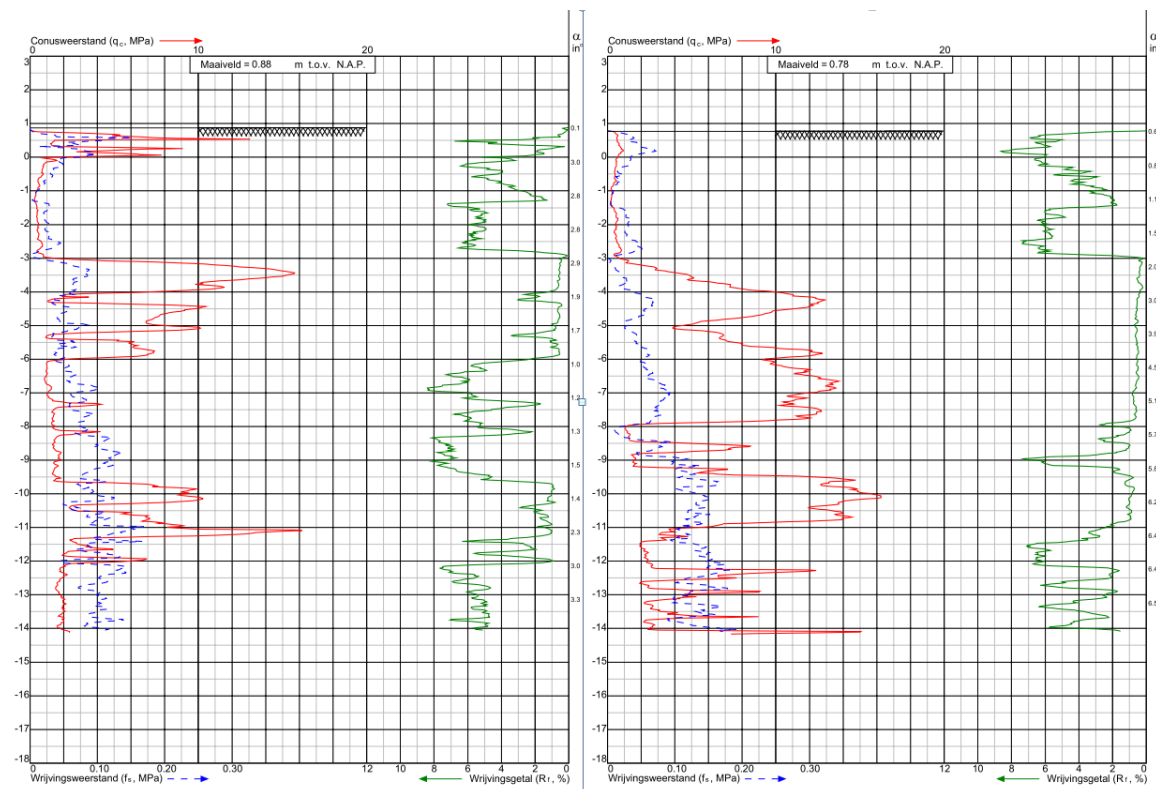
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 16 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.14 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.5 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.14 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.5 Representatieve gelaagtheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv +0,9	-1,0	Toplaag: Klei, Veen houdend	0,8	4	Holoceen
-1,0	-3,0	Veen	0,4	6	Holoceen
-3,0	-6,0 a -8,0	Zand, matig	8	0,8	Pleistoceen
-6,0 a -8,0	-15	Klei, overgeconsolideerd	2	4	Pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip zeer hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Alleen de toplaag is gevoelig voor zettingen.

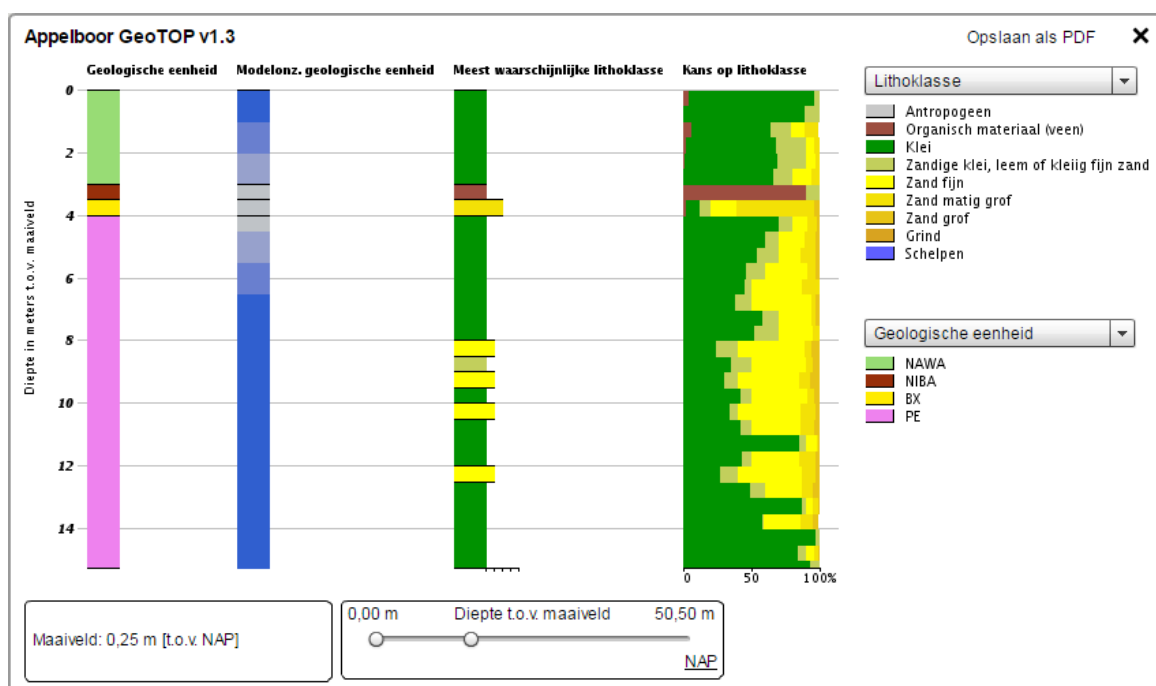
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 4 m - mv) bestaat uit matig tot zwak zandige klei. Er is geen duidelijke draagkrachtige funderingslaag aangetroffen. Onder de kleiige toplaag bevindt zich een veenlaag met een dikte van circa 2m. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 3 tot 5 m schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Onder de schone zandlaag is in beide sonderingen een duidelijk andere grondgesteldheid aangetroffen DKM001 toont een aanzienlijk dikke kleilaag met hoge wrijvingsgetallen, dit in tegenstelling tot DKM002 waar deze laag slechts in beperkte mate wordt aangetroffen;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.15 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Ganzedijk 29 te Finsterwolde



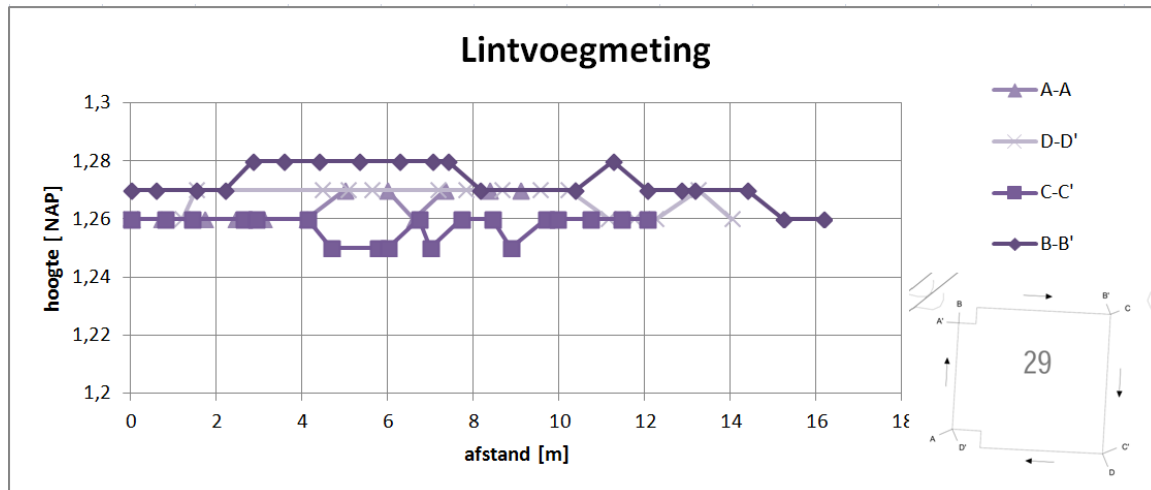
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.15 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is geen scheefstand waargenomen;
2. er zijn geen grote afwijkingen >1 cm waargenomen in de lintvoegmeting.

Afbeelding 4.16 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.10 Onderzoek 6

Geotechnisch grondonderzoek

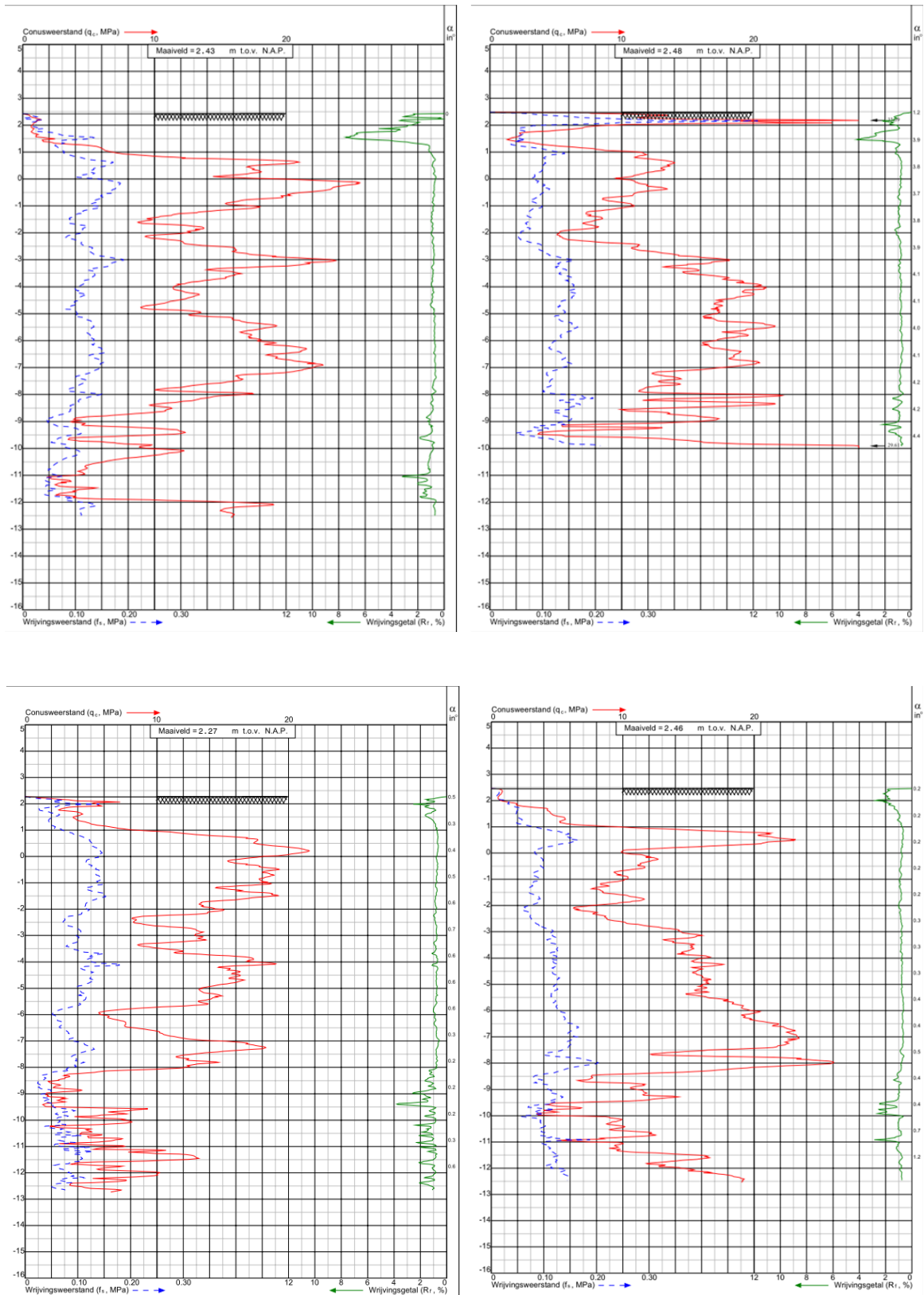
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 4 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.17 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.6 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.17 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.6 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv +2,6	+1,0	zand, matig humeus met Veen reste	var.	var.	
+1,0	-15	zand, matig	15	1	Holoceen/Plei stoeen

Bevindingen

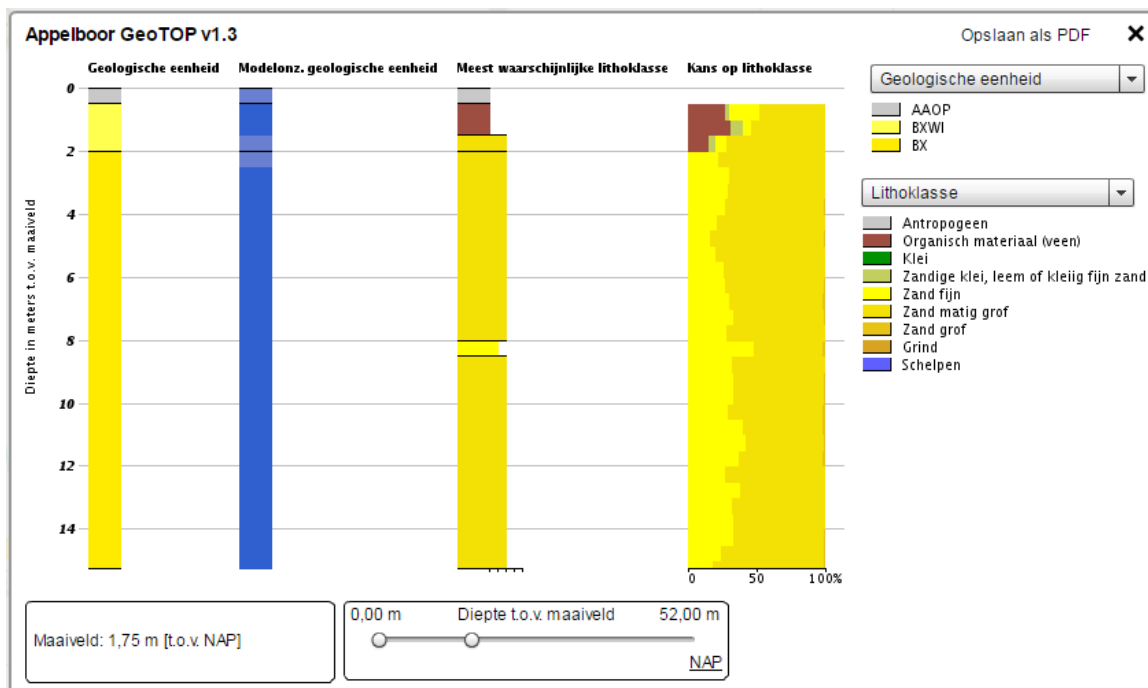
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is in de toplaag hoog. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 2 m - mv) bestaat uit los gepakt zand met humeuze resten. De laag is niet zettingsgevoelig, maar wel gevoeliger voor zetting door trillingen. In Boring DKM004 is een veenlaag van 0,5 m aangetroffen op 2 m - mv. De aanwezigheid van deze laag is opvallend, deze is niet waargenomen in de naastgelegen sondering of in andere sonderingen. Mogelijkerwijs duidt dit op een niet geheel goed uitgevoerde bodemverbetering?
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig.
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.18 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Zuidwending 189 te Veendam



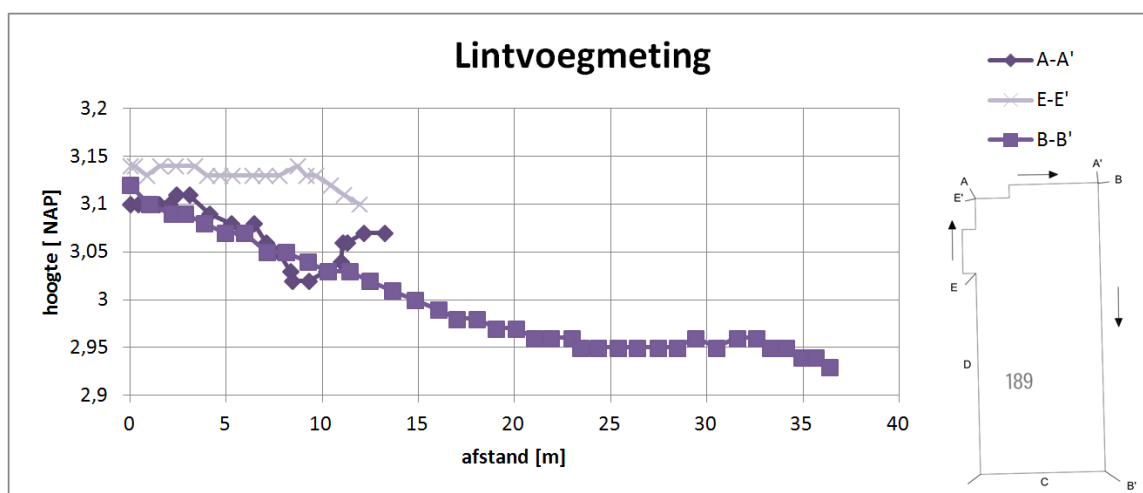
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.18 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as B-B' een scheefstand waargenomen van circa 1:160.

Afbeelding 4.19 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. Wat wel opvalt is dat in boring DKM004 een dikke Veenlaag is aangetroffen. Indien deze veenlaag slechts lokaal aanwezig is en niet onder de funderingsstroken is verwijderd kan deze aanzienlijke verschilzettingen introduceren.

4.2.11 Onderzoek 7

Geotechnisch grondonderzoek

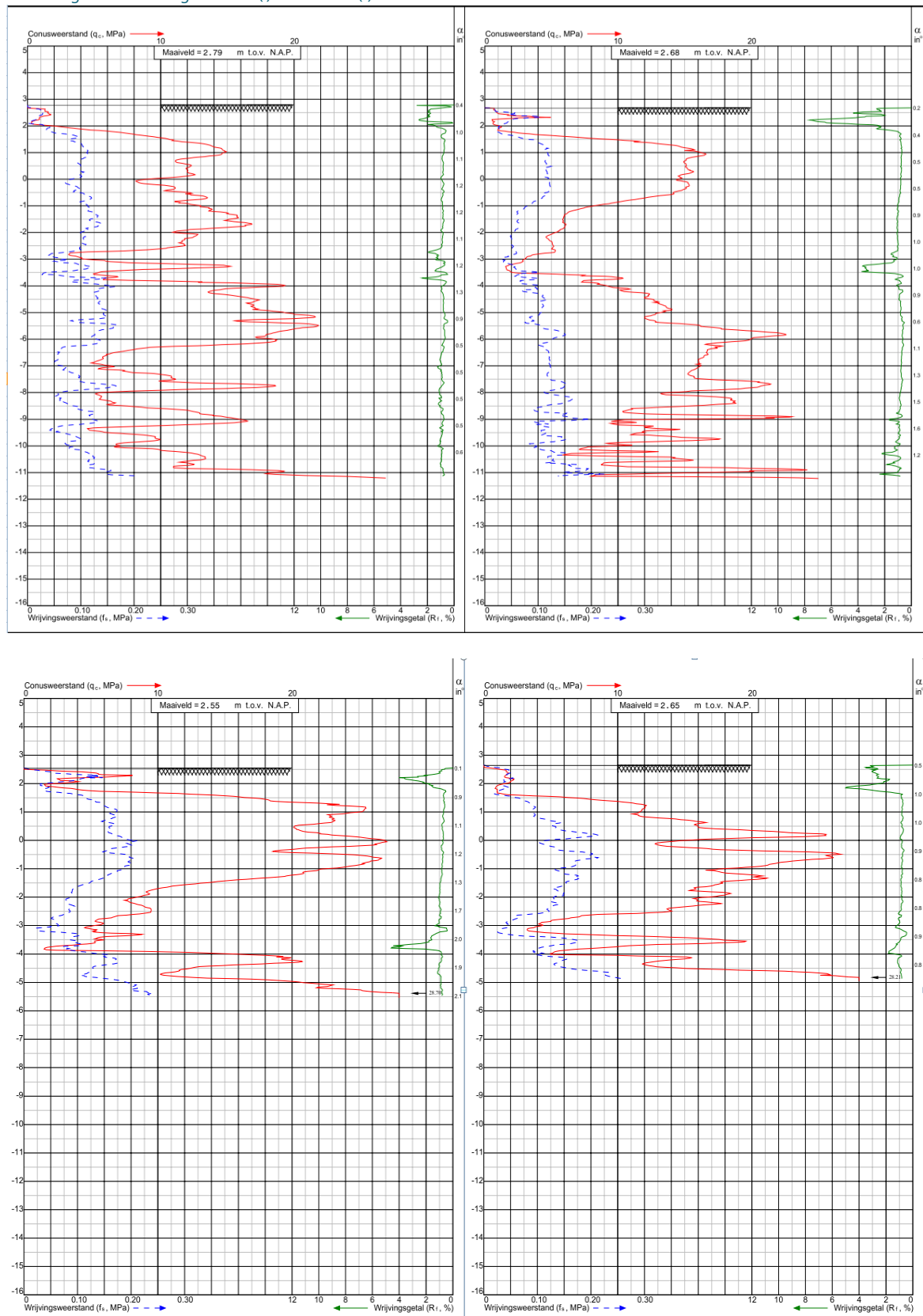
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 4 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.20 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.7 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Abbeelding 4.20 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.7 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	Ouderdom [-]
mv +2,6	+1,8	zand, matig humeus	1	3	Holoceen
+1,8	-15	zand, matig	10	1	Holoceen/Plei stoeen

Bevindingen

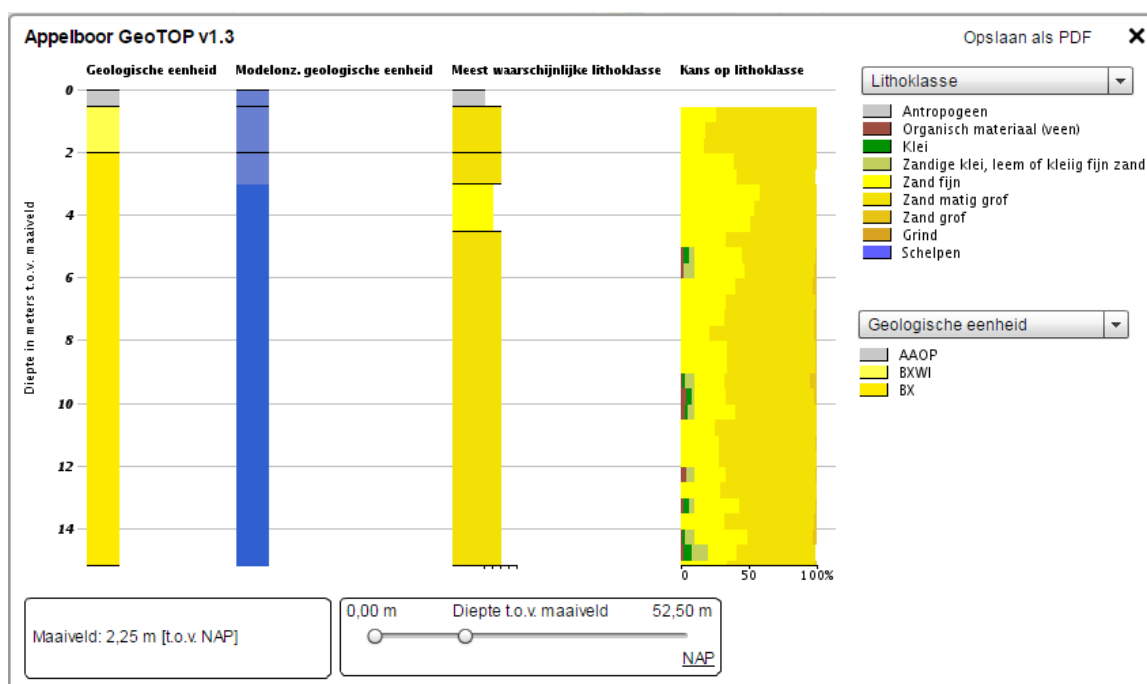
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is hoog. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit los gepakt zand met humeuse resten. De laag is niet zettingsgevoelig, maar wel gevoeliger voor zetting door trillingen;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig.
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.21 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Dorpsstraat 186 te Kiel-Windeweer



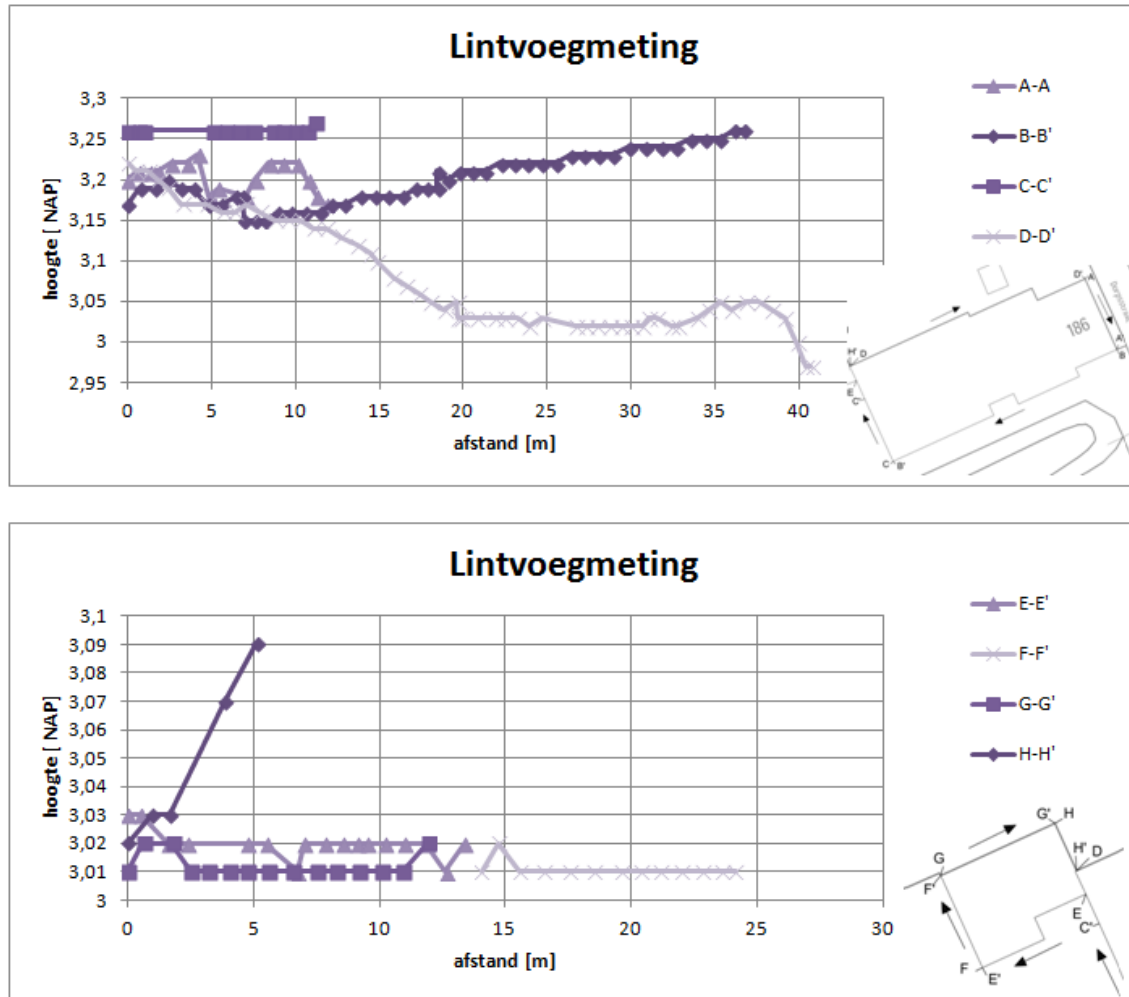
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.21 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as D-D' een scheefstand waargenomen van circa 1:250;
2. er is over as B-B' een scheefstand waargenomen van circa 1:105.

Afbeelding 4.22 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. Wel kan een scheefstand worden waargenomen waarbij de oostzijde van de schuur meer zakt dan de westzijde. De scheefstand kan niet worden verklaard aan de hand van afwijkende bodemgesteldheid in een andere zettingsgevoeligheid in de sonderingen en boringen.

4.2.12 Onderzoek 8

Geotechnisch grondonderzoek

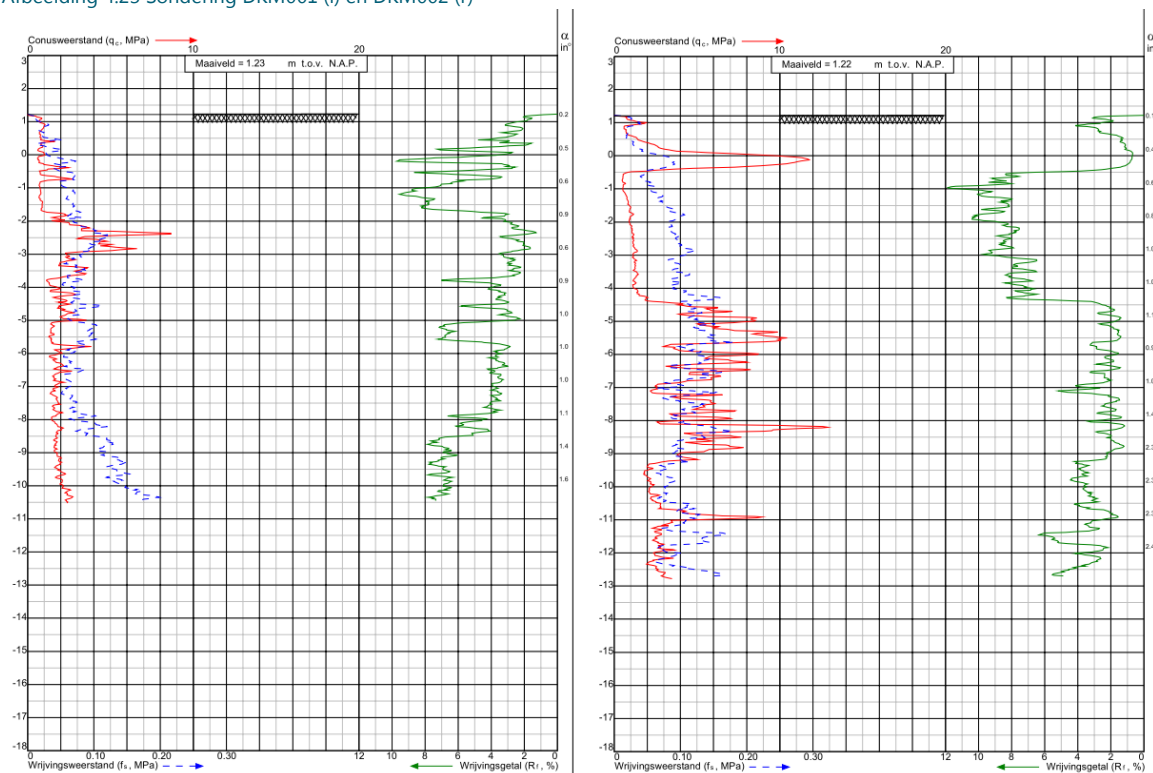
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 16 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.23 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.8 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.23 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.8 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv +1,2	-0,8	Toplaag: Zand, sterk kleilig	0,8	4	Holoceen
-0,5	-4,0	Klei, overgeconsolideerd	1,0	8	Pleistoceen
-4,0	-15	Klei, overgeconsolideerd, sterk zandig	2,	4	Pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

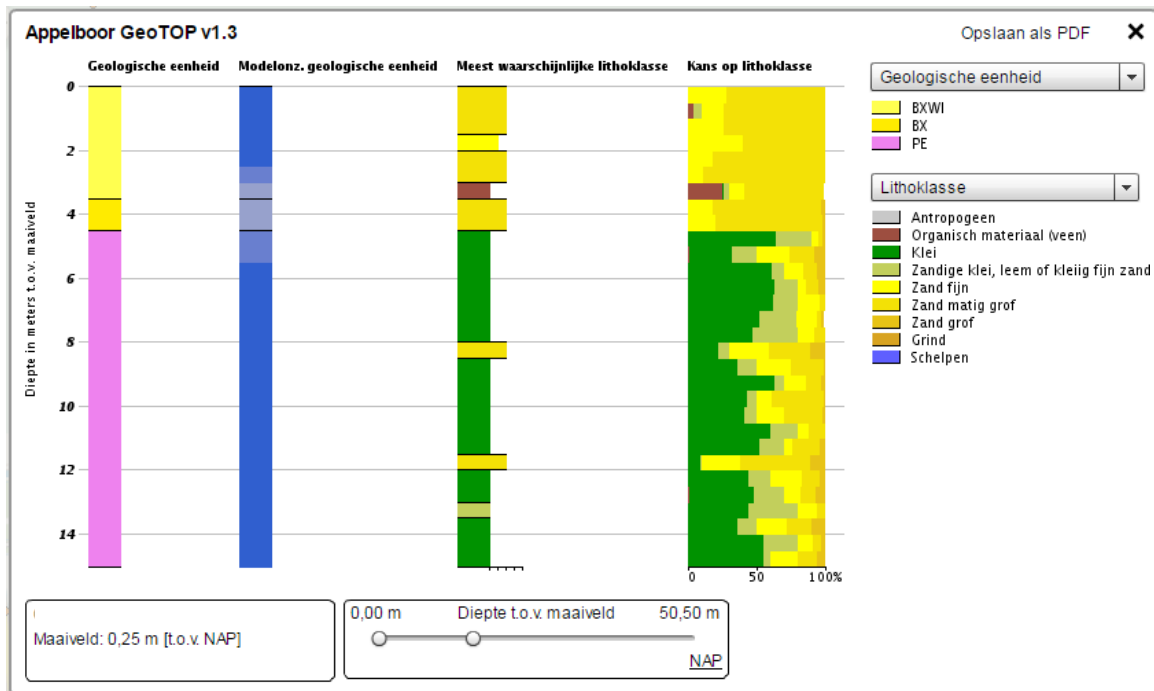
- de toplaag (tot circa 4 m - mv) bestaat uit zand met kleilagen. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;

- onder de toplaag bevindt zich een laag van overgeconsolideerde Klei. Het is opvallend dat de dikte van de laag sterk verschilt tussen de twee sonderingen. Bij DKM002 is een schone overgeconsolideerde Kleilaag van circa 4 m aangetroffen, terwijl deze bij DKM001 aanzienlijk minder dik is. De Zandige kleilaag die onder de kleilaag aanwezig is varieert ook sterk. Bij DKM002 is dit, op basis van de conusweerstand, eerder een zandige kleilaag;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.24 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Vogelzangsterweg 11 te Scheemda



Bevindingen

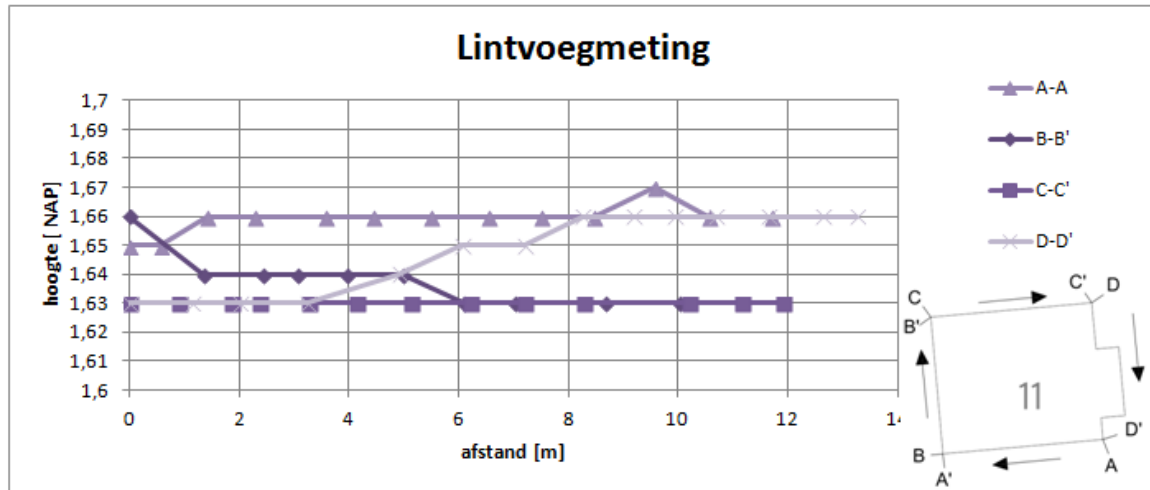
Het GeoTOP model komt niet geheel overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.24 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen niet overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid. Vooral over de eerste 5 m van het pakket is aanzienlijk meer klei aangetroffen.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is geen scheefstand waargenomen;
2. er zijn geen grote afwijkingen >1 cm waargenomen in de lintvoegmeting.

Afbeelding 4.25 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

De gelaagdheid komt niet geheel overeen met de geologische eenheid en meest waarschijnlijke Lithoklasse maar de zettingsgevoeligheid blijft onveranderd.

4.2.13 Onderzoek 9

Geotechnisch grondonderzoek

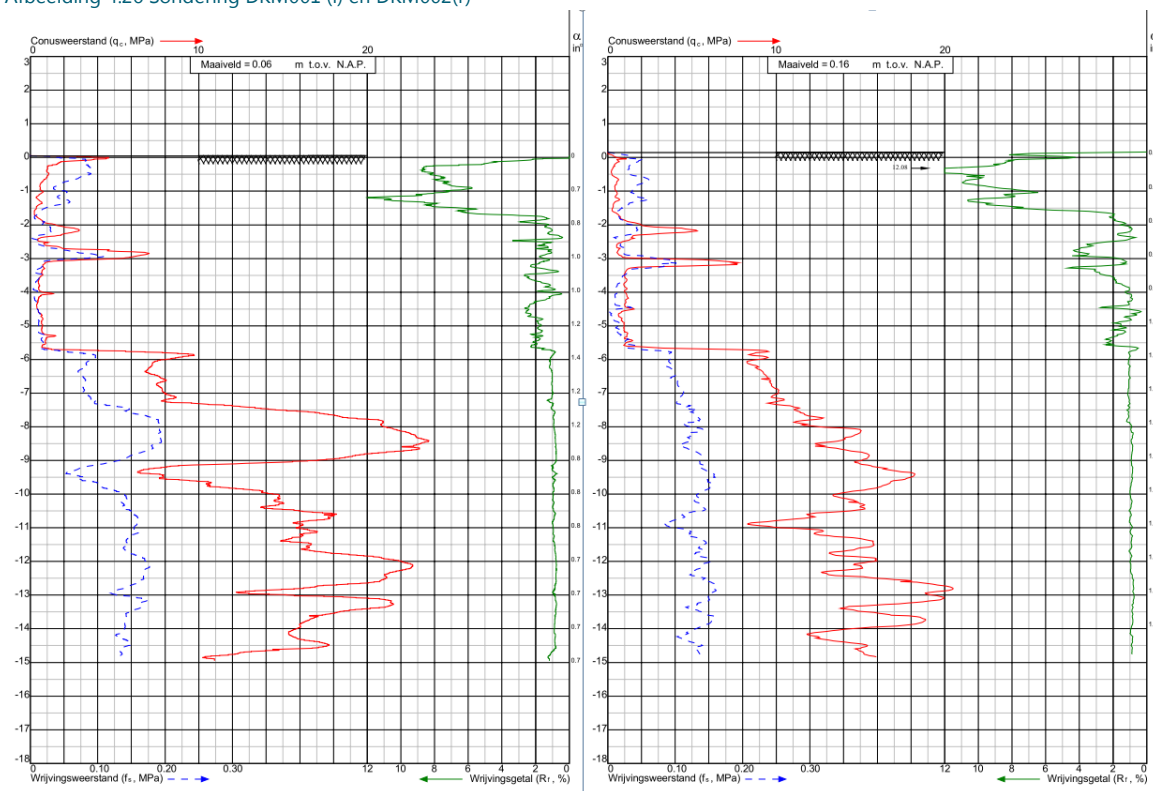
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 20 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.26 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.9 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.26 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.9 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv +0,1	-1,8	Toplaag, Veen	0,5	7	Holoceen
-1,8	-5,5	Leem, matig zandig	0,7	1,8	Holoceen
-5,5	-15	Zand, matig	10	1	Holoceen

Bevindingen

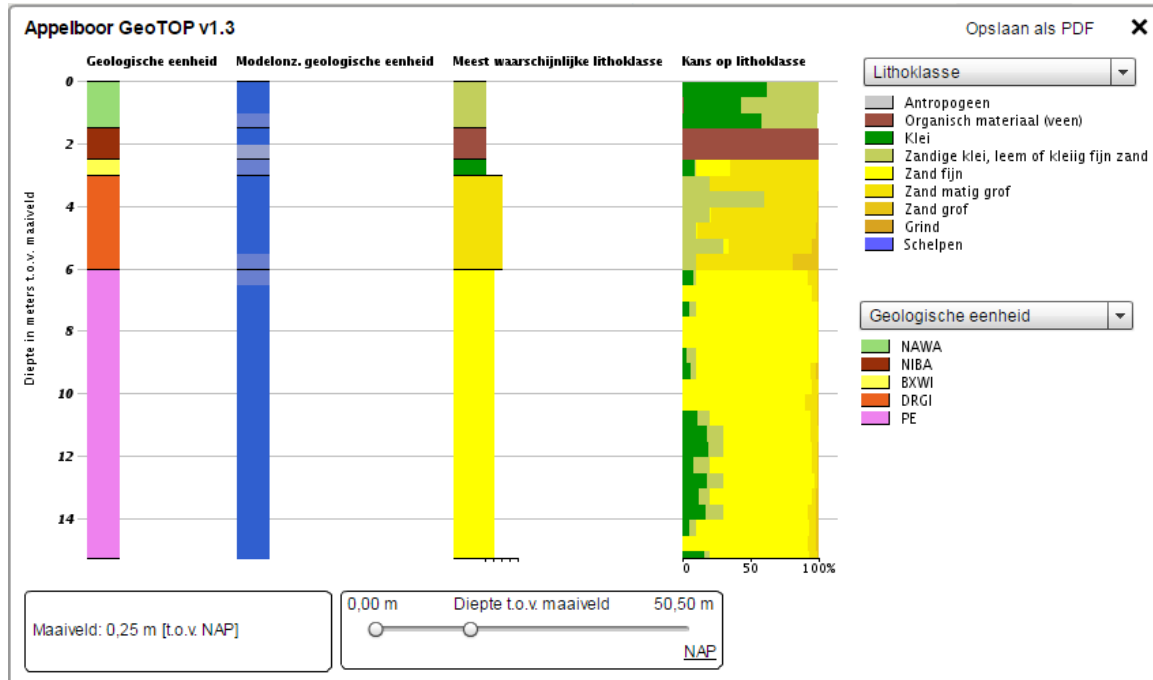
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit een veenlaag van circa 1,5 m. Het valt op dat de veenlaag bij de boringen direct naast het pand niet is waargenomen over de eerste meter maar pas 1 m -mv begint. De boringen zijn direct naast de gevel gemaakt, de sonderingen bevinden zich op een iets grotere afstand. In de boringen is een funderingslaag aangetroffen bestaande puin houdend zand. Deze laag zelf is niet zettingsgevoelig maar daar onder zit nog wel een deel van de zettingsgevoelige veenlaag;
- onder de toplaag bevindt zich een kleilaag met een dikte van circa 3 m. De bij de overgang van de toplaag naar de kleilaag zijn nog wat zandlagen aangetroffen met een beperkte dikte. De kleilaag kan worden beschouwd als een zettingsgevoelige laag. Vanaf NAP - 5,5 m is een goed gepakte zandlaag aangetroffen;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.27 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Hoendiep Oostzijde 53 te Noordhorn



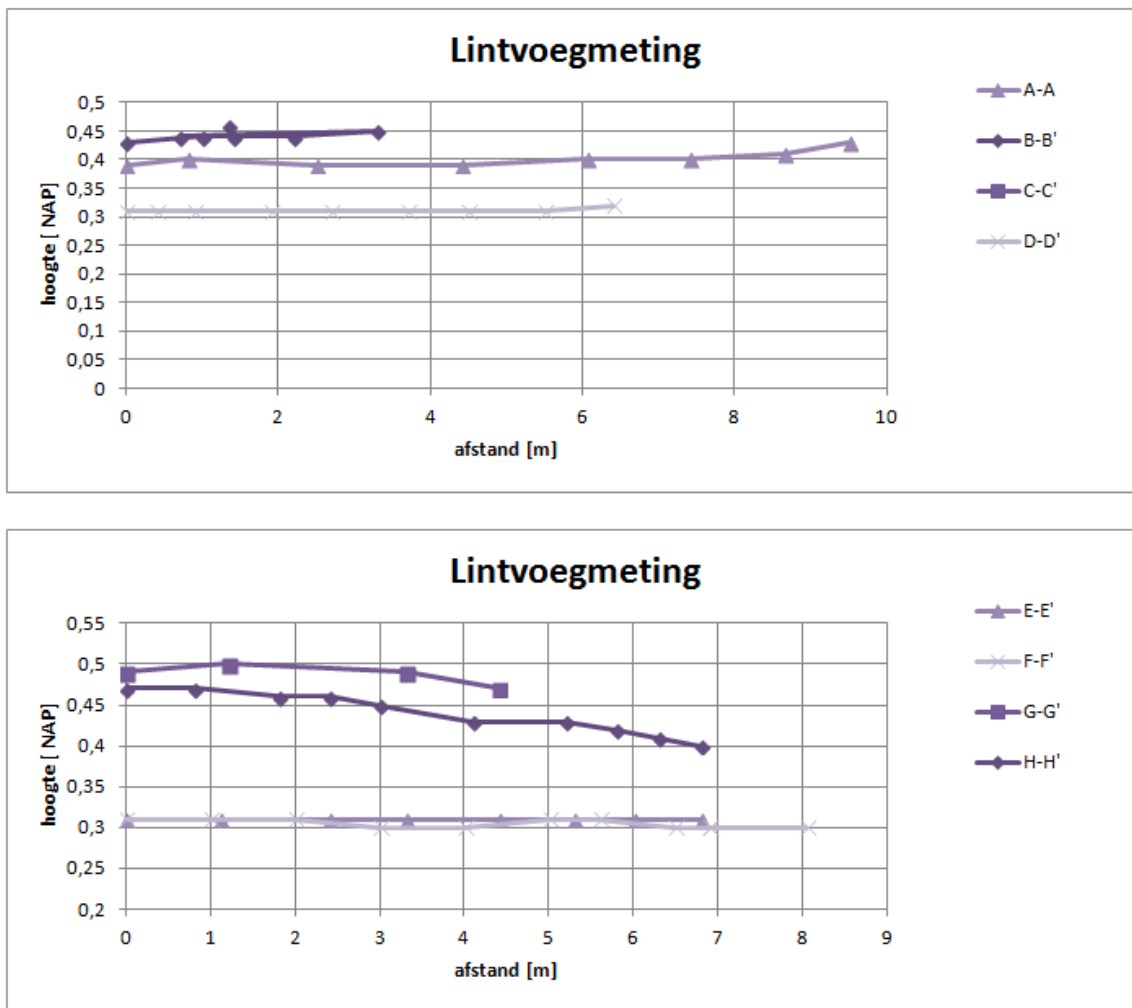
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.27 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as H-H'1 een scheefstand waargenomen van circa 1:100.

Afbeelding 4.32 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.14 Onderzoek 10

Geotechnisch grondonderzoek

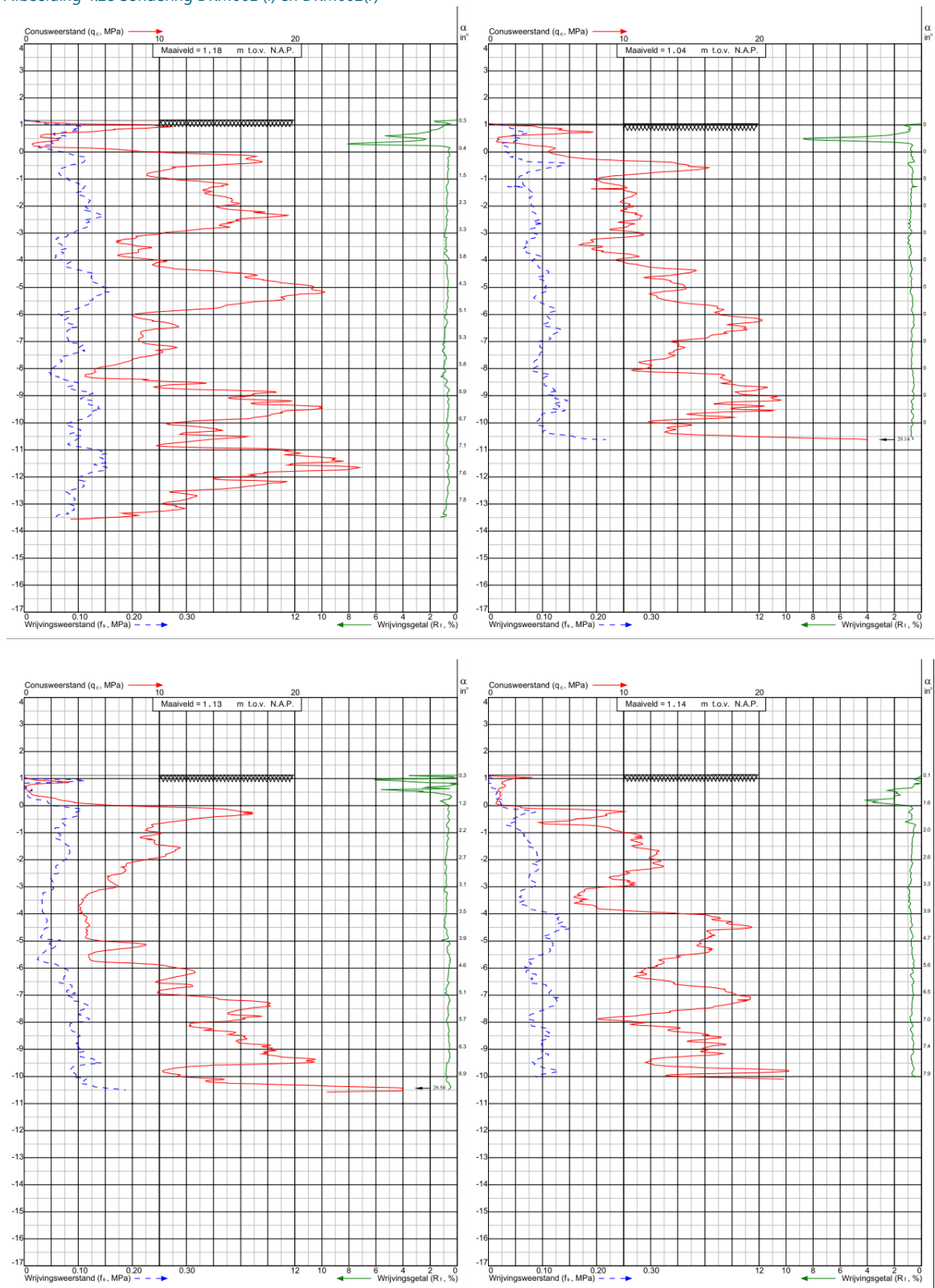
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 4 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.28 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.10 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Abbeelding 4.28 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.10 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv +1,1	+0,1	Zand, matig humeus	1	3	Holoceen
-6,0 a -8,0	-15	Zand, matig	10	1	Holoceen/Pleistoceen

Bevindingen

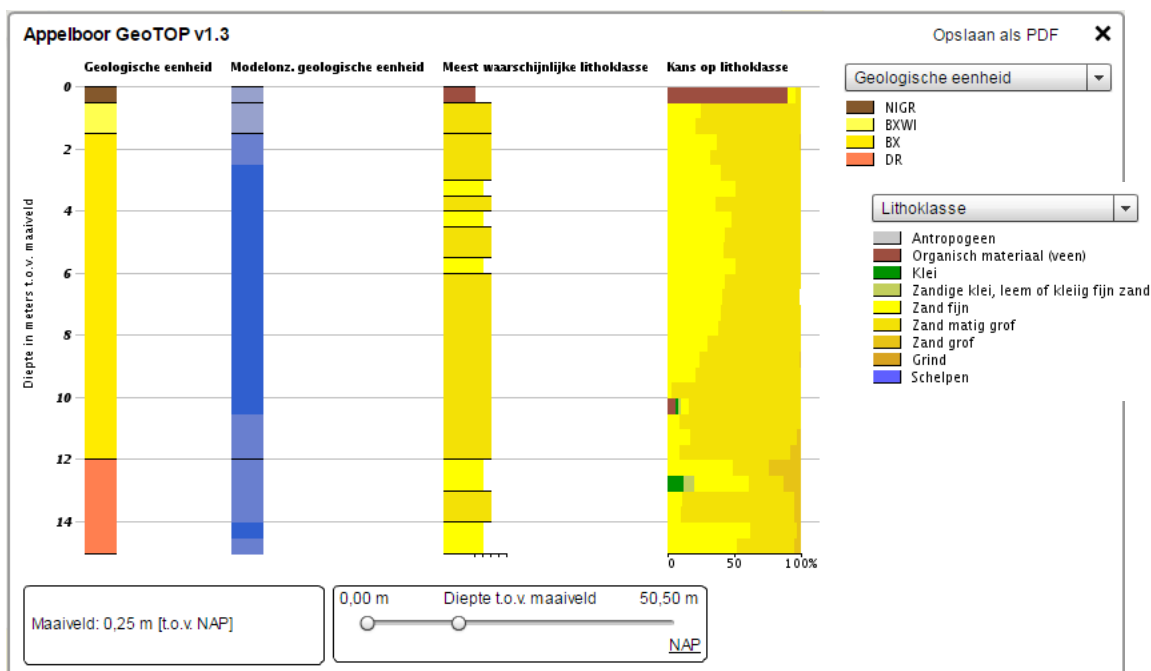
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is hoog. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit los gepakt zand met humeuze resten. De laag is niet zettingsgevoelig, maar wel gevoeliger voor zetting door trillingen.
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig.
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.29 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Meedenerveen 1 te Meeden



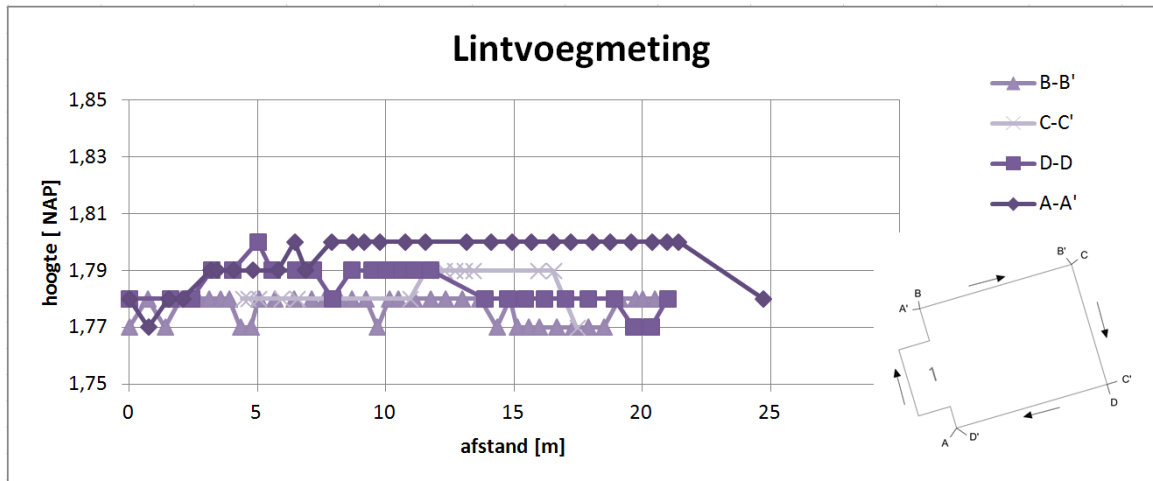
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.29 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er zijn geen scheefstanden waargenomen.

Afbeelding 4.30 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.15 Onderzoek 11

Geotechnisch grondonderzoek

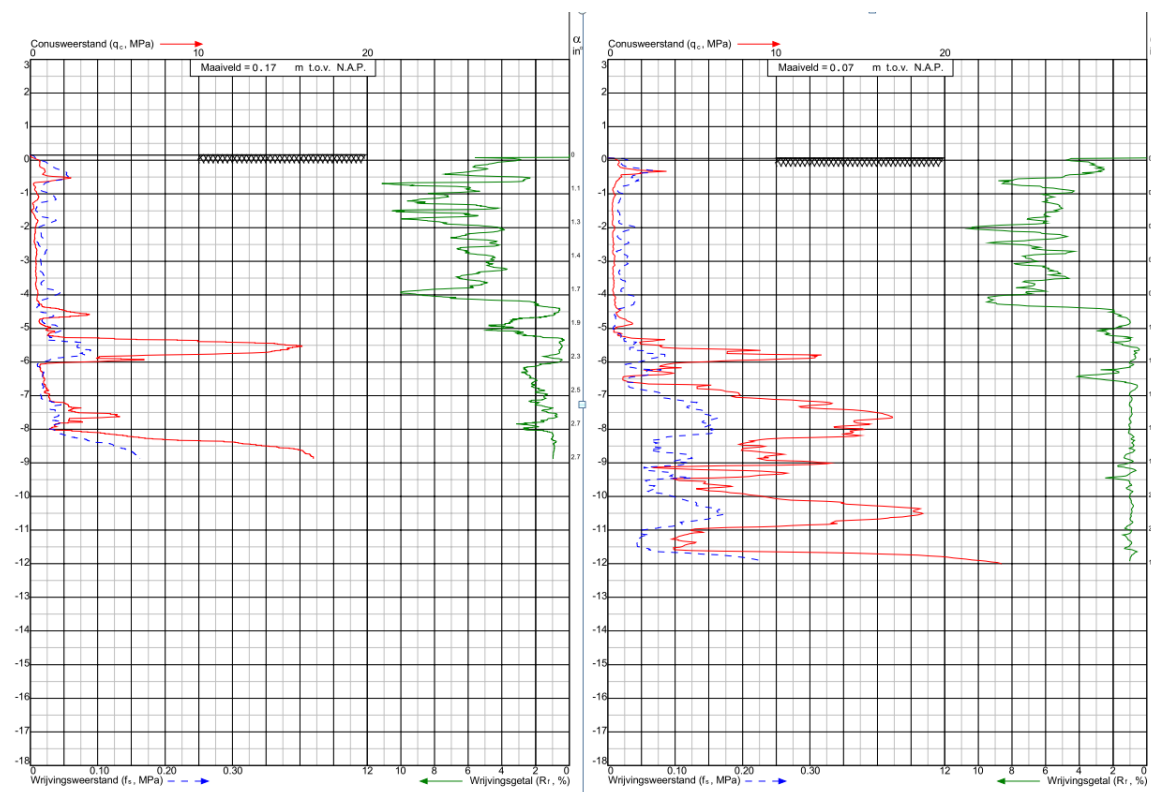
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.31 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.11 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.31 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.11 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv 0,2	-3,0 a -3,8	Toplaag: Klei, Veen houdend	0,4	6	
-3,0 a -3,8	-4,5 a -5,0	Veen	0,5	8	Holoceen
-4,5 a -5,0	- > -15	Zand, met kleilagen	8	1,0	Pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip zeer hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Alleen de toplaag is gevoelig voor zettingen.

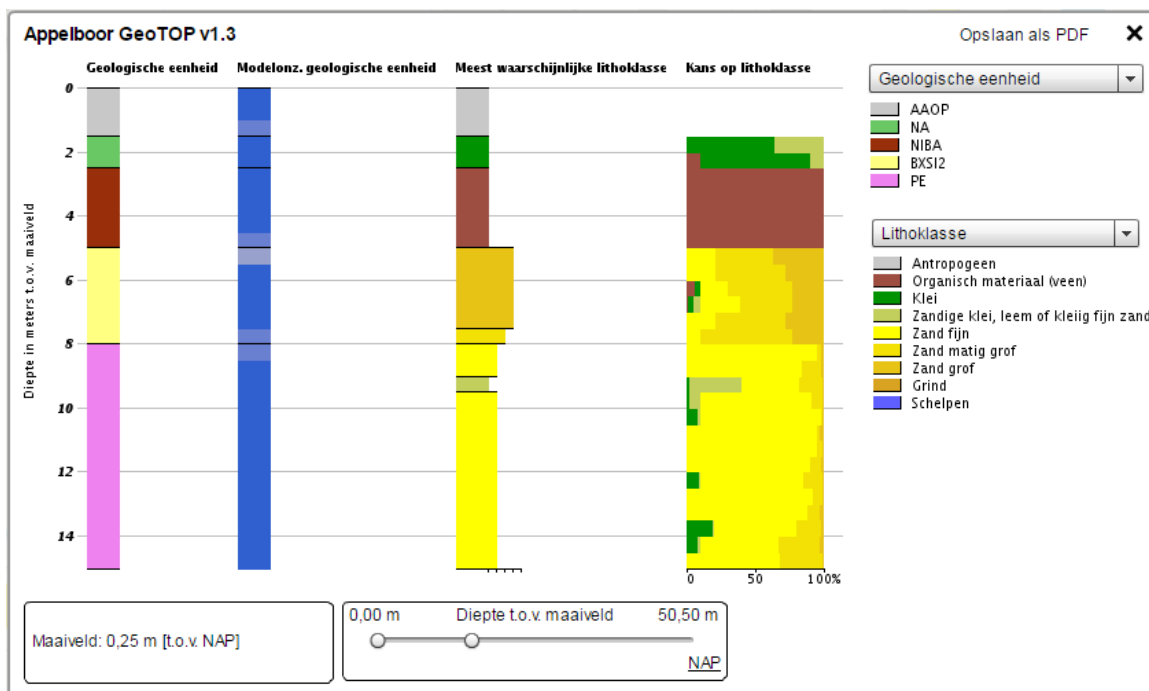
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 5 m - mv) bestaat uit siltige Klei met dunne Veen lagen. Er is geen duidelijke draagkrachtige funderingslaag aangetroffen. De toplaag is een relatief dikke laag waarbij geen duidelijke laagscheidingen zijn waargenomen. Tussen de sonderingen en boringen zijn geen noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van circa 2,0 m sterk schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Onder de schone zandlaag is sterk zandige kleilaag van circa 2 m waargenomen die overgaat in een kleihoudende zandlaag. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.32 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Oude haven 17 te Niezijl



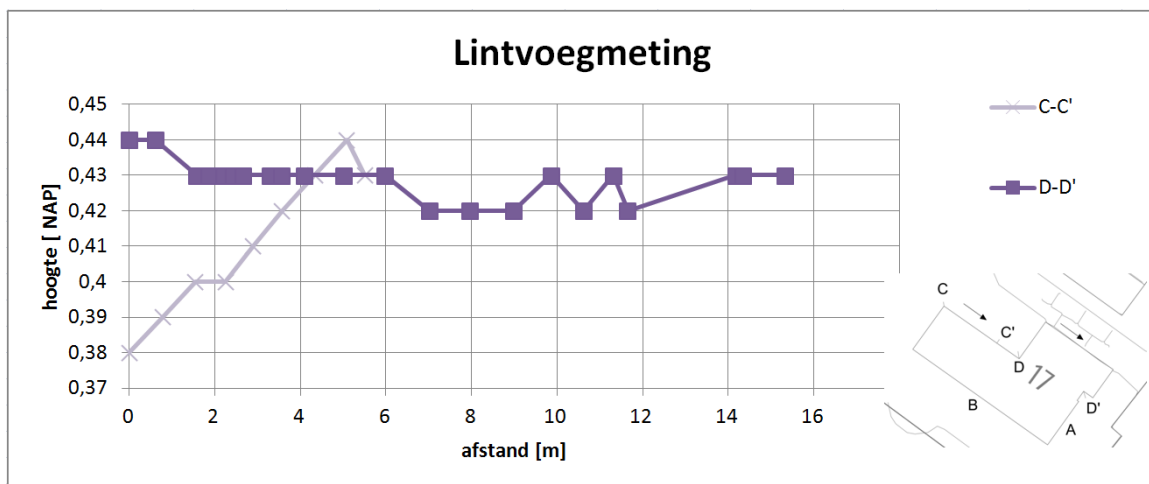
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.32 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as C-C' een scheefstand waargenomen van 1:100;
2. over as A-A' en B-B' is geen lintvoegmeting uitgevoerd vanwege een gestuukte muur.

Afbeelding 4.33 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.16 Onderzoek 12

Geotechnisch grondonderzoek

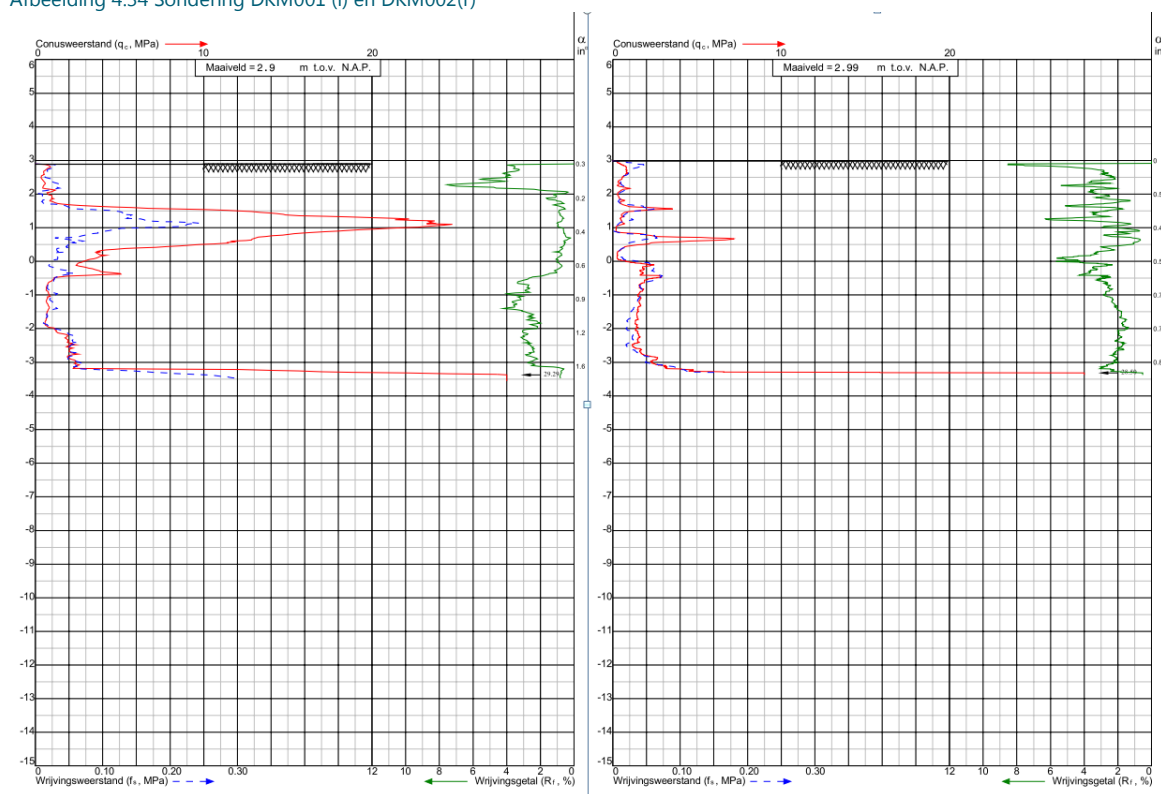
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 17 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 6 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.34 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.12 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.34 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.12 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv +2,9	- 3,0	Toplaag: Leem, sterk zandig, met humeuze resten.	1	2	Holoceen
-3,0 a -4,0	-> -15	Zand, matig met kleilagen	10	1	Pleistoceen

Bevindingen

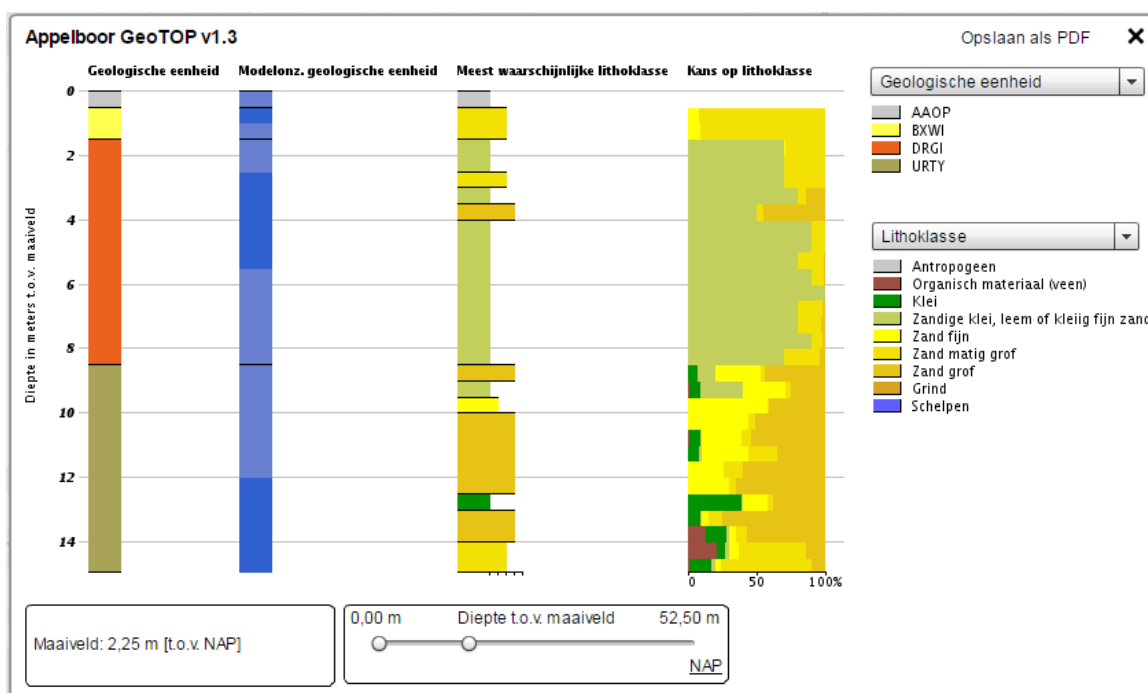
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 6 m - mv) bestaat uit sterk zandig leem met zandlagen. Lokaal kunnen wat dunne kleilagen worden verwacht. De laag is over het algemeen niet sterk zettingsgevoelig. Wel valt op dat in sondering DKM001 een schone zandlaag aangetroffen met een dikte van 2,5 m. Door dat de laag niet integraal aanwezig is kunnen zettingsverschillen ontstaan bij een fundering op staal;
- onder de toplaag bevindt zich vast gepakte zandlaag, de dikte is vanwege het staken van de sondering onbekend;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.35 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Klinckemalaan 7 te Zuidhorn



Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.35 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

Er is geen lintvoegmeting uitgevoerd.

Conclusie

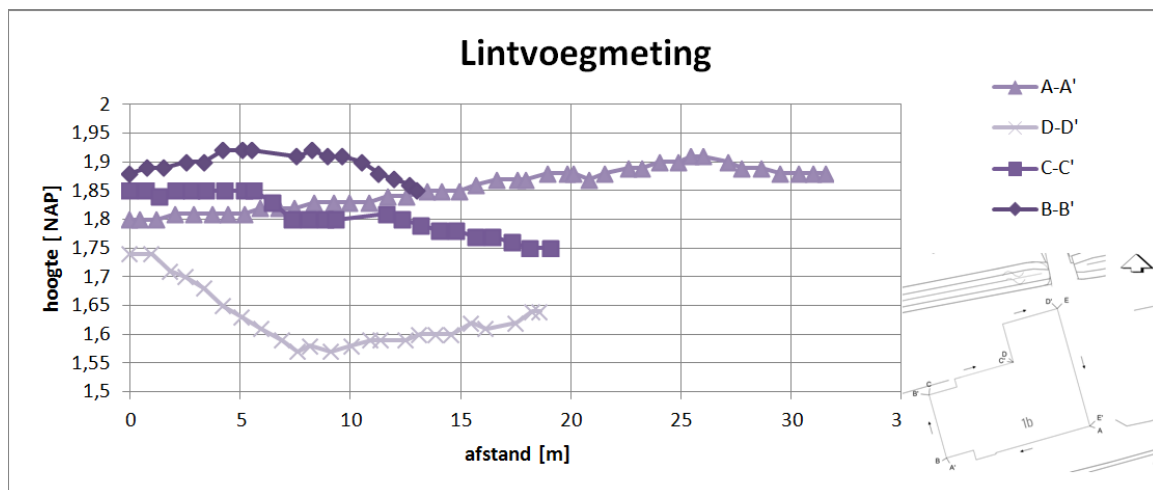
Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. Wel kan worden geconcludeerd dat er in de toplaag een afwijkende zandlaag aanwezig kan zijn. Door de heterogeniteit van de laag kunnen zettingsverschillen worden verwacht.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. over as A een scheefstand van circa 1:300 waargenomen. De richting van de scheefstand komt overeen met de afwijking in de grondgesteldheid waarbij aan de west zijde een dikkere funderingslaag is aangetroffen en daar dus minder zetting kan worden verwacht;
2. over as C een scheefstand van circa 1:200 waargenomen. De richting van de scheefstand komt overeen met as A en de grondgesteldheid waarbij aan de west zijde een dikkere funderingslaag is aangetroffen en daar dus minder zetting kan worden verwacht;
3. over as D is een grote rotatie waargenomen over de eerste 7 m in Noordelijke richting. De rotatie is circa 1:50 waarbij de kans op schade groot is.

Afbeelding 4.36 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. De zettingsgevoeligheid van de grond is naar verwachting groter dan hetgeen aangetroffen in het GeoTOP model, dit gaat ook gepaard met het rogeniteit van de toplaag. Aan de hand van het beschikbare grondonderzoek is een verklaarbare scheefstand van het pand waargenomen die kan resulteren in schade door ongelijkmatige zettingen.

4.2.18 Onderzoek 13

Geotechnisch grondonderzoek

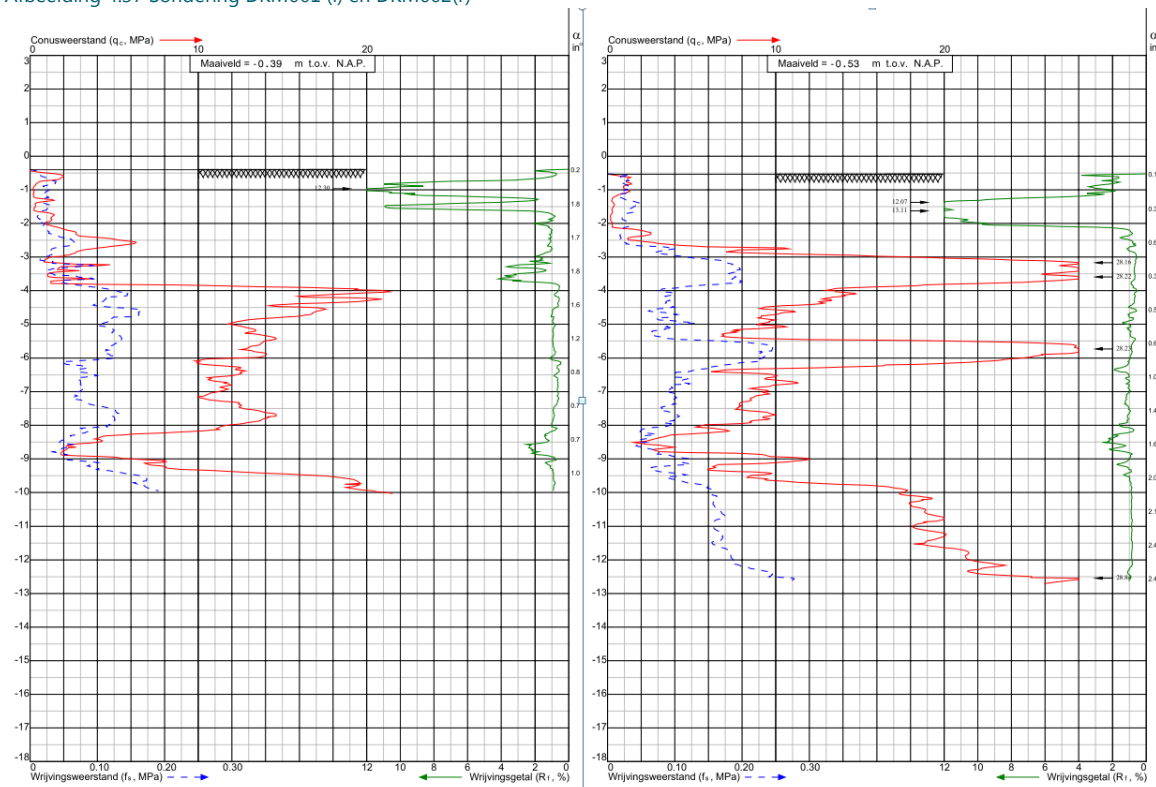
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.37 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.13 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.37 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.13 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv -0,4	-2,5 a -4,0	Toplaag, zand met veen lagen	1	2	Holoceen
-2,5 a -4,0	-> -15	Zand, matig met kleilagen	10	1	Pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is middelmatig. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

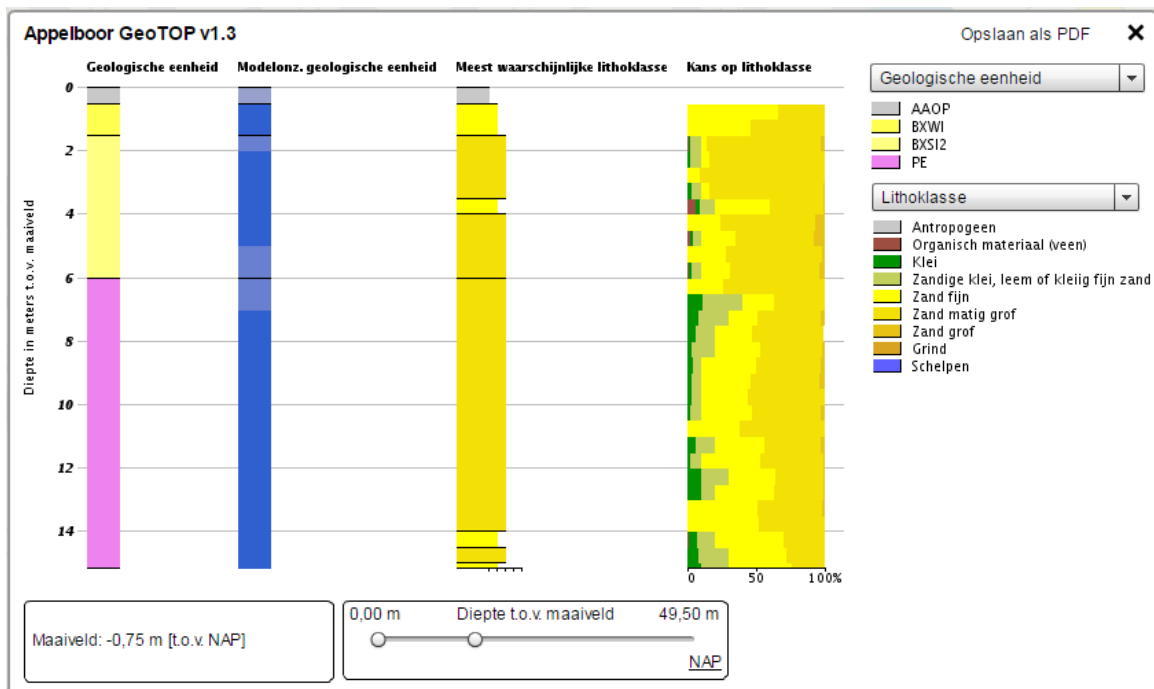
- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit los gepakt zand en Veenlagen. De laag is niet zettingsgevoelig, maar wel gevoeliger voor zetting door trillingen;

- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m matig gepakt zand. In de laag zijn kleilagen aangetroffen maar deze zijn niet zettingsgevoelig;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de bouwtekeningen is de beoordeling bijgesteld, door de paalfundering is geen ongelijkmatige zetting te verwachten.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.38 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Snip 143 te Groningen



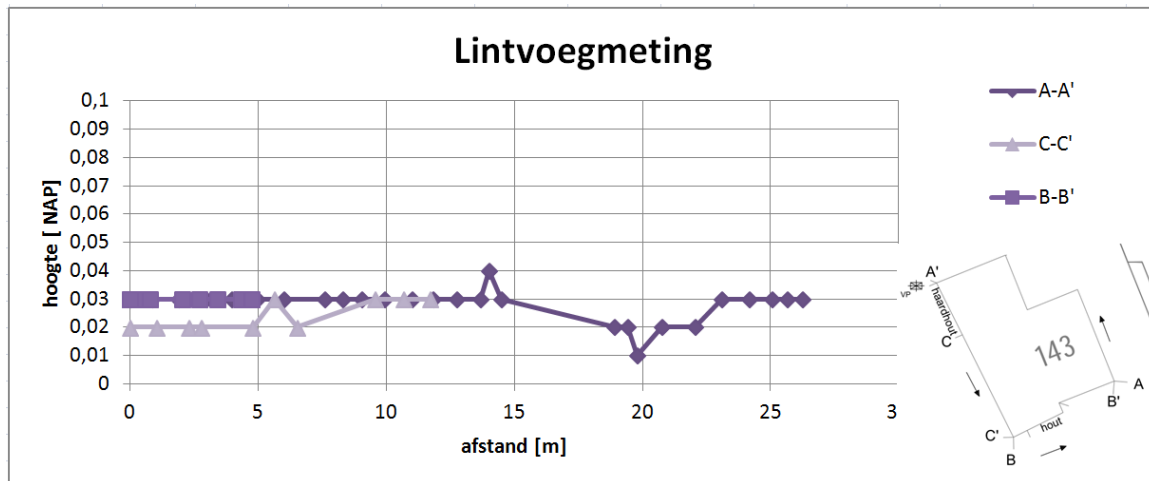
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.38 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er zijn geen scheefstanden waargenomen.

Abbeelding 4.39 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.19 Onderzoek 14

Geotechnisch grondonderzoek

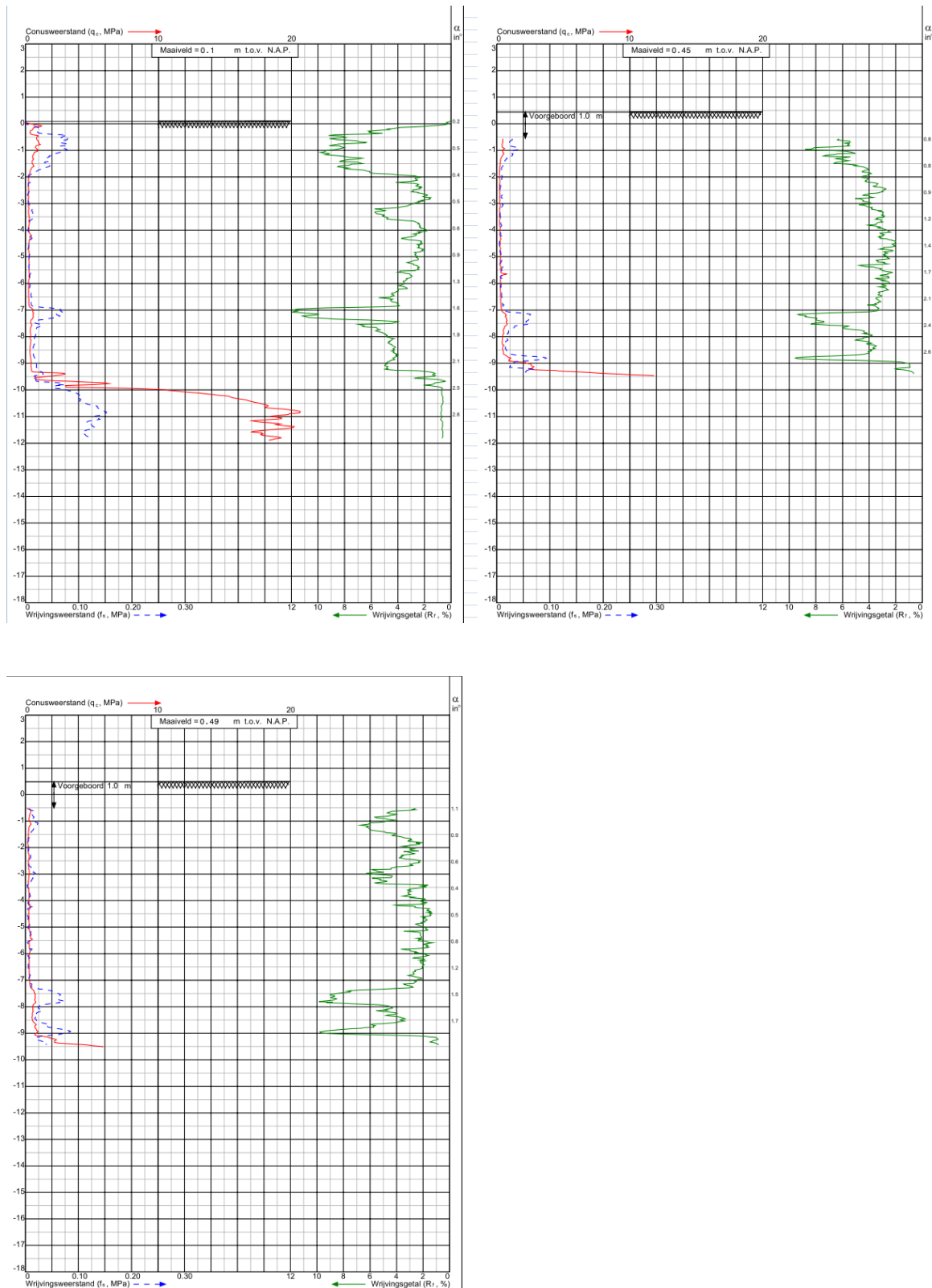
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 24 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.40 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.14 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.40 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.14 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv +0,5	-7,0 a -7,5	Toplaag: Klei, siltig	0,3	3	
-7,0 a -7,5	-9,0	Veen	0,4	6	Holoceen
-9,0	-> -12	Zand, matig	16	0,8	Holoceen / Pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip zeer hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Alleen de toplaag is gevoelig voor zettingen.

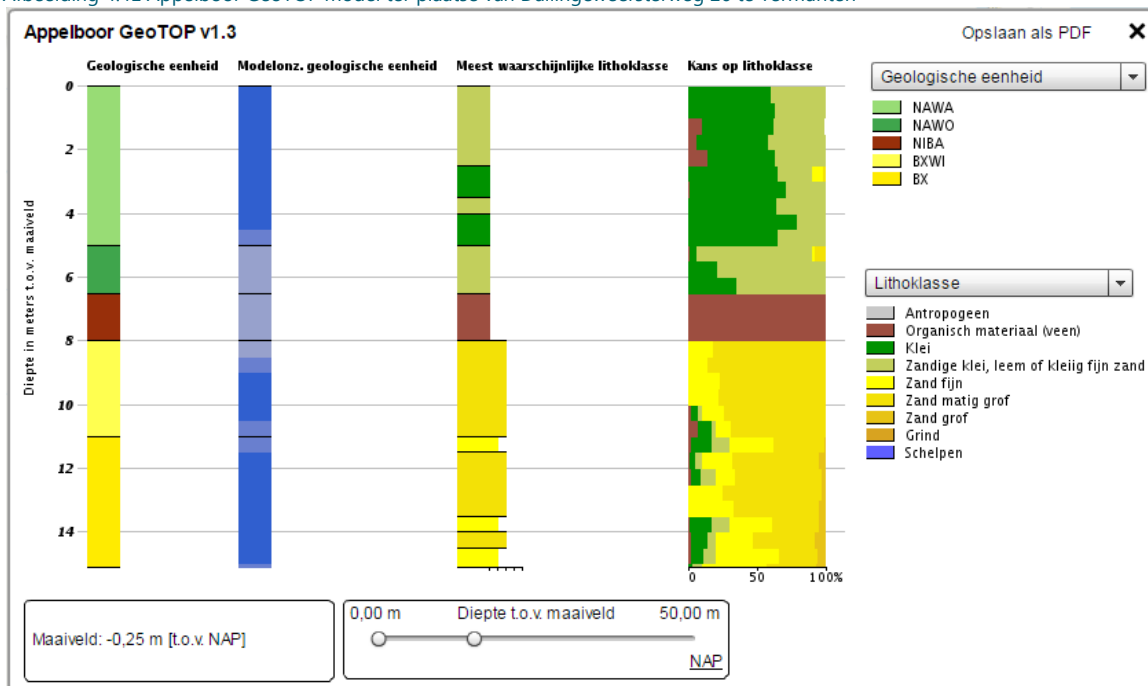
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 7 m - mv) bestaat uit matig tot zwak zandige klei. Er is geen duidelijke draagkrachtige funderingslaag aangetroffen. De toplaag is een relatief dikke laag waarbij geen duidelijke laagscheidingen zijn waargenomen. Tussen de sonderingen en boringen zijn geen noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd. Onder de kleilaag is een aanzienlijke veenlaag met een dikte van circa 2 m aangetroffen;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van matig gepakt schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.41 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Dallingeweersterweg 26 te Termunten



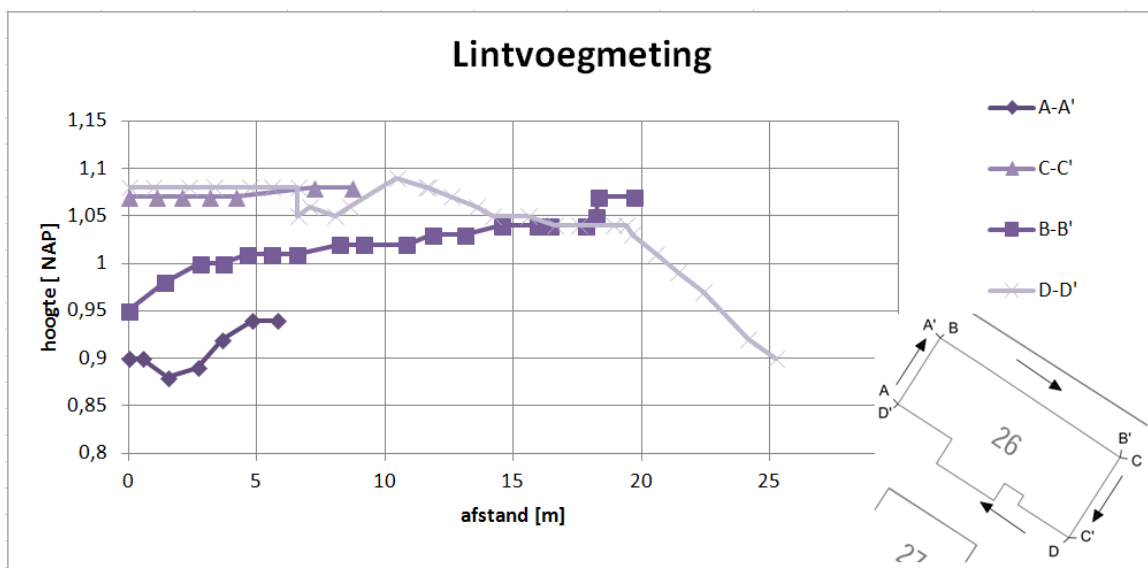
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.41 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. over as D-D' is een scheefstand van 1:160 waargenomen;
2. over as B-B' is een scheefstand van 1:160 waargenomen;
3. op basis van de lintvoegmeting kan worden geconcludeerd dat het pand in de noordwesthoek aanzienlijk is verzakt ten opzichte van de zuidoosthoek. Er is een verschilzetting waargenomen tussen hoek BA' en C'D van 12 cm.

Afbeelding 4.42 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. Er zijn aanzienlijke scheefstanden in de gevel waargenomen met de lintvoegmeting maar op basis van het grondonderzoek is de gelaagdheid van de bodem heterogeen en kan hier geen directe aanleiding aan worden gekoppeld.

4.2.20 Onderzoek 15

Geotechnisch grondonderzoek

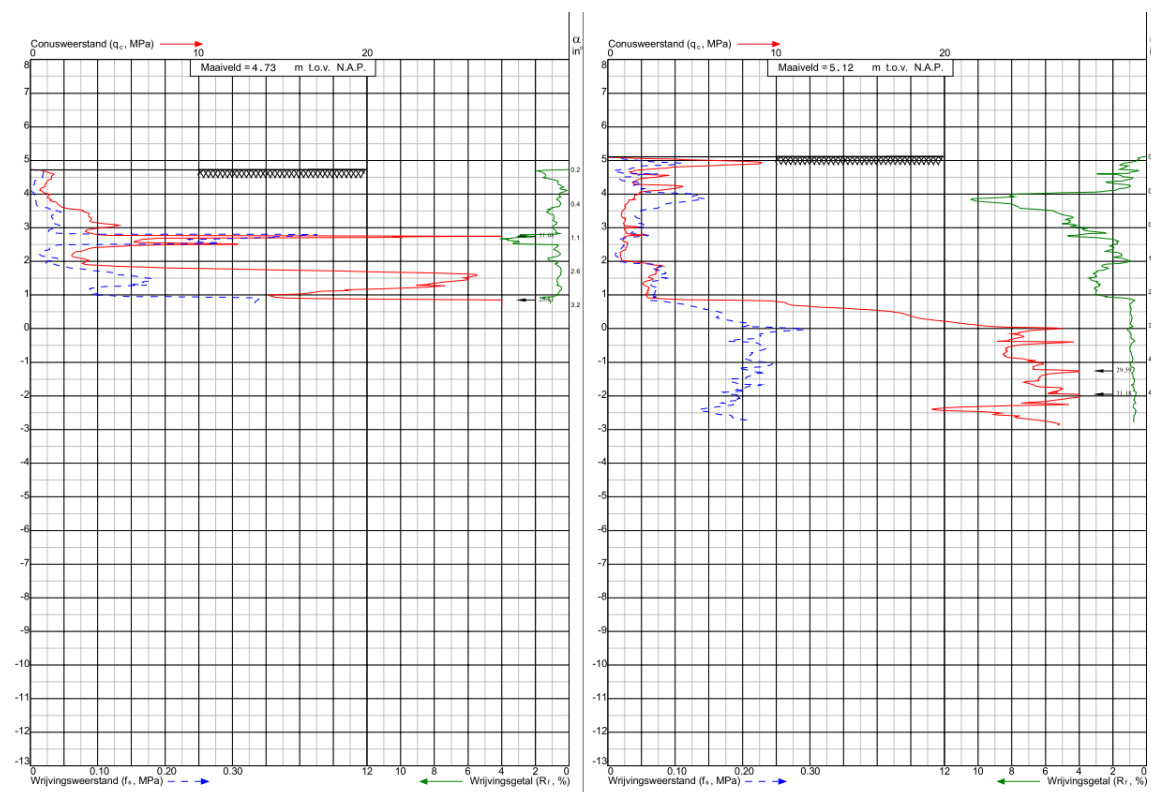
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 17 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 8 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m - maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.43 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.15 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.43 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.15 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv 5,0	1,0 a 3,0	Toplaag: Zand /Leem, sterk zandig	var.	2	Holoceen
1,0 a 3,0	-> -15	Zand, matig	20	1	Pleistoceen

Bevindingen

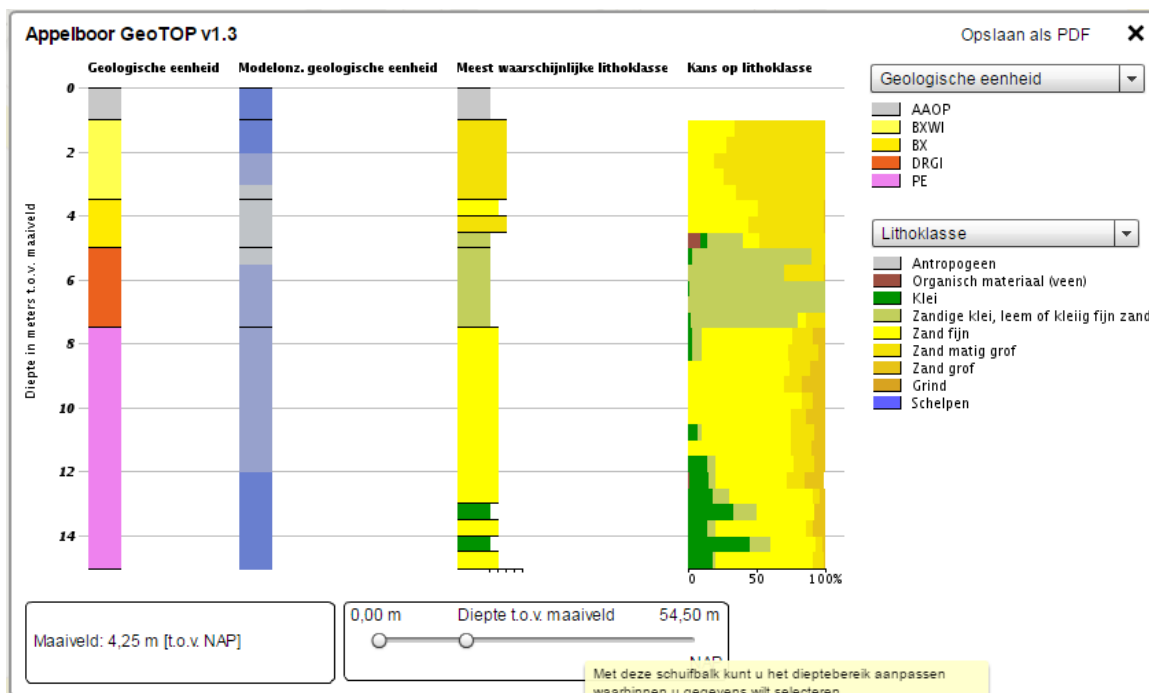
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is middelmatig. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 6 m - mv) bestaat uit Zand en leem en is niet overal integraal aanwezig. Aan de Oostzijde van de locatie is geen Leem aangetroffen en is in sondering DKM001 alleen zand aangetroffen, dit wordt bevestigd door de boringen. Aan de westzijde is tot NAP +1,0 m leem aangetroffen. De laag is over het algemeen niet zettingsgevoelig;
- onder de toplaag bevindt zich vast gepakte zandlaag, de dikte is vanwege het staken van de sondering onbekend;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.44 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Zuinigstraat 1 te Noordlaren



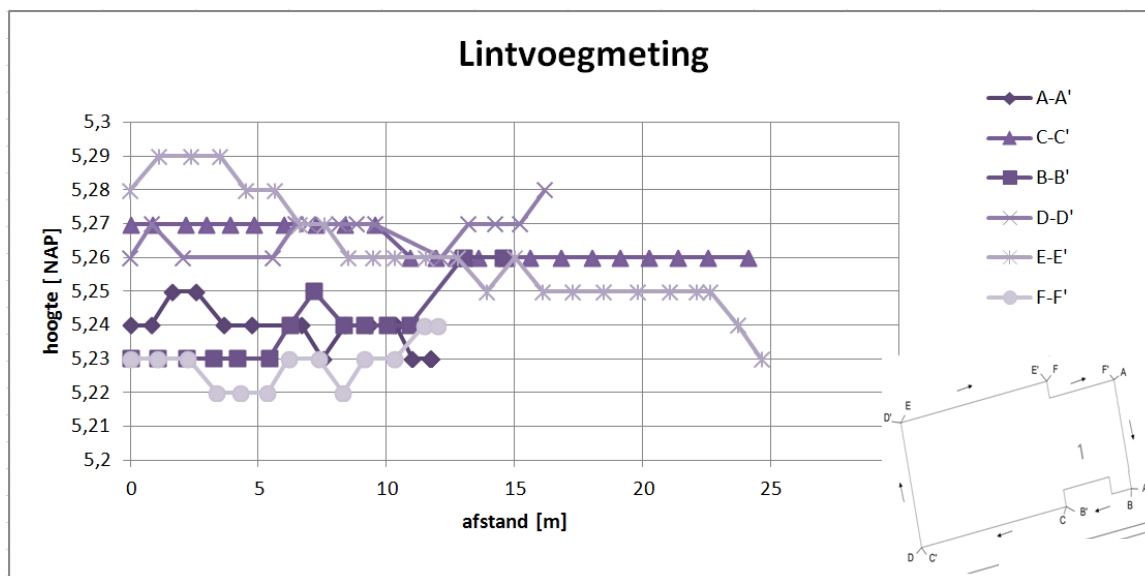
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.44 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as E-E' een scheefstand waargenomen van circa 1:400;
2. over de ander assen is een geen scheefstand waargenomen.

Afbeelding 4.45 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

De waargenomen scheefstand over as E-E' kan niet worden gelinkt aan de heterogeniteit van de toplaag. De grootste zetting treedt op aan de oostzijde, terwijl op basis van de sonderingen een grotere autonome zetting zou worden verwacht aan de westzijde.

4.2.21 Onderzoek 16

Geotechnisch grondonderzoek

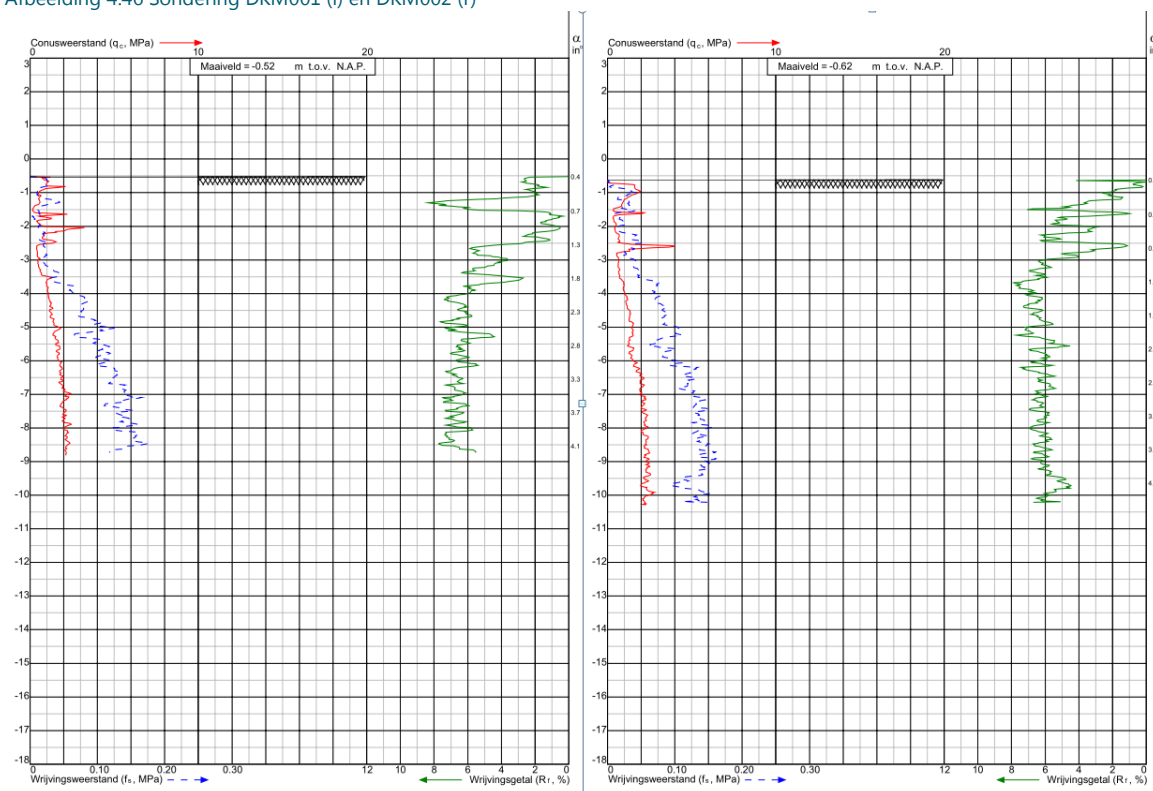
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.46 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.16 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.46 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.16 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv -0,55	-2,5	Toplaag: Klei, humeus en met zandlagen	1	3,5	Holoceen
-2,5	-> -10	Klei	1,75	6	Pleistoceen

Bevindingen

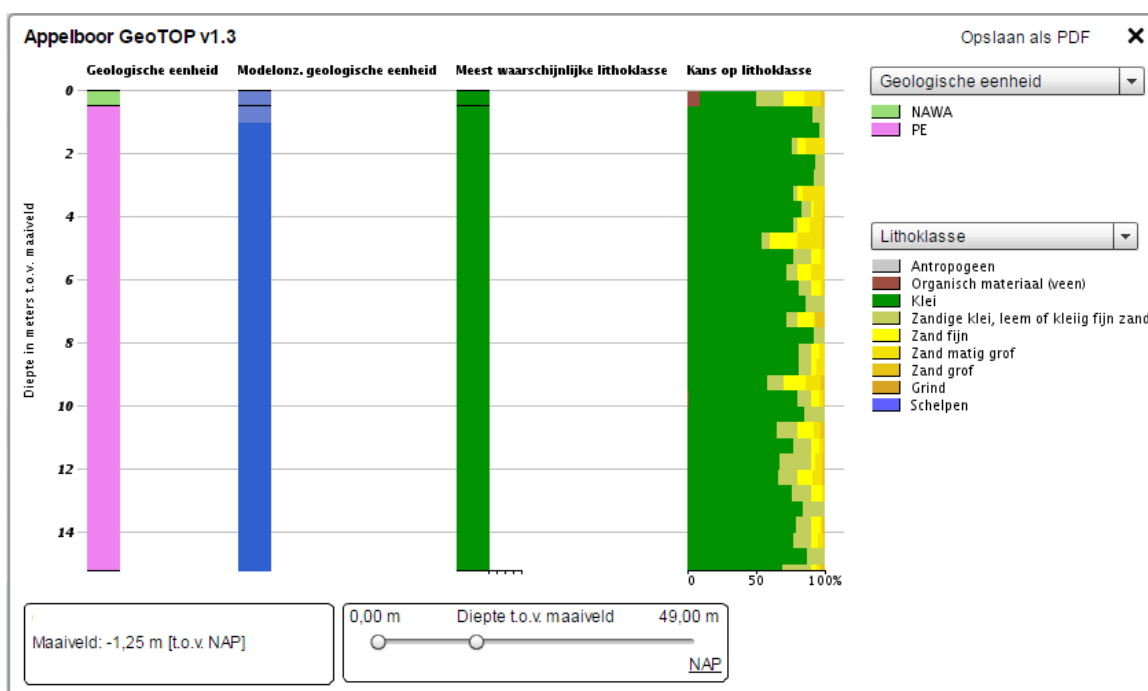
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot 2,0m - mv) bestaat uit een zandige zwak zandige klei met een veenlaag van circa 50 cm. De laag is gevoelig voor autonome zettingen;
- vanaf circa NAP -2,5 m is een overgeconsolideerde zandige Klei (mogelijk potklei) aangetroffen met conusweerstand van circa 1,5 MPa. Hierbij valt op dat het wrijvingsgetal relatief hoog is voor klei, dit duidt op een overgeconsolideerde Klei met een horizontale opspanning;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.47 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Kromme-Elleboog 21 te Finsterwolde



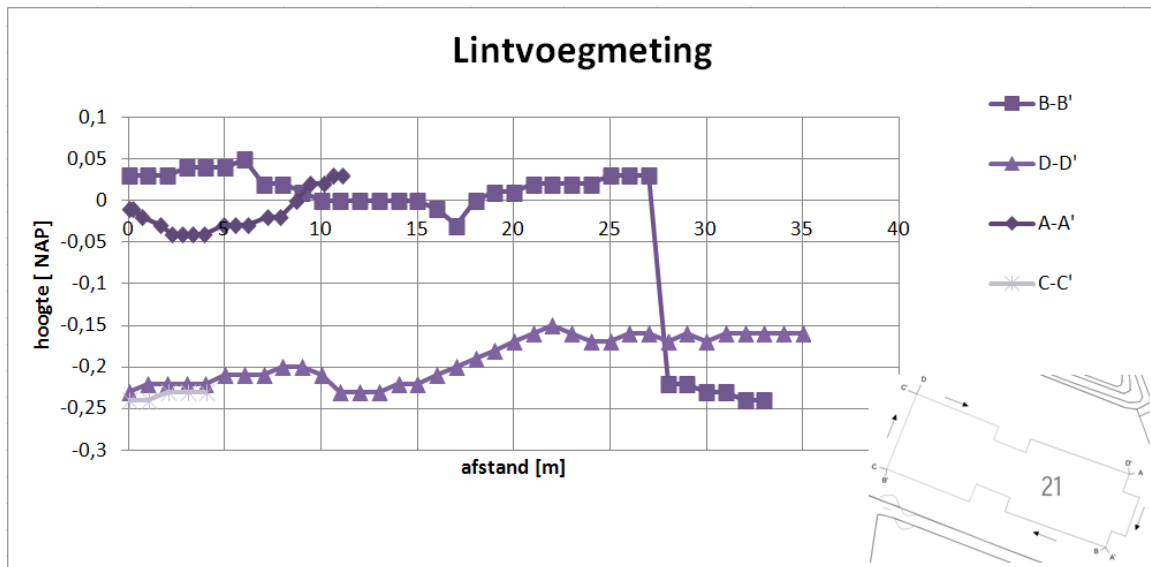
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.47 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen in de onderstaande tabel:

1. in het midden van as D-D' is een scheefstand waargenomen van circa 1:125;
2. over as A-A' is een scheefstand waargenomen van circa 1:125.

Afbeelding 4.48 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

De waargenomen scheefstanden kunnen niet eenduidig worden gekoppeld aan het grondonderzoek. Uit het grondonderzoek is een homogene gelaagdheid aangetroffen.

4.2.22 Onderzoek 17

Geotechnisch grondonderzoek

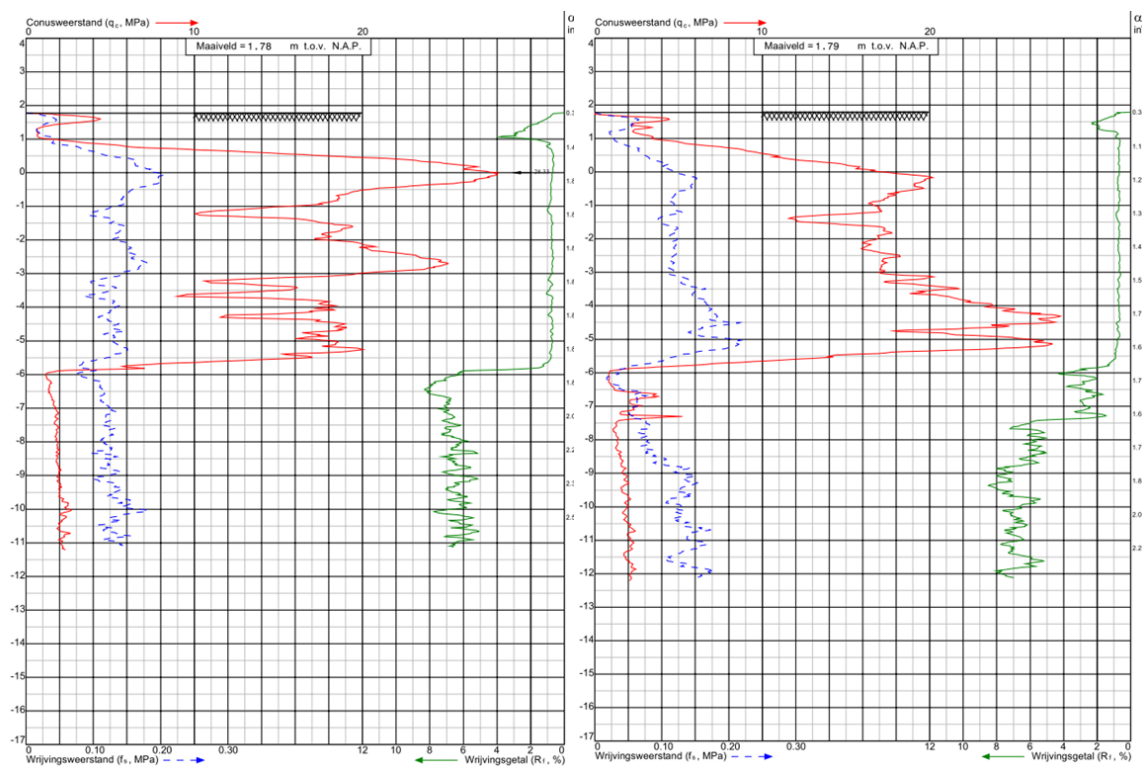
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 10 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 14 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.49 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.17 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.49 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.17 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv +1,8	+1,0	Zand, matig humeus	var.	var.	Holoceen
+1,0	-6,0	Zand, matig	15-20	1	Pleistoceen
-6,0	-> -11,0	Klei	2	6	Pleistoceen

Bevindingen

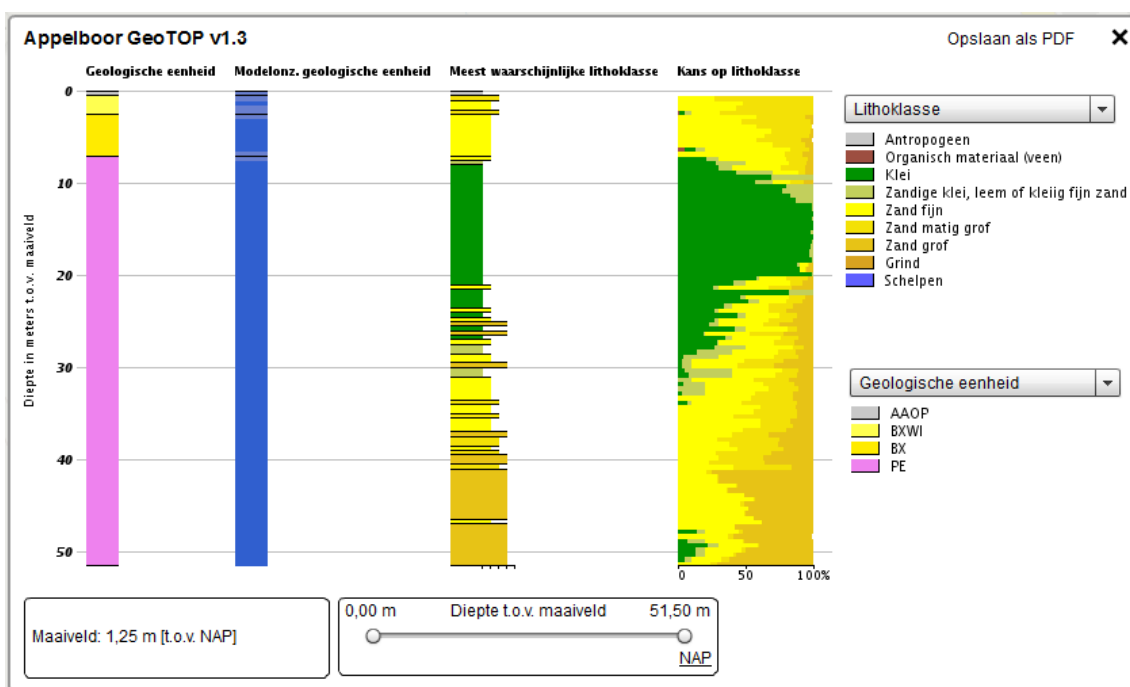
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is in de toplaag laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m + mv) bestaat uit los gepakt zand met humeuze resten. De laag is niet zettingsgevoelig en ook niet gevoelig voor zetting door trillingen;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 7 m schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Vanaf circa NAP -6 m is een overgeconsolideerde zandige Klei (mogelijk potklei) aangetroffen met conusweerstand van circa 2 MPa. Hierbij valt op dat het wrijvingsgetal relatief hoog is voor klei, dit duidt op een overgeconsolideerde Klei met een horizontale opspanning. De laag is niet zettingsgevoelig;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.50 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Tranendallaan 28 te Westerlee

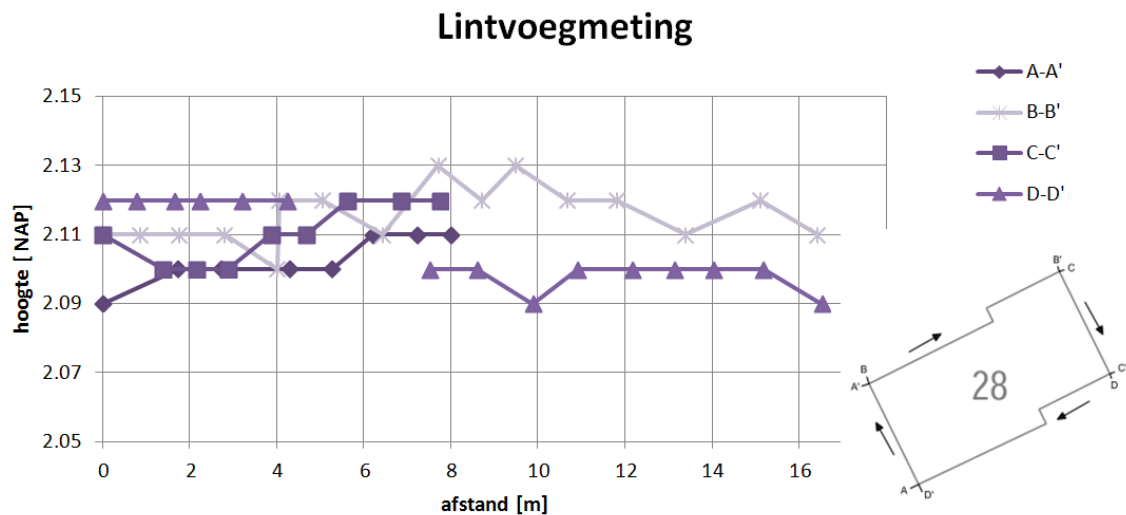


Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.50 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is in het midden van C-C' een scheefstand waargenomen van circa 1:130.



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.23 Onderzoek 18

Geotechnisch grondonderzoek

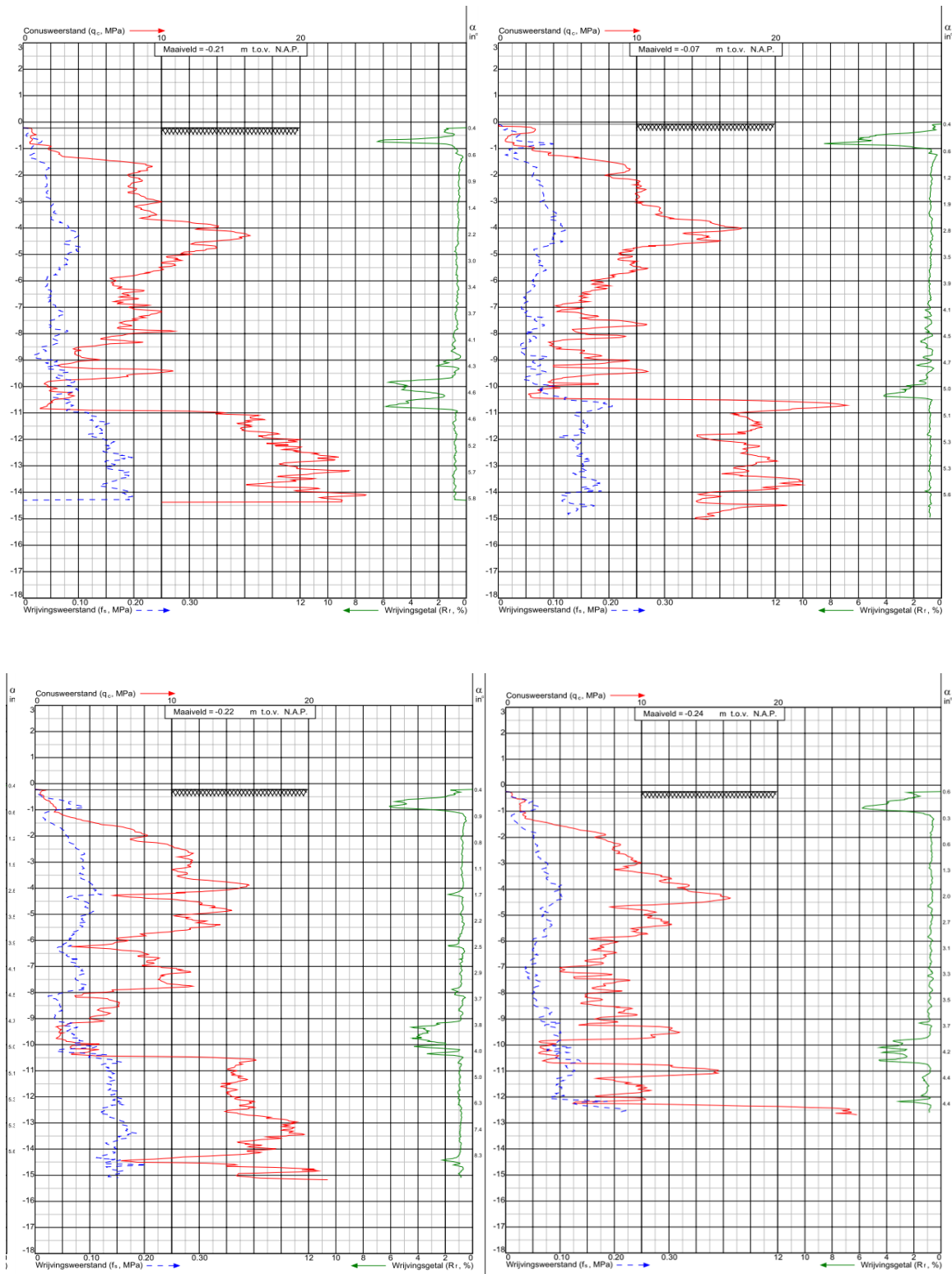
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 4 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.52 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.18 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Abbeelding 4.52 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.18 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv 0,2	-1,0	Zand, met kleilagen	1	3	Holoceen
-1,0	-6,0	Zand, matig	10	0,9	Holoceen
-6,0	-10,5	Zand, kleilig met kleilaag	6	1	Pleistoceen
-10,5	-15	Zand, matig	18	1	Pleistoceen

Bevindingen

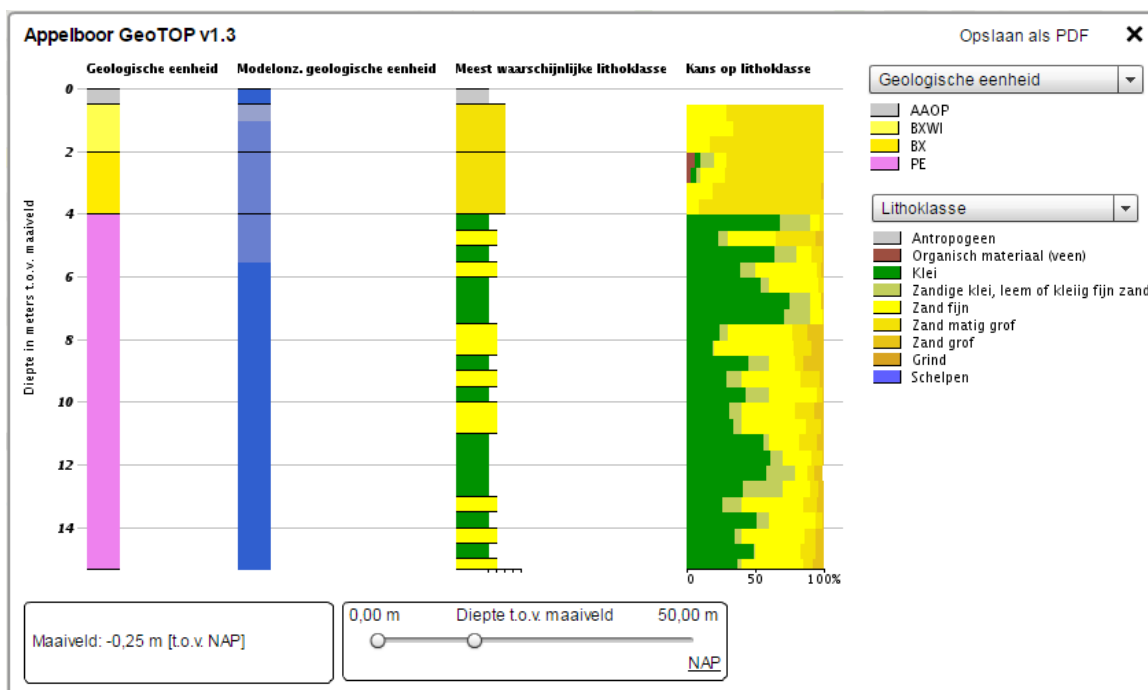
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is hoog. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit los gepakt zand met humeuse resten. De laag is niet zettingsgevoelig, maar wel gevoeliger voor zetting door trillingen;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m zand met daarin dunnen kleilagen. De laag is niet zettingsgevoelig;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.53 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Plantsoenlaan 64 te Scheemda



Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.53 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de toplagen lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid. Voor de formatie van Peerlo (PE)

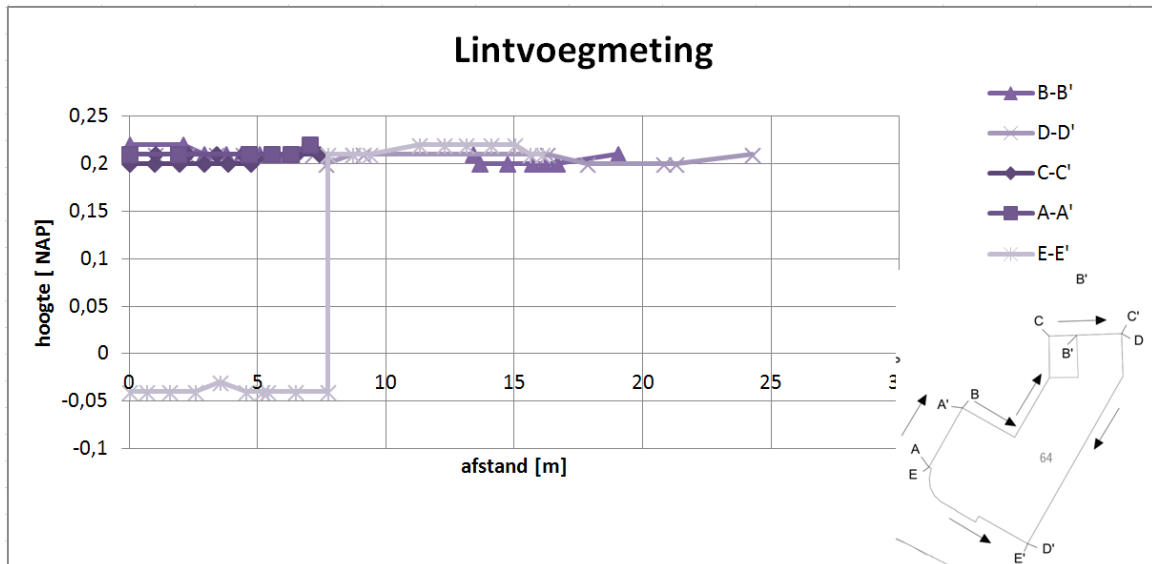
kan worden gesteld dat de hoeveelheid klei in de meest waarschijnlijk Lithoklasse niet representatief is, op basis van de sonderingen is aanzienlijk meer zand aangetroffen.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er zijn geen scheefstanden waargenomen.

Afbeelding 4.54 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

Op basis van meest waarschijnlijke Lithoklasse kan wel worden gesteld dat de hoeveelheid in de Formatie van Peerlo overeenkomt en dat, op basis van de sonderingen, meer zand kan worden verwacht.

4.2.24 Onderzoek 19

Geotechnisch grondonderzoek

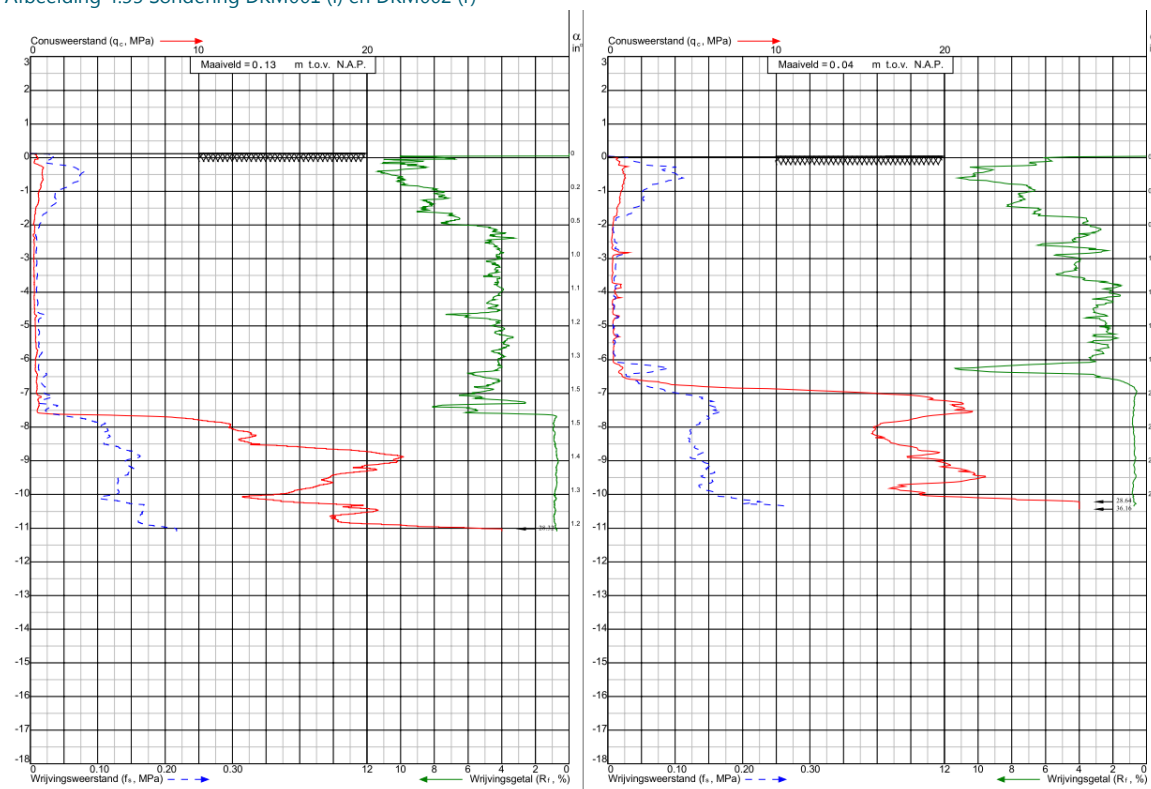
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 24 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.55 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.19 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.55 Sondering DKM001 (l) en DKM002 (r)



Tabel 4.19 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	Samenstelling [-]	$q_{c,gem}$ [kPa]	$R_{f,gem}$ [%]	ouderdom [-]
mv -0,2	-4,0	toplaag: Klei	0,3	4	
-6,0	-6,5	veen	0,4	9	Holoceen
-6,5	-> -15	zand, matig	16	0,9	Holoceen / Pleistocene

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en kruip zeer hoog. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Alleen de toplaag is gevoelig voor zettingen.

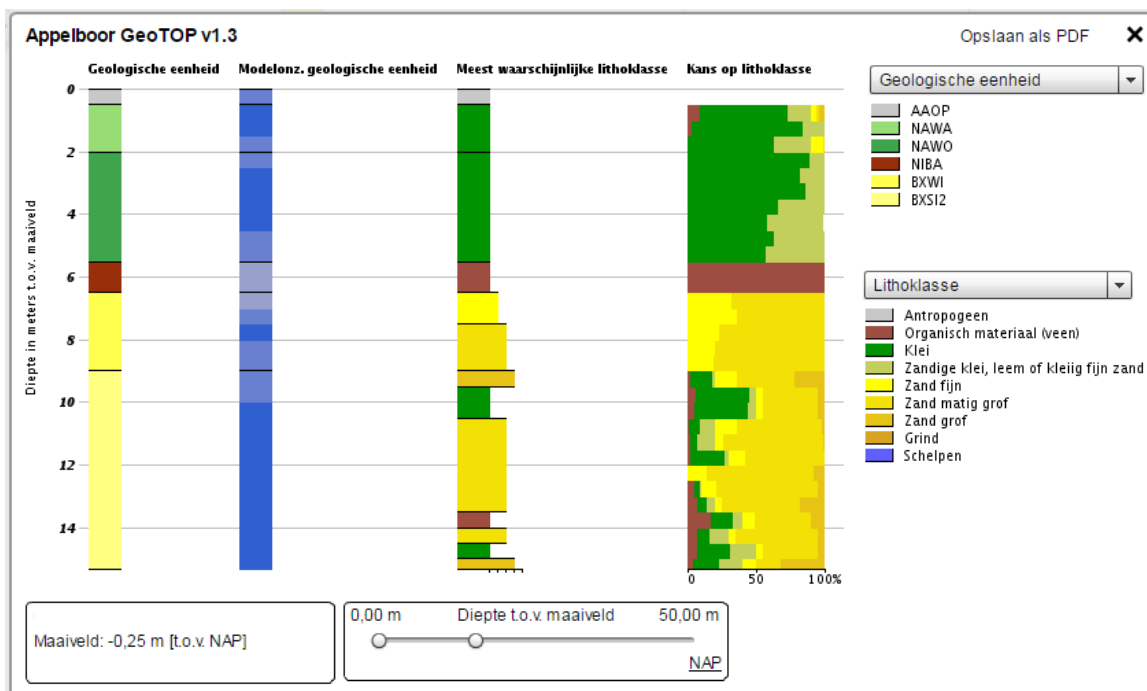
Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 7 m - mv) bestaat uit matig tot zwak zandige klei. Er is geen duidelijke draagkrachtige funderingslaag aangetroffen. De toplaag is een relatief dikke laag waarbij geen duidelijke laagscheidingen zijn waargenomen. Tussen de sonderingen en boringen zijn geen noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van matig gepakt schoon zand. De laag is niet zettingsgevoelig. Tussen de sonderingen en boringen zijn noemenswaardige verschillen aangetroffen, de laag kan als integraal aanwezig worden beschouwd;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met waarin de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.56 Appelboor GeoTOP model ter plaatse Dorpsstraat 19 te Den Horn



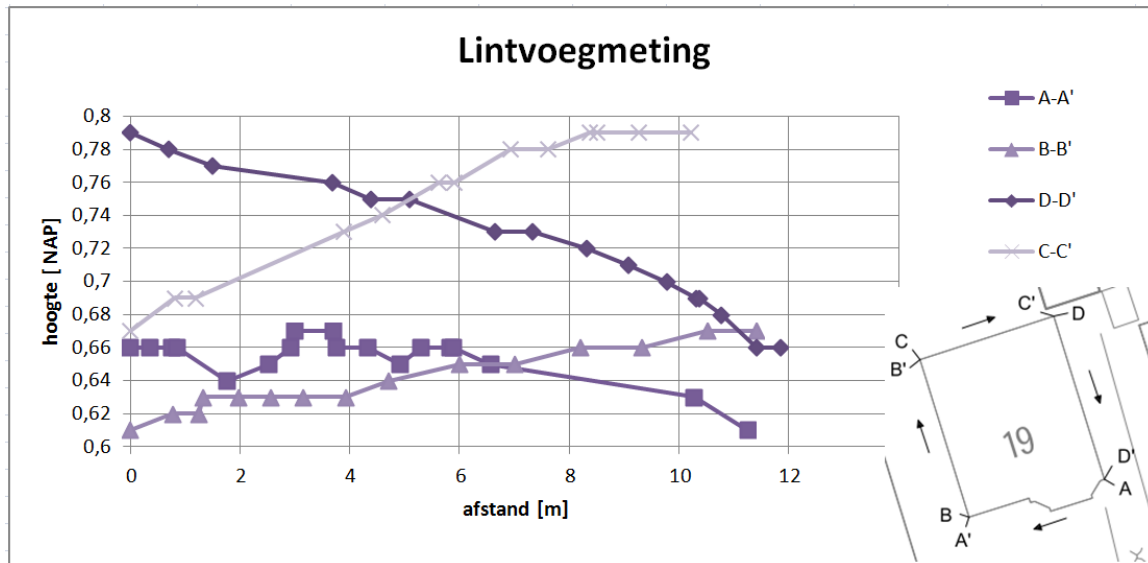
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.56 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. over as C-C' is een scheefstand van 1:70 waargenomen;
2. over as D-D' is een scheefstand van 1:90 waargenomen;
3. op basis van de lintvoegmeting kan worden geconcludeerd dat het pand in de noordoosthoek aanzienlijk is verzakt ten opzichte van de zuidwesthoek. Er is een verschilzetting waargenomen tussen hoek BA' en C'D van 18 cm.

Afbeelding 4.57 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. Er zijn aanzienlijke scheefstanden in de gevel waargenomen met de lintvoegmeting.

4.2.25 Onderzoek 20

Geotechnisch grondonderzoek

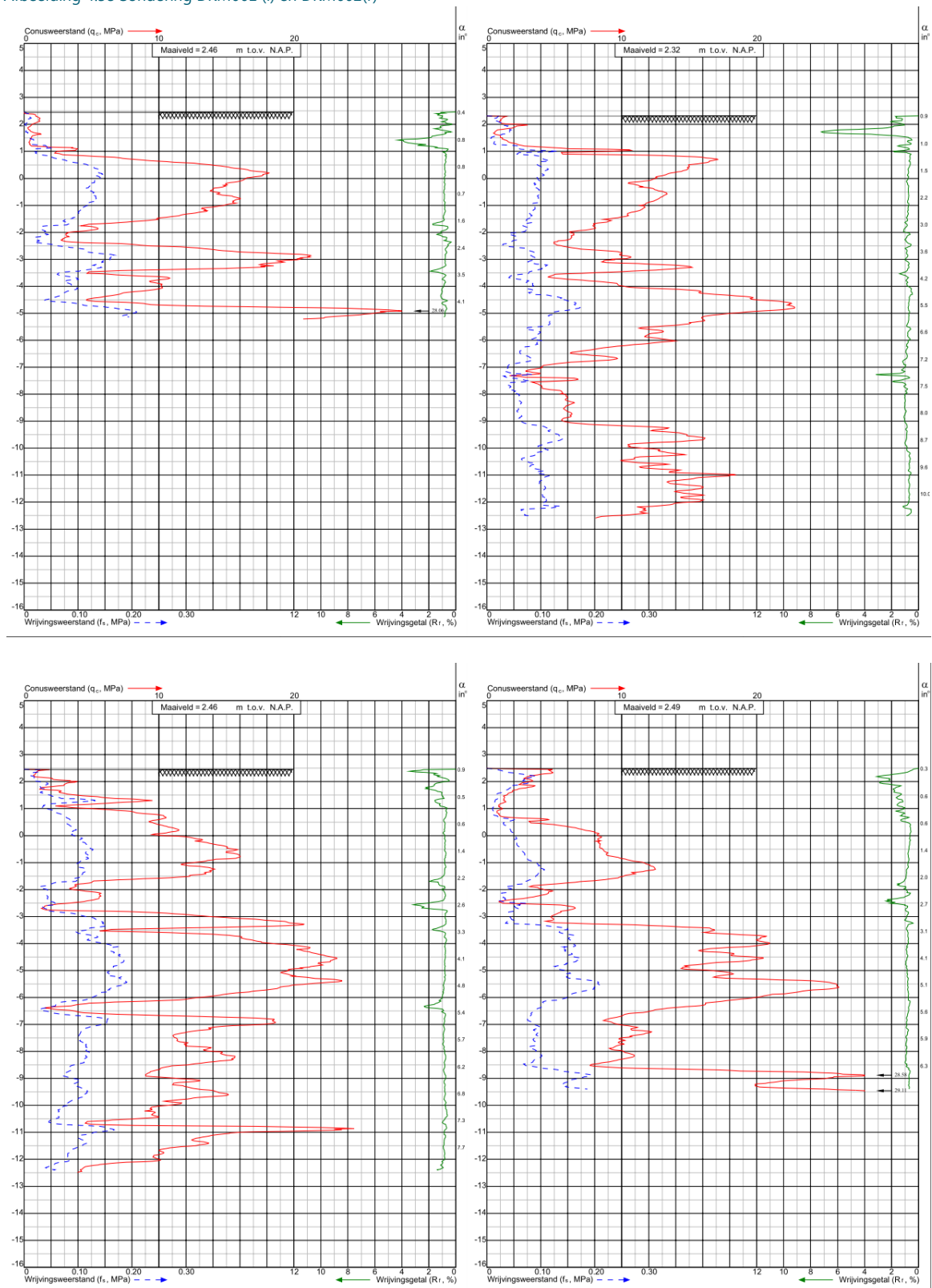
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 3 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 4 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m- maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.58 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.20 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Abbeelding 4.58 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.20 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv +2,5	+1,2	Zand, matig humeus	1	3	Holoceen
-6,0 a -8,0	-15	Zand, matig	10	1	Holoceen/Pleistoceen

Bevindingen

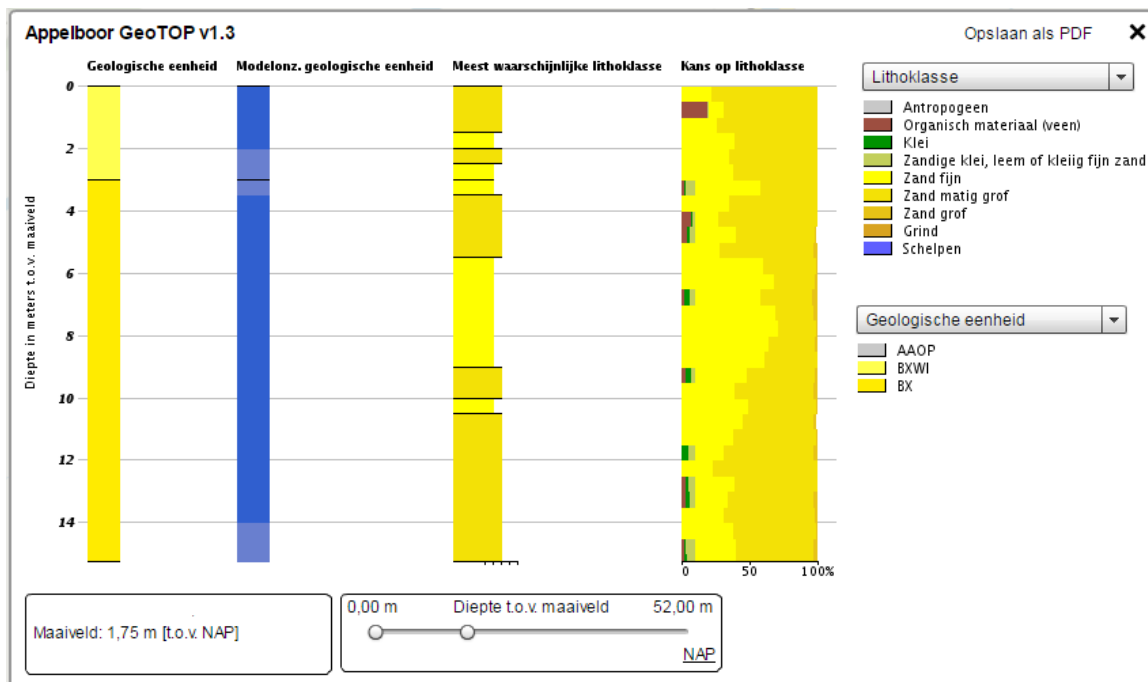
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen en laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is hoog. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit los gepakt zand met humeuze resten. De laag is niet zettingsgevoelig, maar wel gevoeliger voor zetting door trillingen;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m zand met lokaal een dunne Kleilagen. De laag is niet zettingsgevoelig;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.59 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Dorpsstraat 294 te Kiel-Windeweer



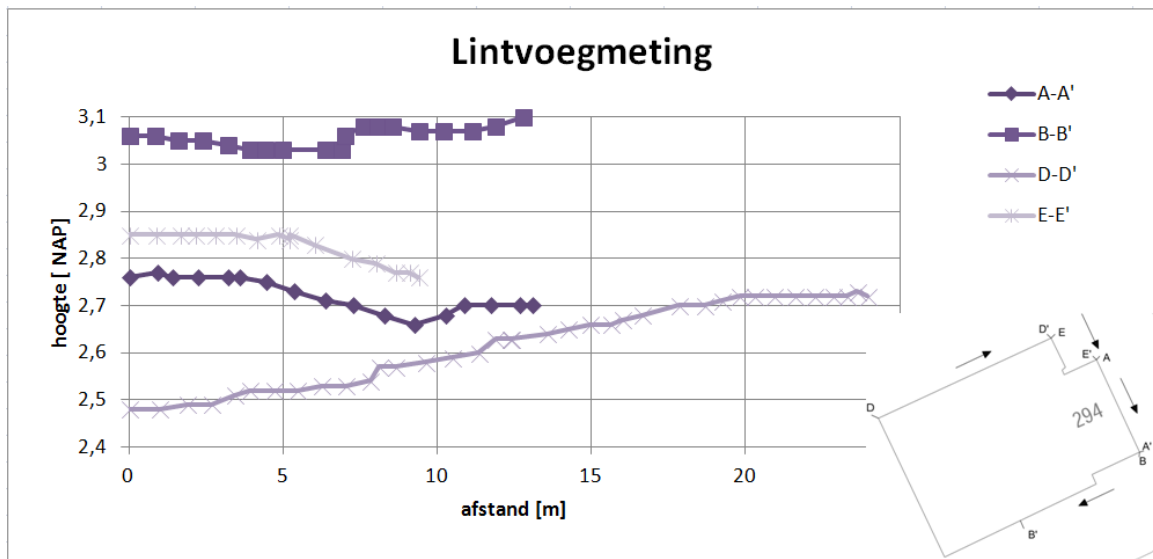
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de drie beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.59 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as D-D' een scheefstand waargenomen van circa 1:85;
2. er is over as A-A' een scheefstand waargenomen van circa 1:100;
3. er is over as E-E' een scheefstand waargenomen van circa 1:70.

Afbeelding 4.60 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling. Wel is een aanzienlijke scheefstand waargenomen in meerdere gevelvlakken. De scheefstand kan niet worden verklaard aan de hand van afwijkende bodemgesteldheid in een andere zettingsgevoeligheid in de sonderingen en boringen.

4.2.26 Onderzoek 21

Geotechnisch grondonderzoek

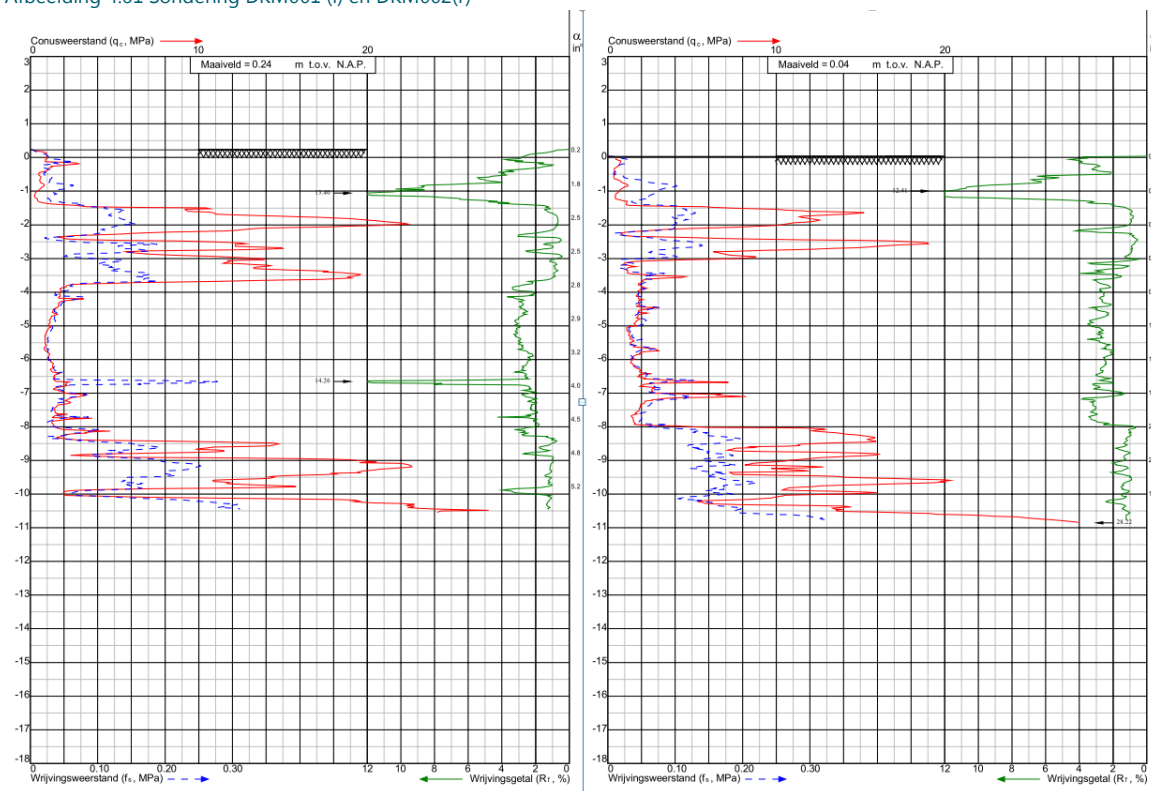
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 17 februari 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m - maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.61 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.21 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.61 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.21 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv +0,3	-1,5	Toplaag: Klei, sterk zandig	1	2	Holoceen
-1,5	-3,0 a -4,0	Zand, matig met kleilagen	10	1	Pleistoceen
-3,0 a -4,0	-8,0	Klei, sterk zandig	1,5	2,5	Pleistoceen
-2,5 a -4,0	-> -15	Zand, matig met kleilagen	15	1	Pleistoceen

Bevindingen

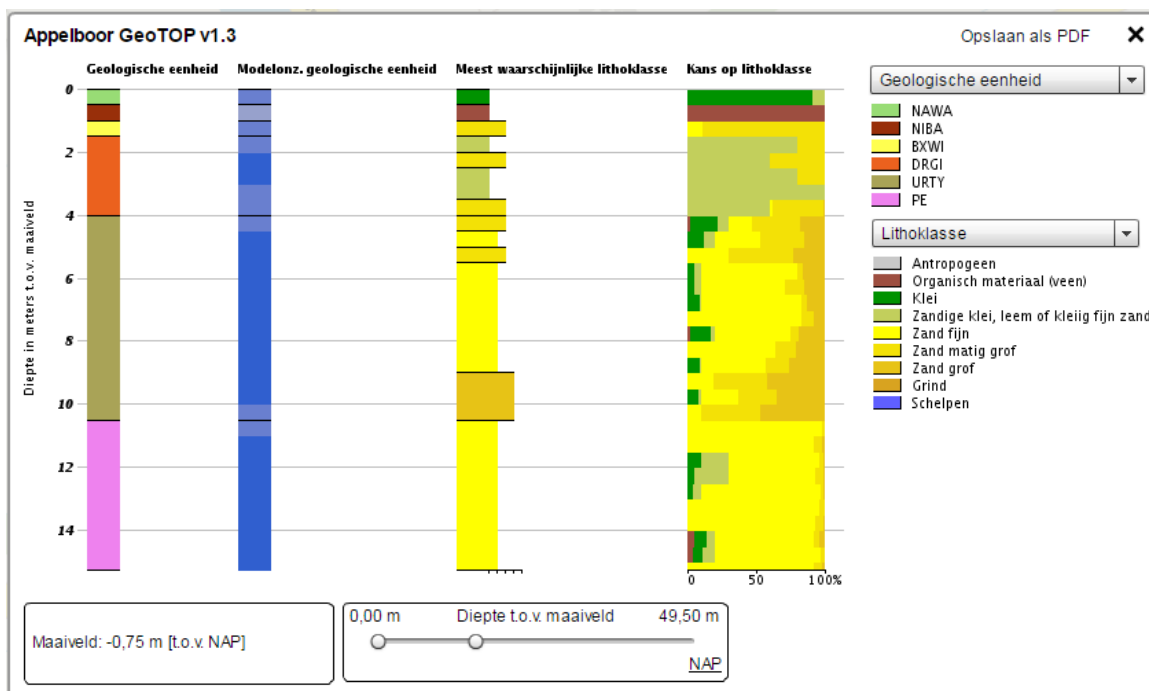
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 6 m - mv) bestaat uit sterk zandig leem met zandlagen. Lokaal kunnen wat dunne kleilagen worden verwacht. De laag is over het algemeen niet zettingsgevoelig.
- onder de toplaag bevindt zich vast gepakte zandlaag, de dikte is vanwege het staken van de sondering onbekend.
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.62 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Hoendiep Oostzijde 13A te Brilt



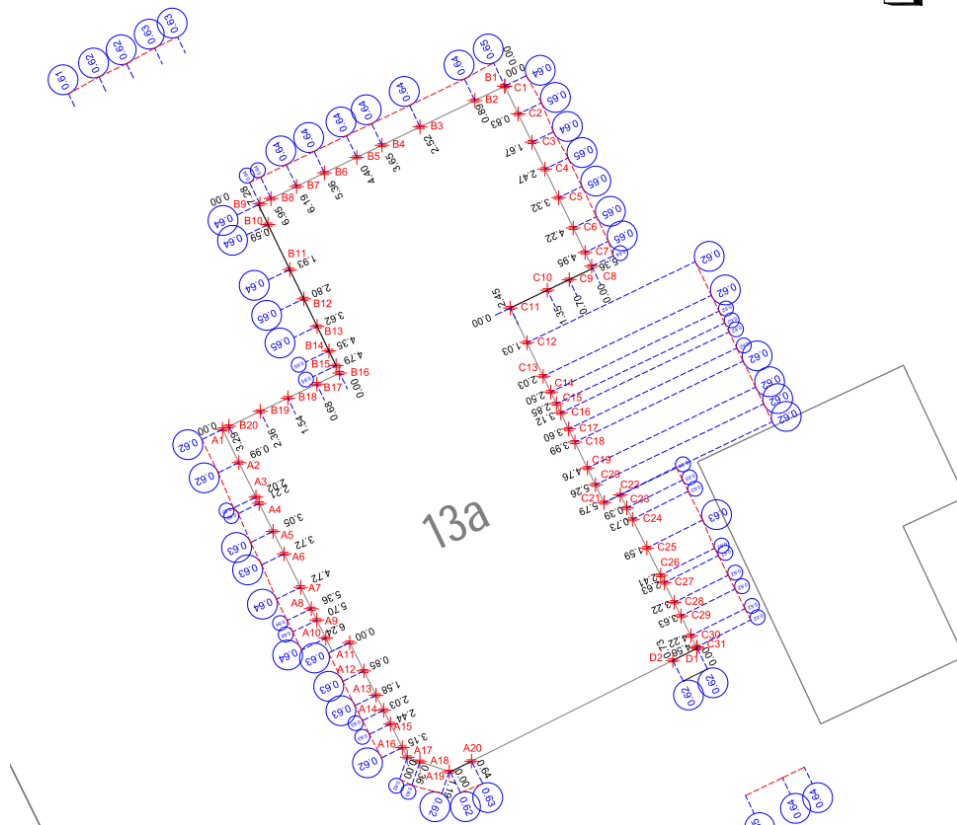
Het GeoTOP model komt niet geheel overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Vooral de formatie van Drente (DRGI), de Keileem is in de sonderingen dieper aangetroffen.

Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.62 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen niet geheel overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid. Tussen 4 en 8 m onder maaiveld is in de sonderingen Keileem aangetroffen, de 'meest waarschijnlijke Lithoklasse' toont echter hoofdzakelijk zand.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10 mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er zijn geen significantie scheefstanden waargenomen.



Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn afwijkingen geconstateerd. Wel wordt op basis van bijlage 2 verwacht dat de aangetroffen afwijking geen invloed hebben op de zettingsgevoeligheid van de ondergrond en zoals die in het GeoTOP model is gegeven.

4.2.27 Onderzoek 22

Geotechnisch grondonderzoek

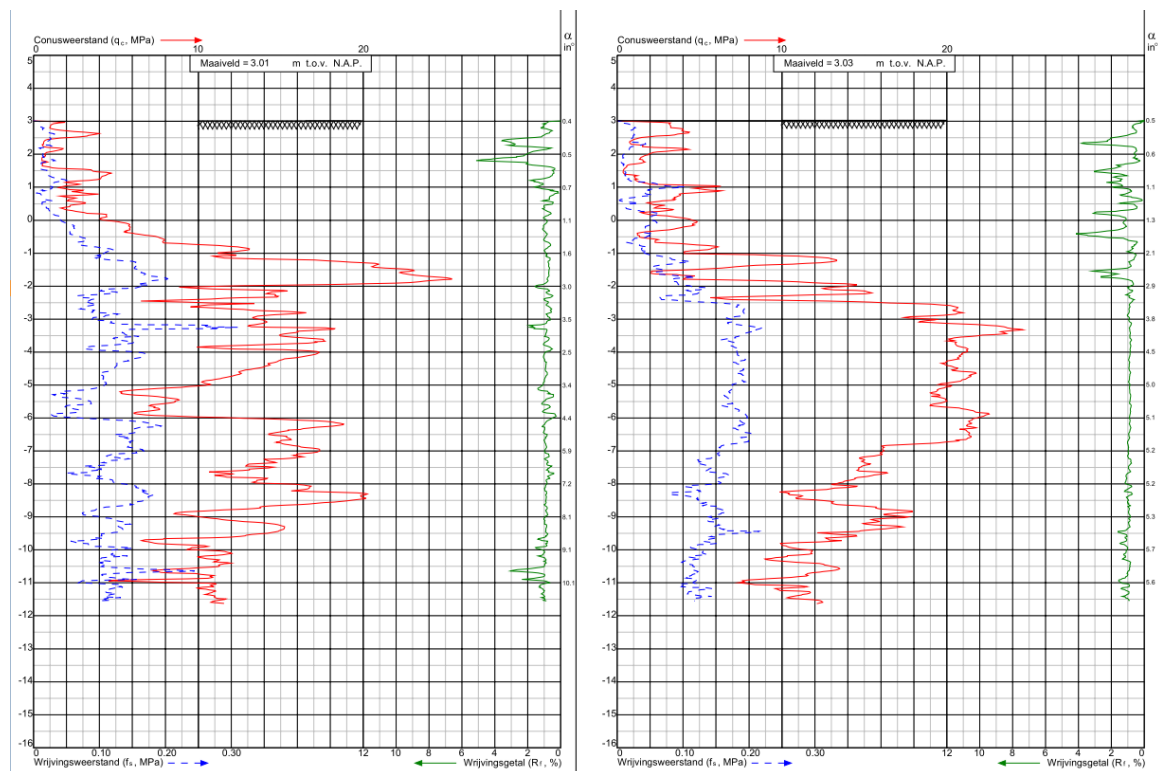
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 10 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 2 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 15 m - maaiveld;
- 4 handboringen met geroerde en ongeroerde monster tot een diepte van 3 m- maaiveld;
- classificatie van geroerde en ongeroerde monsters door middel van fotoboringen.

Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.64 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.22 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.64 Sondering DKM001 (l) en DKM002(r)



Tabel 4.22 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv 5,0	0,5 a -0,5	Toplaag: Zand, met kleilagen	2	1,5	Holoceen
0,5 a -0,5	-> -15	Zand, matig	12	1	Pleistoceen

Bevindingen

Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen laag. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is middelmatig. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

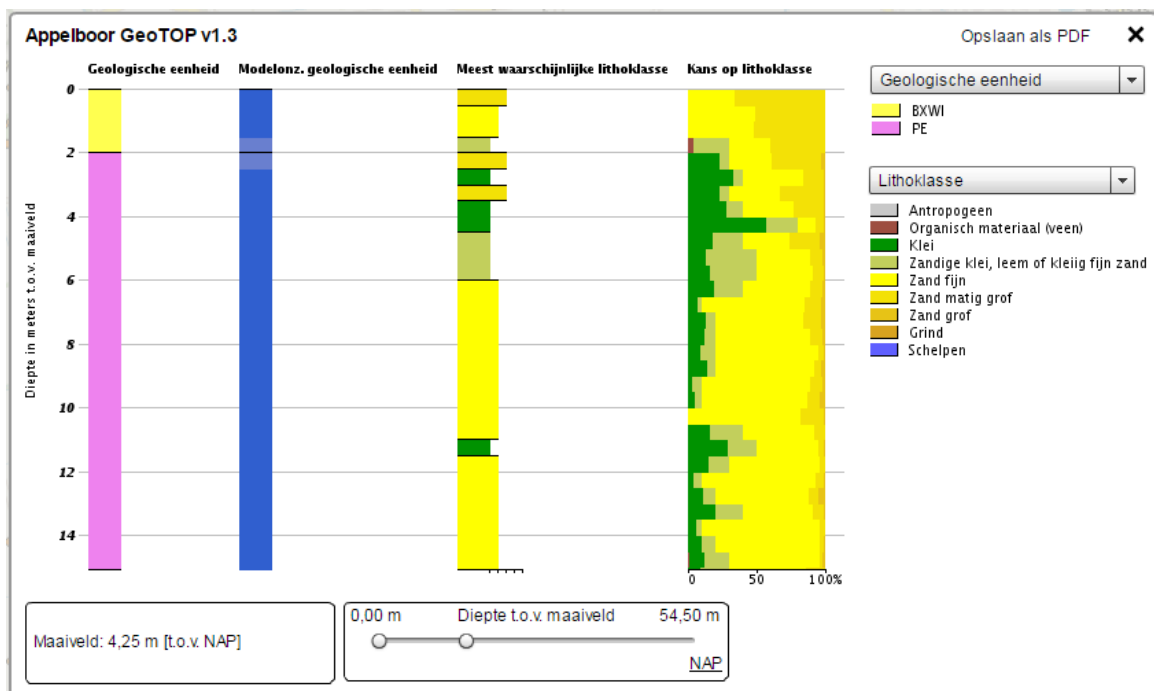
- de toplaag (tot circa 4 m - mv) bestaat uit Zand en met kleilagen en is overal integraal aanwezig. De dikte van de kleilaagjes is variabel en in sommige boringen. De laag is over het algemeen niet zettingsgevoelig;

- onder de toplaag bevindt zich vast gepakte zandlaag;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de boringen en sonderingen is de beoordeling niet bijgesteld.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.65 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van Peizerweg 1 te Bunne



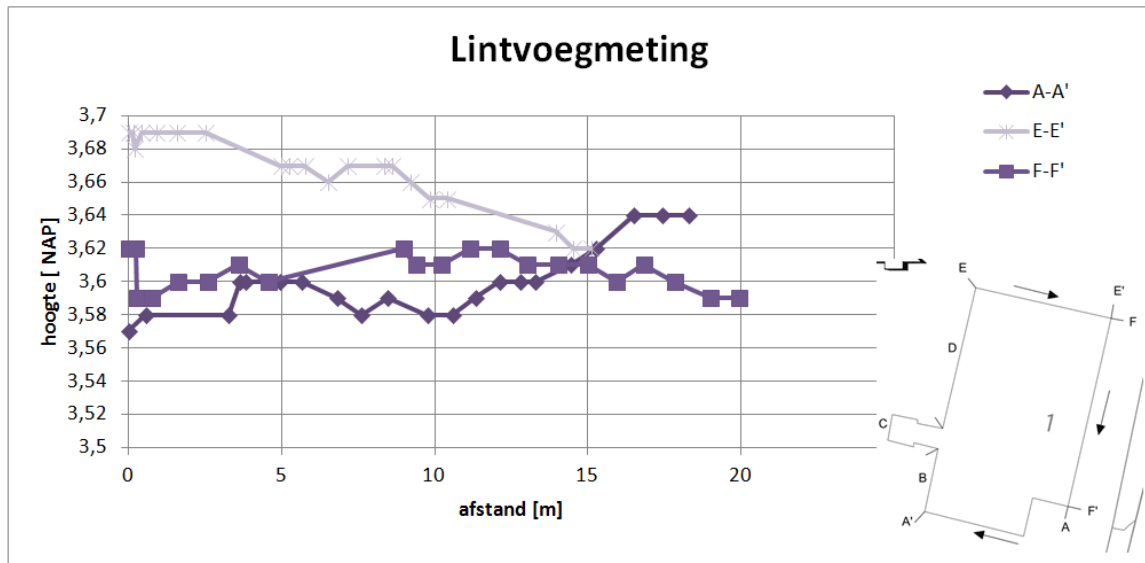
Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.65 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Interpretatie lintvoegmeting

De nauwkeurigheid van de lintvoegmetingen (10mm) is onvoldoende om iets over de rotatie op korte afstand te kunnen zeggen. Over de algehele scheefstand kan wel het volgende worden gesteld, de absolute zettingsverschillen kunnen worden waargenomen:

1. er is over as A-A' een scheefstand waargenomen van circa 1:200;
2. er is over as E-E' een scheefstand waargenomen van circa 1:200.

Afbeelding 4.66 Resultaten lintvoegmeting



Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd die van invloed kunnen zijn op de schadebeoordeling.

4.2.28 Onderzoek 23

Geotechnisch grondonderzoek

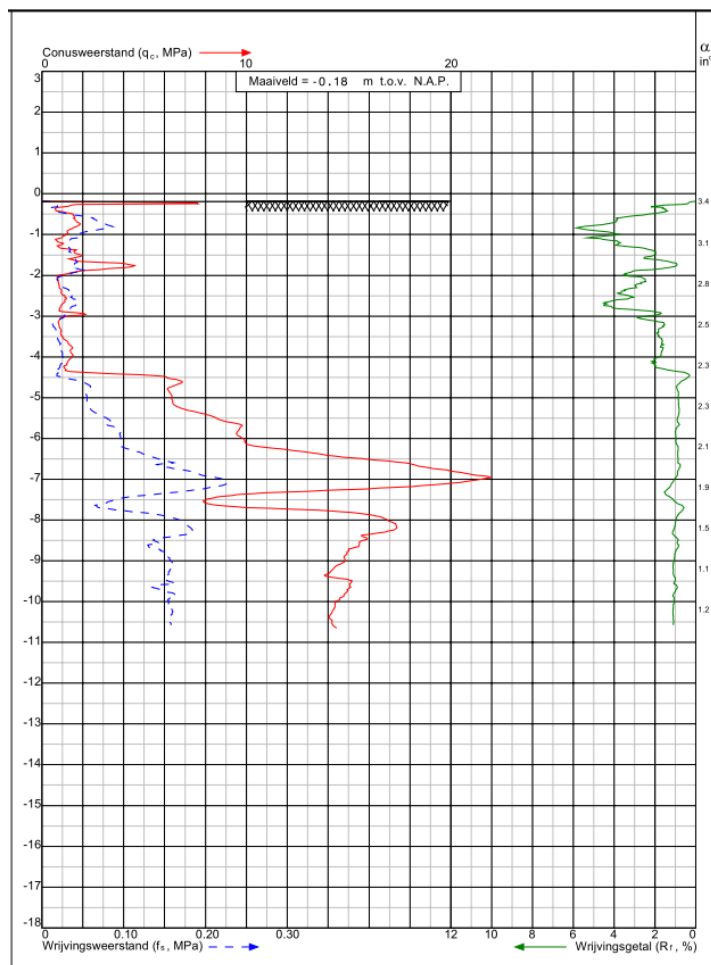
De veldwerkzaamheden zijn uitgevoerd op 10 maart 2017 en heeft bestaan uit:

- 1 sonderingen met kleefmeting tot een diepte van 10 m - maaiveld.

4.3 Interpretatie grondonderzoek

Op basis van de twee beschikbare sonderingen in afbeelding 4.67 en de handboringen over de eerste 3 m van het grondpakket is in tabel 4.23 een representatieve bodemopbouw weergegeven.

Afbeelding 4.67 Sondering DKM001



Tabel 4.23 Representatieve gelaagdheid op basis van beschikbaar grondonderzoek

bk laag [m NAP]	ok laag [m NAP]	samenstelling [-]	$q_{c, \text{gem}}$ [kPa]	$R_{f, \text{gem}}$ [%]	ouderdom [-]
mv -0,4	-4,5	Toplaag, Klei, sterk zandig	1,5	3	Holoceen
-4,5	-> -11	Zand, matig met kleilagen	10	1	Pleistoceen

Bevindingen

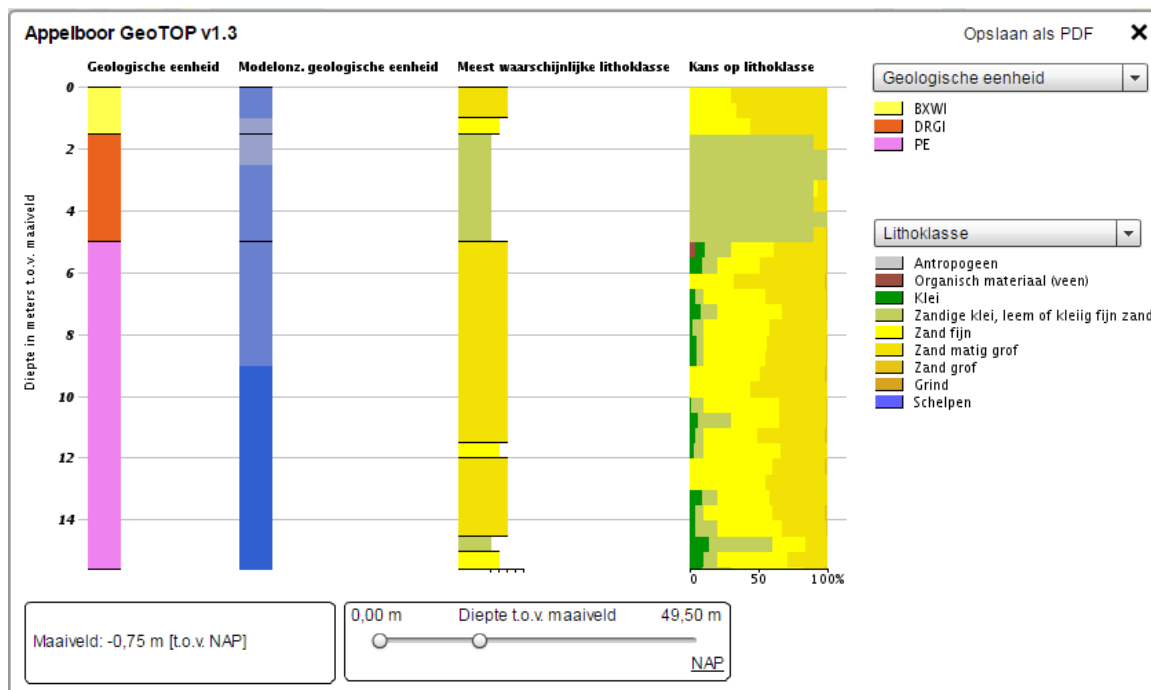
Aan de hand van bijlage II is de zettingsgevoeligheid voor autonome zettingen middelmatig. De zettingsgevoeligheid ten gevolge van trillingen is laag. Op basis van de beschikbare boringen en sonderingen zijn de volgende conclusies getrokken:

- de toplaag (tot circa 1 m - mv) bestaat uit zandige klei. De laag is matig zettingsgevoelig en niet gevoelig voor zetting door trillingen;
- onder de toplaag bevindt zich een laag van 15 m matig gepakt zand;
- het dossier kent schades waarbij 'Ongelijkmatige zettingen in de ondergrond' als mogelijke oorzaak is benoemd. Op basis van de bouwtekeningen is de beoordeling bijgesteld, door de paalfundering is geen ongelijkmatige zetting te verwachten.

Vergelijking Geotop

Voor de vergelijking met GeoTOP is er ter plaatse van de onderzoekslocatie een appelboor geselecteerd met de waarin de Geologische eenheid en de Lithoklasse is weergegeven.

Afbeelding 4.68 Appelboor GeoTOP model ter plaatse van vrije kavel nabij Vuurjuffer 24 te Eelderwolde



Het GeoTOP model komt overeen met de bevindingen uit de twee beschikbare sonderingen. Op basis van de 'meest waarschijnlijke lithoklasse' uit afbeelding 4.68 wordt geconcludeerd dat de dikte en de gelaagdheid van de lagen overeenkomstig is met de lokale grondgesteldheid.

Conclusie

Aan de hand van het uitgevoerde grondonderzoek is de aangehouden grondslag en homogeniteit van het GeoTOP model geverifieerd en zijn geen afwijkingen geconstateerd.

4.4 Analyse van informatie uit 73 bouwdoSSIers welke niet door de bewoner zijn aangeleverd

Het doel van de analyse is het inventariseren of de aangewezen oorzaak bij beoordeelde schades wijzigt wanneer er aanvullende documentatie beschikbaar is. Hiervoor zijn 73 woningen bekeken waarbij bouwtekeningen beschikbaar zijn. Er is met name gefocust of de aanvullende informatie een beter inzicht geeft in de dakconstructie, doorbuigen van vloeren in combinatie met (dragende) muren, toepassing van latei constructie en het type fundering.

De verkregen documentatie uit het gemeentearchief bestond in de meeste gevallen uit bestekstekeningen. Ook ontwerptekeningen en bouwvergunningstekeningen kwamen voor. Uitvoeringstekeningen werden niet aangetroffen en er is dus op basis van de tekeningen in het algemeen geen absolute zekerheid of de woning daadwerkelijk is uitgevoerd zoals op de tekening is aangegeven.

Voor gebouwen van voor 1950 bleek vaak weinig of geen documentatie aanwezig te zijn bij de gemeente.

In twee gevallen kon op basis van de documentatie een van de mogelijke oorzaken worden ontkracht. In één geval betrof het een tekening waarop was aangegeven dat het gebouw op palen gefundeerd was waardoor de mogelijke oorzaak zettingschade voor het gebouw verviel. In een ander geval gaven de tekeningen beter inzicht wat betreft de schadepatronen in het metselwerk direct onder dakoverstekken en boven kozijnen. Hierbij werd, zonder beschikbare tekening, verondersteld dat deze schades onder andere door spatkrachten veroorzaakt werden. Door de aangeleverde tekeningen bleek de invloed van het dak niet relevant en kon een andere, reeds aanwezige, oorzaak worden toegewezen. In het betreffende geval heeft de principeschets van het bouwkundige detail ter plaatse hieraan bijgedragen. Hieruit bleek dat de dakconstructies in de basis aangrepen op de zoldervloer, niet op het metselwerk. De heersende spatkrachten worden dus opgenomen door de zoldervloer. Hierdoor konden de spatkrachten worden uitgesloten.

In de resterende gevallen heeft de aanvullende informatie niet tot andere oorzaken geleiden. Dit doordat de constructie ter plaatse van het schadebeeld goed ingeschat kon worden door de beschikbare (overzicht) foto's. Dit geldt met name voor het principe van doorbuigende vloeren in combinatie met (dragende) muren en de toepassing van latei constructie(s).

Waar de aanvullende tekeningen ook aan hebben bijgedragen is het feit of een aanbouw of uitbouw in loop der jaren is gerealiseerd. Ervaring leert dat de uitbreidingen van invloed kunnen zijn op het ontstaan van schadebeelden tussen bestaand en nieuw.

4.5 Verzamelen van aanvullend beeldmateriaal (225 x)

Tijdens de beoordeling bleek dat voor ongeveer 300 schades op in totaal 225 adressen het beeldmateriaal of de gegevens over de schade als scheurlengte en scheurwijdte ontoereikend waren om de verificatiestap te kunnen doorlopen. Bij deze adressen zijn daarom aanvullende bezoeken ingepland waarbij een inspecteur met specifieke instructies van de expert aanvullend beeldmateriaal en gegevens verzameld waardoor naar verwachting de schade vervolgens als nog volledig te beoordelen is.

4.6 Analyse van seriematige woningbouw in 5 gebieden met in totaal 19 woningen

Het doel van deze analyse is het inventariseren of er overeenkomsten zijn in de patronen van beoordeelde schades bij seriematige woningbouw. In relatie tot trillingen door aardbevingen zou namelijk een overeenkomstig patroon verwacht kunnen worden omdat trillingsbelasting, oriëntatie en bouwwijze vaak gelijk zijn bij seriematige woningbouw. Wanneer het een schade is die te relateren is aan een keuze van de uitvoering of in het ontwerp zien is echter ook een overeenkomstig patroon zichtbaar. Om deze patronen inzichtelijk te maken is een vijftal wijken met twee of meer seriematige woningen bekeken.

Per wijk wordt beschreven welke overeenkomstige patronen van beoordeelde schades zijn geconstateerd. De analyse heeft betrekking op de volgende wijken. In verband met privacy zijn deze geanonimiseerd.

Tabel 4.24 Seriematige woningbouw

Gebied	Aantal woningen onderzocht	Bouwjaar
1	2	1963
2	5	1970
3	6	1964/1965
4	3	1971
5	3	1980

In de onderstaande alinea's zijn per wijk de bevindingen uiteengezet.

Gebied 1

Het meest opvallende is dat de voorgevels van de geschakelde woningen een overeenkomstig schadebeeld in het metselwerk vertonen. Hieruit valt op te maken dat een en dezelfde oorzaak hieraan ten grondslag ligt, voornamelijk variatie in de ondergrond.

Gebied 2

Woning 1:

Omvat 6 schades, waarvan alle schademeldingen gericht zijn op het gevelmetselwerk.

Twee schades betreffen verticale scheuren op de uitwendige hoeken van de berging.

Een schade betreft een scheur onder het kozijn in de voorgevel en een schade tussen twee kozijnen in de achtergevel.

De twee resterende schadebeelden zijn uniek voor deze woning.

Woning 2:

Omvat 12 schades, waarvan 6 schademeldingen zijn gericht op het gevelmetselwerk.

Een viertal schades bevinden zich in het metselwerk van de berging, waarvan een de verticale scheur op de uitwendige hoek betreft. Een schade bevindt zich in de voorgevel tussen de voordeur en het grote kozijn.

De resterende 7 schades bevinden zich inpandig en zijn uniek voor deze woning. Drie van deze schades zijn als gevolg van krimp ontstaan.

Woning 3:

Omvat 8 schades, waarvan alle schademeldingen gericht zijn op het gevelmetselwerk.

Twee schades betreffen verticale scheuren op de uitwendige hoeken van de berging.

Een schade betreft een scheur onder het kozijn in de voorgevel en twee schades tussen kozijnen in de achtergevel.

De overige 3 schades zijn uniek voor deze woning, mede doordat het een hoekwoning betreft.

Woning 4:

Omvat 12 schades, waaronder zich slechts een inpandige schade bevindt.

Vier schades betreffen scheuren in het metselwerk van de berging, waaronder een verticale scheur op de uitwendige hoek van de berging. De overige gerelateerd aan variatie in de ondergrond.

Zeven schades bevinden zich in het gevelmetselwerk van de woning. Het betreffen schadebeelden rondom de buitenkozijnen in voor- en achtergevel.

De resterende interne schade is uniek voor deze woning en ontstaan door krimp.

Woning 5:

Omvat 4 schades, waaronder 3 daarvan schades zijn die zich voordoen in het gevelmetselwerk.

Een schade is een verticale scheur op de uitwendige hoek van de berging. Tweetal schades bevinden zich onder de buitenkozijnen in voor- en achtergevel. De interne schade is woning specifiek.

Conclusie

Van alle schadebeelden is slechts één schadebeeld dat overeenkomt in alle beschouwde gebouwen. Te weten schadebeelden gevonden onder grote kozijnen voorzijde. Het betreft een verticale scheur, in sommige gevallen getrapt. De oorzaak van dit schadebeeld is gekwalificeerd als een samenloop van ongelijke belasting op de ondergrond en een variatie in de ondergrond.

Door de variatie van de overige schades kan hier geen link gelegd tussen seriematige woningbouw in relatie tot aardbevingschades.

Gebied 3

Woning 1:

Omvat 13 schades, waaronder 6 gericht op het gevelmetselwerk. 4 schades veroorzaakt door toepassing van lateien met onvoldoende stijfheid en sterkte. De resterende schades zijn door thermische werking van het dak ontstaan. De 7 interne schades kenmerken zich vooral door krimpscheuren. Een tweetal schades zijn ontstaan door belastingen uit het dak.

Woning 2:

Omvat 22 schades, voornamelijk gericht op schadebeelden in het gevelmetselwerk. Elf schades zijn ontstaan door een samenloop van thermische invloeden op het metselwerk en variatie in de ondergrond. Twee schades in de kopgevel zijn ontstaan door thermische vervorming/belasting dak. Eenmalig is een schade ontstaan door thermische lengte vervorming van de latei. Drie schades zijn het gevolg van onvoldoende stijfheid van de latei. De interne schades zijn ontstaan door vervorming van de lateiconstructie en door krimp.

Woning 3:

Omvat 15 schades, waarvan 6 zich voor doen in het gevelmetselwerk. Vier schades zijn ontstaan door onvoldoende stijfheid van de latei constructie. Twee door thermische invloeden. De interne schades zijn ontstaan door thermische invloeden en het ontbreken van voldoende stijfheid van de latei constructie.

Woning 4:

Omvat 20 schades, waarvan 4 schadebeelden in het gevelmetselwerk voorkomen. Deze 4 schades zijn ontstaan door thermische invloeden. De interne schades zijn eveneens door thermische invloeden ontstaan. 4 schades zijn ontstaan door doorbuiging van de onderliggende vloer. De resterende schades zijn het gevolg van variatie in de ondergrond.

Woning 5:

Omvat 15 schades, 7 schadebeelden zijn gericht op het gevelmetselwerk. Twee schades in het gevelmetselwerk zijn ontstaan door thermische belasting/vervorming van het dak. De resterende 5 zijn het gevolg van onvoldoende stijfheid van de latei constructie. De interne schades kenmerken zich door krimp en variatie in de ondergrond. Een schade is karakteristiek voor deze woning, veroorzaakt door thermische belasting/vervorming van het dak.

Woning 6:

Omvat 20 schades, waarvan de helft schades in het gevelmetselwerk betreffen. Ontbreken van voldoende stijfheid latei constructie is het schadebeeld voor een 4 tal schades. Variatie in de ondergrond komt voor bij 4 schadebeelden. Een schade wordt veroorzaakt door spatkrachten vanuit het dak. Een andere door thermische vervorming van het platte dak. De meeste interne schades worden gekenmerkt door invloeden van krimp. Daarnaast komt schade door gebrek aan stijfheid van de lateiconstructie voor. Een schade is veroorzaakt door overbelasting door het dichtslaan van een deur. Daarbij is bij een schade vastgesteld dat slechts het behang loslaat. De laatste twee schadebeelden zijn uniek voor deze woning.

Conclusie

Het merendeel van de schades vertoont geen overeenkomsten. Echter in de voor- en achtergevel is een schadebeeld zichtbaar welke in meerdere woningen overeenkomt. Het betreft een variatie aan scheuren die zijn ontstaan door toepassing van een latei met onvoldoende draagkracht in combinatie met variatie in de ondergrond. De scheuren kenmerken zich door een verticaal en getrapt verloop. Dat deze schades veroorzaakt zijn door beving lijkt niet aannemelijk, mede omdat de schades in 4 gevallen niet gemeld zijn als aardbevingsschades en schades gemeld zijn in verschillende jaren (voor 2014/medio 2015).

Daarnaast bevinden zich in de kopgevels, ter plaatse van de aansluiting metselwerk dakconstructie, een overeenkomstig schadebeeld in drie van de zes woningen. Het betreft hier schade ontstaan door invloed van spatkrachten vanuit de kap en de thermische vervorming vanuit de dakconstructie. Het is onwaarschijnlijk

dat de recente aardbevingen invloed hebben gehad op dit schadebeeld. Zo is in één geval de schade eerder opgemerkt (ruim voor 2014) en niet gemeld als aardbevingsschade.

In alle woningen zijn aan de binnenzijde van de spouwmuur, gelegen op de eerste verdieping, horizontale scheur patronen zichtbaar. Deze presenteren zich ter hoogte van de bovendorpel/aftimmering van het buitenkozijn. Deze aftimmering vervormt onder invloed van temperatuur en eventueel vocht op een andere wijze dan de muur afwerking. Daar komt bij dat dit schade beeld door het merendeel van de bewoners (in 3 van de 5 gevallen) niet is gemeld als aardbevingsschade.

Door de variatie van de overige schades kan hier geen link gelegd tussen seriematige woningbouw in relatie tot aardbevingschades.

Gebied 4

Woning 1:

Omvat 23 schades, waarvan de helft zich voordoet in het gevelmetselwerk.

Het ontbreken/onvoldoende sterkte/stijfheid/stijfheid latei constructie is met regelmaat de oorzaak van de schadebeelden. Daarnaast speelt het ontbreken van dilataties en spatkrachten vanuit de kapconstructie een rol. De interne schades kenmerken zich veelvuldig door krimp. Een enkele schade wordt veroorzaakt door invloed van spatkrachten vanuit het dak. Deze is te beschouwen als uniek voor deze woning.

Woning 2:

Omvat 12 schades, waarvan 4 schades zich voordoen in het gevelmetselwerk. Voor alle schades in het gevelmetselwerk geldt als oorzaak onvoldoende sterkte/stijfheid/stijfheid van de latei constructie. De interne schades kenmerken zich door krimp en doorbuiging van bovenliggende vloer. Uniek voor deze woning is schade die is ontstaan door spatkracht vanuit de dakconstructie.

Woning 3:

Omvat 6 schades, hiervan doen 2 zich intern voor. De schades in het gevelmetselwerk worden veroorzaakt door ontbreken/onvoldoende sterkte/stijfheid/stijfheid latei constructie. Een enkele schade doet zich voor onder invloed van thermische belasting/vervorming (plat)dak. De interne schades kenmerken zich door krimp.

Conclusie

Slechts drie schadebeelden komen voor in één of meerdere woningen. De overige schade beelden hebben een te gevarieerd patroon en bevinden zich op gevarieerde locaties waardoor geen link gelegd kan worden tussen seriematige woningbouw in relatie tot trillingen ten gevolge van aardbevingen.

Gebied 5

Geen aanwijsbare overeenkomende schades.

Algemene conclusie

Een regelmaat terugkerend schadebeeld zijn schades aan het metselwerk door het vervangen van buitenkozijnen. Bij het vervangen is het bestaande metselwerk beschadigd door mechanische belasting of door (tijdelijke) wijziging van het constructieve spanningpatroon. Ook ontbreken/onvoldoende sterkte/stijfheid/stijfheid van de lateiconstructie is een veelvuldig terugkerende oorzaak van schade aan het gevelmetselwerk.

Daarnaast is opvallend dat krimpscheuren veelvuldig voorkomen. Een specifieke plaats in de afwerking van de wandconstructie is niet te benoemen. Wel is duidelijk dat deze krimpscheuren zijn ontstaan doordat de afwerkingen van de verschillende wanden in een te vochtig klimaat zijn aangebracht.

In de meeste gevallen valt op dat gebouwen binnen een seriematige bouw een patroon aan overeenkomstige schade beelden vertonen maar dat deze een relatie hebben met de ondergrond/fundering, de bouwwijze en bouwelementen.

Er komen ook unieke schades voor die specifiek voorkomen in een bepaald type woning binnen de serie. Deze kunnen veroorzaakt zijn door ander gebruik, mogelijke verbouwingen, et cetera.

4.7 Analyse van 50 mogelijk afwijkende gebouwen

Een vijftigtal gebouwen is nader beschouwd door experts om te onderzoeken of hier afwijkingen zichtbaar waren ten opzichte van andere gebouwen.

De vijftig gebouwen betroffen onder andere de 'uitbijters' die tijdens de patroonherkenning opvielen. Het waren bijvoorbeeld de gebouwen dichtbij epicentra van aardbevingen in, of er dichtbij het buitengebied met magnitudes waarvoor bij andere aardbevingen in het schade-afhandelingsgebied TNO-sensoren afwijkende meetgegevens gaven.

Ook gebouwen in gebieden waar relatief grote grondwaterfluctuaties voorkwamen zijn aanvullende beschouwd, evenals een aantal erg oude gebouwen die op een afwijkende wijze geconstrueerd zijn.

Op basis van deze analyses zijn geen opvallende afwijkingen geconstateerd.

4.8 Analyse 15 dossiers in het schade-afhandelingsgebied.

Het doel van deze analyse is het inventariseren of er een afwijkend schade beeld is bij gebouwen in het schade-afhandelingsgebied. Hiervoor zijn vijftien dossiers bekeken op basis van reeds bestaande eerstelijnsrapportages.

Bij de beoordeling van schades aan deze gebouwen was het in deze gevallen conform de systematiek niet mogelijk om 'overbelasting door trillingen - aardbevingen' te falsificeren.

Het gemiddeld aantal schades per dossier is 12, met een minimum van 4 schades en een maximum van 37 schades. Hierbij dient opgemerkt te worden dat in de beschouwde rapporten alleen de gemelde schades zijn opgenomen, in het buitengebied zijn alle schades opgenomen, dus zowel gemelde als niet gemelde schades.

In de onderstaande tabel is het resultaat van de beoordeling opgenomen.

Tabel 4.25 Beoordeling schades binnengebied dossiers

Totaal aantal schades 182 in 15 dossiers	Mogelijke oorzaak (% van schades)
A1.1 Geen overbelasting: onvoldoende sterkte/stijfheid, Initieel	16 %
A1.3 Geen overbelasting: onvoldoende sterkte/stijfheid, Veroudering/aantasting	13 %
A2.1 Overbelasting vanuit gebruik, In normale gebruikssituatie	2 %
A3.5 Overbelasting door trillingen, Aardbevingen	70 %
A4.4 Incidentele overbelasting, Storm	9 %
B1.1 Verhinderde vervormingen, Initieel	35 %
B1.2 Verhinderde vervormingen, Verbouwing/uitbreiding	1 %
B2.1 Opgelegde vervormingen, Initieel	24 %
B2.3 Opgelegde vervormingen, Corrosie metalen onderdelen	1 %
C1.1 Autonome zettingen	23 %

Totaal aantal schades 182 in 15 dossiers	Mogelijke oorzaak (% van schades)
C2.1 Verandering van de belasting op de ondergrond, Verbouwing/uitbreiding	4 %
C3.7 Verandering in de ondergrond, Aardbevingen	1 %
D1.1 Geen schade	3 %
Onvoldoende beeldmateriaal	2 %

Bij 70 % van de schade is aardbevingen als mogelijke preliminaire oorzaak benoemd met de onderstaande toelichtingen:

- schade versnelt door beving (117 maal);
- scheurvorming verergerd door beving (14 maal).

Gezien de omvang van de steekproef was het echter nog niet mogelijk om de toets uit te voeren. De toets is een cruciaal onderdeel om tot de definitieve schadeoorzaak te komen aangezien het schadebeeld niet uniek is bij hogere trillingsintensiteiten en daardoor lastig visueel te beoordelen is. De mate waarin aardbevingen een bepalende rol hebben gespeeld voor separate schades, verdient nader onderzoek via een grotere adres-omvang. Dan is een onderbouwende toetsing op basis van voldoende data mogelijk. De bevindingen van het lopende onderzoek van de TUD (Commissie Rots) in het binnen- en buitengebied kunnen verder bijdragen aan het vaststellen van (de weging van) schadeoorzaken in het binnengebied.

5

TOETSRESULTATEN

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de patroonherkenning beschreven. In de eerste paragraaf worden de uitkomsten van de regressie-analyse besproken en in de tweede paragraaf komen de resultaten van de Exceptional Model Mining aan bod. De gestuurde patroonherkenning is middels de toets op falsificatie en toets op verificatie beschreven in respectievelijk paragraaf drie en vier.

Om aan de randvoorwaarde met betrekking tot de onderzoeksperiode te voldoen is de ongestuurde patroonherkenning uitgevoerd op basis van een geconsolideerde dataset van 18 januari 2017. In de periode tussen het consolideren van de dataset en het publiceren van de rapportages hebben zich nog beperkte wijzigingen voorgedaan in de dataset en daarom kunnen aantallen afwijken ten opzichte van de aantallen zoals deze gerapporteerd zijn in andere delen.

5.1 Resultaten statistische analyse

5.1.1 Lineaire regressie-analyse

In deze paragraaf zijn tabellen opgenomen met regressiemodellen en de bijbehorende betrouwbaarheidsindicatoren. Merk op dat al deze modellen zijn gemaakt op basis van genormaliseerde data. Alle numerieke waarden zijn verschaald, met 0 als minimum en 1 als maximum.

Aantal scheuren per gebouw als doelvariabele

In de onderstaande tabel staat een overzicht van alle modellen voor het aantal scheuren per gebouw, op basis van alle numerieke eigenschappen van gebouwen. Alleen modellen met een voldoende p-waarde ($< 0,05$), en voldoende dekking ($1/3$ van 2085; $N = 695$) zijn weergegeven.

De beste modellen zijn uitgelicht. Daarnaast wordt gekeken naar het model dat het aantal scheuren beschrijft door de maximale piekgrondsnelheid.

Tabel 5.1 Regressiemodellen voor het aantal schades per gebouw

Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R^2	p-value	N
number of cracks	0,000	1,000	1	0	2085
number of layerparts	0,021	0,606	0,32340	0,00000	2085
binnenwand	0,059	0,673	0,11864	0,00000	1757
vraag20401	0,575	-0,495	0,09225	0,00000	1958
schade hoek sparing	0,094	0,356	0,08700	0,00000	2085
schade onder sparing	0,098	0,429	0,08197	0,00000	2085
binnenwand afwerking stuuc	0,094	0,337	0,08170	0,00000	1481
schade boven sparing	0,098	0,299	0,07718	0,00000	2085

Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R ²	p-value	N
schade gemeld	0,103	0,384	0,07058	0,00000	1818
binnenwand steenachtig	0,087	0,504	0,06699	0,00000	1700
vraag10401	0,091	0,240	0,05905	0,00000	1950
dak	0,159	-0,485	0,05587	0,00000	1640
schade ontstaan	0,109	0,338	0,05105	0,00000	1579
schade aansluiting wandplafonddak	0,104	0,288	0,05050	0,00000	2085
schade naast sparing	0,106	0,295	0,04467	0,00000	2085
Categoriewoning	0,046	0,132	0,04248	0,00000	1938
schade verticaal	0,108	0,313	0,03470	0,00000	1942
gis bag bouwjaar	0,384	-0,295	0,03388	0,00000	2067
schade in het vlak	0,103	0,274	0,03308	0,00000	2085
schade aansluiting wandwand	0,106	0,262	0,02930	0,00000	2085
vraag2210	0,116	0,063	0,02127	0,00000	1618
cwv premises footprint area incident location	0,111	0,179	0,01936	0,00000	2084
schade horizontaal	0,132	0,204	0,01850	0,00000	1521
binnenwand afwerking verf	0,125	0,255	0,01657	0,00000	1456
binnenzijde gevel behang	0,158	-0,100	0,01466	0,00052	817
vraag2250	0,104	0,035	0,01422	0,00000	2068
vraag2230	0,149	-0,035	0,01131	0,00002	1605
binnenzijde gevel verf	0,139	-0,125	0,01085	0,00007	1452
vtop median	0,105	0,037	0,00747	0,00008	2085
vloer	0,138	-0,114	0,00658	0,00047	1858
afstand tot weg	0,114	0,130	0,00438	0,00249	2085
bodem profiel	0,112	0,023	0,00431	0,00307	2030
vraag10701	0,252	-0,143	0,00402	0,00468	1988
vs30	0,131	-0,024	0,00324	0,00933	2085

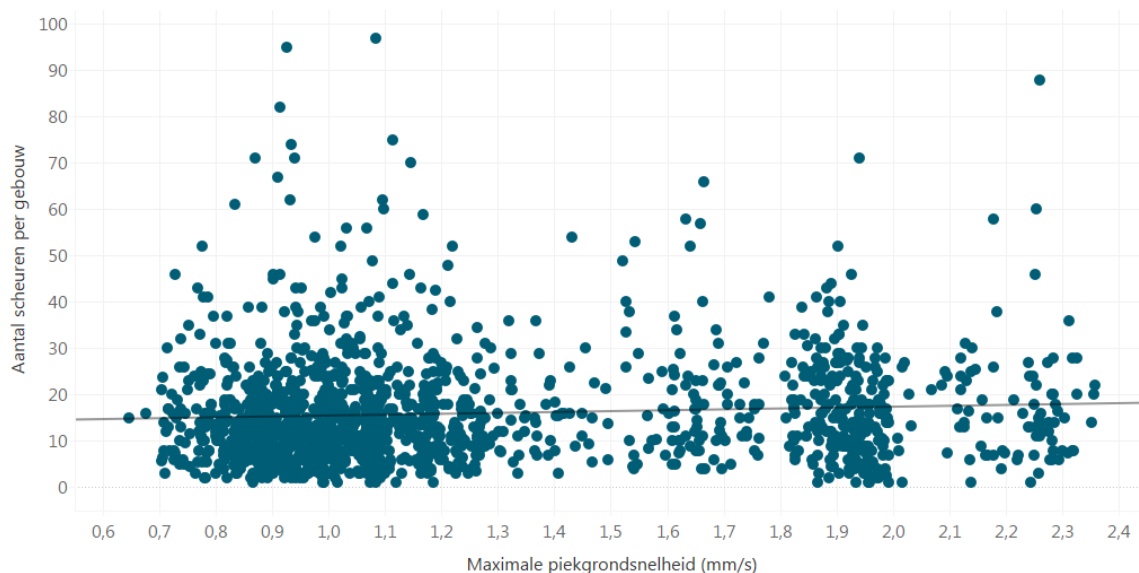
In deze tabel is zichtbaar dat alle modellen een lage R²-waarde hebben. De modellen met de hoogste waarden worden beschreven, evenals het model voor de maximaal gemodelleerde grondsnelheid:

- *number of layerparts* (aantal bouwdelen van een gebouw): het aantal bouwdelen van een gebouw zegt van alle onderzochte gebouweigenschappen het meest over het aantal scheuren. Deze gebouweigenschap zegt echter niets over de fysieke staat van een gebouw, alleen over de omvang. Deze R² blijft overigens laag met 0,3;
- *binnenwand* (verhouding aantal binnenwanden versus totaal aantal bouwdelen): gebouwen met relatief veel binnenwanden hebben meer scheuren, al is de variabiliteit per gebouw erg groot, i.e. de R² erg klein;
- *vraag20401* (bouwjaar van het gebouw): oudere gebouwen (lager bouwjaar) hebben meer schades dan gebouwen met een hoger bouwjaar. Dit is het eerste model met fysieke duiding van een gebouw in relatie tot het aantal scheuren;

- *VTOP mediaan* (maximale piektrillingsnelheid): dit model heeft een R^2 van 0,00747. Dit is erg laag. Minder dan 1 % van de variabiliteit van het aantal scheuren is te duiden met de maximale piektrillingsnelheid: de relatie blijft een puntenwolk.

In afbeelding 5.1 is de maximale piekgrondsnelheid uitgezet tegenover het aantal scheuren. Deze afbeelding betreft de ongenormaliseerde waarden, en laat zien dat de data een puntenwolk vormen (met een paar clusters) en dat R^2 inderdaad laag is.

Afbeelding 5.1 Maximale piekgrondsnelheid uitgezet tegen aantal scheuren per gebouw



Aantal schades met beoordeelde schadeoorzaak als doelvariabele

In onderstaande tabellen staan de resultaten van de regressieanalyse waarbij respectievelijk A11('geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel'), B11('verhinderde vervormingen - initieel') en C11('autonome zetting - gelijkblijvende belasting') als doelvariabele is gekozen. Alle andere numerieke eigenschappen van de gebouwen zijn de bronvariabelen. Net als in tabel 5.1, zijn alleen de modellen weergegeven met voldoende N (>695) en voldoende p-waarde (<0,05).

Tabel 5.2 Regressiemodellen voor het aantal schades met schadebeoordeling A11 per gebouw

Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R^2	p-value	N
a11	0,000	1,000	1	0	2085
number of layerparts	0,022	0,456	0,1410	0,0000	2085
schade boven sparing	0,067	0,410	0,1114	0,0000	2085
vraag20401	0,645	-0,598	0,1008	0,0000	1958
schade hoek sparing	0,069	0,381	0,0766	0,0000	2085
Categoriewoning	-0,009	0,200	0,0698	0,0000	1938
gis bag bouwjaar	0,491	-0,438	0,0573	0,0000	2067
schade onder sparing	0,077	0,399	0,0545	0,0000	2085

Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R ²	p-value	N
vraag10401	0,071	0,212	0,0357	0,0000	1950
dak	0,130	-0,428	0,0336	0,0000	1640
binnenwand	0,060	0,422	0,0333	0,0000	1757
vraag2210	0,083	0,090	0,0333	0,0000	1618
schade gemeld	0,086	0,263	0,0237	0,0000	1818
binnenwand afwerking stuuc	0,085	0,208	0,0218	0,0000	1481
vraag2230	0,133	-0,055	0,0210	0,0000	1605
schade aansluiting wandplafonddak	0,086	0,186	0,0162	0,0000	2085
schade ontstaan	0,092	0,203	0,0135	0,0000	1579
binnenzijde gevel verf	0,114	-0,156	0,0134	0,0000	1452
cwv premises footprint area incident location	0,088	0,164	0,0125	0,0000	2084
vraag2250	0,080	0,036	0,0117	0,0000	2068
schade naast sparing	0,088	0,171	0,0115	0,0000	2085
binnenwand steenachtig	0,085	0,247	0,0114	0,0000	1700
schade verticaal	0,089	0,203	0,0108	0,0000	1942
vloer	0,118	-0,154	0,0089	0,0000	1858
afstand tot weg	0,088	0,198	0,0078	0,0001	2085
vraag10701	0,307	-0,225	0,0078	0,0001	1988
binnenzijde gevel behang	0,129	-0,075	0,0062	0,0239	817
beoordeling zetting gevolg daling oppervlaktewaterpeil winter	0,088	0,026	0,0047	0,0168	1228
buitenzijde gevel steenachtig	0,092	0,110	0,0046	0,0032	1874
schade aansluiting wandwand	0,090	0,117	0,0045	0,0022	2085
buitenzijde gevel verf	0,093	0,109	0,0041	0,0059	1837
schade in het vlak	0,090	0,096	0,0032	0,0103	2085
vtop median	0,086	0,026	0,0028	0,0163	2085
buitenzijde gevel	0,093	0,084	0,0027	0,0212	1933

Tabel 5.3 Regressiemodellen voor het aantal schades met schadebeoordeling B11 per gebouw

Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R ²	p-value	N
b11	0,000	1,000	1	0	2085
number of layerparts	0,017	0,460	0,2020	0,0000	2085
binnenwand	0,058	0,403	0,0436	0,0000	1757
schade aansluiting wandplafonddak	0,081	0,198	0,0257	0,0000	2085
binnenwand afwerking stuuc	0,079	0,216	0,0343	0,0000	1481
dak	0,121	-0,341	0,0289	0,0000	1640
schade onder sparing	0,081	0,207	0,0205	0,0000	2085
schade hoek sparing	0,079	0,165	0,0201	0,0000	2085
binnenwand steenachtig	0,075	0,294	0,0237	0,0000	1700
buitenzijde gevel verf	0,110	-0,201	0,0201	0,0000	1837
buitenzijde gevel	0,109	-0,172	0,0165	0,0000	1933
schade aansluiting wandwand	0,083	0,180	0,0148	0,0000	2085
vraag10401	0,077	0,116	0,0150	0,0000	1950
buitenzijde gevel steenachtig	0,109	-0,170	0,0155	0,0000	1874
schade verticaal	0,085	0,198	0,0147	0,0000	1942
schade gemeld	0,089	0,152	0,0116	0,0000	1818
schade naast sparing	0,085	0,134	0,0100	0,0000	2085
vtop median	0,078	0,036	0,0076	0,0001	2085
schade ontstaan	0,091	0,141	0,0095	0,0001	1579
schade boven sparing	0,085	0,087	0,0071	0,0001	2085
binnenzijde gevel verf	0,107	-0,113	0,0094	0,0002	1452
schade horizontaal	0,102	0,142	0,0089	0,0002	1521
vloer	0,110	-0,118	0,0071	0,0003	1858
vraag1150	0,073	0,041	0,0163	0,0005	737
vraag20401	0,202	-0,120	0,0058	0,0007	1958
binnenwand afwerking verf	0,097	0,160	0,0069	0,0015	1456
vraag2250	0,083	0,018	0,0042	0,0033	2068
Categoriewoning	0,075	0,039	0,0038	0,0068	1938
vraag10701	-0,031	0,129	0,0036	0,0079	1988
schade in het vlak	0,086	0,080	0,0031	0,0115	2085
binnenzijde gevel behang	0,113	-0,068	0,0078	0,0116	817
binnenzijde gevel stuuc	0,100	0,063	0,0027	0,0477	1436

Tabel 5.4 Regressiemodellen voor het aantal schades met schadebeoordeling C11 per gebouw

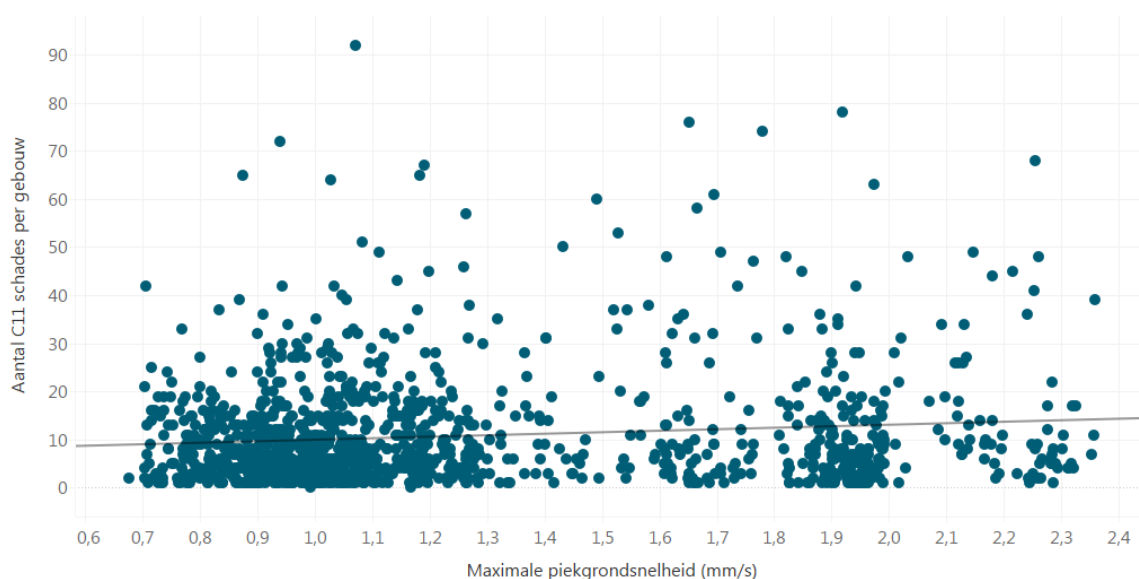
Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R ²	p-value	N
c11	0,000	1,000	1	0	2085
vraag20401	0,699	-0,665	0,1333	0,0000	1958
number of layerparts	0,023	0,400	0,1146	0,0000	2085
schade onder sparing	0,063	0,521	0,0979	0,0000	2085
schade boven sparing	0,063	0,357	0,0895	0,0000	2085
schade hoek sparing	0,060	0,400	0,0889	0,0000	2085
gis bag bouwjaar	0,549	-0,511	0,0826	0,0000	2067
Categoriewoning	-0,009	0,185	0,0633	0,0000	1938
schade gemeld	0,069	0,381	0,0530	0,0000	1818
vraag10401	0,060	0,227	0,0467	0,0000	1950
schade ontstaan	0,073	0,370	0,0448	0,0000	1579
binnenwand	0,048	0,452	0,0397	0,0000	1757
cwv premises footprint area incident location	0,076	0,280	0,0385	0,0000	2084
vraag2210	0,075	0,089	0,0339	0,0000	1618
schade naast sparing	0,076	0,267	0,0297	0,0000	2085
bodem profiel	0,072	0,065	0,0273	0,0000	2030
dak	0,117	-0,368	0,0252	0,0000	1640
vraag2230	0,125	-0,056	0,0236	0,0000	1605
schade in het vlak	0,074	0,253	0,0231	0,0000	2085
schade verticaal	0,078	0,252	0,0176	0,0000	1942
vs30	0,119	-0,061	0,0169	0,0000	2085
binnenwand afwerking stuuc	0,079	0,168	0,0150	0,0000	1481
buitenzijde gevel verf	0,078	0,193	0,0137	0,0000	1837
binnenwand steenachtig	0,075	0,264	0,0135	0,0000	1700
buitenzijde gevel	0,077	0,179	0,0134	0,0000	1933
buitenzijde gevel steenachtig	0,078	0,178	0,0131	0,0000	1874
afstand tot weg	0,079	0,248	0,0129	0,0000	2085
ytop median	0,068	0,054	0,0128	0,0000	2085
schade aansluiting wandplafonddak	0,080	0,158	0,0123	0,0000	2085
vraag2250	0,073	0,035	0,0118	0,0000	2068
vraag10701	0,331	-0,259	0,0108	0,0000	1988
settlement	0,084	0,079	0,0101	0,0000	1694
schade aansluiting wandwand	0,081	0,149	0,0076	0,0001	2085
vloer	0,107	-0,136	0,0071	0,0003	1858

Gebouw eigenschap	Intercept	Coëfficiënt	R ²	p-value	N
binnenwand afwerking verf	0,093	0,170	0,0055	0,0048	1456
beoordeling zetting gevolgdaling oppervlaktewaterpeil winter	0,078	0,022	0,0034	0,0400	1228
schade aansluiting vloerwand	0,085	0,122	0,0032	0,0099	2085
binnenzijde gevel verf	0,098	-0,073	0,0030	0,0381	1452

Uit deze bovenstaande tabellen blijkt dat:

- *number of layerparts (aantal bouwdelen van een gebouw)*: het aantal bouwdelen is een eigenschap die in alle drie de tabellen vrij hoog scoort;
- *vraag 20401 (bouwjaar van gebouw)*: het bouwjaar scoort in categorie A11 en C11 relatief hoog (respectievelijk $R^2 = 0,1008$ en $0,1333$), terwijl deze in categorie B11 ('verhinderde vervormingen - initieel') laag is ($R^2 = 0,0059$);
- *vtop median (maximale piekgrondsnelheid)*: deze bronvariabele geeft bij A11: $R^2 = 0,0028$, bij B11: $R^2 = 0,0076$ en bij C11: $R^2 = 0,0128$. Bij C11 zien we de hoogste coëfficiënt. Van deze drie schadecategorieën kan dus gezegd worden dat de maximale piekgrondsnelheid het sterkst gekoppeld is aan C11 (al is het nog steeds zwak). De relatie tussen aantal C11-schades en maximale piekgrondsnelheid is weergegeven in afbeelding 5.2. Zichtbaar is dat deze afbeelding net iets minder een puntenwolk is dan het totaal aantal scheuren uitgezet tegen maximale piekgrondsnelheid (zie afbeelding 5.1).

Afbeelding 5.2 Maximale piekgrondsnelheid uitgezet tegen aantal schades van categorie C11



5.2 Exceptional Models

De methode van Lineaire Regressie toont de relaties tussen alle gebouweigenschappen en het aantal scheuren alsook de relatie tussen gebouweigenschappen en het aantal schades van een bepaalde schadecategorie A11('geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel'), B11('verhinderde vervormingen - initieel') en C11('autonome zetting - gelijkblijvende belasting').

Uit de lineaire regressie-analyse bleek dat geen van de gebouweigenschappen een overtuigende en bruikbare relatie had met het aantal scheuren in een gebouw, of specifiek met schades in een bepaalde categorie. In die methodiek zijn echter alleen de numerieke eigenschappen van de gebouwen gebruikt, en is er telkens een model gemaakt op basis van de gehele dataset. Met de EMM methodiek worden beide problemen ondervangen: EMM kan omgaan met nominale en binaire waarden en daarnaast worden allerlei subgroepen van de dataset getoetst.

Deze paragraaf presenteert de resultaten van de zoektocht naar Exceptional Models. Twee relaties zijn nader onderzocht:

- aantal scheuren ten opzichte van de maximale piekgrondsnelheid;
- aantal schades in een bepaalde categorie (A11, B11 en C11) per vierkante meter ten opzichte van het bouwjaar.

Aantal scheuren per gebouw versus maximale piekgrondsnelheid

In dit deel zijn de resultaten van de Exceptional Model Mining ten opzichte van de globale relatie tussen de maximale piekgrondsnelheid en het aantal scheuren per gebouw beschreven.

Het globale model wordt beschreven door:

$$\text{aantal scheuren} = a + b * pgv_{max}$$

waarbij $a = 12.16084$ en $b = 2.68077$. tabel 5.1 geeft (voor het geschaalde model) een $R^2 = 0,00747$ met een p-waarde van 0,00008.

Specifieke subgroepen (een subgroep is een groep gebouwen met die allemaal een zelfde gebouweigenschap hebben) hebben een ander model, en als deze subgroep met het andere model voldoende bijzonder is, dan is dat een exceptioneel model.

In de onderstaande tabellen staan de gevonden exceptionele modellen. De waarde N geeft aan hoeveel gebouwen in de subgroep zitten. De p-waarde geeft aan hoe bijzonder de gevormde subgroep is ten opzichte van een random trekking. Alleen subgroepen met $N > 20$ en met een voldoende lage p-waarde ($< 0,05$) zijn gepresenteerd. Als alle subgroepen een te hoge p-waarde ($> 0,05$) hebben, zijn de drie meest exceptionele gegeven.

De subgroepen worden per niveau (aantal condities van de subgroep) gepresenteerd.

Tabel 5.5 Exceptional Models bij aantal scheuren ten opzichte van maximale piekgrondsnelheid, niveau 1

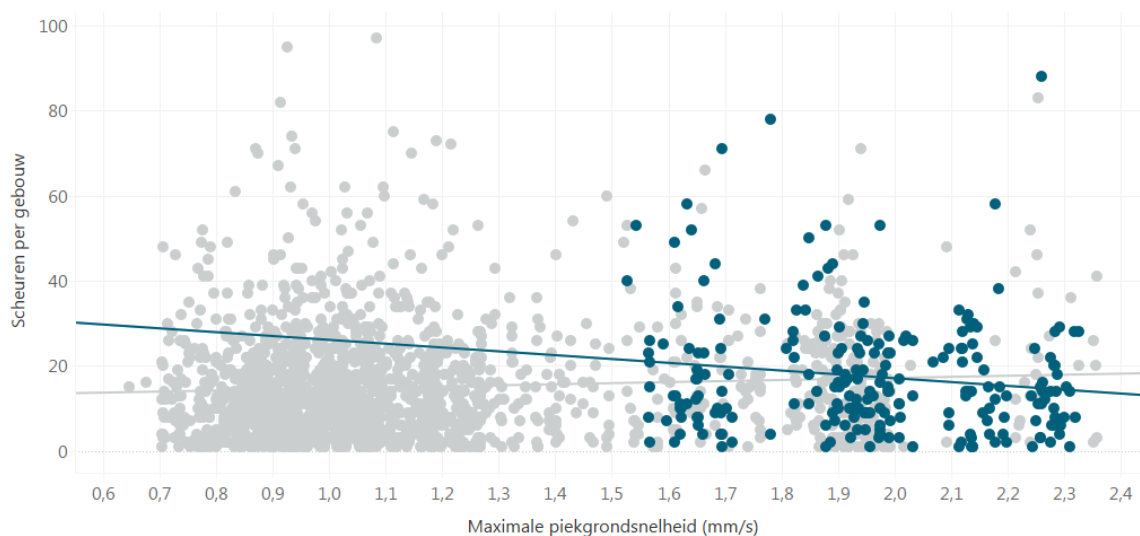
N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt pgv_max
237	0,6479068	bodem profiel = 1a	-7,92367
55	0,6711494	bodem profiel = ?	12,80523
42	0,7386668	vraag1180 blikseminslag = 1	-5,78861
2085	-	globaal model	2,68077

In tabel 5.5 staan de subgroepen die gevormd worden met één eigenschap. Er zijn geen significante subgroepen gevormd. Dat betekent dat er geen reden is om exceptionele modellen te gebruiken om afwijkingen te duiden.

Om een beeld te geven van het eerste exceptionele model is in afbeelding 5.3 een puntenwolk weergegeven, met in grijs de data en het globale model basis van alle gebouwen, en in blauw de data met het model voor (alleen) de gebouwen met het bodemprofiel 1a.

Hieruit volgt dat: het globale model van aantal scheuren uitgedrukt in maximale piekgrondsnelheid geeft een stijgende lijn (de coëfficiënt is 2,68), het subgroepmodel geeft een dalende lijn (de coëfficiënt is -7,92). Op basis van de coëfficiënten is te constateren dat er een toename is in aantal scheuren in gebouwen bij toenemende maximale piekgrondsnelheid, tenzij het gebouw het bodemprofiel '1a' heeft. In die specifieke gevallen is er juist een afname in aantal schades bij toenemende maximale piekgrondsnelheid. Merk op dat beide modellen grote puntenwolken geven, en dus een lage R^2 zullen hebben.

Afbeelding 5.3 Puntenwolk met regressiemodel van relatie tussen maximale piekgrondsnelheid en scheuren per gebouw, voor alle gebouwen (in grijs) en voor de gebouwen met bodem profiel = 1a



In de onderstaande tabel zijn de modellen met twee condities gepresenteerd. Alle bouwdeel- en schade eigenschappen zijn ratio's, waarden tussen nul en één. Dit zijn namelijk relatieve eigenschappen, er is gedeeld door respectievelijk het aantal bouwdelen en het aantal schades.

Tabel 5.6 Exceptional Models bij aantal scheuren ten opzichte van maximale piekgrondsnelheid, niveau 2

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt pgv_max
24	3.58E-08	schade aansluiting wandplafonddak ≥ 0.4117647 & eindoordeel geohydrologie = hoogrisico	-57,64051
26	1.79E-05	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.3773585	-52,66305
20	1.83E-05	eindoordeel geohydrologie = ? & gis bag bouwjaar ≤ 1877.0	-52,63985
27	1.07E-04	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & schade aansluiting wandplafonddak ≥ 0.375	-50,84607
26	3.20E-04	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & schade hoek sparing ≥ 0.53846157	54,95576
22	6.02E-04	bodem profiel = 4a & vraag1180 anders = 1	-48,81354

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt pgv_max
45	8.29E-04	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27	53,76162
23	0.0020	binnenzijde gevel verf >= 0.34042552 & bodem profiel = 5b	52,54998
27	0.0164	binnenwand afwerking stuuc >= 0.3478261 & bodem profiel = 1a	-43,63862
2085	-	globaal model	2,68077

In de onderstaande tabel zijn de modellen met drie condities gepresenteerd. Alle bouwdeel- en schade eigenschappen zijn ratio's, waarden tussen nul en één. Dit zijn namelijk relatieve eigenschappen, er is gedeeld door respectievelijk het aantal bouwdeelen en het aantal schades.

Tabel 5.7 Exceptional Models bij aantal scheuren ten opzichte van maximale piekgrondsnelheid, niveau 3

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt pgv_max
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenzijde gevel verf >= 0.0754717	205,3152
21	0	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & cwv premises footprint area incident location >= 508.0 & vraag1080 aanleggen/herbestratenweg = 0	-177,264
21	0	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & cwv premises footprint area incident location >= 508.0 & vraag1080 weg = 0	-177,264
20	0	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & cwv premises footprint area incident location >= 508.0 & vraag1080 geen = 1	-164,717
29	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenzijde gevel verf >= 0.03409091	164,3439
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenwand afwerking verf >= 0.06818182	157,5261
25	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & vloer >= 0.1	157,3572
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & schade onder sparing >= 0.07692308	149,4148
24	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & schade horizontaal >= 0.1	147,7482
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & number of layerparts >= 34.0	142,7362
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & schade aansluiting wandplafond dak >= 0.014084507	133,5759
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & schade boven sparing >= 0.13043478	133,3429
29	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & number of layerparts >= 27.0	131,396
20	0	bodem profiel = 4a & vraag1080 aanleggen/herbestratenweg = 1 & vraag20401 <= 1907.0	-122,468
20	0	bodem profiel = 4a & vraag1080 weg = 1 & vraag20401 <= 1907.0	-122,468
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenzijde gevel >= 0.3255814	125,8671
20	0	bodem profiel = 4a & vraag1080 aanleggen/herbestratenweg = 1 & binnenwand afwerking stuuc >= 0.3243243	-118,143
20	0	bodem profiel = 4a & vraag1080 weg = 1 & binnenwand afwerking stuuc >= 0.3243243	-118,143
20	0	vraag1080 aanleggen/herbestratenweg = 1 & bodem profiel = 4a & binnenwand	-118,143

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt pgv_max
		afwerking stuuc >= 0.3243243	
29	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & schade horizontaal >= 0.041666668	122,1695
23	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenwand steenachtig >= 0.22222222	119,7718
30	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & vloer >= 0.071428575	118,683
29	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & schade boven sparing >= 0.0625	118,3716
29	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenzijde gevel steenachtig >= 0.25641027	117,6745
34	0	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & vloer >= 0.06779661	117,4583
21	0	eindoordeel geohydrologie = hoogrisico & cwv premises footprint area incident location >= 508.0 & schade naast sparing <= 0.15384616	-110,382
29	1.11E-16	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenwand >= 0.2195122	113,9998
23	2.22E-16	vs30 >= 246.27 & vs30 <= 246.27 & binnenwand afwerking stuuc >= 0.13636364	113,763
20	4.44E-16	bodem profiel = 4a & vraag1080 aanleggen/herbestratenweg = 1 & binnenwand >= 0.41463414	-107,894
20	4.44E-16	bodem profiel = 4a & vraag1080 weg = 1 & binnenwand >= 0.41463414	-107,894
2085	-	globaal model	2,68077

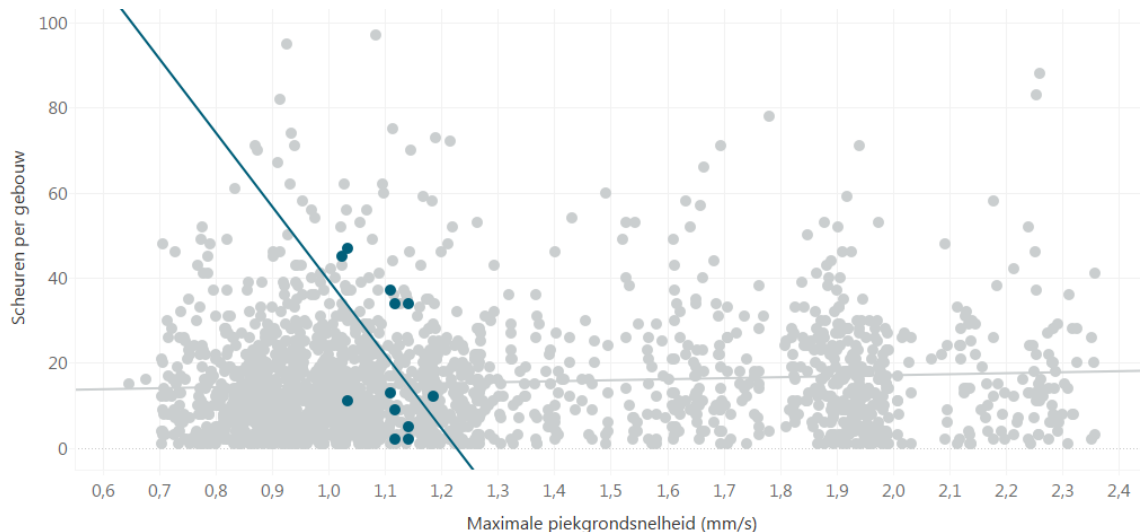
In de drie bovenstaande tabellen zien we dat hoe groter het aantal condities is, hoe exceptioneler de modellen worden. Dit zien we enerzijds terug in de p-waarden, die zijn erg laag, en anderzijds in de coëfficiënt voor de maximale piekgrondsnelheid (die zijn erg hoog).

Hieruit volgt:

- de coëfficiënten van de modellen van subgroepen die erg op elkaar lijken, wisselen sterk. Als voorbeeld zien we bij de subgroepen van niveau 2 (zie tabel 5.6):
 - de gebouwen met een hoog risico met betrekking tot geohydrologie en meer dan 37,5 % van de scheuren in de aansluiting tussen wand, plafond of dak hebben een coëfficiënt van -50,84607 (i.e.: toename van grondversnelling duidt op minder schades);
 - de gebouwen die ook een hoog risico met betrekking tot geohydrologie hebben, maar waar 53,8 % van de scheuren in de hoek van de sparing zitten, hebben een coëfficiënt van 54,95576 (i.e.: toename van grondversnelling duidt op meer schades);
 - dit toont aan dat de gebouweigenschap met betrekking tot de geohydrologie moeilijk te gebruiken is als enkelvoudige onderscheidende eigenschap, terwijl het een onderscheidende conditie is als er meer condities mogen worden opgelegd.

Ter illustratie is de plot weergegeven met de data en het model voor alle gebouwen (grijs) versus de data en model voor de gebouwen met een hoog risico met betrekking tot de geohydrologie, gebouwoppervlakte groter dan 508 m² en geen aanleg of herbestrating van een weg in de afgelopen 10 jaar binnen een straal van 100 m.

Afbeelding 5.4 Puntenwolk met regressiemodel van relatie tussen maximale piekgrondsnelheid en scheuren per gebouw, voor alle gebouwen (in grijs) en voor de gebouwen waarvoor geldt dat: het eindoordeel met betrekking op de geohydrologie is 'hoog risico' én het oppervlakte van het gebouw is groter dan 508 m² én in de omgeving heeft in de afgelopen 10 jaar géén aanleg of herbestrating van een weg plaats gevonden binnen een straal van 100 m



De subgroep heeft zoals te zien in de afbeelding inderdaad een substantieel ander regressiemodel (de blauwe lijn wijkt sterk af ten opzichte van de grijze lijn) maar het regressiemodel is nog steeds niet bruikbaar om het aantal scheuren per gebouw te beschrijven op basis van de maximale piekgrondsnelheid. De spreiding in de maximale piekgrondsnelheid is te klein om een goede fit te kunnen maken.

Er is niet gekeken naar de zeggingskracht van de modellen, alleen naar de afwijking van het model ten opzichte van het globale model. Hiervoor zou de R^2 berekend moeten worden. In voorgaand voorbeeld is het model vanwege de spreiding minder betrouwbaar.

Aantal schades met specifieke schadeoorzaak per vierkante meter versus bouwjaar

In dit deel zijn de resultaten beschreven van de Exceptional Model Mining ten opzichte van de globale relatie tussen respectievelijk schadecategorie A11, B11 en C11 gedeeld door het grondoppervlak van het gebouw en het bouwjaar van het gebouw.

Aantal schades van A11 per vierkante meter

Het globale model voor aantal schades van categorie A11 wordt beschreven door:

$$\frac{\text{aantal A11}}{\text{gebouwoppervlakte}} = a_{A11} + b_{A11} * \text{bouwjaar}$$

waarbij $a_{A11} = 0.00613$ en $b_{A11} = 0.00001$.

Specifieke subgroepen (een subgroep is een groep gebouwen met die allemaal een zelfde gebouweigenschap hebben) hebben een ander model, en als deze subgroep met het andere model voldoende bijzonder is, dan is dat een exceptioneel model.

In de onderstaande tabellen staan de gevonden exceptionele modellen. De waarde N geeft aan hoeveel gebouwen in de subgroep zitten. De p-waarde geeft aan hoe bijzonder de gevormde subgroep is ten opzichte van een random trekking. Alleen subgroepen met $N > 20$ en met een voldoende lage p-waarde ($< 0,05$) zijn gepresenteerd. Als alle subgroepen een te hoge p-waarde ($> 0,05$) hebben, zijn de drie meest exceptionele gegeven.

De coëfficiënt b_{A11} van de subgroep is in de laatste kolom weergegeven. Deze waarde wordt steeds vergeleken met de coëfficiënt b_{A11} van het globale model.

Tabel 5.8 Exceptional Models voor A11 die significant afwijken, met enkelvoudige condities

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{A11} (voor bouwjaar)
64	6,31E-05	vraag1080 bemaling = 1	-0,00033
55	2,46E-04	vraag1180 waterschadedooroverstroming = 1	-0,00032
54	0,46398124	bodem profiel = 3bi	-0,00016
2085	-	globale model	0,00001

In tabel 5.9 zijn de modellen met twee condities gepresenteerd. Alle bouwdeel- en schade eigenschappen zijn ratio's, waarden tussen nul en één. Dit zijn namelijk relatieve eigenschappen, er is gedeeld door respectievelijk het aantal bouwdeelen en het aantal schades.

Tabel 5.9 Exceptional Models voor A11 die significant afwijken, met tweevoudige condities

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{A11} (voor bouwjaar)
66	0.00	binnenzijde gevel behang ≥ 0.060606062 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.12244898	-0,0009
67	0.00	binnenwand afwerking behang ≥ 0.11111111 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.12903225	-0,00084
100	0.00	woningscheidende wand behang ≥ 0.016949153 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.12244898	-0,00082
68	2.78E-15	binnenwand afwerking behang ≥ 0.11111111 & woningscheidende wand ≥ 0.14285715	-0,00077
66	9.21E-15	woningscheidende wand behang ≥ 0.016949153 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.16666667	-0,00077
99	4.80E-14	binnenwand afwerking behang ≥ 0.05882353 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.11904762	-0,00076
50	1.06E-13	woningscheidende wand behang ≥ 0.016949153 & vraag1180 geen = 0	-0,00076
66	4.47E-13	binnenzijde gevel behang ≥ 0.060606062 & woningscheidende wand ≥ 0.13793103	-0,00075
133	4.72E-10	binnenwand steenachtig ≥ 0.25 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.11764706	-0,00071
200	4.90E-10	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & vraag20401 ≥ 1956.0	-0,00071
132	1.52E-09	binnenwand steenachtig ≥ 0.25 & woningscheidende wand ≥ 0.125	-0,0007
66	3.31E-09	binnenzijde gevel behang ≥ 0.1125 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.06896552	-0,0007
99	8.42E-09	woningscheidende wand behang ≥ 0.016949153 & woningscheidende wand ≥ 0.13636364	-0,00069
100	3.94E-08	vs30 ≥ 243.55 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.11111111	-0,00068

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{A11} (voor bouwjaar)
100	2.29E-07	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & vtop median <= 0.95984006	-0,00067
171	2.95E-07	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & vraag20401 >= 1965.0	-0,00066
133	1.20E-06	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & vtop median <= 1.026398	-0,00065
83	2.13E-06	binnenwand afwerking behang >= 0.11111111 & woningscheidende wand stuuc >= 0.045454547	-0.00065
100	3.63E-06	binnenwand afwerking behang >= 0.05882353 & woningscheidende wand >= 0.12903225	-0.00064
102	4.21E-06	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & woningscheidende wand stuuc >= 0.045454547	-0.00064
73	5.33E-05	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & number of layerparts >= 45.0	-0.00061
165	1.60E-04	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & binnenwand steenachtig >= 0.24444444	-0.0006
69	4.32E-04	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & dak >= 0.06451613	-0.00059
66	6.33E-04	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & woningscheidende wand >= 0.17142858	-0.00058
63	7.16E-04	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & vraag2210 = 50km/uur	-0.00058
80	7.82E-04	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & schade horizontaal >= 0.33333334	-0.00058
135	8.10E-04	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & binnenwand steenachtig >= 0.27272728	-0.00058
135	1.01E-03	binnenwand steenachtig >= 0.25 & woningscheidende wand behang >= 0.025	-0.00058
67	1.87E-03	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & vtop median <= 0.90156305	-0.00057
66	4.92E-03	vtop median >= 1.9202284 & woningscheidende wand steenachtig >= 0.05263158	-0.00055
232	5.74E-03	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & vraag20401 >= 1929.0	-0.00055
138	6.49E-03	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & vraag20401 >= 1972.0	-0.00055
133	6.53E-03	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & woningscheidende wand >= 0.11111111	-0.00055
104	6.87E-03	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & schade onder sparing <= 0.0	-0.00055
66	8.67E-03	woningscheidende wand steenachtig >= 0.025641026 & vtop median <= 0.861209	-0.00054
66	0.0126	woningscheidende wand >= 0.03846154 & vtop median <= 0.8606055	-0.00053
69	0.0152	schade naast sparing >= 0.15384616 & woningscheidende wand steenachtig >= 0.09090909	-0.00053
68	0.0197	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & schade ontstaan >= 0.8333333	-0.00053
100	0.0225	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & woningscheidende wand behang >= 0.021276595	-0.00052
70	0.0273	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & woningscheidende wand behang >= 0.03125	-0.00052

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{A11} (voor bouwjaar)
98	0.0303	vs30 >= 243.55 & woningscheidende wand >= 0.12244898	-0.00052
66	0.0317	woningscheidende wand behang >= 0.016949153 & schade ontstaan <= 0.13333334	-0.00051
101	0.0471	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & binnenwand afwerking behang >= 0.078947365	-0.0005
66	0.0475	binnenzijde gevel behang >= 0.1125 & woningscheidende wand >= 0.078431375	-0.0005
2085	-	globale model	0,00001

Aantal schades van B11 per vierkante meter

Het globale model voor aantal schades van categorie B11 wordt beschreven door:

$$\frac{\text{aantal B11}}{\text{gebouwoppervlakte}} = a_{B11} + b_{B11} * \text{bouwjaar}$$

waarbij $a_{B11} = -0.01503$ en $b_{B11} = 0.00003$.

De subgroepen worden op dezelfde manier berekend en gepresenteerd als de subgroepen van het model van A11 en bouwjaar.

Tabel 5.10 Exceptional Models voor B11 die significant afwijken, met enkelvoudige condities

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{B11} (voor bouwjaar)
64	7,70E-02	vraag1080 bemaling = 1	-0,00059
54	6,07E-01	bodem profiel = 3bi	0,00046
135	0,7558745	vraag1080 onbekend = 1	0,0004
2085	-	globale model	0,00003

In tabel 5.11 zijn de modellen met twee condities gepresenteerd. Alle bouwdeel- en schade eigenschappen zijn ratio's, waarden tussen nul en één. Dit zijn namelijk relatieve eigenschappen, er is gedeeld door respectievelijk het aantal bouwdeelen en het aantal schades.

Tabel 5.11 Exceptional Models voor B11 die significant afwijken, met tweevoudige condities

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{B11} (voor bouwjaar)
68	0	buitenzijde gevel <= 0.17777778 & woningscheidende wand stuuc >= 0.083333336	0,00305
67	0	woningscheidende wand steenachtig >= 0.025641026 & woningscheidende wand stuuc >= 0.10344828	0,00243
66	0	woningscheidende wand steenachtig >= 0.09677419 & woningscheidende wand stuuc >= 0.10344828	0,00243

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{B11} (voor bouwjaar)
68	0	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & vraag20401 ≥ 1992.0	0,00209
66	6.24E-14	woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.09677419 & binnenzijde gevel stuuc ≥ 0.1632653	0,002
67	1.08E-11	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & woningscheidende wand stuuc ≥ 0.10638298	0,00193
67	1.08E-11	woningscheidende wand ≥ 0.10714286 & woningscheidende wand stuuc ≥ 0.10638298	0,00193
99	9.92E-09	woningscheidende wand ≥ 0.10714286 & woningscheidende wand stuuc ≥ 0.0754717	0,00182
101	3.99E-08	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & vraag20401 ≥ 1978.0	0,0018
100	3.64E-06	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & woningscheidende wand stuuc ≥ 0.08695652	0,0017
66	7.37E-05	woningscheidende wand ≥ 0.10714286 & binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.26415095	0,00163
99	0.0002	binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.2173913 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.09259259	0,00159
98	0.0004	binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.2173913 & woningscheidende wand ≥ 0.10344828	0,00158
66	0.0005	woningscheidende wand ≥ 0.10714286 & binnenzijde gevel stuuc ≥ 0.16	0,00157
66	0.0008	binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.27272728 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.0952381	0,00155
67	0.0008	binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.27272728 & woningscheidende wand ≥ 0.10344828	0,00155
138	0.0009	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & vraag20401 ≥ 1972.0	0,00155
66	0.0019	binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.27272728 & woningscheidende wand stuuc ≥ 0.071428575	0,00152
66	0.0021	woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.09677419 & binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.26923078	0,00152
102	0.0032	woningscheidende wand ≥ 0.10714286 & binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.2	0,0015
66	0.0066	woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.09677419 & schade gemeld ≥ 0.9166667	0.00147
72	0.0078	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.18181819	0.00146
55	0.0083	bodem profiel = 4a & woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.0862069	0.00146
171	0.0096	woningscheidende wand stuuc ≥ 0.041666668 & vraag20401 ≥ 1965.0	0.00145
98	0.0439	binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.2173913 & woningscheidende wand stuuc ≥ 0.06666667	0.00137
132	0.0451	woningscheidende wand steenachtig ≥ 0.09677419 & binnenwand afwerking stuuc ≥ 0.1590909	0.00136
2085	-	globale model	0,00003

Aantal schades van C11 per vierkante meter

Het globale model voor aantal schades van categorie C11 wordt beschreven door:

$$\frac{\text{aantal C11}}{\text{gebouwoppervlakte}} = a_{C11} + b_{C11} * \text{bouwjaar}$$

waarbij $a_{C11} = 0.00613$ en $b_{C11} = 0.00001$.

De subgroepen worden op dezelfde manier berekend en gepresenteerd als de subgroepen van het model van A11 en bouwjaar.

Tabel 5.12 Exceptional Models voor C11 die significant afwijken, met enkelvoudige condities

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{C11} (voor bouwjaar)
64	2,71E-05	vraag1080 bemaling = 1	-0,0006
55	3,86E-02	vraag1180 waterschade door overstroming = 1	-0,00047
54	0,11418275	bodem profiel = 3bi	-0.00043
2085	-	globale model	0,00001

In tabel 5.13 zijn de modellen met twee condities gepresenteerd. Alle bouwdeel- en schade eigenschappen zijn ratio's, waarden tussen nul en één. Dit zijn namelijk relatieve eigenschappen, er is gedeeld door respectievelijk het aantal bouwdeelen en het aantal schades.

Tabel 5.13 Exceptional Models voor C11 die significant afwijken, met tweevoudige condities

N	P-waarde	Conditie	Coëfficiënt b_{C11} (voor bouwjaar)
70	4.38E-04	number of layerparts >= 46.0 & woningscheidende wand stuuc >= 0.039215688	-0,00106
73	0.0011	woningscheidende wand stuuc >= 0.041666668 & number of layerparts >= 45.0	-0,00104
67	0.0415	binnenwand afwerking behang >= 0.11111111 & woningscheidende wand steenachtig >= 0.12903225	-0,00092
2085	-	globaal model	0,00001

Enkelvoudige relaties

In de bovenstaande tabellen met enkelvoudige condities zien we de volgende punten:

- *vraag 1080 | bemaling* (Heeft er in de afgelopen 10 jaar binnen een straal van 100m bemaling plaatsgevonden?): deze eigenschap staat voor alle drie schadecategorieën (A11, B11 én C11) op de eerste plek, met (relatief) sterk negatieve coëfficiënt. Dit betekent dus in het model dat als sprake is bemaling, een ander verband zichtbaar is tussen het bouwjaar en de schades van dat type. Voor deze dataset betekent dit dat als sprake is van bemaling, het bouwjaar een rol speelt in het aantal schades (hoe ouder het gebouw, hoe meer schades), terwijl deze invloed niet zichtbaar is als er geen bemaling heeft plaatsgevonden;
- *bodemprofiel = 3bi* staat voor alle schadecategorieën op plek 2 of 3. De hellingen verschillen wel bij de verschillende schadecategorieën:

- bij A11 ('geen overbelasting, onvoldoende sterkte/stijfheid - initieel') is de relatie (tamelijk) negatief (maar minder significant);
- bij B11 ('verhinderde vervormingen - initieel') is de relatie sterk positief;
- en bij C11 ('autonome zetting - gelijkblijvende belasting') is deze sterk negatief.

Voor deze dataset betekent dit dat voor gebouwen met bodemprofiel 3bi geldt dat nieuwere gebouwen meer B11-schades hebben dan oudere gebouwen, terwijl deze minder C11-schades hebben;

- *vraag1180 | waterschade door overstroming (Is er in de afgelopen 10 jaar waterschade door overstroming geweest?)*: Deze eigenschap is bij alle groepen sterk negatief. Dit impliceert dat als deze schade zich wel heeft voorgedaan, het bouwjaar een rol speelt in het aantal schades (hoe ouder het gebouw, hoe meer schades), terwijl de relatie zich niet aftekent als deze schade zich niet heeft voorgedaan. Bij B11-schades is de subgroep niet significant.

Meervoudige relaties

Bij de subgroepen met tweevoudige condities zien we dat het wandtype en de afwerking domineert in het bepalen van de subgroepen. De meest voorkomende eigenschappen zijn:

- *woningscheidende wand stuuc* (verhouding van het aantal woningscheidende wanden, afgewerkt met stuc versus het totaal aantal bouwdelen);
- *woningscheidende wand steenachtig* (verhouding van het aantal steenachtige woningscheidende wanden versus het totaal aantal bouwdelen);
- *binnenwand afwerking behang* (verhouding van het aantal binnenwanden, afgewerkt met behang versus het totaal aantal bouwdelen);
- *binnenwand afwerking stuuc* (verhouding van het aantal binnenwanden, afgewerkt met stuc versus het totaal aantal bouwdelen);
- *binnenzijde gevel stuuc* (verhouding van het aantal bouwdelen van de binnenzijde van de gevel, afgewerkt met stuc versus het totaal aantal bouwdelen);
- *buitenzijde gevel* (verhouding van het aantal bouwdelen van de buitenzijde van de gevel versus het totaal aantal bouwdelen);

Al deze eigenschappen zijn geaggregeerde gebouweigenschappen op basis van bouwdelen. Omdat het aantal bouwdelen met de specifieke karakteristiek gedeeld is door het totaal aantal bouwdelen, is er bij deze waarden dus telkens sprake van een ratio.

Twee interpretatievoorbeelden:

- het globale model voor het aantal B11-schades ten opzichte van het bouwjaar heeft een coëfficiënt van bijna nul. Voor gebouwen die meer dan 8 % van de bouwdelen woningscheidende wand, afgewerkt met stuc heeft, en minder dan 18 % bouwdelen buitengevel, is de coëfficiënt 0.00305. Dat wil zeggen: bij gebouwen waar deze condities gelden, neemt het aantal schades toe als het bouwjaar toeneemt (meer schades bij nieuwere gebouwen);
- het globale model voor het aantal C11-schades ten opzichte van het bouwjaar heeft een coëfficiënt van bijna nul. Voor gebouwen met meer dan 46 bouwdelen en met meer dan 3% van de bouwdelen 'woningscheidende wand, afgewerkt met stuuc' is de coëfficiënt -0,00106 (dus minder schades bij nieuwere gebouwen);

De uitgevoerde analyse is op gebouwniveau. Dat zorgt voor ratio's bij de bouwdelen. Analyse op bouwdeelniveau zou in dit opzichte intuïtiever zijn, maar omdat er per bouwdeel een beperkte spreiding is in het aantal schades (bouwdelen hebben vaak 0 of 1 en soms 2 schades), zal dit de zeggingskracht van de modellen negatief beïnvloeden.

Daarnaast zien we het volgende:

- bij A11 en C11 zien we dat alle (tweevoudige) subgroepen een negatieve relatie hebben tussen aantal A11/C11-schades en bouwjaar. Alle (tweevoudige) subgroepen bij B11 hebben juist een positieve relatie tussen B11-schades en bouwjaar. Dit betekent dat B11 schades relatief vaker voorkomen bij nieuwere gebouwen, terwijl A11 en C11 schades relatief vaker voorkomen bij oudere gebouwen;
- alleen bij A11-schades zijn modellen gevonden waarbij de maximale piekgrondsnelheid een rol speelt in het bepalen van de subgroep.

- er zijn veel subgroepen gevonden die sterk aan elkaar gecorreleerd zijn. Bijvoorbeeld: het aantal woningscheidende wanden, afgewerkt met stuc is gecorreleerd aan het aantal woningscheidende wanden. Dit zorgt ervoor dat beide subgroepen voorkomen in de lijst van modellen.

Ook hier is alleen naar de afwijking van het model ten opzichte van het globale model gekeken, niet naar de zeggingskracht, c.q. betrouwbaarheid van de modellen. Hiervoor moet de R^2 berekend moeten worden.

5.3 Toets op falsificatie

5.3.1 Trillingen ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen

Introductie

De trillingen door aardbevingen zijn op basis van twee verschillende GMPE modellen berekend, de Versie 0 en Versie 4 GMPE. De modellen zijn in Bijlage I beschreven. De uitkomst van de modelberekening (voor zowel Versie 0 en Versie 4) is een maat voor de trillingen, ook wel aardbevingsbelasting genoemd, in de eenheden PGV (piekgrondsnelheid), VTOP (piektrillingssnelheid) en PGA (piekgrondversnelling). De VTOP waarde (een afgeleide van PGV) is gebruikt voor de falsificatie, door middel van toetsing aan de richtlijn SBR deel A. De overige eenheden PGA maar VTOP zelf natuurlijk ook, kunnen aanvullend gebruikt worden in de toetsing op falsificatie door het analyseren van elke mogelijke relatie met schade, schadebeelden of een combinatie van factoren. Bij de toets op aardbevingsbelasting en schade wordt gekeken naar alle schades, maar ook specifiek naar schades (scheuren) die niet zijn geclassificeerd, die dus een onbekende schade oorzaak hebben, omdat deze wellicht juist de aardbevingsschades zouden kunnen zijn. Aardbevingsschade in het buitengebied is namelijk niet als zodanig te herkennen.

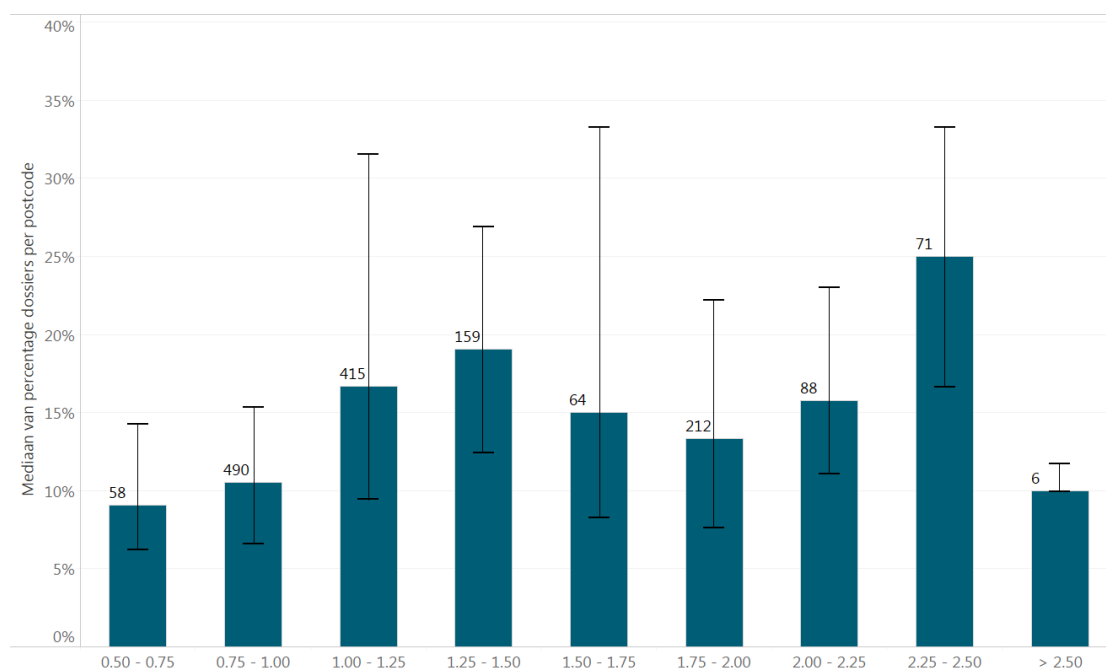
Relatie met aantal (percentage) meldingen

De verwachting is dat bij hogere aardbevingsbelastingen en dichterbij een epicentrum van de grotere of maatgevende aardbevingen in een gebied, er meer schademeldingen zijn. De verdeling van het relatieve aantal meldingen (als percentage) in relatie met de opgetreden trillingssnelheid is weergegeven in de vorm van histogrammen (staafdiagrammen) met het percentage meldingen ten opzichte van de VTOP waarden (zowel obv Versie 0 als Versie 1). Het percentage dossiers is berekend door per postcode (cijfers en letters) te kijken naar totaal aantal BAG adressen en het aantal adressen wat een melding heeft gedaan. Omdat postcodes redelijk gelijk ingedeeld zijn qua aantal BAG adressen is dit een maat voor het bepalen van de dichtheid van het aantal meldingen.

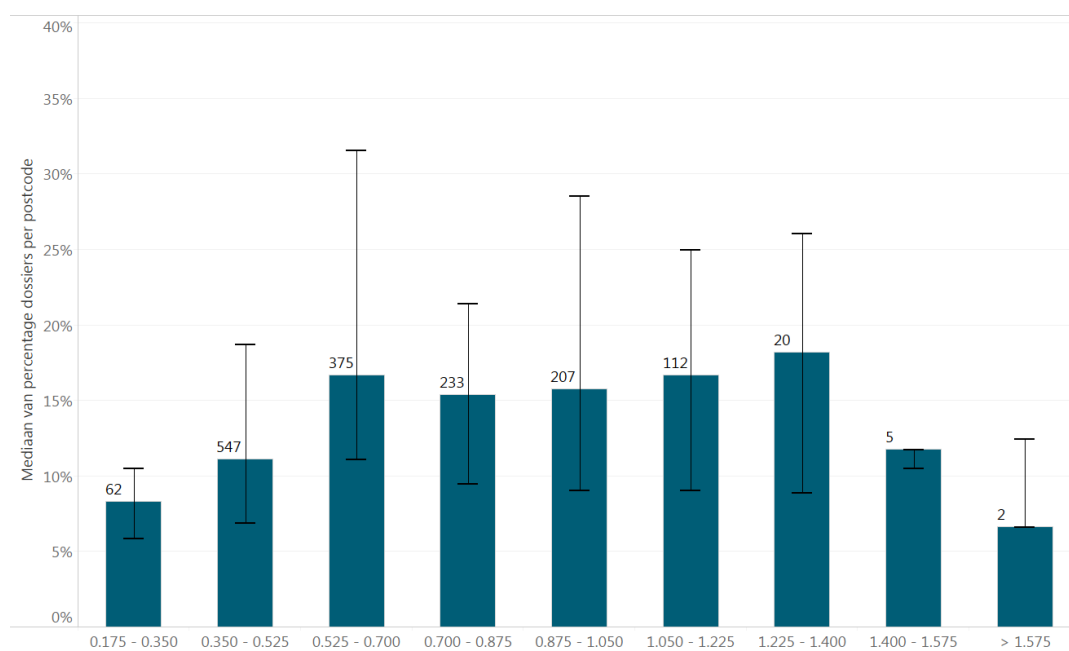
Door per adres te kijken wat de dichtheid is van het aantal meldingen in het bijbehorende postcodegebied en dit te combineren met de berekende waarde voor de VTOP op dit adres kan een mediaan bepaald worden voor het percentage meldingen per VTOP/PGA.

De verdeling van het relatieve aantal schademeldingen in relatie met de opgetreden trillingssnelheid is weergegeven in Afbeelding 5.5 en Afbeelding 5.6. Uit deze grafieken blijkt dat er geen relatie is met de trillingssnelheid.

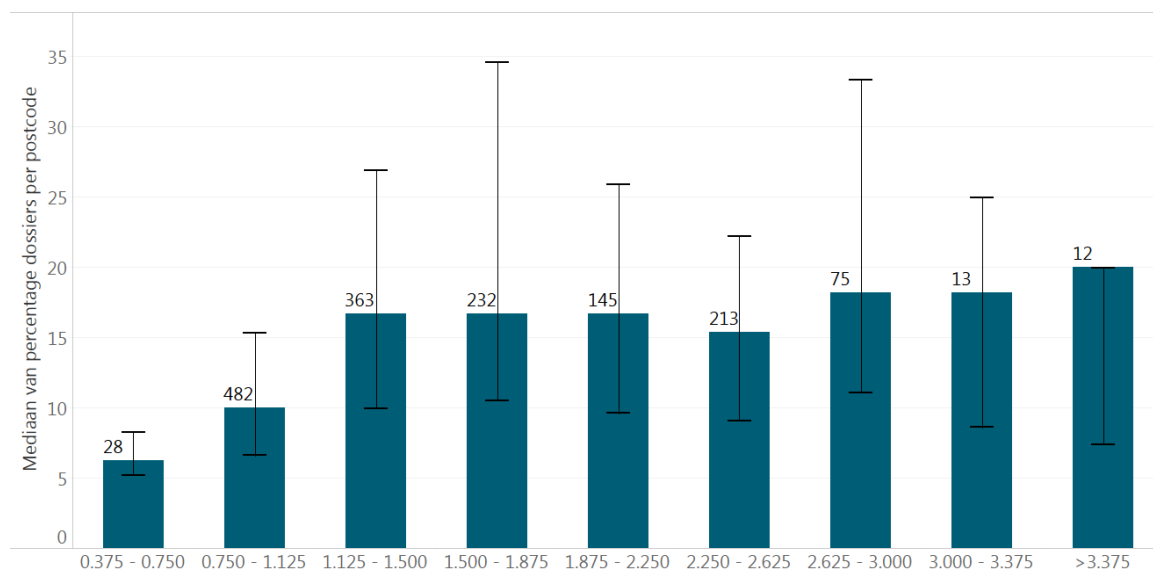
Afbeelding 5.5 Percentage schade meldingen ten opzichte van VTOP (V0). Ook het absolute aantal is gegeven samen met de boven- en ondergrens van de verdeling qua percentage



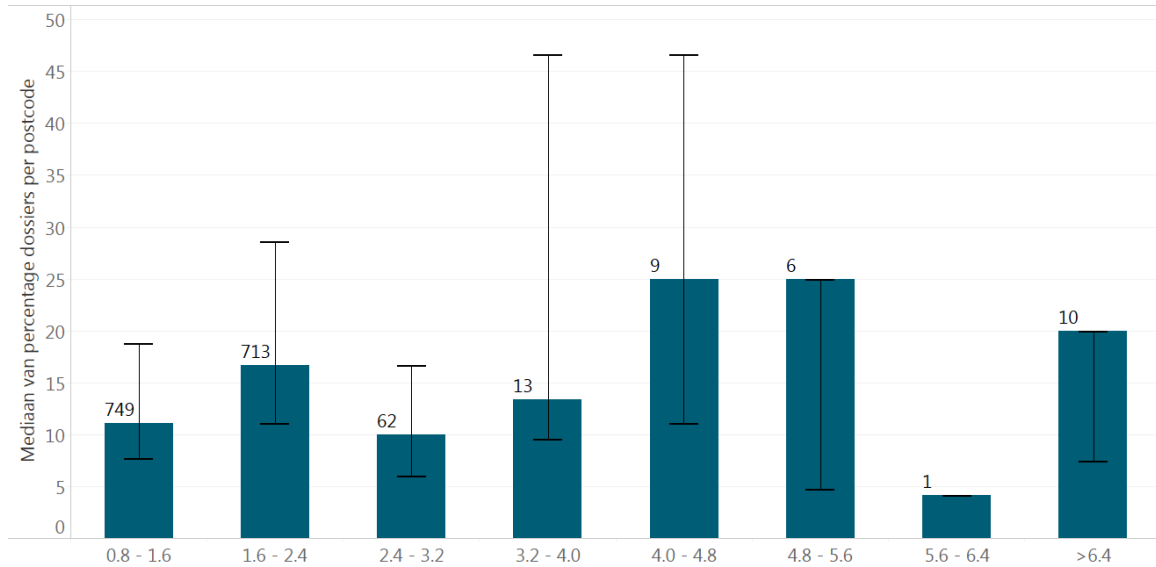
Afbeelding 5.6 Percentage schade meldingen ten opzichte van VTOP (V4). Ook het absolute aantal is gegeven samen met de boven- en ondergrens van de verdeling qua percentage



Afbeelding 5.7 Percentage schade meldingen ten opzichte van PGA (V0). Ook het absolute aantal is gegeven samen met de boven- en ondergrens van de verdeling qua percentage



Afbeelding 5.8 Percentage schade meldingen ten opzichte van PGA (V1). Ook het absolute aantal is gegeven samen met de boven- en ondergrens van de verdeling qua percentage

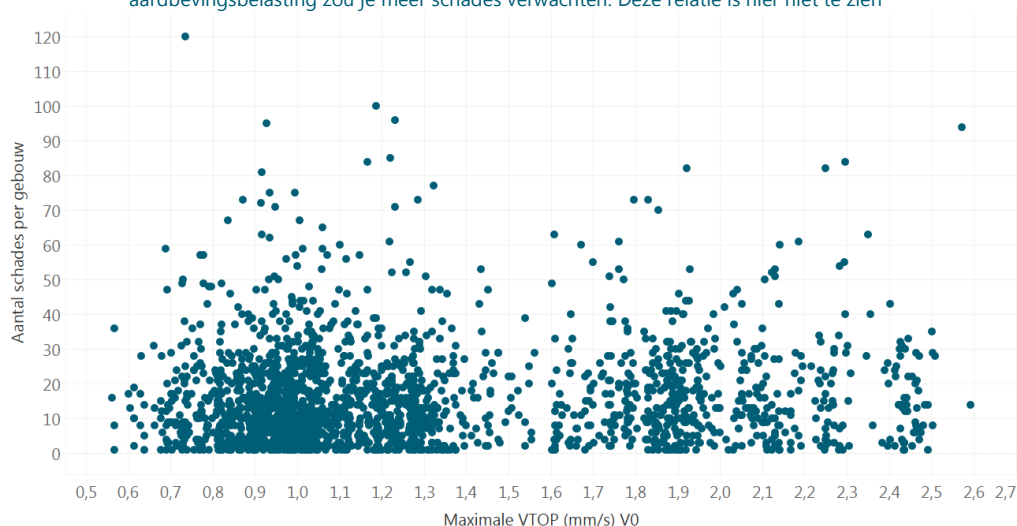


Relatie met omvang schade

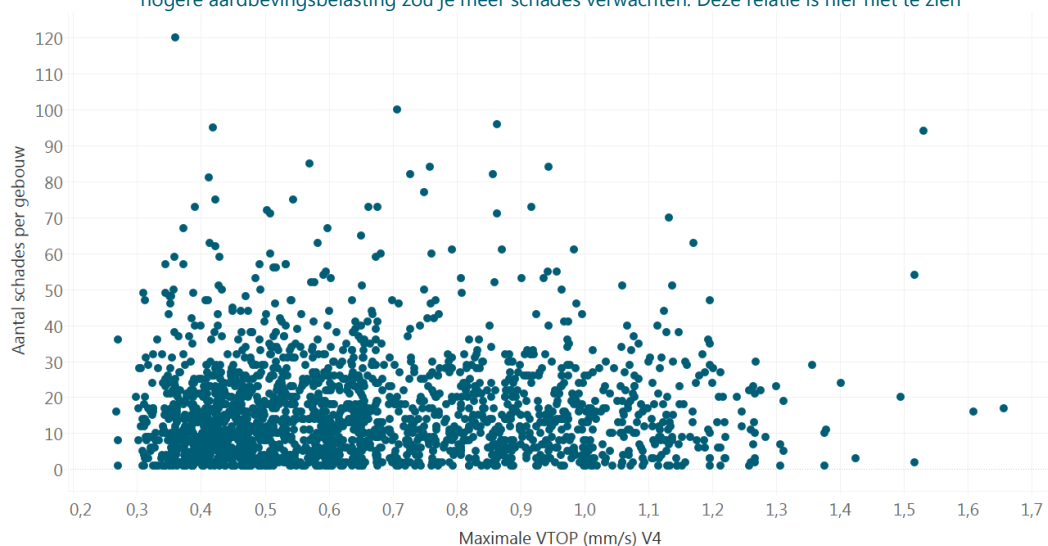
Een voor de hand liggende analyse is de mogelijke relatie tussen de omvang van de schade, bijvoorbeeld in de vorm van het aantal schades per gebouw en de aardbevingsbelasting. Bij een hoge aardbevingsbelasting zal er vermoedelijk meer schade zijn ontstaan. Schade is hier op verschillende manieren beschouwd:

- Totale schades per gebouw (zie Afbeelding 5.9 en Afbeelding 5.10). De verdeling van het absolute aantal schades in relatie met de opgetreden trillingssnelheid vertoont geen relatie
- Schades genormaliseerd per woonoppervlak van een gebouw Afbeelding 5.13 en Afbeelding 5.14). De verdeling van de genormaliseerde schades in relatie met de opgetreden trillingssnelheid vertoont geen relatie
- Scheuroppervlak (scheurlengte x breedte) per gebouw (het idee hierachter is om een correlatie te vinden met echt grote schades) (zie Afbeelding 5.17 en Afbeelding 5.18). De verdeling scheuroppervlak in relatie met de opgetreden trillingssnelheid vertoont geen relatie
- Alleen schades die onbekende oorzaak hebben (zie Afbeelding 5.21 en Afbeelding 5.22). Er is geen relatie te zien met het aantal onbekende schade oorzaken en de opgetreden trillingssnelheid. Te zien is dat er maar relatief weinig schades als onbekend worden geclassificeerd (maximaal 7). Een aanvullend analyse is nog gemaakt om te kijken of er een relatie bestaat gebouwen die onbekende schade hebben gehad ten opzichte van gebouwen die geen onbekende schade hebben (zie Afbeelding 5.23 en Afbeelding 5.24). Deze grafieken vertonen ook geen relatie.

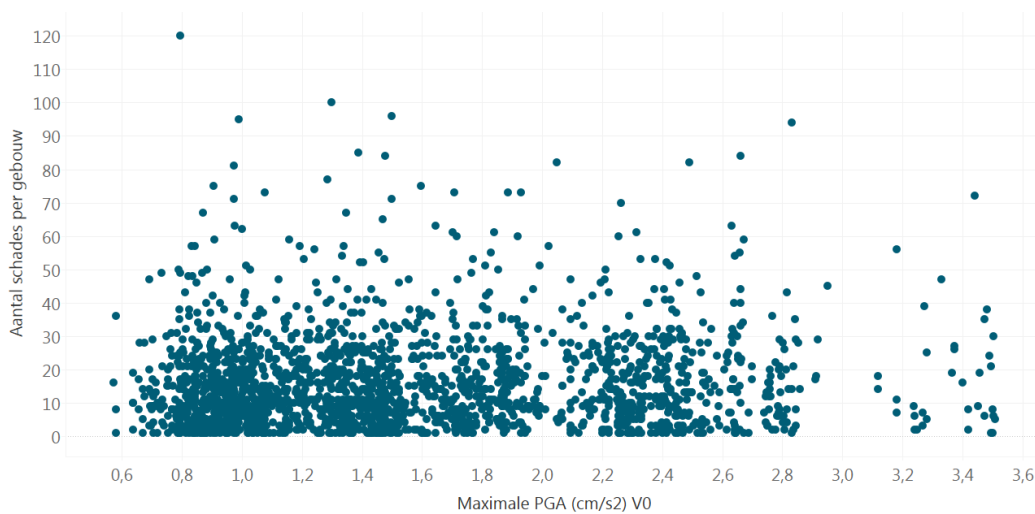
Afbeelding 5.9 Het absolute aantal schades per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



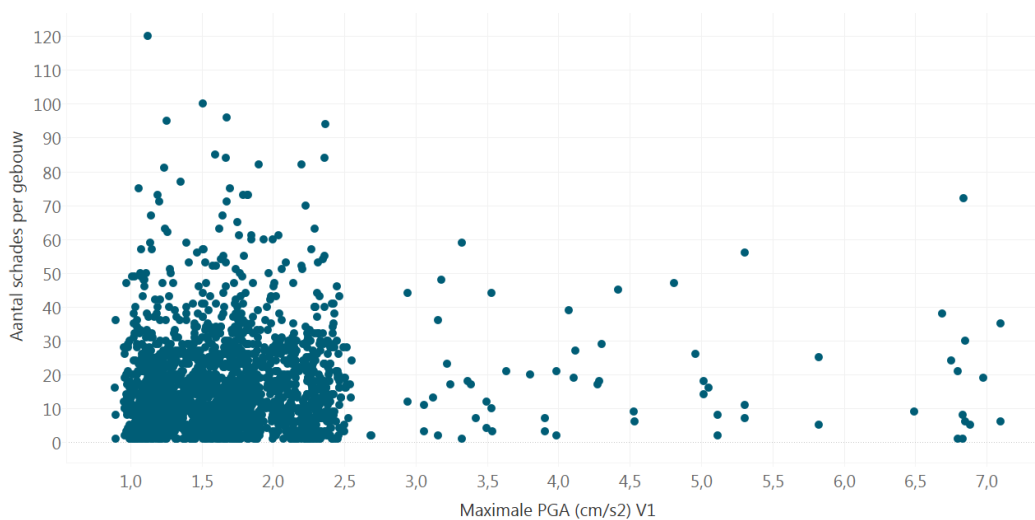
Afbeelding 5.10 Het absolute aantal schades per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



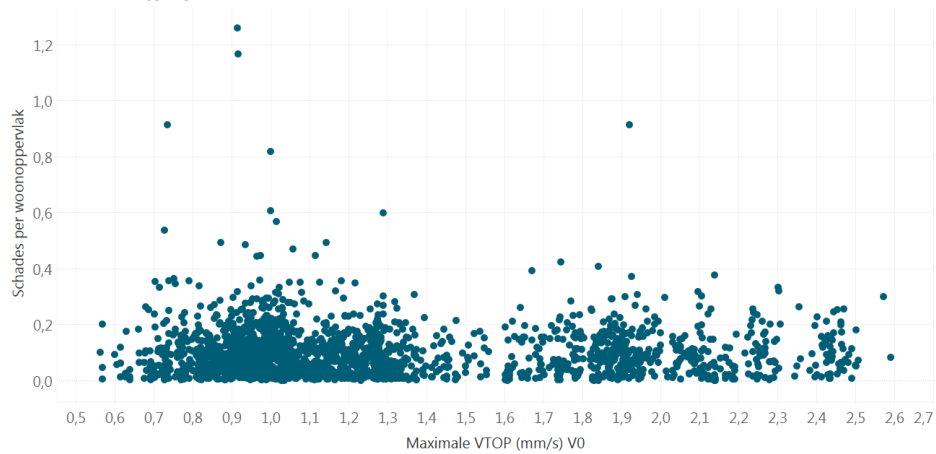
Afbeelding 5.11 Het absolute aantal schades per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



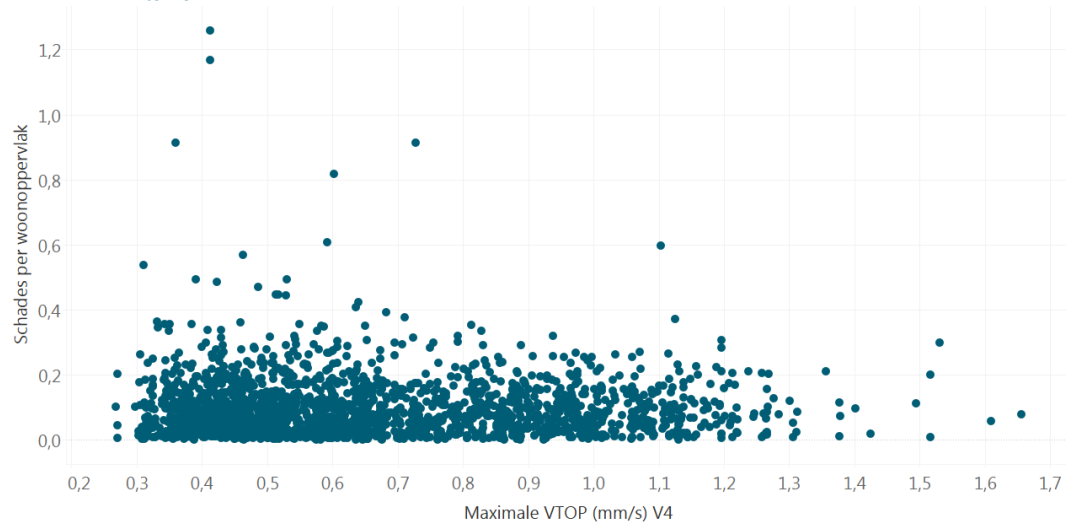
Afbeelding 5.12 Het absolute aantal schades per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



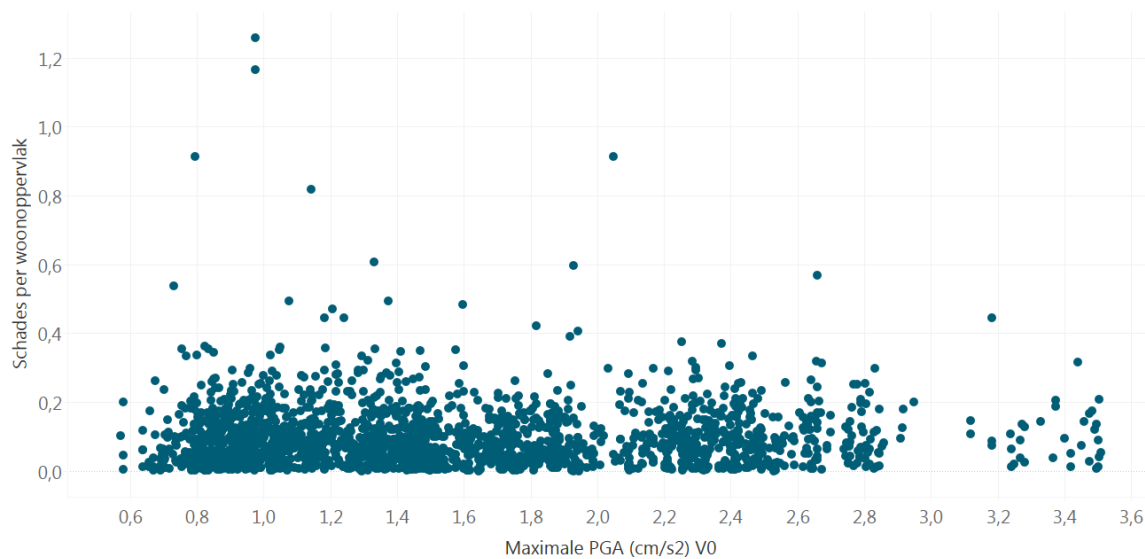
Afbeelding 5.13 Het aantal schades per gebouw per woonoppervlak (genormaliseerd) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



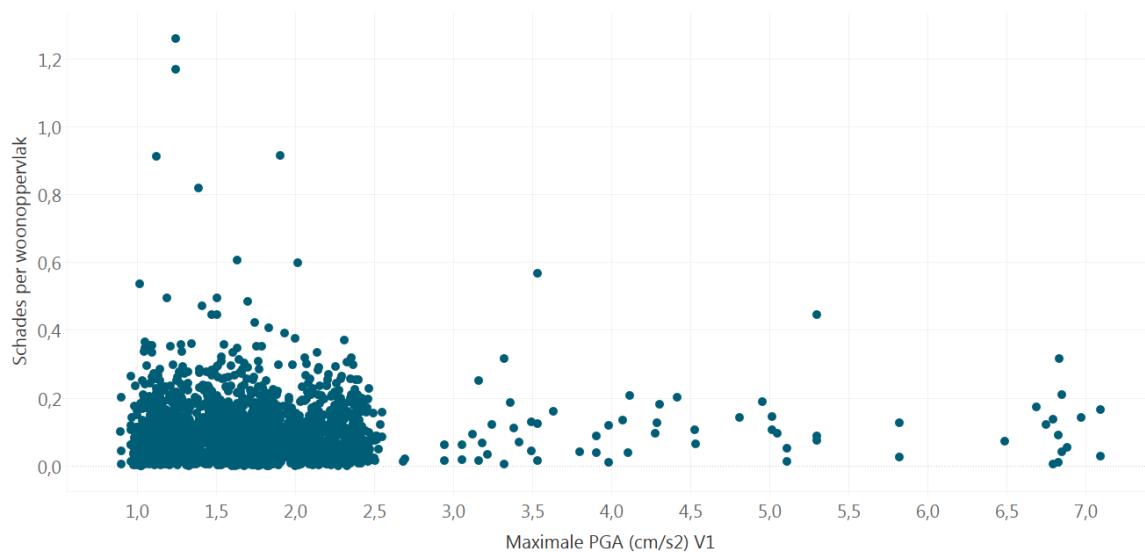
Afbeelding 5.14 Het aantal schades per gebouw per woonoppervlak (genormaliseerd) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



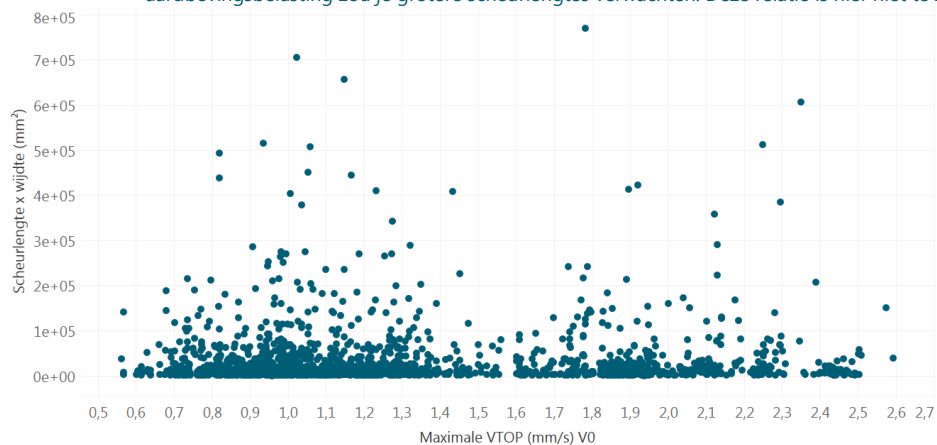
Afbeelding 5.15 Het aantal schades per gebouw per woonoppervlak (genormaliseerd) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



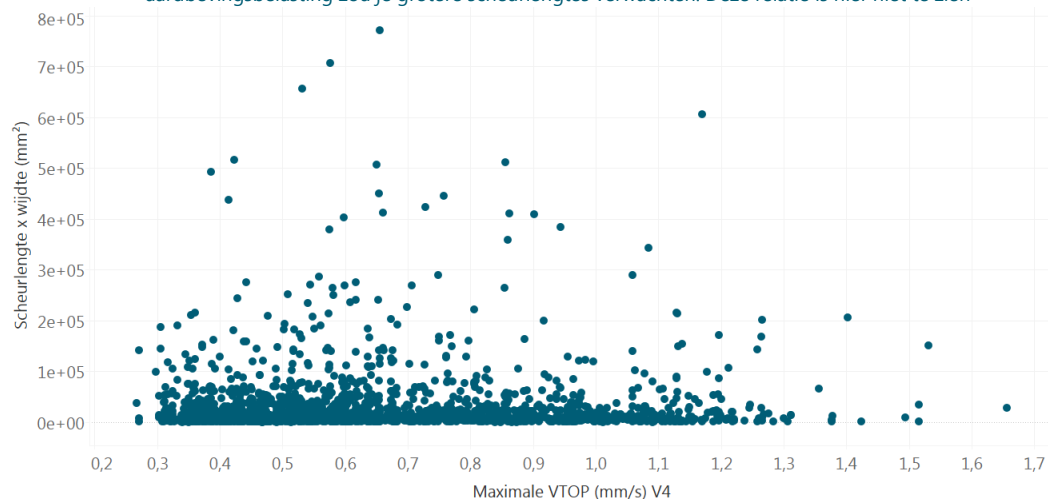
Afbeelding 5.16 Het aantal schades per gebouw per woonoppervlak (genormaliseerd) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je meer schades verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



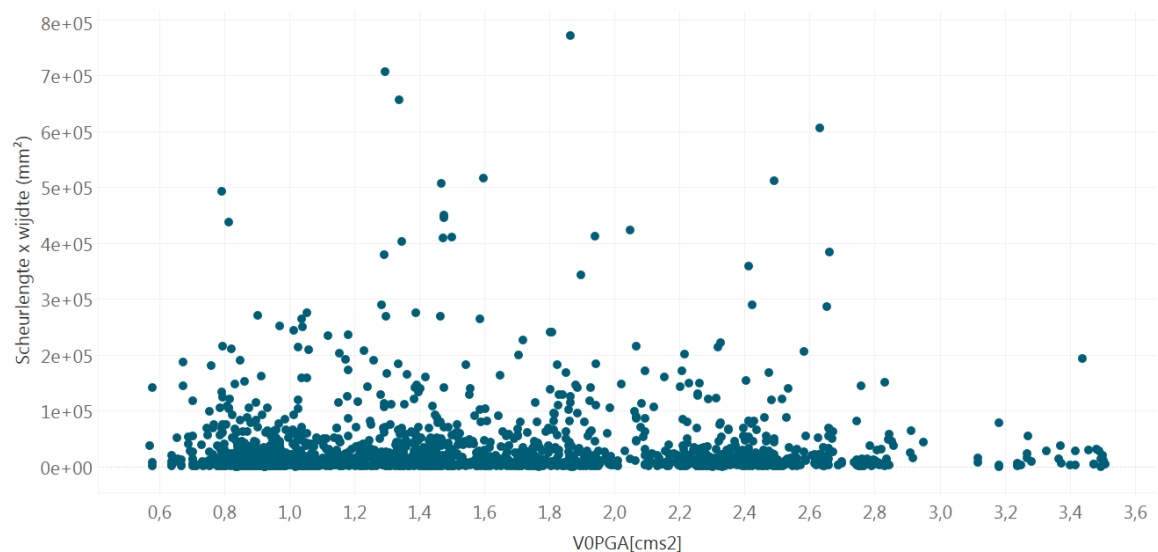
Afbeelding 5.17 Scheurlengtes per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je grotere scheurlengtes verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



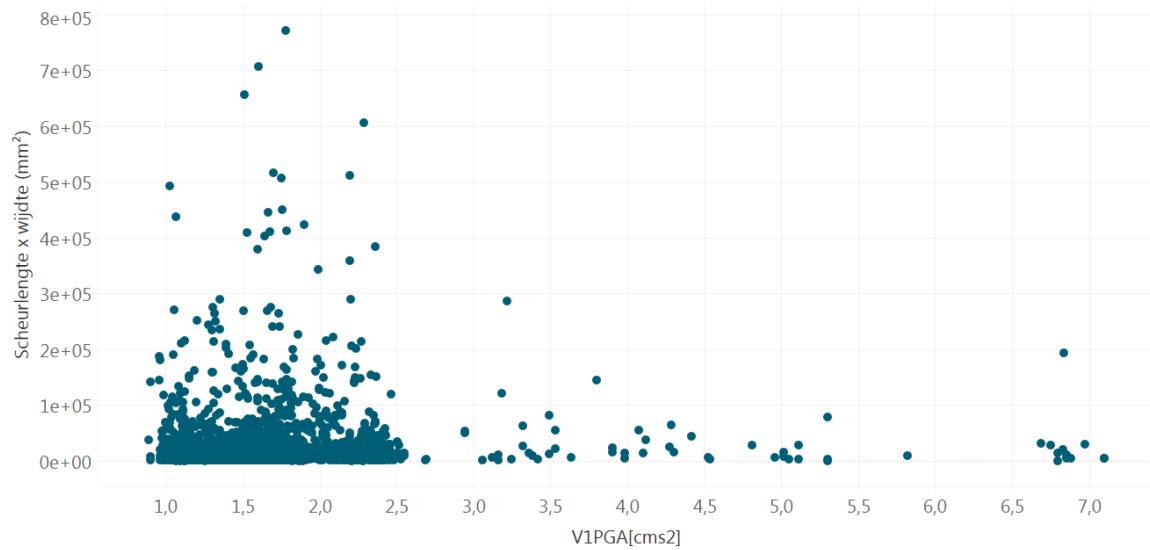
Afbeelding 5.18 Scheurlengtes per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je grotere scheurlengtes verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



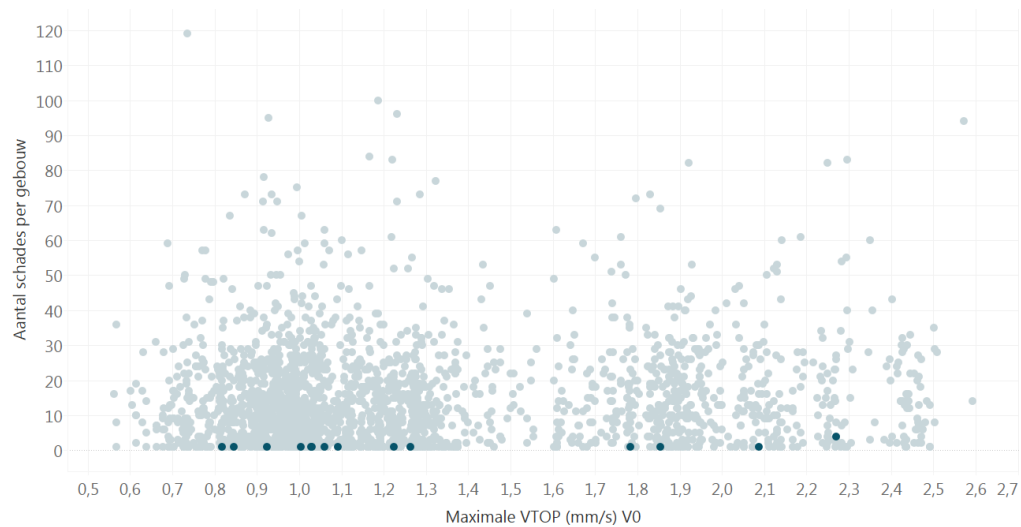
Afbeelding 5.19 Scheurlengtes per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je grotere scheurlengtes verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



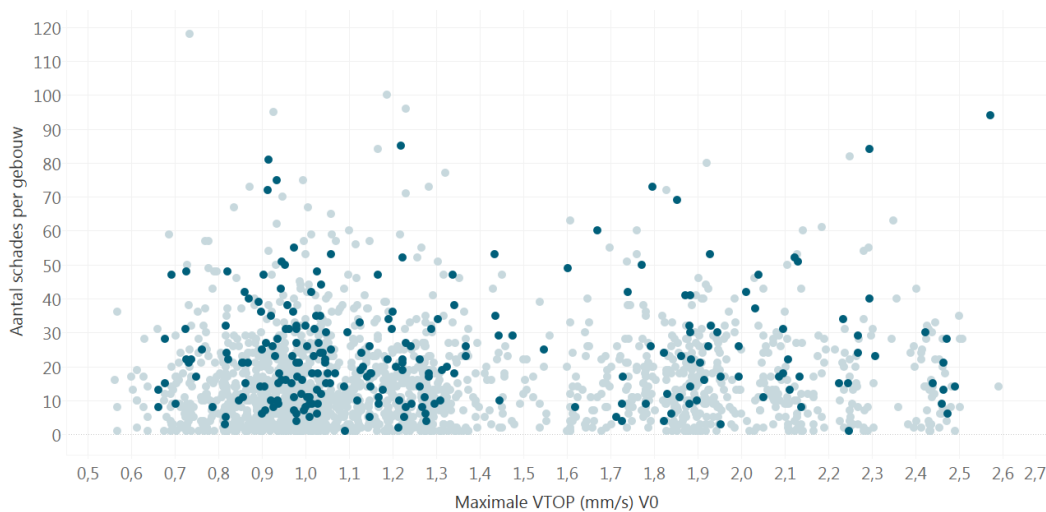
Afbeelding 5.20 Scheurlengtes per gebouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting zou je grotere scheurlengtes verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



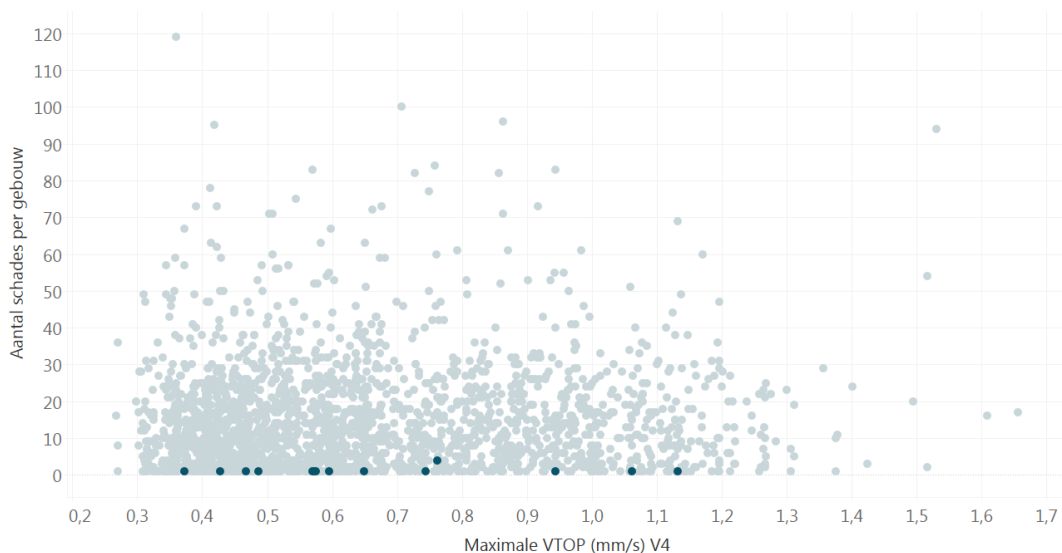
Afbeelding 5.21 Het aantal schades die geclassificeerd zijn als onbekend per gebouw per uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V0). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



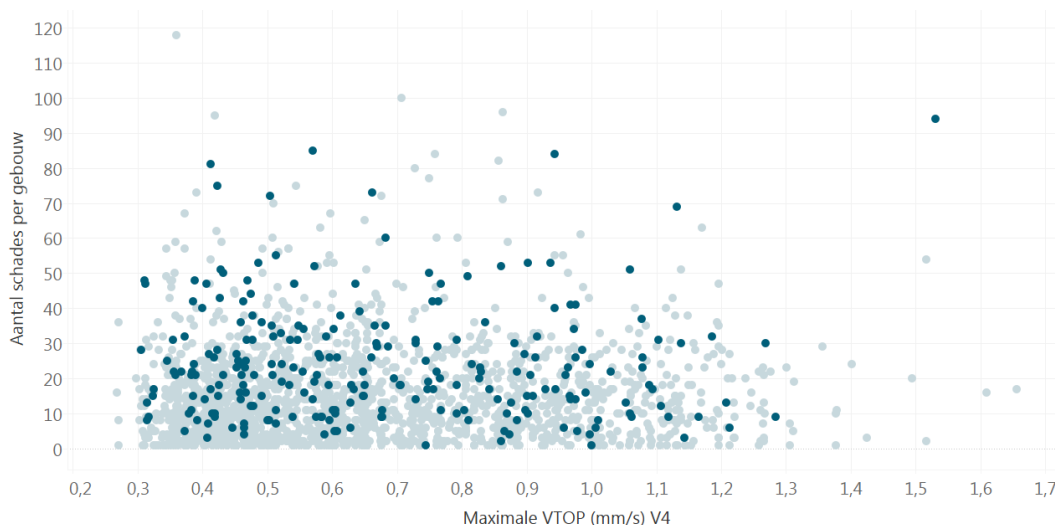
Afbeelding 5.22 Het aantal schades per gebouw die onbekende schade hebben uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V0). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



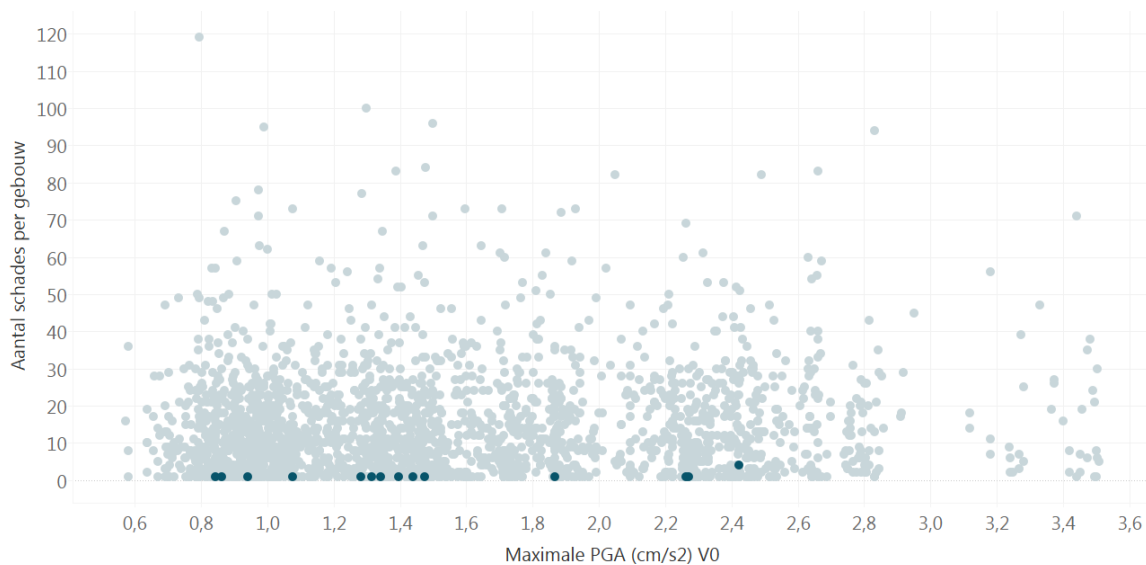
Afbeelding 5.23 Het aantal schades die geclassificeerd zijn als onbekend per gebouw per uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V4). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



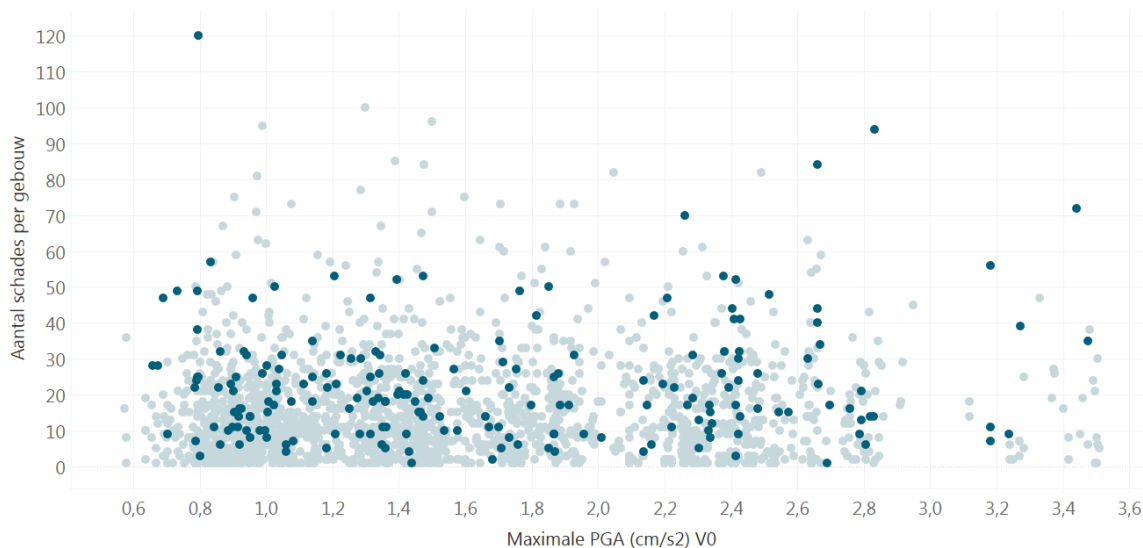
Afbeelding 5.24 Het aantal schades per gebouw die onbekende schade hebben uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, model V4). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



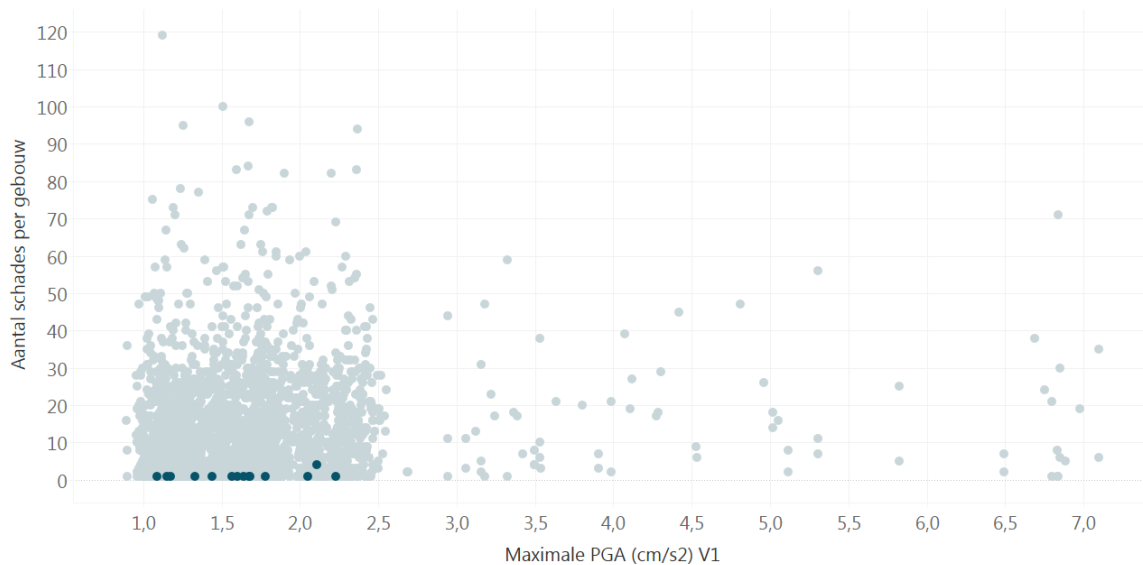
Afbeelding 5.25 Het aantal schades die geclassificeerd zijn als onbekend per gebouw per uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V0). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



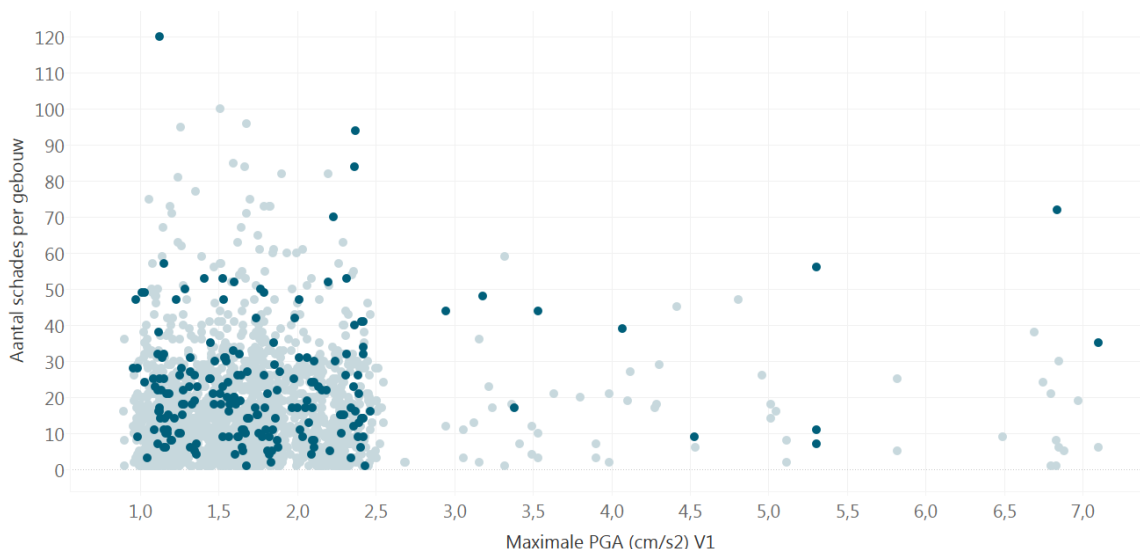
Afbeelding 5.26 Het aantal schades per gebouw die onbekende schade hebben uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V0). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Afbeelding 5.27 Het aantal schades die geclassificeerd zijn als onbekend per gebouw per uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V1). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Afbeelding 5.28 Het aantal schades per gebouw die onbekende schade hebben uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, model V1). Dit zijn de donker gekleurde stippen. Bij een hogere aardbevingsbelasting zou men meer onbekende schades in deze populatie verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Relatie met kwetsbare gebouwen

Volgens SBR deel A zijn gebouwen die het meest kwetsbaar zijn voor schade als het gevolg van trillingen gebouwen met slecht metselwerk en monumenten. Dit is SBR categorie 3. Schade zal dus in deze categorie gebouwen naar alle waarschijnlijkheid het eerst optreden. Hier zal een aparte analyse voor worden gedaan. Ook de vorm van een gebouw kan mogelijk een rol spelen. Een gebouw met een onregelmatige vorm, bijvoorbeeld een gebouw met een aanbouw of de (woon)boerderijen (de laatste zijn vaak van het kop-hals-romp model) zijn kwetsbaarder voor aardbevingstrillingen dan gebouwen met een regelmatig vloerplan. Dit komt omdat de verschillende delen anders reageren op aardbevingstrillingen vanwege de afwijkende stijfheden en massa's. Schade zal dan als eerste in de verbindingen tussen de delen ontstaan. Hier zal dan opnieuw een vermoedelijke relatie bestaan tussen de hoogte van de aardbevingsbelasting en de specifieke schade die gerelateerd is aan een onregelmatige vorm.

De volgende kwetsbare gebouwcategorieën zijn gekozen voor de toetsen met de aardbevingsbelasting:

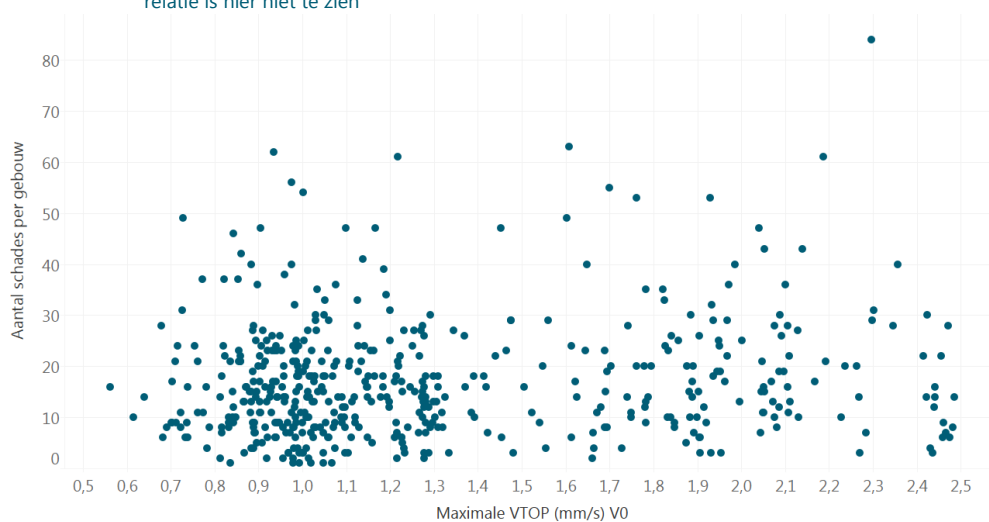
- gebouw met aanbouw;
- (woon)boerderijen;
- kwetsbare gebouwen volgens SBR categorie 3.

De verdeling van aantal schades voor gebouwen met aanbouw in relatie met de opgetreden trillingssnelheid is weergegeven in Afbeelding 5.29 en Afbeelding 5.30. Uit deze grafieken blijkt dat er geen relatie is met de trillingssnelheid.

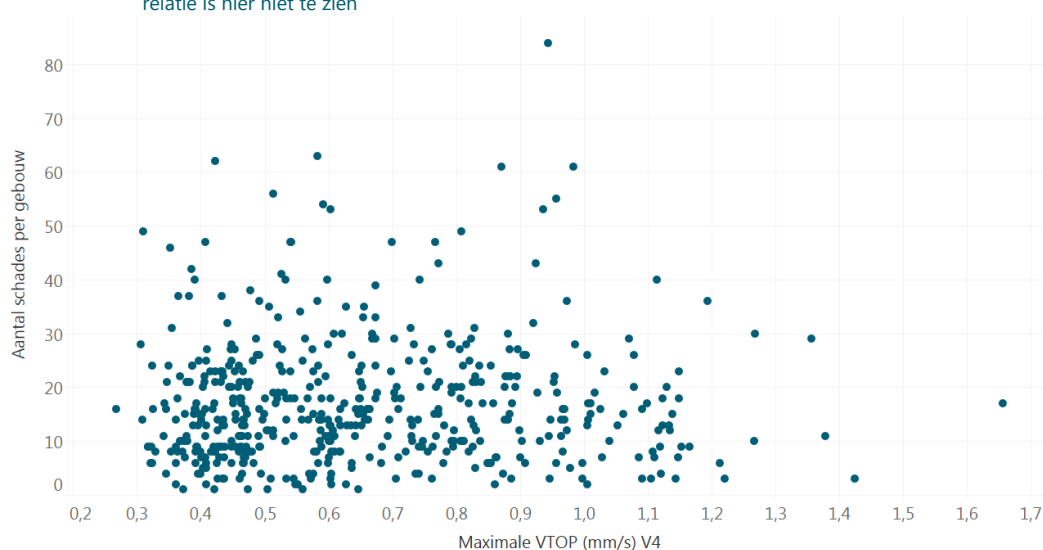
De verdeling van aantal schades voor (woon)boerderijen in relatie met de opgetreden trillingssnelheid is weergegeven in Afbeelding 5.33 en Afbeelding 5.34. Uit deze grafieken blijkt dat er geen relatie is met de trillingssnelheid.

De verdeling van aantal schades voor categorie 3 gebouwen in relatie met de opgetreden trillingssnelheid is weergegeven in Afbeelding 5.37 en Afbeelding 5.38. Uit deze grafieken blijkt dat er geen relatie is met de trillingssnelheid.

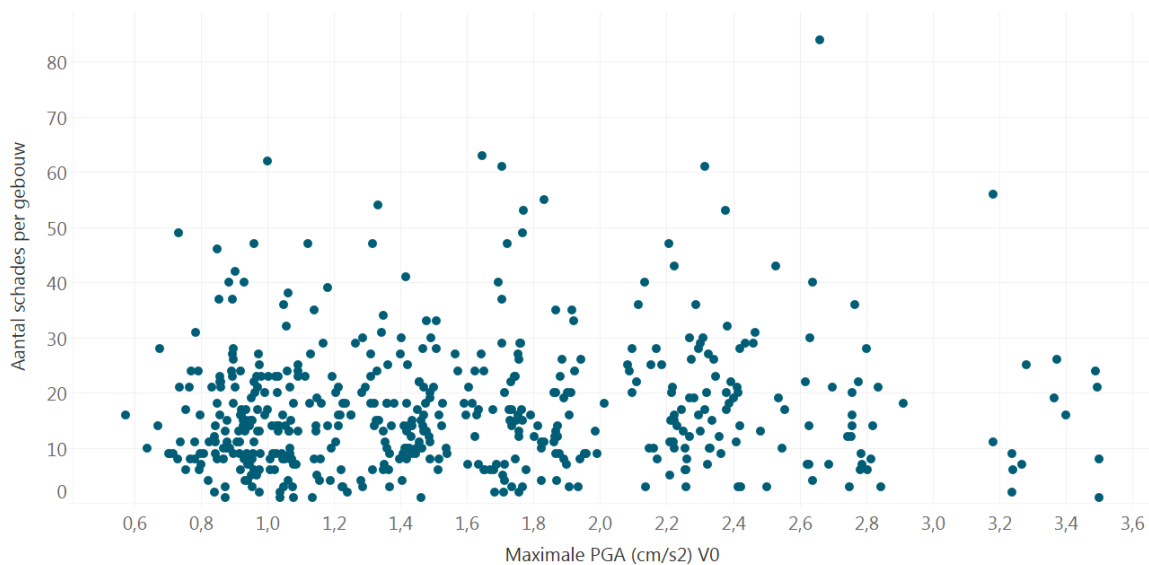
Afbeelding 5.29 Het aantal schades per gebouw voor categorie: gebouw met aanbouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



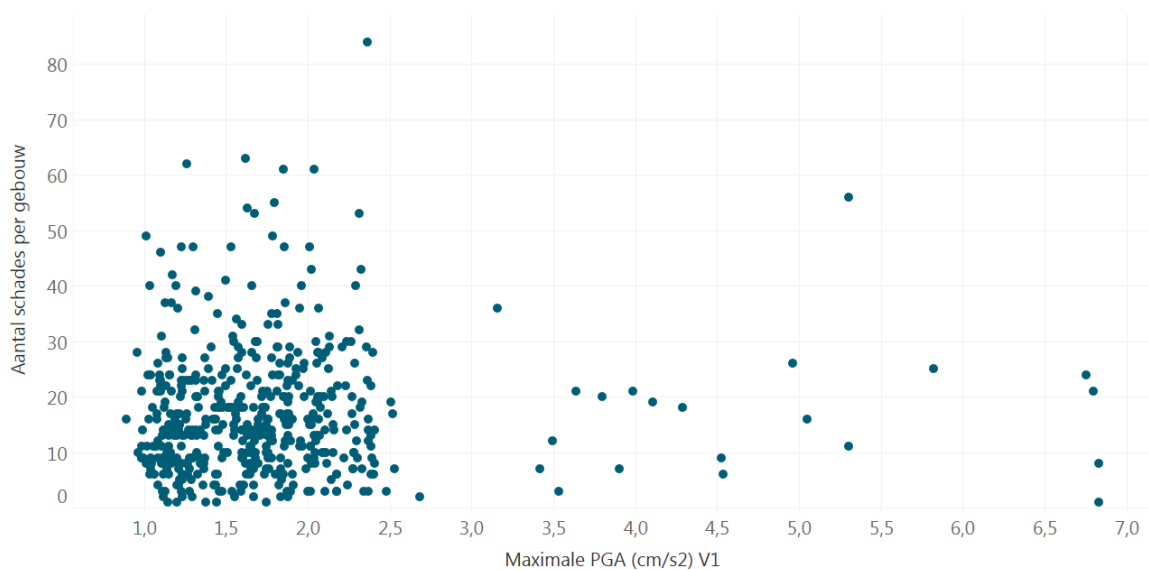
Afbeelding 5.30 Het aantal schades per gebouw voor categorie: gebouw met aanbouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



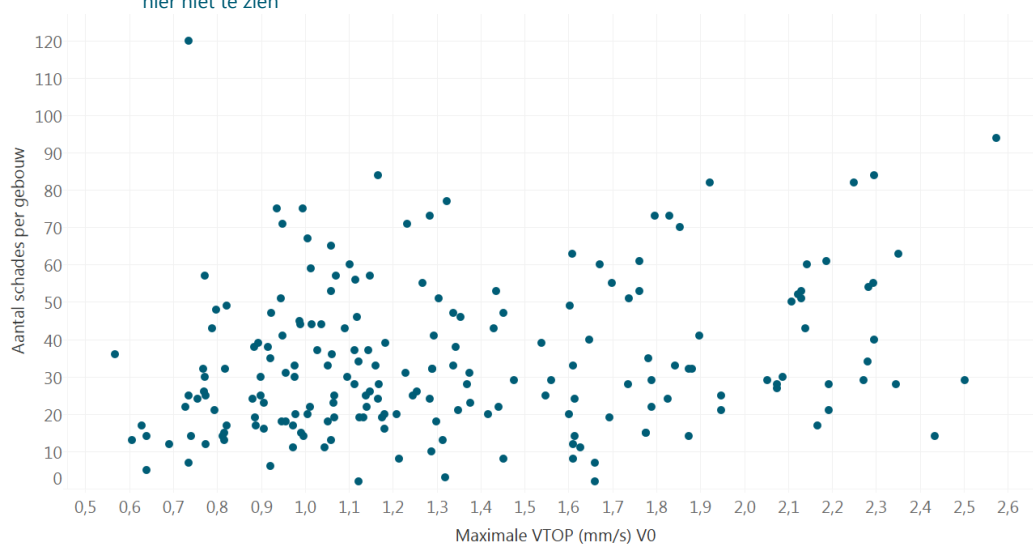
Afbeelding 5.31 Het aantal schades per gebouw voor categorie: gebouw met aanbouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



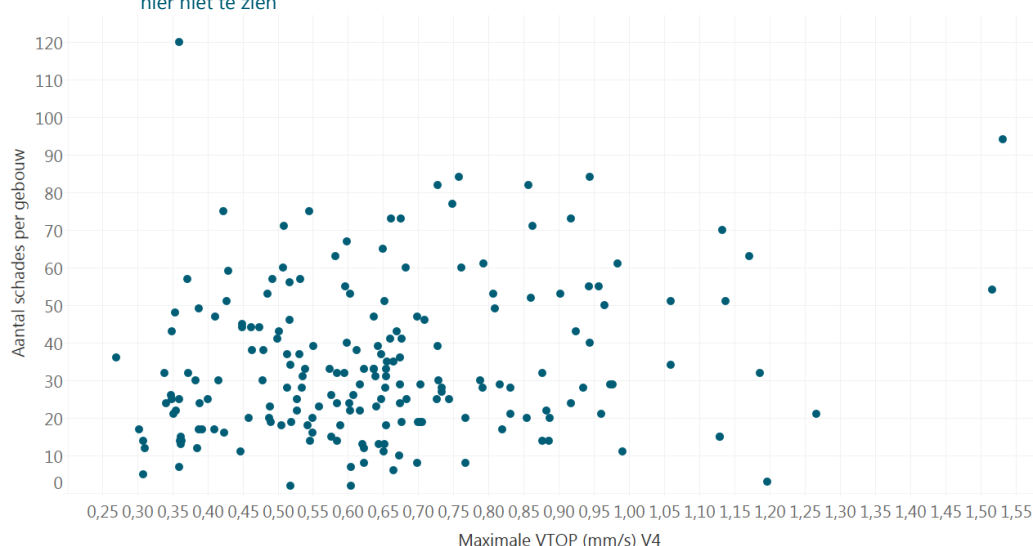
Afbeelding 5.32 Het aantal schades per gebouw voor categorie: gebouw met aanbouw uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



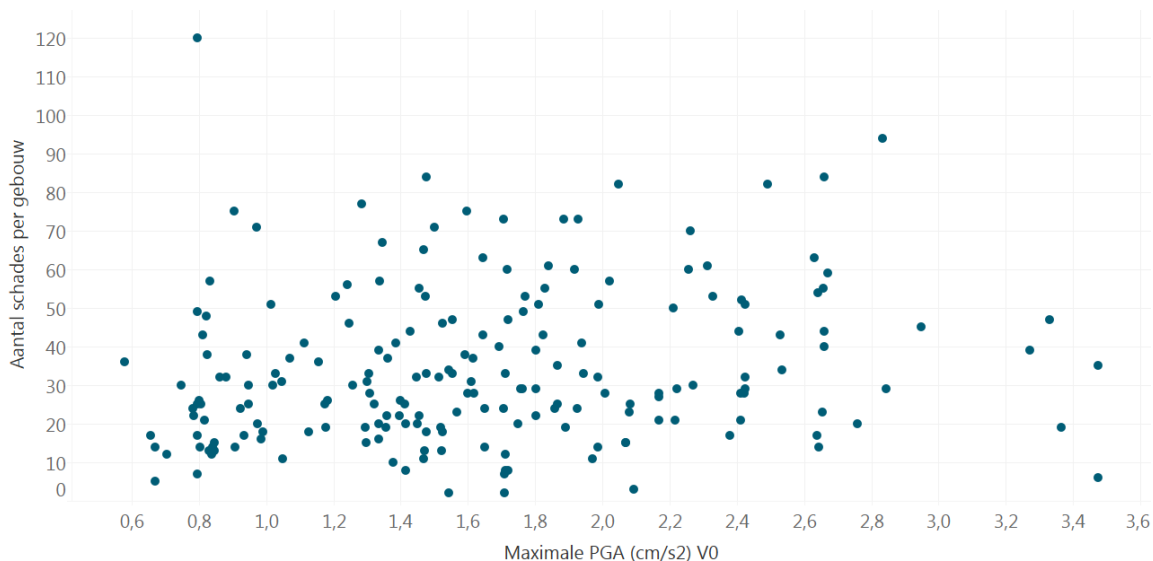
Afbeelding 5.33 Het aantal schades per gebouw voor categorie: (woon)boerderij uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



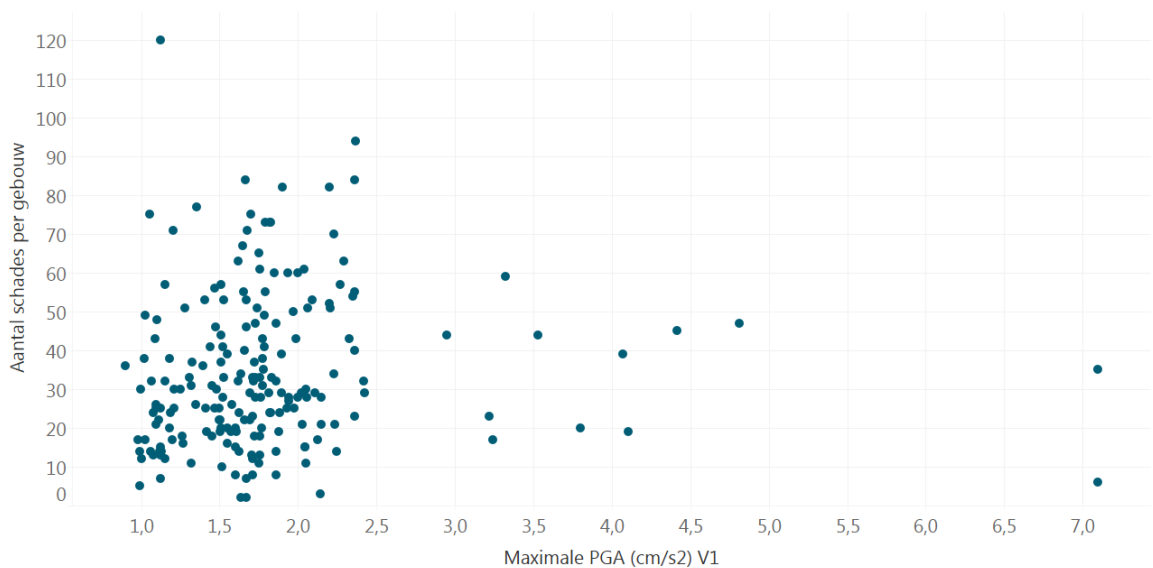
Afbeelding 5.34 Het aantal schades per gebouw voor categorie: (woon)boerderij uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



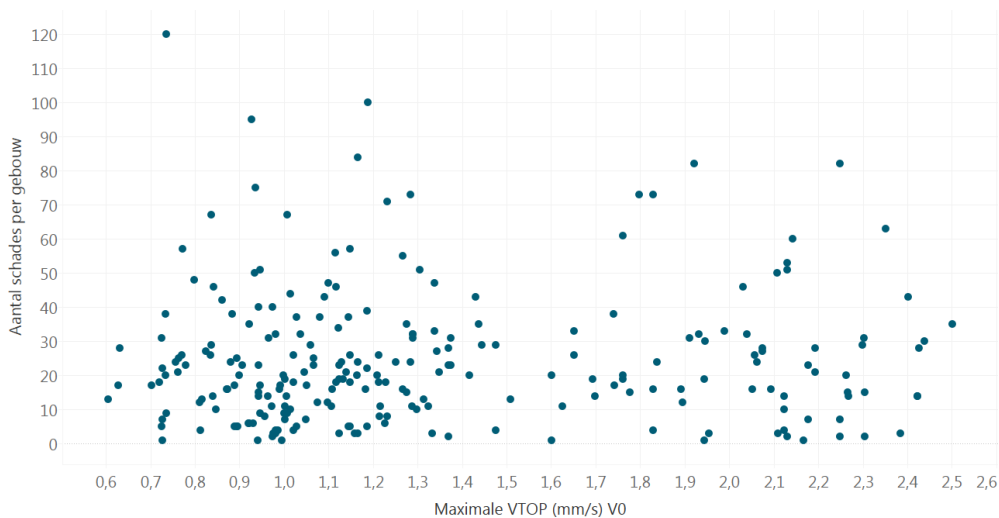
Afbeelding 5.35 Het aantal schades per gebouw voor categorie: (woon)boerderij uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



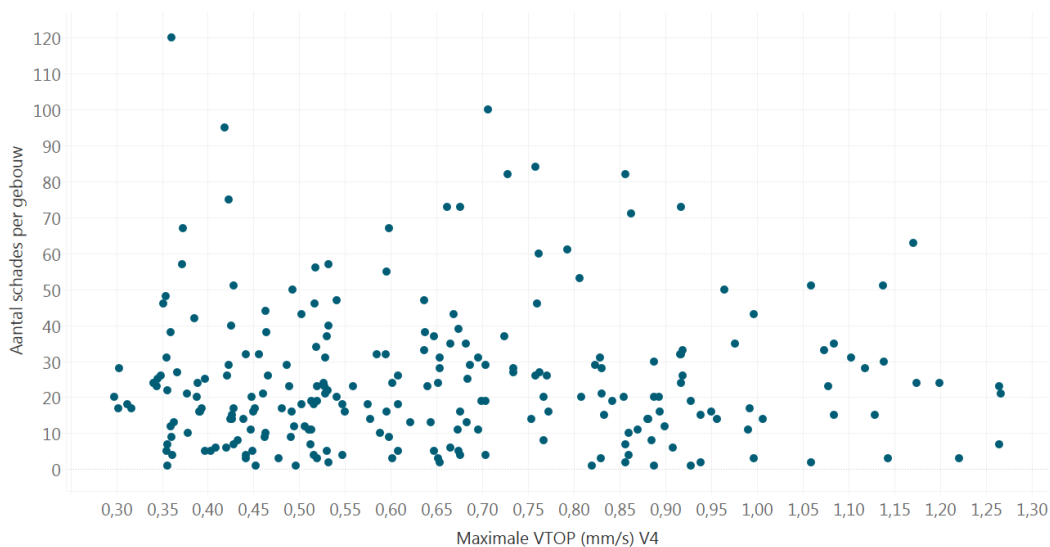
Afbeelding 5.36 Het aantal schades per gebouw voor categorie: (woon)boerderij uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



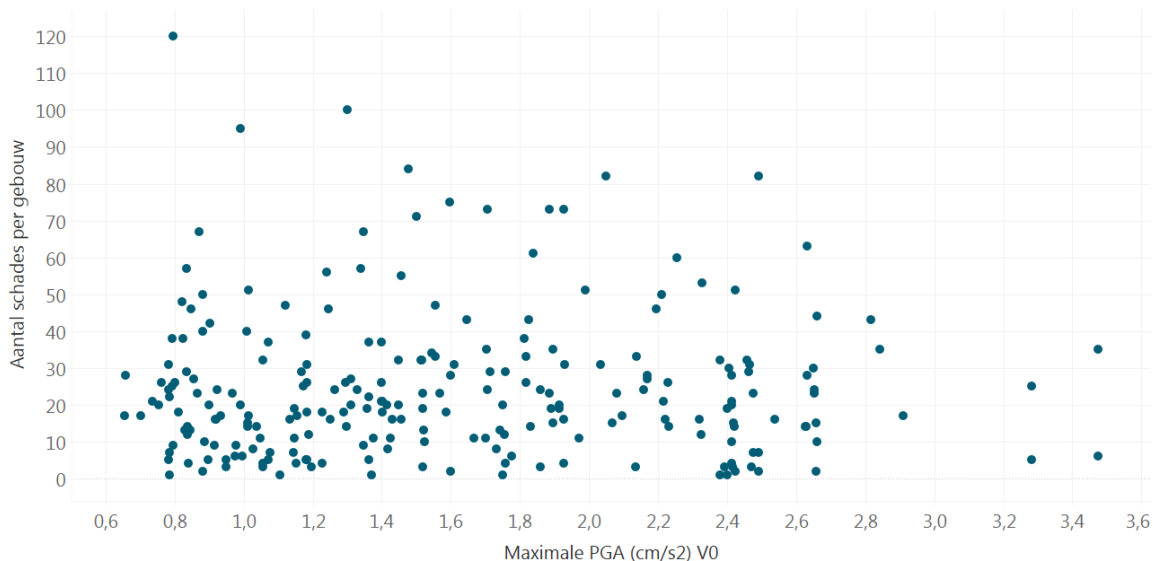
Afbeelding 5.37 Het aantal schades per gebouw voor SBR categorie 3 gebouwen uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



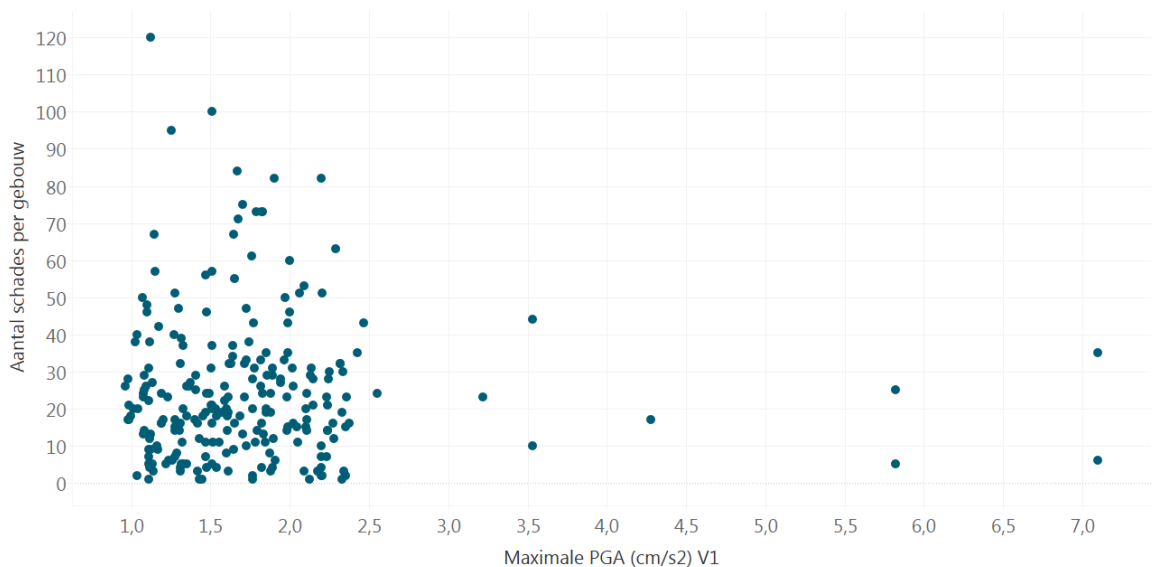
Afbeelding 5.38 Het aantal schades per gebouw voor SBR categorie 3 gebouwen uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Afbeelding 5.39 Het aantal schades per gebouw voor SBR categorie 3 gebouwen uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



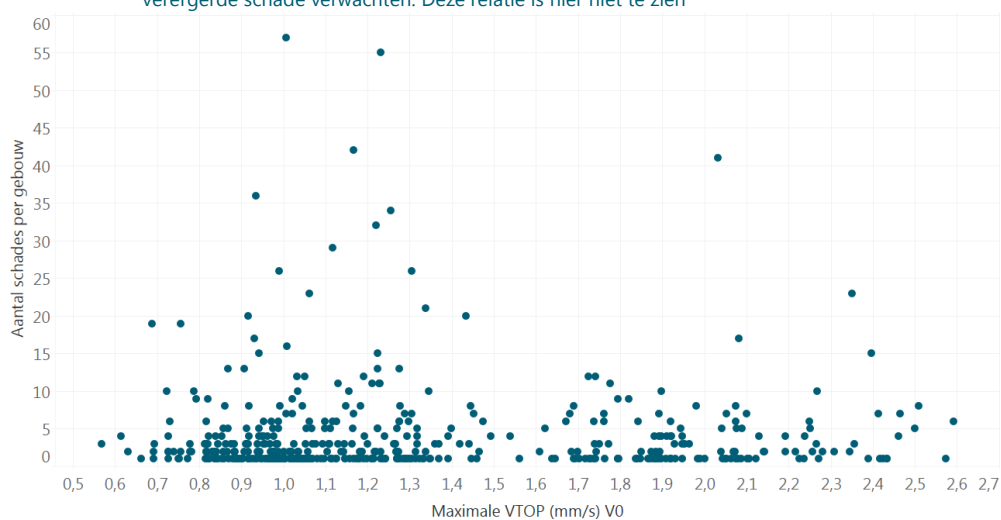
Afbeelding 5.40 Het aantal schades per gebouw voor SBR categorie 3 gebouwen uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



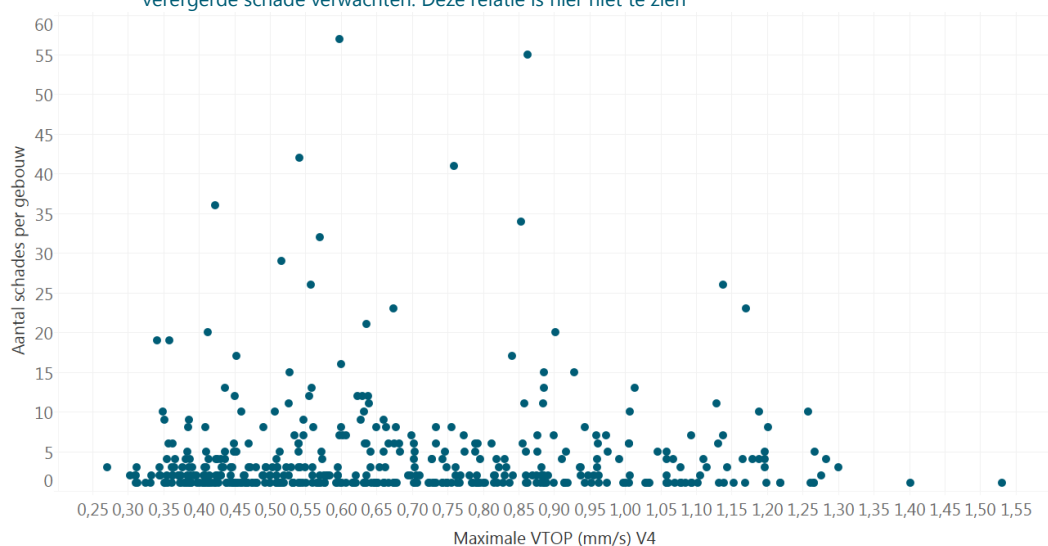
Verergering

Een van de vragen die aan de bewoners is gesteld is of bestaande schade verergerd is door aardbevingen. De aanleiding voor deze vraag is dat de aardbeving, zelfs als deze een lage aardbevingsbelasting levert, het laatste 'tiktje' kan hebben gegeven aan een gebouw dat door aanwezige schade al op 'spanning staat'. Als de aardbeving dat laatste tiktje heeft gegeven dan zal dat geen nieuwe schade hebben opgeleverd, maar bestaande schade hebben verergerd. Als aardbevingen die oorzaak is van de verergering dan zal er ook een relatie moeten bestaan met de aardbevingsbelasting. De verdeling van het aantal schades per gebouw, waar volgens de bewoner sprake is van verergering, in relatie met de opgetreden trillingsnelheid is weergegeven in Afbeelding 5.41 en Afbeelding 5.42. Uit deze grafieken blijkt dat er geen relatie is met de trillingssnelheid.

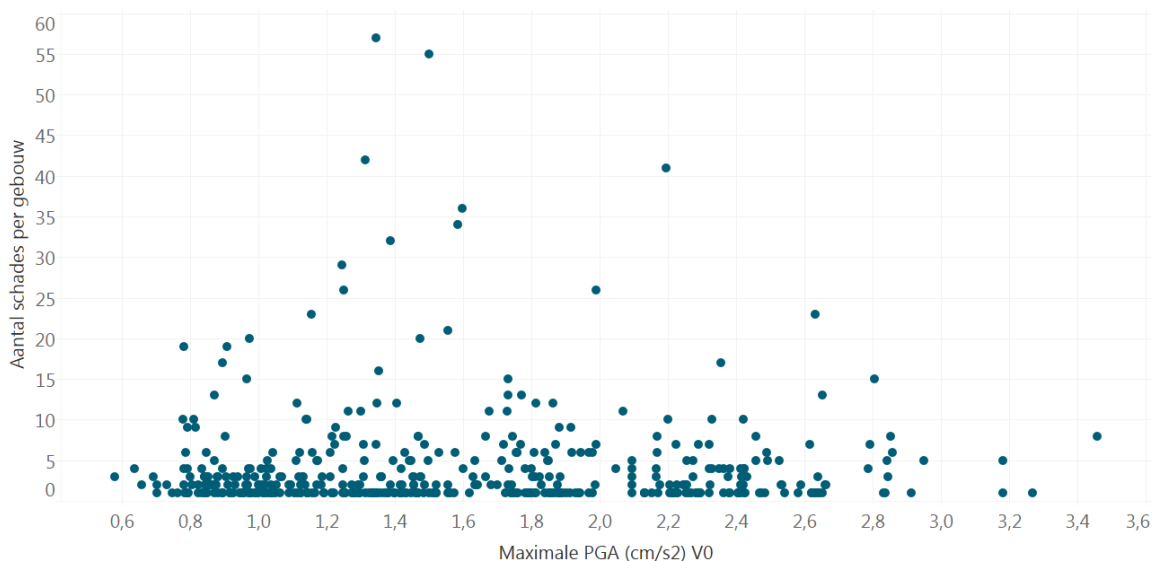
Afbeelding 5.41 Het aantal schades per gebouw waarbij is aangegeven dat de schade is verergerd uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer verergerde schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



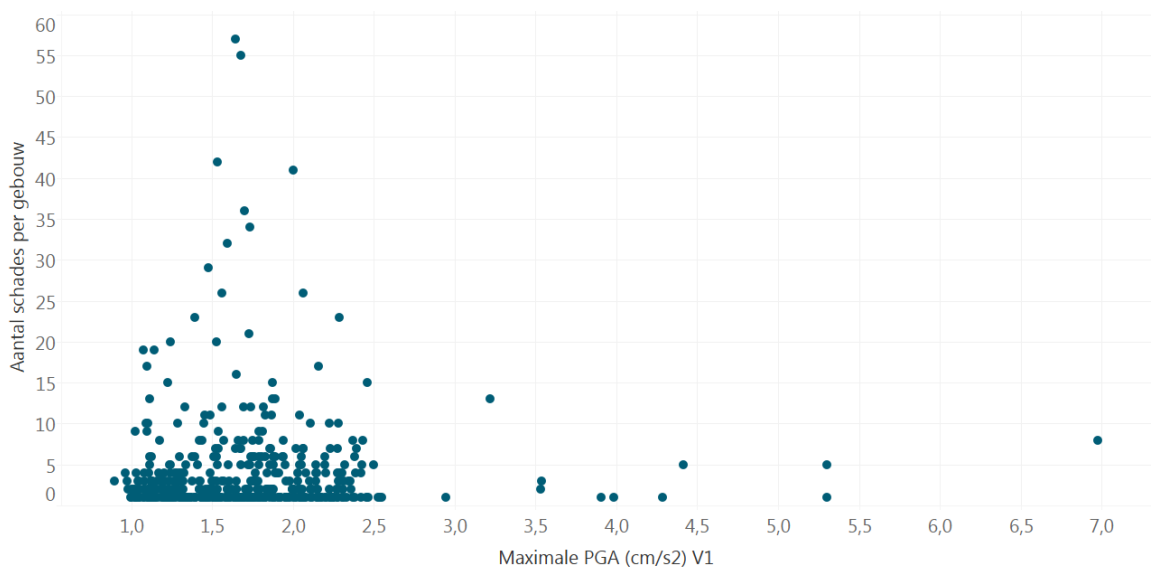
Afbeelding 5.42 Het aantal schades per gebouw waarbij is aangegeven dat de schade is verergerd uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V4). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer verergerde schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Afbeelding 5.43 Het aantal schades per gebouw waarbij is aangegeven dat de schade is verergerd uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer verergerde schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Afbeelding 5.44 Het aantal schades per gebouw waarbij is aangegeven dat de schade is verergerd uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer verergerde schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



Relatie met ondergrond, mogelijke versterking (opslingering) of demping door de ondergrond

De ondergrond is een belangrijke factor bij de berekening van de aardbevingsbelasting. De ondergrond in het noordelijk deel van het projectgebied (Noordwest Groningen) verschilt bijvoorbeeld aanmerkelijk van de ondergrond in het zuidelijk deel van het projectgebied (Zuid-Groningen en Noord-Drenthe) en heeft een impact op de berekende aardbevingsbelasting.

De invloed van de ondergrond is impliciet al meegenomen in de berekening van de VTOP waarden met model V0 (in de vorm van de locatiespecifiek $V_{S;30}$) en met model V4 (in de vorm van amplificatie factoren per zone). Bij Versie 1 wordt er uitgegaan van een homogene grondopbouw met een $V_{S;30}$ van 200 m/s. Een hogere $V_{S;30}$ waarde geeft in het V0 model bijvoorbeeld een hogere VTOP en PGA waarde.

Het karakter van de ondergrond kan in sommige gevallen ook aanleiding geven tot versterking door resonantie effecten in de ondergrond, dit wordt soms ook wel opslinging genoemd. Veelal slappere grondlagen (zoals veen en ongeconsolideerde) klei kunnen in bepaalde gevallen, bij een bepaalde dikte, gaan resoneren onder invloed van een aardbeving. Dit kan een bepaalde versterking opleveren van het aardbevingssignaal. In andere gevallen (vaak bij grotere aardbevingen) geven slappere lagen juist aanleiding tot het uitdempen van het aardbevingssignaal door het opnemen van de energie door de vervorming die optreedt.

Kortom, het is op voorhand echter lastig te zeggen of resonantie of uitdemping werkelijk optreedt. Dit hangt in werkelijkheid af van de complexe interactie tussen grond responsie en gebouw responsie. Het type aardbeving, de magnitude, duur, diepte en afstand speelt hierbij ook een belangrijke rol. Resonantie treedt eerder op bij zwaardere aardbevingen die langer duren, omdat de grond en het gebouw dan de mogelijkheid hebben om in resonantie te komen. In Groningen hebben we over het algemeen te maken met kortdurende aardbevingen die vlakbij het epicentrum een relatief grote amplitude geven die snel uitdempt met de afstand. De frequentieinhoud van de aardbevingen zijn in de regel tussen de 3 en 5 Hz. Dit zijn aardbevingen met een relatief hoge frequentie. Ondergrond met een relatief stijf gedrag (bijvoorbeeld zandgronden) en kleine gebouwen van 1 tot 3 verdiepingen reageren hier het sterkst op. Een relatief slappe ondergrond (bijvoorbeeld kleigronden) en hogere, grotere en zwaardere gebouwen reageren hier minder sterk op.

Voor de toets op effecten van opslinging dienen de verschillende factoren die elkaar mogelijk versterken met elkaar worden vergeleken. Hierbij zijn de factoren ondergrond en aardbevingsbelasting met elkaar in verband worden gebracht. In de berekende piekbelastingen (PGA, PGV en de hiervan afgeleide VTOP) zit de frequentie afhankelijkheid echter niet in. In de nog te publiceren Versie 4 GMM zit de frequentieafhankelijkheid overigens wel in. Het is in principe mogelijk om op elke gewenste locatie het response spectrum te berekenen (snelheid of versnelling als functie van frequentie) op basis van het lokaal aanwezige karakteristiek grondprofiel. Voor deze studie zijn deze echter niet bepaald.

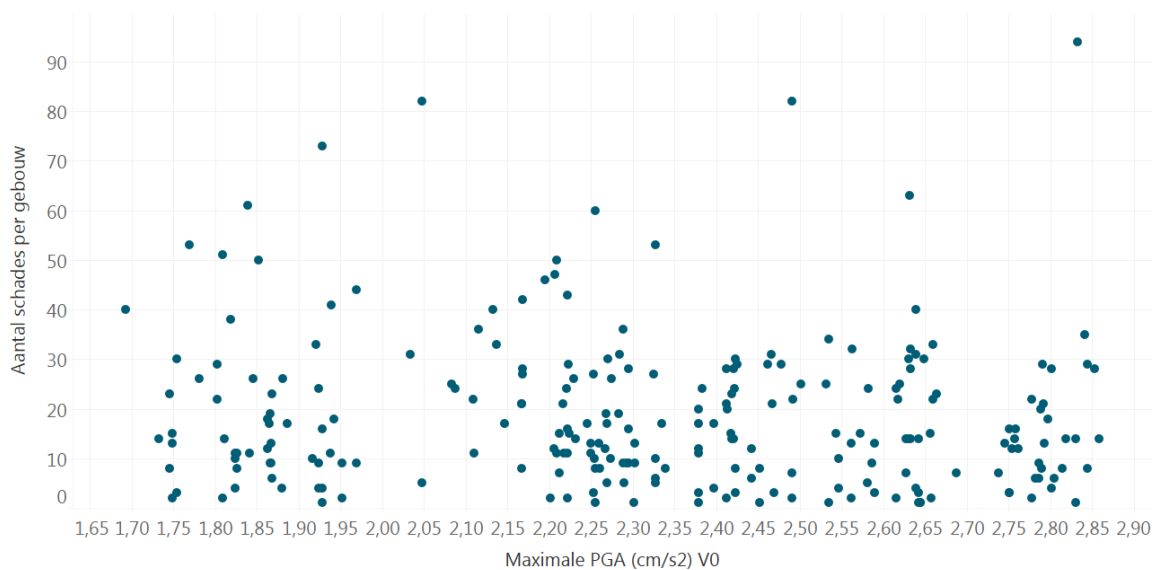
In Afbeelding 5.45 tot en met Afbeelding 5.48 is de relatie geplot tussen PGA en het aantal schades per gebouw voor de grondprofielen klassen 1 en 2. Voor een definitie van de profielen wordt verwezen naar Bijlage I. Een speciale aandacht moet gegeven worden aan de grondprofielen 2, omdat daar het meeste Veen en slappe klei in de bodem zit. Specifiek wordt ook gekeken naar profiel 2bii en 3bii, omdat daar de dikste veenpakketten en slappe kleilagen voorkomen die mogelijk aanleiding zouden kunnen geven tot versterking van de aardbeving (zie Afbeelding 5.49 tot en met Afbeelding 5.52. Bij geen van analyses zien we een duidelijke relatie met het type ondergrond. Er is zelfs te zien dat het aantal schades per gebouw lager is dan bij ander grondtypes. De zandige profielen (3, 4 en 5) zijn hieronder apart beschouwd in het onderdeel toets of liquefactie.

In Afbeelding 5.53 tot Afbeelding 5.60 zijn de relaties geplot tussen PGA (obv Versie 0) en het aantal schades per gebouw voor verschillende $V_{s,30}$ waarden. Voor een definitie van de $V_{s,30}$ waarde wordt verwezen naar Bijlage I. Bij geen van analyses zien we een duidelijke relatie met het type ondergrond.

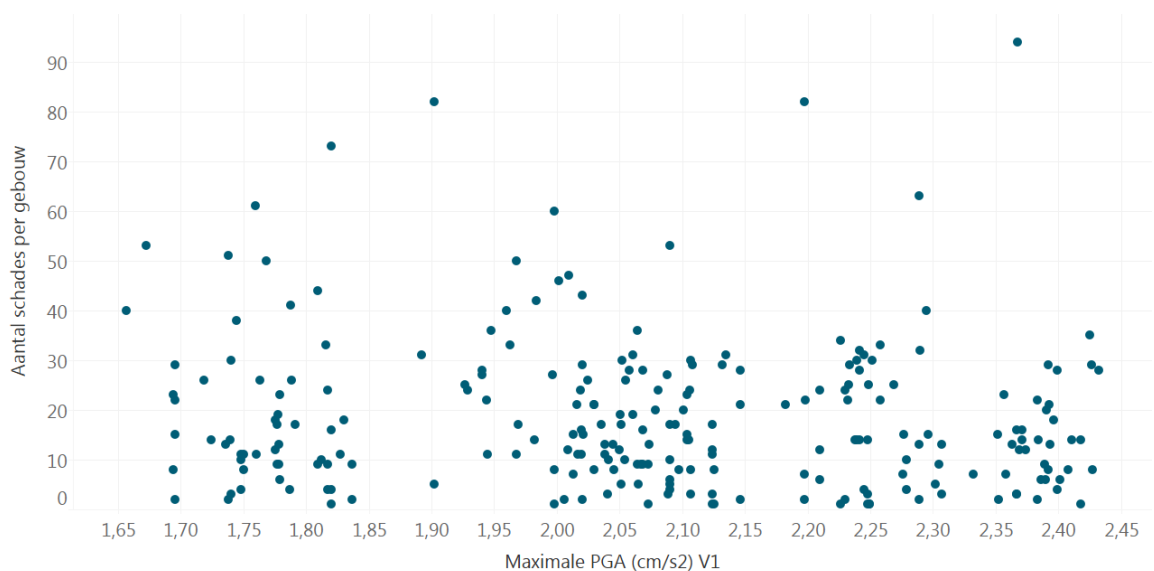
Toets op liquefactie (verweking van de ondergrond)

Er is in bijlage II beschreven dat er geen kans is op liquefactie (verweking) omdat overal de berekende PGA waarden onder de $0,1\text{ g}$ ($9,81\text{ cm/s}^2$) ligt. Dit is een algemeen gehanteerde grenswaarde. Liquefactie is daarmee als schade oorzaak gefalsificeerd. Om toch volledig uit te sluiten dat liquefactie mogelijk een oorzaak is geweest voor schade is een analyse gedaan op de relatie PGA en schade bij het voorkomen van zandgrond in de ondiepe ondergrond. De reden is dat er alleen bij zandgrond liquefactie op kan treden. Deze relaties zijn geplot in Afbeelding 5.61 tot en met Afbeelding 5.68. Bij geen van analyses zien we een duidelijke relatie en daarmee kan liquefactie via deze toets ook als schade oorzaak worden uitgesloten.

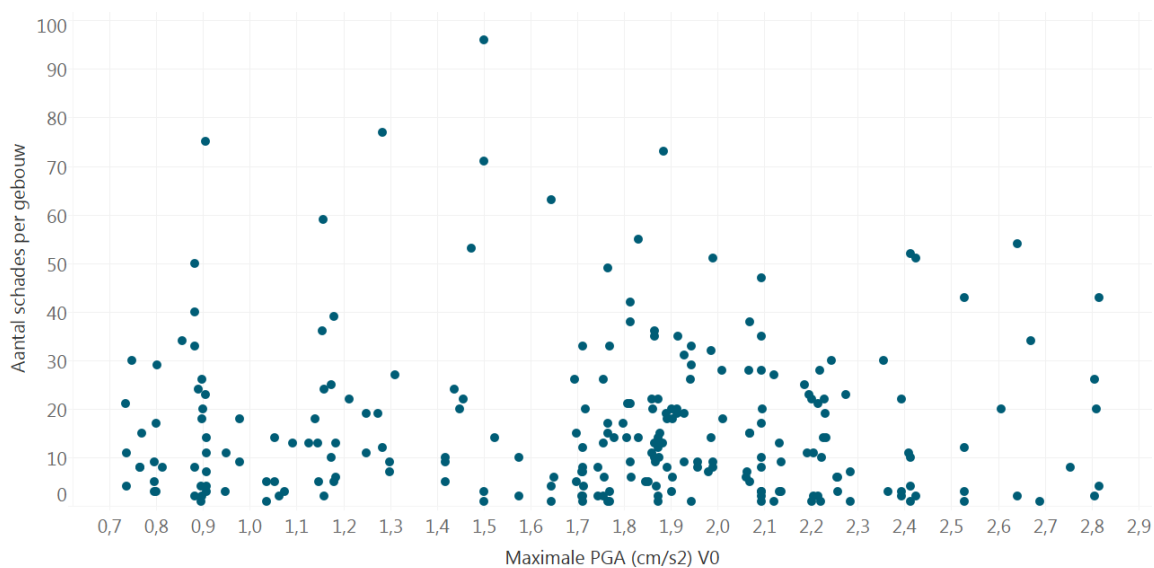
Afbeelding 5.45 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 1(zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0)



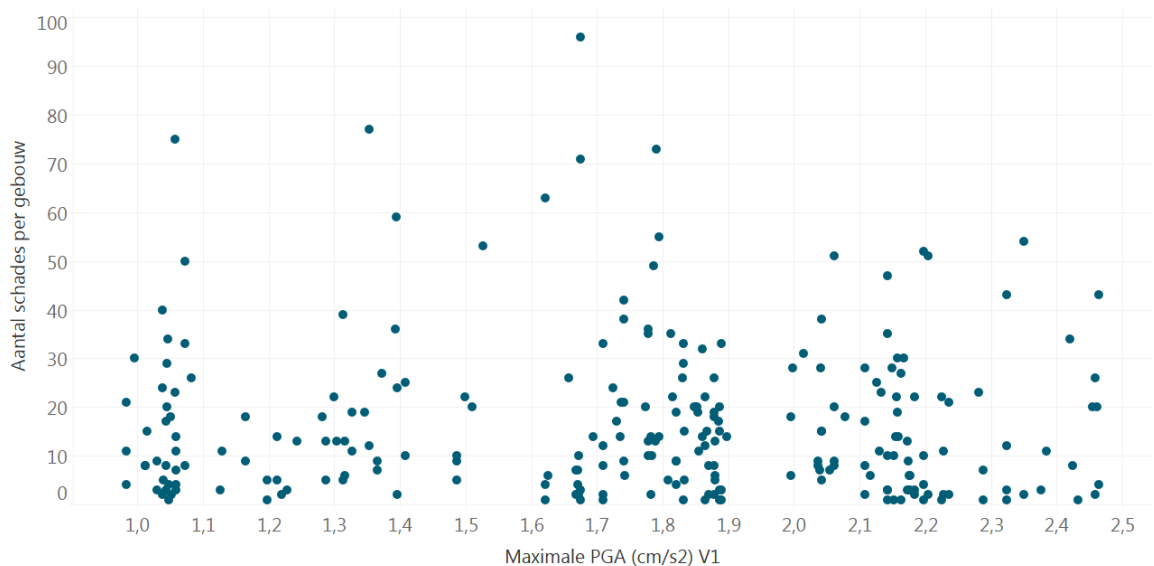
Afbeelding 5.46 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 1(zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1)



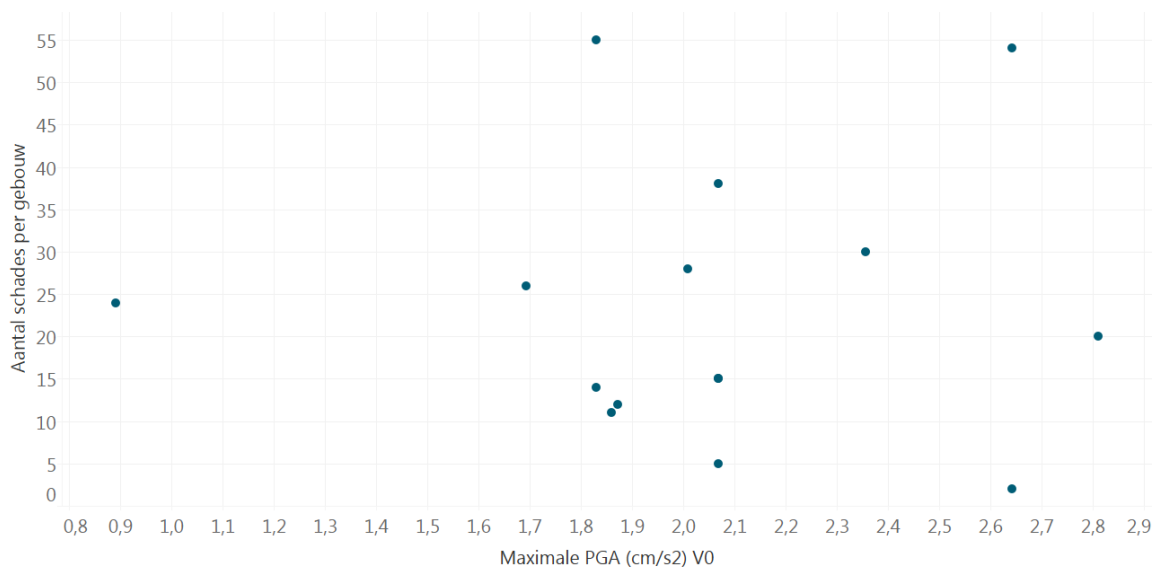
Afbeelding 5.47 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 2 (zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0)



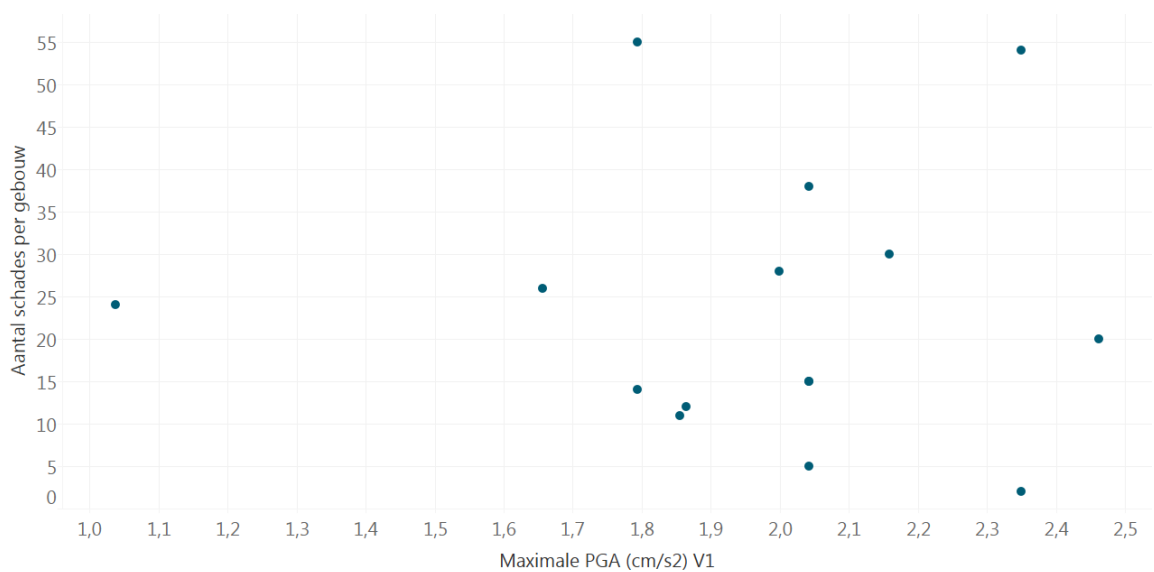
Afbeelding 5.48 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 2 (zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1)



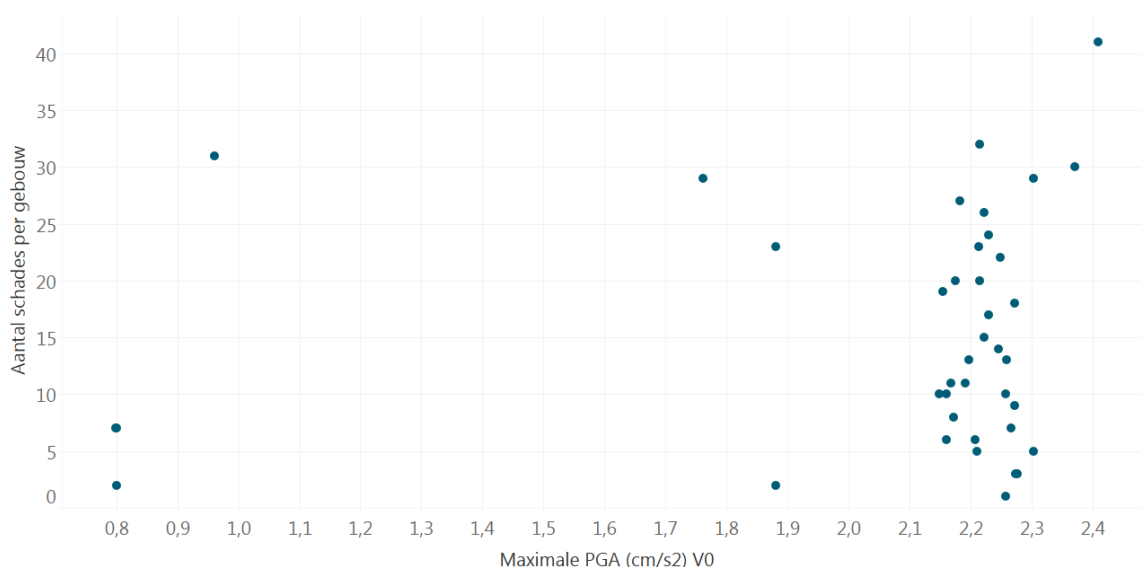
Afbeelding 5.49 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 2bii (met significante dikte veen in de ondergrond, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van versterking, amplificatie of resonantie. Deze relatie is hier niet te zien. Het aantal schades per gebouw is bovendien significant lager dan bij ander grondtypes



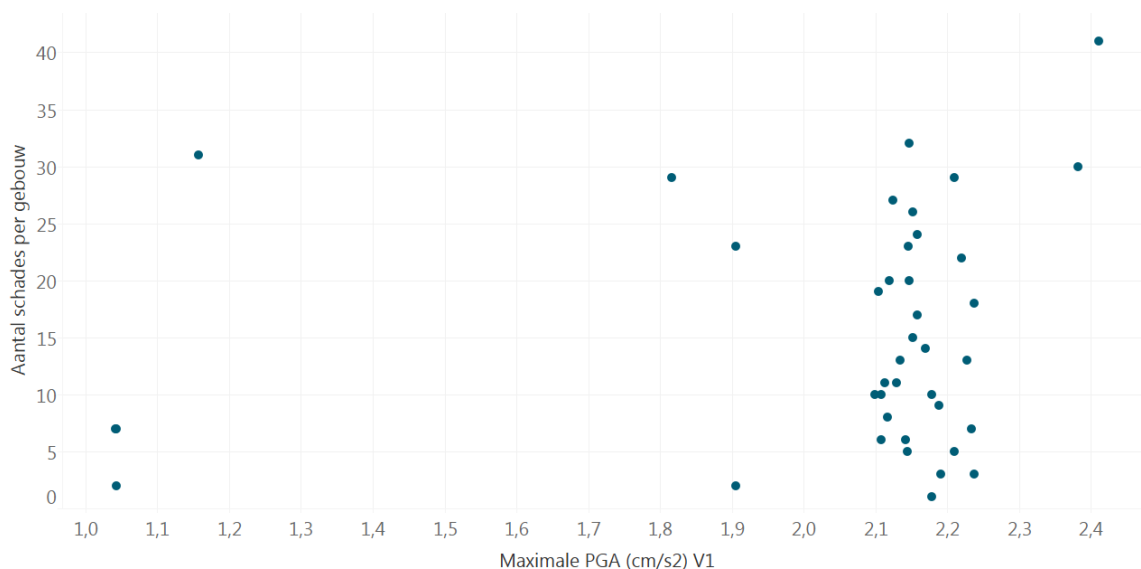
Afbeelding 5.50 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 2bii (met significante dikte veen in de ondergrond, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van versterking, amplificatie of resonantie. Deze relatie is hier niet te zien. Het aantal schades per gebouw is bovendien significant lager dan bij ander grondtypes



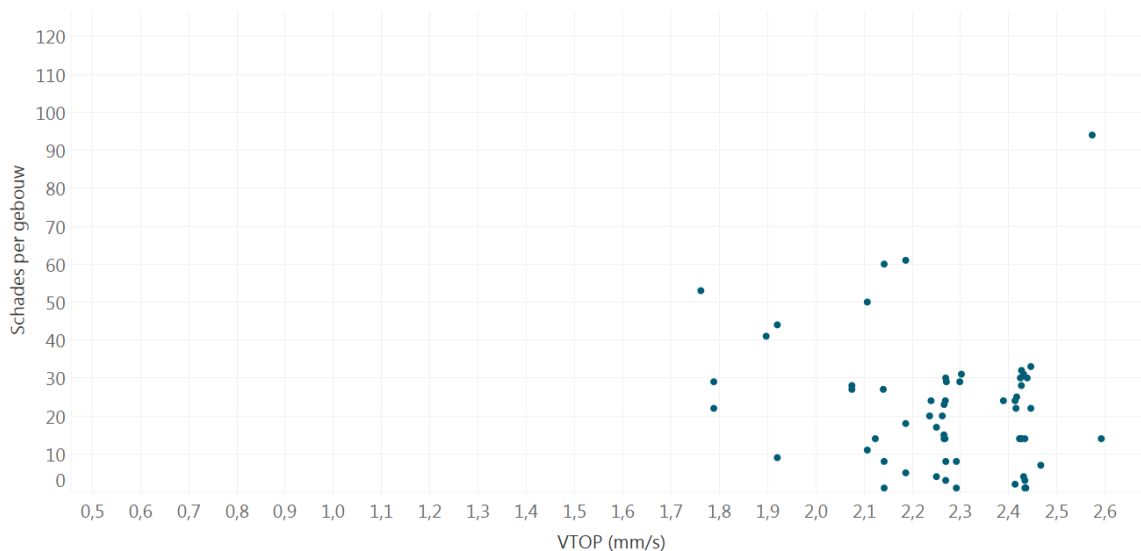
Afbeelding 5.51 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 3bii (met significante dikte veen en slappe klei in de ondergrond, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van versterking, amplificatie of resonantie. Deze relatie is hier niet te zien. Het aantal schades per gebouw is bovendien significant lager dan bij ander grondtypes



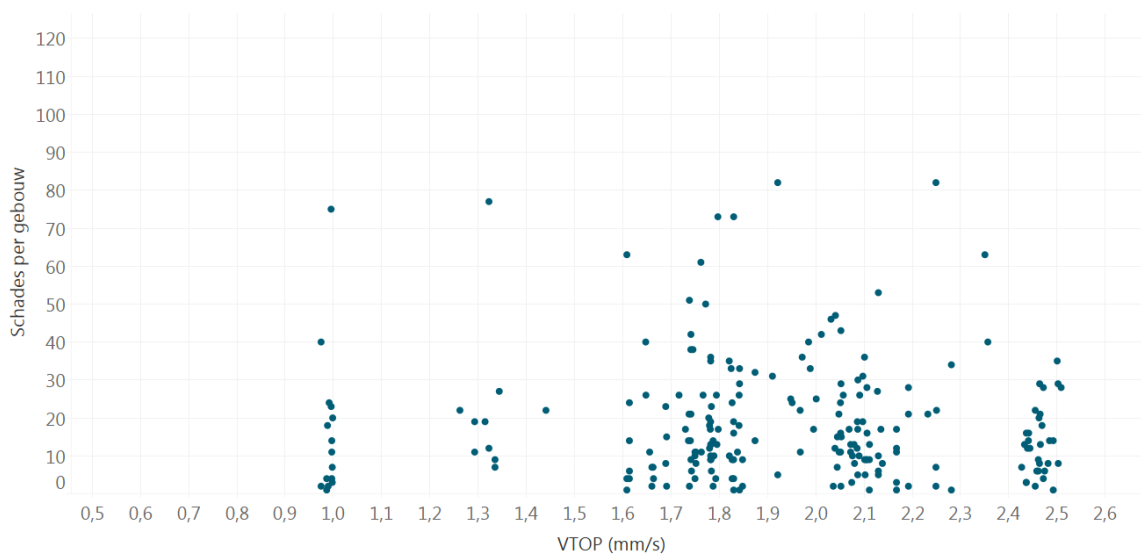
Afbeelding 5.52 Het aantal schades per gebouw voor grondprofiel 3bii (met significante dikte veen en slappe klei in de ondergrond, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van versterking, amplificatie of resonantie. Deze relatie is hier niet te zien. Het aantal schades per gebouw is bovendien significant lager dan bij ander grondtypes



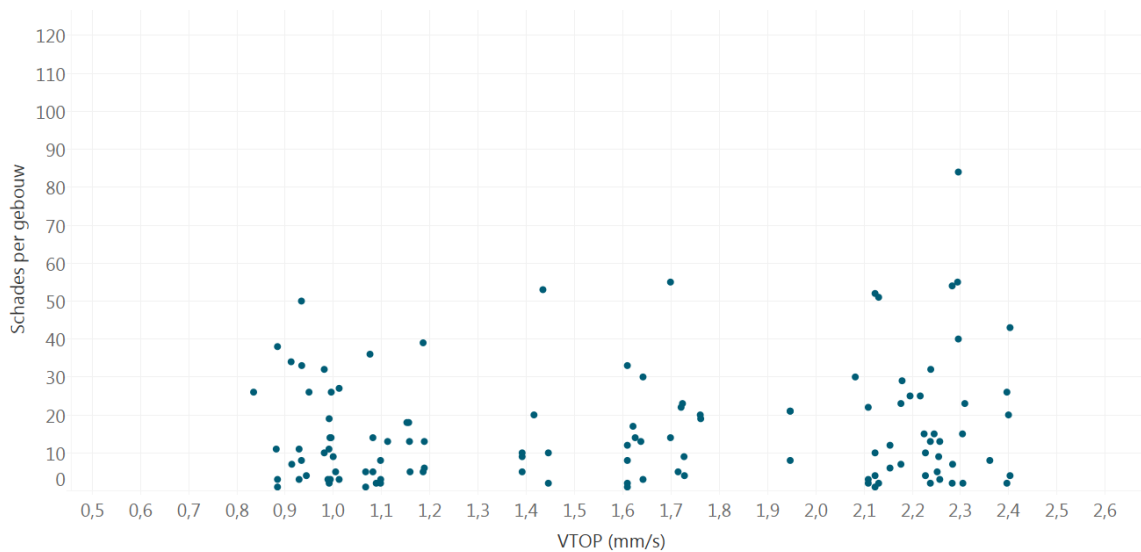
Afbeelding 5.53 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 155-170 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



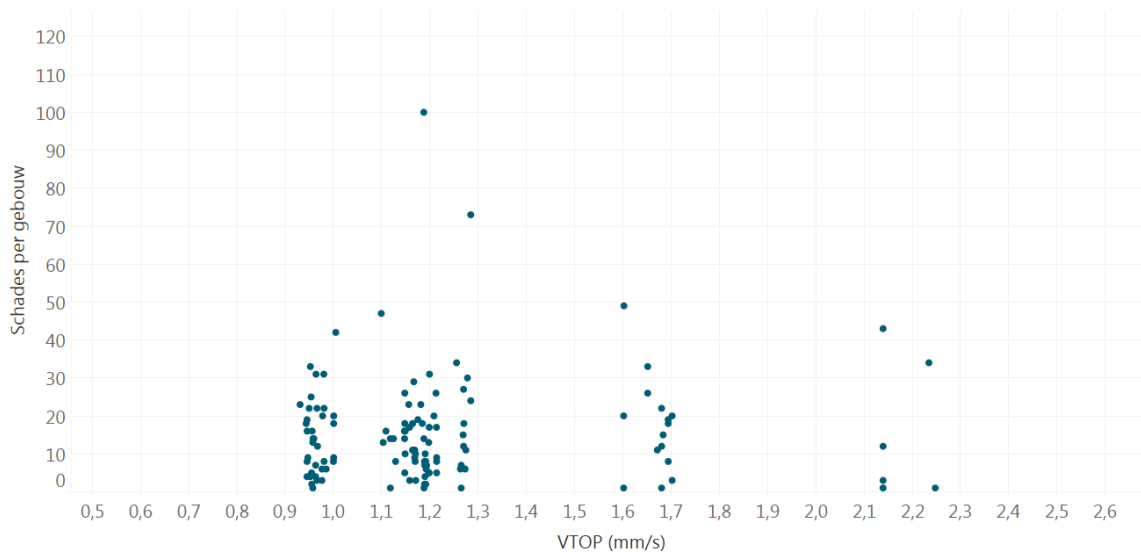
Afbeelding 5.54 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 170-185 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



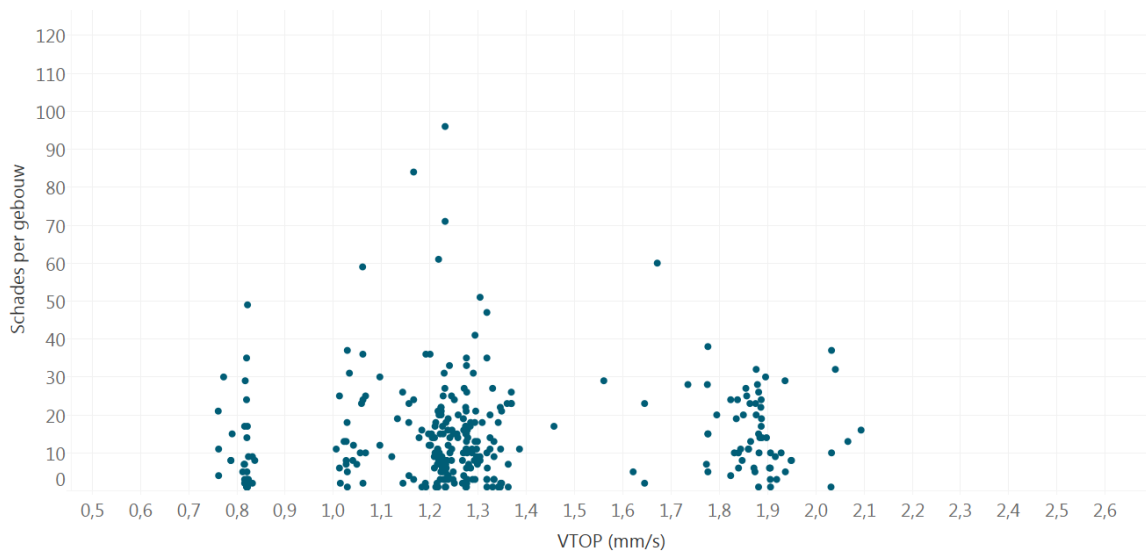
Afbeelding 5.55 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 185-200 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



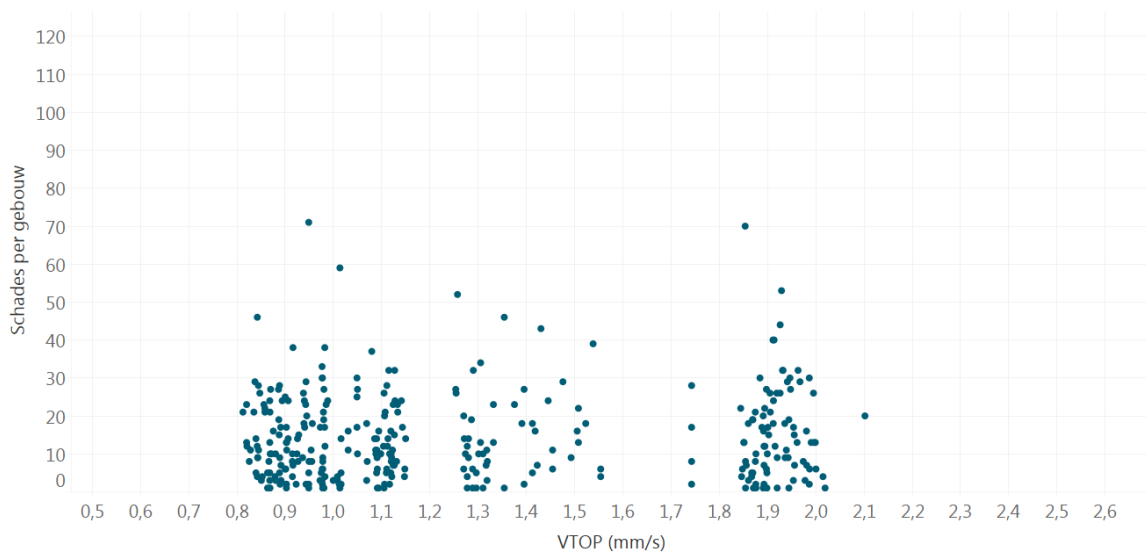
Afbeelding 5.56 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 200-215 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



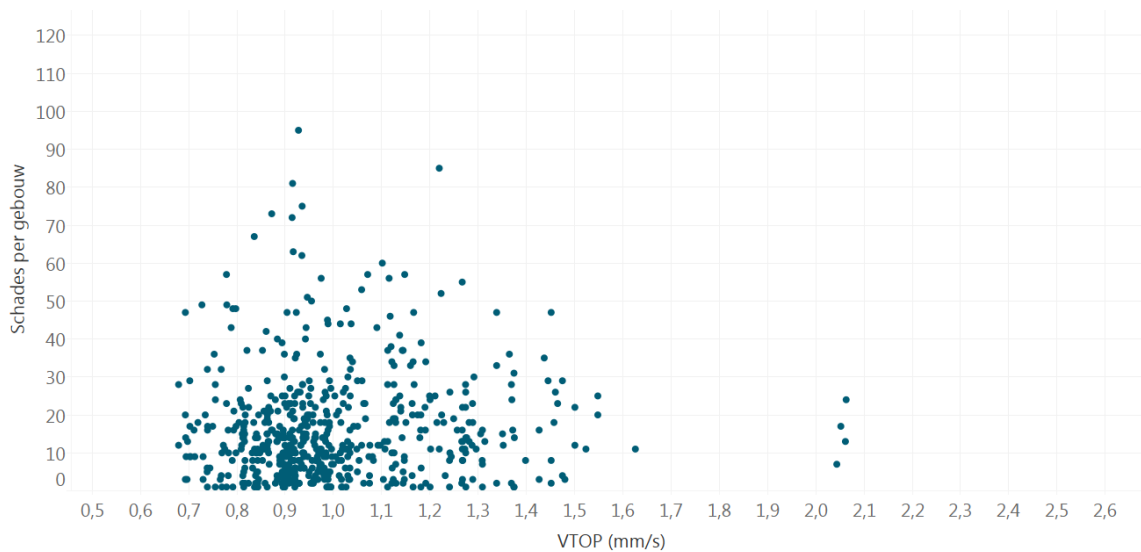
Afbeelding 5.57 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 215-230 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



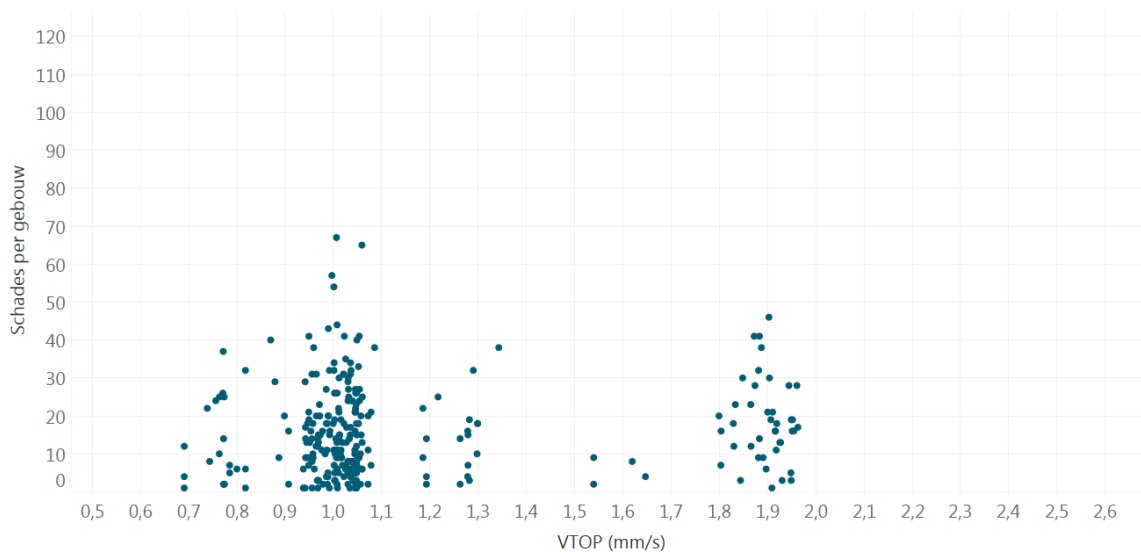
Afbeelding 5.58 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 230-245 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



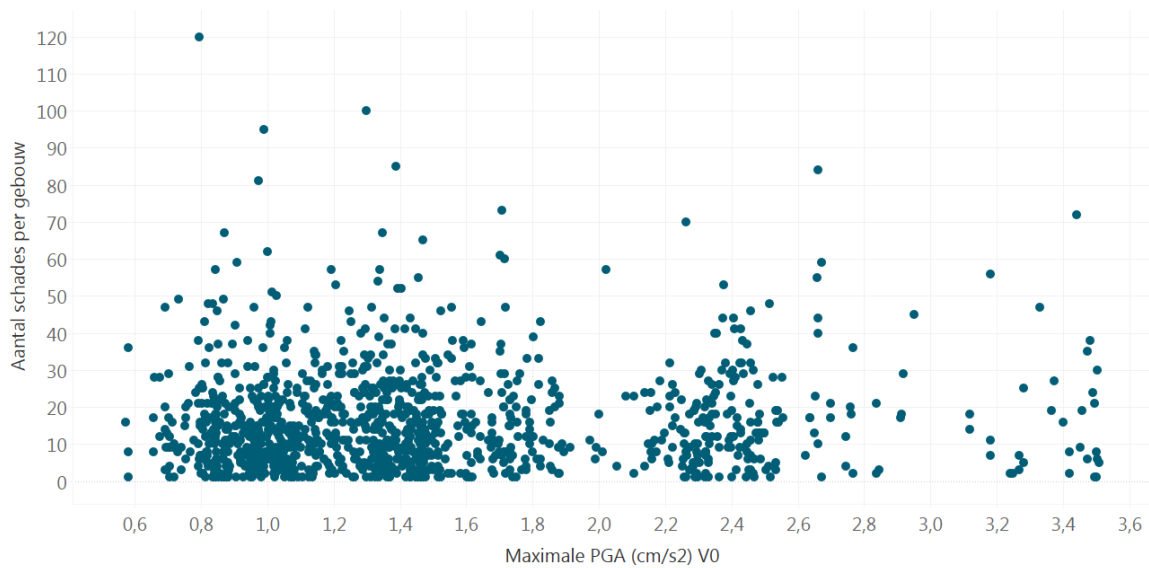
Afbeelding 5.59 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 245-260 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



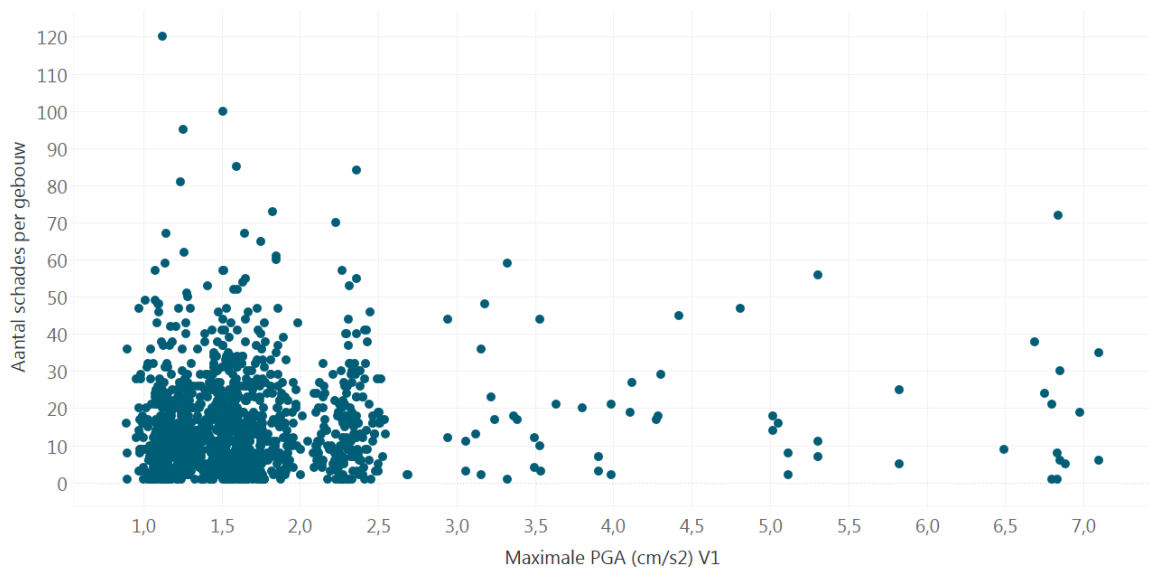
Afbeelding 5.60 Het aantal schades per gebouw voor $V_{S;30}$ van 260-275 m/s uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (VTOP, V0).
 Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten. Deze relatie is hier niet te zien



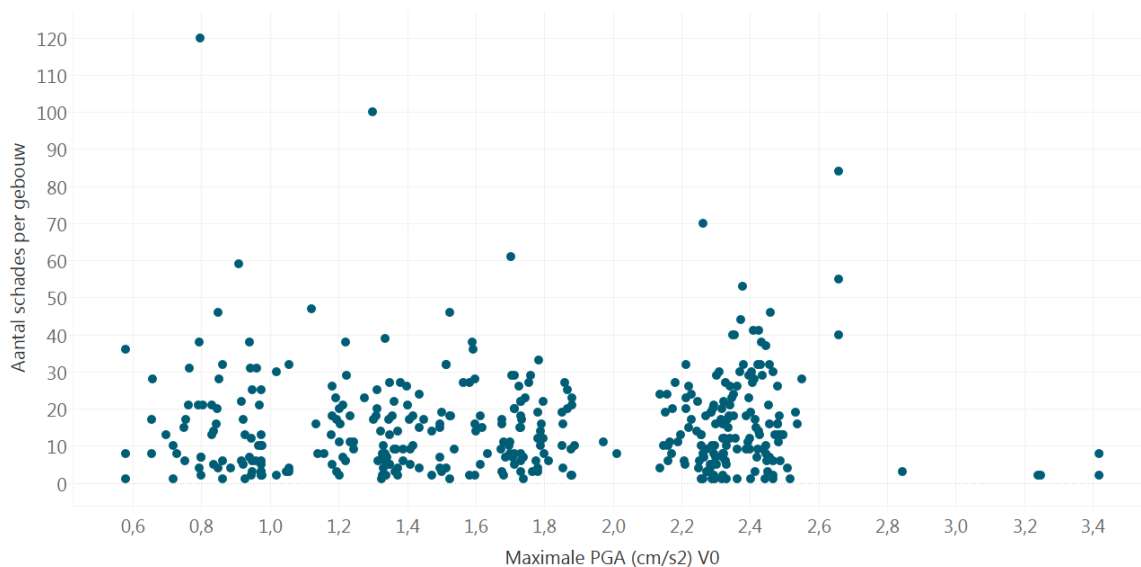
Afbeelding 5.61 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met zand in de ondergrond (diep en ondiep, profielen 3, 4 en 5, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



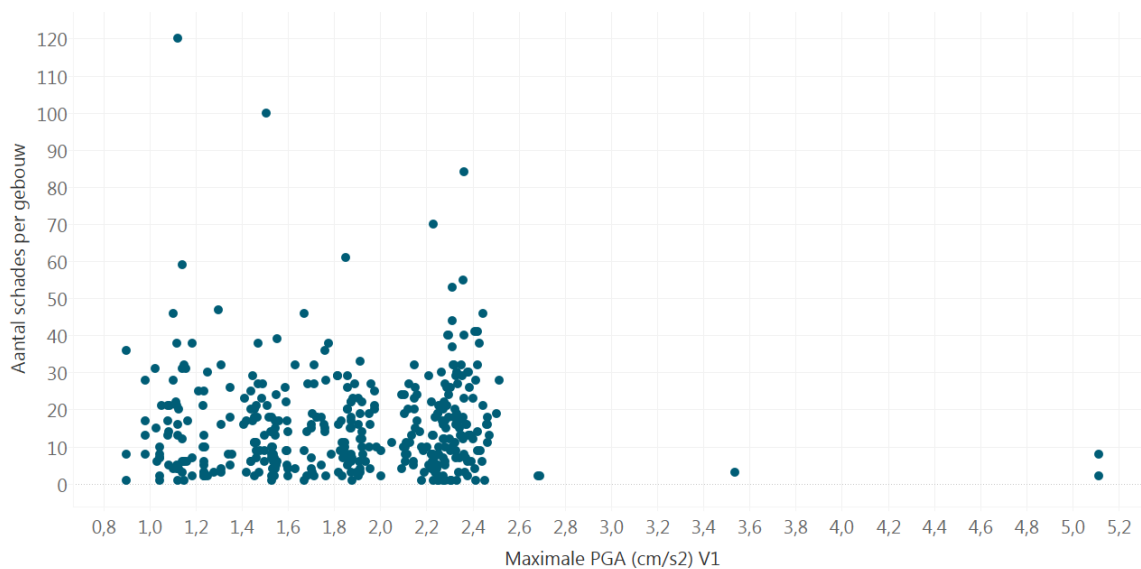
Afbeelding 5.62 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met zand in de ondergrond (diep en ondiep, profielen 3, 4 en 5, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



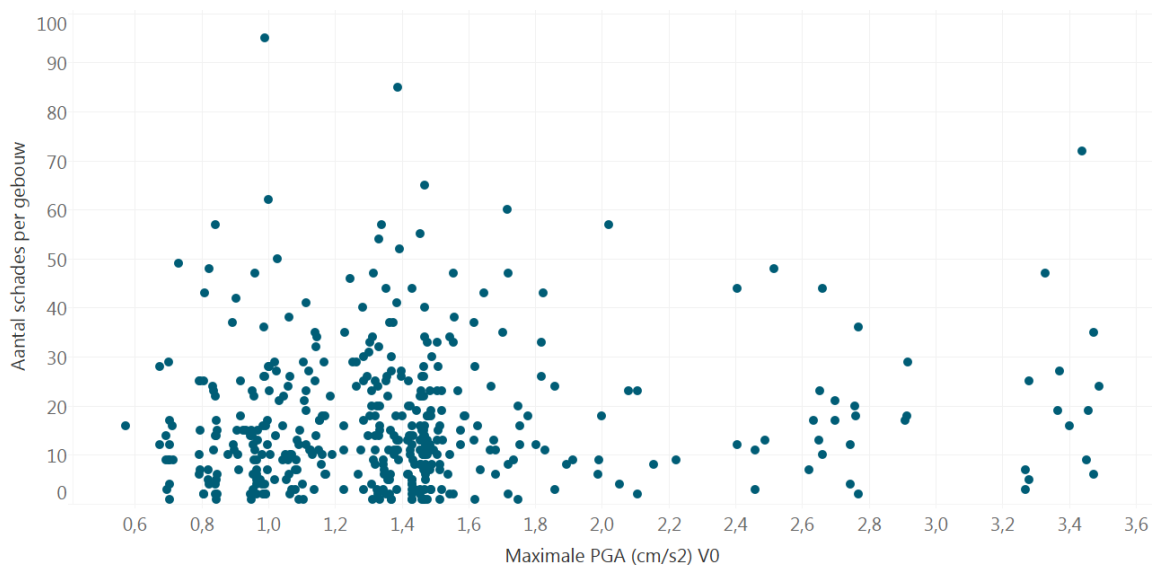
Afbeelding 5.63 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met ondiep zand (alleen vlakbij maaiveld) (profielen 3, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



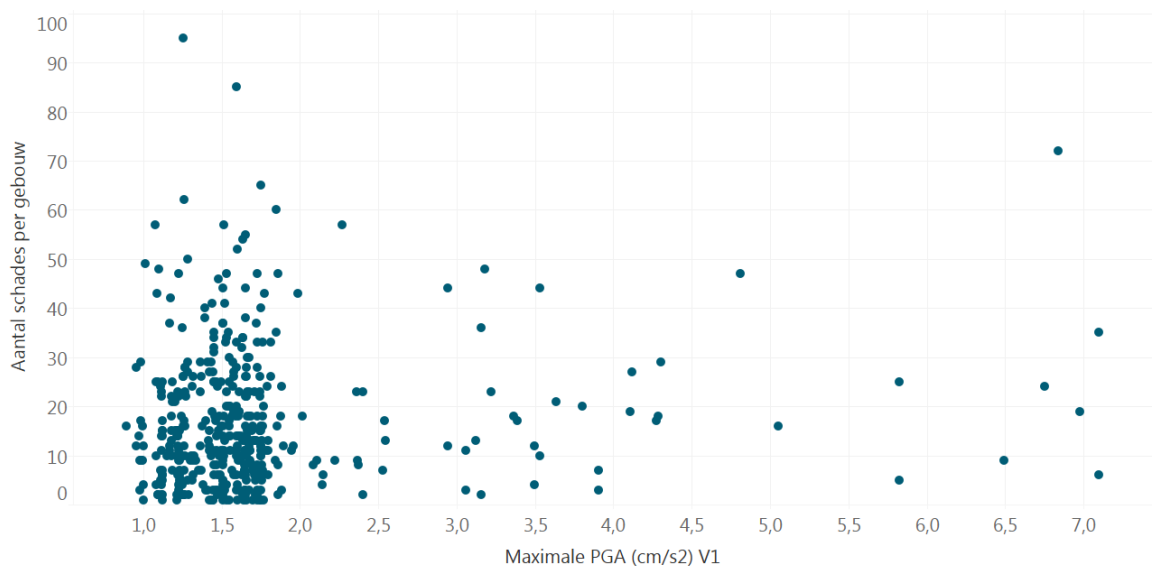
Afbeelding 5.64 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met ondiep zand (alleen vlakbij maaiveld) (profielen 3, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



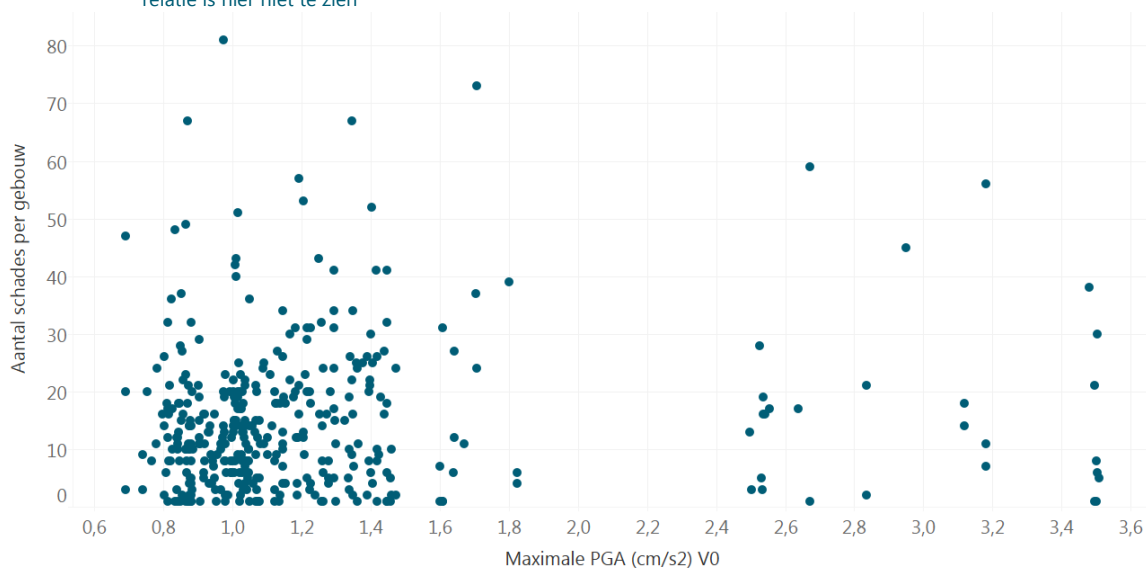
Afbeelding 5.65 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met zand zowel diep als ondiep (profielen 4, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



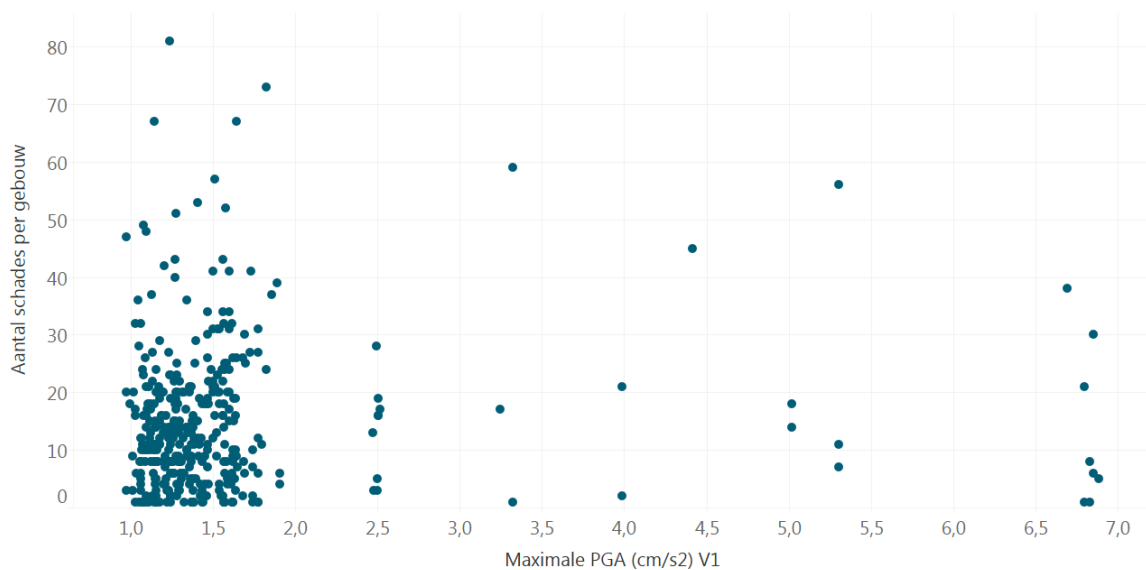
Afbeelding 5.66 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met zand zowel diep als ondiep (profielen 4, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



Afbeelding 5.67 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met ondiep zand (alleen vlakbij maaiveld) (profielen 5, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V0). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



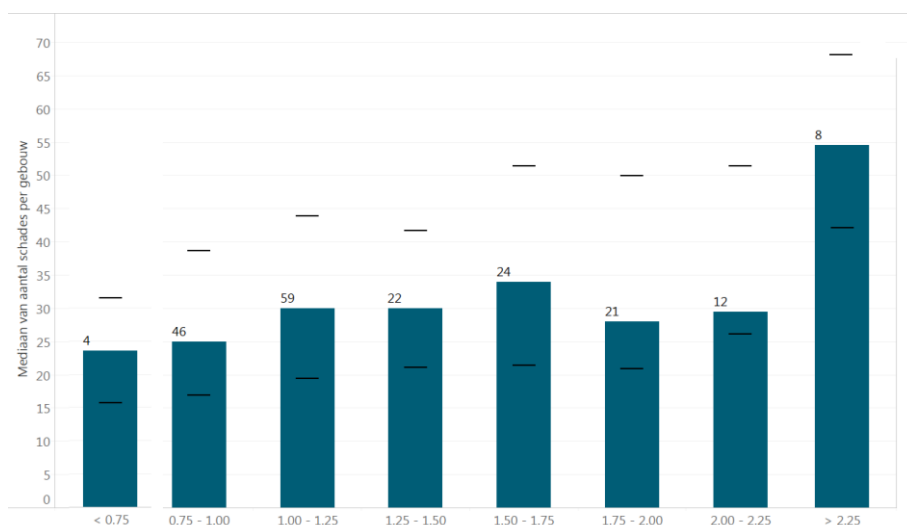
Afbeelding 5.68 Het aantal schades per gebouw voor grondprofielen met ondiep zand (alleen vlakbij maaiveld) (profielen 5, zie Bijlage I) uitgezet tegen de aardbevingsbelasting (PGA, V1). Bij een hogere aardbevingsbelasting (piekgrondsnelheid) zou men meer schade verwachten, mogelijk ten gevolge van liquefactie (verweking). Deze relatie is hier niet te zien



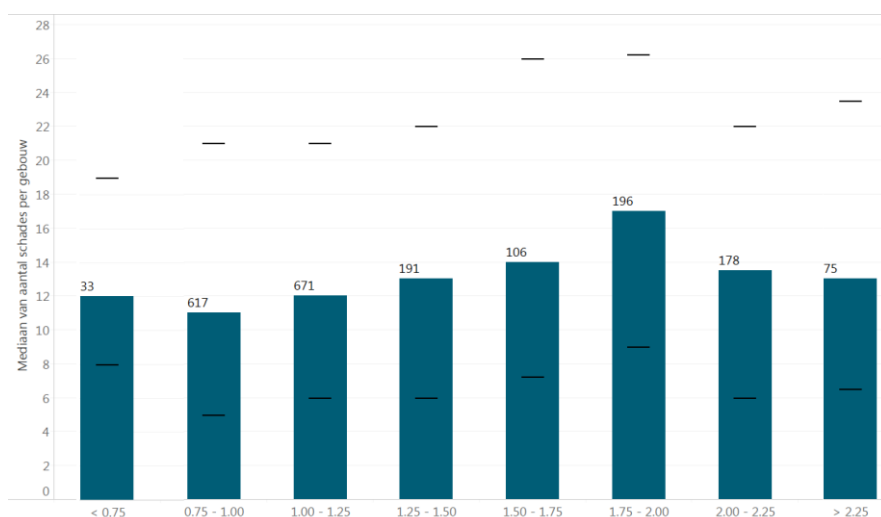
Bijzondere groep: (woon) boerderijen

In de data analyse sprong er een categorie gebouwen er in het bijzonder uit in vergelijking met de analyse voor alle gebouwen. Dit was de categorie (woon)boerderijen. In tegenstelling tot de gehele populatie gebouwen, was hier een voorzichtige trend te zien met het aantal schades als functie van de berekende VTOP waarde, waarbij er bij een kleine groep (woon)boerderijen (8) er een groter aantal schades te zien was bij de hoogste VTOP waarden. Deze groep is nader beschouwd en bestond uit oude, maar grote boerderijen. Het vermoeden was echter dat het absoluut aantal schades een vertekend beeld gaf vanwege de grootte van het gebouw. Bij een groot gebouw is de kans dat er meer schades wordt aangetroffen groter dan bij een klein gebouw. Vervolgens is aantal schades genormaliseerd ten opzicht van het woonoppervlak. In dit geval verdwijnt de trend en vertoont de populatie van 8 (woon)boerderijen geen afwijking meer, zie Afbeelding 5.69 tot Afbeelding 5.72.

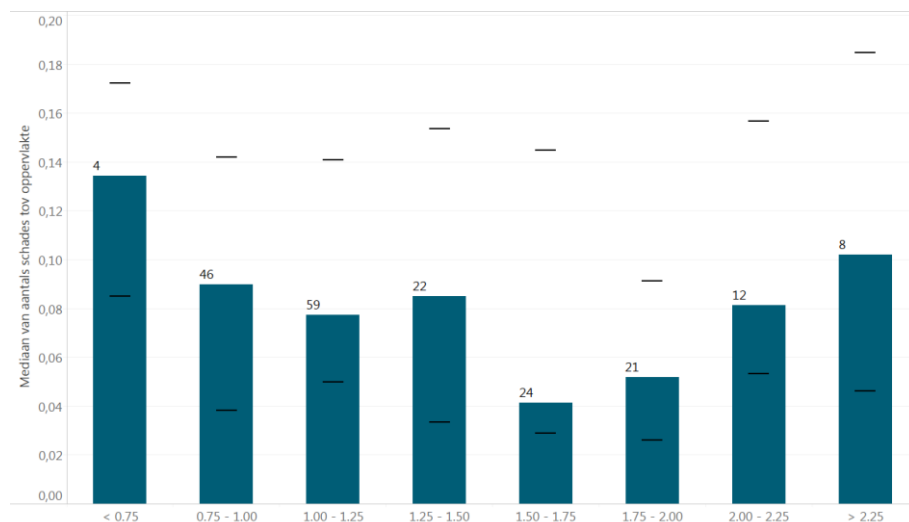
Afbeelding 5.69 Het aantal schades per (woon)boerderij gecategoriseerd per VTOP bereik. Op deze manier gevisualiseerd springt er een kleine groep van 8 (woon) boerderijen er duidelijk uit en is er een kleine trend te zien tussen het aantal schades per gebouw en de berekende VTOP waarden op de horizontale as (op basis van V0)



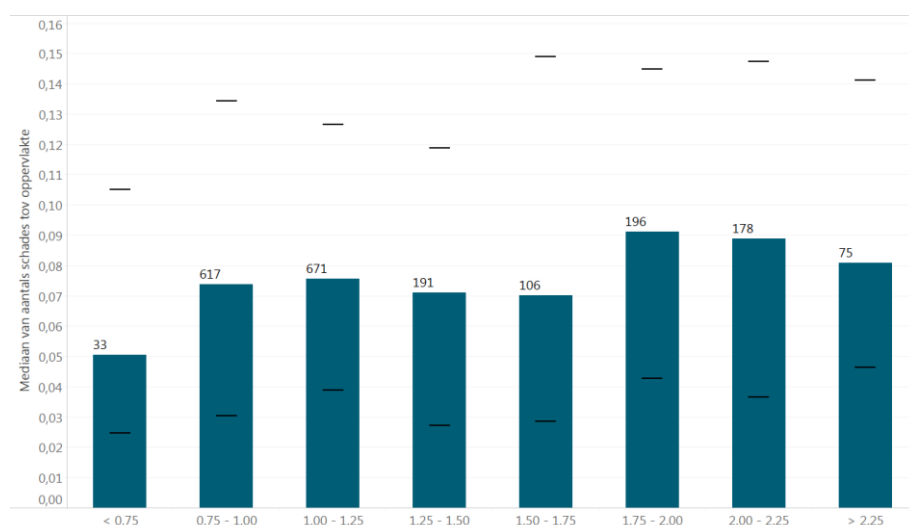
Afbeelding 5.70 Het aantal schades van alle woningen per VTOP bereik. In tegenstelling tot de analyse op basis van (woon) boerderijen is hier geen trend te zien tussen het aantal schades per gebouw en de berekende VTOP waarden op de horizontale as (op basis van V0)



Afbeelding 5.71 Het genormaliseerde aantal schades per (woon)boerderij gecategoriseerd per VTOP bereik. Op deze manier gevisualiseerd springt de een kleine groep van 8 (woon) boerderijen er niet meer uit en is er geen trend meer te herkennen tussen het aantal schades per gebouw en de berekende VTOP waarden op de horizontale as (op basis van V0)



Afbeelding 5.72 Het aantal genormaliseerde schades van alle woningen per VTOP bereik. Net als de vergelijking op basis van het absoluut aantal schades, is hier geen trend te zien tussen het aantal schades per gebouw en de berekende VTOP waarden op de horizontale as (op basis van V0)



Toets dichtbij-veraf

Met een toets is er aanvullend ook nog gekeken of er verschil is tussen panden die relatief gezien dichtbij en relatief ver van een epicentrum afliggen. Er is gekozen voor een deel van het onderzoeksgebied aan de westzijde van de provincie Groningen vanwege drie redenen:

- 1 de eerste reden is dat onafhankelijk van de gekozen GMPE berekening voor dit gebied altijd de beving bij Huizinge maargevend is en het verloop van grondversnellingen van hoog naar laag altijd hetzelfde beeld geeft, namelijk relatief hoge waarde tegen de voormalige contourlijn aan en relatief lagere waarden aan de westzijde;
- 2 de tweede reden is dat voor het buitengebied de berekende trillingssnelheid relatief hoog is. Daardoor is er relatief een behoorlijk verschil over de afstand verder van het epicentrum af. (M.a.w. de grafiek van de berekende trillingssnelheid t.o.v. het epicentrum is hier relatief stijl voor het buitengebied);
- 3 de derde reden is dat, het hele buitengebied beschouwd, de grondopbouw hier relatief gezien weinig verschillen toont. In onderstaande afbeelding zijn de gebouwen in het gebied weergegeven.

Op basis van de V0 en V4 modelberekeningen zijn de grootste piektrillingsnelheden (VTOP) waarde berekend die een ruimtelijke verdeling geven zoals is te zien in Afbeelding 5.73 en Afbeelding 5.74.

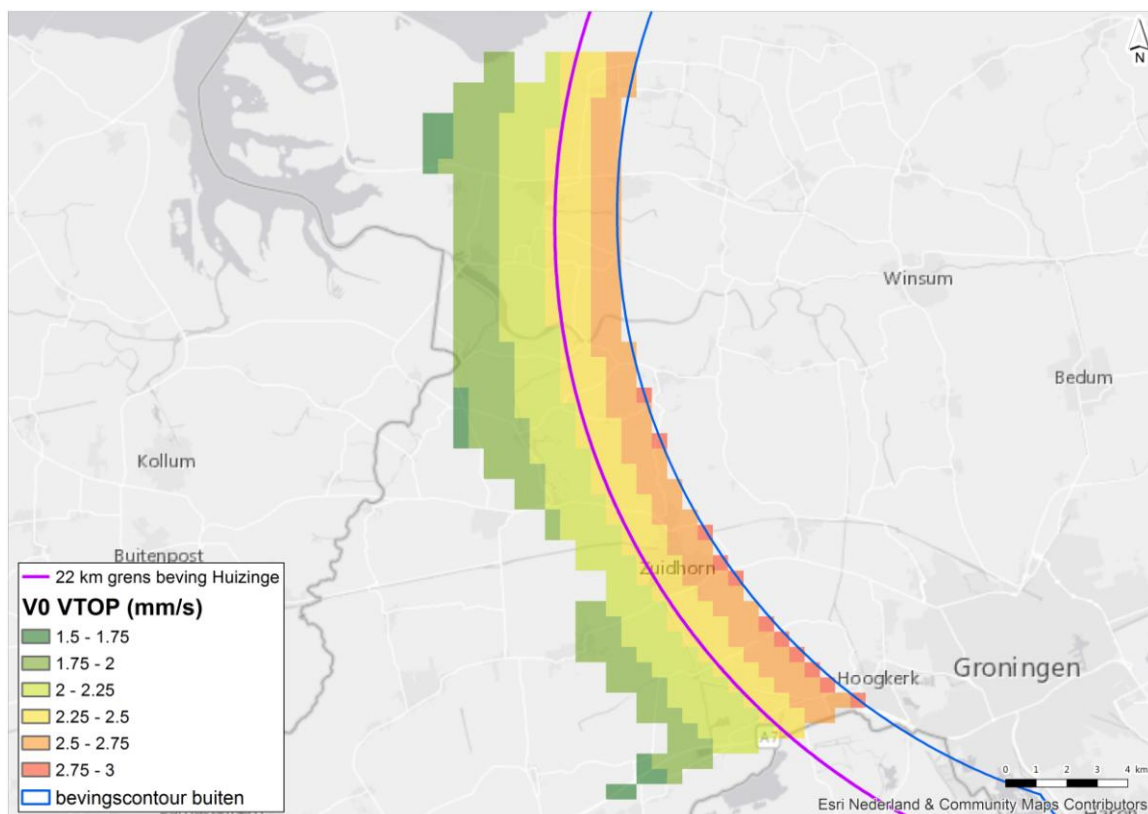
De groep is vervolgens opgedeeld in twee subgroepen op basis van de afstand tot het epicentrum van de maatgevende (Huizinge) beving. De grens is getrokken op 22km van Huizinge om twee vergelijkbare populaties te maken.

Op basis van reeds uitgevoerde toetsen en wiskundige analyses is bekend dat het bouwjaar, bouwtype en de woonoppervlakte de meest onderscheidende parameters zijn om te voorspellen hoeveel schades een gebouw heeft. Daarom is binnen de twee populaties gezocht naar een groep die op basis van die kenmerken vergelijkbaar is. Met betrekking tot het bouwjaar komen gebouwen uit 1920 en 1930 relatief veel voor in beide populaties (zie Afbeelding 5.75). Wat betreft bouwtype zijn schuren, twee onder één kap woningen en vrijstaande woningen de types die in beide populaties een vergelijkbare vertegenwoordiging hebben (zie Afbeelding 5.76). Met betrekking tot woonoppervlakte zijn dit gebouwen met een oppervlakte tussen de 100m² en 200m² (zie Afbeelding 5.77).

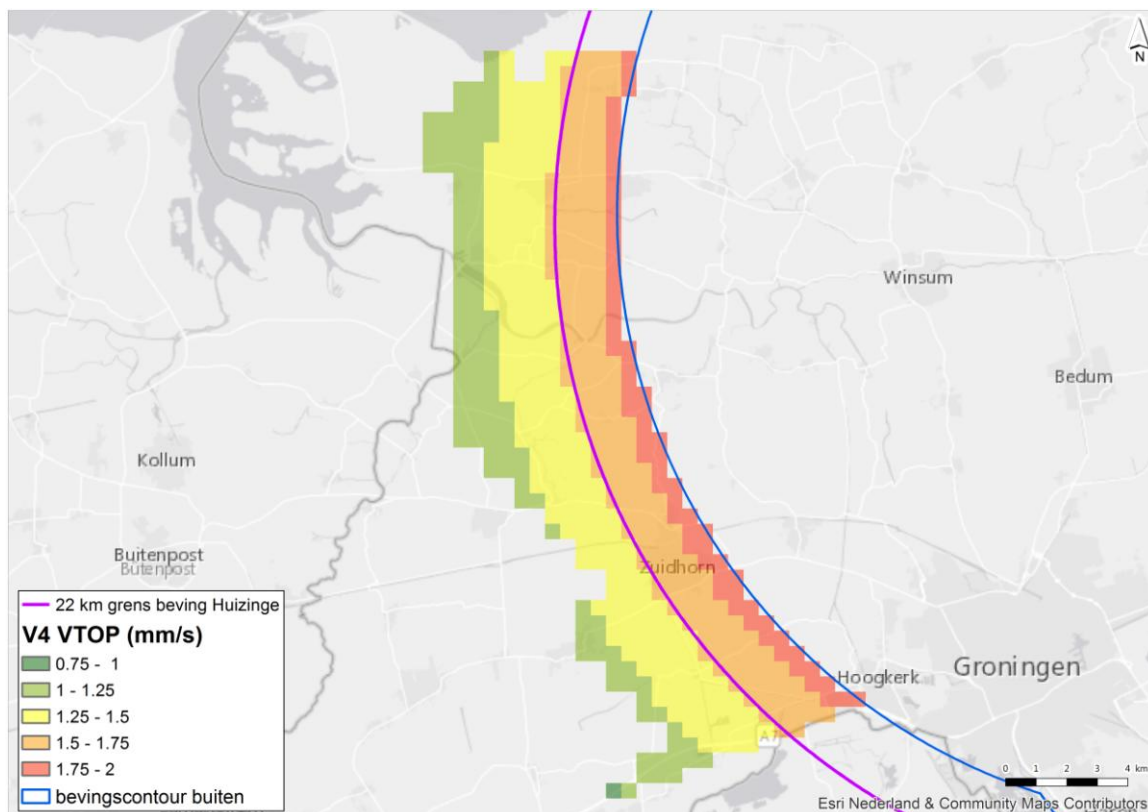
Er resteert dus een groep schuren, twee onder één kap woningen en vrijstaande woningen, gebouwd tussen 1920 en 1940 met een woonoppervlak van 100-200m². In totaal zijn 71 gebouwen meegenomen, waarbij er 39 in de groep dichtbij en 32 in de groep veraf zitten.

Wanneer gekeken wordt naar de mediaan van het aantal schades per gebouw zien we verder van het epicentrum twee schades meer dan bij de groep dichterbij (zie Afbeelding 5.78). Ook wanneer naar het gemiddelde aantal schades per gebouw gekeken wordt zijn bij de groep op grotere afstand gemiddeld meer schades zichtbaar (zie Afbeelding 5.79).

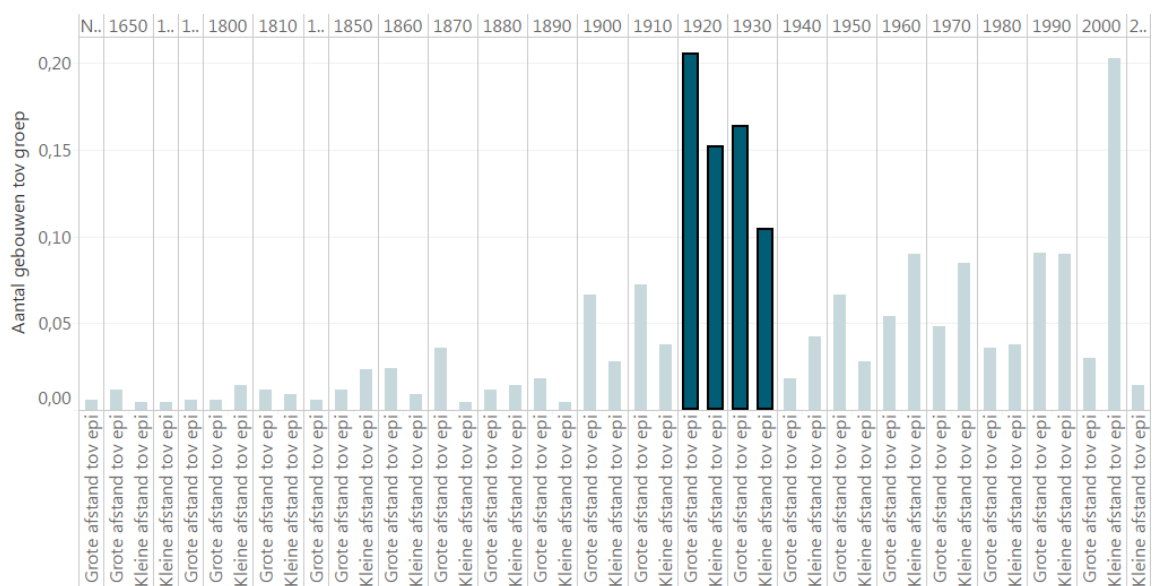
Afbeelding 5.73 Verdeling van de berekende maximale VTOP waarde o.b.v. het Versie 0 model. De paarse lijn geeft de (arbitraire) afstand van 22 km tot de (maatgevende) M 3,6 beving van Huizinge van 16 augustus 2012



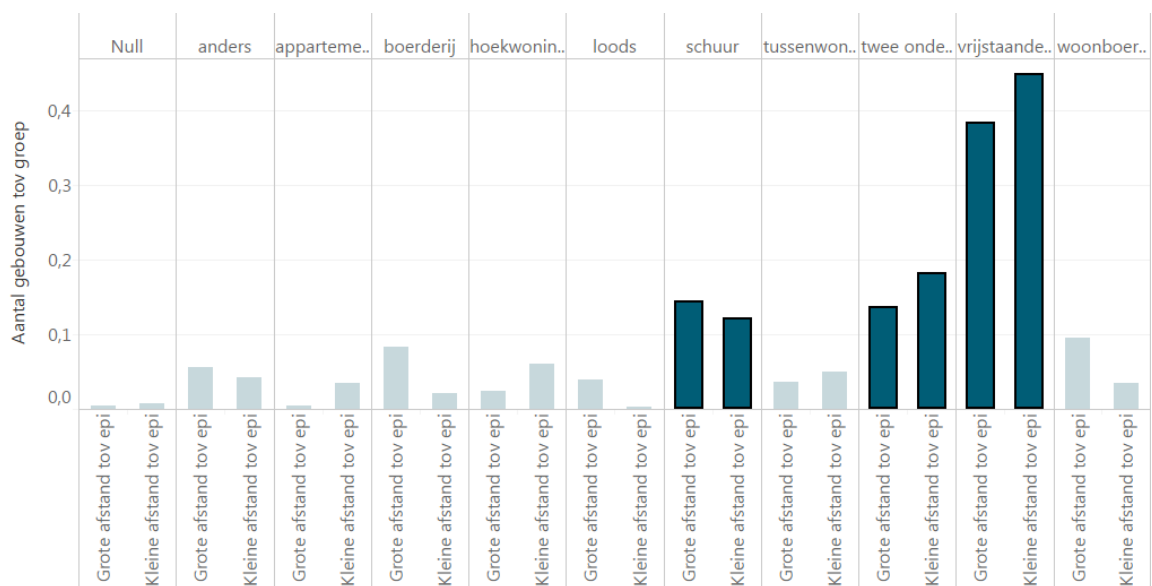
Afbeelding 5.74 Verdeling van de berekende maximale VTOP waarde o.b.v. het Versie 4 model. De paarse lijn geeft de (arbitraire) afstand van 22 km tot de (maatgevende) M 3,6 beving van Huizinge van 16 augustus 2012



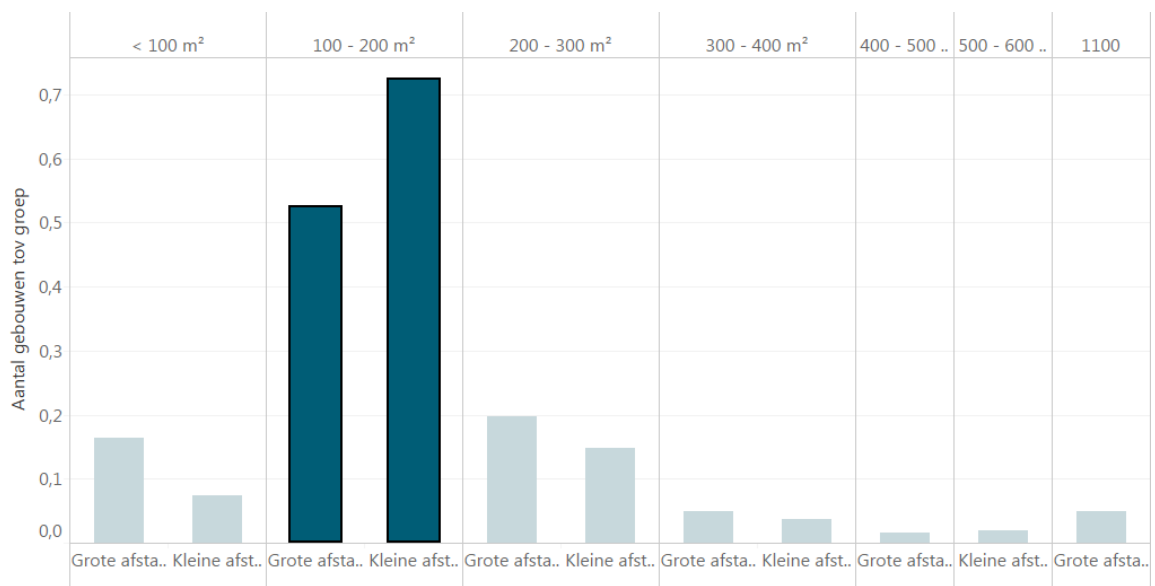
Afbeelding 5.75 Op deze grafiek is te zien dat gebouwen uit de jaren '20 en '30 relatief veel voorkomen beide populaties (zowel dichtbij als veraf)



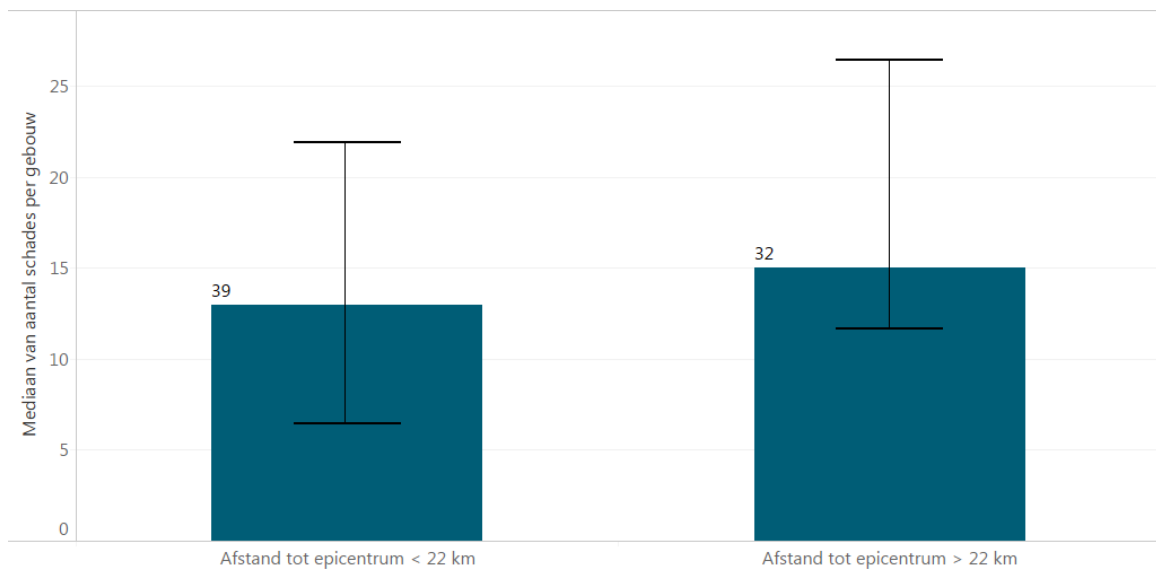
Afbeelding 5.76 Op deze grafiek is te zien dat wat betreft gebouwtipe schuren, twee onder één kap woningen en vrijstaande woningen types zijn die in beide populaties een vergelijkbare vertegenwoordiging hebben



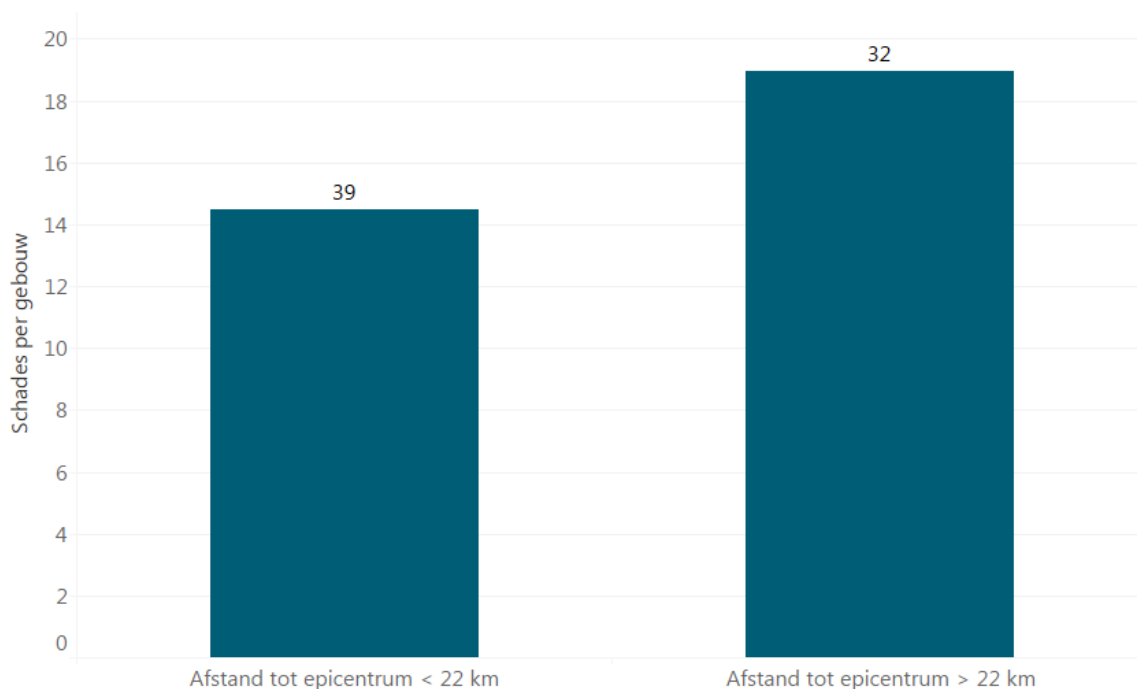
Afbeelding 5.77 Op deze grafiek is te zien dat wat betreft woonoppervlakte gebouwen met een oppervlakte tussen de 100m² en 200m² een vergelijkbare vertegenwoordiging hebben



Afbeelding 5.78 Deze grafiek geeft aan dat wanneer gekeken wordt naar de mediaan van het aantal schades per gebouw dat we verder van het epicentrum twee schades meer zien dan bij de groep dichterbij



Afbeelding 5.79 Deze grafiek geeft aan dat ook wanneer naar het gemiddelde aantal schades per gebouw gekeken wordt bij de groep op grotere afstand er gemiddeld meer schades zichtbaar zijn



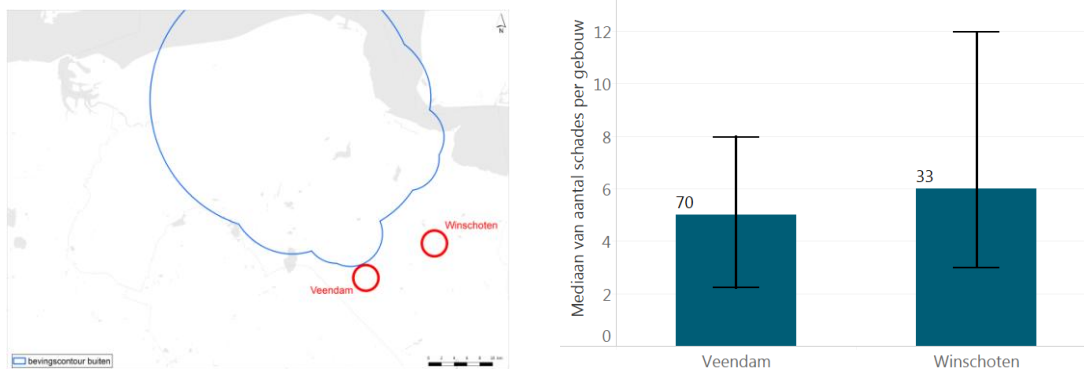
5.3.2 Bodemdaling ten gevolge van verandering in de diepe ondergrond

Binnen de hoofdoorzaak ongelijkmatige zettingen in de ondergrond is de oorzaak in subcategorie niveau twee 'verandering in de ondergrond - bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten' in alle gevallen niet gefalsifieerd noch geverifieerd.

Dit komt omdat het niet mogelijk is om voor panden met schades, ten gevolge van ongelijkmatige zetting van de ondergrond, een invloed als gevolg van een verwaarloosbaar kleine hoekverdraaiing, van in het buitengebied maximaal 0,5 mm per 10 m, ten gevolge van gaswinning te falsificeren. Hetzelfde geldt voor de maximale hoekverdraaiing van 2,2 mm per 10 m ten gevolge van de zoutwinning nabij Veendam. Het is ook niet mogelijk om de invloed hiervan te verifiëren, omdat deze hoekverdraaiing op zichzelf niet tot schade leidt. Dit omdat deze aanzienlijk kleiner is dan de strengste grenswaarde op basis van Kratzsch, namelijk 25 mm per 10 m. Op basis van deze grenswaarde is bodemdaling door gaswinning in het buitengebied daarmee altijd minimaal een factor 50 kleiner dan de andere aandrijvende mechanismen achter de ongelijkmatige zetting. De bodemdaling ten gevolge van zoutwinning is altijd een factor 11 kleiner.

Om te toetsen of er inderdaad geen directe aanwijzing is dat de bodemdaling ten gevolge van mijnbouwactiviteiten geleid heeft tot het schadebeeld ongelijkmatige zettingen, zijn twee onder een kap woningen en vrijstaande woningen met het schadebeeld ongelijkmatige zettingen uitgelicht in de omgeving Veendam en de omgeving van Winschoten, zie afbeelding 5.80. Er is gekozen voor deze vergelijking omdat in de omgeving van Veendam de bodemdaling ten gevolge van diepe bodemdaling het grootst is en de opbouw van de ondergrond in de omgeving van Winschoten een overeenkomstige opbouw heeft als die van Veendam. De keuze voor een beperkt aantal gebouwtypes maakt het mogelijk om het aantal variabelen nog verder te beperken in de vergelijking. Uit deze vergelijking in afbeelding 5.80 volgt dat er geen aanwijzing is om te concluderen dat het gehanteerde criterium niet klopt.

Afbeelding 5.80 Vergelijking zettingschades Veendam en Winschoten



5.4 Toets op verificatie

5.4.1 Geen overbelasting, onvoldoende sterkte of stijfheid

Schade aan constructies kan ontstaan als de spanningen in een materiaal gelijk (of groter) worden dan de sterkte van het materiaal. Dit kan tot gevolg hebben dat het materiaal scheurt. Als een constructie-onderdeel onvoldoende stijf is, dan vervormt het meer dan waarop het is ontworpen. Door degeneratie van materiaal en belasting cycli kan de sterkte afnemen. Als gevolg hiervan kunnen de spanningen in het materiaal de materiaalsterkte overschrijden met scheurvorming als gevolg.

Twee veel voorkomende schades uit de categorie 'Geen overbelasting' zijn: het spatten van een kap en onvoldoende stijve lateien. Het spatten van een kap is 3345 keer waargenomen, onvoldoende stijve lateien 5843 keer.

Spatten van een dak

Er zijn twee vormen van 'spatten van een kap' waargenomen die vaker voorkomen.

De eerste vorm komt voor bij (woon)boerderijen. Als de houten draagconstructie van het dak onvoldoende stijfheid heeft of als de fundering ervan meer zakt dan de fundering van de zijgevel, wordt de zijgevel door vervorming van de sporenkap naar buiten gedrukt. Doordat de zijgevel naar buiten wordt gedrukt scheurt deze, ook treedt scheurvorming op in de aansluitende achter- en voorgevel.

De tweede vorm is het spatten van een kap van een woning, waarbij het hellend dak via een muurplaat aan de vloer is gekoppeld. De vloer maakt horizontaal evenwicht en voorkomt dat de muurplaten door de horizontale kracht naar buiten worden gedrukt. Als de vloer of muurplaat de horizontale trekkracht niet kan opvangen verplaatst de onderkant van de kap (en soms ook een deel van de vloer) naar buiten. Als gevolg hiervan drukt de muurplaat het aansluitende metselwerk naar buiten. Hierdoor kan er scheurvorming optreden in de wanden die naar buiten wordt gedrukt en wanden die hierop aansluiten. In de praktijk zijn er ook andere wijzen van koppeling tussen beide zijden van het dak zoals spanten, trekankers, en dergelijke mogelijk, echter het principe is zoals bovenstaand omschreven.

Uit de toets blijkt dat het gemiddeld aantal schades als gevolg van het spatten van een kap van een (woon)boerderij hoger is dan bij ander type gebouwen (de tweede vorm). Tevens is voor beide groepen vastgesteld dat dit schadebeeld bij gebouwen die zijn gebouwd voor 1950 gemiddeld vaker voorkomt dan bij gebouwen met een latere oprichtingsdatum.

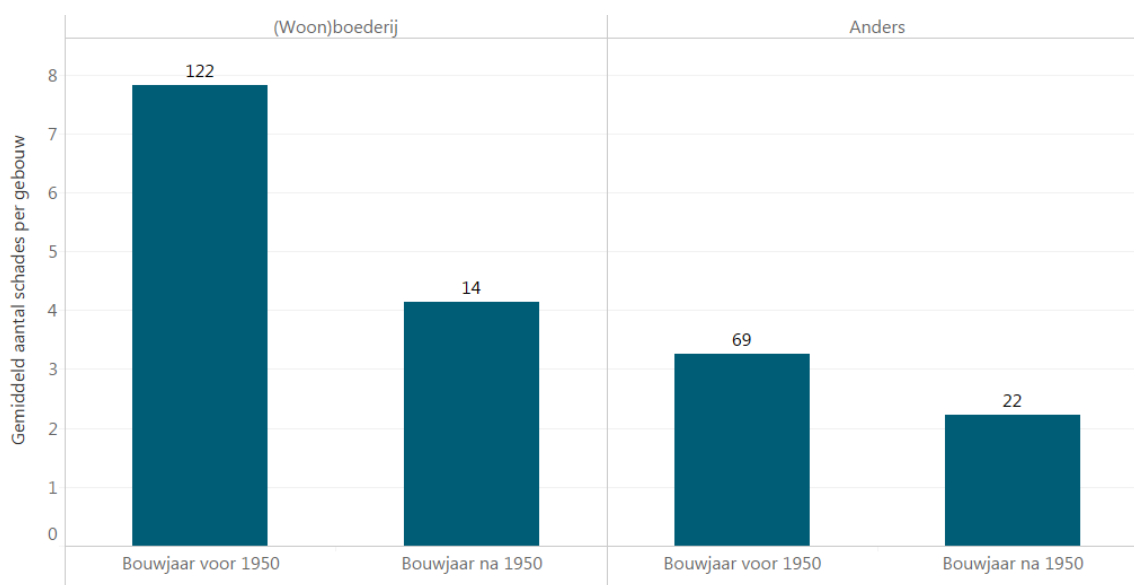
Tijdens inspecties is gebleken dat de draagconstructie van het dak van (woon)boerderijen vaak onvoldoende stijf is waardoor de zijgevel door de sporen van het dak uit het lood wordt gedrukt. Als gevolg hiervan ontstaat er schade in de zijgevel, achter- en voorgevel van het gebouw. Bij andere bouwtypen is de dakconstructie meestal minder complex en is de kans op schade door spatten kleiner. Hier is de stijfheid van het dak niet bepalend maar een goede onderlinge koppeling van de muurplaten.

Dat het gemiddeld aantal schades in gebouwen die zijn opgericht voor 1950 is hoger dan in gebouwen van latere datum. Dit heeft te maken met degeneratie van materialen, en het veranderen van de bouw en bouwmethodes in de loop van de tijd.

De constructie van een dak is onderhevig aan degeneratie van materialen en aan belasting cycli. Hierdoor neemt de sterkte van de materialen af in de tijd en daarmee de stijfheid van de constructie. De afnemende stijfheid van de constructie kan leiden tot schade.

Na 1950 is de aanpak van het ontwerp van een gebouw en de wijze waarop het wordt geconstrueerd geleidelijk veranderd. Daar waar vroeger de constructies op basis van ervaring werden ontworpen en gebouwd, staat het ontwerp nu onder toezicht van de overheid en dienen alle constructies te voldoen aan wet- en regelgeving. Daarnaast is men in de bouw steeds meer gaan werken met minder arbeidsintensieve constructiemethoden. De meeste daken worden in prefab aangeleverd en in plaats van complexe houten draagconstructies wordt er nu gewerkt met stalen draagconstructies.

Een beeld wat we vinden met de toets komt overeen met hetgeen in de lijn van de verwachting ligt.



Onvoldoende stijve latei

Een lateiconstructie bestaat uit een korte overspanning van natuursteen, beton, staal, hout of metselwerk. Indien de constructie onvoldoende stijf is om de bovenliggende constructie op te vangen komt er spanning te staan op de constructie. Hierdoor kan er in de lateiconstructie en in het bovenliggende metselwerk scheurvorming ontstaan.

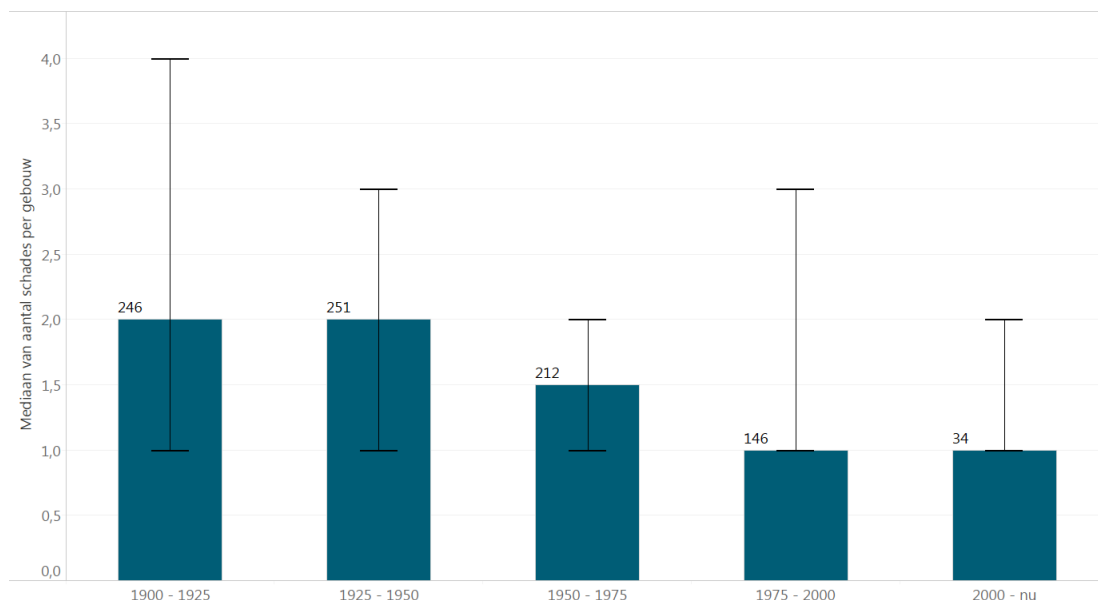
Uit de toets blijkt dat het gemiddeld aantal schades door onvoldoende stijfheid lateien in de tijd is afgenomen. Het blijkt dat in lateiconstructies van voor 1950 gemiddeld drie keer zoveel schades voorkomt dan in lateien in gebouwen die zijn opgericht na het jaar 2000. Hierbij speelt degeneratie van materialen, de verbeterde kwaliteit van lateiconstructies en de gewijzigde bouwwijze een rol.

De constructie van een latei is onderhevig aan degeneratie van materialen. Hierdoor neemt de sterkte van de materialen af in de tijd en daarmee de stijfheid van de constructie. De vervorming die optreedt als gevolg van het afnemen van de stijfheid van de constructie kan leiden tot schade.

In oudere gebouwen werden de lateiconstructies niet berekend maar op basis van ervaring geconstrueerd. Na het invoeren van de verplichting in 1960 om de buitenmuren volledig als spouwmuur uit te voeren werd er bij de bouwwijze nog onvoldoende rekening gehouden met thermische eigenschappen van materialen. De lateiconstructies werden nog regelmatig aan de binnenvloer gekoppeld. Door de verschillen in uitzetting van metselwerk en de latei was de kans op ontstaan van scheuren in het metselwerk groot. Tegenwoordig worden alle lateien berekend en voorzien van een CE-markering en Komo-attest. Daarnaast worden er

duidelijke handleidingen verstrekt waarin wordt beschreven hoe de lateien aan te brengen en te detailleren. De kans op schade is hierdoor aanzienlijk kleiner.

Uit de toets blijkt dat de schade aan lateien in de jaren is afgenomen. Een beeld dat overeenkomt met hetgeen je kan verwachten op basis van de verbeteringen van de bouwmethode. De doorontwikkeling en optimalisering van het product latei heeft geleid tot minder schade bij jongere bouwwerken.



5.4.2 Trillingen ten gevolge van verkeer

Schades kunnen het gevolg zijn van overbelasting door trillingen ten gevolge van weg- en spoorverkeer. In bijlage I, paragraaf 4.2 zijn op basis van metingen voor verschillende wegtypen VTOP waarden bepaald. In bijlage II, paragraaf 2.2 zijn op basis van een vergelijking van de VTOP waarden met de SBR een aantal criteria bepaald met betrekking tot afstand tot weg, verkeerssnelheid en drempels voor het falsificeren van verkeer als mogelijke oorzaak.

Wanneer het criterium gehaald wordt, wordt de schadeoorzaak niet gefalsificeerd en is het een mogelijke schadeoorzaak die geverifieerd kan worden. De intensiteit van de trillingen is over het algemeen laag waarbij de overschrijding van de grenswaarde nog beperkt is. Er is geen uniek schadebeeld voor schade ten gevolge van trillingen door verkeer gegeven in 'Structural damage in Masonry' van De Vent. Als een schade mogelijk veroorzaakt is door verkeerstrillingen zijn ook altijd meerdere andere mogelijke oorzaken mogelijk.

Daarom is bij schades waarbij de grenswaarde uit [13] waarschijnlijk overschreden is, de mogelijke schadeoorzaak 'overbelasting door trillingen - wegverkeer' door de expert aangemerkt als een schade waarbij een trilling mogelijk van invloed kan zijn geweest. In totaal is voor 198 schades deze mogelijke schadeoorzaak aangemerkt als preliminaire schadeoorzaak. Het betrof echter altijd een schade waarbij ook meerdere andere mogelijke oorzaken geverifieerd waren.

De schades met deze mogelijke oorzaak zijn getoetst omdat er geen uniek schadebeeld is dat gehanteerd kan worden bij de beoordeling bij kleine overschrijdingen van de grenswaarde. Er is gekeken of er een relatie is met de afstand tot de weg, de snelheid op de weg en het type wegdek. Door het kleine aantal schades waarvan tijdens de beoordeling is aangegeven dat deze mogelijk veroorzaakt zou kunnen zijn door trillingen ten gevolge van verkeer bleek het niet mogelijk om met de patroonherkenning een verband aan te tonen tussen het verkeer en de schades.

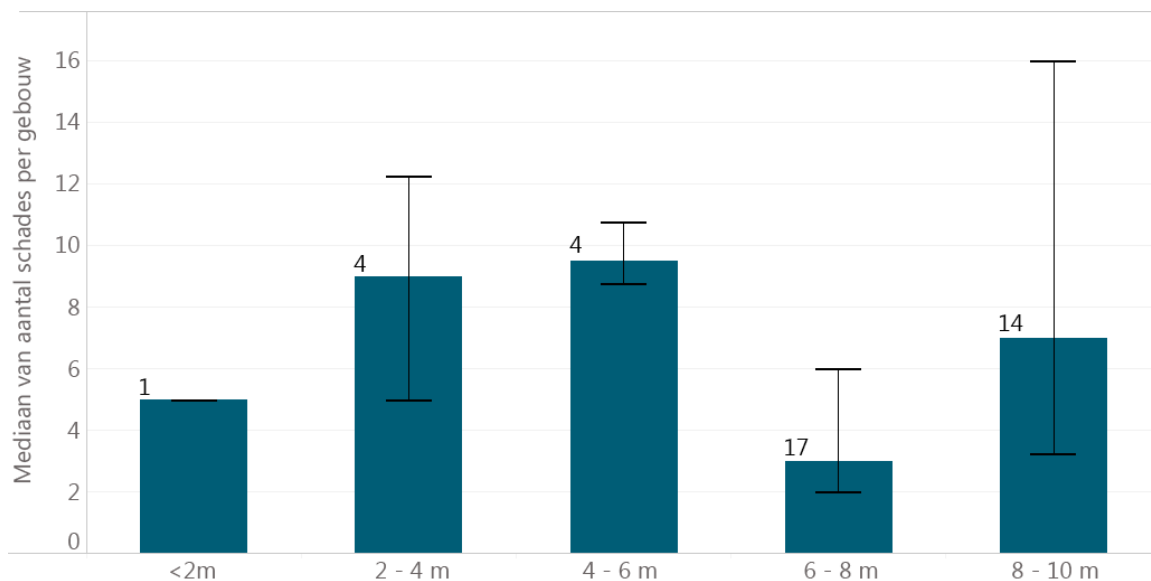
Omdat er geen duidelijk waarneembaar schadebeeld is en de toets de relatie tussen trillingen ten gevolge van wegverkeer en schade niet aantoont, is het niet mogelijk gebleken om de schadeoorzaak te verifiëren als definitieve schadeoorzaak. Gezien het mogelijk overschrijden van de grenswaarde kan deze mogelijke

schadeoorzaak echter ook niet voor alle gebouwen gefalsificeerd worden. Daarom wordt de mogelijke schadeoorzaak niet gefalsificeerd en niet geverifieerd wanneer niet aan het falsificatiecriterium wordt voldaan.

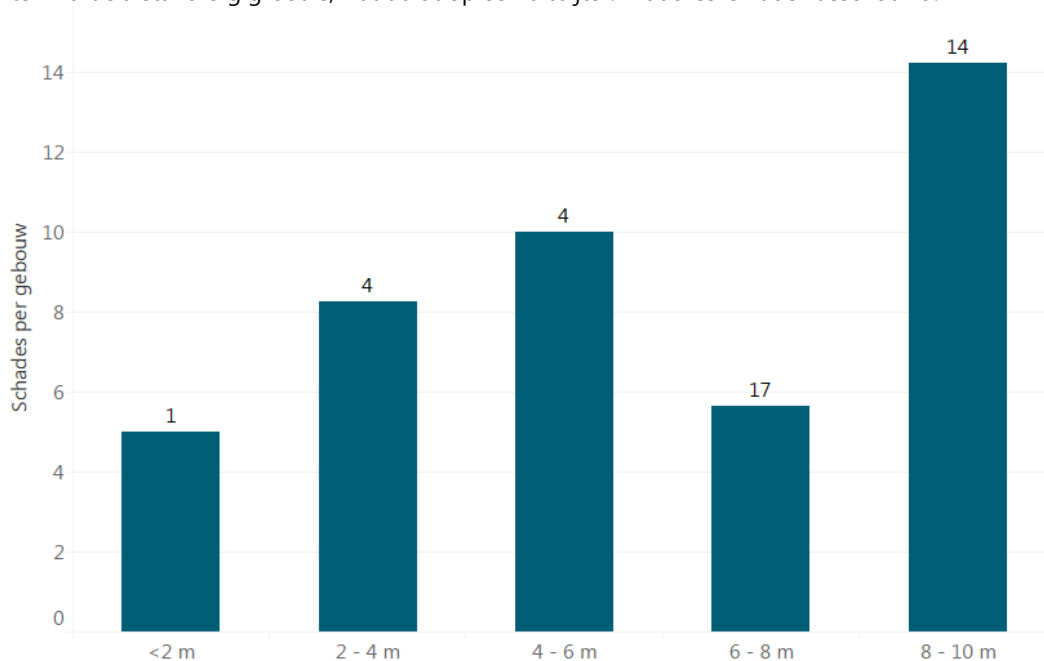
Relatie afstand tot weg

Op basis van de uitkomsten van de meetgegevens zoals gepresenteerd in bijlage I zou een relatie, tussen het aantal schades dat mogelijk door verkeer veroorzaakt of verergerd is, verwacht worden tussen de afstand tot de weg van het gebouw. De trillingsbelasting neemt namelijk af wanneer de afstand tot de weg verder toeneemt.

Wanneer gekeken wordt naar de mediaan van het aantal schades dat mogelijk door verkeer veroorzaakt of verergerd is ten opzichte van de afstand tot de weg, dan komt het patroon niet overeen met de verwachting. Gezien het beperkte aantal gebouwen en schades is het echter niet mogelijk om hier een conclusie aan te verbinden met betrekking tot het wel of niet bestaan van het patroon.

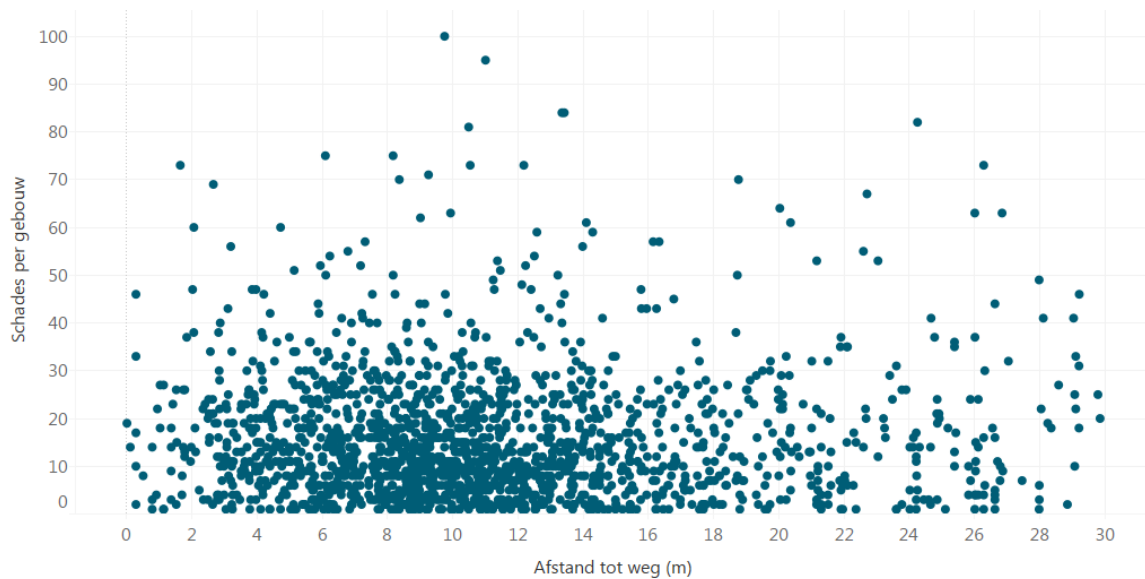


Ook wanneer naar het gemiddelde aantal schades dat mogelijk door verkeer veroorzaakt of verergerd is wordt gekeken volgt geen eenduidig patroon. Wat opvalt is dat in de klasse 8-10m het gemiddelde en de interkwartielafstand erg groot is, wat duidt op een uitbijter. Dit adres is nader beschouwd.

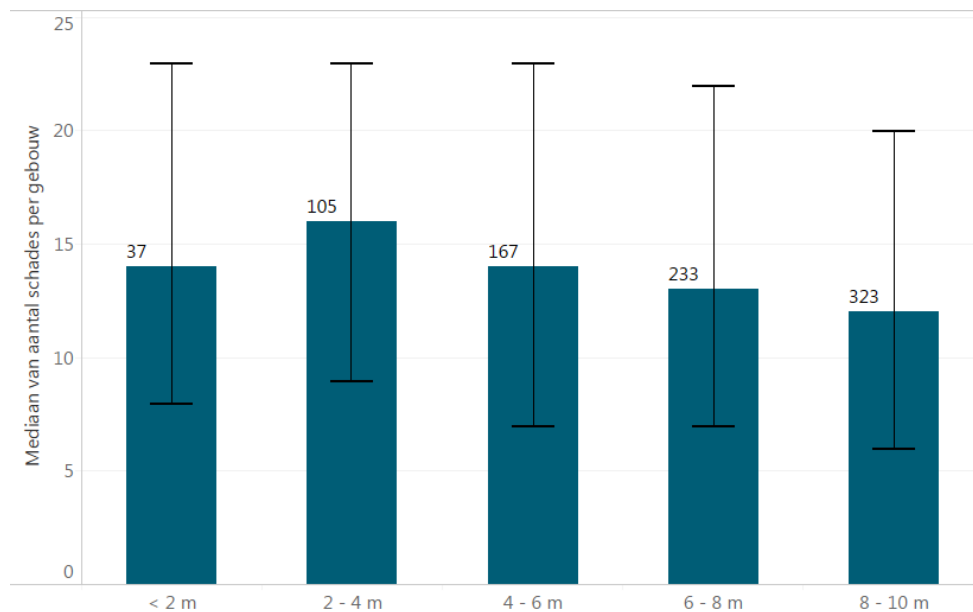


Omdat het schadebeeld niet uniek is en daarom lastig te beoordelen op basis van een waarneming is ook gekeken naar alle schades per gebouw ten opzichte van de afstand tot de weg (dus ook de gebouwen waarvoor niets is aangegeven dat de schade mogelijk beïnvloed is door verkeer).

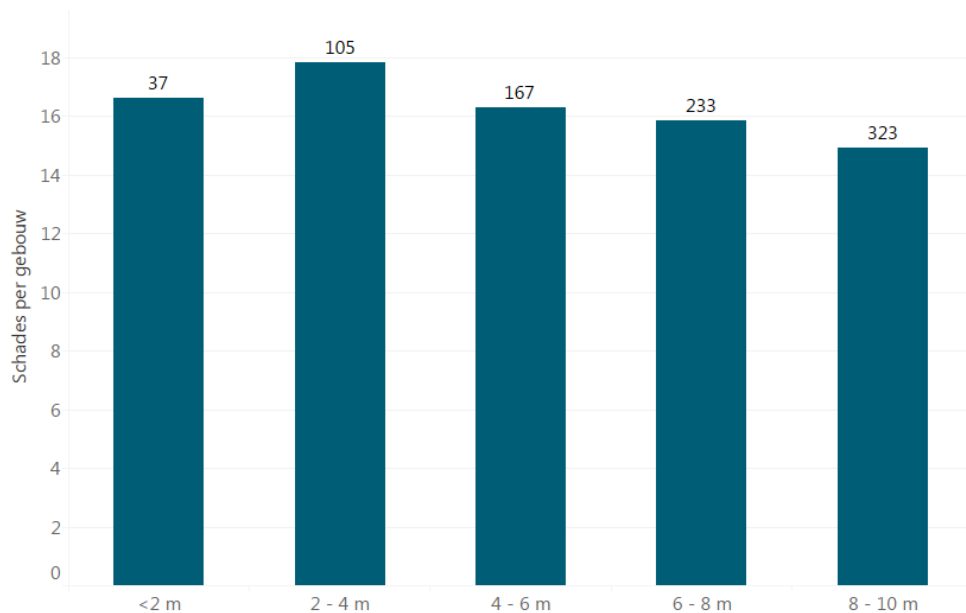
In onderstaande scatterplot is geen duidelijke relatie zichtbaar



Ook wanneer wordt gekeken naar de mediaan van het aantal schades per gebouw is geen duidelijk verband zichtbaar, al neemt de mediaan van het aantal schades na 6 meter iets af.



Ook het gemiddelde aantal schades per gebouw vertoont geen duidelijk patroon.

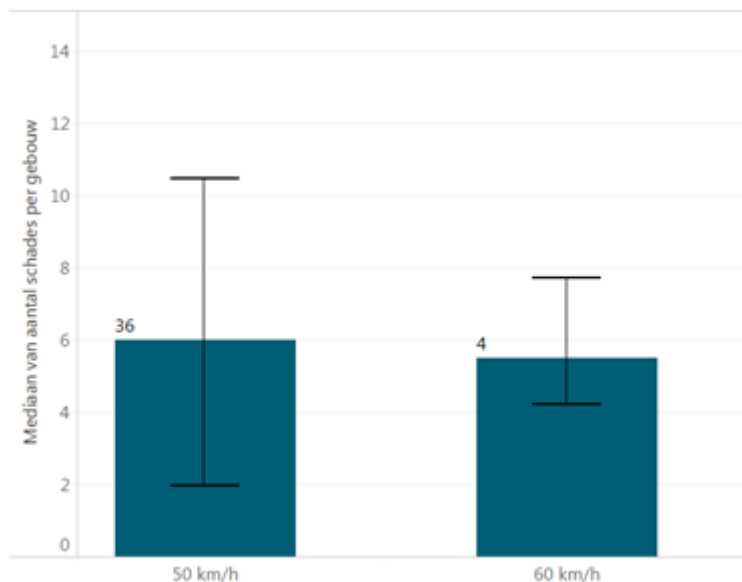


Om te bepalen of er een patroon te herkennen is tussen de afstand tot de weg en schades die mogelijk veroorzaakt of verergerd zijn ten gevolge van het wegverkeer zouden meer schades die mogelijk verband houden met wegverkeer onderzocht moeten worden.

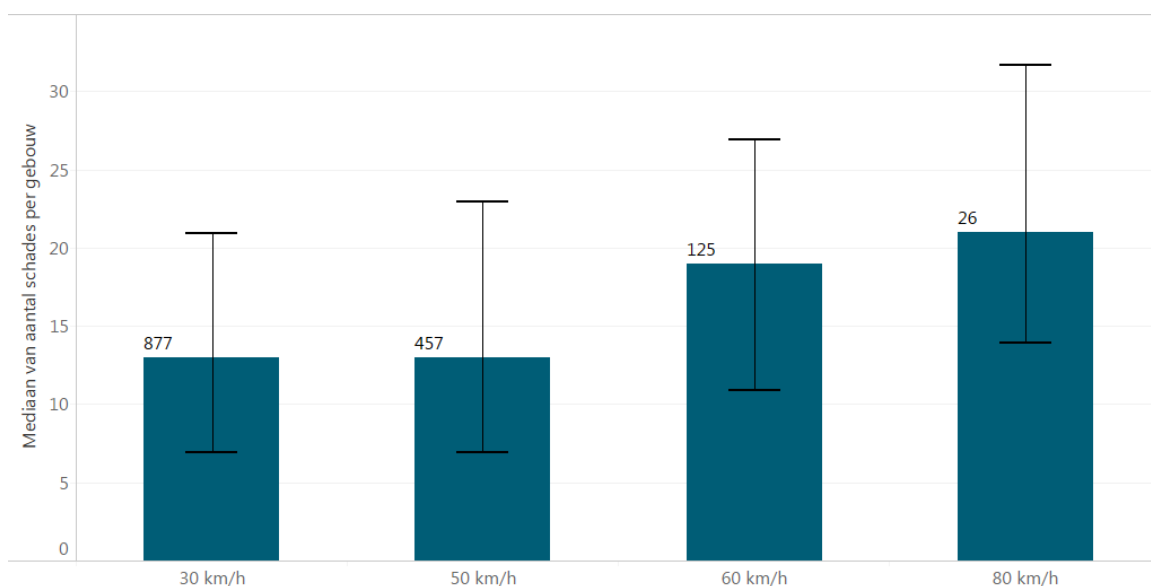
Relatie snelheid

Naast de afstand tot de weg is ook de maximumsnelheid op de weg van invloed op de belasting op een gebouw ten gevolge van verkeerstrillingen.

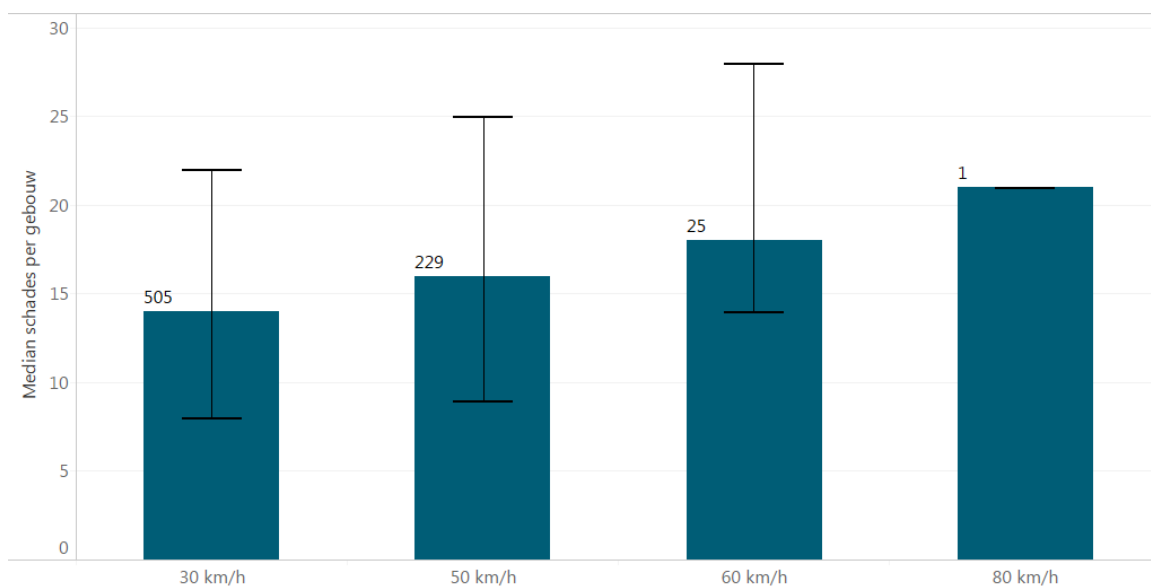
Er is gekeken of hier een verband te zien was tussen de snelheid op de weg en het aantal schades per gebouw waarop verkeer mogelijk een invloed heeft gehad. Uit onderstaande afbeelding blijkt dat de maximumsnelheid op bijna alle wegen bij adressen, waar mogelijk een invloed van verkeer op de schade is, 50 km per uur was.



Wanneer voor alle gebouwen, dus ook de gebouwen waar geen schades ten gevolge van verkeer tijdens de beoordeling benoemt zijn, gekeken wordt naar de mediaan van het aantal schades ten opzichte van de maximum snelheid, is bij 60 km per uur en 80 km per uur meer schade te zien dan bij 50 km per uur en minder.

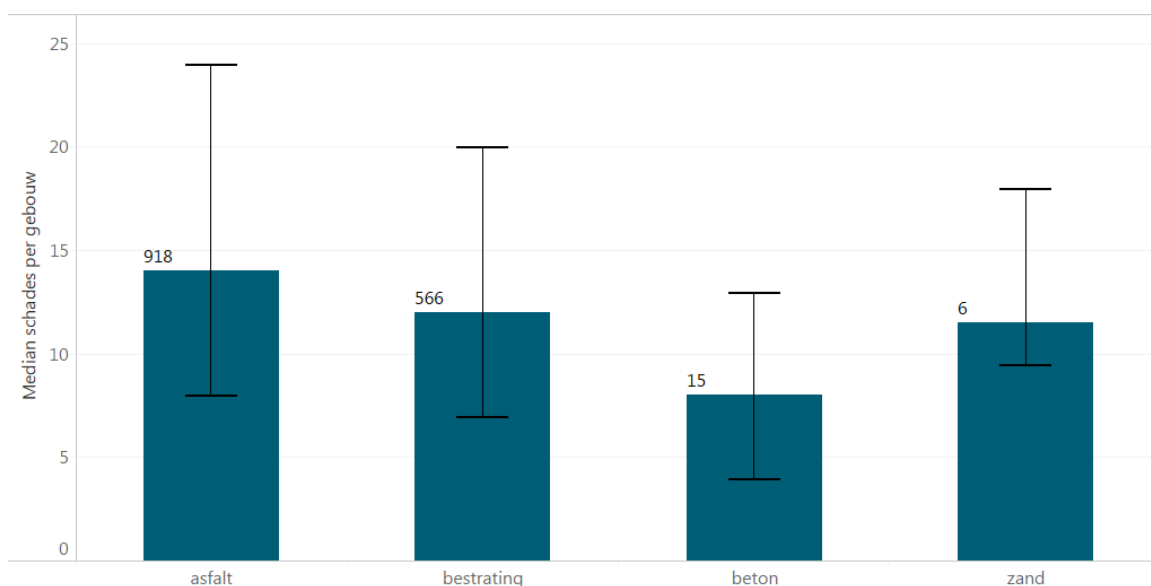


Als vervolgens enkel de gebouwen binnen 10 meter van de weg beschouwd worden, dan blijft een patroon zichtbaar tussen de snelheid en de afstand tot de weg. Echter, gezien de reductie van het aantal gebouwen bij de hogere maximumsnelheden blijkt dat die woningen vaak verder van de weg staan. Dit is logisch omdat dit voornamelijk snelheden zijn die buiten de bebouwde kom gereden mogen worden en de gebouwen buiten de bebouwde kom (zoals boerderijen) vaak veel groter zijn. Het patroon dat zich aftekent heeft daardoor meer te maken met omvang dan met trillingen afhankelijk van de maximumsnelheid.



Relatie wegdek

Ook het type wegdek zou een relatie kunnen hebben met de belasting op een gebouw ten gevolge van trillingen door verkeer en daarmee mogelijk schades. Bestrating zou mogelijk kunnen leiden tot hogere trillingsniveaus. Zoals in bijlage I bleek uit de analyse van TNO sensoren bleek dit echter niet onderscheidend, en ook uit een toetsing volgt niet meer schade bij bestrating.



5.4.3 Verhinderde vervorming

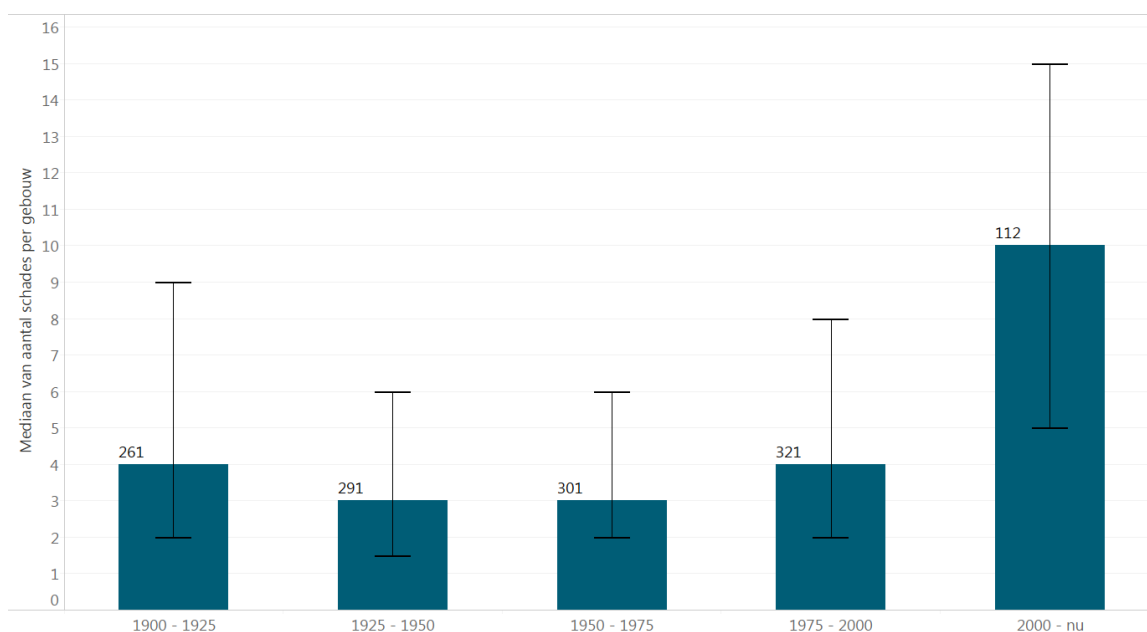
Onderdelen van gebouwen zijn onderhevig aan weersinvloeden, omstandigheden waaraan ze bloot worden gesteld. Het vochtgehalte in de bouwmaterialen komt gedurende tijd, langzaam in evenwicht met het vochtgehalte in het gebouw. Ten gevolge hiervan treedt vocht uit het materiaal en wil het korter worden. De mate van krimp verschilt per bouw materiaal. Bijvoorbeeld: kalkzandsteen krimpt meer dan beton- of baksteen. Daar waar deze onderdelen aan elkaar worden gekoppeld of tegen elkaar zijn gebouwd ontstaan spanningen. Als de grensspanning wordt overschreden ontstaat er scheurvorming in de onderdelen of in de afwerklaag die op deze onderdelen kan zijn aangebracht.

Krimp tussen 2 elementen

Daar waar twee elementen op elkaar aansluiten en niet met elkaar zijn verbonden, kan de voeg tussen de elementen vergroten als gevolg van krimp van aansluitende elementen. Voorbeelden van dergelijke voegen zijn: een dilatatie, de aansluiting tussen een plafond en wand, een aansluiting van een vloer op wand, twee plafondplaten die tegen elkaar zijn gelegd etc. Indien een afwerking wordt doorgezet over een dergelijke voeg dan bestaat de kans dat op de afwerking de verkorting in de voeg niet kan opnemen en scheurt.

Uit de toets komt naar voren dat de mediaan van het aantal schades als gevolg van krimp tussen twee elementen bij gebouwen met een recente bouwdatum groter is dan bij oudere gebouwen. Dit komt overeen met de verwachting. Moderne gebouwen worden grotendeels uit grote, meestal geprefabriceerde, elementen samengesteld. Het aantal voegen is in deze gebouwen groter dan in oudere gebouwen en daarmee de kans op schade ook.

De bouw van woningen vond lange tijd grotendeels op locatie plaats. Kleine elementen zoals bakstenen, houten balken, plaatmateriaal en kozijnen werden aangevoerd op de bouwplaats en door vakmensen in het werk samengesteld. De vloeren werden in het werk gestort en wanden op het werk gemetseld. Tegenwoordig vindt de constructie van woningen steeds meer in een fabriek plaats. Binnenwanden, vloeren en daken worden geprefabriceerd aangeleverd en op de bouw samengesteld. Een voordeel hiervan is dat de productie onder meer geconditioneerde omstandigheden kan plaatsvinden en de kwaliteit van de producten groter is. Een nadeel is dat moderne woningen meer verbindingen hebben waarbij elementen tegen elkaar worden geplaatst en niet of nauwelijks zijn gekoppeld.

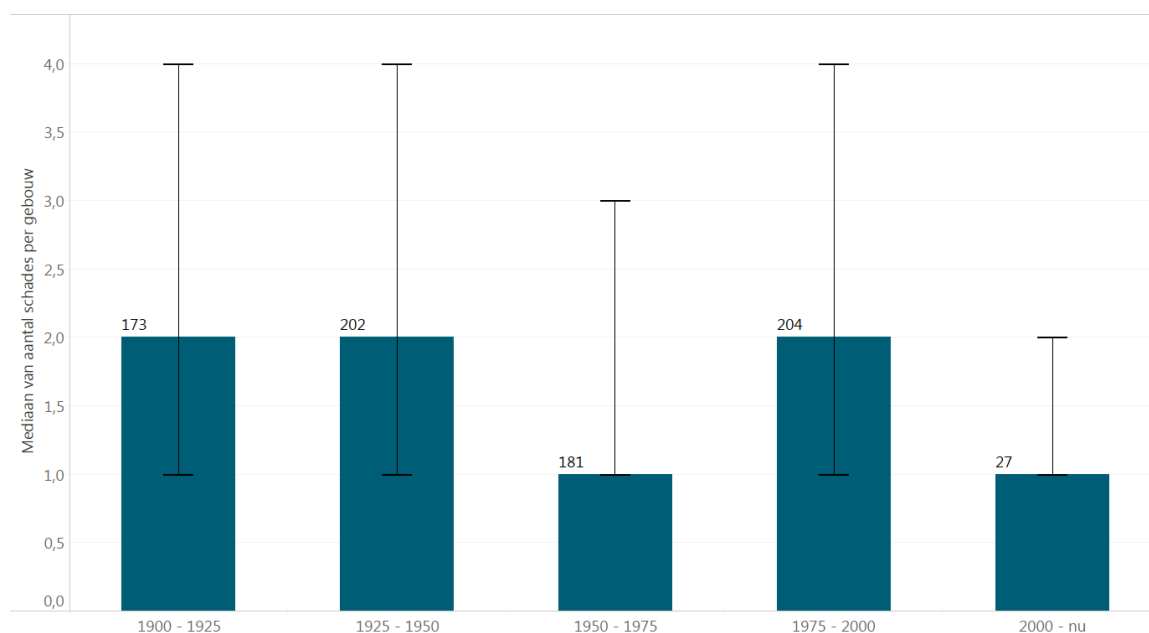
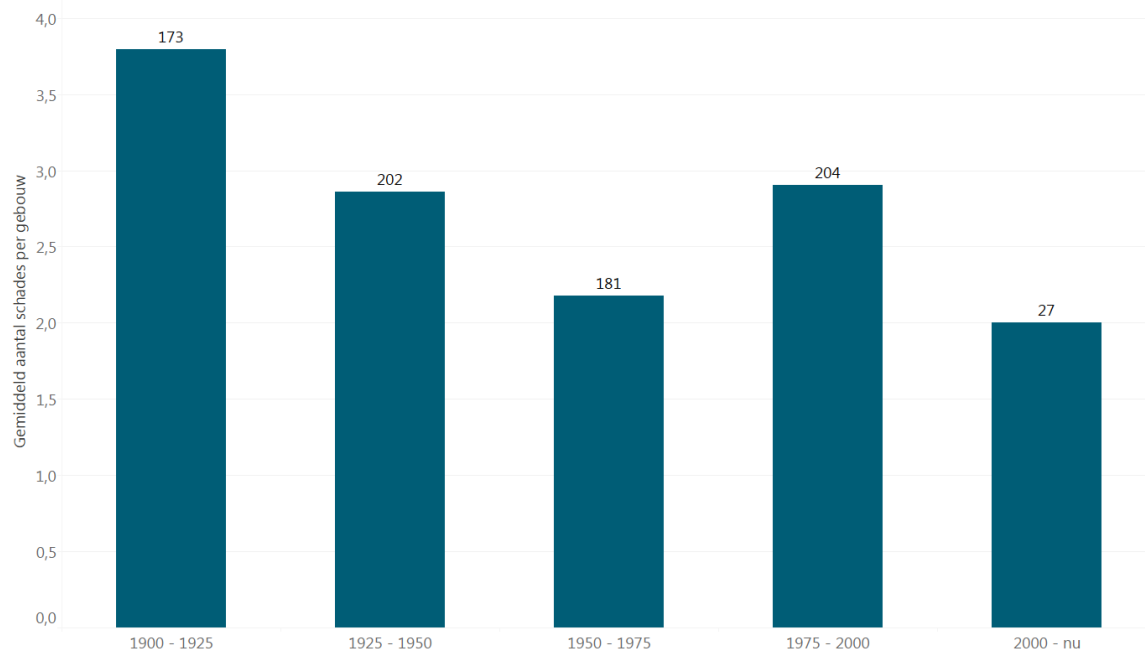


Ontbreken dilataties in metselwerk

Bouwdelen krimpen en zetten uit onder invloed van weersinvloeden. Met name de huid van een gebouw wordt continu door het weer belast. Een gebouw leeft en is altijd in beweging. Krimp en het uitzetten van de gebouwhuid kan door het materiaal worden opgenomen tot een bepaalde grenswaarde. Deze scheurt als deze grenswaarde wordt overschreden. Door het aanbrengen van bouwfysische dilataties kan dit type schade worden voorkomen. De discontinuïteiten in de gevel als gevolg van bouwkundige detailleringen nabij lateien en balkons, kunnen leiden tot grote spanningen met scheurvorming als gevolg. Door het aanbrengen van bouwtechnische dilataties kan dit type schade worden voorkomen.

Bij oudere gebouwen was het niet gebruikelijk om dilataties in het metselwerk aan te brengen. Omdat men lange tijd met zachte mortels werkte (met kalk als bindmiddel) leverde dit niet veel problemen op in de zin van scheurvorming. De kalkvoeg is flexibel en volgt als een soort kauwgom de bewegingen van de metselwerkwand. Vanaf het begin van de vorige eeuw werd er steeds meer gebruik gemaakt van cementmortels. Men nam geen maatregelen om het starre gedrag van de cementmortel te compenseren. Begin 1991 werd de brochure 'handleiding dilataties in baksteengevels' uitgebracht. In de praktijk is gebleken dat het aanbrengen van dilataties de meest effectieve maatregel is en bij moderne woningen ook veelvuldig wordt toegepast.

Uit de toets komt naar voren dat het aantal schades als gevolg van het ontbreken van een dilatatie in het buitenblad in de jaren steeds minder is geworden. Een beeld dat overeenkomt met hetgeen je kan verwachten op basis van de verbeteringen van de bouwmethode en wat we zie in de rest van Nederland.



5.4.4 Ongelijkmatige zetting, gelijkblijvende belasting

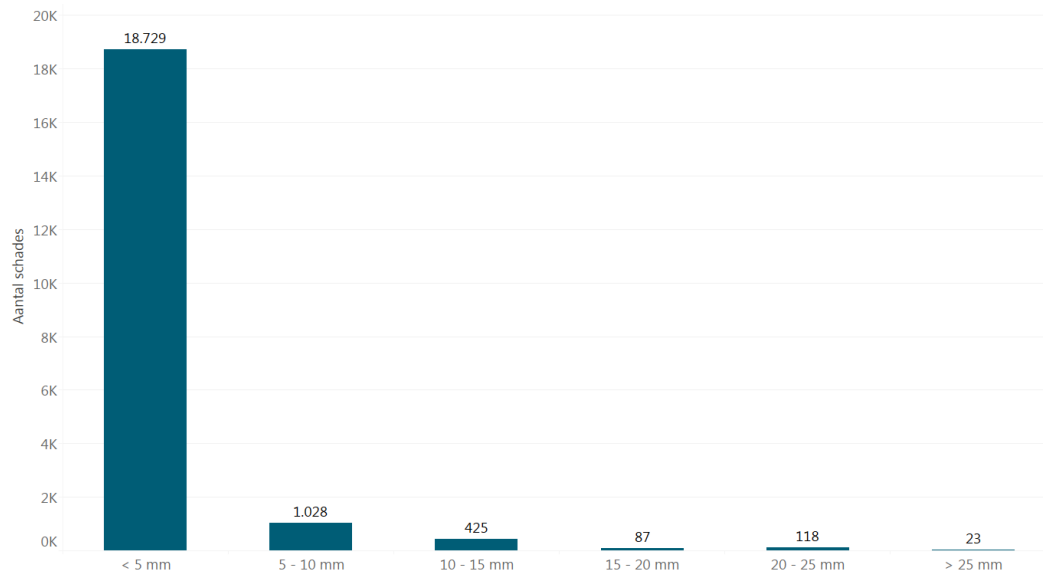
Op basis van de pandinspecties en de daaruit voortvloeiende dossiers is gezocht naar relaties die mogelijk bevestigd dan wel ontkracht worden gegeven de zettingsanalyse en de metselwerk analyse.

Als objectief meetgegeven worden de geregistreerde scheurwijdten als basis voor het schadebeeld gekozen, waarmee ook een directe relatie bestaat met de zettingen en schade theorieën. Al naar gelang de bevindingen worden binnen de verzameling scheurwijdten kenmerken samengevoegd om zodoende specifieke relaties te kunnen herkennen.

Afbeelding 5.81 geeft aan dat van de circa 20.000 geregistreerde scheurwijdtes, er circa 18.000 kleiner dan 5 mm zijn. Op basis van de theorie van Boscardin en de classificatie van de BRE en de TBA wordt op basis

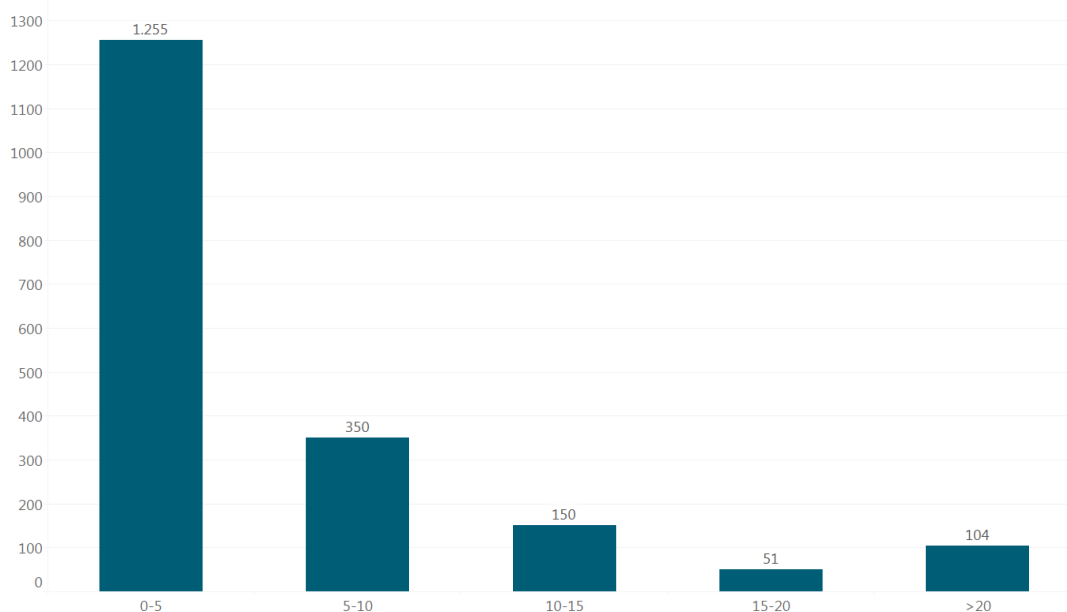
van scheurwijdte gesteld dat 90 % van de gekwantificeerde scheuren onder de definitie weinig schade / slight damage valt. In het onderzoek kon 30 % van de gerapporteerd scheuren niet bemeten worden, gegeven de onderzoeksopzet en beperkingen in het veld.

Afbeelding 5.81 Histogram scheurgroottes individuele scheuren



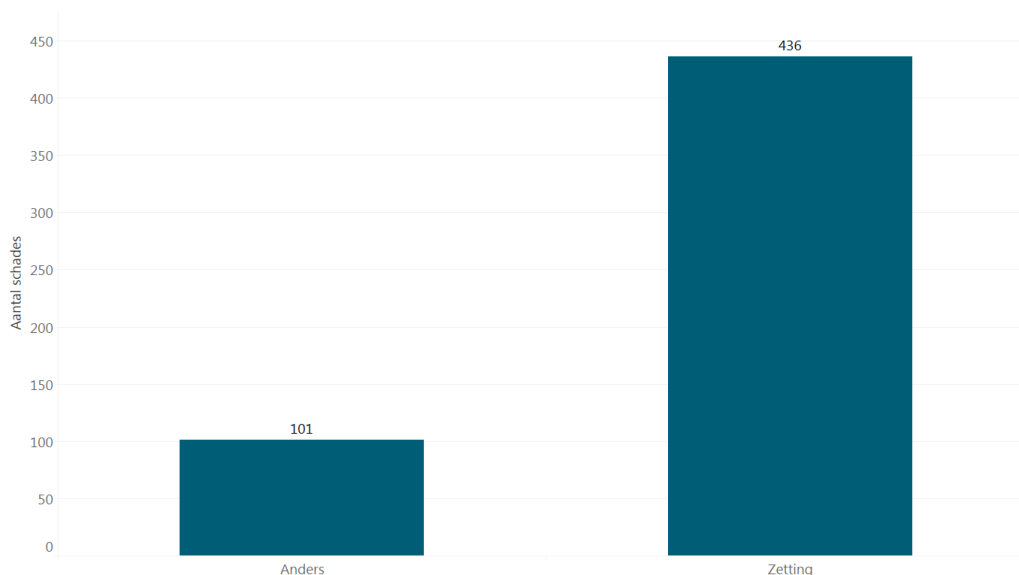
Wanneer naar alle scheuren wordt gekeken ontstaan daarmee statistisch geen significante relaties, elk pand heeft blijkens de waarnemingen scheuren van 5 mm of kleiner. Daardoor was ook het schadebeeld moeilijk te herleiden tot zettingsschade mechanismen als 'sagging' en 'hogging' met een kenmerkend scheurpatroon tot gevolg. Zettingsschade kon wel herkend worden op basis van scheurpositie, scheur hoek en onderlinge verticale verschilverplaatsing over het breukvlak. Om een sterkere relatie te herkennen tussen zetting en schade is naar grotere scheuren gekeken, waarmee een sterkere aandrijving en daarmee sterkere correlatie wordt verwacht. Op pand niveau is gekeken naar de maximale scheurgrootte waargenomen aan een pand, het histogram is weergegeven in afbeelding 5.82.

Afbeelding 5.82 Histogram maximale scheurgrootte waargenomen aan een pand



Een verdere onderverdeling naar panden levert het beeld op dat nog altijd een groot aantal panden scheuren groter dan 5 mm heeft opgelopen, circa 655 panden. In volgende figuren wordt gezocht naar een meer specifieke benadering van het voorkomen van grote scheuren. Om deze reden wordt de zoekopdracht aangepast met de voorwaarde dat de scheuren groter dan 5 mm en langer dan 1 m moeten zijn om als zettingsschade te kunnen worden aangemerkt. Binnen de selectie is tevens een onderverdeling gemaakt tussen de scheuren die als zettingsschade worden gekenmerkt en scheuren waarvoor dat niet is gekenmerkt in de schade beoordeling.

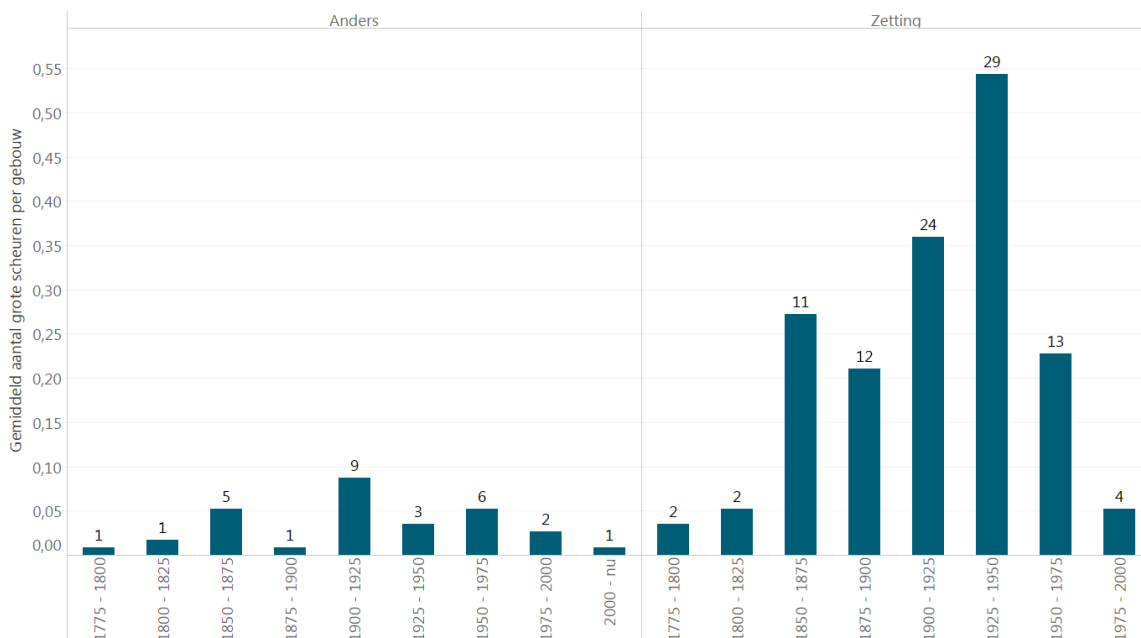
Afbeelding 5.83 Individuele scheuren groter dan 5 mm en langer dan 1 m gerelateerd aan zetting



Gegeven het door de beoordelaar herkende verschil in het beeld tussen zettingsschade en bouwkundige oorzaken wordt hier niet gevreesd voor een zichzelf bevestigende hypothese, maar dient de verzameling waarnemingen juist te worden gecorrigeerd voor deze oorzaken. Bovenstaande afbeelding 5.83 toont dat een aanmerkelijk deel van de grote scheuren niet gerelateerd is aan zetting.

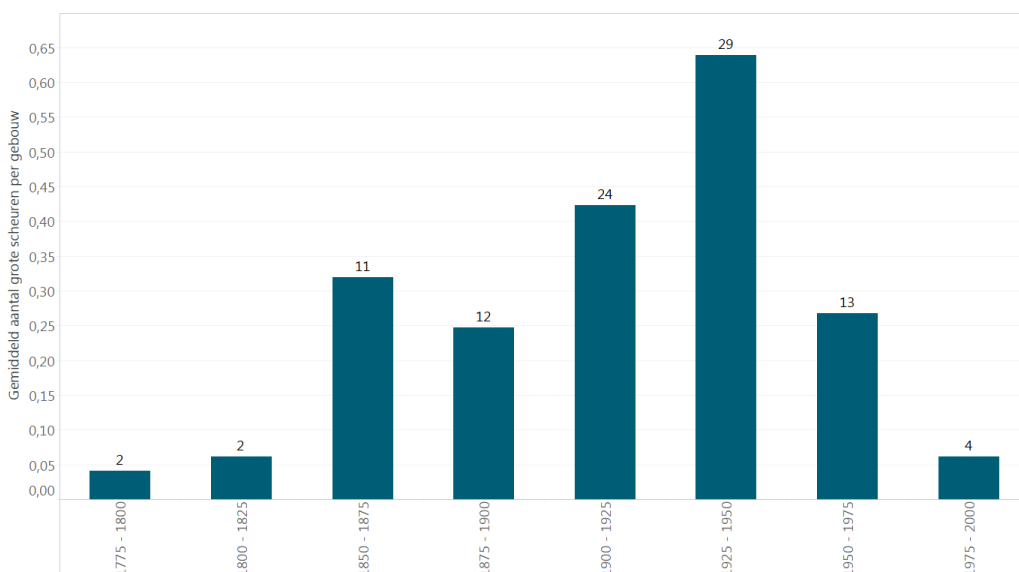
Wanneer op basis van de sortering in afbeelding 5.83 verder gezocht wordt naar het kenmerk bouwjaar van het pand waaraan de schade is geconstateerd ontstaat het onderstaande beeld gepresenteerd in afbeelding 5.84.

Afbeelding 5.84 Aantal scheuren groter dan 5 mm gesorteerd naar bouwjaar van het pand en verdeeld in zetting/niet zetting

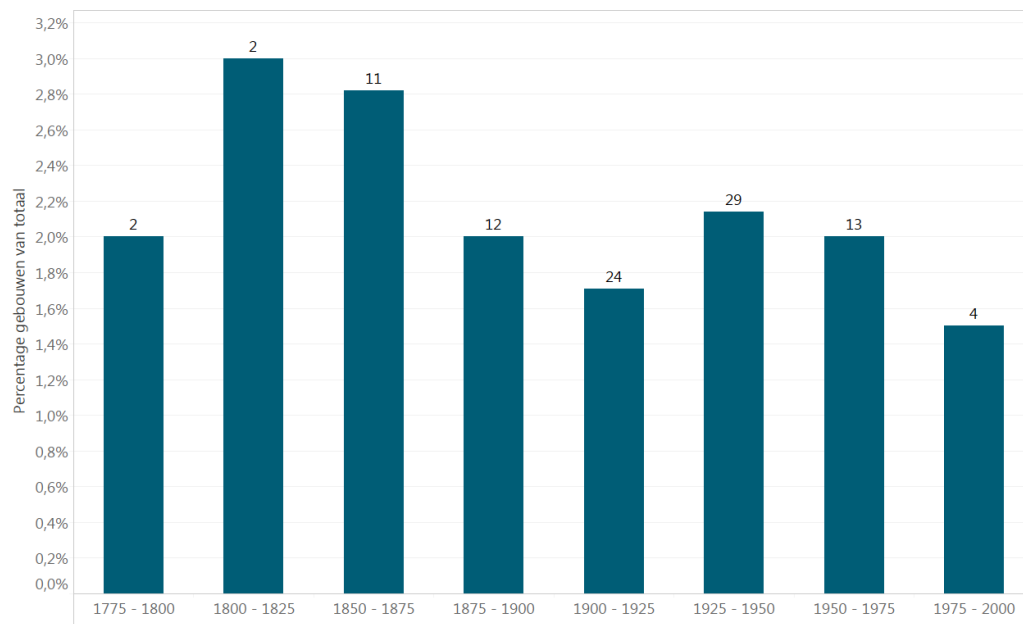


Het is opvallend te zien in afbeelding 5.84 dat naar bouwjaar gesorteerd de leeftijd een duidelijke relatie heeft met het aantal scheuren. Opgemerkt wordt dat bovenstaande figuur niet is genormaliseerd naar de totale populatie, dus het aantal opzichzelf kan nog een verteken beeld geven. In absolute zin kan echter wel worden geconcludeerd dat vooroorlogse bouw en wederopbouw panden oververtegenwoordigd zijn in de totale verzameling. Van het totaal aantal waargenomen grote scheuren gerelateerd aan zetting kan een beperkt aantal (circa 50 scheuren) worden toegeschreven aan panden jonger dan 50 jaar. Het rechter deel in afbeelding 5.84 is nogmaals gepresenteerd in onderstaande afbeelding 5.85. Het aantal grote schades treedt met name op aan panden met bouwjaar 1950 en eerder.

Afbeelding 5.85 Grote schades gesorteerd naar bouwjaar pand



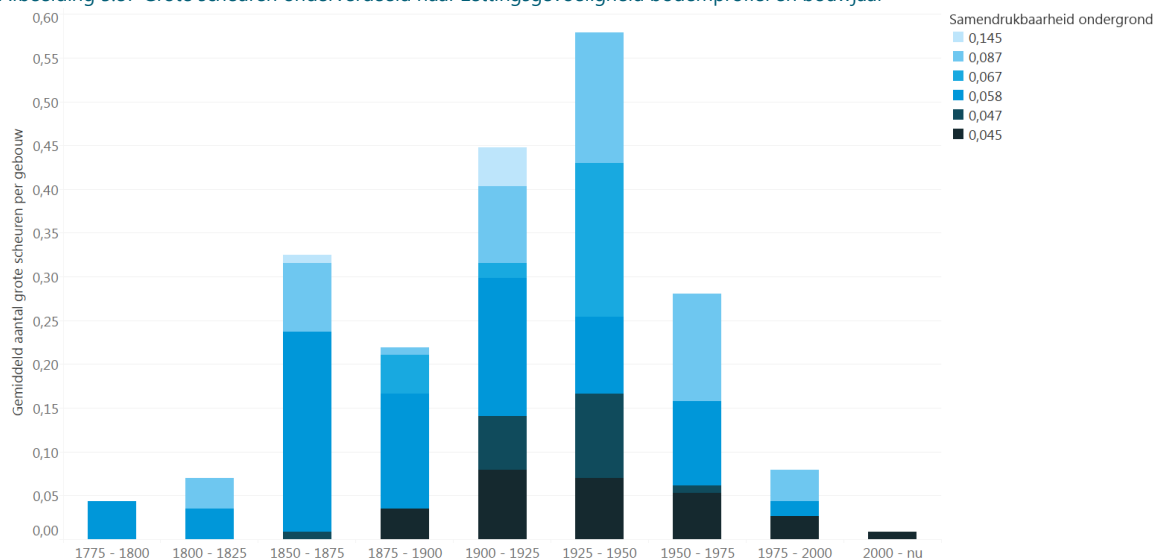
Afbeelding 5.86 Grote schades gesorteerd naar bouwjaar pand genormaliseerd over grootte deelverzameling



In relatieve zin kan worden geconcludeerd dat vooroorlogse bouw en wederopbouw panden oververtegenwoordigd zijn in de totale verzameling. De kans dat een scheur wordt waargenomen in een pand uit 1900 - 1925 (grootste groep panden met grote scheuren) is drie tot vier maal zo groot in vergelijking met een recent pand (1975 en later)

Wanneer de zettingsgerelateerde grote scheuren naast leeftijd ook nog wordt gecorreleerd aan zettingsgevoeligheid van de ondergrond ontstaat een minder duidelijk beeld wat betreft de relatie met de ondergrond. De resultaten zijn absoluut. De populaties zijn relatief klein en lijken geen gelijke tred te houden met oplopende zettingsgevoeligheid, wat in tegenspraak is met de verwachting.

Afbeelding 5.87 Grote scheuren onderverdeeld naar zettingsgevoeligheid bodemprofiel en bouwjaar

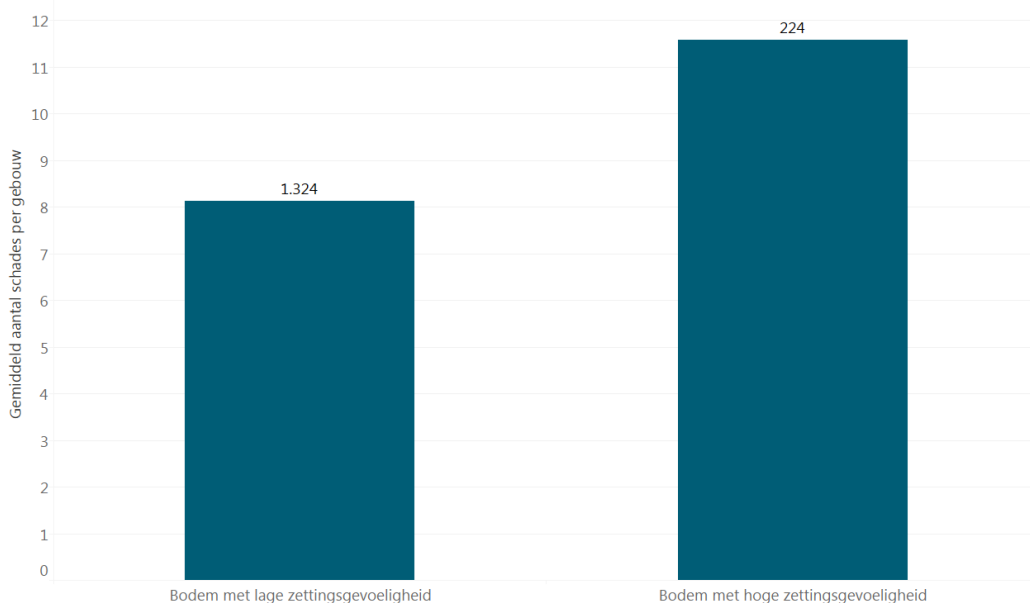


De leeftijd van een pand is dus bepalender voor grote scheuren dan de ingeschatte zettingsgevoeligheid van de ondergrond. Leeftijd op zichzelf is daarmee niet de verklaring voor scheurwijdte, maar mogelijk wel de tijd gerelateerde mechanismen dan wel de historisch van toepassing zijnde bouwkwaliteit.

De populatie met grote scheuren gebouwd op zettingsgevoelige grond is relatief klein, daarom worden navolgend ook relaties met totaal aantal schades per pand beschouwd.

Om verder inzicht te krijgen in de relatie tussen pandspecifieke eigenschappen en schade aan panden is verder gerangschikt naar zettingsgevoeligheid van de ondergrond. In onderstaande afbeelding 5.88 is een vergelijking gepresenteerd tussen een selectie van panden gebouwd op de meest zettingsgevoelige ondergrond versus een selectie van panden gebouwd op de minst zettingsgevoelige ondergrond.

Afbeelding 5.88 Aantal schades per pand in relatie tot zettingsgevoeligheid van de ondergrond

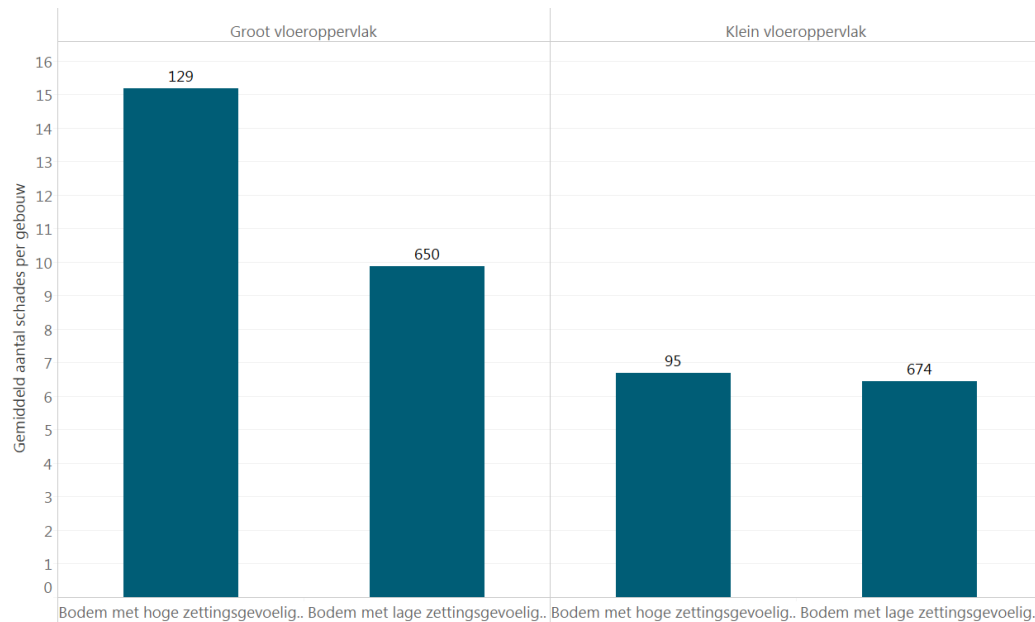


Uit afbeelding 5.88 blijkt dat tussen deze twee uitersten in bodemgedrag zich een significant verschil in aantal schades voordoet, circa 26 schades op gevoelige ondergrond versus 17 schades op ongevoelige bodem. Dit komt overeen met de verwachting dat zettingsgevoelige ondergrond in geval van op staal

gefundeerde panden een grotere schadekans met zich mee brengt door de bijbehorende grotere verschilzetting.

Wanneer de schadekans op basis van ondergrond in combinatie met pandgrootte, hier gekozen als bouwvolume, wordt verkend, ontstaat het beeld weergegeven in onderstaande afbeelding 5.89.

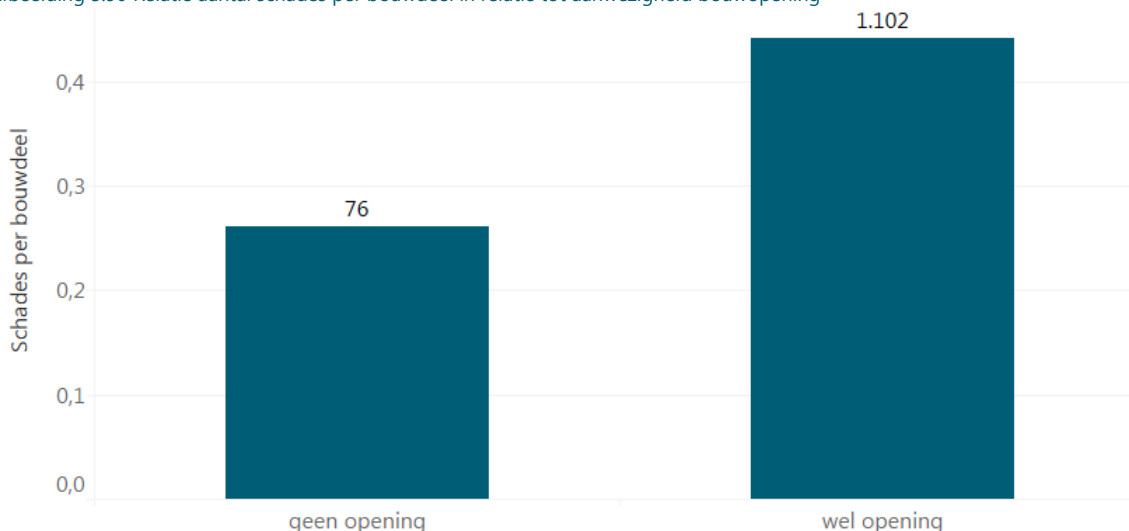
Afbeelding 5.89 Bouwvolume in relatie tot aantal grote scheurwijdten en ondergrond



Uit afbeelding 5.90 wordt herkend dat de grootte van het bouwvolume onderscheidend is ten aanzien van het aantal scheuren. Tevens blijkt dit onderscheid sterker te worden bij zettingsgevoelige grond. Dit resultaat komt overeen met de verwachting dat grotere bouwvolumes meer zettingsverschillen krijgen opgelegd, waarmee dit specifieke gedrag sterker wordt naarmate de ondergrond meer vervorming ondergaat.

Wanneer gekeken wordt naar schade per bouwdeel in relatie tot wel of geen opening in het bouwdeel ontstaat het beeld weergegeven in navolgende afbeelding 5.90. Een bouwdeel zonder opening vertoont naar verhouding minder schade, conform de verwachting dat een doorgaande muur beter herverdeelt.

Afbeelding 5.90 Relatie aantal schades per bouwdeel in relatie tot aanwezigheid bouwopening



Wanneer ondergrond een significante rol speelt is het mogelijk interessant te onderzoeken of het funderingssysteem dan ook een significante relatie kan opleveren. De referentie naar op palen gefundeerde panden is echter moeilijk te maken. Het aantal aantoonbaar op palen gefundeerde panden is relatief klein en verspreid over het gehele gebied, ongeacht het type bodemprofiel. Vermoed wordt dat de toepassing van een paalfundering is ingegeven door de toepassing van moderne bouwsystemen en het in onbruik raken van funderen op staal.

Conclusie pandwaarnemingen in combinatie met zettingsgevoeligheid en metselwerk analyse

- op basis van de theorie van Boscardin en de classificatie van de BRE en de TBA wordt op basis van scheurwijdte gesteld dat 90 % van de gekwantificeerde scheuren onder de definitie weinig schade / slight damage valt.
- het aantal grote zetting gerelateerde schades (5 mm, langer dan 1 m, zettinggerelateerd) treedt met name op aan panden met bouwjaar 1950 en eerder;
- wanneer de zettingsgerelateerde grote scheuren naast leeftijd ook nog worden gecorreleerd naar zettingsgevoeligheid van de ondergrond ontstaan relatief kleine deelgroepen die geen gelijke tred houden met oplopende zettingsgevoeligheid. De populatie panden met grote zettingscheuren gebouwd op zettinggevoelige grond is relatief klein;

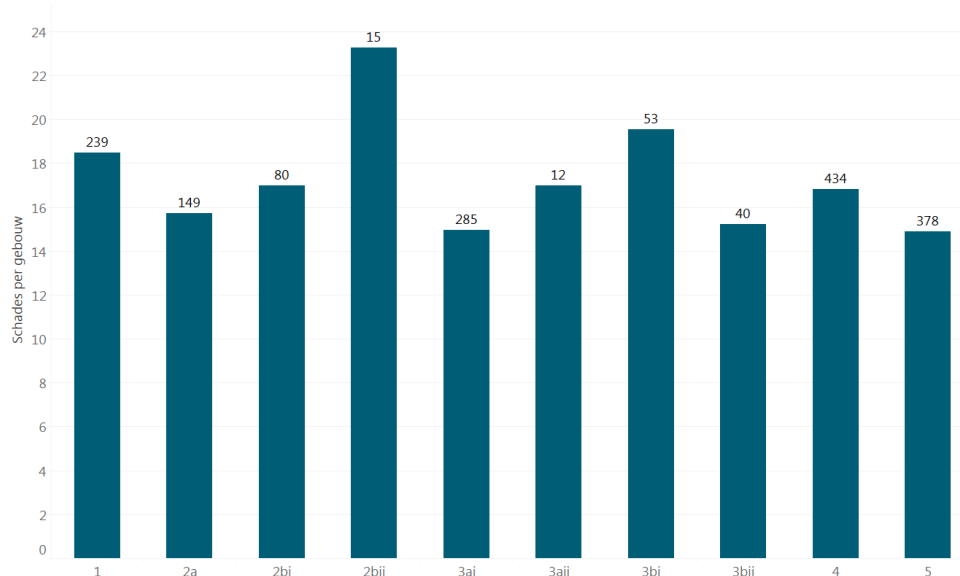
- leeftijd op zichzelf is daarmee niet de verklaring voor scheurwijdte, maar mogelijk wel de tijd gerelateerde mechanismen dan wel de historisch van toepassing zijnde historische bouwkwaliteit;
- een specifiekere onderscheid naar de extreme verschillen in zettingsgevoeligheid toont een significant verschil in aantal schades. Des te minder zetting gevoelig, des te minder schade per pand en vice versa;
- een groter bouwvolume toont een significant groter aantal schades per pand, waarbij dit verschil met een klein bouwvolume nog sterker wordt in geval van zetting gevoelige grond, daar het kleine bouwvolume nagenoeg geen toename in schadekans laat zien bij toenemende samendrukbaarheid;
- bouwdelen met openingen vertonen meer schade dan doorgaande bouwdelen.

5.4.5 Ongelijkmatige zetting, verandering in de ondergrond ten gevolge van wijziging lokale grondwaterstand

Aantal schades bij veenondergrond

Bij een ondergrond met veen kan er veenoxidatie plaatsvinden wanneer de grondwaterstand laag is, zodat het veen in dikte afneemt en maaiveld daling plaatsvindt. Ook is de toelaatbare daling van de grondwaterstand bij veenbodems lager dan voor klei- en zandprofielen. Om deze twee redenen kan verondersteld worden dat er vaker schades voorkomen wanneer er (veel) veen in het bodemprofiel aanwezig is. Een analyse van het aantal schades per woning, per type bodemprofiel bevestigt dit beeld, zoals in onderstaande afbeelding is weergegeven. Vooral het aantal schades in de venige bodemprofielen 2a, 2bi en 2bii is relatief hoog.

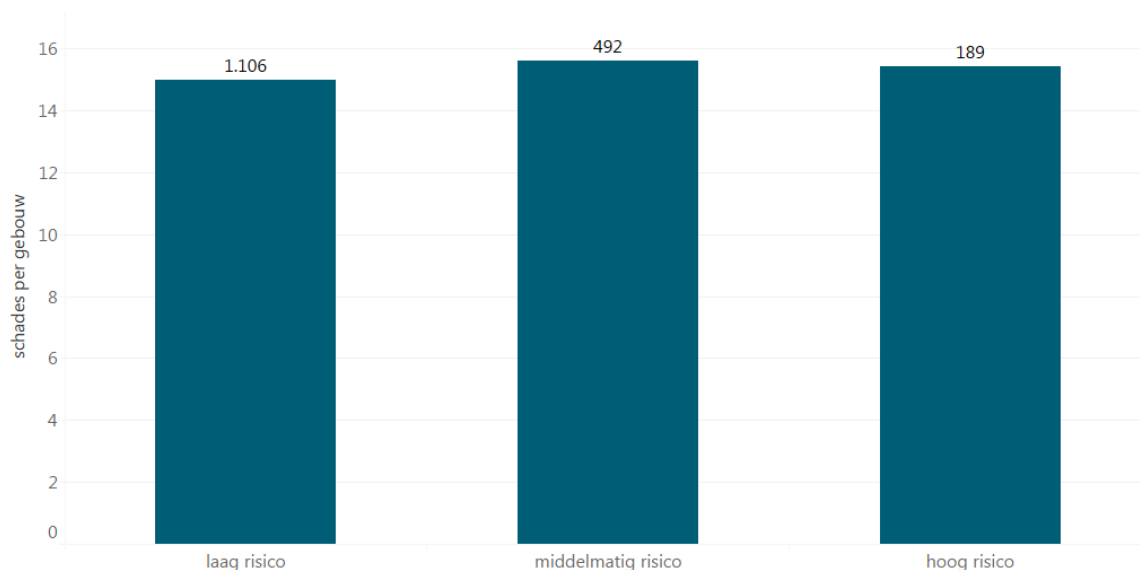
Afbeelding 5.91 Aantal schades per gebouw per type bodemprofiel



Totaalbeeld schades per gebouw door geohydrologie

Wanneer alle schades een geohydrologische oorzaak zouden hebben, dan zou een hoog risico op schade door een geohydrologische oorzaak resulteren in meer schade. Echter een analyse van het aantal schades per gebouw verdeeld over de risicocategorieën van geohydrologie (laag, matig en hoog risico) laat geen verband zien, zie onderstaande afbeelding. De gebouwen met een hoog risico op schade door geohydrologie laten gemiddeld minder schades per gebouw zien dan gebouwen met een matig risico op schade door geohydrologie. Ook is te zien dat de meeste woningen een laag risico op schade in verband met de geohydrologie hebben. Slechts circa 10 % van de woningen heeft een hoog risico. Op basis hiervan kan verondersteld worden dat het grootste deel van de schades geen geohydrologische oorzaak heeft.

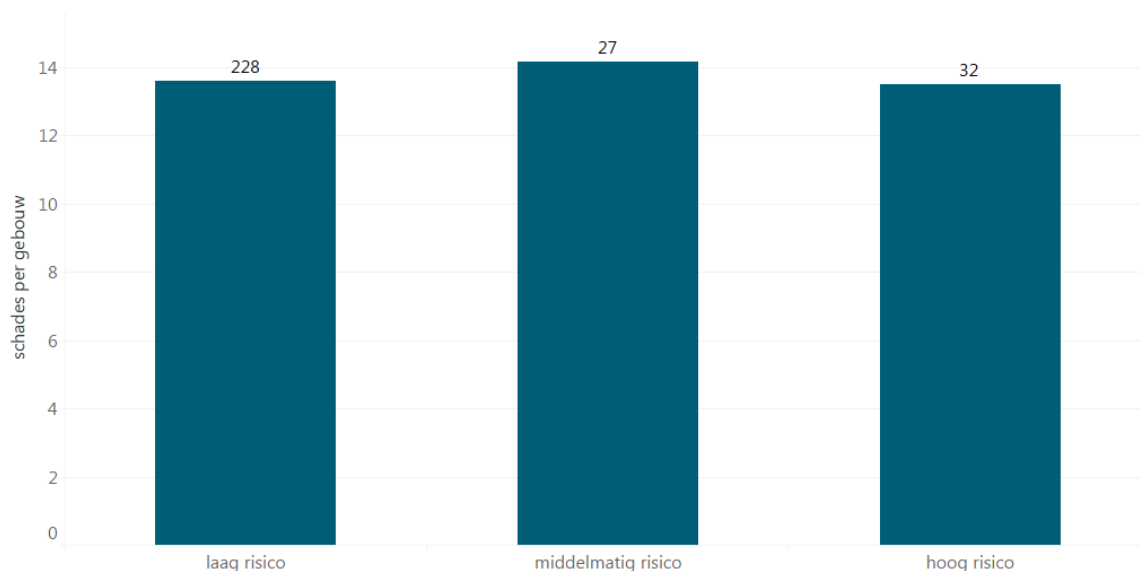
Afbeelding 5.92 Aantal schades per gebouw per risicocategorie geohydrologie. Alle beoordeelde woningen zijn meegenomen. Het aantal gebouwen per categorie staat vermeld



Totaalbeeld schades per gebouw door geohydrologie op zandbodem

Dezelfde analyse is gedaan voor het aantal schades per gebouw, onderverdeeld over de risicocategorieën van geohydrologie (laag, middelmatig en hoog risico) voor woningen op een zandbodem, zie onderstaande afbeelding. Hieruit komt hetzelfde algemene beeld naar voren: gebouwen met een hoog risico op schade door geohydrologie laten gemiddeld minder schades per gebouw zien dan gebouwen met een middelmatig risico op schade door geohydrologie. Ook hebben de meeste woningen een laag risico. Op basis hiervan kan verondersteld worden dat het grootste deel van de schades aan woningen op zandgrond geen geohydrologische oorzaak heeft.

Afbeelding 5.93 Aantal schades per gebouw per risicocategorie geohydrologie. Alle beoordeelde woningen op zandbodem zijn meegenomen (profiel 5). Het aantal gebouwen per categorie staat vermeld



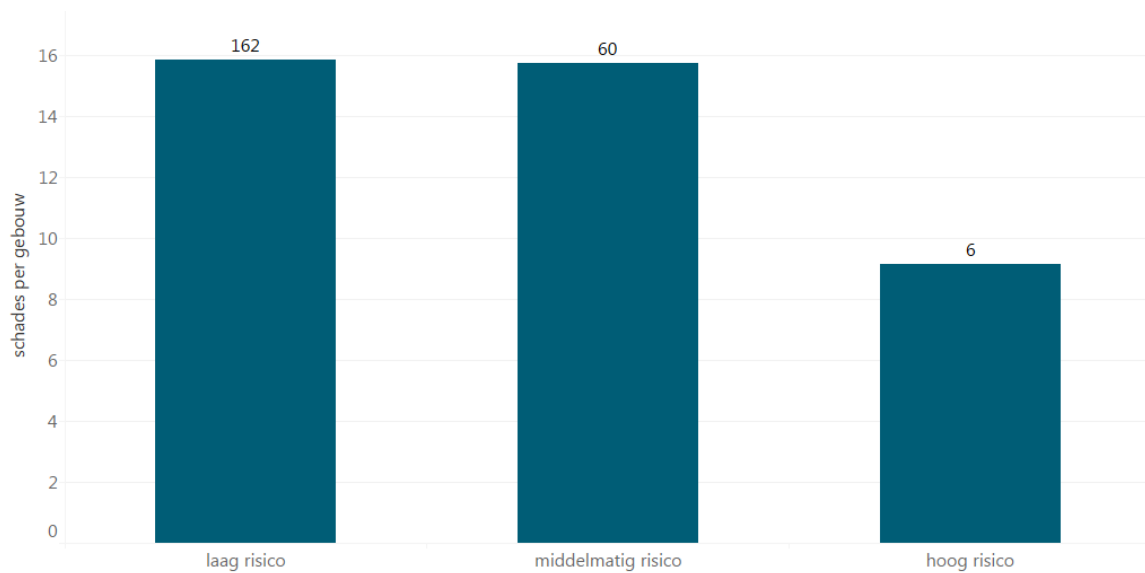
Totaalbeeld schades per gebouw door geohydrologie op veenbodem

Dezelfde analyse is gedaan voor het aantal schades per gebouw, onderverdeeld over de risicocategorieën van geohydrologie (laag, middelmatig en hoog risico) voor woningen op een veenbodem, zie onderstaande

afbeelding. De meeste woningen op veengrond vallen in de categorie 'laag risico'. Dit is te verklaren doordat alleen een veengrond niet direct voor schade zorgt; dit is ook afhankelijk van de grondwaterstand.

Daarnaast is op deze afbeelding te zien dat de woningen met een hoog risico relatief weinig schades hebben. Dit is te verklaren doordat de daadwerkelijke schade afhankelijk is van de fundering. Woningen op veengrond worden goed gefundeerd, waardoor de kans op zettingschade verkleind wordt. Wel zijn dit relatief weinig woningen om een gefundeerde uitspraak op te baseren.

Afbeelding 5.94 Aantal schades per gebouw per risicocategorie geohydrologie. Alle beoordeelde woningen op veenbodem zijn meegenomen (profielen 2a, 2bi, 2bii en 3bii). Het aantal gebouwen per categorie staat vermeld



CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Conclusies

Naar aanleiding van de lineaire regressie analyse:

- geen van de numerieke eigenschappen van de gebouwen is geschikt voor een model om het aantal scheuren te duiden;
- geen van de numerieke eigenschappen van de gebouwen is geschikt voor een model om het aantal schades van een bepaalde schadecategorie te duiden.

Naar aanleiding van de Exceptional Model Mining:

- er zijn combinaties van gebouweigenschappen (subgroepen) gevonden die duiden op een afwijking in de relatie tussen aantal scheuren en de maximale piekgrondsnelheid. Er is geen uitspraak gedaan over de betrouwbaarheid van de modellen van deze subgroepen. Hiervoor moet de R^2 -waarden voor deze subgroepmodellen worden berekend. Enkelvoudige condities die niet onderscheidend zijn, kunnen wel bruikbaar zijn om exceptionele modellen te vinden als ze gebruikt worden in combinatie met andere condities.

6.2 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de lineaire regressie analyse:

- combinaties van numerieke eigenschappen zouden het aantal schades beter kunnen verklaren. Daarnaast hoeft de relatie tussen de eigenschappen en het aantal schades niet lineair te zijn. Beide zaken kunnen worden onderzocht met neurale netwerken. A priori is niet bekend welke combinaties van eigenschappen een rol zouden kunnen spelen, neurale netwerken hebben deze 'voorkennis' ook niet nodig.

Naar aanleiding van de Exceptional Model Mining:

- er moet worden gekeken naar de maat van de zeggingskracht van het gegenereerde regressiemodel voor elke exceptionele subgroep. Daarvoor moet de R^2 worden berekend. Als de R^2 erg laag is, dan kan de subgroep wel exceptioneel zijn, maar dan is het regressiemodel niet accuraat genoeg om conclusies te verbinden aan de relatie tussen aantal scheuren en maximale piekgrondsnelheid. de correlatie tussen de onderlinge eigenschappen moet worden onderzocht en op basis van domeinkennis moet worden bepaald welke subgroepen hetzelfde fysische fenomeen representeren. Met deze kennis kunnen overlappende subgroepen gefilterd worden en kan eventueel een selectie worden gemaakt van gebouw- en schade-eigenschappen. Hiermee wordt voorkomen dat er veel overlappende subgroepen worden gevonden;
- subgroepen moeten a priori geselecteerd worden op het bereik van zowel de doel- als de bronvariabele. Hierdoor vinden we meer bruikbare modellen. We zien in afbeelding 5.4 dat de waarden van de maximale piekgrondversnelling van de betreffende subgroep tussen 1,0 en 1,2 mm/s ligt. Bij voorbaat weten we dat het model dan weinig betrouwbaar is bij waarden als 0,6 of 2,4 mm/s. met de bovenstaande aanbevelingen met betrekking tot het selecteren van subgroepen kan op (nog) diepere niveaus worden gezocht naar exceptionele modellen, zonder dat dit veel meer rekentijd vergt en deze

lijst wordt gedomineerd door modellen die niet bruikbaar zijn, of geen extra informatie geven ten opzichte van andere modellen;

- Exceptional Model Mining kan ook worden toegepast op de geïnspecteerde schades. Het is dan van belang om de adres- gebouw- bouwlaag- en bouwdeeleigenschappen goed te aggregeren. Dit kan informatie geven tussen de geïnspecteerde schades en de beoordeling in schadecategorie.

Naar aanleiding van de toets op falsificatie en de toets op verificatie:

- ontwikkel de methode om systematisch te inspecteren en te beoordelen verder om meer gegevens systematisch vast te kunnen leggen. Op die manier kunnen er tot in een grotere mate van detail en een lager aggregatieniveau toetsen worden uitgevoerd. Daarnaast is de verwachting dat er dan er dan minder 'uitbijters' zijn die los beschouwd dienen te worden;
- onderzoek op een zelfde systematische wijze een referentiegebied in een gebied waar geen trillingen ten gevolge van aardbevingen voelbaar zijn en in een gebied waar trillingen ten gevolge van aardbevingen tot schade leidt om te bepalen of in beide referentiegebieden ten opzichte van het buitengebied afwijkende patronen voorkomen;
- onderzoek een aselechte groep gebouwen in het buitengebied om te bepalen of de onderzochte groep gebouwen te classificeren is een aselechte of juist een selecte groep gebouwen met betrekking tot de waargenomen schadebeelden en gevonden patronen;
- voer meer onderzoek uit om naar uniforme maatstaven voor de kwantificering van de hoeveelheid schade per gebouw om minder toetsen met verschillende maatstaven uit te hoeven voeren;
- beschouw mogelijkheden om met inachtneming van de privacy van de bewoner, de dataset publiek toegankelijk te maken zodat iedereen de mogelijkheid heeft om gestuurd dan wel ongestuurd te zoeken naar patronen in de verzamelde data.

REFERENTIES

Duivesteijn, W.; Feelders, A.; Knobbe, A.: Exceptional Model Mining. In: Data Min Knowl Disc (2016) 30: pp. 47-98

Duivesteijn, W.; Feelders, A.; Knobbe, A.: Different Slopes for Different Folks, Mining for Exceptional Regression Models with Cook's Distance. In: Proceedings of KDD (2012), pp 868-876

Duivesteijn, W.; Knobbe, A.: Exploiting False Discoveries - Statistical Validation of Patterns and Quality Measures in Subgroup Discovery. In: Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM 2011), pp. 151-160, 2011

Cortana1782. Software. Achtergrondinformatie, downloads van het programma en de bronbestanden zijn (vrij) beschikbaar op de website <http://datamining.liacs.nl/cortana.html>. (laatst geraadpleegd op 16 december 2016)

