

Onderzoek funderingsproblematiek Groningen

Projectnummer: 51010307

Referentienummer: NL23-648800269-40465

Datum: 12-01-2023

Inventarisatie funderingsproblematiek provincie Groningen en aangrenzende gebieden
Fase 1: Inventarisatie schadebeeld IMG (1^e spoor)

Definitief

Opdrachtgever:
Instituut Mijnbouwschade Groningen (namens Combinatie)
T.a.v. de heer J. Ligterink
Cascadeplein 10
9726 AD GRONINGEN

Verantwoording

Titel Inventarisatie funderingsproblematiek
provincie Groningen en aangrenzende
gebieden

Subtitel Fase 1: Inventarisatie schadebeeld IMG
(1e spoor)

Projectnummer 510010307

Referentienummer NL23-648800269-40465

Revisie Definitief D03

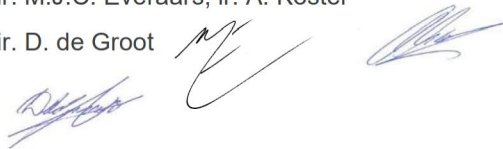
Datum 12-01-2023

Auteur ir. M.G.J.M. Peters, drs. D. Engelen,
Met bijdragen van ir. J. de Wolf, ir. O. Walta,
ir. O. Altememy

E-mailadres aardbevingen@sweco.nl

Gecontroleerd door ir. M.J.C. Everaars, ir. A. Koster
ir. D. de Groot

Paraaf gecontroleerd



Goedgekeurd door M. van Aert
Paraaf goedgekeurd



Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Algemeen.....	9
1.2 Doel	9
1.3 Totale onderzoeksvraag (2 sporen)	10
1.4 Gefaseerde aanpak	11
1.5 Afbakening Fase 1 Inventarisatie IMG (1 ^e spoor)	12
1.6 Leeswijzer.....	13
2 Randvoorwaarden en uitgangspunten	14
2.1 Algemeen.....	14
2.2 Randvoorwaarden inventarisatie schaderapporten.....	14
2.3 Categorisering	16
2.3.1 Objectgerelateerde aspecten	16
2.3.2 Bijkomende objectgerelateerde risicofactoren fundering.....	17
2.3.3 Locatiegerelateerde aspecten.....	18
2.3.4 Gegevens met betrekking tot de extrapolatie.....	21
2.4 Schademechanismen	22
2.4.1 Algemeen.....	22
2.4.2 Constructieve beoordeling aan de hand van schadeklassen	22
2.4.3 Geotechnische faalmechanismen fundering en ondergrond	30
3 Inventarisatie schaderapporten	35
3.1 Algemeen.....	35
3.2 Inventarisatie objectgerelateerde aspecten.....	35
3.2.1 Korte samenvatting uitgevoerde inventarisaties.....	35
3.2.2 Resultaten objectgerelateerde inventarisatie	36
3.3 Inventarisatie locatiegerelateerde aspecten	40
3.3.1 Korte samenvatting uitgevoerde inventarisaties.....	40
3.3.2 Resultaten locatiegerelateerde inventarisatie	40
4 Extrapolatie inventarisatie resultaten naar totale onderzoeksgebied	44
4.1 Aanpak extrapolatie	44
4.2 Dataselectie	44
4.3 Verdeling risicocategorieën over geïnventariseerde objecten	47
4.3.1 Algemeen.....	47
4.3.2 Risicocategorieën uit geselecteerde object- en locatiespecifieke kenmerken.....	47
4.3.3 Indeling geïnventariseerde objectlocaties in risicocategorie	50

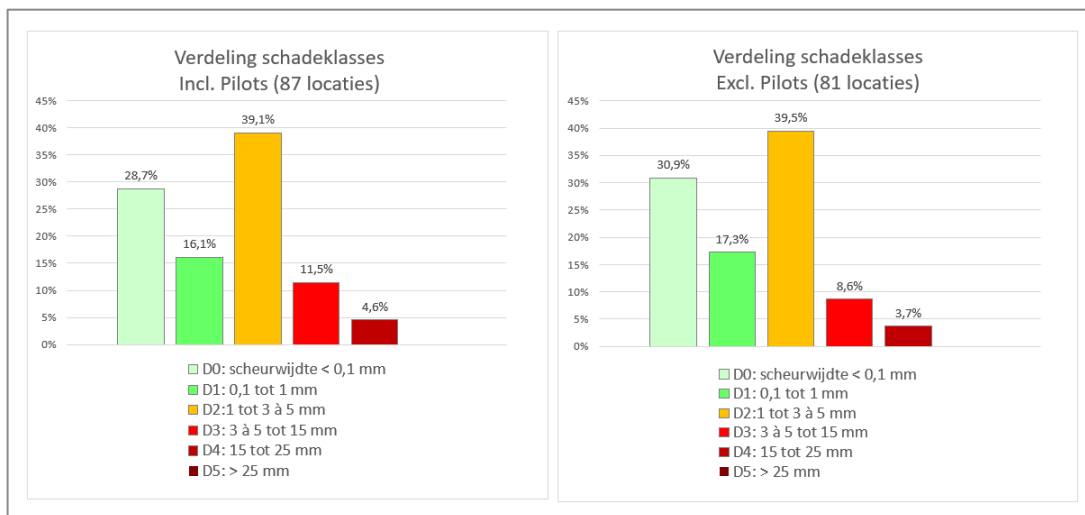
4.3.4	Verdeelsleutel schadeklassen over de risicocategorieën.....	50
4.4	Verdeling schadeklassen over alle beschouwde schadeadressen	51
4.4.1	Indeling geselecteerde schadeadressen in risicocategorie	51
4.4.2	Inschatting percentage schadeklassen over totaal aantal schadeadressen.....	52
5	Conclusies en aanbevelingen	54
5.1	Belangrijkste conclusies	54
5.2	Aanbevelingen	56
5.3	Aandachtspunten.....	57
5.4	Disclaimer	57
6	Referenties	59
6.1	Regelgeving, normen en handleidingen	59
6.2	Projectspecifieke referenties	60
6.3	Overige publicaties	60
Bijlage 1	Ligging locaties	
Bijlage 2	Kaartlagen locatiegerelateerde aspecten	
Bijlage 3	Resultaten objectgerelateerde aspecten	
Bijlage 4	Resultaten locatiegerelateerde aspecten	
Bijlage 5	Extrapolatie resultaten uit inventarisatie naar gehele onderzoeksgebied	

Samenvatting

In opdracht van het Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG) is in dit rapport door Sweco een inventarisatie uitgevoerd naar de omvang van funderingsschade bij woningen in het Groningse aardbevingsrisicogebied. Dit onderzoek is onderdeel van een uitgebreider onderzoek voor zowel het IMG als de NCG (Nationaal Coördinator Groningen) en de aardbevingsgemeenten, waarin zowel de omvang als de ernst van de funderingsproblematiek wordt onderzocht en waarbij aanbevelingen worden gegeven voor de aanpak ervan en oplossingsrichtingen voor duurzaam funderingsherstel worden voorgedragen.

In deze eerste fase is zowel de omvang als de ernst van de funderingsproblematiek over het totale onderzoeksgebied beschouwd, bestaande uit 9 gemeenten in de provincie Groningen, 4 gemeenten in de provincie Drenthe en 4 gemeenten in de provincie Fryslân. Hierbij is gebruik gemaakt van de door het IMG beschikbaar gestelde 87 schaderapporten, verdeeld over 11 van de 17 gemeentes. Dit zijn 81 *at random* ter beschikking gestelde schaderapporten van 81 objecten, plus 6 schaderapporten van zogenaamde pilot-objecten waar relatief veel schade is aangetroffen.

De 87 schaderapporten zijn kwalitatief beoordeeld op funderingsgerelateerde schades waarbij het aantal funderingsgerelateerde schades t.o.v. het totale aantal schades is bepaald plus de zwaarste funderingsgerelateerde schadeklasse. Voor de schadeklasse is uitgegaan van de indeling volgens Burland welke goed aansluit, zowel gezien de daarin vastgestelde onderverdeling in scheurwijdtes, als de invloed van fundering en ondergrond die daarin is betrokken. Uiteindelijk is per schaderapport een maximale funderingsgerelateerde schadeklasse bepaald. De verdeling van de maximale schadeklassen over de 87 respectievelijk 81 locaties is samengevat in figuur A.



Figuur A Verdeling van de maatgevende funderingsgerelateerde schadeklassen over de geïnventariseerde 87 (inclusief de 6 pilot-projecten) respectievelijk 81 (exclusief de 6 pilot-projecten)

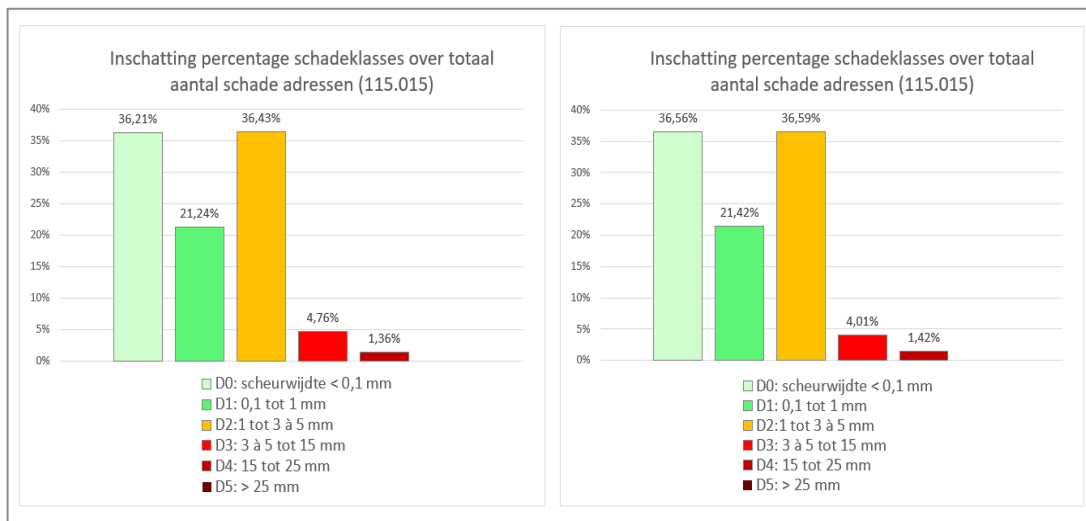
Om de schadeobjecten verder te kunnen categoriseren teneinde deze te kunnen extrapoleren naar het hele onderzoeksgebied, zijn de woningen uit de schaderapporten

vervolgens ingedeeld in objectgerelateerde categorieën, waarbij de drie belangrijkste zijn: het objecttype, het bouwjaar en het type fundering.

Met betrekking tot de fundering en de interactie met de ondergrond, zijn ook de locaties van de schadeobjecten gecategoriseerd. Hierbij is met name gekeken naar mechanismen uit de ondergrond, zoals zettingsgevoeligheid (stijfheid ondergrond), zettingen door extreem lage grondwaterstanden en de invloed van aardbevingsgerelateerde effecten zoals de maximaal opgetreden seismische belasting (PGV-waarde) en de bodemdalingsnelheid. De sterkste correlatie met het funderingsgerelateerde schadebeeld blijkt daarbij te zijn met de eerste twee mechanismen.

Aan de hand van de meest van invloed zijnde constructieve (objectgerelateerde) en geotechnische (locatiegerelateerde) aspecten zijn er vijf risicocategorieën (van zeer laag ZL tot zeer hoog ZH) vastgesteld, waarmee vervolgens een extrapolatievertaalslag is gemaakt van de 81 + 6 kwalitatief beoordeelde objecten naar een veel grotere hoeveelheid woningen over het totale onderzoeksgebied. Daarvoor is door IMG aan Sweco een databestand beschikbaar gesteld van 327.961 adressen verspreid over het gehele onderzoeksgebied. Van deze adressen zijn er 115.015 schadeadressen geselecteerd (circa 80% van alle schadeadressen, bestaande uit vrijstaande woningen, rijtjeswoningen of 2[^]1 kap en AGRO-woningen) welke binnen dezelfde randvoorwaarden vallen als die van de steekproef met de 87 geïnventariseerde adressen.

Door al deze 115.015 adressen kwalitatief te beoordelen aan de vijf bovengenoemde risicocategorieën zoals deze ook bij de 81, respectievelijk 87 adressen zijn toegepast, is een verdeling van te verwachte maximale funderingsschade van alle adressen verkregen, welke is samengevat in figuur B.



Figuur B *Inschatting hoeveelheid en ernst funderingsgerelateerde schade uit de 115.015 beschouwde schade adressen uit de 87 (links), respectievelijk 81 (rechts) steekproeven*

Uit de omvang en de mate van funderingsschade kunnen over de beschouwde schadeadressen de volgende conclusies worden getrokken:

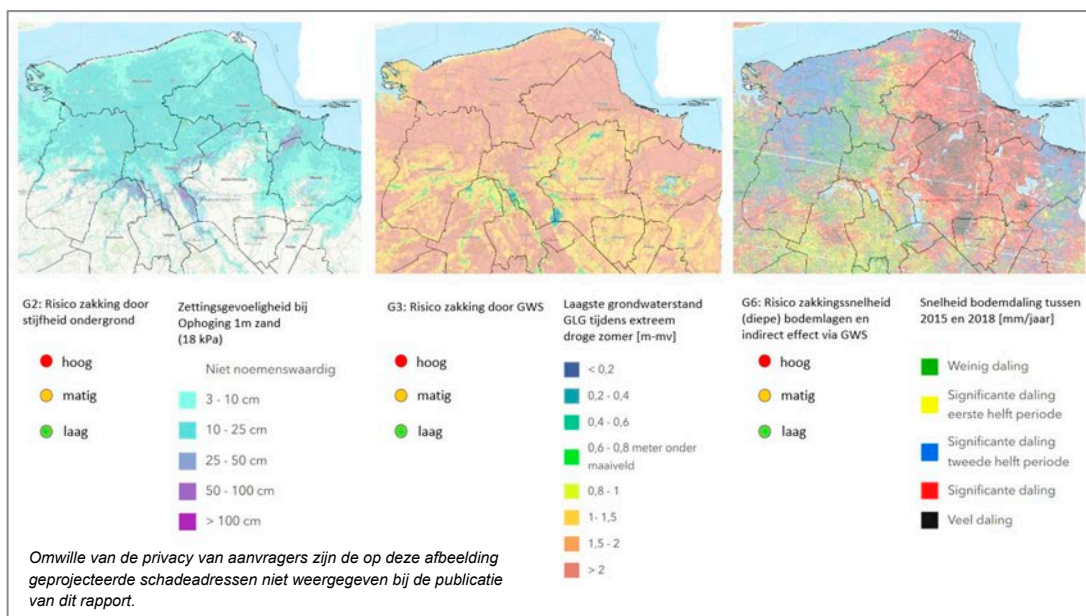
Voor schadeklassen D0 en D1 zullen geen funderingsherstelmaatregelen nodig zijn. Dit geldt tevens voor de meeste D2 schades. Herstel van D2 schades zal veelal beperkt blijven tot cosmetische maatregelen (schilderwerk, stucwerk etc.) en in enkele gevallen zullen funderingsherstelmaatregelen benodigd zijn

Globaal kan worden gesteld dat funderingsherstel (lokaal of globaal) aan de orde is bij schadeklassen D3, D4, D5 en in uitzonderingsgevallen schadeklasse D2. Waarbij bij D3 grofweg de helft wel en de helft niet. Dit geeft tevens de bandbreedte aan waarmee het percentage schadeadressen waarbij ook funderingsherstel aan de orde is, zo'n 4% tot 10% bedraagt.

Dit percentage is gebaseerd op schadeadressen bestaande uit vrijstaande woningen (type A1), rijtjeswoningen of 2[^]1 kap (type A2) en AGRO-woningen (type A3), waarbij uit de 87 geïnterviewde schaderapporten blijkt dat de kans op funderingsschade het grootst is bij de laatste categorie (AGRO-woningen).

Met betrekking tot de leeftijd blijkt dat er uit de 87 geïnterviewde woningen er geen funderingsherstel te verwachten is bij woningen van na 1975 (categorie C3) gelet op de daar hoogste aangetroffen schadeklasse D2. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat funderingsherstel voor D2 in deze fase van het onderzoek op voorhand nog niet is uit te sluiten. Anderzijds zullen dit met name specifieke gevallen betreffen welke voor de totale omvang van funderingsherstel, gelet op de onzekerheidsmarge zoals hierboven aangegeven, niet significant zal zijn.

Met betrekking tot de locatiegerelateerde aspecten zijn correlaties met het schadebeeld gevonden met (van sterk tot matig zwak) de opgetreden extreme lage grondwaterstand (G3), de samendrukbaarheid van de ondergrond (G2) en de seismische aspecten (zowel in relatie tot trillingen als door indirecte effecten uit bodemdaling (G6)). Deze drie kaartlagen zijn weergegeven in figuur C. Hoewel de mechanismen verschillend zijn en niet duidelijk met elkaar overlappen om bijvoorbeeld tot één risicokaart te kunnen komen, is de correlatie met het schadebeeld het sterkst bij de middelste kaart (G3).



Figuur C Risicokaarten maatgevende locatie gerelateerde schademechanismen

Uit bovenstaande conclusies volgt dat globaal kan worden gesteld dat funderingsherstel aan

de orde is bij schadeklassen D3, D4 en D5, en in sommige specifieke gevallen bij schadeklasse D2. Een meer aangescherpte afbakening voor wanneer funderingsherstel benodigd is zal in een vervolgonderzoek (fase2) moeten worden vastgesteld

In de vervolgfase wordt daarom beoogd om op basis van een representatief aantal geselecteerde schadegevallen (waaronder bijvoorbeeld enkele uit de geïnventariseerde pilot-objecten) nader te beoordelen op het soort schade, de mogelijke gecombineerde oorzaken en hoe deze kan worden opgelost.

Uiteindelijk kunnen op basis van de beoordeelde objecten uit fase 2 aanbevelingen worden gegeven voor uitbreiding van het huidige proces met een aanpak van funderingsherstel. Hierbij zullen zowel advies en aanbevelingen worden gegeven over de onderzoeksaanpak met betrekking tot de schadebeoordeling (ernst van de schade, onafhankelijk van de oorzaak) enerzijds, alsmede over de wijze van duurzaam funderingsherstel anderzijds.

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In het aardbevingsgebied, dat delen van de provincies Groningen, Drenthe en Friesland bestrijkt, speelt al geruime tijd de problematiek van funderingsschade een rol bij zowel het herstellen van schade aan een woning, als bij de beoordeling van schade als gevolg van aardbevingen. In de versterkingsoperatie wordt de staat en invloed van de fundering veelal onvoldoende meegenomen bij de bepaling van de maatregelen, waardoor de bouwbedrijven, die de versterkingen moeten uitvoeren, niet garant kunnen en willen staan voor het uitvoeren van duurzaam herstel of versterking, zolang er niets aan de fundering wordt gedaan. Daarnaast wordt bij de aardbevingsschadebeoordeling funderingsschade veelal als niet-aardbevingsgerelateerd geclassificeerd, zoals bijvoorbeeld bij schade door droogte of krimp, en in dat geval (terecht of onterecht) wordt deze schade aan funderingen ook niet verder in beschouwing genomen binnen de huidige procedures van het aardbevingsherstel. In geval de herstelmaatregelen alleen worden uitgevoerd voor de bovenbouw en daarbij de invloed van de fundering op de opgetreden schade niet nader wordt beschouwd en ook een mogelijk verzwakte fundering hierbij niet wordt aangepakt, dan is er een reële kans dat de schade in de bovenbouw daar telkens weer zal terugkeren.

Het gevolg hiervan is, dat er geen goede en duurzame versterking en schadeherstel van de constructie mogelijk is zonder dat voorafgaand ook de invloed van de fundering wordt beschouwd en deze, voor zover nodig, zodanig wordt versterkt dat deze 'op norm' komt (oftewel: voldoet aan NEN 8700 [7] en NEN 8707 [8]). Alleen in dat geval is er een basis die voldoende garantie kan geven op een uitgangssituatie waarbij een duurzame oplossing voor zowel de versterkingsmaatregelen als het schadeherstel aan de constructie kan worden toegepast.

Sweco is als erkend en onafhankelijk ingenieursbureau (met o.a. expertise in het aardbevingsgebied maar ook in funderingsschade) gevraagd om in opdracht van de Combinatie Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG), provincie Groningen (PG) en de Nationaal Coördinator Groningen (NCG), in dit rapport verder afgekort als 'de Combinatie', een inventarisatie te doen naar de omvang van de problematiek en het aantal woningen in het aardbevingsrisicogebied waarbij funderingsschade aan de orde is en vervolgens een advies te geven voor de aanpak en oplossingsrichtingen voor duurzaam funderingsherstel. Het betreffen zowel CC1/CC2 woongebouwen binnen de scope van de herstel/versterkingsopgave waar funderingsproblematiek aanwezig is, als buiten de scope van de herstel/versterkingsopgave waar duurzaam herstel van schade niet mogelijk is vanwege funderingsproblematiek.

Het onderzoek wordt in verschillende fasen uitgevoerd. Dit rapport omvat fase 1 en betreft de inventarisatie van de funderingsproblematiek op basis van schadeonderzoeken van het IMG (1^e spoor). De verschillende fasen zijn verderop in dit hoofdstuk globaal uiteengezet.

1.2 Doel

Het belangrijkste doel van het totale funderingsonderzoek is het inzichtelijk maken van de globale omvang en de mogelijke oplossingen van de funderingsproblematiek in het aardbevingsgebied, zowel binnen als buiten de scope van de aardbevingsproblematiek. Daarnaast is het ook de wens om de uitgangspunten voor een proces van identificatie, beoordeling en duurzame oplossingen van mogelijk verzwakte funderingen te kunnen opzetten welke kan worden ingezet in het gehele onderzoeksgebied.

De bevindingen vormen de onderbouwing om tot een duurzame oplossing te komen voor de funderingsproblematiek en zo een duurzame versterking en schadeherstel van een woning mogelijk te maken.

Het beschouwde onderzoeksgebied omvat bijna het hele aardbevingsgebied, waaronder 8 'aardbevingsgemeenten' in de provincie Groningen (gemeente Het Hogeland, gemeente Delfzijl/Eemsdelta, gemeente Groningen, gemeente Midden-Groningen, gemeente Oldambt, gemeente Pekela, gemeente Westerkwartier en gemeente Veendam) en 3 aardbevingsgemeenten in de provincie Drenthe (gemeente Tynaarlo, gemeente Aa en Hunze en gemeente Noordenveld). Van de overige 'aardbevingsgemeenten' gemeente Stadskanaal in de provincie Groningen, gemeente Assen in de provincie Drenthe en gemeenten Ooststellingwerf, Achtkarspelen, Noardeast Fryslân en Schiermonnikoog in de provincie Friesland zijn wel schadeonderzoeken uitgevoerd, maar zijn voor deze inventarisatie geen schade- en/of versterkingsadviezen beschikbaar gesteld waardoor deze gemeenten dan ook buiten het geïnventariseerde onderzoeksgebied zijn gelaten.

Het onderhavige funderingsonderzoek heeft *uitdrukkelijk niet tot doel de oorzaak van de schade als wel- of niet-aardbevingsgerelateerd te bestempelen*. Omdat de aanpak van de funderingsproblematiek ook een combinatie kan zijn tussen wel- en niet-aardbevingsgerelateerde schade, zal een causaal verband met specifiek één van de schadeoorzaken ook niet met terugwerkende kracht kunnen en mogen worden gelegd.

1.3 Totale onderzoeksvraag (2 sporen)

Om tegemoet te komen aan de vraag van de Combinatie is tijdens het overleg d.d. 21 april jongleden voorgesteld de gefaseerde aanpak vanuit twee sporen in te steken (het zogenaamde 1^e en 2^e spoor) en vervolgens tot een uiteindelijke gezamenlijke aanpak te komen.

De insteek in de huidige inventarisatiefase en deels ook in de onderzoeksfase daarna, waarin de bestaande normen en richtlijnen worden betrokken, is tweeledig. Dit is het gevolg van de specifieke onderzoeksvragen en wensen vanuit het IMG en daarnaast vanuit de NCG en provincie Groningen (Ondersteunend Bureau Gaswinning).

- **Onderzoeksvraag IMG (1^e spoor):** Er wordt een globale inventarisatie gemaakt betreffende de in de onderzoeksregio aanwezige constructietypen, funderingstypen en schadetypes aan de hand van schaderapportages verspreid over de regio. Hieruit worden de belangrijkste faalmechanismen gerelateerd aan enerzijds de vastgestelde objecttypen en anderzijds gecorreleerd aan geografisch in beeld gebrachte locatiespecifieke aspecten. Op basis hiervan worden de omvang en de mogelijke oplossingen van de funderingsproblematiek in de provincie Groningen en de daar direct aangrenzende gebieden inzichtelijk gemaakt, zowel binnen als buiten de scope van de aardbevingsversterkingsoperatie.
- **Onderzoeksvraag NCG en provincie Groningen (2^e spoor):** Vanuit de wens van NCG en de provincie Groningen wordt een specifiekere inventarisatie gemaakt op basis van een aantal specifieke casussen van de provincie Groningen en van NCG binnen het onderzoeksgebied. Uit deze casussen worden conclusies getrokken over de wijze waarop omgegaan wordt met verzwakte funderingen bij het versterken van de gebouwen. De casussen worden ook hier ingedeeld naar de hierboven voorgestelde typen constructies, funderingen, schadetypes en locatiespecifieke aspecten. Op basis van zowel de geografische inventarisatie als de aangedragen casuïstiek wordt de omvang van de funderingsproblematiek door middel van beoordeling aan de vigerende normen inzichtelijk gemaakt. Een deelvraag hierin is hoe de huidige uit te voeren versterkingen van de diverse casussen volgens de voorgestelde methodiek zich

verhouden tot het bouwbesluit en duurzame oplossingen. Daarbij is ook door NCG een onderzoeksvraag gesteld welke betrekking heeft op de vraag of het huidige interne proces leidt tot duurzame oplossingen in de praktijk. De conclusies uit dit spoor zullen uiteindelijk worden betrokken in het Kader Verzwakte Constructies en Funderingen.

1.4 Gefaseerde aanpak

Voor de aanpak van het onderzoek heeft Sweco een gefaseerde werkwijze opgezet, welke verder is uitgewerkt in het Plan van Aanpak [17] en hieronder kort is beschreven. Er zijn drie fasen onderscheiden waarbij, gelet op de verschillende onderzoeksvragen, de werkzaamheden aanvankelijk deels gescheiden (de twee sporen) zullen zijn en deels elkaar zullen aanvullen. Dit met het doel om tenslotte tot één eindproduct te komen met een totaalbeeld voor de aanpak van de funderingsproblematiek.

Eerste fase

In de eerste fase worden de gegevens en schaderapporten geïnventariseerd, alsmede de betreffende objecten, funderingstypen gecategoriseerd en de lokale effecten onderscheiden. De inventarisatie is zowel vanuit globaal perspectief (vraagstelling IMG) als vanuit specifieke casuïstiek (vraagstelling NCG en provincie Groningen) gemaakt.

- **Inventarisatie IMG (1^e spoor):** In de eerste fase is de inventarisatie uitgevoerd op basis van 87 schaderapporten, waarvan 6 pilotobjecten en 81 overige objecten, verspreid over 11 gemeenten in het onderzoeksgebied [18]. Parallel daaraan zijn de locatiespecifieke/geotechnische aspecten in kaart gebracht. Vanuit zowel de typen constructies, funderingen, schadetypen als de locaties wordt het schadepatroon zichtbaar gemaakt en de hierop belangrijkste object- en locatiespecifieke invloedsfactoren geselecteerd. Op basis van het totaal aantal schade-adressen bij IMG en de beperkte differentiatie daarin, wordt een eerste extrapolatieslag gemaakt om een totaalbeeld te krijgen van de soort schade verspreid over het gehele onderzoeksgebied.
- **Inventarisatie NCG en provincie Groningen (2^e spoor):** Vanuit zowel NCG als provincie Groningen zijn ieder 5 casussen beschikbaar gesteld, welke bestaan uit ondermeer versterkingsadviezen (inspectie-, TVA- en uitvoeringsontwerprapporten) en schaderapporten.

Tweede fase

In de tweede fase worden beide inventarisaties vergeleken, de randvoorwaarden voor de beoordeling vastgesteld en worden de geïnventariseerde gevallen hieraan beoordeeld.

- **Analyse IMG (1^e spoor):** Een representatief aantal geselecteerde schadegevallen van IMG die in fase 1 zijn geïnventariseerd en waarbij het schadepatroon is gecategoriseerd, worden vervolgens beoordeeld op soort schade, mogelijke gecombineerde oorzaken en hoe de gecategoriseerde schade kan worden opgelost, mede in relatie tot de aanpak welke volgt uit het 2^e spoor.
- **Analyse NCG en provincie Groningen (2^e spoor):** De 5 + 5 casussen worden beoordeeld op hun aanpak en wijze waarop in het versterkingsadvies is omgegaan met betrekking tot verzwakte funderingen en relatie met de ondergrond, waarbij de fundering en aanpak wordt beoordeeld aan de hand van de van toepassing zijnde normen (NEN 8700 [7] en NEN 8707 [8]) en richtlijnen (NPR 9998:2020 [9]).
- De beoordelingen zullen in eerste instantie kwalitatief worden uitgevoerd en voor zover aan de orde, ook deels kwantitatief.

Derde fase

Nadat in de tweede fase de objecten zijn beoordeeld en de correlatie tussen de beschouwde objecten en de locaties is gelegd, kan in de derde fase de slag naar het gehele onderzoeksgebied met advisering/aanbevelingen met betrekking tot de aanpak voor

duurzaam funderingsherstel worden gemaakt. In de eindrapportage worden de conclusies betreffende de totale funderingsproblematiek verspreid over de onderzoeksregio vastgesteld, gekoppeld aan aanwezige objecttypen en locatie gebonden effecten. Daarnaast worden aanbevelingen gegeven over de wijze waarop moet worden omgegaan met verzwakte funderingen bij het beoordelen van de schade en bij het versterken van gebouwen.

1.5 Afbakening Fase 1 Inventarisatie IMG (1^e spoor)

Het onderhavige rapport omvat de kwalitatieve inventarisatie van de 81 schaderapporten plus 6 pilotobjecten met funderingsproblematiek, verspreid over het onderzoeksgebied bestaande uit de in paragraaf 1.2 genoemde 11 gemeenten. De onderzochte objecten betreffen alle CC1/CC2 woonobjecten.

Uitgangspunt vormen de ter beschikking gestelde bestaande gegevens en rapporten van IMG en algemeen beschikbare documenten die publiekelijk beschikbaar zijn (aangevuld met de kennis en ervaringen welke intern bij Sweco zijn opgedaan tijdens de werkzaamheden voor de schadeonderzoeken (voor IMG) en versterkingsadviezen en aardbevingsonderzoeken (voor NCG). De diepgang is beperkt tot de variatie van de verschillende objecttypen binnen de ter beschikking gestelde schaderapporten.

Daarnaast is voor de eerste extrapolatieslag naar het totale onderzoeksgebied gebruik gemaakt van de door IMG en BAG-register ter beschikking gestelde overzichten van aantallen schade-adressen en de bestaande differentiaties daarin. Parallel daaraan zijn de belangrijkste locatiespecifieke gegevens van alle objectlocaties verkregen uit het GIS-datasysteem van Sweco. De omvang van het schadebeeld zal worden gerelateerd door middel van aangereikte gegevens van het IMG met betrekking tot het aantal schademeldingen per type object. Het totaalbeeld zal een indicatie zijn van het *aantal woningen*, waarbij schade herstel van de fundering noodzakelijk is.

De inventarisatie is (naast de bovengenoemde eigen interne informatie) beperkt tot de via de opdrachtgever, zijnde de combinatie provincie Groningen, IMG en NCG, beschikbaar gestelde rapporten van de objecten welke in dit rapport zijn geanonimiseerd. Er zijn binnen de scope van deze opdracht geen aanvullende onderzoeken, inspecties of interviews met particulieren uitgevoerd.

Aangezien de 81 ter beschikking gestelde schaderapporten slechts een beperkte steekproef betreffen ten opzichte van de in totaal circa 150.000 schade-adressen (waarvan uiteindelijk 115.015 representatief) en daardoor niet een volledig representatief beeld kunnen geven van alle aangetroffen schadegevallen, kunnen de onderzoeksresultaten niet worden herleid per adres. In fase 1 is beoogd om alleen een totaalbeeld te geven van de *omvang van de funderingsschade* met daarbij een differentiatie van het schadebeeld.

Het onderhavige funderingsonderzoek heeft *uitdrukkelijk niet tot doel de oorzaak van de schade als wel- of niet-aardbevingsgerelateerd te bestempelen*. Omdat de aanpak van de funderingsproblematiek ook een combinatie kan zijn tussen wel- en niet-aardbevingsgerelateerde schade, zal een causaal verband met specifiek één van de schadeoorzaken ook niet met terugwerkende kracht kunnen en mogen worden gelegd.

Doordat de omvang van schade en herstel een combinatie zal zijn tussen wel- en niet-aardbevingsgerelateerde schade, zal een causaal verband met specifiek één van de schadeoorzaken ook niet met terugwerkende kracht kunnen en mogen worden gelegd. De funderingsproblematiek zal ook voor de vervolgfases worden afgebakend tot het

bovengenoemde onderzoeksgebied. Deze heeft betrekking tot zowel woningen binnen de scope van de versterkingsopgave welke waar funderingsproblematiek aanwezig is, als buiten deze scope waar duurzaam herstel van schade niet mogelijk is vanwege funderingsproblematiek.

1.6 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de belangrijkste randvoorwaarden en uitgangspunten beschreven en zijn de belangrijkste referenties en publicaties vermeld welke de basis hebben gevormd voor deze inventarisatie en categorisatie van de schades en het verkrijgen van een schadebeeld over het onderzoeksgebied.

In hoofdstuk 3 zijn vervolgens de objecten vanuit constructieve invalshoek geïnterpreteerd naar objectgerelateerde aspecten en daarnaast vanuit geotechnische invalshoek de objectlocaties naar locatiespecifieke aspecten. Vervolgens zijn daaruit de belangrijkste correlaties bepaald welke voor hoofdstuk 4 een aanzet vormen voor de extrapolatie van de resultaten van de geïnterpreteerde objectlocaties naar het totale onderzoeksgebied. Dit met als doel de totale omvang van de te verwachten funderingsschade over het onderzoeksgebied te kunnen vaststellen en daarnaast de wijze voor duurzaam funderingsherstel. Tenslotte zijn in hoofdstuk 5 de eerste conclusies vastgesteld en zijn specifieke aanbevelingen gegeven voor de vervolgfases van dit onderzoek.

2 Randvoorwaarden en uitgangspunten

2.1 Algemeen

In de navolgende paragrafen worden de gehanteerde randvoorwaarden en uitgangspunten beschreven welke ten grondslag liggen van de inventarisatie en de categorisering van de objecten en de funderingsgerelateerde schade.

In hoofdstuk 7 zijn de belangrijkste referenties opgenomen. De van toepassing zijnde vigerende normen en richtlijnen zijn daarbij toegevoegd in paragraaf 7.1.

De relevante referenties en onderzoeksrapporten die specifiek als uitgangspunt in deze 1e fase zijn betrokken, op basis waarvan de funderingsgerelateerde schades zijn geïnventariseerd en gecategoriseerd, zijn hieronder nogmaals aangegeven:

- De Vent, I.A.E., *Structural damage in masonry* (2011) [21]
- Van Staalduinen, P.C., Terwel, K.C., Rots, J.G., *Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen* (2018) [22]
- Van Staalduinen, P.C., Everts, H.J., *Over de invloed van trillingen door bevingen op zettingen van gebouwen* (2020) [23]
- IMG Beoordelingsschema mijnbouwschade (1 juli 2021) [19]
- IMG Trillingstool [20]

2.2 Randvoorwaarden inventarisatie schaderapporten

Door IMG zijn in totaal 87 schaderapporten vrijgegeven van woonobjecten welke verspreid zijn over de 11 beschouwde gemeentes, zoals deze zijn genoemd in paragraaf 1.2. Van deze 87 objecten zijn er 6 die als pilot-objecten met veel funderingsgerelateerde schades zijn toegevoegd. De overige 81 schaderapporten zijn verdeeld over de gemeentes en daarbinnen min of meer willekeurig gekozen, om een goed referentiekader te verkrijgen, waarbij is gestreefd naar een zo groot mogelijke variatie in:

- type objecten;
- type draagconstructie;
- leeftijd;
- type fundering.

De bovenstaande objectgerelateerde aspecten, waarop de objecten uit de schaderapporten vervolgens zijn onderverdeeld, zijn nader omschreven in paragraaf 2.3.1.

Daarnaast is, naast de verdeling over de gemeentes, ook gestreefd naar een zo groot mogelijke variatie in locatiespecifieke aspecten, zoals:

- geografische spreiding;
- verschillen in grondprofiel;
- geohydrologie;
- geomorfologie;
- seismische belasting.

De locatiespecifieke aspecten zijn nader omschreven in paragraaf 2.3.2.

Tenslotte zijn als randvoorwaarden aan de schaderapporten gesteld, dat de schademelding redelijk recent moet zijn en dat de opname van de schades goed in beeld moeten zijn gebracht.

Alle schaderapporten zijn geanonimiseerd tot een 4- of 6-delig postcodegebied (niveau PG4 respectievelijk PG6) of tot een buurtgebied zoals gedefinieerd in het BAG-register van het Kadaster (deze specifiekere gebiedsindeling kan mogelijk in de vervolgfase aan de orde zijn).

In figuur 2.1 is een kaart afgebeeld met de globale locaties van de schadeobjecten van zowel de 81 willekeurige als de 6 pilot-objecten.



Figuur 2.1 Globale spreiding ter beschikking gestelde schaderapporten geanonimiseerde objecten in het beschouwde onderzoeksgebied.¹

¹ Van de hier nog afgebeelde toegevoegde gemeenten Stadskanaal, Ooststellingwerf en Assen zijn geen schaderapporten beschikbaar gesteld waardoor deze ook niet binnen de inventarisatie verder zijn beschouwd.

De eerste twee cijfers van de codering van de geanonimiseerde *schaderapporten* betreft de gemeente met daarachter het anonieme volgnummer. De codering van de beschouwde gemeentes is daarbij als volgt:

- 01: gemeente Het Hogeland met 8 beschouwde schaderapporten;
- 02: gemeente Delfzijl/Eemsdelta met 9 beschouwde schaderapporten;
- 03: gemeente Groningen met 9 beschouwde schaderapporten;
- 04: gemeente Midden-Groningen met 9 beschouwde schaderapporten;
- 05: gemeente Oldambt met 8 beschouwde schaderapporten;
- 06: gemeente Pekela met 3 beschouwde schaderapporten;
- 07: gemeente Westerkwartier met 8 beschouwde schaderapporten;
- 08: gemeente Veendam met 8 beschouwde schaderapporten;
- 09: gemeente Tynaarlo met 7 beschouwde schaderapporten;
- 10: gemeente Aa en Hunze met 4 beschouwde schaderapporten;
- 11: gemeente Noordenveld met 8 beschouwde schaderapporten.

De 6 locaties van de *pilot-objecten* zijn over verschillende gemeentes verspreid en hebben een codering beginnend met 00. Deze zes pilot objecten zijn geselecteerd op basis van hun grote aandeel funderingsgerelateerde schade en zijn als referentie meegenomen van het soort schade welke in een volgende fase nader kan worden geanalyseerd en beoordeeld. Voor de extrapolatie naar de gehele omgeving zijn de pilot objecten echter niet meegenomen, aangezien ze tot een vertekend beeld kunnen leiden van het schadebeeld.

2.3 Categorisering

2.3.1 Objectgerelateerde aspecten

In de inventarisatie zijn als eerste de objecten zelf gecategoriseerd binnen de verschillende objectgerelateerde aspecten. Hiervoor zijn de volgende categorieën gedefinieerd en onderscheiden:

- A: Objecttype:
 - A1: rijtjeswoning;
 - A2: vrijstaande woning;
 - A3: AGRO-woning;
 - A4: overig (zoals kantoorgebouwen, appartement complexen, openbare gebouwen etc.).
- B: Type draagconstructie:
 - B1: metselwerk vóór 1945;
 - B2: metselwerk ná 1945;
 - B3: houtskelet;
 - B4: gewapend beton.
- C: Leeftijd:
 - C1: vóór 1945 (vooroorlogs);
 - C2: tussen 1945 en 1975 (naoorlogs);
 - C3: na 1975 (modern, (pre-) bouwbesluit);
- F: Funderingstype:
 - F1: fundering op staal:
 - F1.1: metselwerk stroken;
 - F1.2: metselwerk stiepen;
 - F1.3: beton stroken;
 - F1.4: plaatfundering;

- F2: fundering op palen:
 - F2.1: houten palen met betonoplagers;
 - F2.2: avegaar- of mortelschroefpalen;
 - F2.3: (voorgespannen) prefab betonpalen;
 - F2.4: betonpalen met stalen casing, overig.

Verder zijn bij de objecttype en funderingstype nog aanvullende aspecten in beschouwing genomen. Deze zijn hieronder uiteengezet.

2.3.2 Bijkomende objectgerelateerde risicofactoren fundering

2.3.2.1 *Algemeen*

Bij een gebouw dat ondiep is gefundeerd (fundering op staal) zullen belastingen leiden tot een samendrukking van de ondergrondlagen, waardoor het gebouw dus onderhevig zal worden aan zettingen. De belastingen kunnen afkomstig zijn uit het eigen gewicht van het gebouw of van de veranderlijke belastingen erop. De belastingen uit het eigen gewicht zullen grotendeels (instantaan) tijdens de bouwfase optreden maar ook een deel ervan zal tijdsafhankelijk zijn, zowel als consolidatie (primaire zakking) als kruip (seculaire zakking). Bij fundering op palen zullen de zakkingen aanzienlijk geringer zijn ten opzichte van een fundering op staal, zolang de paalbelastingen de draagkracht niet overschrijden bijvoorbeeld als gevolg van de primaire aanwezige belasting of extra negatieve kleef. Daartegenover kunnen bij onvoldoende herverdelingscapaciteit vanuit de funderingsbalken bij fundering op palen ook zijdelingse effecten een risicofactor vormen. Denk ook aan horizontale verplaatsingen, momentcapaciteit (nauwelijks aanwezig bij avegaar- en mortelschroefpalen) en de totale stabiliteit (vooral bij houten palen met betonoplagers). Deze essentiële aspecten zullen ook nader aan de orde komen bij de beoordeling in fase 2.

Wanneer de funderingsdrukken gelijkmatig zijn, zullen (bij een 'uniforme' fundering) de zakkingen ook gelijkmatig en integraal optreden. Bij ongelijkmatige funderingsdrukken is er echter een groter risico op zakkingsschade, waarbij de sterkte en stijfheid van het gebouw bepalend wordt, of er ook daadwerkelijk schade kan ontstaan. In de inventarisatie van de geconstateerde funderingsschade zijn daarom bij de objectgerelateerde risicofactoren (naast de locatiespecifieke risicofactoren welke verderop zijn beschreven in paragraaf 2.3.4) de volgende bijkomende risicofactoren in beschouwing genomen.

2.3.2.2 *Kans op fundering op staal*

Uit de schaderapporten blijkt niet altijd de funderingswijze met zekerheid te zijn vastgesteld. In geval van twijfel zijn meerdere inschattingen gedaan. In de Klimateffectatlas van Deltares [34] zijn bijvoorbeeld ook inschattingen gemaakt op de kans op een fundering op staal en op houten palen per kadaster-buurtindeling, maar hier is voornamelijk gekeken naar de lokale ondergrond en referenties in vergelijkbare grondprofielen in de rest van Nederland (lees: Holland). Deze inschatting blijkt echter niet betrouwbaar voor het onderhavige onderzoeksgebied in en rondom Groningen, aangezien in noordoost-Nederland op Holocene kleigronden veel meer funderingen op staal aanwezig zijn, dan de kaarten uit de Klimateatlas doen vermoeden (maar in west-Nederland mogelijk wel het geval zal zijn). Daarom is voor de inschatting van het funderingstype, naast de informatie die daarover staat vermeld in de schaderapporten zelf, ook vooral gekeken naar het schadebeeld en de leeftijd van de objecten.

2.3.2.3 *Kans op aanwezigheid kelder*

De aanwezigheid van een kelder kan van grote invloed zijn op de kans op zettingsverschillen, zeker in het geval de kelder zich maar onder een gedeelte van de

woning bevindt. Bij de meeste op staal gefundeerde woningen met een kelder blijkt uit de schaderapporten dat de kelder zich ook inderdaad slechts lokaal onder de woning bevindt. In dat geval is de fundering op staal (in analogie op de aanpak zoals ook is beschreven in de NPR 9998:2020 [9]), als 'niet-uniforme' fundering beschouwd, wat uiteindelijk zal leiden tot een grotere kans op verschildzetting. De aanwezigheid van een kelder is daarom als extra risicofactor meegenomen in de kwalitatieve beschouwing.

2.3.2.4 *Aanwezigheid latere aanbouw*

Ook een latere aanbouw kan een risicofactor zijn voor extra (scheef)zakkingen. Dit geldt zowel als gevolg van de optredende zakkingen tijdens de bouw, waarbij de ontwikkeling van de benodigde reactie van de ondergrond gepaard gaat met enige vervormingen, als tijdens de gebruiksfase doordat er sprake kan zijn van een niet-uniforme funderingswijze en daarmee een niet gelijkmatige afdracht van funderingsdruk naar de ondergrond. Aanwezigheid van een latere aanbouw is daarom ook als extra risicofactor meegenomen.

2.3.2.5 *Wijzigingen in gebruik*

Wijzigingen in gebruik kunnen ook leiden tot extra belastingen of lokale spanningen en spanningsconcentraties waardoor de funderingsdruk plaatselijk hoger kan worden. Herverdeling van de funderingsdruk zal daarbij plaatsvinden met wederom enige vervorming van de ondergrond, wat vooral bij funderingen op staal een risicofactor voor verschildzakkingen kan zijn.

2.3.3 Locatiegerelateerde aspecten

2.3.3.1 *Algemeen*

Gelet op de interactie tussen de constructie (object) en de ondergrond is het relevant dat naast de objectspecifieke kenmerken (constructieve opbouw van het object), ook de locatiespecifieke aspecten worden geïventariseerd welke via de fundering een relatie kunnen hebben op het schadebeeld.

Door de locatiegerelateerde aspecten per PG4 of PG6 of per buurtgebied in kaart te brengen, wordt een beeld verkregen van de effecten die vanuit de ondergrond kunnen optreden ook voor de overige niet-geïventariseerde, dan wel vergelijkbare objecten. Behalve bij de geïventariseerde objecten kan dan ook een risico op een bepaald schadebeeld worden ingeschat bij de niet-geïventariseerde, enigszins vergelijkbare objecten. Dit is dus alleen gedaan om een totaalbeeld van de omvang van mogelijke funderingsschade in het onderzoeksgebied te kunnen verkrijgen, zonder dat op de specifieke objecten hoeft te worden ingegaan.

Hieronder zijn de belangrijkste locatiespecifieke aspecten beschreven. De genoemde kaarten zijn weergegeven in Bijlage 2.

2.3.3.2 *Grondmechanische aspecten*

Onder grondmechanische aspecten zijn met name de sterkte en stijfheid van de verschillende grondlagen en de grondgelaagdheid in beschouwing genomen. De stijfheid is een indicatie van de zakkingsgevoeligheid van de ondergrond, terwijl de sterkte de draagkracht van de fundering bepaalt en bij het overschrijden ervan kan leiden tot aanzienlijke zakkingen en verplaatsingen. De verschildzakking, die de belangrijkste en meest voorkomende factor van funderingsschade vormt, is afhankelijk van de uniformiteit en de herverdelingscapaciteit van de constructie zoals in paragraaf 2.3.3 aangegeven. Maar geotechnisch zullen inhomogeniteiten in de ondergrond zelf, ook gepaard kunnen gaan met verschildzakkingen.

Gefocust is op de stijfheidseigenschappen in met name de bovenste 5 m, in lijn met de invloedzone welke in de NPR 9998:2020 [9] wordt aangehouden voor een fundering op staal. Voor zowel per geïnventariseerd object, als in kaart gebracht voor het hele onderzoeksgebied, zijn de volgende aspecten beschouwd:

- diepte draagkrachtige laag (zand of potklei) in m-mv (per objectlocatie) en top Pleistoceen (kaartlaag);
- totale dikte van holocene cohesieve lagen in de bovenste 5 m (per objectlocatie en als kaartlaag) met daarbij onderscheid tussen:
 - totale dikte veen in de bovenste 5 m (als kaartlaag);
 - totale dikte klei in de bovenste 5 m (als kaartlaag);
 - totale dikte wadzand en kleilig zand in de bovenste 5 m (als kaartlaag)
- zettingsgevoeligheid op basis van maaiveldzetting door belasting 18 kPa (als kaartlaag).

2.3.3.3 *Geohydrologische aspecten*

Als gevolg van een verlaging van grondwaterstand zal de effectieve spanning in de ondergrond toenemen en daardoor aanwezige slappe lagen worden samengedrukt. Met name in geval de grondwaterstand in extreme situaties beneden de gemiddeld lage grondwaterstand (GLG) uitkomt, zal de effectieve spanning verder gaan toenemen ten opzichte van een eerdere verhoogde spanningstoestand en kunnen extra zakkingen van de fundering optreden. Dit risico is in beeld gebracht door het verschil tussen de tot nu toe opgetreden extreme lage grondwaterstand ten opzichte van de gemiddeld lage grondwaterstand te bepalen en in kaart te brengen. Uiteraard speelt ook de tijdsduur van deze extreme situatie een rol op de te verwachten zetting, gelet op de tijdsafhankelijke componenten in het zettingsgedrag (consolidatie).

Naast de tijdelijke verhoging van de effectieve spanning kan bij extreme lage grondwaterstand (als gevolg van droogte of een tijdelijke bemaling) ook oxidatie een rol spelen wanneer een veenlaag die onder normale omstandigheden volledig verzadigd zou zijn, in een periode van extreme droogte bloot wordt gesteld aan zuurstof. In dit geval neemt het volume van het materiaal sterk af wat kan leiden tot onomkeerbare zettingen en zakkingen in geval deze lagen onder de fundering voorkomen.

Met betrekking tot de bovenstaande mechanismen zijn de volgende geohydrologische aspecten beschouwd:

- gemiddeld lage grondwaterstand, GLG ten opzichte van mv (per objectlocatie en als kaartlaag);
- extreem lage grondwaterstand ten opzichte van mv (per objectlocatie en als kaartlaag);
- dikte eventuele veenlaag onder een fundering boven de extreem lage grondwaterstand (per objectlocatie en als kaartlaag).

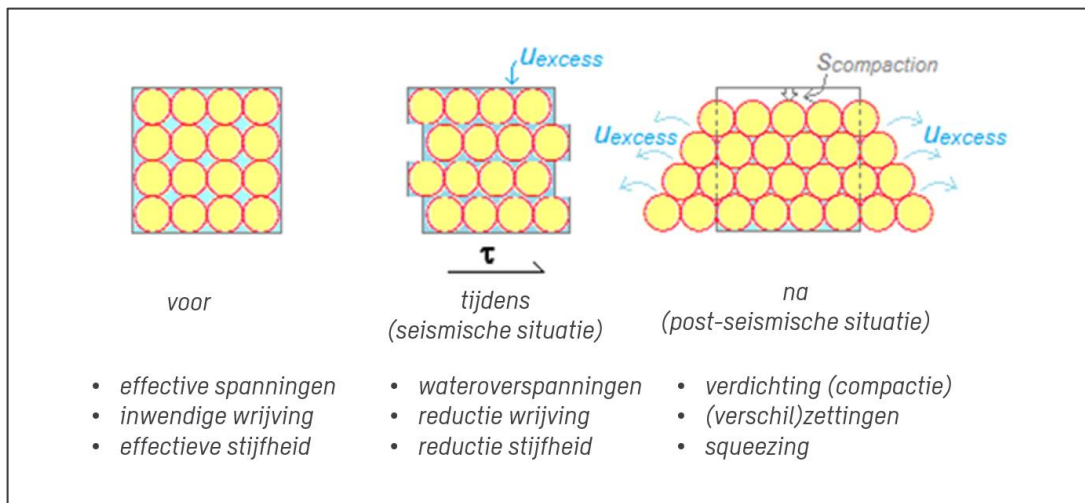
2.3.3.4 *Seismische en aardbevingsgerelateerde aspecten*

Onder seismische en aardbevingsgerelateerde aspecten worden funderingszakkingen beschouwd welke een gevolg kunnen zijn van trillingen en van bodemdaling. Er zijn verschillende effecten vanuit trillingen te onderscheiden.

Allereerst vormen trillingen een seismische belasting op het gebouw waardoor zowel het gebouw als de ondergrond kan vervormen. De mate waarin de vervorming van de ondergrond permanent kan zijn hangt echter sterk af van de hoogte van de seismische belasting, de belastingduur, de belastingverdeling over de fundering en het plastische gedrag van de ondergrond uitgaande van een dynamische situatie (dynamische stijfheid

van ondergrond kan veelal een factor 3 tot 5 hoger bedragen ten opzichte van een statische situatie).

Ten tweede kunnen trillingen in los gepakte granulaire grondsoorten leiden tot verdichting als gevolg van herrangschikking van korrels naar een dichtere pakking of waarbij kleinere korrels in de poriën tussen de grote korrels kruipen. Bij verzadigde granulaire grondlagen zal de herrangschikking gepaard gaan met een tijdelijke wateroverspanning doordat het water in de kleiner wordende poriën onder druk komt te staan en niet gelijk kan afstromen. Deze verweking leidt tot een tijdelijke afname van de korrelspanning en dus van de sterkte van de ondergrond wat kan leiden tot verlies van draagkracht of stabiliteitsverlies bij taluds, met mogelijk (verschil)zakkingen tot gevolg. Uiteindelijk zal nadat het overspannen water is gedissipeerd er een nieuwe, dichtere rangschikking van de korrels optreden. Door deze verdichting zullen maaiveldzettingen optreden. De verschillende stadia van verweking en verdichting zijn schematisch weergegeven in figuur 2.2.



Figuur 2.2 Verschillende stadia tijdens en na verweking van los gepakte granulaire grondlagen

In geval van cohesieve grondlagen kunnen trillingen leiden tot degeneratie in de vorm van cyclic softening. Dit is echter sterk afhankelijk van het aantal belastingswisselingen en zal gelet op de relatief kortdurende trillingen bij geïnduceerde aardbevingen in Groningen mogelijk nagenoeg geen rol spelen [23].

Voor de trillingen zijn in dit onderzoek uitgegaan van de grenswaarden voor trillingssnelheden welke zijn vastgesteld in eerdere studies van Van Staalduijnen en Everts [22], [23] en welke een basis hebben gevormd voor het huidige IMG Beoordelingsschema Mijnbouwschade [19].

Voor de opgetreden trillingssnelheden is uitgegaan van de maximum opgetreden peak ground velocity (PGV-waarde) op verschillende locaties uit 55 maatgevende aardbevingsevents zoals deze zijn beschreven en uitgewerkt door Bonner et.al (2019) [20] en welke de basis hebben gevormd voor de IMG Trillingstool waarmee voor willekeurige locaties in het aardbevingsgebied de maatgevende PGV-waarde kan worden vastgesteld.

Tenslotte is als aardbevingseffect ook gekeken naar mogelijke effecten vanuit de bodemdaling die is opgetreden als gevolg van de diepe compactie in het zandsteenreservoir

van waaruit het gas wordt geproduceerd. Er zijn verschillende onderzoeken gedaan naar mogelijke effecten van bodemdaling op schade ([22], [31], [32], [37], [38], [39]) waarin is aangegeven dat de directe effecten op schade, gelet op het integrale karakter van de maaiveldzettingen door de spreiding van de diepe effecten naar maaiveldniveau, niet significant zijn. Indirecte effecten, zoals het aanpassen van de grondwaterstand, kunnen mogelijk wel effect hebben, maar deze effecten zullen grotendeels worden beschouwd bij de geohydrologische aspecten op basis van de vastgestelde grondwaterstandsvariëaties. Wat een mogelijk interessanter gegeven is, is de gemeten snelheid van de bodemdaling en daarmee ook de zakkingsnelheid van de fundering. De snelheid van bodemdaling is vastgesteld in de bodemdaling signaalkaarten in de Klimateffectatlas en beschreven in achtergronddocument [35]. In de volgende onderzoeksfase waarin de funderingen ook worden beoordeeld aan de NEN 8700 en NEN 8707 normen [7], [8], zullen deze zakkingsnelheden worden vergeleken met de grenswaarden welke daarin zijn vastgesteld.

In de inventarisatie zijn voor de bovengenoemde aardbevingsgerelateerde effecten de volgende aspecten beschouwd:

- locatiespecifieke maatgevende PGV-waarde in mm/s en inschatting PGA-waarde in g op basis van benadering $PGA \approx PGV/320$ conform [23] (per objectlocatie);
- fundering op staal op toplaag zand (per objectlocatie) en meest waarschijnlijke lithoklasse op 1,5 à 2,0 m-mv (als kaartlaag);
- signaalkaart bodemdaling 2015-2018 met snelheid bodemdaling [mm/s] (per objectlocatie en als kaartlaag).

2.3.3.5 Lokale en geomorfologische aspecten

Tenslotte zijn per object nog enkele relevante lokale aspecten beschouwd die van bijkomende en mogelijk versterkende invloed kunnen zijn op de reeds bovengenoemde voorgaande locatiespecifieke aspecten. Dit kunnen zowel natuurlijke (denk aan oude krekens, wadzandplaten) als door de mens aangebrachte lokale variëaties (terpen, wierden, grondlichamen) betreffen. De invulling van de effecten ten gevolge van bepaalde activiteiten als bemalingen en ontgravingen is alleen gedaan voor zover de informatie over de opgetreden activiteiten ook aanwezig was. Anderzijds is, in geval een bepaald effect voor die locatie als onwaarschijnlijk kan worden geacht, ook geen significante bijdrage op het effect meegenomen.

De hier kwalitatief beschouwde aspecten zijn:

- geomorfologie: horizontaal maaiveld en/of fundering op terp (per objectlocatie) en paleogeografische/morfologische kaarten met oude krekens en (wad)zandruggen (als kaartlaag);
- bouwactiviteiten afgravingen e.d. voor zover bekend (per objectlocatie);
- bemalingsactiviteiten voor zover bekend (per objectlocatie);
- aanwezigheid zwaar verkeer voor zover bekend (per object);
- kans op veel obstakels in de ondergrond, zoals boomwortels nabij funderingen (per object).

2.3.4 Gegevens met betrekking tot de extrapolatie

Het uiteindelijke doel van de eerste fase is een totaalbeeld te verkrijgen van de omvang van de funderingsproblematiek in het gebied waar de versterkingsoperatie en herstelwerkzaamheden zich afspelen (paragraaf 1.2). Om hier inzicht in te verkrijgen is extrapolatie nodig van de onderzochte casussen. Om deze extrapolatieslag te kunnen maken, is gebruik gemaakt van de door IMG ter beschikking gestelde kwantitatieve gegevens van de totale populatie van de woningen in het betreffende gebied met schademelding in relatie tot bovenstaande objectgerelateerde aspecten.

2.4 Schademechanismen

2.4.1 Algemeen

Schade aan de gebouwen kan zich op vele manieren voordoen. Het kunnen scheefstaande wanden zijn, beschadigde verbindingen, excessieve doorbuigingen, et cetera. Veel voorkomend en zichtbaar is scheurvorming die zich voordoet in metselwerkwanden aan de binnen- of buitenzijde van het gebouw.

Om schades (duurzaam) te herstellen is het goed om te weten wat de belangrijkste oorzaak van de schade(s) is. Een voor de hand liggende oorzaak in het onderzoeksgebied betreft de seismische activiteit. Vergelijkbare schades komen echter ook in de rest van Nederland voor. Dit heeft te maken met de bouwwijze welke is toegepast in de loop van de jaren in Nederland, maar daarnaast ook met de 'kwaliteit' van de ondergrond. Een zettingsgevoelige ondergrond zoals reeds genoemd in paragraaf 2.3.4 kan de oorzaak zijn van, of grote invloed hebben op, opgetreden schades. Zoals eerder aangegeven heeft het uiteindelijke onderzoek niet tot doel om een uitspraak te doen over de oorzaak van de schades, maar houdt wel sterk rekening met deze factoren, omdat het van belang is om tot robuuste (duurzame) oplossingen te komen.

Ook is het van belang om te weten, of er meerdere invloeds factoren van toepassing zijn op de schade. Niet direct behoeft de schade aan een onderdeel van het gebouw veroorzaakt te zijn door een slechte kwaliteit van het onderdeel zelf, maar kan het ook het gevolg zijn van een ander constructief onderdeel, zoals het onderlinge verband tussen dragende wanden en vloeren, lateiwerking, samenhang in de kapconstructie en uiteraard de onderliggende fundering. Het onderhavige onderzoek richt zich dan ook op de invloed van de kwaliteit van funderingen op schades aan het gebouw, wat zich meestal manifesteert in scheurvorming van het metselwerk, of ernstiger, het bezwijken of significante zettingen en scheefstanden of uitbuigingen daarvan.

Naast bovengenoemde factoren is ook de invloed van de bouwwijze sterk bepalend. Gebouwen die voor een groot deel uit (dragend) metselwerk bestaan, zijn door het stijve en brosse (minder ductiel) gedrag gevoeliger voor schades en scheurvormingen, dan bijvoorbeeld houtskeletbouw of (gewapende) betonconstructies.

Het onderzoek richt zich dus met name op de relatie tussen de kwaliteit van de fundering, de ondergrond en de aangrenzende constructieve onderdelen, waarin de schade zich manifesteert. Uiteindelijk doel is aldus te komen tot duurzame oplossingen. De focus van de eerste fase van het onderzoek is met name een indruk te verkrijgen van het totaalbeeld van de omvang van de funderingsschade met daarbij een differentiatie van het schadebeeld.

2.4.2 Constructieve beoordeling aan de hand van schadeklassen

2.4.2.1 *Definitie schadeklassen (damage grade) voor metselwerk*






Veel van de geconstateerde schades uiten zich in het metselwerk. Metselwerk is een star en bros materiaal en er komt vaak scheurvorming in voor. Er is relatief veel onderzoek naar gedaan. Een belangrijke parameter is de gevoeligheid van de scheurvorming ten gevolge van zetting gerelateerde effecten, welke wordt gedefinieerd in de huidige kwaliteit van het metselwerk en het toekomstige risico van het verlies van de samenhang. Dit tezamen met de impact geeft het risico aan [21].

Een voorstel voor een classificatie van metselwerkschade is als eerste gegeven door Burland et.al. [48] en is daarna verbeterd en wordt nog steeds vaak toegepast in diverse onderzoeken en richtlijnen. Een voorbeeld van deze classificatie, welke ook wordt toegepast bij schadebeoordeling van objecten nabij bouwkuipen (welke ook vaak funderingsgerelateerd is en aldus aansluit bij het onderhavig onderzoek), is gegeven in de tabel in figuur 2.3 [45].

Schadecategorie	Schade-klasse	Omschrijving	Scheur-wijdte	Karakterisering schadebeeld	Indicatie relatieve hoekverdraaiing Zie Figuur 3.5
Esthetisch	0	Verwaarloosbaar	< 0,1 mm	Haarscheurtjes	< 1:1600 tot 1:500
	1	Zeer licht	0,1 tot 1 mm	Enige scheurvorming in metselwerk. Kleine scheuren, meestal beperkt tot pleisterwerk, die eenvoudig kunnen worden weggewerkt.	1:1600 tot 1:300
	2	Licht	tot 5 mm	Scheuren kunnen aan de buitenzijde zichtbaar zijn en kunnen tot vochtdoorslag leiden. Deuren en ramen klemmen licht. Geringe scheurvorming, kan eenvoudig hersteld worden.	1:1600 tot 1:300
Functioneel	3	Matig	5 tot 15 mm of meerdere scheuren >3 mm	Deuren en ramen klemmen. Mogelijke schade aan nuts-aansluitingen. Vochtdoorslag mogelijk. Scheuren zijn zodanig dat metselwerk dient te worden hersteld.	1:600 tot 1:100
	4	Ernstig	15-25 mm, ook afhankelijk van het aantal scheuren	Bruikbaarheid en toegankelijkheid ernstig aangetast. Voelbare scheefstand. Herstel vergt vervanging van muurdelen en andere constructieve elementen.	1:600 tot 1:100
Constructief	5	Zeer ernstig	> 25 mm, hangt van aantal af	Instortingsgevaar. Volledige renovatie noodzakelijk.	> 1:300

Figuur 2.3 Schadeclassificatie metselwerk volgens COB F530 Bouwkuipen stedelijk gebied [45]

Een tweede bekende wijze van classificatie is opgesteld in de European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98) [49], en is weergegeven in figuur 2.4. Deze wordt met name toegepast bij opgetreden scheurvorming ten gevolge van aardbevingen. Aangezien het onderzoek plaatsvindt in het aardbevingsgebied, lijkt het in eerste instantie logisch om deze classificatie te gebruiken.

Classification of damage to masonry buildings	
	<p>Grade 1: Negligible to slight damage (no structural damage, slight non-structural damage) Hair-line cracks in very few walls. Fall of small pieces of plaster only. Fall of loose stones from upper parts of buildings in very few cases.</p>
	<p>Grade 2: Moderate damage (slight structural damage, moderate non-structural damage) Cracks in many walls. Fall of fairly large pieces of plaster. Partial collapse of chimneys.</p>
	<p>Grade 3: Substantial to heavy damage (moderate structural damage, heavy non-structural damage) Large and extensive cracks in most walls. Roof tiles detach. Chimneys fracture at the roof line; failure of individual non-structural elements (partitions, gable walls).</p>
	<p>Grade 4: Very heavy damage (heavy structural damage, very heavy non-structural damage) Serious failure of walls; partial structural failure of roofs and floors.</p>
	<p>Grade 5: Destruction (very heavy structural damage) Total or near total collapse.</p>

Figuur 2.4 Classificatie schade aan metselwerkgebouwen volgens EMS-98 [49]

De indeling volgens EMS-98 is echter van toepassing voor geheel Europa en niet zozeer voor de specifieke grondeigenschappen, zoals die van toepassing zijn in Nederland en in dit geval in het aardbevingsgebied, waar dit onderzoek plaats vindt. Daar het onderzoek met name funderingsgerelateerd is, is deze classificatie minder geschikt om te gebruiken in het onderhavige onderzoek.

De classificatie volgens Burland [48], zoals ook genoemd in [21] en [22], wordt daarom in principe toegepast voor dit onderzoek, omdat het meer mogelijkheden biedt, een duidelijke relatie heeft met de ondergrond en fundering en met de daarin gedefinieerde scheurwijdtes beter aansluit op de beschikbare gestelde schaderapporten van de casussen die worden gebruikt in dit onderzoek, waarin veelal de scheurvorming is gerubriceerd en de scheurwijdte is gemeten.

2.4.2.2 *Gebruik van de classificatie*

In de IMG-schaderapporten wordt de aanwezige schade geïventariseerd. Dit wordt gedaan na een schademelding. In de rapporten worden alle schades opgenomen en wordt voor iedere scheur de scheurwijdte vermeld. Deze scheurwijdte is dus een belangrijke parameter voor de indeling naar de schadeklasse.

De indeling naar de schadeklasse is niet alleen direct afhankelijk van de gemeten scheurwijdte van een enkele scheur. Ook andere factoren spelen hierbij een rol. Meerdere kleinere scheuren kunnen bijvoorbeeld een hogere indeling in een categorie verantwoorden, andere invloeden op de keuze zijn bijvoorbeeld scheefstanden of ongelijke zettingen en aansluitingen op andere delen die van invloed zijn op de samenhang van metselwerkwallen.

Bij deze classificatie wordt de ernst van de scheurvorming met name gerelateerd aan de opgetreden scheurwijdte. Met behulp van het karakteristieke schadebeeld kan in samenhang met de scheurwijdte een oordeel worden gevormd en de ernst van schade worden onderverdeeld in de desbetreffende categorie.

De classificatie volgens Burland [48] is als volgt (vereenvoudigd vertaald):

- D0: Verwaarloosbaar. Haarscheuren met een wijdte kleiner dan 0,1 mm.
- D1: Zeer lichte scheurvorming. Scheurvorming tot 1 mm. Fijne scheurvorming, welke eenvoudig kan worden behandeld met normale afwerkingsmethoden.
- D2: Lichte scheurvorming. Scheurvorming van 1 tot 3 à 5 mm. Scheurvorming welke duidelijk zichtbaar is bij binnenmuren en buitengevels.
- D3: Matige scheurvorming. Scheurvorming van 3 à 5 tot 15 mm. De range 3 à 5 betreft een enkele scheur van 5 mm of groter, of meerdere kleinere scheuren vanaf 3 mm. Kenmerken zijn bijvoorbeeld lichtklemmende deuren en ramen.
- D4: Ernstige scheurvorming. Scheurvorming van 15 tot 25 mm. Hierbij dienen naar verwachting zwaardere constructieve maatregelen te worden genomen. In het onderhavige onderzoek kan dit dus met name ook betrekking hebben op constructief funderingsherstel.
- D5: Zeer ernstige scheurvorming. Scheurvorming groter dan 25 mm. Deze classificatie kan leiden tot een geheel of gedeeltelijke verbouw van het betreffende object, inclusief de fundering.

2.4.2.3 *Schades gerelateerd aan funderingen*

Alle schaderapporten van de 81 verstrekte casussen, inclusief de 6 pilot-objecten zijn beschouwd en de schades kwalitatief beoordeeld. De kwalitatieve beoordeling heeft zowel geotechnisch als constructief plaatsgevonden.

De fundering onder een gebouw heeft twee functies. De eerste functie is het spreiden van de belasting uit de muur met een geringe breedte over een grotere breedte ter hoogte van de onderzijde van de fundering. Dit wordt een strokenfundering of, meer algemeen, een fundering op staal genoemd. Door deze belastingspreiding wordt de funderingsdruk op de ondergrond getracht voldoende te spreiden zodanig dat de grond eronder niet bezwijkt. Dit is het geval wanneer de funderingsdruk voldoende beneden de toelaatbare funderingsdruk blijft welke wordt bepaald door de draagkracht van de ondergrond die grotendeels afhankelijk is van de sterkte van de grondlagen, het grondwaterniveau, het soort belastingen en de breedte en diepte van de fundering. Indien de draagkracht van de ondergrond onvoldoende is wordt veelal de fundering met behulp van palen uitgevoerd.

De tweede functie van een fundering is het nivelleren van ongelijkmatige zakken van de ondergrond. De fundering moet dan de ongelijkmatige funderingsdruk en grondreactie verdelen zodat deze evenwicht maakt met de belasting uit de muren. Een fundering van metselwerk is slecht in staat deze functie te vervullen. In deze situatie ontstaan trekspanningen in het metselwerk. Veelal kan metselwerk deze niet opnemen, met als gevolg dat het metselwerk gaat scheuren vanuit de fundering en doorlopen in de wand. De scheuren lopen hierbij verticaal of schuin weg naar boven. Bij oude gebouwen met een fundering op palen zijn de metselwerkwallen op de (houten) palen geplaatst, vaak met houten balken of betonnen kespen als verdeelconstructie. Soms werd zelfs direct vanuit metselwerk op (kortere en dichterbij staande) palen gefundeerd. In beide gevallen kunnen scheuren ontstaan in het metselwerk bij ongelijkmatige zakken van de funderingspalen.

Moderne woningen van na ongeveer de jaren 1975 zijn veelal voorzien van gewapende betonnen ringbalken op palen of van betonstroken gewapend in twee richtingen. Door deze uitvoering is de fundering beter in staat ongelijkmatige zakkings op de vangen en te verdelen over de lengte van de muren. Bij woningen met dit soort funderingen wordt minder snel een schadebeeld aangetroffen welke veroorzaakt is door het niet goed functioneren van de fundering onder standaard condities.

De meest voorkomende schadebeelden die wijzen op het niet goed functioneren van de fundering zijn hieronder samengevat:

- a) Scheuren in de gevel ter plaatse van raam- en deursparingen *zonder* verticaal hoogteverschil links en rechts van de scheur. De scheuren lopen vaak door de bakstenen van het metselwerk en beginnen in de hoeken van de sparing en lopen vervolgens schuin omhoog of omlaag. Het einde van de scheuren is veelal enerzijds de dakrand, of anderzijds het maaiveld waarna de scheur vaak niet meer zichtbaar is maar alsnog doorloopt tot in de fundering.
- b) Scheuren in de gevel ter plaatse van raam en deursparingen *met* een verticaal hoogteverschil links en rechts van de scheur. Ook hier lopen de scheuren door de bakstenen van het metselwerk en beginnen in de hoeken van de sparing en lopen vervolgens schuin omhoog of omlaag. Het einde van de scheuren is ook hier veelal enerzijds de dakrand, of anderzijds het maaiveld waarna de scheur vaak niet meer zichtbaar is maar alsnog doorloopt tot in de fundering.
- c) Scheuren in de gevel *zonder* verticaal hoogteverschil links en rechts van de scheur. De scheuren lopen vaak door de stenen van het metselwerk en zijn zichtbaar vanaf maaiveld en lopen vervolgens omhoog. Het einde van de scheuren is de dakrand of halverwege de gevel.
- d) Scheuren in de gevel *met* verticaal hoogteverschil links en rechts van de scheur. Ook hier lopen de scheuren vaak door de stenen van het metselwerk en zijn zichtbaar vanaf

maaiveld en lopen vervolgens omhoog. Het einde van de scheuren is de dakrand of halverwege de gevel.

- e) Scheuren ter plaatse overgang van bestaande bouw naar aanbouw. De aanbouw is op een later moment ten opzichte van de bestaande bouw op een andere fundering geplaatst. Hierdoor reageren beide bouwdelen verschillend op de ondergrond. Ter hoogte van de aansluiting ontstaan dan horizontale en verticale verplaatsingen. Indien de aansluiting niet correct is ontworpen en uitgevoerd dan kunnen er scheuren ontstaan in de stenen en het voegwerk rond de aansluiting.

Schadebeelden a) en c) zullen veelal zijn ontstaan door thermische werking van het gevelvlak waarbij de scheuren vaak beperkt blijven tot 1 à 3 mm. Door zonne-instraling zet het metselwerk uit, waarbij verplaatsingen optreden in de fundering door de druk in het metselwerk. Bij sterke afkoeling, zoals bij vorst, krimpt het metselwerk en ook de fundering. De trekspanning wordt groter dan het metselwerk kan opnemen waarbij de fundering wordt vastgehouden door de ondergrond. Het metselwerk scheurt dan vaak op de zwakste plek ter hoogte van een raam- of deursparingen. Indien de scheurvorming plaats vindt in een gevel zonder sparingsen, dan moet de thermische werking aanzienlijk zijn om de gevel te laten scheuren. In dat geval zullen andere oorzaken ook meespelen. De grootte van de scheur is meestal 1 tot 3 mm maar soms ook groter. In het algemeen kan worden gesteld dat hoe groter de scheur is, des te aannemelijker het kan zijn dat de fundering niet goed functioneert.

Bij schadebeelden b) en d) waarbij ook nog verticale verplaatsen ten opzichte van elkaar zijn opgetreden, is de fundering ook niet meer in staat ongelijkmatige zakkingen op te vangen. Meestal is er sprake van een strookfundering van metselwerk of van een fundering op palen met een te zwakke of ontbrekende funderingsbalk. Deze schadebeelden komen weinig voor indien er een gewapend betonnen funderingsstrook (bij fundering op staal), of er een gewapende betonnen balk (bij fundering op palen) aanwezig is. De gewapende constructies beperken de beweging van het metselwerk, in ieder geval voor wat betreft de thermische werking, waardoor de kans op scheurvorming sterk afneemt.

Schadebeeld e) kan ontstaan als de beide funderingsdelen constructief los zijn gehouden van elkaar. Hierdoor bewegen beide funderingen ten opzichte van elkaar. Dit is op zichzelf niet een onjuiste funderingswijze, maar het toont wel aan dat de detaillering en uitwerking van de aansluiting van het metselwerken van beide bouwdelen op elkaar niet juist is uitgevoerd.

2.4.2.4 *Funderingsschade in relatie tot duurzaam funderingsherstel*

Het onderzoek richt zich met name op duurzame oplossingen in relatie tot funderingsherstel waarbij naast de standaard condities ook de actuele (en voor zover mogelijk ook eventuele toekomstige) condities en belastingsituaties worden mede beschouwd, welke kunnen afwijken van de condities waar de woningen destijds op "berekend" of praktisch bepaald zijn. Het is dus van belang om een oordeel te vellen welke beschadigingen, veelal in de vorm van scheurvorming, een (mede) gevolg is van funderingsproblematiek. Soms is het eenvoudig om te zien of schades gerelateerd kunnen worden aan funderingsproblematiek, zoals een sterk verticaal verschil in de lintvoegen in de lengte, of ter plaatse van scheurvorming zoals in de vorige paragraaf aangegeven. In andere gevallen kan dit lastiger zijn.

In diverse literatuur worden daar wel handvatten voor gegeven, o.a. in: [21], [22] en [23], maar ook het Beoordelingsschema Mijnbouwschade d.d. 1 juli 2021 [19]. Hierbij kan bij elke

schade onderscheid worden gemaakt of deze vrijwel zeker het gevolg is van funderingsschade (zij het seismisch of niet), of twijfelachtig, of juist helemaal niet. Onderstaand een aantal wat meer specifiekere voorbeelden van beoordelingscriteria ten opzichte van de eerder hierboven genoemde, die in de inventarisatie kwalitatief zijn toegepast (en uiteraard ook gerelateerd kunnen zijn aan elkaar):

- Schade en scheurvorming vrijwel zeker veroorzaakt door falen van de fundering:
 - verticale hoogteverschillen in lintvoegen;
 - verticale hoogteverschillen in aansluiting bouwdelen op elkaar;
 - scheurvorming in metselwerk vanaf begane grond nabij sparingen en sprongen in gevel;
 - lange verticale of schuine scheuren vanaf begane grond tot 1,5 meter;
 - scheuren in metselwerk op begane grond op maaiveldniveau en onder raamsparing tot op funderingsniveau;
 - schuine scheuren in hoeken zichtbaar in afwerking op begane grondniveau;
 - scheuren in begane grondvloeren gefundeerd op staal ter plaatse van deuropeningen;
 - horizontale en verticale scheuren door kelderdelen en tussen wel en geen kelderdelen.

- Schade zeker NIET veroorzaakt door falen van de fundering:
 - aansluitingen Gibo en KZ wanden op elkaar en plafond;
 - horizontale scheuren in afwerking (boven raamsparingen) op 1^e verdieping en hoger;
 - scheuren in afwerking aansluitingen kozijnen;
 - woningen met aanwezigheid van een gewapende betonnen (ring)balk fundering of gewapende strokenfundering (veelal bij woningen vanaf ongeveer bouwjaar 1975);
 - dichtgezette of -gesmeerde verticale voeg ter hoogte aansluiting twee bouwdelen;
 - bouwkundige scheuren naast gordingen, goten raamdorpels etc.;
 - horizontale scheuren in de woning, met name op verdiepingsniveau;
 - lange wanden bij ramen (thermische oorzaak), geen zettingsverschillen;
 - afgesprongen schilfers (vorstschade, zie ook IMG beoordelingsrichtlijn);
 - verweerd voegwerk en bakscheur (IMG beoordelingsrichtlijn);
 - krimpscheuren, aftekening naden binnenwerk (IMG beoordelingsrichtlijn).

In figuur 2.5 zijn de bovengenoemde schades weergegeven welke veelal funderingsgerelateerd kunnen zijn, zoals hierboven en in par. 2.4.2.3 benoemd zijn.

Nadat is vastgesteld dat er sprake is van funderingsschade wordt van de objecten met schade ten gevolge van funderingsinvloeden de ernst van de schade vastgesteld aan de hand van de in paragraaf 2.4.2.2. genoemde criteria en classificatie volgens Burland [48].



Figuur 2.5 Voorbeelden van funderingsgerelateerde schades in metselwerk

2.4.3 Geotechnische faalmechanismen fundering en ondergrond

2.4.3.1 *Algemeen*

Parallel aan de constructieve beoordeling van de schades en de objectgerelateerde aspecten, zijn de funderingen uit de schaderapporten ook vanuit geotechnisch oogpunt beschouwd en beoordeeld. Hierbij is enerzijds gekeken naar mogelijke geotechnische faalmechanismen van de fundering en anderzijds naar de ondergrondssituatie en mogelijke seismische invloeden (de locatiespecifieke aspecten).

Tijdens de inventarisatie van de schaderapporten is op kwalitatieve manier een relatie gelegd met een aantal geotechnische mechanismen welke mogelijk van invloed kunnen zijn geweest op de aangetroffen schades en welke een relatie hebben met de fundering en de ondergrond.

In lijn met NEN 9997-1 (Eurocode 7, [3]) dienen funderingen in zijn algemeenheid te worden getoetst aan de volgende bezwijkmechanismen:

- Fundering op staal:
 - overschrijding verticaal draagvermogen bij stroken, poeren, stiepen (GEO);
 - overschrijding horizontale stabiliteit bij kruipruimtes, slanke stiepen (GEO);
 - constructief bezwijken door te grote verschilzakkingen (STR);
 - opbarsten keldervloeren (UPL);
 - overschrijding functionele eisen door te grote vervormingen (BGT).
- Fundering op palen:
 - overschrijding verticaal paal draagvermogen (GEO);
 - overschrijden moment- en dwarskrachtcapaciteit palen (STR);
 - overschrijding horizontale stabiliteit bij houten palen met oplangers (GEO);
 - constructief bezwijken door te grote verschilzakkingen (STR);
 - constructief bezwijken door te grote horizontale verplaatsingen (STR);
 - overschrijding functionele eisen door te grote vervormingen (BGT).

2.4.3.2 *Geotechnische schademechanismen met betrekking tot sterkte en stabiliteit*

Bij zowel geotechnisch (GEO, UPL) als constructief (STR) falen van een fundering in de uiterste grenstoestand (UGT) kunnen aanzienlijke zakkingen en verplaatsingen plaatsvinden, waarbij het de vraag is of de constructie voldoende sterkte en herverdelingscapaciteit heeft om deze te kunnen ondervangen. Bij verzwakte constructies is dat veelal niet het geval, zodat de sterkte en samenhang van de funderingsconstructie een belangrijke rol zal spelen.

De constructieve sterkte van een fundering in samenhang met de bovenbouw en het overschrijden ervan door (additionele en/of seismische) belastingen en trillingen is reeds genoemd in paragraaf 2.4.1. Overschrijding van de geotechnische draagkracht of het optreden van instabiliteit kunnen beide leiden tot aanzienlijke (verschil)vervormingen, wat verderop aan bod komt bij de beschouwing van de (verschil)zakking.

2.4.3.3 *Geotechnische schademechanismen met betrekking tot (verschil)zakking*

Overschrijdingen van functionele eisen worden doorgaans getoetst in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). Zolang zakkingen of verplaatsingen uniform en integraal plaatsvinden hoeft dit nog niet direct te leiden tot het optreden van schademechanismen in de constructie, zeker niet zolang deze nog voldoende herverdelingscapaciteit heeft.

Ten gevolge van heterogeniteit van de ondergrond, lokale (constructieve) variaties in funderingsdruk en funderingsstroken en uitvoeringsonvolkomenheden kunnen zakkingen tot verschilzakkingen leiden en daarmee tot schade (Van Tol, 1994). In het onderhavige funderingsonderzoek is daarom voor de relatie tussen zakkingen en verschilzakkingen met name gekeken naar de volgende factoren:

- inhomogeniteiten in de ondergrond. Voor een fundering op staal wordt als ondergrens van de verschilzetting en (relatieve) rotatie doorgaans uitgegaan van 50% van de gemiddelde zetting en voor een fundering op palen van 33% van de gemiddelde zetting.
- uniformiteit van de fundering: bij een homogene fundering (ongeveer met gelijke diepte, breedte en belasting) is het risico op verschilzakkingen kleiner dan bij een niet-uniforme fundering zoals bij een gedeeltelijke kelder op een meer draagkrachtige laag of bij een gedeeltelijke paalfundering. Conform de NPR mag in het eerste geval de verschilzakking worden bepaald uit 67% van de maximale zetting en in het tweede geval uit 100% van de maximale zetting.
- overige obstakels in de ondergrond: te denken valt aan boomwortels en (aansluitende) ondergrondse kabels en leidingen binnen het invloedsgebied van de fundering. Voor een fundering op staal is dit de diepte waarvoor de toename van korrelspanning minder dan 20% is van de oorspronkelijk aanwezige korrelspanning. Voor palen kan worden uitgegaan van een zone van 4·D rondom de paalpunt.

In fase 1 zijn de verschilzakkingen nog kwalitatief beschouwd, de bovenstaande rekenregels zullen pas nader aan de orde komen bij de kwantitatieve beschouwing en toetsing in fase 2 in relatie tot de eisen uit NEN 8700 [7] en NEN 8707 [8].

Met betrekking tot (verschil)zakkingen van de fundering zijn tijdens de inventarisatie de relaties met de volgende mogelijke geotechnische schademechanismen beschouwd:

- G1: (verschil)zakking door onvoldoende draagkracht. Te denken valt hier aan zowel een reductie van de draagkracht door seismische belasting volgens Annex F van NEN-EN 1998-5 [5], of door verweking (afname korrelspanning) conform de paragrafen 10.3 en 10.4 van NPR 9998:2020 [9], maar ook in geval van (lokaal) verhoogde funderingsdruk door seismische of niet-seismische belastingen.
- G2: (verschil)zakking door aanwezigheid (te) slappe lagen. In geval van slappe klei of veenlagen onder een fundering op staal zal de zakkingsgevoeligheid van de fundering verder toenemen. Zeker in geval van een additionele belasting van zowel seismische of niet-seismische oorsprong. In cohesieve grondsoorten kan nog sprake zijn van doorgaande vervorming onder het eigen gewicht van het gebouw als gevolg van kruip (seculaire zetting) en/of nog resterende consolidatie. Daarnaast kunnen slappe lagen als gevolg van het eigen gewicht ook doorgaand blijven zakken wat als autonome of achtergrondzakking bekend staat.
- G3: (verschil)zakking door grondwaterstandsverlaging beneden GLG. Doordat bij verlaging van grondwater de effectieve spanningen in de grondlagen toenemen (en de opwaartse druk afneemt), zullen deze mogelijk verder samendrukken. Dit vindt vooral plaats wanneer de spanningstoename een eerdere bereikte consolidatiespanning overschrijdt, in de praktijk bijvoorbeeld in geval van grondwaterstanden beneden de gemiddeld lage grondwaterstand (GLG).
- G4: (verschil)zakking door droogvallen van veen onder fundering op staal bij grondwaterstandsverlaging. Bij blootstelling van veen aan lucht vindt oxidatie plaats wat leidt tot volumeverkleining en daarmee tot zakkingen van bovenliggende funderingen.
- G5: (verschil)zakking door (lokale) verdichting van verwekingsgevoelige losgepakte zandlagen. Door seismische belastingen kan hierin herrangschikking van de korrels naar een dichtere pakking plaatsvinden wat uiteindelijk leidt tot volumeverkleining in grondlagen onder funderingen op staal (na verweking). Ook kan een

- draagkrachtsverlies optreden als gevolg van wateroverspanningen in verzadigde losgepakte zandlagen onder funderingen op staal of rondom paalfunderingen (zie M1).
- G6: (verschil)zakking door secundaire effecten vanuit diepe bodemdaling gerelateerd aan de zakkingsnelheid. Hoewel deze bodemdaling gezien de spreiding over de grote diepte van circa 3 km een integraal karakter heeft en niet direct tot verschilzetting op maaiveldniveau zal leiden, zoals ook vastgesteld in de onderzoeksrapporten van TNO [37] en Deltares [38], kunnen secundaire of indirecte effecten daarvan mogelijk wel van invloed zijn op risico op schade. Hierbij kan worden gedacht aan indirecte effecten door grondwaterstandstijging waar oppervlaktepeilen niet of minder dalen dan de bodem daalt, of aan grondwaterstandsverlaging wanneer deze door actieve peilverlaging tot een significante toename van effectieve spanningen leidt wanneer deze bijvoorbeeld beneden de gangbare GLG komt. Ook de zakkingsnelheid kan zodanig groot zijn dat deze de verificatiegrenswaarden uit bijlage C van NEN 8707 [8] overschrijdt.
 - G7: (verschil)zakking door overmatige negatieve kleeft. Als gevolg van zakkende grond, of door verdichting na verweking, kan de negatieve kleeftzone toenemen waarover zakkende grond aan de paalschacht gaat 'hangen'. Hierdoor worden paalfunderingen zwaarder belast, wat weer kan leiden tot (lokale) zakkings van de palen en de constructie erboven.
 - G8: (verschil)zakking door aantasting van de fundering door droogte. Te denken valt aan houten palen die bij blootstelling aan lucht kunnen gaan rotten en hierdoor de funderingsbalken lokaal kunnen gaan wegzakken.

Bovenstaande schademechanismen sluiten aan op de omschrijving van mogelijke geotechnische oorzaken van zakking (van een fundering op staal), zoals deze in opdracht van IMG zijn beschreven in de rapportage over de invloed van trillingen door bevingen op zetting van gebouwen door Van Staalduijnen en Everts (2020) [23]. Hierin zijn naast trillingen door aardbevingen ook andere oorzaken genoemd van zettingen, wat daardoor prima aansluit op het onderhavige funderingsonderzoek waarbij nadrukkelijk niet specifiek wordt gezocht naar een oorzakelijk verband met aardbevingen.

2.4.3.4 Kwalificatie risico's geotechnische faalmechanismen

Uit de bovenstaande geotechnische schademechanismen is vervolgens gekeken in welke mate deze mechanismen in het onderzoeksgebied relevant kunnen zijn voor de daar aangetroffen funderingen en ondergrondsituaties.

Hieronder zijn voor de bovengenoemde acht mechanismen kwalificaties gegeven om vervolgens het risico op een kwalitatieve manier in beeld te kunnen krijgen. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de niveaus hoog risico (++), matig risico (+) en laag risico (-).

- G1: funderingsschade als gevolg van (verschil)zakking door overschrijden draagkracht. N.B.: Dit mechanisme is als criterium beschouwd in de kwalitatieve beoordeling uitgaande van de volgende risiconiveaus:
 - hoog risico (++) waarbij aan alle onderstaande voorwaarden is voldaan:
 - fundering op cohesieve ondergrond met draagkracht $< 100 \text{ kPa}$ ($\approx c_u < 20 \text{ kPa}$) en $\text{PGV} \geq 40 \text{ mm/s}$;
 - 2 of meer bouwlagen;
 - ingeschatte strookbreedte $< 0,5 \text{ m}$ en diepte $< 0,45 \text{ m}$;
 - matig risico (+) waarbij geldt:
 - fundering op cohesieve ondergrond met draagkracht $> 100 \text{ kPa}$ ($\approx c_u > 20 \text{ kPa}$);
 - fundering op zand waarbij $\text{PGV} \geq 16 \text{ mm/s}$;
 - ingeschatte strookbreedte $> 0,5 \text{ m}$ en diepte $> 0,45 \text{ m}$;

- laag risico (-) waarbij geldt:
 - fundering op zandige ondergrond waarbij $PGV < 16$ mm/s;
 - ingeschatte strookbreedte $> 0,5$ m en diepte $> 0,45$ m.
- Voor wat betreft de effecten door toename van belastingen sluit dit mechanisme aan op mechanisme a) in [23].
- Voor wat betreft draagkrachtsreductie t.g.v. verweking sluit dit mechanisme aan op mechanisme h) in [23] met de bovengenoemde grenswaarden.
- G2: funderingsschade als gevolg van primaire zetting (instantaan en consolidatie gerelateerd aan de stijfheid en sterkte van de ondergrond) ten gevolge van (additionele) funderingsdruk en/of seismische belastingen.
 N.B.: Dit mechanisme is als criterium beschouwd in de kwalitatieve beoordeling uitgaande van de volgende risiconiveaus:
 - hoog risico (++) waarbij aan alle onderstaande voorwaarden is voldaan:
 - dikte niet-zand in bovenste 5 m toplaag: $d \geq 3$ m;
 - $PGV \geq 40$ mm/s;
 - 2 of meer bouwlagen;
 - ingeschatte strookbreedte $< 0,5$ m en diepte $< 0,45$ m;
 - matig risico (+) waarbij geldt:
 - dikte niet-zand in bovenste 5 m toplaag: $2 \leq d < 3$ m;
 - $PGV \geq 16$ mm/s;
 - ingeschatte strookbreedte $> 0,5$ m en diepte $d < 0,45$ m;
 - laag risico (-) waarbij geldt:
 - dikte niet-zand in bovenste 5 m toplaag: $d < 2$ m;
 - fundering op deels zandige ondergrond waarbij $PGV < 16$ mm/s;
 - ingeschatte strookbreedte $> 0,5$ m en diepte $> 0,45$ m.
 - Voor wat betreft de primaire zakkingen sluit dit mechanisme aan op mechanisme a) in [23].
 - De invloeden van seculaire zettingen volgens mechanisme b) uit [23] of autonome zettingen volgens mechanisme c) uit [23] op funderingsschade worden verwaarloosbaar geacht, omdat deze zettingen niet direct tot verschilzettingen zullen leiden.
- G3: funderingsschade door grondwaterstandsverlaging beneden GLG.
 N.B.: Dit mechanisme is als criterium beschouwd in de kwalitatieve beoordeling in geval van aangetroffen funderingsschade en een niet-uniforme fundering of kans op enige obstakels in de ondergrond, uitgaande van de volgende risiconiveaus:
 - hoog risico (++) als GLG -extreem - $GLG \geq 1,0$ m;
 - matig risico (+) als $0,5$ m \leq GLG -extreem - $GLG < 1,0$ m;
 - laag risico (-) als GLG -extreem - $GLG < 0,5$ m.
 - Bovenstaand mechanisme sluit aan op mechanisme f) uit [23].
- G4: (verschil)zakking door droogvallen van veen onder fundering op staal bij grondwaterstandsverlaging.
 N.B.: Dit mechanisme is als criterium beschouwd in de kwalitatieve beoordeling, uitgaande van de volgende risiconiveaus:
 - hoog risico (++) als dikte veen boven $GLG > 0,5$ m;
 - matig risico (+) als dikte veen boven GLG $0,1 \leq d \leq 0,5$ m;
 - laag risico (-) als dikte veen boven $GLG < 0,1$ m.
 - Bovenstaande diktes dienen binnen de invloedzone voor zettingen t_e te bevinden met een maximum tot 5 m-mv.
 - Bovenstaand mechanisme sluit aan op mechanisme d) uit [23].
- G5: (verschil)zakking door (lokale) verdichting van verwekingsgevoelige losgepakte zandlagen.

N.B.: Dit mechanisme is als criterium beschouwd in de kwalitatieve beoordeling, uitgaande van de volgende risiconiveaus:

- hoog risico (++) waarbij aan alle onderstaande voorwaarden is voldaan:
 - fundering op staal op zand;
 - conusweerstand zand < 3 MPa;
 - $PGV \geq 40$ mm/s en $PGA \geq 0,15$ g;
- matig risico (+) waarbij geldt:
 - fundering op staal op zand;
 - conusweerstand zand < 3 MPa;
 - $PGV \geq 16$ mm/s;
- laag risico (-) voor de overige situaties.
- Bovenstaand mechanisme sluit aan op mechanismen g) uit [23].
- G6: (verschil)zakking door secundaire effecten vanuit bodemdaling gerelateerd aan de zakkingsnelheid.

N.B.: Dit mechanisme is als criterium beschouwd in de kwalitatieve beoordeling, uitgaande van de volgende risiconiveaus:

- hoog risico (++) als zakkingsnelheid > 6 mm/jaar;
- matig risico (+) als zakkingsnelheid 2 tot 6 mm/jaar;
- laag risico (-) als zakkingsnelheid ≤ 2 mm/jaar.
- G7: (verschil)zakking door overmatige negatieve kleef. Hierbij is voor paalfunderingen met name kwalitatief beoordeeld op het aangetroffen schadebeeld en zakkingskenmerken zoals genoemd in paragraaf 2.4.2 in combinatie met een extreme grondwaterstandsverlaging zoals beoordeeld bij mechanisme G4. De invloed van nazakkende grond door verdichting is hier als minder significant beschouwd.
- G8: (verschil)zakking door aantasting van de fundering door droogte. Hierbij is met name gekeken naar de invloed van extreme grondwaterstandsverlaging volgens mechanisme G4 in geval van aanwezigheid van houten paalfunderingen.

De beoordeling van de geotechnische schademechanismen aan de bovengenoemde criteria komt aan de orde in hoofdstuk 4.

3 Inventarisatie schaderapporten

3.1 Algemeen

Voor dit onderzoek zijn er in totaal 87 schaderapporten beschouwd waarbij onderscheid is gemaakt tussen:

- 81 willekeurig beschikbaar gestelde schaderapporten van 81 objecten.
- 6 beschikbaar gestelde schaderapporten van 6 pilot-projecten welke zijn geselecteerd op basis van het voorkomen van relatief veel funderingsafhankelijke schade.

In dit hoofdstuk zijn al deze objecten gecategoriseerd en kwalitatief beoordeeld aan de constructieve en geotechnische onderdelen zoals deze zijn beschreven in het vorige hoofdstuk. In paragraaf 3.2 komen eerst de categorisering en beoordeling van de objectgerelateerde aspecten aan de orde, gevold door de locatiegerelateerde aspecten in paragraaf 3.3. De resultaten hieruit zijn beschreven in paragraaf 3.4.

3.2 Inventarisatie objectgerelateerde aspecten

3.2.1 Korte samenvatting uitgevoerde inventarisaties

Zowel de 81 willekeurige objecten als de 6 pilot-projecten zijn gecategoriseerd op de objectgerelateerde aspecten zoals genoemd in paragraaf 2.3.1:

- objecttype (A1, A2, A3, A4);
- type draagconstructie (B1, B2, B3);
- bouwjaar (C1, C2, C3);
- type fundering (F1, F2 etc.).

Vervolgens zijn de bijkomende risicofactoren voor de fundering zoals vastgesteld in paragraaf 2.3.3 benoemd, waaronder:

- aanwezigheid kelder (wel/niet: +/-);
- aanwezigheid latere aanbouw (wel/niet: +/-);
- wijzigingen gebruik (wel/niet: +/-).

Tijdens de inventarisatie zijn nog een aantal kenmerkende schades geïventariseerd betreffende aangetroffen verzakkingen (Z), zettingsscheuren in wanden (W) en vloeren (V) en externe factoren (U), welke funderingsgerelateerd kunnen zijn. Per schaderapport is aangegeven welke volgende kenmerkende schades daarin zijn vastgesteld:

- Z1: verzakking daken (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- Z2: verzakking kolommen (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- Z3: verzakking buitenmuur (wel/niet: +/-);
- Z4: verzakking kelder (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- W1: zettingsscheur buitenwand (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- W2: zettingsscheur binnenwand (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- W3: wijken van wanddelen niet door spatkrachten (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- V1: verzakking beganegrondvloer (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- V2: scheurvorming beganegrondvloer (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- V3: verschilzakking langs onderzijde op maaiveldniveau (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- U1: uitvoeringsschade of fabriekschade (wel/niet/onbekend: +/-/0);
- U2: vorstschade (wel/niet/onbekend: +/-/0).

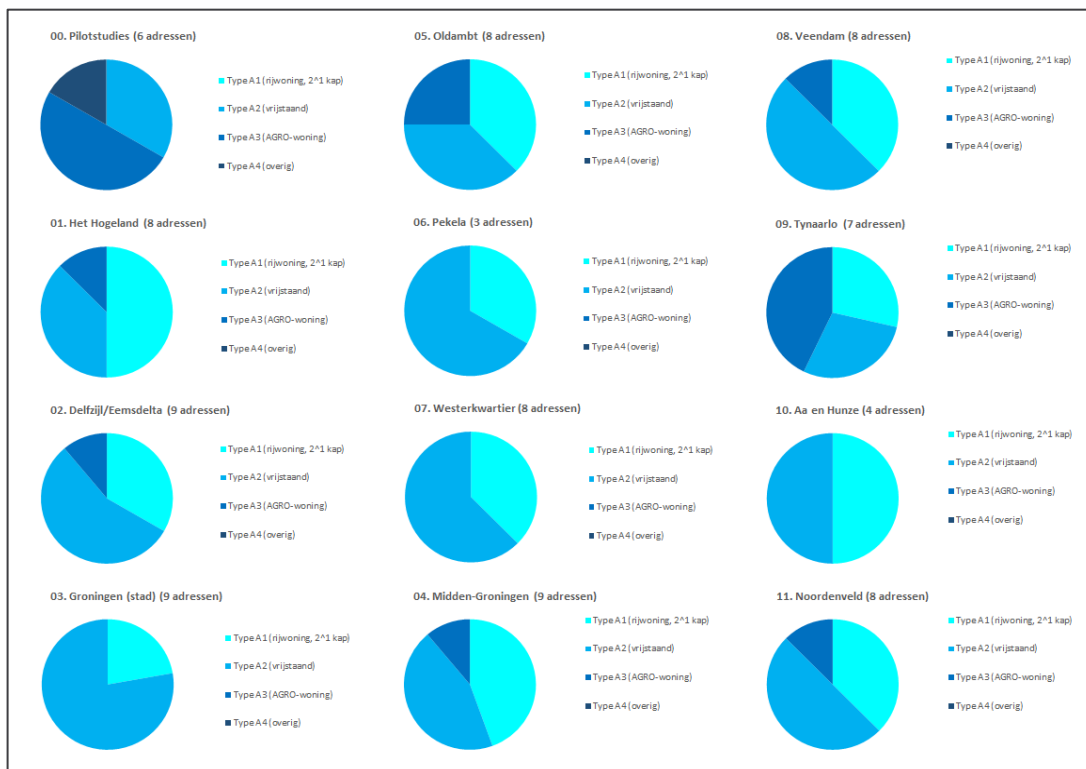
Tenslotte zijn de schades welke aan funderingen zijn gerelateerd beoordeeld op de schadeklassen D0 t/m D5 [48] zoals deze uitvoerig beschreven in paragraaf 2.4.2.2. Per schaderapport is vervolgens de hoogste aangetroffen schadeklasse meegenomen in de

inventarisatie. Dit vormt een beeld van de maatgevende funderingsgerelateerde schadeklasse per object. Daarnaast is ook per schaderapport het percentage funderingsgerelateerde schades vastgesteld ten opzichte van het totale aantal vermelde schades. Dit geeft aan in welke mate er sprake is van funderingsgerelateerde schade. Beide aspecten tezamen, dus de maatgevende schadeklasse en het aandeel ervan binnen alle aangetroffen schades, geven per object een goed kwalitatief beeld van de staat ervan en van de fundering ten opzichte van de rest van het gebouw en uiteindelijk de mate van benodigd funderingsherstel van het beschouwde object.

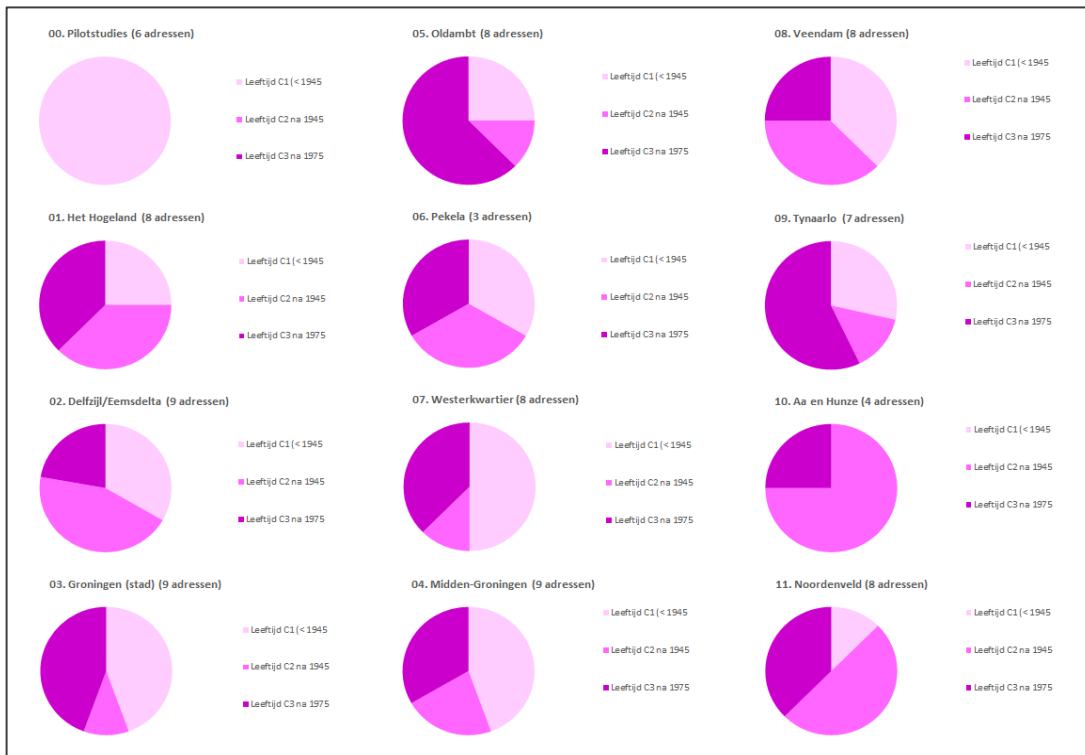
Door de categorisering op de objectgerelateerde aspecten is getracht bepaalde correlaties vast te stellen en trends zichtbaar te maken welke kunnen worden gebruikt als eerste input voor de uiteindelijke extrapolatie naar het totale onderzoeksgebied.

3.2.2 Resultaten objectgerelateerde inventarisatie

Voor een totaaloverzicht van de inventarisatieresultaten van de objectgerelateerde aspecten wordt verwezen naar de tabellen in Bijlage 3. In figuren hieronder zijn de belangrijkste resultaten per gemeente weergegeven, waarbij is gekeken naar de verdeling van de objecttypen, leeftijds categorieën en de verhouding fundering op staal versus fundering op palen per gemeente.



Figuur 3.1 Verdeling objecttypen uit schaderapporten per gemeente

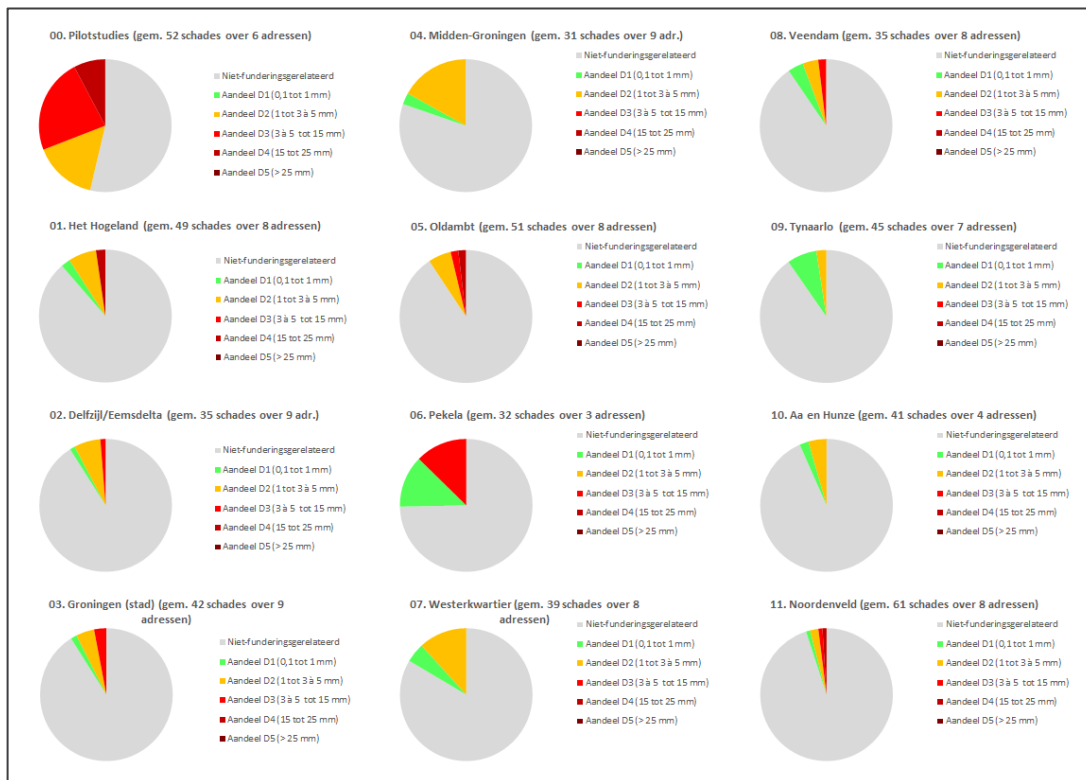


Figuur 3.2 Verdeling leeftijdscategorieën uit schaderapporten per gemeente



Figuur 3.3 Verdeling funderingstypen uit schaderapporten per gemeente

Uit de per object vastgestelde maatgevende funderingsgerelateerde schade op basis van de schade classificatie volgens Burland [48] zijn de verdelingen daarvan per gemeente bepaald en weergegeven in figuur 3.4. Hierbij is tevens het aandeel niet-funderingsgerelateerde schade van alle schaderapporten per gemeente toegevoegd om zo een indruk te krijgen van het aandeel van wel-funderingsgerelateerde schade.

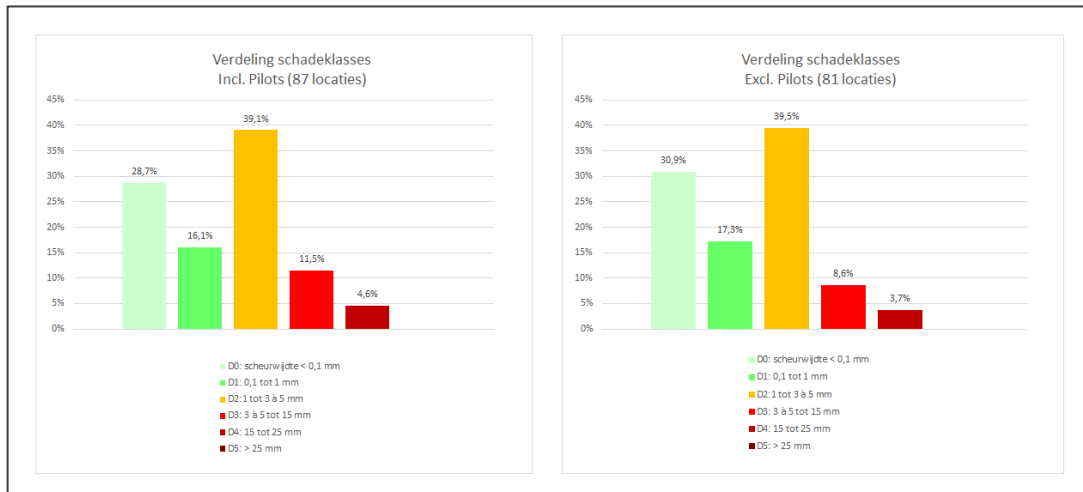


Figuur 3.4 Aandeel funderingsgerelateerde schades en verdeling van de schadeklassen uit schaderapporten per gemeente

In de voorgaande figuren 3.1 tot en met 3.4 zijn naast de resultaten voor de 11 gemeenten, de 6 pilotprojecten afzonderlijk beschouwd. Uit de inventarisatie van de objecttypen blijkt dat de typen A1 (rijtjeswoningen) en A2 (vrijstaande woningen) in alle gemeentes voorkomen en het type A3 (AGRO-woningen) alleen bij 7 van de 11 gemeenten zijn geïnventariseerd. Het moge duidelijk zijn dat deze verdeling een gevolg is van de beperkte steekproef van 81 schadeobjecten en daardoor niet gelijk hoeft te zijn aan de verdeling van de verschillende objecttypes bij de verschillende gemeentes. Wat betreft objecttype A4, de 'overige objecten', is deze alleen aangetroffen als een schuur bij één van de 6 pilotprojecten. Het objecttype A4 is daarom ook voor het verdere fase 1 onderzoek buiten beschouwing gelaten.

Wanneer alleen wordt gefocust op de vastgestelde funderingsgerelateerde schades, kan een verdeling van de maatgevende schadeklassen op basis van de per object hoogst vastgestelde schadeklasse inzichtelijk worden gemaakt. Hiermee kan vervolgens een totaalbeeld worden verkregen van de ernst van de schade welke is geïnventariseerd in de schaderapporten. In figuur 3.5 zijn de verdelingen van de uit de inventarisatie voorkomende

schadeklassen D0 t/m D5 weergegeven met links de verdeling van schadeklassen inclusief de 6 pilot-projecten en rechts exclusief de 6 pilot-projecten.



Figuur 3.5 Verdeling van de maatgevende funderingsgerelateerde schadeklassen over de geïnventariseerde 87 (inclusief de 6 pilot-projecten) respectievelijk 81 (exclusief de 6 pilot-projecten)

Bij de verdeling van de maatgevende (funderingsgerelateerde) schadeklassen kan onderscheid worden gemaakt in de verschillende leeftijdscategorieën. In figuur 3.6 volgt een duidelijk beeld dat de hoogste schadeklassen tot en met D4 ook het meest voorkomen bij de oudste leeftijdscategorie C1, waaruit dus een duidelijke correlatie volgt met de leeftijd. Ook wat betreft het objecttype zien we een significant hogere schadeklasse bij type A3 (AGRO-woningen). De volledige resultaten zijn weergegeven in Bijlage 3.



Figuur 3.6 Verdeling van de maatgevende funderingsgerelateerde schadeklassen over de verschillende leeftijdscategorieën van de geïnventariseerde 87 (inclusief de 6 pilot-projecten) respectievelijk 81 (exclusief de 6 pilot-projecten)

3.3 Inventarisatie locatiegerelateerde aspecten

3.3.1 Korte samenvatting uitgevoerde inventarisaties

Zowel de locaties van de 81 willekeurige objecten als van de 6 pilot-projecten zijn gecategoriseerd op de locatiegerelateerde aspecten zoals genoemd in paragraaf 2.3.4:

- grondmechanische aspecten;
- geohydrologische aspecten;
- seismische en aardbevingsgerelateerde aspecten;
- locale en geomorfologische aspecten.

De bovenstaande aspecten zijn voor elke locatie van de geïnventariseerde objecten toegevoegd in de inventarisatiematrix in Bijlage 4.

Daarnaast zijn in relatie tot de objecten en de schaderapporten een kwalitatieve inschatting gemaakt van de mogelijke geotechnische mechanismen welke relevant kunnen zijn geweest, gelet op de soort aangetroffen schade in relatie met de geotechnische aspecten. Per schaderapport is aangegeven welke volgende geotechnische mechanismen relevant kunnen zijn geweest op de funderingsschade (zie ook paragraaf 2.4.3.4):

- G1: (verschil)zakking door geringe draagkracht ondergrond (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G2: (verschil)zakking door slappe ondergrond (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G3: (verschil)zakking door grondwaterstandsverlagingen (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G4: (verschil)zakking door oxidatie droogvallend veen (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G5: (verschil)zakking door verdichting door trilling/verweking (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G6: (verschil)zakking door indirecte effecten bodemdaling (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G7: (verschil)zakking door overmatige negatieve kleeft (hoog/matig/laag: ++/+/-);
- G8: (verschil)zakking door aantasting fundering door droogte (hoog/matig/laag: ++/+/-).

De kwalitatieve inschattingen van de geotechnische mechanismen zijn toegevoegd in de inventarisatiematrix in Bijlage 4.

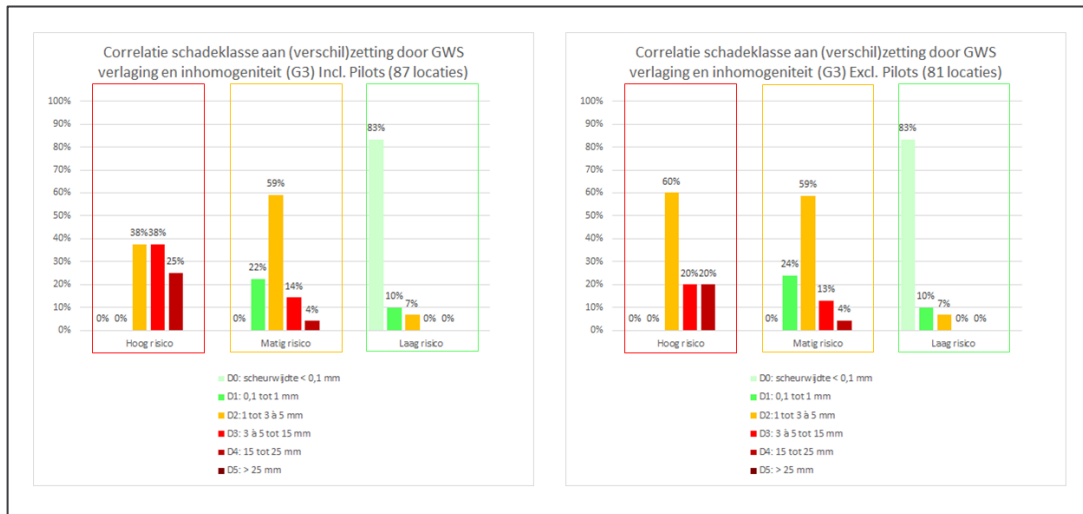
De correlaties tussen soort schade en ondergrond vormen één van de uitgangspunten voor de extrapolatie van de aangetroffen funderingsschade naar vergelijkbare objecten onder vergelijkbare locatiespecifieke (lees: geotechnische, geohydrologische en seismische) omstandigheden. De correlaties zijn grafisch inzichtelijk gemaakt door de per object vastgestelde maatgevende schadeklassen uit paragraaf 3.2 te plotten (aan de hand van de globale locaties) in de kaartlagen met de locatiespecifieke aspecten. Deze zijn toegevoegd in Bijlage 4.

3.3.2 Resultaten locatiegerelateerde inventarisatie

Voor een totaaloverzicht van de inventarisatieresultaten van de locatiegerelateerde aspecten wordt verwezen naar de tabellen en de kaartlagen in Bijlage 4. In deze kaartlagen kunnen de beschouwde locatiespecifieke aspecten worden vergeleken met de maatgevende funderingsschadeklasse van de objecten en hun geografische spreiding over het onderzoeksgebied. Per locatiespecifiek aspect is op deze manier getracht om op kwalitatieve manier de correlatie te kunnen vastleggen met de ernst van de schade.

De verdeling van de schadeklassen over de 8 beschouwde geotechnische faalmechanismen zijn in Bijlage 4 grafisch weergegeven. Hierbij kunnen de correlaties tussen de hogere schadeklassen en hogere risico's bij elk mechanisme eenvoudig inzichtelijk worden gemaakt door de kleurniveaus van de schadeklassen te vergelijken met de kleuren van de kaders van afzonderlijk de hoge, matige en lage ingeschatte geotechnische risico's. In geval er veel overeenkomsten zijn tussen de kleuren van de

staafgrafieken en die van de kaders eromheen, dan is er sprake van een bepaalde correlatie tussen de schadeklassen en de desbetreffende faalmechanismen. In figuur 3.7 is een voorbeeld weergegeven waarbij de verdeling van de funderingsschadeklassen is bepaald op basis van de per objectlocatie vastgestelde funderingsschadeklasse en het op die locatie ingeschatte risico (hoog/matig/laag) op vershilzakking door grondwaterstandsverlaging.



Figuur 3.7 Verdeling van de maatgevende funderingsgerelateerde schadeklassen over de verschillende risicoklassen voor vershilzetting door grondwaterstandsverlaging welke per objectlocatie is ingeschat.

Omdat de correlaties op het oog wat moeilijker zijn vast te stellen dan bij de objectgerelateerde aspecten uit paragraaf 3.2 het geval was, zijn de correlaties ook *statistisch* berekend waarbij de lineaire samenhang is berekend tussen de mate van funderingschade (gekwantificeerd naar een waarde 0 t/m 5 overeenkomstig D0 t/m D5) en de kwalitatief ingeschatte risiconiveaus van de 8 afzonderlijke geotechnische faalmechanismen per objectlocatie (gekwantificeerd naar een waarde hoog = 3, matig = 2 en laag = 1).

Uitgegaan is van de *Karl Pearson* [50] benadering waarbij de correlatiecoëfficiënt ρ is bepaald uit deling van de covariantie (het gemiddelde van de berekende afwijkingen van de beide beschouwde grootheden) met het product van beide standaardafwijkingen van deze twee grootheden. Het voordeel van deze aanpak is dat de correlatie gelijk zichtbaar wordt in de waarde van ρ welke kan variëren tussen -1 (negatieve correlatie) tot +1 (volledig lineair verband). Bij $\rho = 0$ is er totaal geen lineaire samenhang tussen de twee beschouwde grootheden. Verder geldt een zwakke correlatie bij $0,1 < |\rho| < 0,3$ een matige correlatie bij $0,3 < |\rho| < 0,5$ en een sterke correlatie bij $0,5 < |\rho| \leq 1,0$ [50].

In tabel 3.1 zijn de resultaten uit de correlatieberekeningen samengevat, waaruit vervolgens op een kwalitatieve manier de mate van correlatie in beeld is gebracht. Hierbij is er ook onderscheid gemaakt tussen de steekproef met de pilot-objecten (87 objectlocaties) en zonder de pilot-objecten (81 objectlocaties).

Tabel 3.1 Resultaten correlaties tussen funderingsschadeklassen en de beschouwde geotechnische faalmechanismen

Geotechnische faalmechanisme voor (verschil)zakking	Correlatiecoëfficiënt ρ incl pilots (87 locaties)	Correlatiecoëfficiënt ρ excl pilots (81 locaties)	Sterkte correlatie [50] incl. pilots
G1. Geringe draagkracht	0,34	0,22	matig
G2. Slappe ondergrond	0,37	0,28	matig
G3. Lage grondwaterstand	0,78	0,73	sterk
G4. Veenoxidatie	0,23	0,17	zwak
G5. Verdichting door compactie	0,24	0,14	zwak
G6. Zakkingsnelheid bodemdaling	0,37	0,35	matig
G7. Overmatige negatieve kleef	-0,10	-0,08	zeer zwak
G8. Aantasting fundering door droogte	0,03	0,02	zeer zwak

Uit tabel 3.1 volgt dat binnen de geïnventariseerde objecten er met name een correlatie of verband is gevonden tussen de vastgestelde funderingsschadeklasse en mogelijk in het verleden opgetreden extreme grondwaterstandsverlagingen gedurende extreme droge zomers volgens mechanisme G3. Hier is de sterkste correlatie gevonden ($0,5 < r \leq 1,0$). Daarnaast zijn er ook zwak tot matige verbanden gevonden met de ondergrondeigenschappen (mechanisme G1 en G2).

Opvallend is dat ook uit de kaartlagen enigszins een verband te zien is tussen de spreiding van de funderingsschadeklassen en de lokale seismiteit (uitgaande van de maatgevende PGV-waarden welke volgen uit de IMG-trillingstool voor elke objectlocatie), waardoor ook mechanismen G6 (en in mindere mate G5) beperkt invloed kunnen hebben.

Met betrekking tot de mechanismen G7 en G8 volgen zowel uit de grafische vergelijking uit Bijlage 4 als uit de statistische analyse dat er geen duidelijke correlatie gevonden is met de schadeklasse. Dit is met name het gevolg van de te geringe hoeveelheid (houten) paalfunderingen uit de inventarisatie van de schaderapporten (hoewel die wel voor bepaalde locaties voor categorie C1 en C2 in grote mate aanwezig kunnen zijn in het onderzoeksgebied). De zwakke en zeer zwakke correlaties G4, G5, G7 en G8 zijn uiteindelijk niet verder in beschouwing genomen.

Tenslotte valt ook op dat de verschillen tussen het wel of niet meenemen van de pilot-projecten bij de locatiespecifieke aspecten tot iets minder grote verschillen leidt dan bij de objectspecifieke aspecten het geval was. Dit is deels te verklaren uit het feit dat de pilotobjecten met name zijn geselecteerd op basis van de *totale* hoeveelheid schade en niet alleen op basis van funderingsschade welke direct gerelateerd kan worden aan de beschouwde locatiespecifieke aspecten vanuit de ondergrond of omgeving.

Op basis van het bovenstaande kan worden geconcludeerd dat de bovengenoemde mechanismen G1/G2, G3 en G6 met de sterke en matige correlaties als meest relevante locatiespecifieke aspecten kunnen worden meegenomen en geselecteerd. Deze vormen samen met de meest relevante objectspecifieke aspecten uit paragraaf 3.2 (object- en funderingstype en leeftijd) de belangrijkste invloedsfactoren voor de extrapolatie van het schadebeeld uit de geïnventariseerde schadeobjecten naar een totaalbeeld voor het gehele onderzoeksgebied.

Opgemerkt moet worden dat de bovenstaande correlaties zuiver duiden op een *statistisch* verband en niet op een *oorzakelijk* verband. Ook een gemeenschappelijke oorzaak zou de grondslag kunnen zijn, of een algemene trend. Zelfs in geval er een significante correlatie is

gevonden tussen de twee beschouwde grootheden, en mocht het daarnaast ook een oorzakelijk verband hebben, dan moet men zich nog steeds afvragen hoe groot dat verband is en of het wel relevant is. De correlaties zijn voor dit onderzoek zuiver en alleen gebruikt om de meest relevante locatiespecifieke aspecten te selecteren voor deze extrapolatieslag. Er kan en mag hieruit dus geen enkel oorzakelijk verband worden geconcludeerd.

4 Extrapolatie inventarisatie resultaten naar totale onderzoeksgebied

4.1 Aanpak extrapolatie

In de laatste stap van deze onderzoeksfase is een inschatting gemaakt van de totale omvang en verdeling van funderingsgerelateerde schades voor het totale aardbevingsgebied waarin zich circa 330.000 woningen bevinden. Deze inschatting is gedaan enerzijds op basis van de resultaten vanuit de geïnventariseerde 81 à 87 objecten, zoals reeds uitgevoerd in de voorgaande hoofdstukken, en anderzijds op basis van de door het IMG vrijgegeven datagegevens van alle tot nu toe uitgevoerde schadeonderzoeken van ruim 140.000 objecten. Deze datagegevens betreffen objectgegevens waarvan enkele algemene gegevens ook ondermeer beschikbaar zijn bij het BAG-register, zoals het type woning en de leeftijd. De datagegevens zijn vervolgens voor alle locaties aangevuld met de benodigde objectlocatiespecifieke gegevens uit de Sweco GIS-database welke ook is toegepast voor het verkrijgen van de locatiespecifieke gegevens van de 81 à 87 geïnventariseerde objecten.

Omdat echter de funderingsschadeklasse alleen bekend is van de geïnventariseerde 81 à 87 objecten en dus niet op voorhand is vastgesteld bij alle schaderapporten, zijn de overige woningen eerst gecategoriseerd en ingedeeld in zogenaamde risicocategorieën. Deze risicocategorieën zijn opgebouwd uit de belangrijkste relevante object- en locatiespecifieke kenmerken zoals deze zijn geselecteerd in hoofdstuk 3. Dezelfde risicocategorieën zijn vastgesteld voor de overige woningen aan de hand van overeenkomstige object- en locatiespecifieke kenmerken welke ter beschikking zijn gesteld door het IMG.

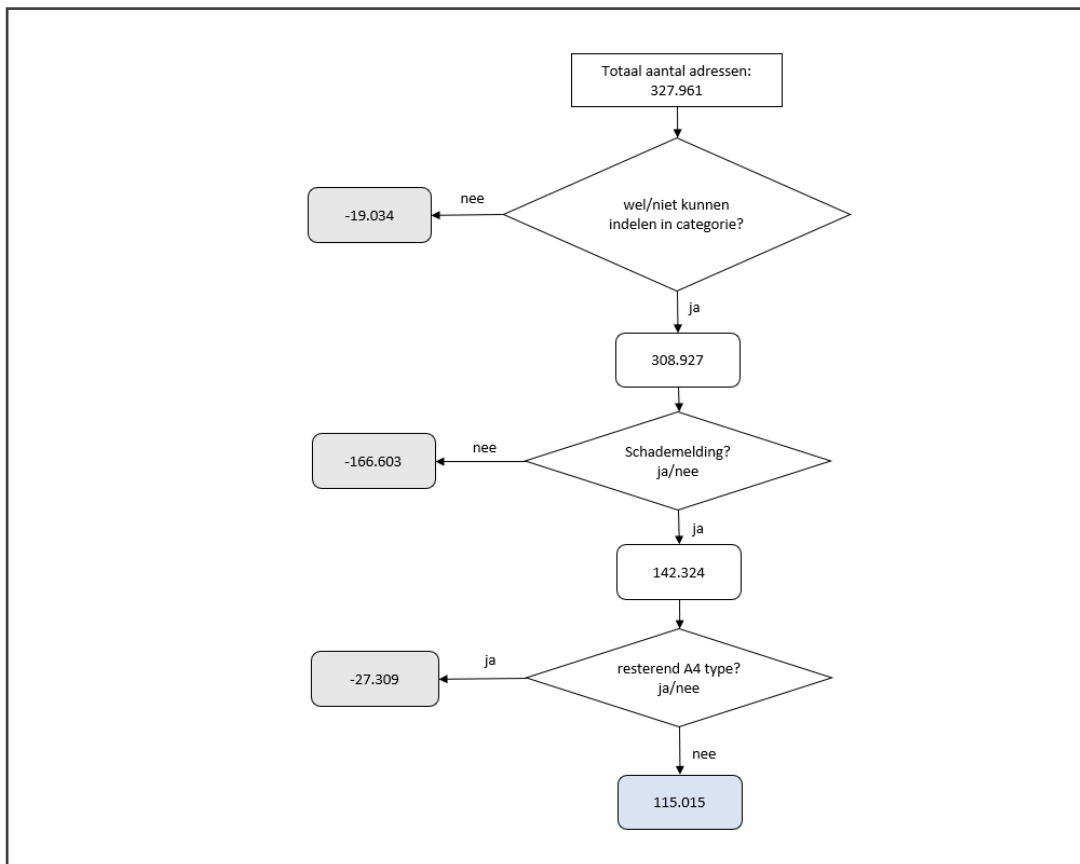
Vervolgens is de verdeling van de verschillende funderingsschadeklassen over de risicocategorieën bij de geïnventariseerde 81 à 87 objecten als verdeelsleutel toegepast op de risicocategorieën bij alle verschillende schadeobjecten waardoor uiteindelijk een totale verdeling volgt van de funderingsschadeklassen voor het hele onderzoeksgebied en daarmee ook de totale omvang van de funderingsschade inclusief schadeklasse inzichtelijk kan worden gemaakt.

4.2 Dataselectie

Op dit moment bevinden er zich circa 330.000 woonadressen in het gehele aardbevingsgebied, wat bestaat uit de 11 genoemde aardbevingsgemeenten uit paragraaf 2.2 (overeenkomstig met het gedefinieerde onderzoeksgebied) plus de zes overige gemeenten welke eerder zijn genoemd in paragraaf 1.2. Voorafgaand aan de extrapolatie heeft een dataselectie plaatsgevonden met betrekking tot het aantal te beschouwen objecten. Deze selectie heeft plaatsgevonden in drie stappen:

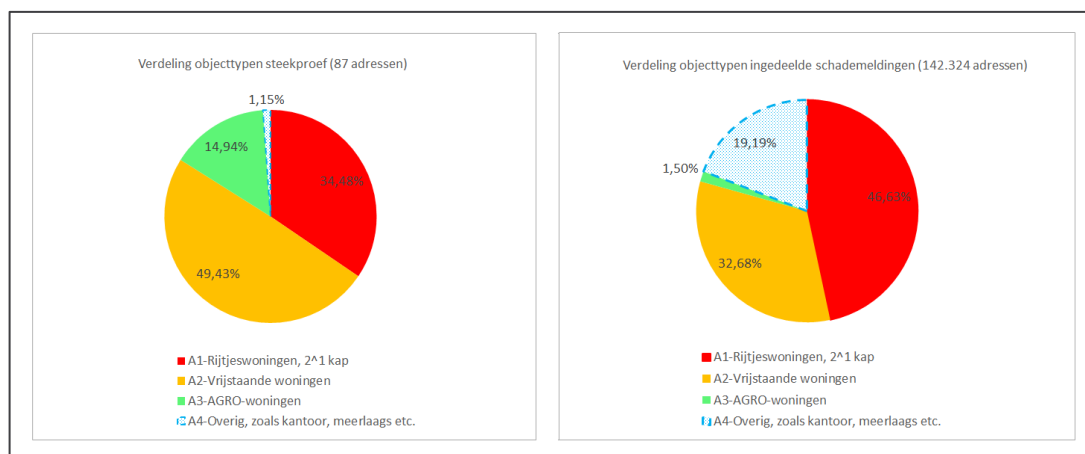
- In de eerste selectie wordt vanuit het totaal aantal woonadressen een aantal adressen buitengesloten welke niet kunnen worden ingedeeld in de objectcategorieën door het ontbreken van gegevens wat betreft objecttype, ondergrond etc.
- Vervolgens worden alle objecten waarbij geen schademelding is gedaan buitengesloten (de meldingsgraad bedraagt circa 45%).
- Tenslotte worden objecten van het type A4 ook buiten beschouwing gelaten omdat daarvan te weinig representatieve objecten waren in de inventarisatie.

Het totaal aantal overgebleven adressen bedraagt dan 115.015 (schadeadressen). In figuur 4.1 is de selectie nogmaals schematisch weergegeven.



Figuur 4.1 Stroomschema dataselectie voor extrapolatie

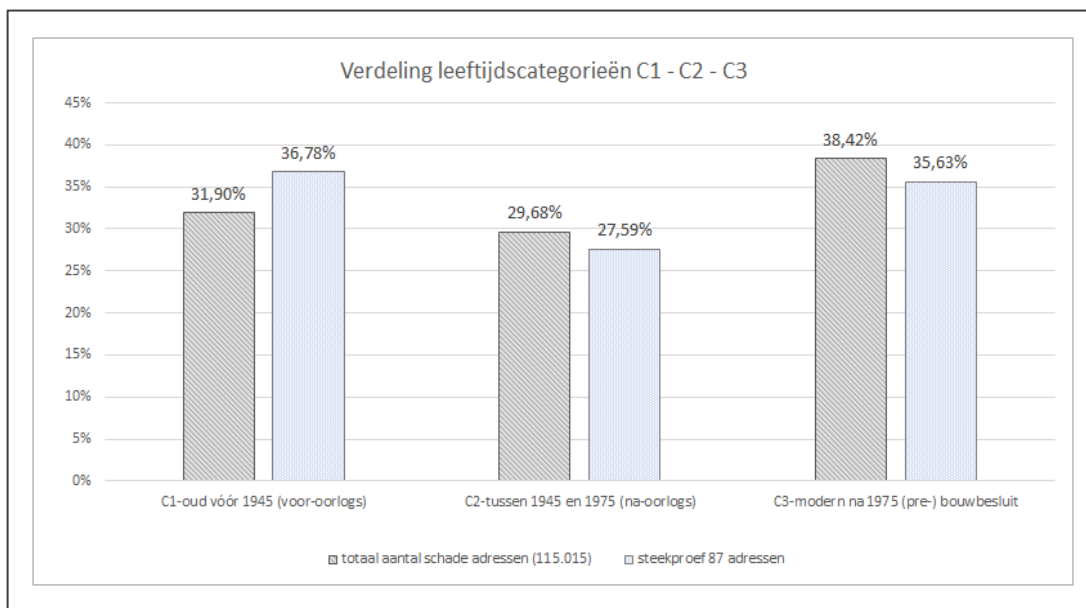
Objecttype A4 is buiten beschouwing gelaten in de extrapolatie, waardoor het aantal woonadressen voor de extrapolatie is gereduceerd van 142.324 naar 115.015 woonadressen. Deze objectcategorie is niet voldoende aanwezig geweest in de steekproef voor de inventarisatie, zoals dat ook in figuur 4.2 zichtbaar is gemaakt. Objecttype A4 betreft de woonadressen welke vallen in de categorie 'overig', waaronder bijvoorbeeld kantoren, schuren, maar ook meerlaagsgebouwen en appartementencomplexen vallen.



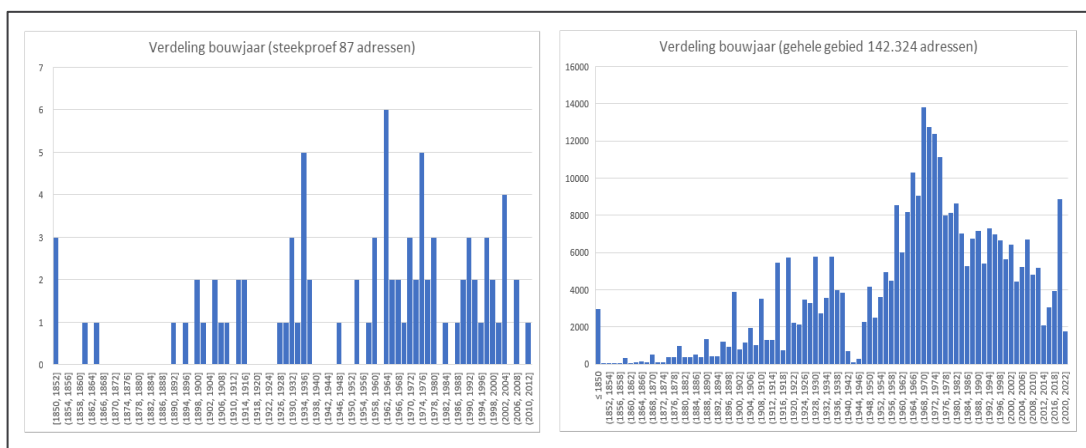
Figuur 4.2 Beschouwde en geselecteerde objecttypen in extrapolatie

Wat verder opvalt is dat het aantal AGRO-woningen binnen de steekproef aanzienlijk groter is dan binnen de selectie van het hele onderzoeksgebied. Dit zal uiteindelijk een significante invloed gaan krijgen op de verdeling van de schadeklassen zoals deze eerder bij de geïnventariseerde schadeobjecten is bepaald, temeer omdat de funderingschadeklassen bij dit objecttype A3 significant hoger uit blijkt te vallen bij de steekproef (meer schadeklassen D3 en D4).

Wat betreft de leeftijdscategorieën (C1, C2, C3) blijkt de verdeling welke in de steekproef is aangehouden wel voldoende representatief voor het totaal aantal geselecteerde schadeadressen (115.015). Dit is zichtbaar gemaakt in figuur 4.3. De verdeling is meer gespecificeerd in bouwjaren weergegeven in de histogrammen in figuur 4.4.



Figuur 4.3 Verdeling leeftijdscategorieën bij totale aantal schadeadressen en bij de steekproef



Figuur 4.4 Histogrammen verdeling leeftijdscategorieën steekproef versus gehele gebied

4.3 Verdeling risicocategorieën over geïnventariseerde objecten

4.3.1 Algemeen

Om de resultaten en verdeling van de verschillende funderingsschadeklassen uit de geïnventariseerde 81 à 87 objecten te kunnen extrapoleren naar het totale aantal schadeadressen (uitgaande van de 115.015 ingedeelde objecten A1/A2/A3 met schademelding), zijn de geselecteerde object- en locatiespecifieke kenmerken gebundeld naar risicocategorieën. Er zijn in totaal 5 risicocategorieën gedefinieerd die ieder een bepaalde score omvatten. De score is opgebouwd uit verschillende risicopunten die zijn toegekend aan elk kenmerk. Het aantal risicopunten is per kenmerk gerelateerd aan de kwalitatieve inschatting van de kans op funderingsschade per kenmerk. Het risico wordt daarbij vastgesteld door deze som van kansen op funderingsschade te combineren met de per object vastgestelde funderingsschadeklasse als gevolgschade volgens de regel:

$$Risico = Kans \times Gevolg \quad (1)$$

Uit de 81 à 87 geïnventariseerde rapporten zijn de risicocategorieën inzichtelijk gemaakt uit de som van de kenmerken en de gevolgklassen waaruit een bepaalde kansverdeling volgt. Vervolgens is deze kansverdeling als zijnde representatief op de 115.015 geselecteerde schadeadressen toegepast om een totaalbeeld te kunnen krijgen van het gevolg voor het gehele onderzoeksgebied, in de vorm van de te verwachten totale aantallen funderingsschades, verdeeld over de verschillende schadeklassen D0 tot en met D5.

4.3.2 Risicocategorieën uit geselecteerde object- en locatiespecifieke kenmerken

Vanuit de analyse van de inventarisatie van de 81 à 87 objecten uit hoofdstuk 3 zijn de volgende object- en locatiespecifieke aspecten als meest relevante kenmerken geselecteerd voor de extrapolatie (met de gebruikelijke variabelen):

- objectgerelateerde aspecten (objectkenmerken):
 - objecttype (A1, A2, A3)
 - bouwjaar (C1, C2, C3)
 - funderingstype (kans op fundering op staal hoog/matig/laag: H, M, L);
- locatiespecifieke aspecten (ondergrondkenmerken):
 - eigenschappen ondergrond (dikte cohesieve lagen)
 - veenoxidatie (dikte veen onder fundering boven GLG-extreem)
 - droogteschade (verschil GLG-extreem minus GLG)
- locatiespecifieke aspecten (seismische kenmerken):
 - maatgevende PGV-waarde bij zandondergrond
 - maatgevende PGV-waarde bij kleiondergrond

Voor de risicocategorieën zijn 5 niveaus aangehouden:

- zeer hoog (ZH);
- hoog (H);
- matig (M);
- laag (L);
- zeer laag (ZL).

In tabel 4.1 zijn de risicocategorieën gedefinieerd voor de verschillende combinaties van de relevante objectkenmerken. In tabel 4.2 en 4.3 is dat gedaan voor de seismische kenmerken en voor de ondergrondkenmerken.

Tabel 4.1 Indeling risicocategorieën uit combinaties van objectkenmerken

Objecttype	Bouwjaar	Fundering	Risicocategorie objectkenmerken
A1	C1	L	Matig (M)
		M	Matig (M)
		H	Matig (M)
	C2	L	Laag (L)
		M	Laag (L)
		H	Laag (L)
	C3	L	Zeer laag (ZL)
		M	Zeer laag (ZL)
		H	Zeer laag (ZL)
A2	C1	L	Hoog (H)
		M	Hoog (H)
		H	Hoog (H)
	C2	L	Matig (M)
		M	Matig (M)
		H	Matig (M)
	C3	L	Zeer laag (ZL)
		M	Zeer laag (ZL)
		H	Zeer laag (ZL)
A3	C1	L	Hoog (H)
		M	Zeer hoog (ZH)
		H	Zeer hoog (ZH)
	C2	L	Matig (M)
		M	Hoog (H)
		H	Hoog (H)
	C3	L	Zeer laag (ZL)
		M	Zeer laag (ZL)
		H	Zeer laag (ZL)

Tabel 4.2 Indeling risicocategorieën uit combinaties van seismische kenmerken

Dikte holoceen [m]	PGV [mm/s]	Risicocategorie seismische kenmerken
$d \geq 4$	$PGV \geq 40$	Hoog (H)
	$8,5 \leq PGV < 40$	Matig (M)
	$PGV < 8,5$	Laag (L)
$d < 4$	$PGV \geq 16$	Hoog (H)
	$8,5 \leq PGV < 16$	Matig (M)
	$PGV < 8,5$	Laag (L)

Voor de seismische kenmerken is in tegenstelling tot de object- en ondergrondkenmerken uitgegaan van drie risicocategorieën (Hoog, Matig, Laag) omdat er geen verdere differentiatie mogelijk is binnen de ranges van PGV-waarden welke ter beschikking zijn gesteld in de datagegevens van de 115.015 schadeadressen door het IMG.

Tabel 4.3 Indeling risicocategorieën uit combinaties van kenmerken ondergrond

Dikte holoceen [m]	Dikte droogvallend veen [m]	GLG _{extreem} – GLG [m]	Risicocategorie ondergrondkenmerken	
$d \geq 4$	$d \geq 0,4$ $0,3 \leq d < 0,4$	$d \geq 0$	Zeer Hoog (H)	
		$d \geq 1,0$	Zeer Hoog (H)	
		$0,6 \leq d < 1,0$	Hoog (H)	
		$d < 0,6$	Matig (M)	
		$0,2 \leq d < 0,3$	$d \geq 1,0$	Zeer Hoog (H)
			$0,6 \leq d < 1,0$	Hoog (H)
	$3 \leq d < 4$	$d < 0,2$	$0,4 \leq d < 0,6$	Matig (M)
			$d < 0,4$	Laag (L)
			$d \geq 1,0$	Zeer Hoog (H)
			$0,8 \leq d < 1,0$	Hoog (H)
			$0,4 \leq d < 0,8$	Matig (M)
			$d < 0,4$	Laag (L)
$2 \leq d < 3$	$d \geq 0,5$ $0,3 \leq d < 0,5$ $0,2 \leq d < 0,3$	$d \geq 0$	Zeer Hoog (H)	
		$d \geq 0$	Hoog (H)	
		$d \geq 0,8$	Hoog (H)	
		$< 0,8$	Matig (M)	
		$d < 0,2$	$d > 0,6$	Hoog (H)
			$0,6 \leq d < 0,8$	Matig (M)
	$1 \leq d < 2$	$d < 0,2$	$0,4 \leq d < 0,6$	Laag (L)
			$< 0,4$	Zeer laag (ZL)
			$d \geq 0$	Zeer Hoog (H)
			$d \geq 0$	Hoog (H)
			$\geq 1,0$	Hoog (H)
			$d < 1,0$	Matig (M)
$0,2 \leq d < 0,3$			$\geq 1,0$	Hoog (H)
			$0,4 \leq d < 1,0$	Matig (M)
			$< 0,4$	Laag (L)
			$d \geq 1,0$	Hoog (H)
			$0,6 \leq d < 1,0$	Matig (M)
			$0,4 \leq d < 0,6$	Laag (L)
$d < 0,2$	$< 0,4$	Zeer laag (ZL)		
	$\geq 1,0$	Hoog (H)		
	$0,4 \leq d < 1,0$	Matig (M)		
	$< 0,4$	Laag (L)		
	$d \geq 1$	Hoog (H)		
	$0,6 \leq d < 1,0$	Matig (M)		
$d < 1$	$d < 0,2$	$0,4 \leq d < 0,6$	Laag (L)	
		$< 0,4$	Zeer laag (ZL)	
		≥ 0	Zeer Hoog (H)	
		$0,4 \leq d < 0,6$	Laag (L)	
		$< 0,4$	Zeer laag (ZL)	
		$d \geq 0$	Zeer Hoog (H)	
$d < 1$	$d < 0,2$	$d \geq 0$	Zeer laag (ZL)	
		$d \geq 0$	Zeer laag (ZL)	
		$d \geq 0$	Laag (L)	
		$d \geq 0$	Zeer laag (ZL)	

4.3.3 Indeling geïnventariseerde objectlocaties in risicocategorie

Op basis van de kaders uit de voorgaande tabellen waarin de risicocategorieën zijn gedefinieerd voor de objectkenmerken, ondergrondkenmerken en seismische kenmerken, zijn vervolgens alle 87 geïnventariseerde objecten nagegaan en zijn per object op basis van de bovenstaande kenmerken ingedeeld in de bijbehorende risicocategorieën. Vervolgens is er per risicocategorie een score toegepast waarbij is uitgegaan van de verdeling zoals weergegeven in tabel 4.4. Bij de score, welke over de 5 risicocategorieën verloopt van 1 tot en met 5, zijn tevens gewichten aan elke kenmerk toegekend om zo de verdeling zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de verdeling van de schadeklassen van de geïnventariseerde objecten, zoals die in de paragrafen 3.2 en 3.3 zijn vastgesteld.

Tabel 4.4 Verdeling score en gewicht per risicocategorie

Risicocategorie	Score S [-]	g_{object} [-]	$g_{ondergrond}$ [-]	$g_{seismisch}$ [-]	Range RS relatieve score
Zeer hoog (ZH)	5	1	1	-	1,00 – 0,85
Hoog (H)	4	1	1	0,8	0,85 – 0,70
Matig (M)	3	1	1	0,8	0,70 – 0,49
Laag (L)	2	1	1	0,8	0,49 – 0,28
Zeer laag (ZL)	1	1	1	-	0,28 – 0,13

De uiteindelijke score per object is vervolgens bepaald uit:

$$RS = \frac{S_{object} \cdot g_{object} + S_{ondergrond} \cdot g_{ondergrond} + S_{seismisch} \cdot g_{seismisch}}{5 \cdot g_{object} + 5 \cdot g_{ondergrond} + 4 \cdot g_{seismisch}} \leq 1,0 \quad (2)$$

waarbij geldt:

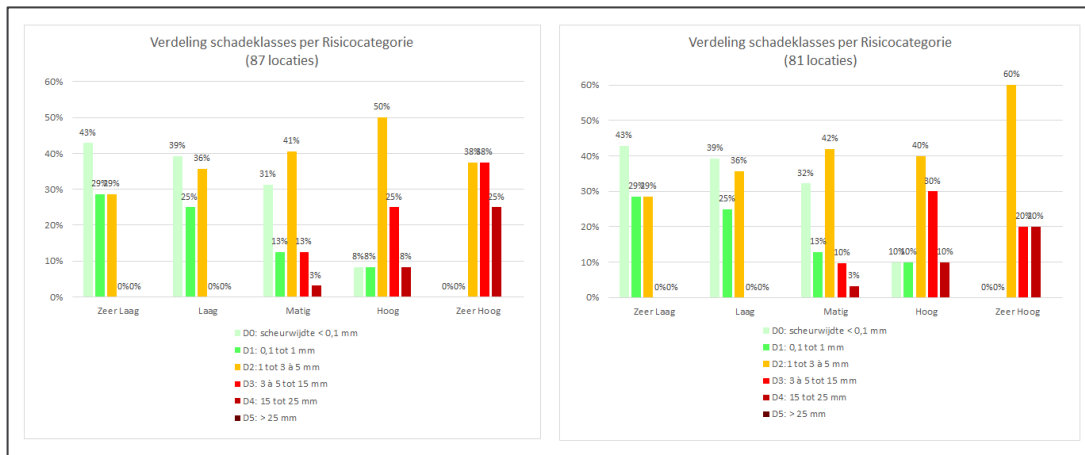
- RS relatieve score, $RS \leq 1,0$ [-]
- S_{object} totaalscore op objectkenmerken [-]
- $S_{ondergrond}$ totaalscore op ondergrondkenmerken [-]
- $S_{seismisch}$ totaalscore op seismische kenmerken [-]
- g_{object} gewicht op totaalscore op objectkenmerken [-]
- $g_{ondergrond}$ gewicht op totaalscore op ondergrondkenmerken [-]
- $g_{seismisch}$ gewicht op totaalscore op seismische kenmerken [-]

Met de toegepaste gewichten en scores uit tabel 4.4 volgt een maximum totaalscore van $5 \cdot 1,0 + 5 \cdot 1,0 + 4 \cdot 0,8 = 13,2$. De relatieve score wordt per object vervolgens bepaald door deling van de gewogen som der scores met deze maximum waarde van 13,2 zodat de relatieve score een waarde heeft van maximaal 1,0.

4.3.4 Verdeelsleutel schadeklassen over de risicocategorieën

Vervolgens is op basis van de relatieve score de totale risicocategorie bepaald uit de in tabel 4.4 aangegeven ranges. Op deze manier zijn alle geïnventariseerde objecten beoordeeld in een risicocategorie. In Bijlage 5 zijn de resultaten weergegeven waarbij tevens de maatgevende schadeklasse per object is toegevoegd.

Uiteindelijk kan de verdeling van de maatgevende schadeklassen worden bepaald over elke risicocategorie. Deze verdeling met de percentages is weergegeven in figuur 4.5 voor de geïnventariseerde objecten, zowel inclusief als exclusief de 6 pilot-objecten.



Figuur 4.5 Verdeling van de schadeklassen over elke risicocategorie (totaal per risicocategorie is 100%) van de geïventariseerde 87 (inclusief de 6 pilot-projecten) respectievelijk 81 (exclusief de 6 pilot-projecten)

De verdeling is een relatieve verdeling per risicocategorie, waarbij de som van de percentages per risicocategorie gelijk is aan 100%. De percentages vormen vervolgens een verdeelsleutel voor de extrapolatie van het schadebeeld naar alle 115.015 schadeadressen.

4.4 Verdeling schadeklassen over alle beschouwde schadeadressen

4.4.1 Indeling geselecteerde schadeadressen in risicocategorie

Dezelfde methodiek zoals die in paragraaf 4.3 is toegepast op de 81 à 87 geïventariseerde objecten is ook toegepast op alle geselecteerde 115.015 schadeadressen. Per adres zijn de kenmerken geïventariseerd uit de databestanden en vervolgens is per kenmerk een score toegekend volgens de verdeling van tabellen 4.2, 4.3 en 4.4. Gezien het aantal schadeadressen zijn er dus $115.015 \times (3 + 3 + 2) = 920.120$ kenmerken beoordeeld waaruit voor de objectkenmerken, ondergrondkenmerken en seismische kenmerken in totaal $115.015 \times 3 = 345.045$ risicocategorieën zijn ingevuld. Na sommatie met de gewichten conform formule (2) en tabel 4.4 is uiteindelijk voor elk schadeadres de risicocategorie bepaald. Dit is in een groot databestand uitgevoerd.

Omdat binnen deze onderzoeksopdracht alleen het totaalbeeld van belang is met de totale omvang van de funderingsschade en de ernst ervan, hoeven niet alle adressen afzonderlijk te worden beoordeeld op maatgevende funderingsschadeklasse. Dit heeft als voordeel dat er gewerkt kan worden op basis van het aantal schadeadressen per risicocategorie. In tabel 4.5 zijn de resultaten uit deze data analyse met de onderverdeling van het aantal schadeadressen per risicocategorie weergegeven.

Tabel 4.5 Aantal ingedeelde schadeadressen per risicocategorie

Risicocategorie	Aantal schadeadressen	Verdeelsleutel schadeklassen uit figuur 4.5 op basis van 87 resp. 81 inventarisaties					
		D0	D1	D2	D3	D4	D5
Totaal	115.015						
Zeer hoog (ZH)	720	0 - 0%	0 - 0%	38 - 60%	38 - 20%	25 - 20%	0 - 0%
Hoog (H)	4.175	8 - 10%	8 - 10%	50 - 40%	25 - 30%	8 - 10%	0 - 0%
Matig (M)	33.264	31 - 32%	13 - 13%	41 - 42%	13 - 10%	3 - 3%	0 - 0%
Laag (L)	56.982	39 - 39%	25 - 25%	36 - 36%	0 - 0%	0 - 0%	0 - 0%
Zeer laag (ZL)	19.874	43 - 43%	29 - 29%	29 - 29%	0 - 0%	0 - 0%	0 - 0%

In tabel 4.5 zijn in de kolommen van de schadeklassen D0 tot en met D5 de verdeelsleutels als percentages weergegeven waarbij de linker waarde volgt op basis van de 87 objectlocaties inclusief de 6 pilots en de rechter waarde op basis van de 81 objectlocaties, exclusief de pilots. Uit de verdeelsleutels van tabel 4.5 is uiteindelijk de verdeling van de schadeklassen per risicocategorie over het totaal aantal schadeadressen bepaald. Deze verdelingen zijn weergegeven in figuur 4.6.

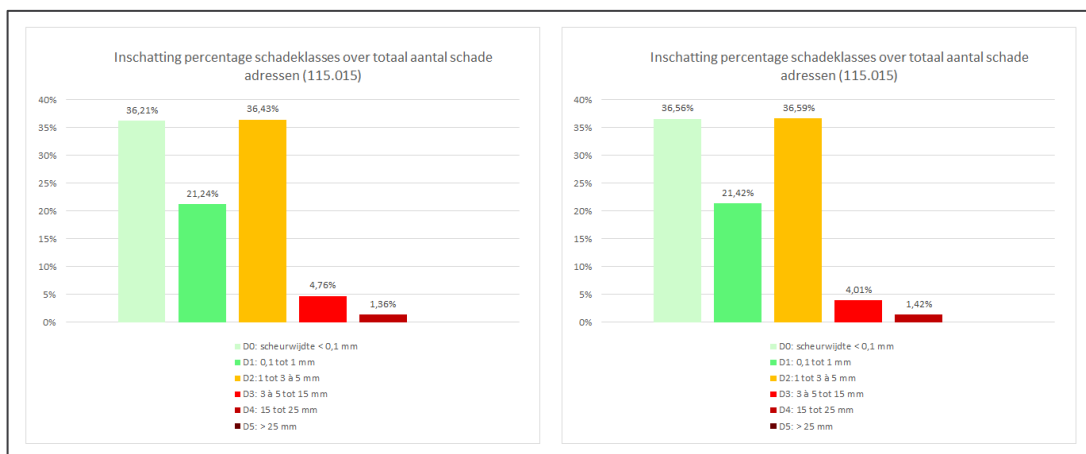


Figuur 4.6 Verdeling van de schadeklassen over de hoeveelheid adressen die per risicocategorie zijn vastgesteld met de verdeelsleutels op basis van de 87 (links, inclusief de 6 pilot-projecten) respectievelijk 81 steekproeven (rechts, exclusief de 6 pilot-projecten)

Wat opvalt in de resultaten van figuur 4.6 is dat de verschillen tussen het wel of niet meenemen van de 6 pilot-projecten geen significant effect heeft op de totale aantallen, gezien de grootte van deze aantallen.

4.4.2 Inschatting percentage schadeklassen over totaal aantal schadeadressen

Om uiteindelijk tot een totaaloverzicht te komen van de schadeklassen in het onderzoeksgebied op basis van de 115.015 adressen is tenslotte de verdeling van de schadeklassen bepaald. In figuur 4.7 zijn de uiteindelijke percentages funderingsgerelateerde schades en de ernst uitgedrukt in de schadeklassen weergegeven.



Figuur 4.7 Inschatting hoeveelheid en ernst funderingsgerelateerde schade uit de 115.015 beschouwde schade adressen uit de 87 (links), respectievelijk 81 (rechts) steekproeven

Belangrijk is nogmaals ook bij figuur 4.6 te vermelden dat deze verdeling dus alleen representatief is voor de beschouwde objecttypen A1, A2 en A3. Van overige objecttypen (objecttype A4) is er maar één beschikbaar object in de inventarisatie beschouwd, welke bovendien ook een pilot-object betreft die niet representatief is binnen de steekproef.

Daarnaast is het belangrijk te vermelden dat er uit de 87 geïnterviewde objecten er geen enkel object was met een officiële schadeklasse D5 waarbij funderingsgerelateerde scheuren zijn gemeten van meer dan 25 mm. Omdat deze waarde in de steekproef daardoor op nul blijft staan volgt logischerwijs ook dat in de totale hoeveelheid schadeadressen er geen enkele volgt met een schadeklasse D5. Dit blijkt echter alleen het gevolg te zijn van de beperkte omvang van het aantal geïnterviewde objecten welke feitelijk *at random* zijn gekozen (tenminste, voor de 81 adressen exclusief de 6 pilot locaties), waardoor deze schadeklasse D5 ook niet of onvoldoende tot uiting kan komen in het totaalbeeld. Het is dus belangrijk om hierbij te vermelden dat de kans op funderingsgerelateerde schadeklasse D5 absoluut niet op voorhand is uit te sluiten.

Desalniettemin kan op basis van de totale verdeling wel een inschatting van de omvang van het probleem worden verkregen, waarbij de veel frequenter aanwezige funderingsschadeklassen D3 en D4 wel een duidelijk en redelijk betrouwbaar beeld laten zien van deze hoeveelheid te verwachten funderingsgerelateerde schade.

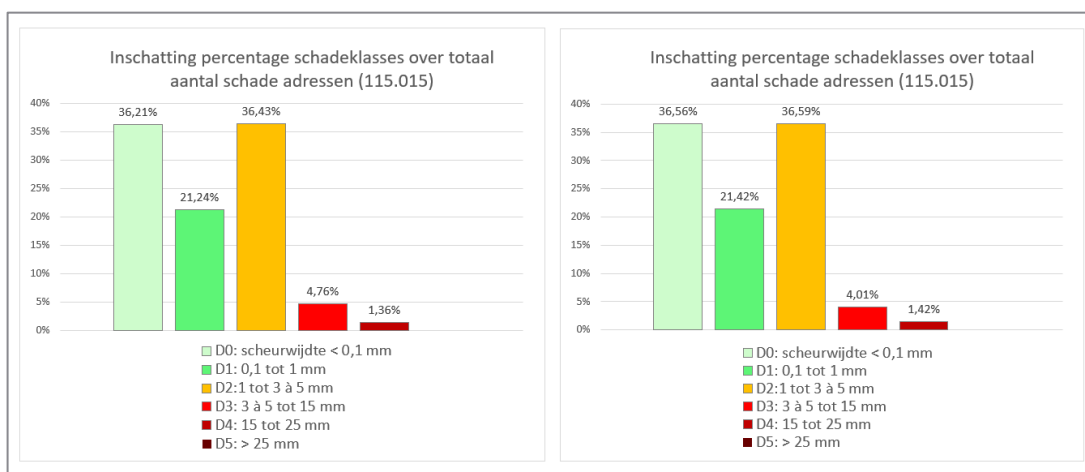
5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Belangrijkste conclusies

Aan de hand van de steekproef die heeft bestaan uit 81 *at random* ter beschikking gestelde schaderapporten van 81 objecten, plus nog eens enkele schaderapporten van een zestal zogenaamde pilot-objecten waar relatief veel schade is aangetroffen, is er een kwalitatieve inschatting gemaakt van de hoeveelheid funderingsgerelateerde schade op basis van de belangrijkste constructieve en geotechnische aspecten en kenmerken welke zijn vastgesteld in dit onderzoek.

Aan de hand van de geselecteerde meest relevante en meest van invloed zijnde constructieve en geotechnische aspecten zijn er vijf risicocategorieën vastgesteld, waarmee vervolgens een vertaalslag is gemaakt van de 81 + 6 kwalitatief beoordeelde objecten naar een veel grotere hoeveelheid woningen over het totale onderzoeksgebied. Hierbij is uitgegaan van een selectie van 115.015 schadeadressen welke binnen het kader vallen van de randvoorwaarden die ook van toepassing zijn geweest op de geïnventariseerde 81 + 6 adressen. Met deze extrapolatie is uiteindelijk een inschatting verkregen van zowel de omvang als de ernst van het schadebeeld, voor zover deze funderingsgerelateerd is.

De schadeklassen welke zijn aangehouden in dit onderzoek in relatie tot funderingsschade, zijn gedefinieerd in analogie op de classificatie volgens Burland (1977) [48], [21]. Op basis van de extrapolatie naar 115.015 schadeadressen binnen het totale onderzoeksgebied voor de objecttypen A1 (rijtjeswoningen en 2[^]1 kap), A2 (vrijstaande woningen) en A3 (AGRO-woningen), zijn de te verwachten verdelingen naar funderingsschade berekend. In figuur 5.1 zijn deze nogmaals grafisch weergegeven.



Figuur 5.1 Inschatting hoeveelheid en ernst funderingsgerelateerde schade uit de 115.015 beschouwde schade adressen uit de 87 (links), respectievelijk 81 (rechts) steekproeven

De verdelingen zijn daarbij als volgt:

- circa 35 à 40% schadeklasse D0, feitelijk betekent dit dus geen funderingsschade;
- circa 20 à 25% schadeklasse D1 (scheuren van 0,1 tot 1 mm): esthetisch zeer lichte schade, herstellen d.m.v. schilderwerk/stucwerk/cosmetisch herstel;
- circa 35 à 40% schadeklasse D2 (scheuren van 1 tot 5 mm): esthetisch lichte schade, licht klemmen deuren/ramen, evt. ook buiten zichtbaar, cosmetisch herstel door opvullen scheuren;

- circa 5% schadeklasse D3 (scheuren van 5 tot 15 mm): functioneel matige schade, klemmende deuren/ramen, lokaal herstel metselwerk, eventueel (lokaal) funderingsherstel;
- circa 1 à 2% schadeklasse D4 (scheuren van 15 tot 25 mm): functioneel ernstige schade, vervangen wanden/kozijnen, zichtbare verschildzetting, funderingsherstel nodig, lokaal of globaal;
- schadeklasse D5 valt buiten de significantie van het onderzoek, maar kan mogelijk toch bij enkele (tot orde grootte honderd) adressen aan de orde zijn waarbij scheuren groter dan 25 mm zijn aangetroffen en sprake is van constructief zeer ernstige schade en instortingsgevaar (delen Near Collapse, herstel constructie en vervangen volledige fundering).

Veelal komen in de geïnventariseerde schaderapporten schades voor met scheurvorming van 1 tot 3 mm. Deze schades zijn als D2 geclassificeerd. Deze schade kunnen in uitzonderingsgevallen funderings gerelateerd zijn. Om te komen tot een *duurzaam herstel* dient in deze gevallen funderingsherstel te worden toegepast, om de kans op herhaalschade in de toekomst te beperken.

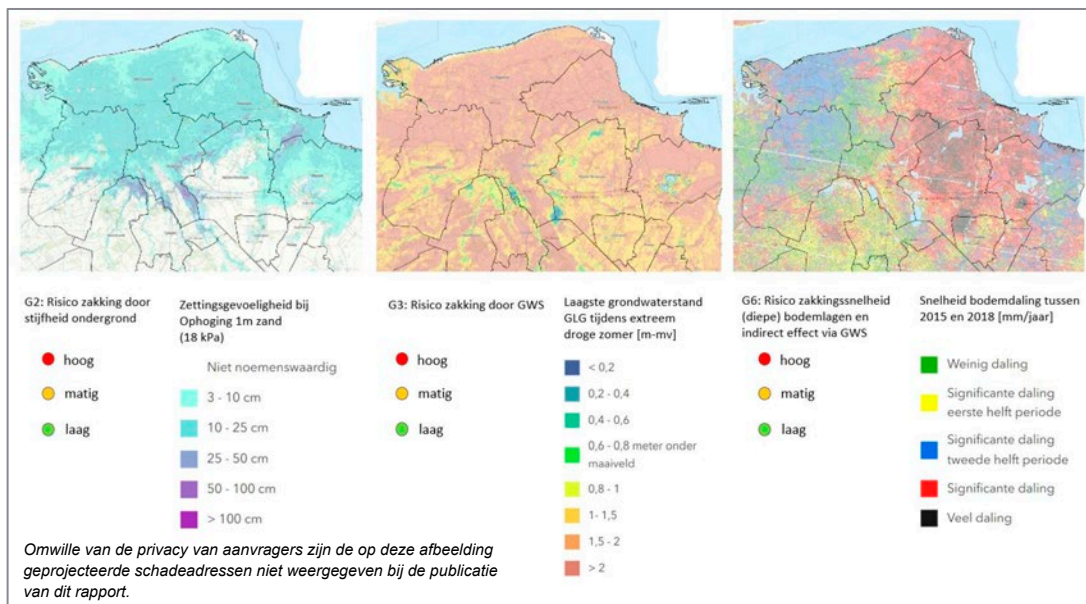
Moderne woningen van na de jaren 1970 - 1975 zijn veelal voorzien van gewapende betonnen ringbalken op palen of van betonstroken gewapend in twee richtingen. Door deze uitvoering is de fundering beter in staat ongelijkmatige zakkingen op te vangen en te verdelen over de lengte van de muren. Bij woningen met dit soort funderingen, welke zijn beschouwd als leeftijdscategorie C3, wordt minder snel een schadebeeld aangetroffen welke veroorzaakt is door het niet goed functioneren van de fundering onder standaard condities.

Zoals onderbouwd in paragraaf 4.2 is objecttype A4 buiten beschouwing gelaten in de extrapolatie wegens het ontbreken ervan in de 81 geïnventariseerde schaderapporten (komt alleen één keer voor bij de 6 aanvullende pilot objecten). De beschouwde objecttypen A1, A2 en A3 betreffen circa 80% van de schadeadressen zoals ook is aangegeven in figuur 4.2.

Samengevat zijn de belangrijkste conclusies als volgt met betrekking tot de omvang en ernst van de funderingsschade voor deze fase:

- Globaal kan worden gesteld dat funderingsherstel (lokaal of globaal) aan de orde is bij schadeklassen D3, D4, D5 en in uitzonderingsgevallen schadeklasse D2. Waarbij bij D3 grofweg de helft wel en de helft niet. Dit geeft tevens de bandbreedte aan waarmee het percentage schadeadressen waarbij ook funderingsherstel aan de orde is, zo'n 4% tot 10% bedraagt.
- Dit percentage is gebaseerd op schadeadressen bestaande uit rijtjeswoningen (type A1), vrijstaande woningen (type A2) en AGRO-woningen (type A3), waarbij uit de 87 geïnventariseerde schaderapporten blijkt dat de kans op funderingsschade het grootst is bij de AGRO-woningen.
- Met betrekking tot de leeftijd blijkt dat er uit de 87 geïnventariseerde woningen er geen funderingsherstel te verwachten is bij woningen van na 1975 (categorie C3) gelet op de daar hoogste aangetroffen schadeklasse D2. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat funderingsherstel voor D2 in deze fase van het onderzoek op voorhand nog niet is uit te sluiten. Anderzijds zullen dit met name specifieke gevallen betreffen welke voor de totale omvang van funderingsherstel, gelet op de onzekerheidsmarge zoals hierboven aangegeven, niet significant zal zijn. De afbakening bij schadeklassen D2 en D3 met betrekking tot benodigd funderingsherstel wordt aanbevolen in de vervolgfase (fase 2) nader te kunnen bepalen en te onderbouwen.

Met betrekking tot de locatiegerelateerde aspecten zijn correlaties met het schadebeeld gevonden met (van sterk tot matig zwak) de opgetreden extreme lage grondwaterstand (G3), de stijfheid van de ondergrond (G2) en de seismische aspecten (zowel in relatie tot trillingen als door indirecte effecten uit bodemdaling (G6)). De hierbij horende kaartlagen zijn weergegeven in bijlage B5.3 en hieronder alle drie naast elkaar afgebeeld in Figuur 5.2. Hoewel de mechanismen verschillend zijn en niet duidelijk met elkaar overlappen om bijvoorbeeld tot één risicokaart te kunnen komen, is de correlatie met het schadebeeld het sterkst bij de middelste kaart (G3).



Figuur 5.2 Risicokaarten maatgevende locatiegerelateerde schademechanismen

5.2 Aanbevelingen

Op basis van dit onderzoek is een globale indicatie gegeven van de hoeveelheid, soort en ernst van funderingsschade.

Voor de nadere uitwerking van maatregelen voor duurzaam herstel dient weer vanuit object- en locatieniveau te worden gekeken wat precies de meest bepalende bezwijkmechanismen zijn geweest welke mogelijk van invloed kunnen zijn geweest op de ontstane schade. In de inventarisatie zijn de belangrijkste bezwijkmechanismen al benoemd.

Uit de bovenstaande conclusies volgt met betrekking tot benodigd funderingsherstel dat de afbakening bij schadeklassen D2 en D3 nog een enigszins grijs gebied betreft, welke nader moet worden aangescherpt. Aanbevolen wordt om in het vervolgonderzoek (fase 2) deze aanscherping voor het wel of niet overgaan tot funderingsherstel verder te kunnen maken en te onderbouwen, waarbij ook wordt ingezoomd op de hoeveelheid (omvang) van de funderingsgerelateerde scheuren en de geobserveerde en/of vast te stellen zakking en scheefstand in relatie met de in Nederland van toepassing zijnde normen en richtlijnen met betrekking tot de minimale veiligheids- en functionaliteitseisen voor bestaande constructies en funderingen.

In de vervolgfase wordt daarom beoogd om op basis van een representatief aantal geselecteerde schadegevallen (waaronder bijvoorbeeld enkele uit de geïnventariseerde

pilot-objecten) nader te beoordelen op het soort schade, de mogelijke gecombineerde oorzaken en hoe deze kunnen worden opgelost.

Uiteindelijk kunnen op basis van de beoordeelde objecten uit fase 2 aanbevelingen worden gegeven voor uitbreiding van het huidige proces met een aanpak van funderingsherstel. Hierbij zullen zowel advies en aanbevelingen worden gegeven over de onderzoeksaanpak met betrekking tot de schadebeoordeling enerzijds, alsmede over de wijze van duurzaam funderingsherstel anderzijds.

5.3 Aandachtspunten

Hieronder staan nog enkele belangrijke aanvullingen op de aandachtspunten:

- Het onderzoek is gebaseerd op een beperkt aantal casussen. De intentie is om een totaaloverzicht te verkrijgen van de problematiek. De casussen zijn in principe *ad random* gekozen per gemeente. Dit betekent dat de verschillende objecten per gemeente nog minder representatief zijn.
- Voor een eventueel betere gewenste interpretatie per gemeente zou het aantal casussen moeten worden uitgebreid van de gewenste gemeente.
- Zo ook het aantal casussen per type object. Omdat er *ad random* een keuze is gemaakt met betrekking tot het beschikbaar stellen van de schaderapporten kan het zijn dat bepaalde type objecten, minder vertegenwoordigd zijn in de steekproef, zoals dat ook voor objecttype A4 het geval bleek te zijn, waardoor de scope is aangescherpt tot alleen de rijtjeswoningen, 2¹ kapwoningen, vrijstaande woningen en AGRO-woningen.
- Daarentegen kan het ook zo zijn dat in deze objecten minder schades aanwezig zijn. Aanbevolen wordt daarom, indien meer inzicht wordt gewenst van een bepaald type object, er hiervan meer in het onderzoek te betrekken. Het voordeel hierbij is dat in de vervolgfase dan ook beter kan worden beoordeeld of een oplossing toepasbaar is bij meerdere objecten.
- Naast een diepgaander onderzoek wordt ook aanbevolen om ook de steekproef realistischer te maken, waarbij niet zozeer *ad random* willekeurige objecten worden verkregen, maar dat wellicht per gemeente ook een betere verdeling wordt gemaakt per objectspecifiek of locatiespecifiek onderdeel.

5.4 Disclaimer

De inventarisatie is beperkt tot de via het IMG beschikbaar gestelde rapporten van de objecten en datagegevens welke in dit rapport volledig zijn geanonimiseerd. Hoewel de 81 + 6 ter beschikking gestelde schaderapporten slechts een beperkte steekproef betreft ten opzichte van de uiteindelijk 115.015 beschouwde schade adressen en daardoor niet een volledig representatief beeld kan geven van alle aangetroffen schadegevallen, kunnen de onderzoeksresultaten niet worden herleid per adres. Specifiek is beoogd alleen een totaalbeeld te geven van de omvang en een differentiatie van het schadebeeld.

Het onderhavige funderingsonderzoek heeft *uitdrukkelijk niet tot doel de oorzaak van de schade als wel- of niet-aardbevingsgerelateerd te bestempelen*. Omdat de aanpak van de funderingsproblematiek ook een combinatie kan zijn tussen wel- en niet-aardbevingsgerelateerde schade, zal een causaal verband met specifiek één van de schadeoorzaken ook niet met terugwerkende kracht kunnen en mogen worden gelegd.

De funderingsproblematiek zal dan ook voor de vervolgfases worden afgebakend tot het bovengenoemde onderzoeksgebied. Deze heeft betrekking tot zowel woningen binnen de scope van de versterkingsopgave, waar funderingsproblematiek aanwezig is, als buiten deze scope waar duurzaam herstel van schade niet mogelijk is vanwege funderingsproblematiek.

6 Referenties

6.1 Regelgeving, normen en handleidingen

- [1] NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019 Eurocode 0 - Grondslagen van het constructief ontwerp en NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1990, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [2] NEN-EN 1991-1-1+C1:2019 Eurocode 1 – Belastingen op constructies – Deel 1-1: Algemene belastingen en NEN-EN 1991-1-1+C1:2011/NB:2011, Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-1, ICS 91.080.01
- [3] NEN 9997-1:2017 Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp van constructies - Samenstelling van: NEN-EN 1997-1 Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels; NEN-EN 1997-1/NB Nationale bijlage bij NEN-EN 1997-1 en NEN 9097-1: Aanvullende bepalingen voor het geotechnisch ontwerp (ontwerp). ICS 91.080.01; 93.020
- [4] NEN-EN 1998-1:2005 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen; NEN-EN 1998-1/C1:2009; NEN-EN 1998-1/A1:2013. ICS 91.120.25
- [5] NEN-EN 1998-5:2007 Eurocode 8 – Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies – Deel 5: Funderingen, grondkerende constructies en geotechnische aspecten. ICS 91.120.25 (informatief)
- [6] NEN 5491:2010, Kwaliteitseisen voor hout (KVH 2010) – Heipalen – Europees naaldhout, ICS 79.040
- [7] NEN 8700:2011, Grondslagen van de beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [8] NEN 8707:2018, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een bestaand bouwwerk bij verbouw en afkeur – Geotechnische constructies, ICS 91.010.30; 91.080.01
- [9] NPR 9998:2020, Beoordeling van de constructieve veiligheid van een gebouw bij nieuwbouw, verbouw en afkeuren – Geïnduceerde aardbevingen – Grondslagen, belastingen en weerstanden, ICS 91.080.01: 93.020
- [10] ABSC-NPR2020, Aardbevingen Groningen – Bouwkundig versterken, Applicatiedocument beoordeling Seismische Capaciteit (ABSC), versie 1.4, Nationaal Coördinator Groningen (NCG), september 2021
- [11] CUR 240, Richtlijn onderzoek en beoordeling van houten paalfunderingen onder gebouwen (F30), september 2016
- [12] CUR 242, Handboek Funderingsherstel – Op palen en op staal (F30), mei 2021
- [13] SBRCURNET/F30, onderzoek en beoordeling van funderingen op staal (ondiepe funderingen), februari 2014

- [14] SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken:2017, SBRCURnet, Delft, november 2017
- [15] Achtergronddocument bij H3 en H10 Funderingen van NPR 9998:2020 (module 5), NEN, januari 2021
- [16] Background document NPR-9998:2018 for Liquefaction and foundations, Deltares, 1208782-007-GEO-0004, version 01, 20 August 2018

6.2 Projectsamenhang referenties

- [17] Plan van Aanpak Inventarisatie funderingsproblematiek Groningen en aangrenzende gebieden, definitief-D06, Sweco, 23 mei 2022.
- [18] IMG Adviesdossiers: 81 diverse schaderapporten en 6 pilot studies (geanonimiseerd)
- [19] IMG Beoordelingsschema mijnbouwschade, 1 juli 2021
- [20] Bommer, J., et.al, *Updated Empirical GMPEs for PGV from Groningen Earthquakes*, NAM, march 2019 (achtergrond IMG Trillingstool)
- [21] De Vent, I.A.E., *Structural damage in masonry*, proefschrift, TU Delft, 2011 (ISBN: 978-90-8570-759-2)
- [22] Van Staalduinen, P.C., Terwel, K.C., Rots, J.G., *Onderzoek naar de oorzaken van bouwkundige schade in Groningen*, TU Delft, 11 juli 2018
- [23] Van Staalduinen, P.C., Everts, H.J., *Over de invloed van trillingen door bevingen op zettingen van gebouwen*, TU Delft, 16 december 2020

6.3 Overige publicaties

- [24] Khoshnoudian F. et.al., *Evaluation of FEMA-440 for including soil-structure interaction*, Earthquake engineering and engineering vibration, Vol.9, No.3, September 2010
- [25] Deeksen, J.W., et.al., *De effecten van Soil Structure Interaction*, Bouwen met Staal, februari 2017
- [26] Protocol schade landbouw door geïnduceerde aardbevingen, Grontmij Nederland, Groningen juni 2014
- [27] Mijnbouwschade aan mestkelders, inzichten voor een nieuw beoordelingskader, Instituut Mijnbouwschade Groningen (IMG), 11 september 2020
- [28] Validatierapport GEO_012, Evaluation and clustering nonlinear SSI-curves for shallow foundations, Sweco, December 2021

- [29] Typologie-gebaseerde beoordeling van de veiligheid bij aardbevingen in Groningen, TNO-rapport R11002B, september 2021
- [30] Typology Modelling: Explicit MDOF Validation of Fragility Functions, URM3L/URM4L, Arup, July 2019
- [31] Bodemdaling door Aardgaswinning, NAM, doc.nr.: EP201006302236, september 2010
- [32] Technisch addendum bij Winningsplan 2016, productie, bodemdaling, geïnduceerde bevingen en seismische dreiging en risicobeoordeling seismische activiteit in het Groningen gasveld, NAM, doc.nr.: EP201603238413, april 2016
- [33] Klimaatschadeschatter, Rapportage 2020, NKWK, 7 december 2020
- [34] Klimaateffectatlas, Risicokaarten funderingen: Technische toelichting risicokaarten funderingen, Deltares, 22 april 2021 ([Risicokaarten funderingen - Klimaateffectatlas](#))
- [35] Klimaateffectatlas, Signaalkaarten Bodemdaling: Validation Soil subsidence in the Netherlands, Deltares/STOWA/SAT-Water/GVL, 12 juni 2019 ([Signaalkaarten bodemdaling - Klimaateffectatlas](#))
- [36] Rots, J.G., et.al., *Computational modelling checks of masonry building damage due to deep subsidence*, TU Delft, February 19, 2021
- [37] Pluymaekers, M.P.D. et.al., *Effecten diepe bodemdaling en -stijging rondom de gasopslag Norg en het Groningenveld*, TNO, 2020R12068, 24 februari 2021
- [38] Kooi, H., et.al., *Indirecte schade-effecten van diepe bodemdaling en -stijging bij het Groningen gasveld en gasopslag Norg*, Deltares, 30 augustus 2021 (doc.nr.: 11207096-002-BGS-0001)
- [39] Borsje, H., De Richemont, S.A.J., *Methodiek voor onderzoek naar oorzaak van gebouwschade*, TNO, Delft, 2011.
- [40] Basisregistratie Adressen en Gebouwen – BAG Kadaster, Esri Nederland, 2021
- [41] Teeuwen, P.A., Dijk, M.S., *Stabiliteitssystemen volgens Eurocode 8*, Aardbevingsbestendig ontwerpen, modellering constructie, Bouwen met Staal, april 2016
- [42] Walraven, J.C., et.al., *Beperking schade door aardbevingen in Noord Oost Nederland*, Position Paper NEN werkgroep 351 001 01 01 “Aardbevingen”, December 2017
- [43] Kader Verzwakte Constructies, NCG, werkversie 30 november 2021
- [44] Kader Verzwakte Constructies, Beslisboom ten behoeve van uitvoerders NCG, V1.0, 25 november 2021
- [45] COB Aanbeveling voor het ontwerp van bouwkuipen in stedelijke omgeving. Eindrapport F530-ER-12-49785

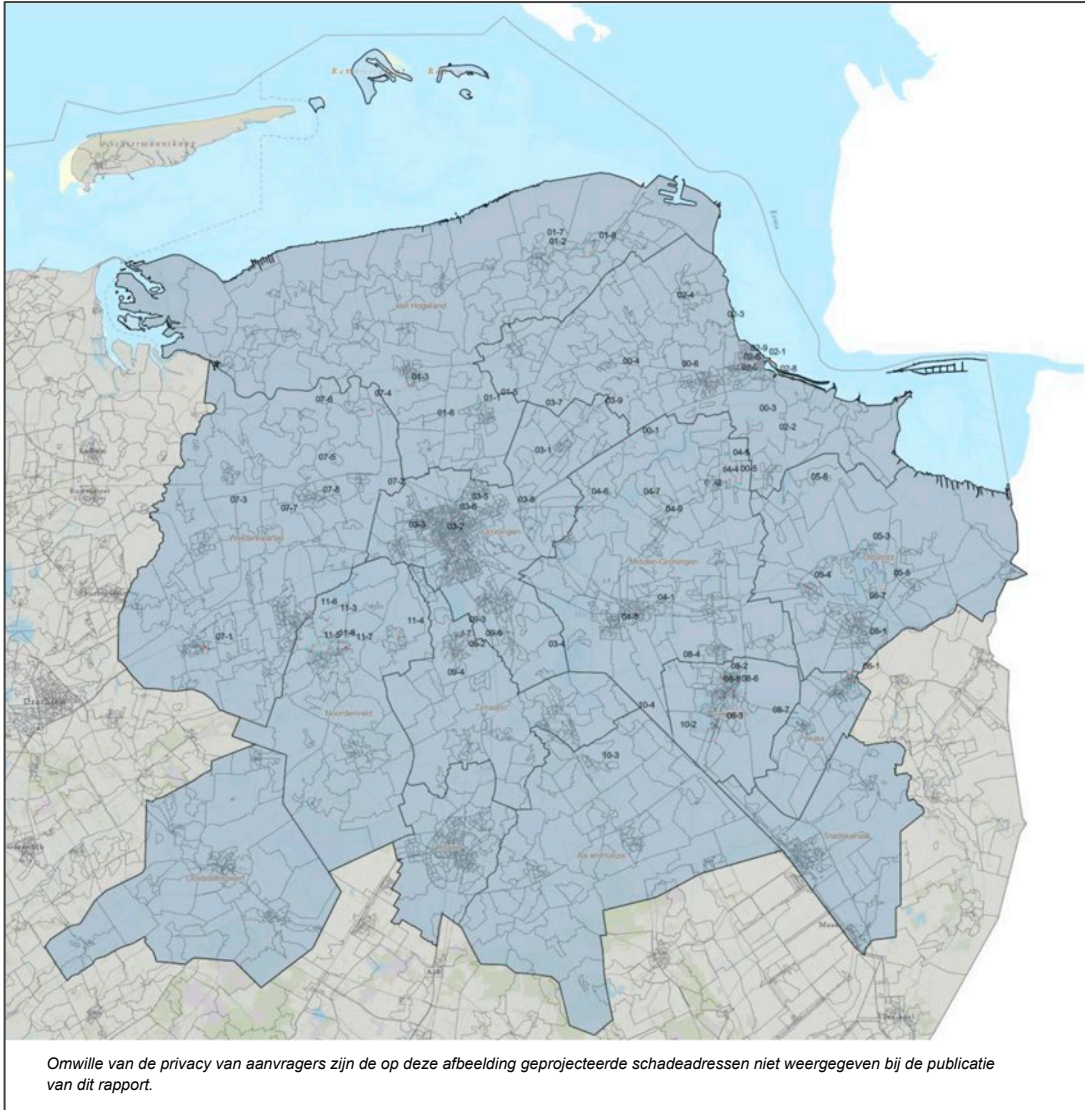
- [46] Vos, P. et.al, *Atlas van Nederland in het Holoceen. Landschap en bewoning vanaf de laatste ijstijd tot nu*, Amsterdam, 2018
- [47] TNO DINOloket, TNO Geologische Dienst Nederland, 2022
- [48] Burland, J.B., et.al., *Behaviour of foundations and Structures, Review*, Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977, Tokyo, Japan, 495-546
- [49] EMS-98 European Macroseismic Scale 1998, European Seismological Commission, subcommission on Engineering Seismology – Volume 15, Working Group Macroseismic Scales, Luxembourg 1998
- [50] Cohen, J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences*, 2nd edition, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1988

Bijlage 1 Ligging locaties

B1.1 **Verspreiding locaties en begrenzingen gemeentes en PG4-gebieden**

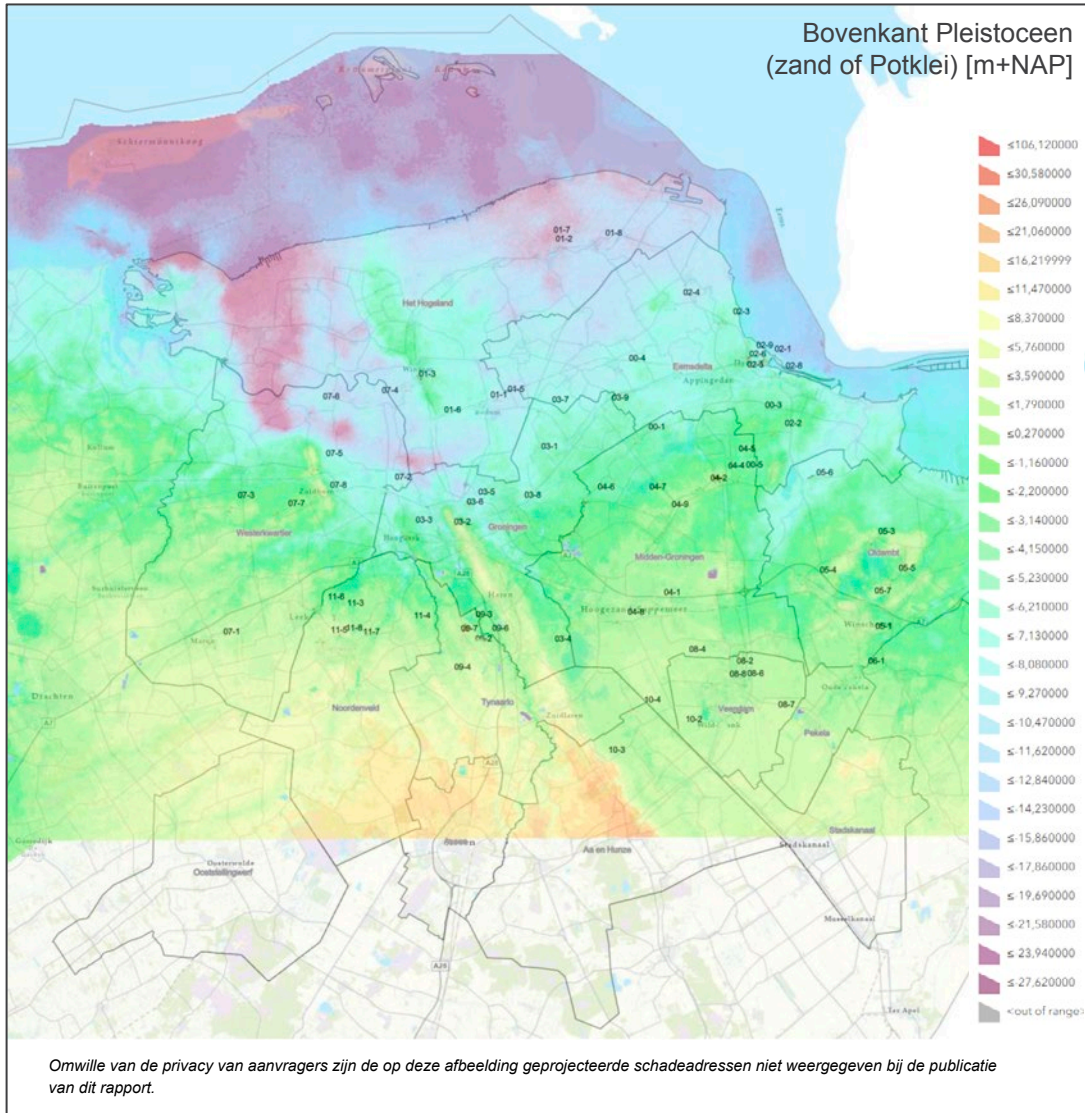


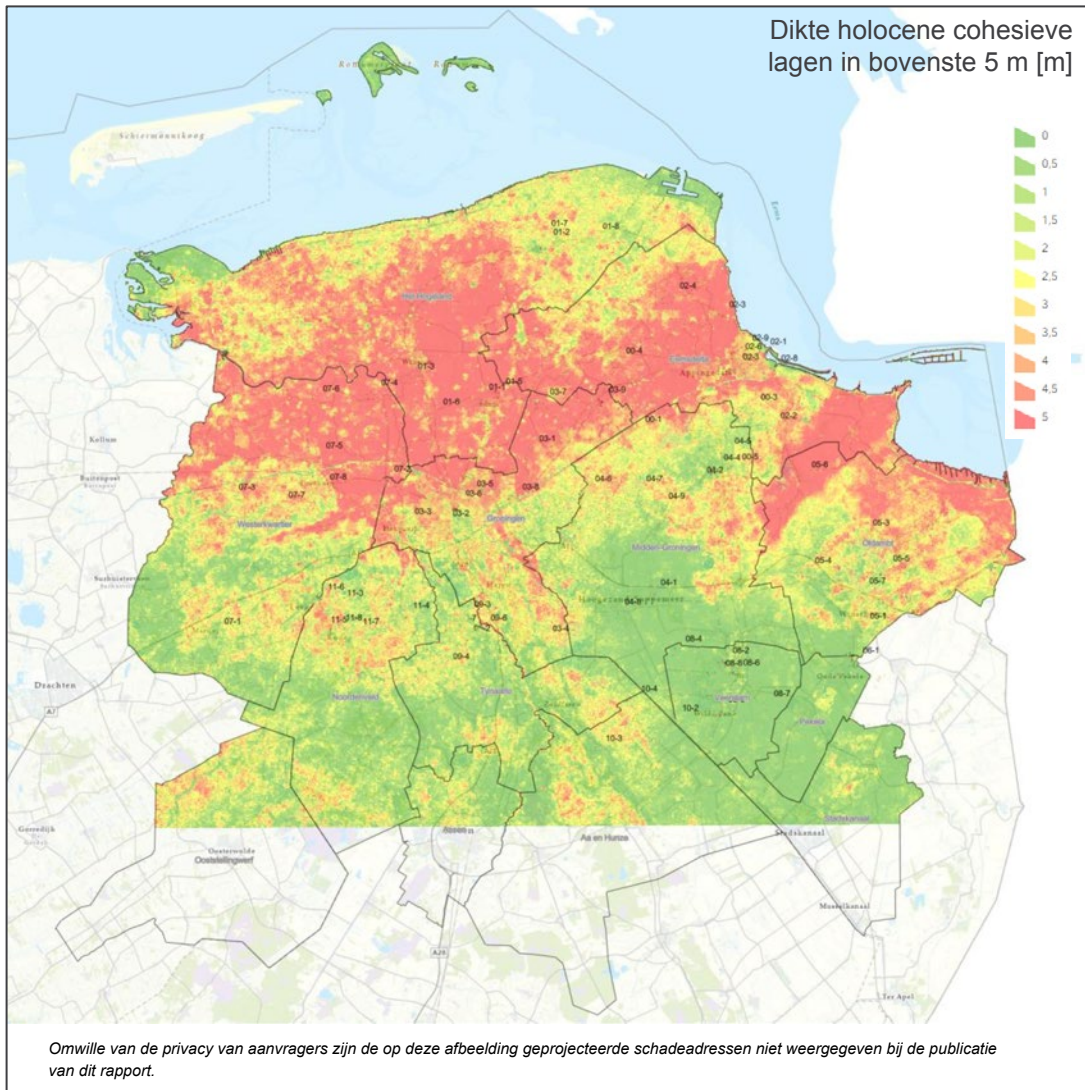
B1.2 **Verspreiding locaties en begrenzingen gemeentes en PG5-gebieden**

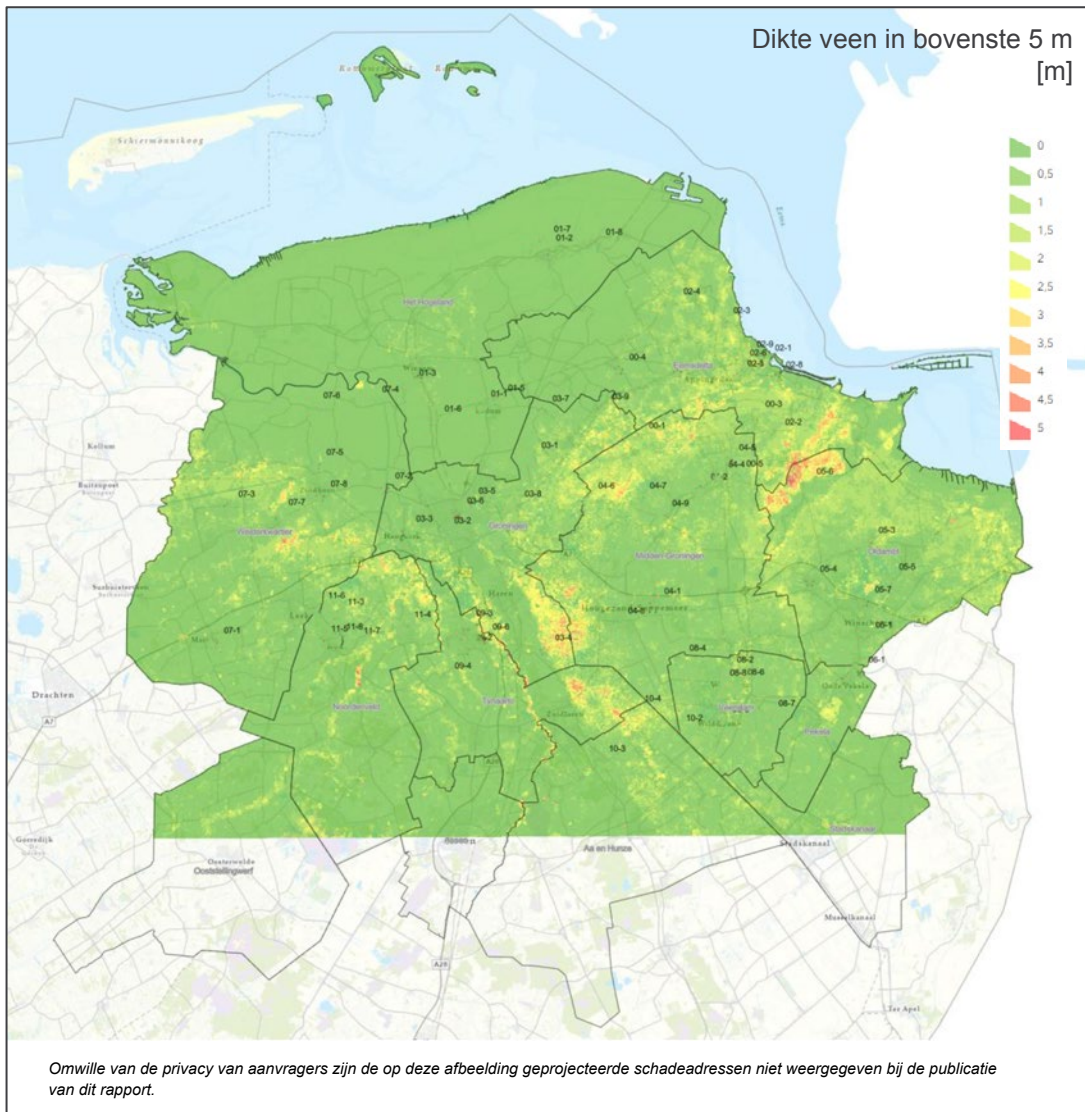


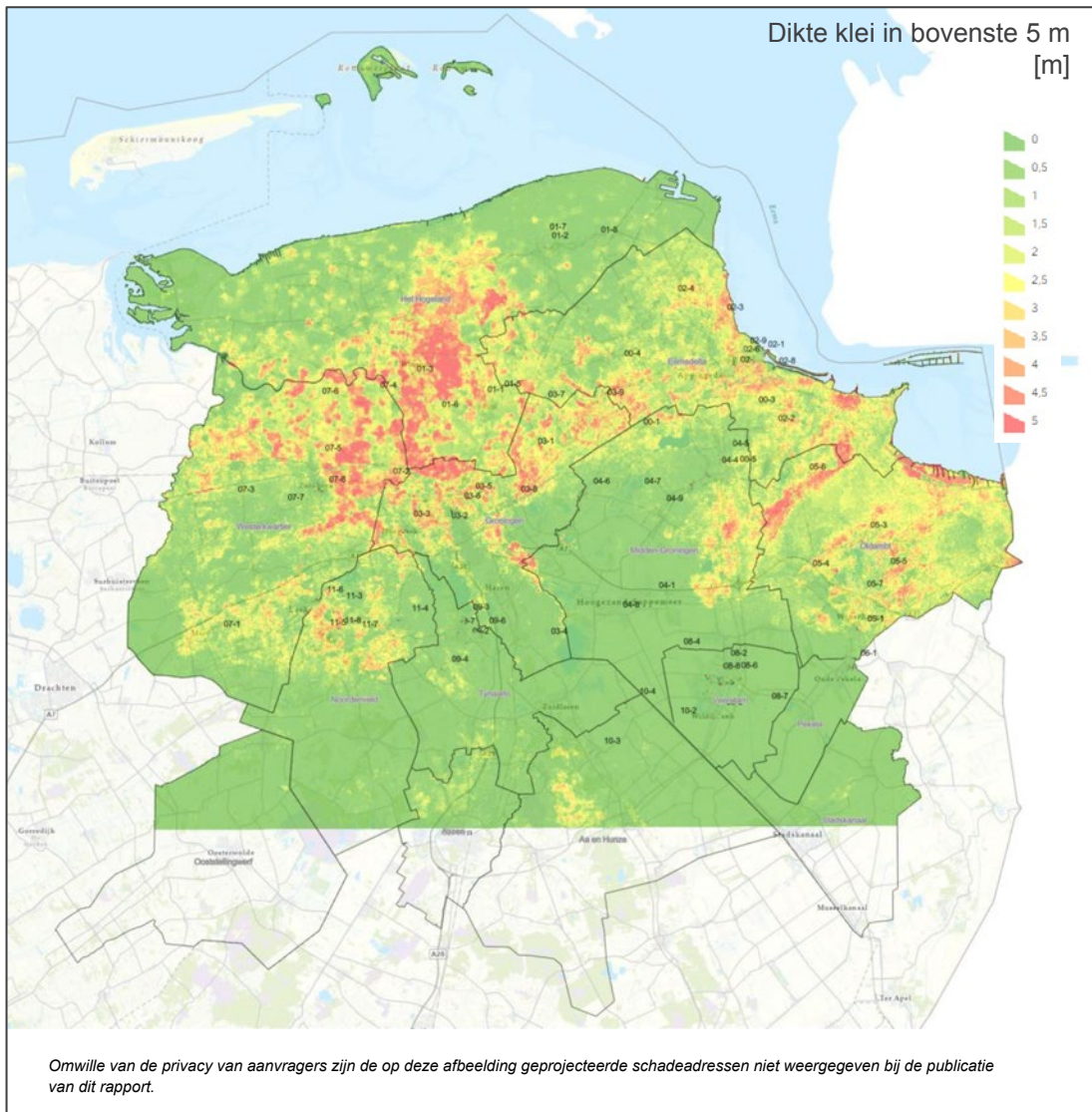
Bijlage 2 Kaartlagen locatiegerelateerde aspecten

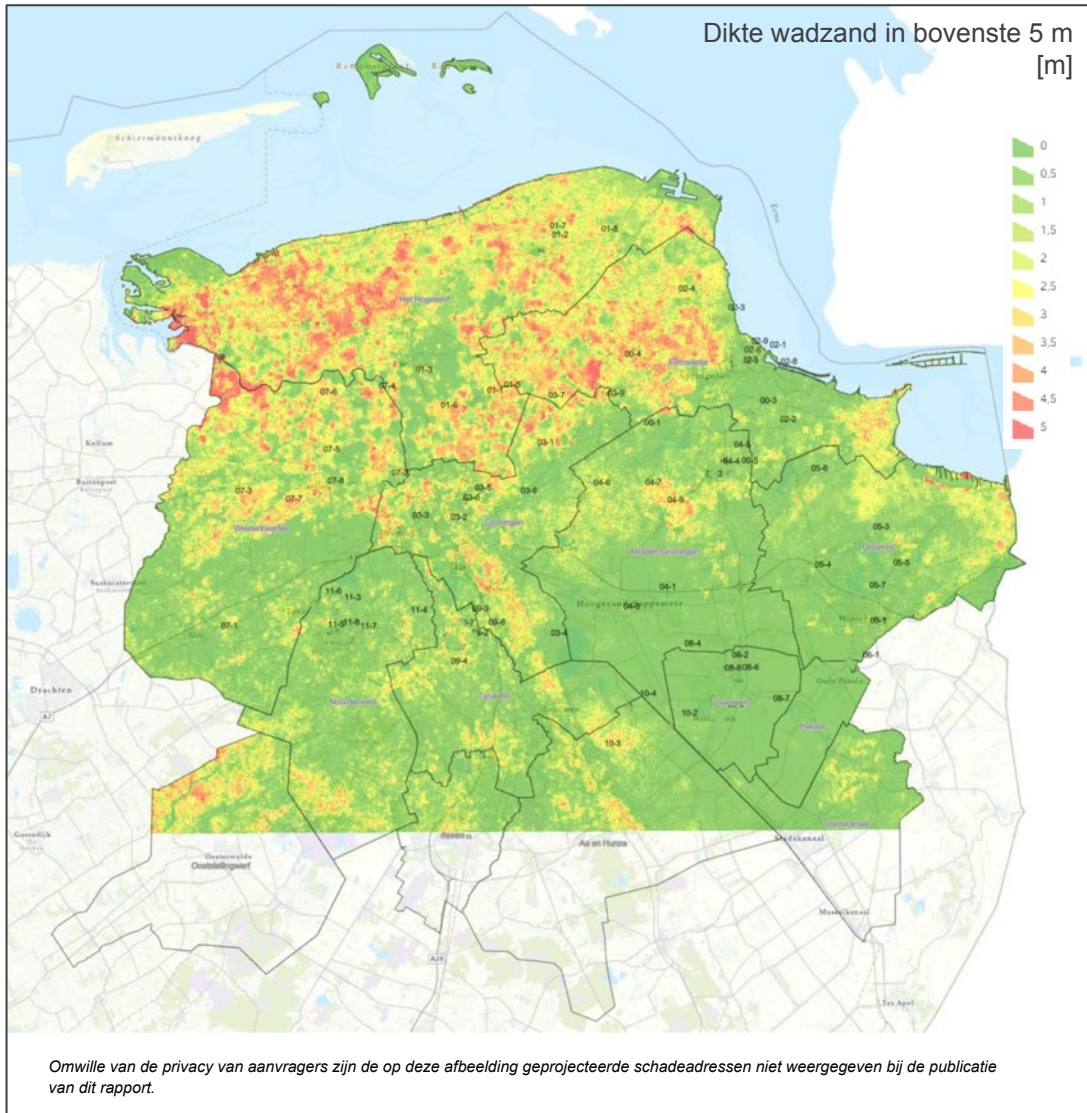
B2.1 Kaartlagen grondmechanische aspecten

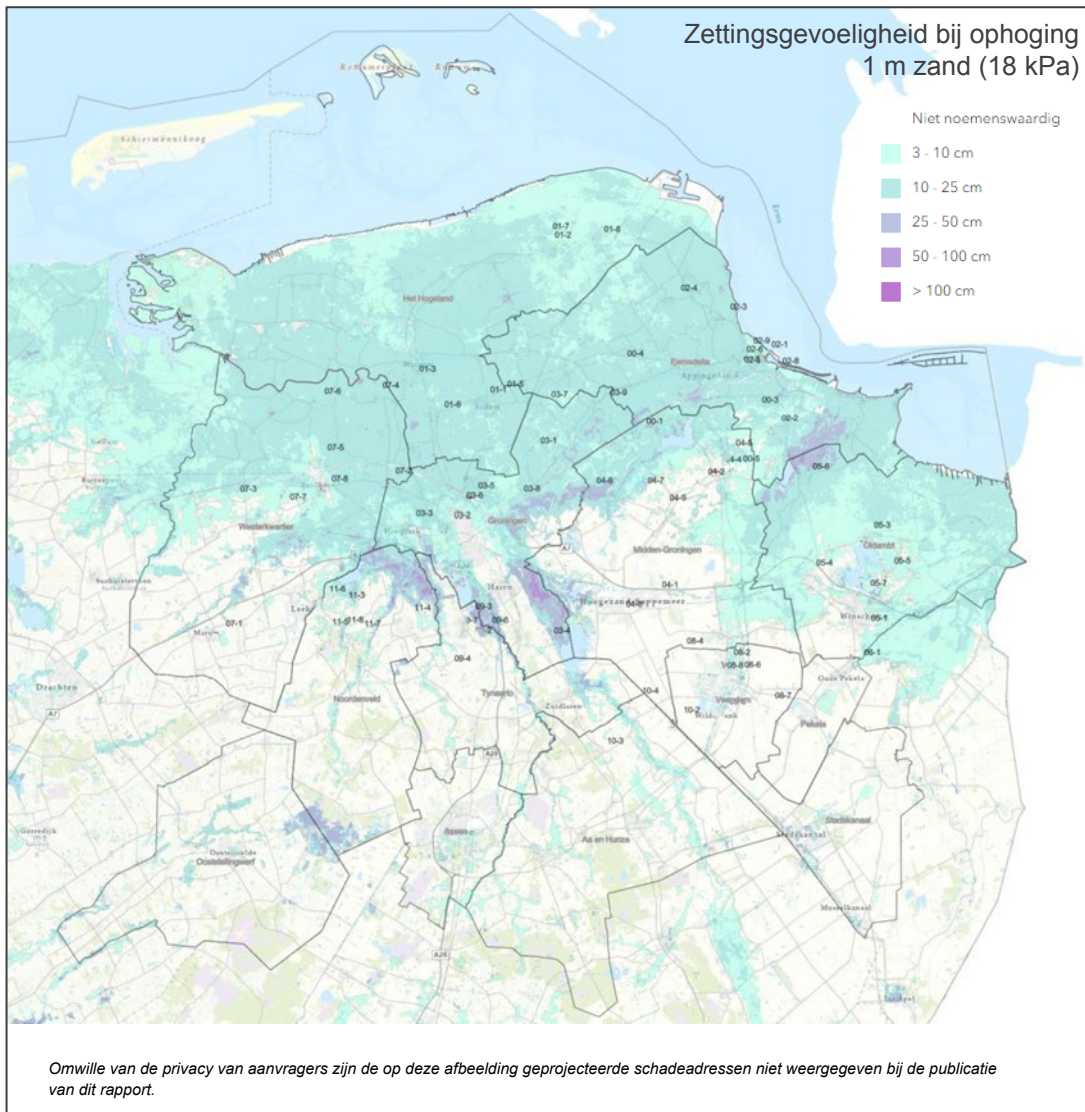




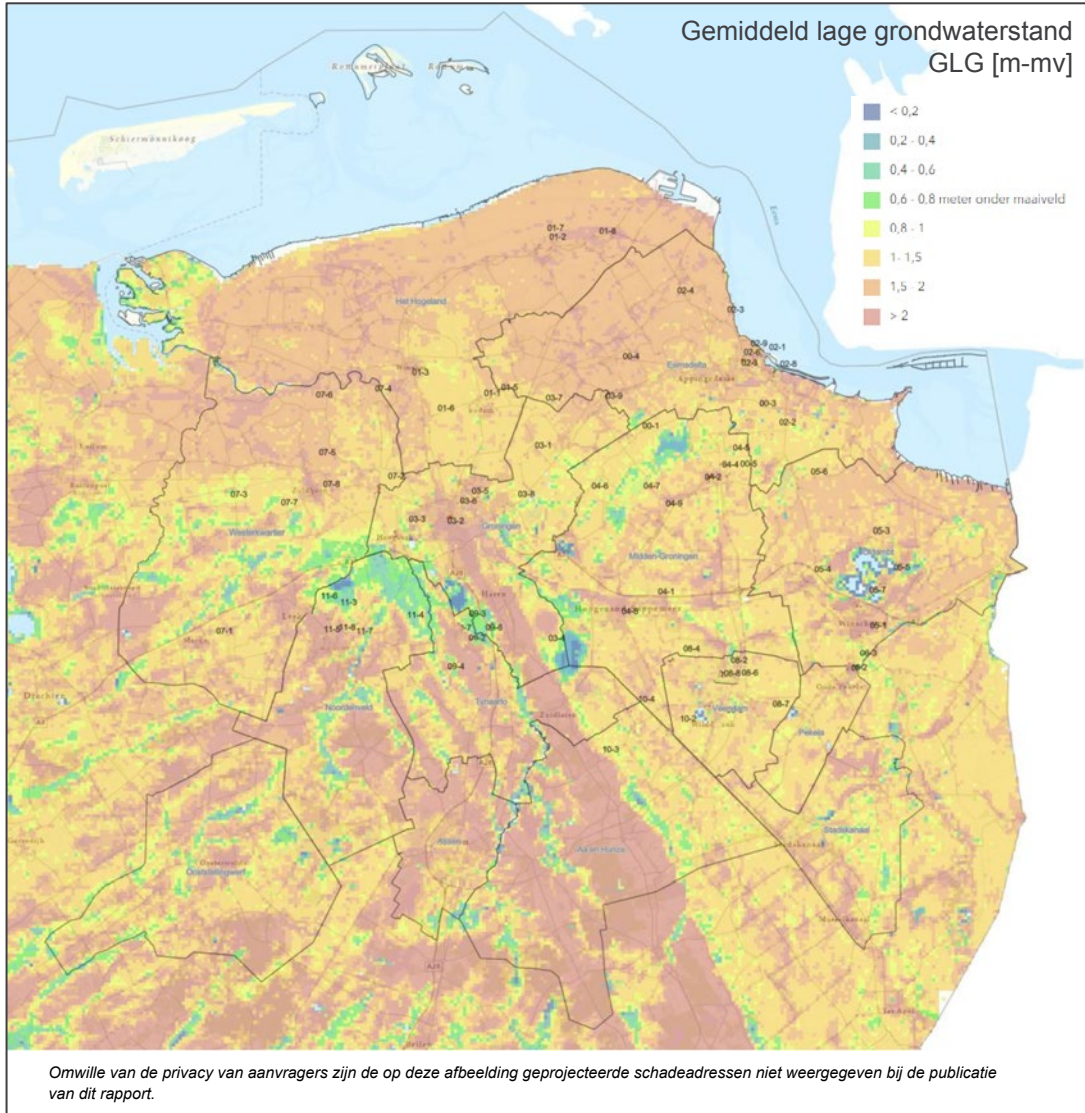


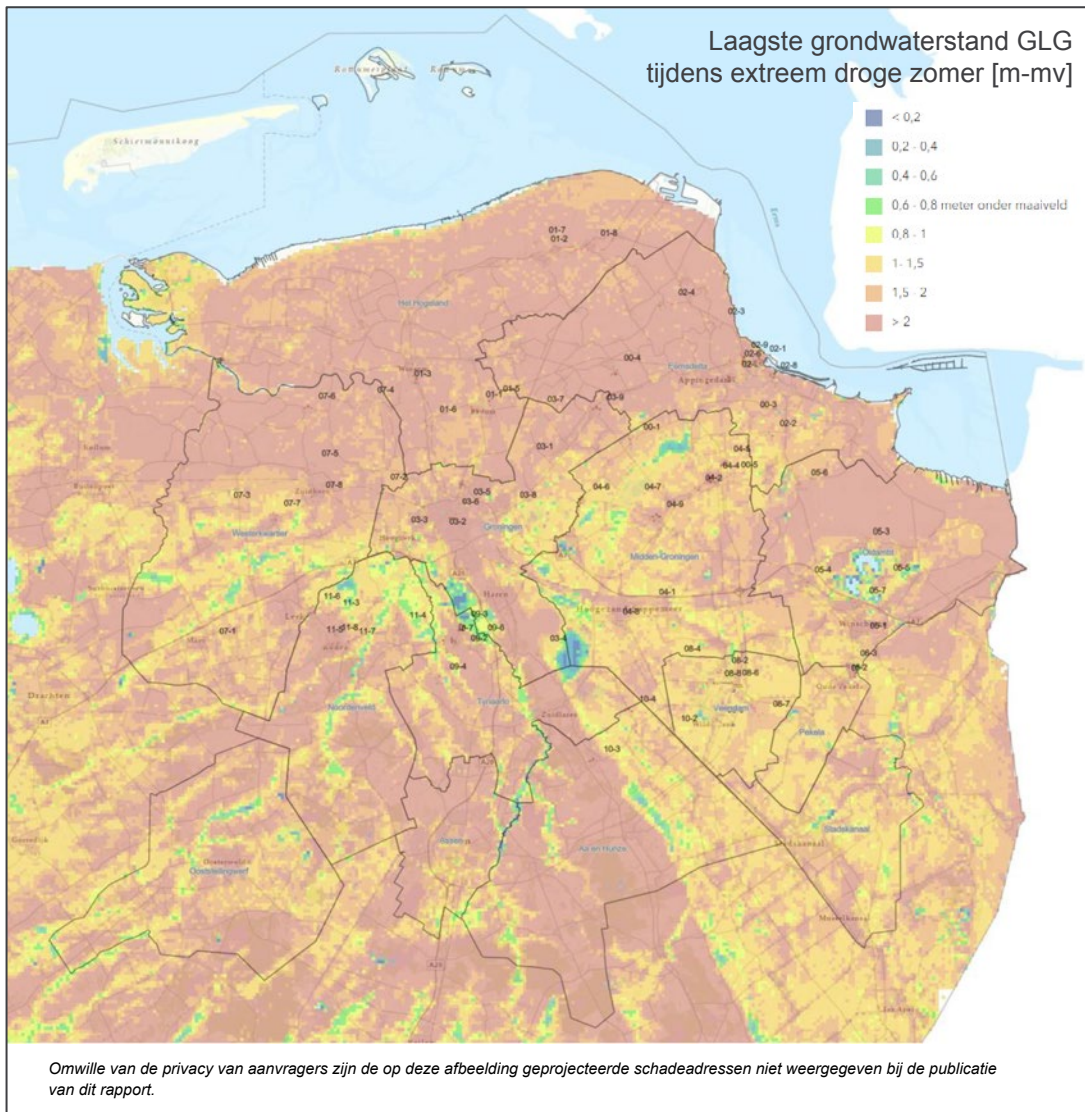


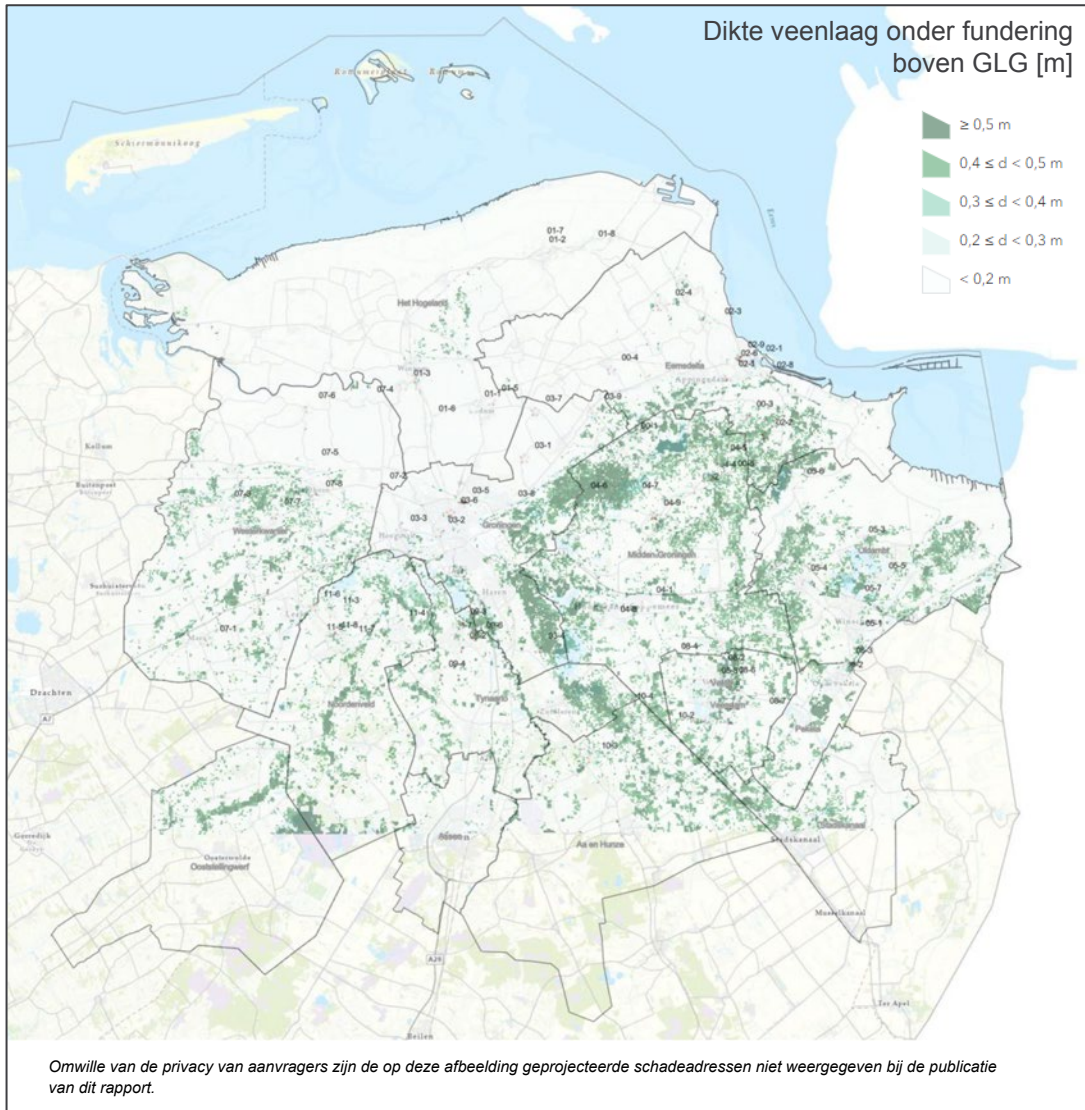




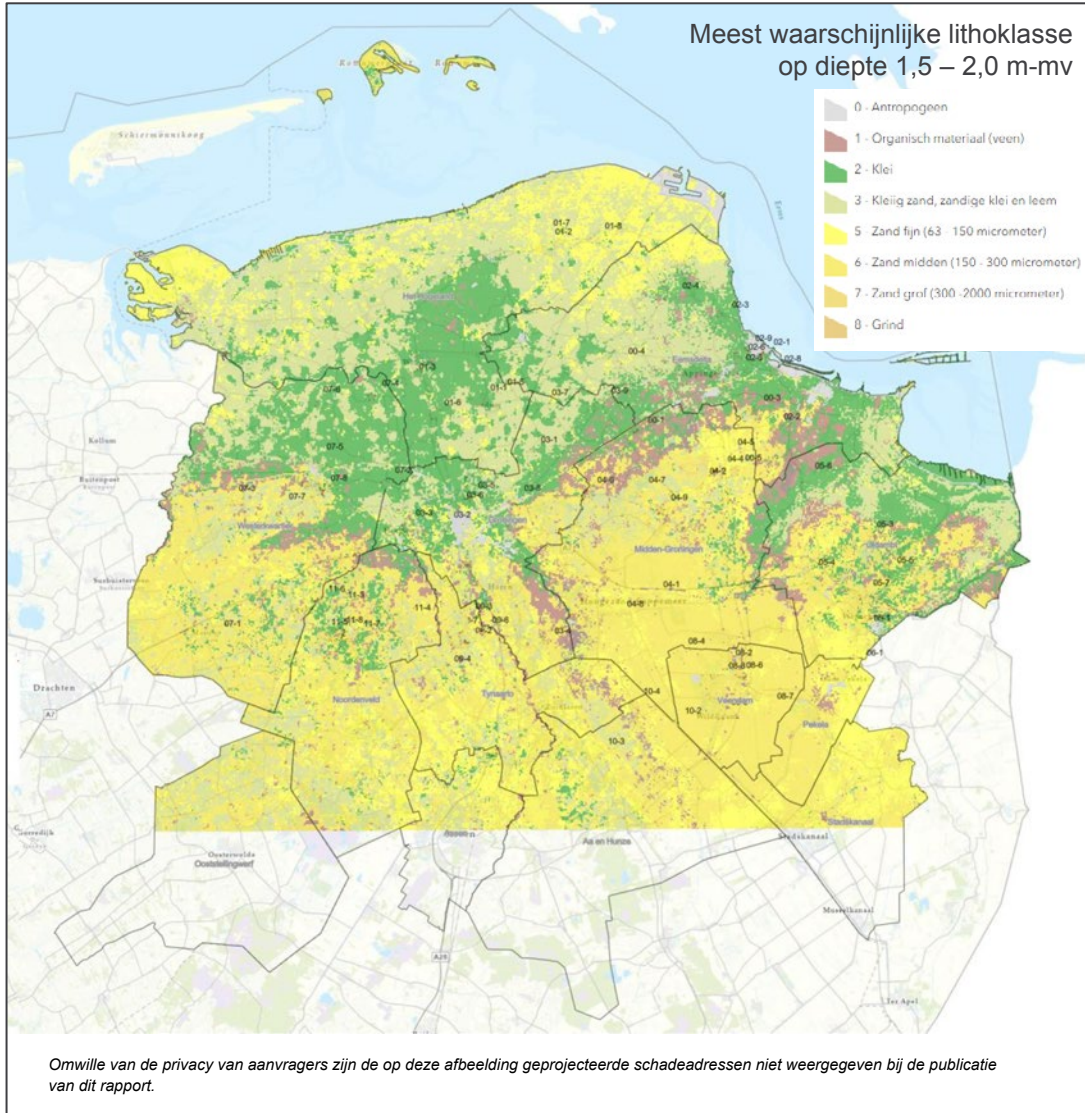
B2.2 Kaartlagen geohydrologische aspecten

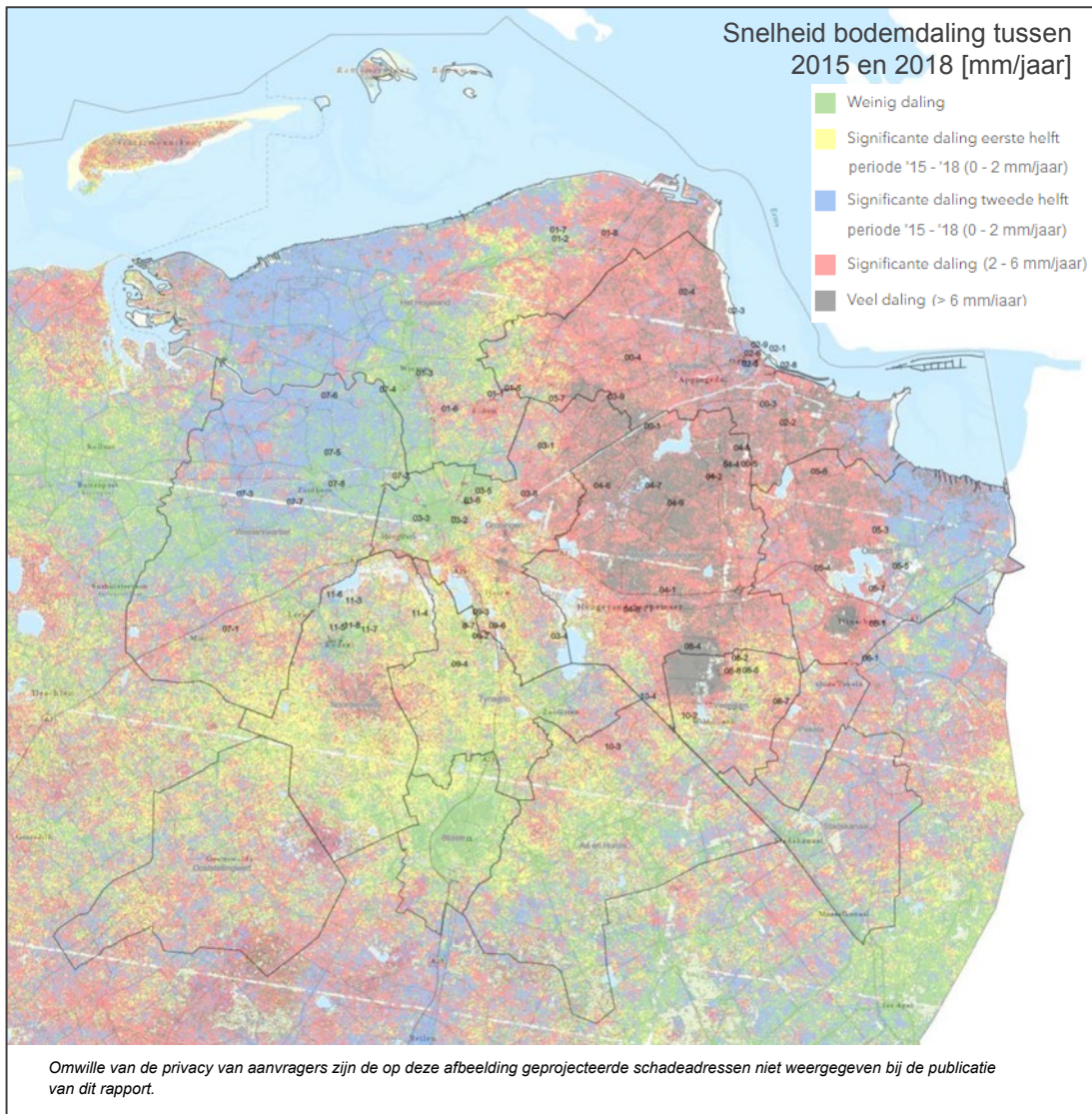




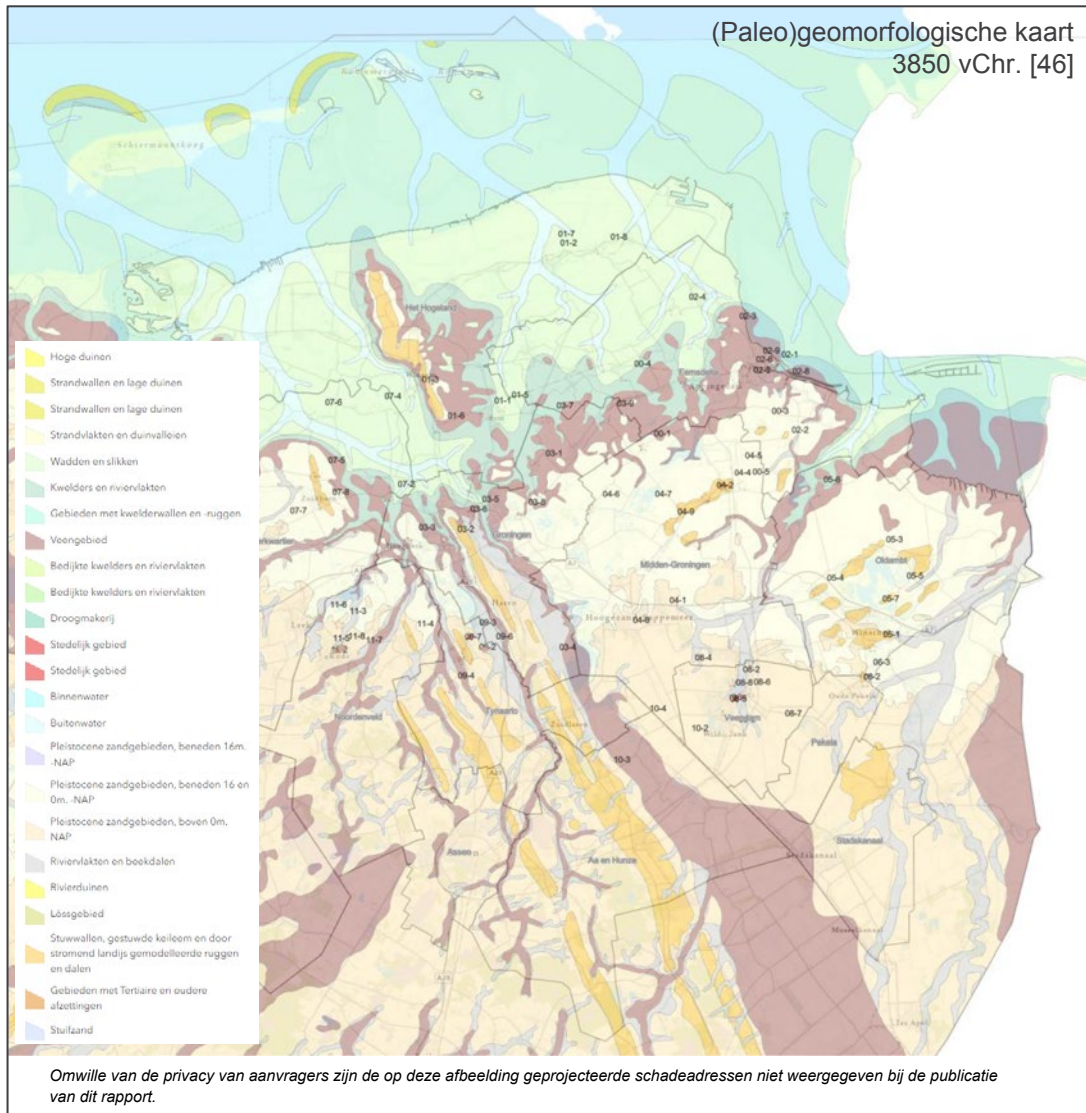


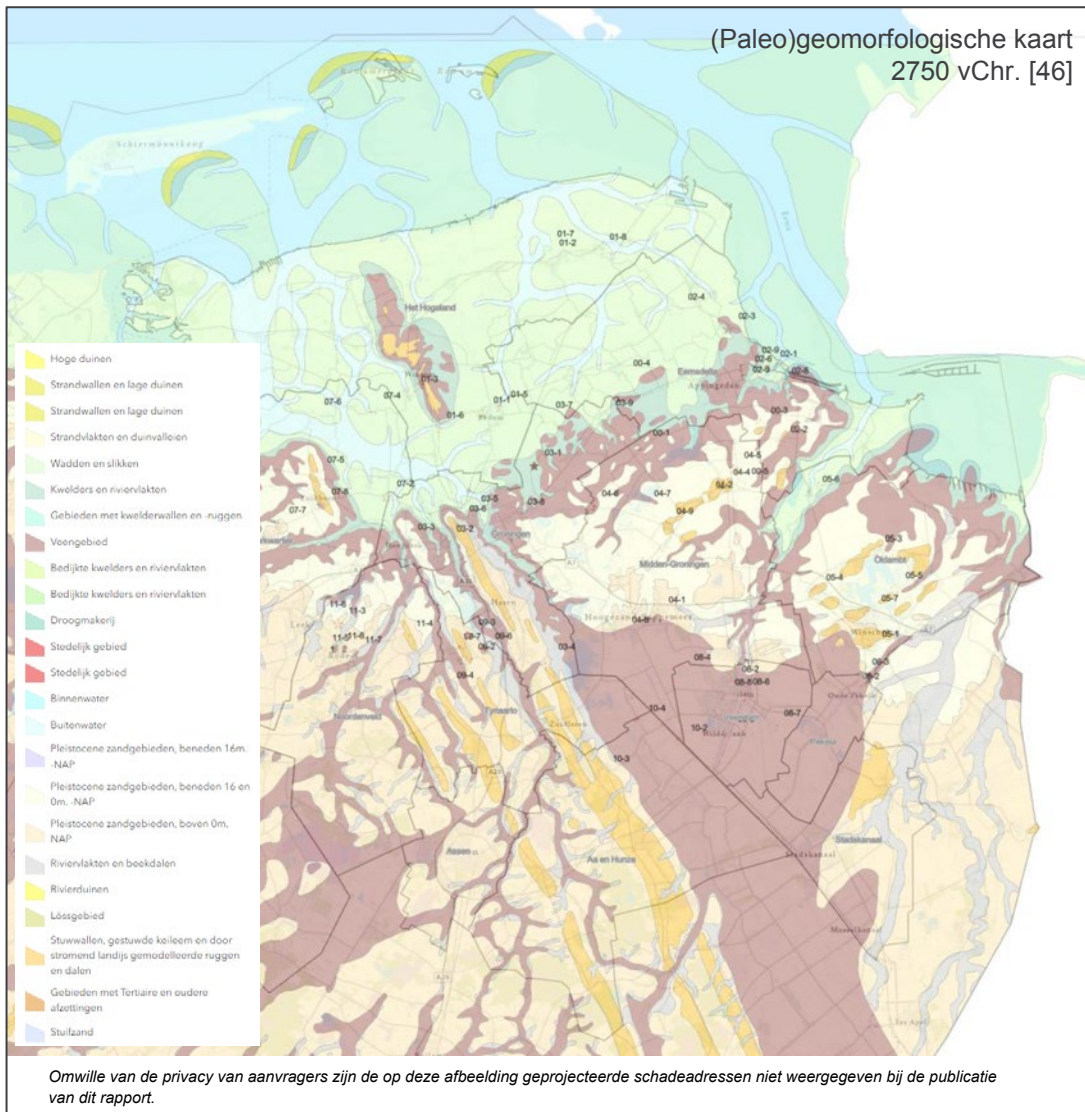
B2.3 Kaartlagen seismische en aardbevingsgerelateerde aspecten

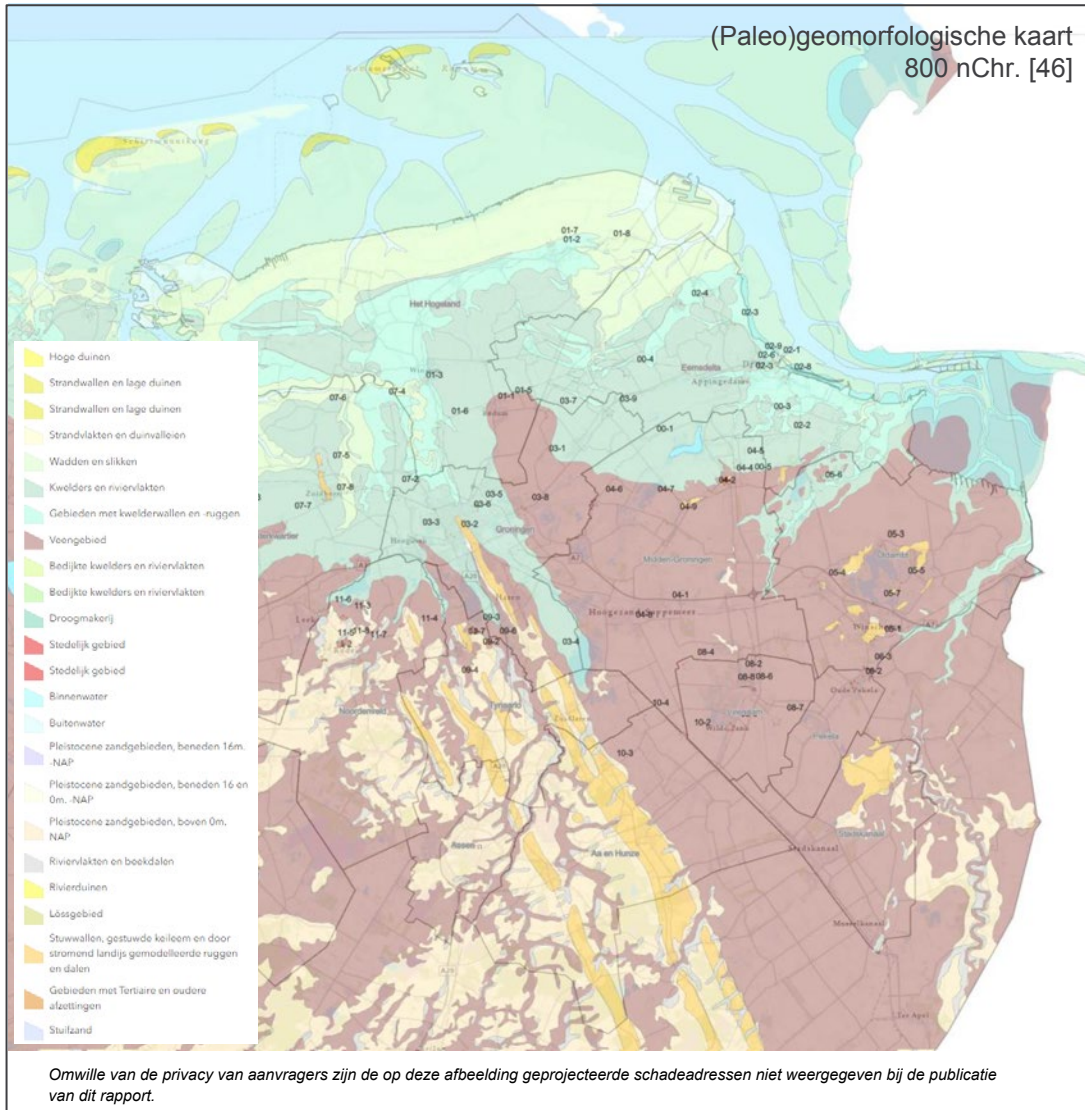


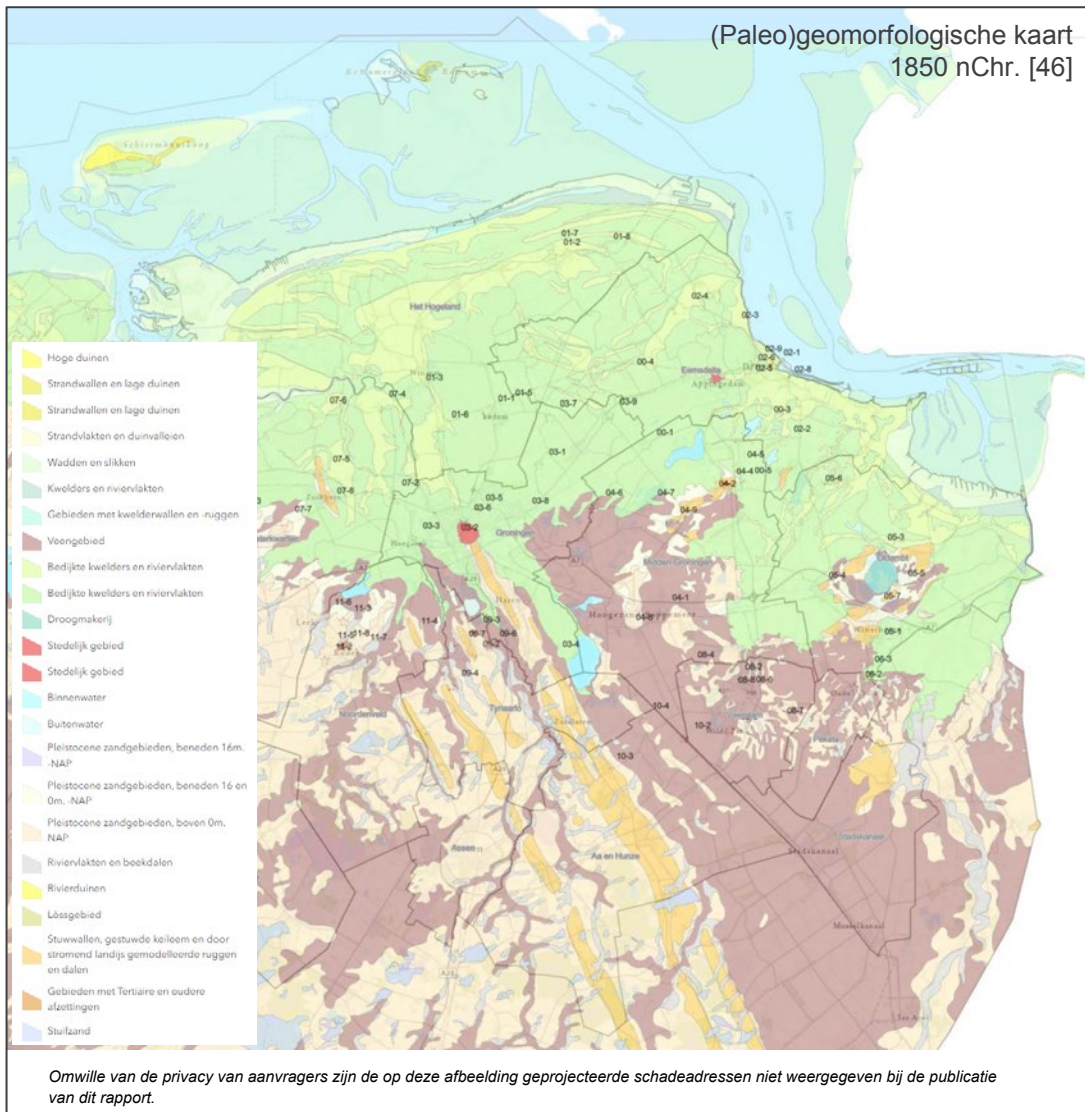


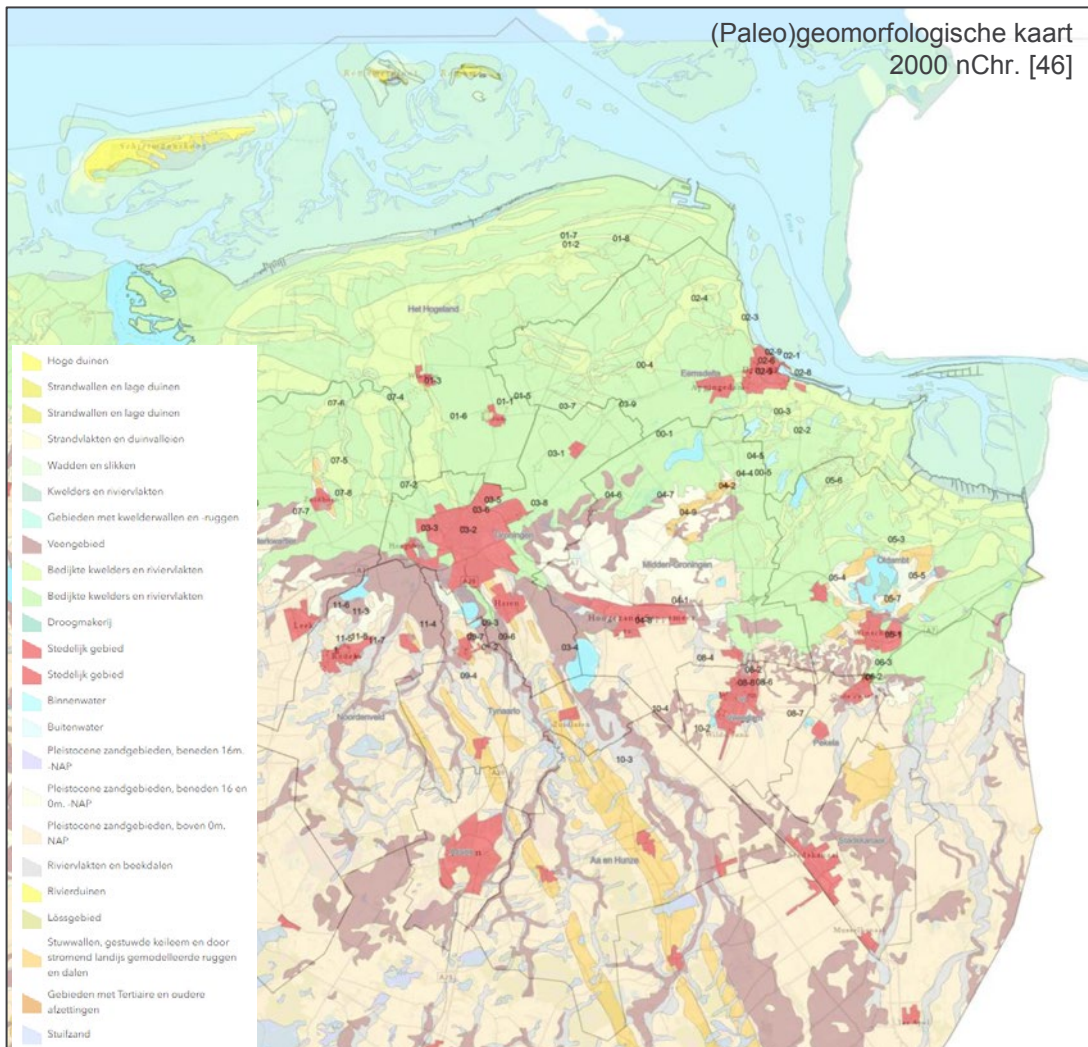
B2.4 Kaartlagen lokale en geomorfologische aspecten











Bijlage 3 Resultaten inventarisatie objectgerelateerde aspecten

B3.1 Resultaten inventarisatie per object

Gemeente	Codering object	Postcode PC6	Type object	Type draagconstructie	Bouwjaar object	Type(n) fundering	Aanwezigheid kelder	Latere aanbouw	Wijziging gebruik	Maatgevende funderingsschadeklasse	Aandeel funderings-gereleerde schade
00. Pilotstudies	00-1	9625	A3	B1	C1	F1.1, F1.2, F2.2	+	+	+	D3	59%
	00-2	9901	A3	B1	C1	F1.1	+	-	-	D4	44%
	00-3	9937	A2	B1	C1	F1.1	+	+	-	D3	44%
	00-4	9919	A2	B1	C1	F1.1	+	-	-	D2	18%
	00-5	9628	A3	B1	C1	F1.1	+	-	-	D3	48%
	00-6	9901	A4	B1	C1	F1.1	-	-	-	D2	50%
01. Het Hogeland	01-1	9781	A1	B2	C2	F1.1	+	+	-	D0	0%
	01-2	9981	A2	B2	C3	F1.3	+	-	-	D2	9%
	01-3	9951	A3	B2	C1	F1.1	+	-	+	D4	20%
	01-4	9951	A2	B2	C2	F1.1	-	+	-	D1	33%
	01-5	9781	A1	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	01-6	9771	A1	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	01-7	9981	A2	B1	C1	F1.1	-	+	-	D2	38%
	01-8	9982	A1	B2	C2	F1.1	+	0	0	D2	7%
02. Delfzijl / Eemsdelta	02-1	9934	A2	B1	C1	F1.1	+	+	+	D2	15%
	02-2	9937	A2	B2	C1	F1.1	+	-	-	D2	13%
	02-3	9905	A2	B2	C3	F1.3	-	+	-	D2	13%
	02-4	9908	A2	0	C2	F1.1	-	-	-	D2	64%
	02-5	9932	A2	B2	C3	F2.3	-	+	-	D2	8%
	02-6	9932	A1	B2	C2	F2.1	-	-	-	D1	13%
	02-7	9908	A3	B1	C1	F1.1	-	+	-	D3	20%
	02-8	9936	A1	B2	C2	F1.1	-	+	-	D0	0%
	02-9	9931	A1	B2	C2	F1.1	-	+	-	D0	0%
03. Groningen (stad)	03-1	9797	A2	B1	C1	F1.1	-	-	-	D3	30%
	03-2	9718	A1	B1	C1	F1.1	-	-	-	D0	0%
	03-3	9745	A2	B1	C1	F1.1	+	+	-	D3	31%
	03-4	9479	A2	B2	C3	F1.1	-	0	0	D2	2%
	03-5	9715	A1	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	03-6	9715	A2	B1	C1	F1.1	-	-	-	D2	19%
	03-7	9796	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	03-8	9734	A2	B2	C2	F1.1	+	+	-	D2	29%
	03-9	9792	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D1	8%
04. Midden-Groningen	04-1	9611	A1	B1	C1	F1.1	-	-	-	D2	19%
	04-2	9627	A2	B1/B2	C1	F1.1	-	+	+	D2	25%
	04-3	9602	A1	B2	C3	F1.3	-	+	-	D0	0%
	04-4	9628	A2	B2	C2	F1.1	-	-	-	D2	22%
	04-5	9628	A3	B1	C1	F1.1	+	+	-	D2	40%
	04-6	9623	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D2	56%
	04-7	9621	A2	B1	C1	F1.1	-	-	-	D2	45%
	04-8	9602	A1	B2	C2	F1.1	-	0	0	D0	0%
	04-9	9621	A1	B2	C3	F1.3	-	-	-	D1	25%
05. Oldambt	05-1	9673	A1	B2	C2	F1.3	+	-	-	D2	41%
	05-2	9944	A1	B3	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	05-3	9682	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	05-4	9679	A2	B2	C3	F1.3	+	+	+	D2	3%
	05-5	9682	A2	B2	C3	F1.3	+	-	-	D0	0%
	05-6	9944	A3	B1	C1	F1.1	+	-	-	D4	41%
	05-7	9675	A1	B2	C3	F2.1?	-	+	-	D2	33%
	05-8	9944	A3	B1	C1	F1.1	+	+	+	D3	38%
06. Pekela	06-1	9665	A2	B1	C1	F1.1	+	-	-	D3	44%
	06-2	9665	A1	B2	C2	F1.1	+	-	-	D1	13%
	06-3	9665	A2	B2	C3	F1.3	-	-	-	D0	0%
07. Westerkwartier	07-1	9363	A2	B2	C3	F1.3	-	-	-	D2	21%
	07-2	9831	A1	B1	C1	F1.1	-	-	-	D2	22%
	07-3	9862	A2	B1	C1	F1.1	+	-	-	D2	20%
	07-4	9892	A2	B1	C1	F1.1	-	+	-	D2	17%
	07-5	9804	A1	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	07-6	9883	A2	B1	C1	F1.1	-	+	-	D2	68%
	07-7	9822	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D1	2%
	07-8	9801	A1	B2	C2	F2.1	-	+	-	D1	8%
08. Veendam	08-1	9641	A1	B2	C2	F1.3	+	-	-	D2	56%
	08-2	9646	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	08-3	9648	A2	B2	C2	F1.3	-	+	-	D0	0%
	08-4	9631	A2	B1	C1	F1.1	+	-	-	D1	8%
	08-5	9642	A1	B2	C3	F1.3	-	-	-	D0	0%
	08-6	9641	A2	B1	C1	F1.1	+	+	-	D2	5%
	08-7	9644	A3	B1	C1	F1.1	-	+	+	D3	35%
	08-8	9642	A1	B2	C2	F1.3	-	-	-	D1	3%
09. Tynaarlo	09-1	9761	A1	B2	C3	F1.3	-	-	-	D1	12%
	09-2	9761	A2	B2	C3	F1.3	-	+	-	D0	0%
	09-3	9765	A2	B2	C2	F1.3	-	+	-	D0	0%
	09-4	9496	A3	B2	C3	F1.3	-	-	-	D0	0%
	09-5	9761	A3	B1	C1	F1.1	-	-	-	D2	56%
	09-6	9761	A3	B1	C1	F1.1	-	+	+	D1	25%
	09-7	9761	A1	B2	C3	0	-	-	-	D1	6%
10. Aa en Hunze	10-1	9761	A1	B2	C2	F1.1	-	-	-	D2	13%
	10-2	9654	A1	B2	C2	F1.1	+	+	-	D0	0%
	10-3	9468	A2	B2	C3	F1.3	-	-	-	D1	4%
	10-4	9655	A2	B2	C2	F1.3	-	-	-	D2	12%
11. Noorderveld	11-1	9301	A1	B2	C2	F1.1	-	+	-	D2	24%
	11-2	9302	A1	B2	C3	F1.3	-	-	-	D0	0%
	11-3	9313	A3	B1	C1	F1.1	+	-	-	D4	7%
	11-4	9321	A2	B2	C2	F1.1	+	-	-	D3	13%
	11-5	9302	A2	B2	C3	F2.3	-	+	-	D0	0%
	11-6	9312	A2	B2	C3	F2.3	-	-	-	D0	0%
	11-7	9301	A2	B2	C2	F1.3	-	+	-	D1	7%
	11-8	9301	A1	B2	C2	F1.3	-	+	-	D2	9%

Gemeente	Codering object	Postcode PC6	Aangetroffen verzakkingen				Zettingsscheuren wanden			Zettingsscheuren vloeren			Externe schade	
			Z1	Z2	Z3	Z4	W1	W2	W3	V1	V2	V3	U1	U2
00. Pilotstudies	00-1	9625	+	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	0
	00-2	9901	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0
	00-3	9937	-	-	+	0	+	+	+	0	0	0	0	0
	00-4	9919	+	-	0	-	+	-	-	0	0	0	0	0
	00-5	9628	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	00-6	9901	+	-	+	-	+	+	-	0	0	+	0	0
01. Het Hogeland	01-1	9781	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	01-2	9981	-	-	-	-	-	0/+	-	-	-	-	-	?
	01-3	9951	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-	-
	01-4	9951	-	-	+	-	-	0	-	-	-	0	-	-
	01-5	9781	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	01-6	9771	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	01-7	9981	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+
	01-8	9982	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-
02. Delfzijl / Eemdelta	02-1	9934	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	02-2	9937	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	02-3	9905	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
	02-4	9908	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	02-5	9932	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	02-6	9932	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	02-7	9908	+	-	-	0	+	-	+	-	-	-	+	+
	02-8	9936	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	02-9	9931	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
03. Groningen (stad)	03-1	9797	+	0	+	0	+	+	+	-	-	0	+	-
	03-2	9718	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	03-3	9745	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	03-4	9479	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
	03-5	9715	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	03-6	9715	-	-	-	-	+	+	0	-	-	+	-	-
	03-7	9796	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	03-8	9734	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	03-9	9792	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
04. Midden-Groningen	04-1	9611	+	0	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	04-2	9627	-	0	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+
	04-3	9602	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-
	04-4	9628	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	04-5	9628	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-
	04-6	9623	-	-	-	-	-	+	0	-	+	-	+	-
	04-7	9621	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-
	04-8	9602	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	04-9	9621	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
05. Oldambt	05-1	9673	-	-	-	0	+	+	-	-	-	-?	-	-
	05-2	9944	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-
	05-3	9682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	05-4	9679	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	05-5	9682	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	05-6	9944	+	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+
	05-7	9675	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-
	05-8	9944	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
06. Pekela	06-1	9665	+	-	+	+	+	+	-	+	+	0	-	-
	06-2	9665	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	06-3	9665	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
07. Westerkwartier	07-1	9363	-	-	+	-	+	0	-	-	-	-	-	-
	07-2	9831	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	07-3	9862	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
	07-4	9892	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-
	07-5	9804	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	07-6	9883	+	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	07-7	9822	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	07-8	9801	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
08. Veendam	08-1	9641	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
	08-2	9646	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-3	9648	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-4	9631	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
	08-5	9642	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-6	9641	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-7	9644	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+
	08-8	9642	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
09. Tynaarlo	09-1	9761	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	09-2	9761	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-3	9765	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-4	9496	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-5	9761	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-6	9761	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	09-7	9761	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
10. Aa en Hunze	10-1	9761	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-
	10-2	9654	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-3	9468	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
	10-4	9655	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-
11. Noorderveld	11-1	9301	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
	11-2	9302	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-3	9313	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-
	11-4	9321	-	-	-	0	-	-	-	-	-	0	-	-
	11-5	9302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11-6	9312	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-7	9301	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-
	11-8	9301	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-

B3.2 Resultaten categorisering objectgerelateerde aspecten per gemeente



Verdeling objecttypen uit schaderapporten per gemeente:

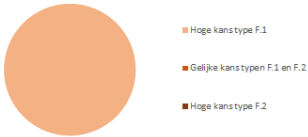
- A1: rijtjeswoning;
- A2: vrijstaande woning;
- A3: AGRO-woning;
- A4: overig (zoals kantoorgebouwen, appartementcomplexen, openbare gebouwen etc.).



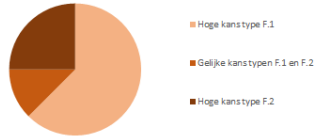
Verdeling leeftijdscategorieën uit schaderapporten per gemeente:

- C1: vóór 1945 (vooroorlogs);
- C2: tussen 1945 en 1975 (naoorlogs);
- C3: na 1975 (modern, (pre-) bouwbesluit).

00. Pilotstudies (6 adressen)



05. Oldambt (8 adressen)



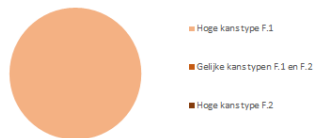
08. Veendam (8 adressen)



01. Het Hogeland (8 adressen)



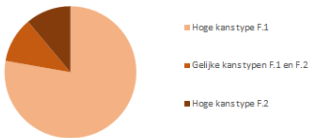
06. Pekela (3 adressen)



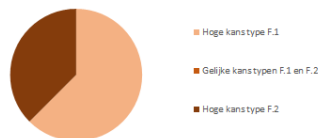
09. Tynaarlo (7 adressen)



02. Delfzijl/Eemdelta (9 adressen)



07. Westerkwartier (8 adressen)



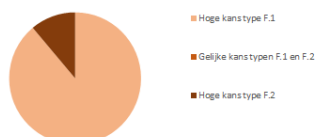
10. Aa en Hunze (4 adressen)



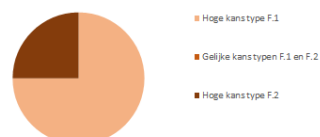
03. Groningen (stad) (9 adressen)



04. Midden-Groningen (9 adressen)



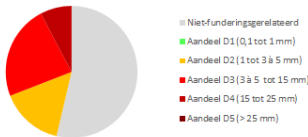
11. Noordenveld (8 adressen)



Verdeling mogelijke funderingstypen uit schaderapporten per gemeente:

- F.1: fundering op staal;
- F.2: fundering op palen.

00. Pilotstudies (gem. 52 schades over 6 adressen)



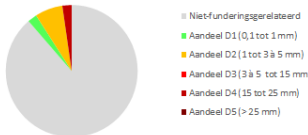
04. Midden-Groningen (gem. 31 schades over 9 adr.)



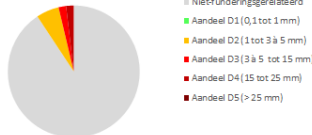
08. Veendam (gem. 35 schades over 8 adressen)



01. Het Hogeland (gem. 49 schades over 8 adressen)



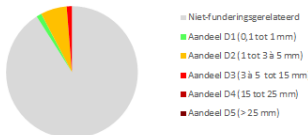
05. Oldambt (gem. 51 schades over 8 adressen)



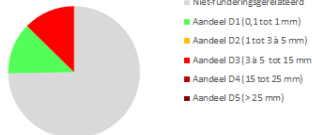
09. Tynaarlo (gem. 45 schades over 7 adressen)



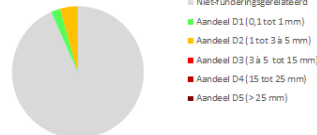
02. Delfzijl/Eemsdelta (gem. 35 schades over 9 adr.)



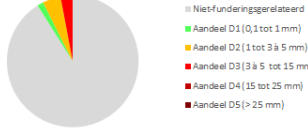
06. Pekela (gem. 32 schades over 3 adressen)



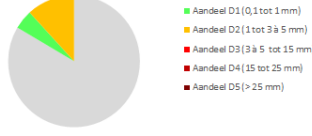
10. Aa en Hunze (gem. 41 schades over 4 adressen)



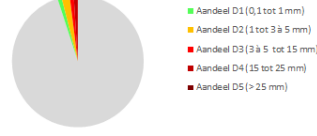
03. Groningen (stad) (gem. 42 schades over 9 adressen)



07. Westerkwartier (gem. 39 schades over 8 adressen)



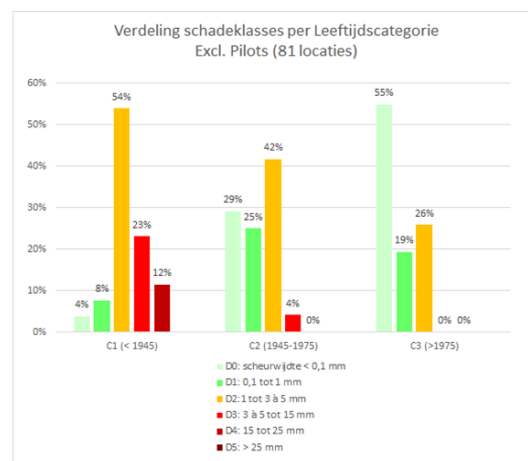
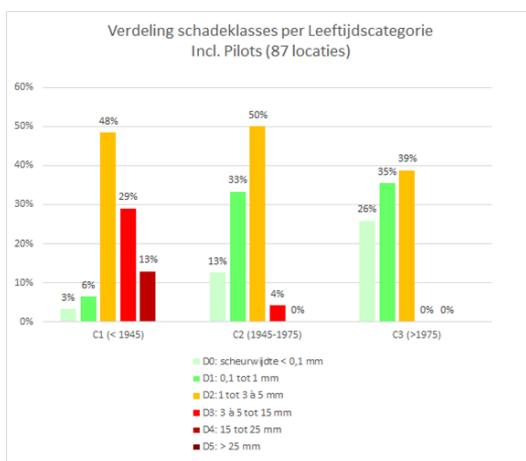
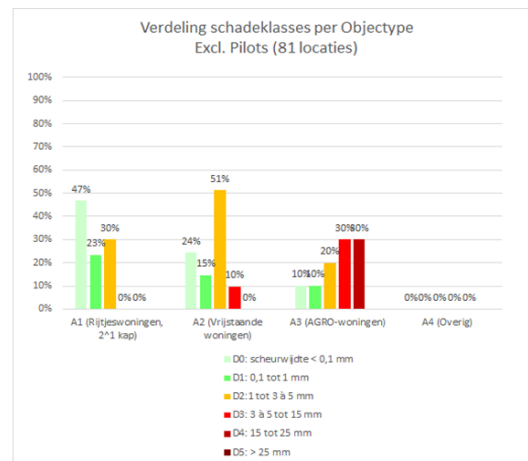
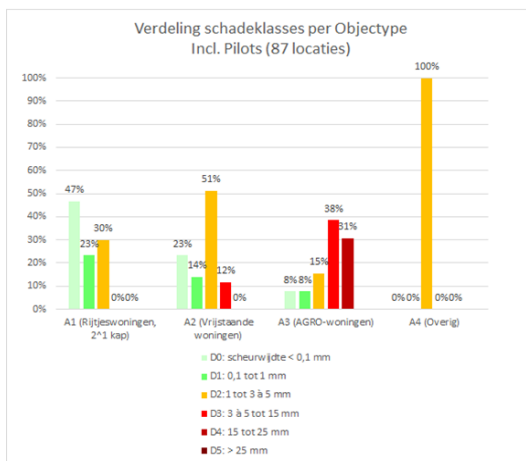
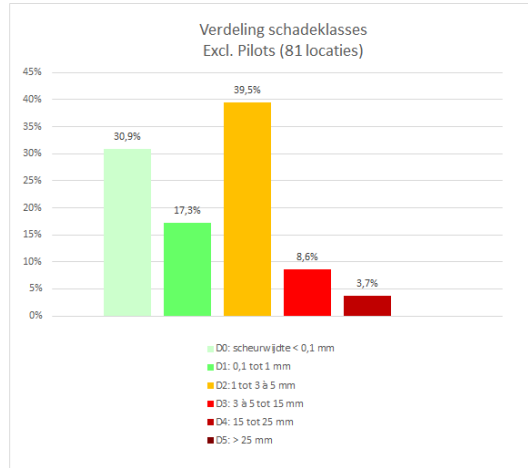
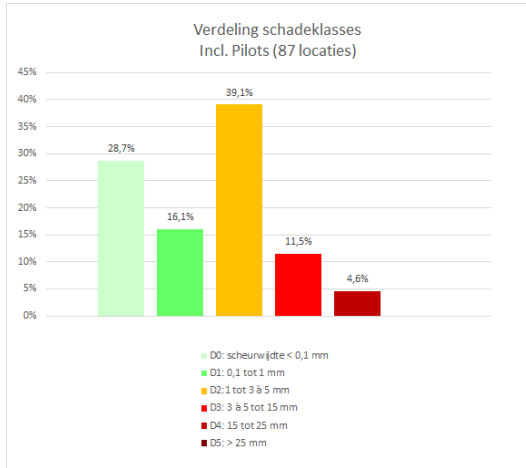
11. Noordenveld (gem. 61 schades over 8 adressen)



Verdeling maatgevende funderingsschadeklasse op basis van de schade classificatie volgens Burland [48] en aandeel funderingsgerelateerde schades uit de schaderapporten per gemeente:

- D0: Verwaarloosbaar. Haarscheuren met een wijdte kleiner dan 0,1 mm.
- D1: Zeer lichte scheurvorming. Scheurvorming tot 1 mm. Fijne scheurvorming, welke eenvoudig kan worden behandeld met normale afwerkingsmethoden.
- D2: Lichte scheurvorming. Scheurvorming van 1 tot 3 à 5 mm. Scheurvorming welke duidelijk zichtbaar is bij binnenmuren en buitengevels.
- D3: Matige scheurvorming. Scheurvorming van 3 à 5 tot 15 mm. De range 3 à 5 betreft een enkele scheur van 5 mm of groter, of meerdere kleinere scheuren vanaf 3 mm. Kenmerken zijn bijvoorbeeld lichtklemmende deuren en ramen.
- D4: Ernstige scheurvorming. Scheurvorming van 15 tot 25 mm. Hierbij dienen naar verwachting zwaardere constructieve maatregelen te worden genomen. In het onderhavige onderzoek kan dit dus met name ook betrekking hebben op constructief funderingsherstel.
- D5: Zeer ernstige scheurvorming. Scheurvorming groter dan 25 mm. Deze classificatie kan leiden tot een geheel of gedeeltelijke verbouw van het betreffende object, inclusief de fundering.

B3.3 Verdeling van de schadeklassen over objectspecifieke aspecten



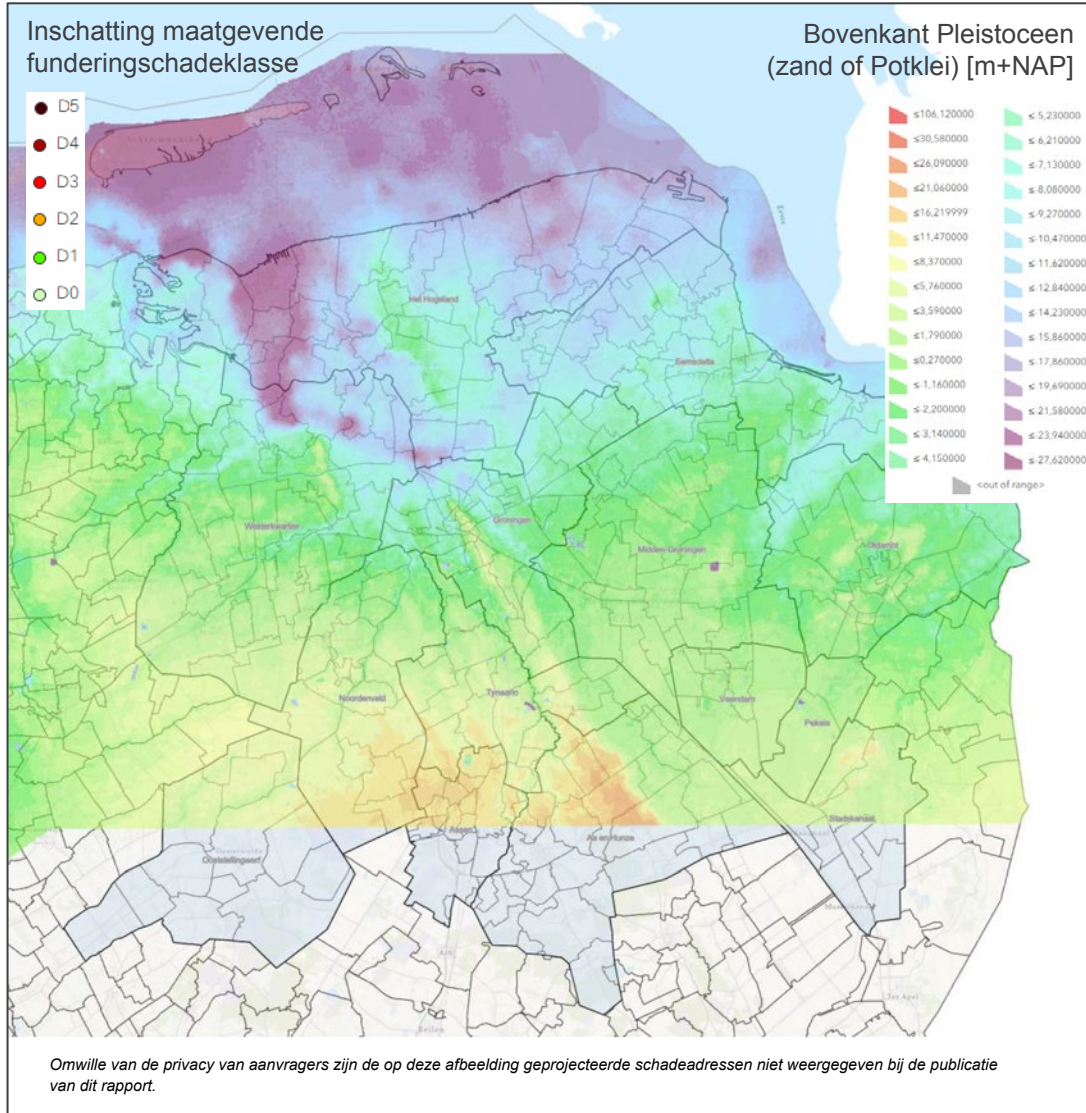
Bijlage 4 Resultaten locatiegerelateerde aspecten

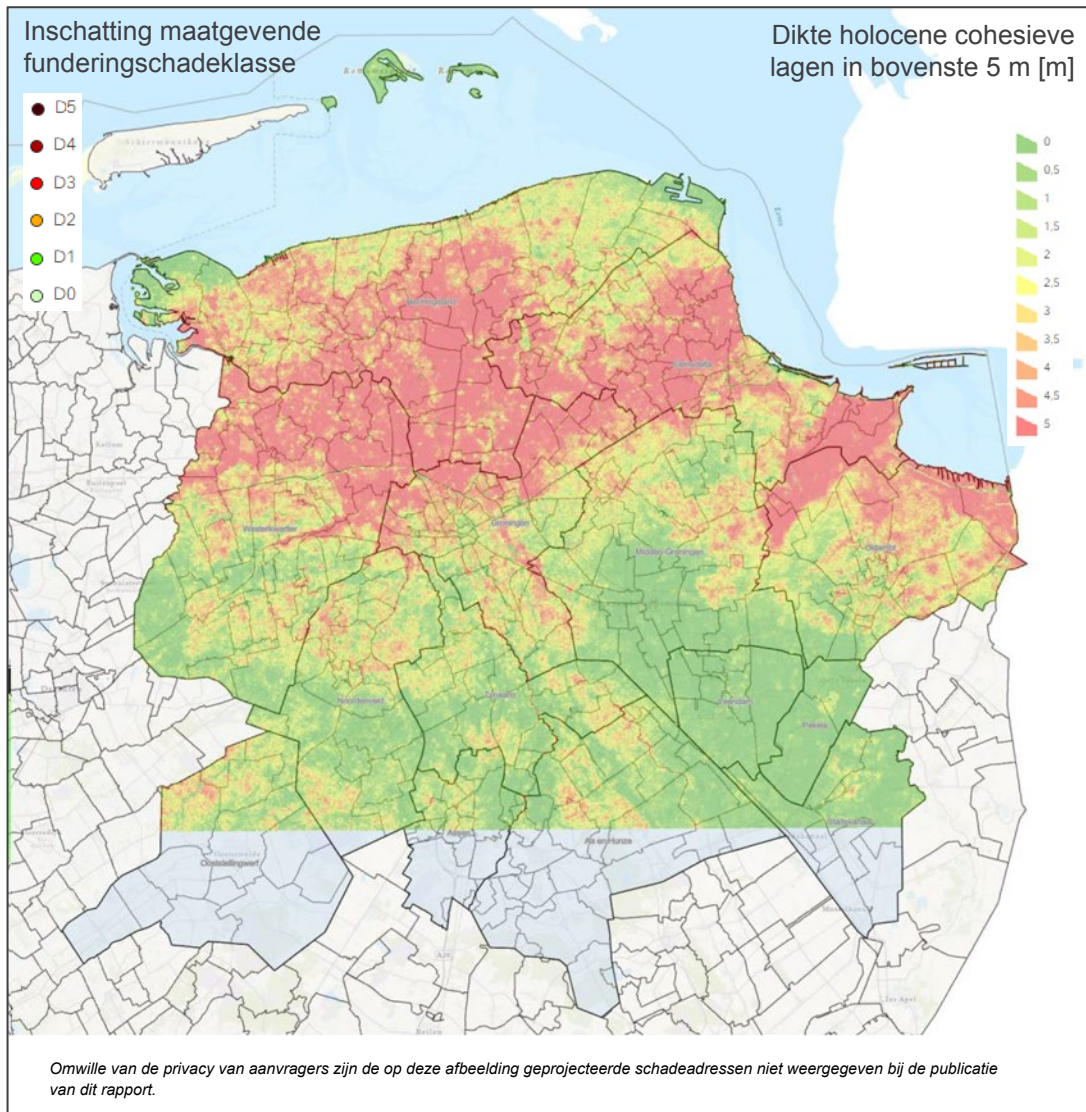
B4.1 Resultaten inventarisatie per objectlocatie

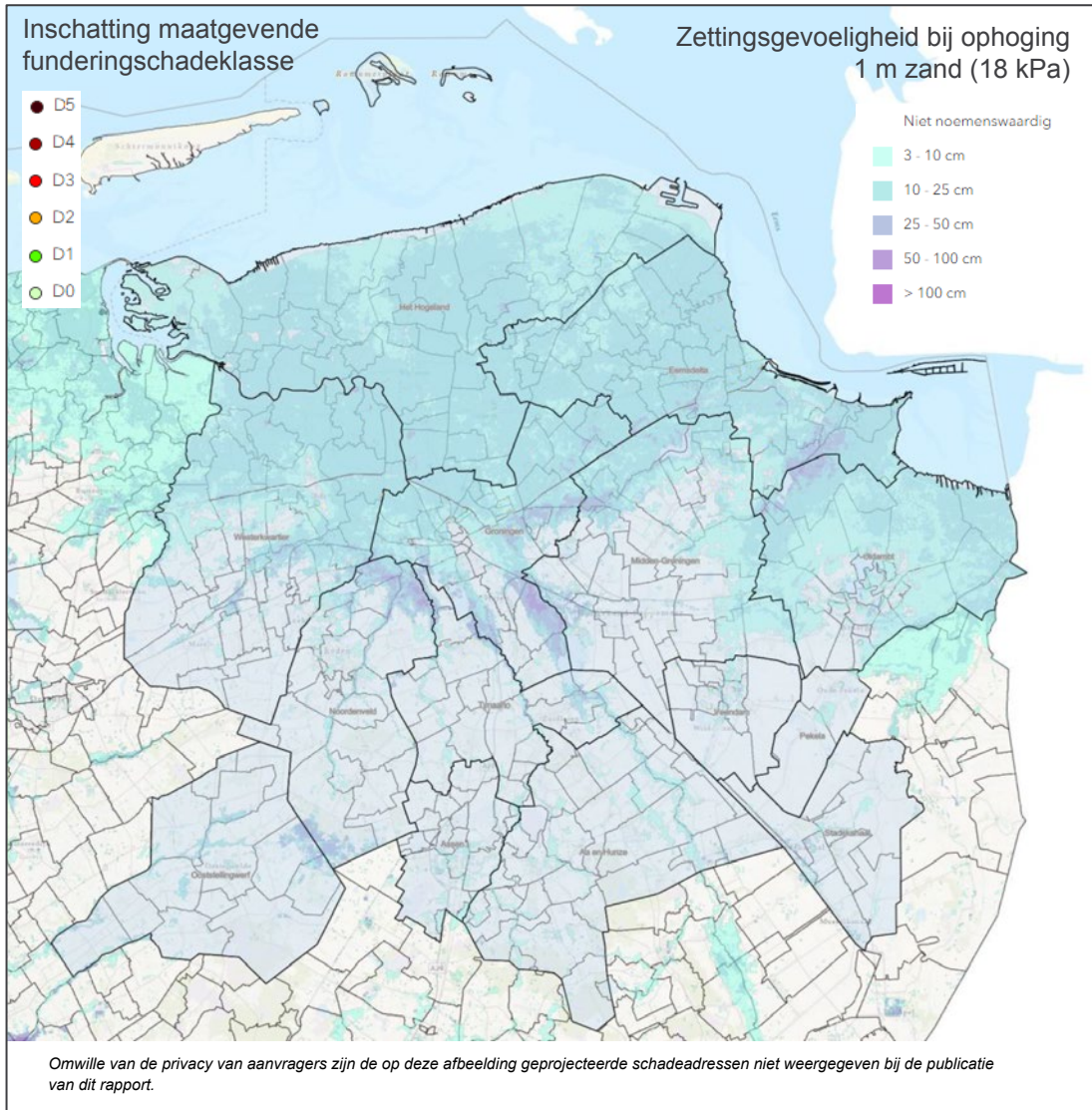
Gemeente	Codering object	Postcode PC6	Top draagkrachtlaag [m-mv]	Dikte cohesieve laag in bovenste 5 m [m]	GG gemiddeld [m-mv]	GG extreem [m-mv]	Dikte veen boven GG [m]	PGV [mm/s]	PGA [g]	Fundering op top laag zand [mm/jaar]	Bodemdaling op terp	Helling aanwezig	Afgravingen aanwezig	Bemalingen aanwezig	Zwaar verkeer aanwezig	Veel obstakels in ondergrond
00. Pilotstudies	00-1 9625	(potklei)	5,0	1,2	2,0	1,5	33,10	0,10	-	>6	+	-	0	0	-	-
	00-2 9901	(potklei)	5,0	1,2	2,2	0,0	27,32	0,09	+	<2	+	-	0	0	-	+
	00-3 9937	0,5	0,5	1,3	2,3	1,3	17,23	0,05	+	2 tot 6	-	-	0	0	0	0
	00-4 9939	1,0	5,0	1,5	2,3	0,0	49,50	0,15	-	2 tot 6	-	-	0	0	0	0
	00-5 9628	1,0	4,0	1,4	2,4	0,0	16,95	0,05	+	>6	-	+	0	0	0	+
	00-6 9901	(potklei)	5,0	1,2	2,2	0,0	27,32	0,09	-	<2	-	-	0	0	-	-
01. Het Hogeland	01-1 9781	7,0	5,0	1,5	2,0	0,0	22,98	0,07	-	2 tot 6	-	-	0	0	-	-
	01-2 9981	0,5	0,5	1,5	2,0	0,0	39,45	0,12	+	<2	-	-	0	0	0	-
	01-3 9951	12,0	5,0	2,0	2,5	0,0	12,62	0,04	-	<2	-	-	-	-	-	-
	01-4 9951	7,0	3,5	1,5	2,5	0,0	13,78	0,04	-	<2	-	-	-	-	0	+
	01-5 9781	4,5	4,5	1,0	2,0	0,0	35,57	0,11	-	<2	-	-	0	0	-	+
	01-6 9771	12,0	5,0	1,5	2,5	0,0	13,42	0,04	-	2 tot 6	-	-	0	0	0	-
	01-7 9981	1,0	1,0	2,0	2,5	0,0	29,17	0,09	+	<2	-	-	-	-	-	-
	01-8 9982	0,0	0,0	1,5	2,5	0,0	17,18	0,05	+	<2	-	-	0	0	0	0
02. Delfzijl / Eemdelta	02-1 9934	8,0	5,0	2,0	2,5	0,0	7,25	0,02	+	2 tot 6	-	-	0	0	0	0
	02-2 9937	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	14,22	0,04	+	>6	-	-	-	-	-	-
	02-3 9905	6,5	5,0	1,5	2,5	0,0	24,96	0,08	-	>6	-	-	0	0	0	-
	02-4 9908	3,5	3,0	1,5	2,5	1,0	24,61	0,08	-	>6	-	-	-	-	-	0
	02-5 9932	6,5	5,0	1,5	2,0	0,0	8,80	0,03	-	2 tot 6	-	-	0	0	-	+
	02-6 9932	(potklei)	3,5	1,6	2,0	0,0	8,84	0,03	-	2 tot 6	-	-	0	0	0	-
	02-7 9908	8,0	4,0	2,0	2,5	0,5	28,71	0,09	-	2 tot 6	-	-	-	-	-	-
	02-8 9936	6,0	4,5	1,0	2,0	0,0	8,04	0,03	-	2 tot 6	-	-	0	0	-	-
	02-9 9931	5,0	2,5	1,5	2,5	0,0	10,24	0,03	-	<2	-	-	0	0	0	-
03. Groningen (stad)	03-1 9797	8,0	5,0	1,0	2,5	0,0	39,12	0,12	-	2 tot 6	-	-	-	-	-	0
	03-2 9718	6,5	5,0	1,5	2,0	0,0	6,67	0,02	-	<2	-	-	0	0	0	0
	03-3 9745	4,5	4,5	1,5	2,5	0,0	5,81	0,02	-	<2	-	-	-	-	0	-
	03-4 9479	1,5	0,5	2,0	2,5	0,0	3,79	0,01	+	<2	-	-	-	-	0	-
	03-5 9715	8,5	5,0	2,0	2,5	0,0	9,08	0,03	-	<2	-	-	0	0	0	0
	03-6 9715	2,0	1,5	1,5	2,5	0,0	8,04	0,03	-	<2	-	-	0	0	0	0
	03-7 9796	6,5	5,0	1,5	2,0	0,0	38,62	0,12	-	<2	-	-	-	-	-	-
	03-8 9734	3,5	1,0	1,0	2,0	0,0	11,13	0,03	+	2 tot 6	-	-	-	-	0	0
	03-9 9792	6,5	4,5	1,5	2,5	0,0	55,53	0,17	-	>6	-	-	-	-	0	-
04. Midden-Groningen	04-1 9611	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	10,52	0,03	+	2 tot 6	-	+	-	0	0	-
	04-2 9627	3,5	2,0	2,0	2,5	0,0	60,96	0,19	+	>6	-	+	0	0	0	+
	04-3 9602	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	10,16	0,03	+	2 tot 6	-	-	0	0	0	0
	04-4 9628	0,5	0,5	2,0	2,5	0,0	28,54	0,09	+	>6	-	+	-	0	0	-
	04-5 9628	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5	15,14	0,05	+	>6	-	-	-	-	-	-
	04-6 9623	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	23,43	0,07	-	>6	-	-	-	-	0	-
	04-7 9621	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	16,19	0,05	+	>6	-	-	-	-	0	0
	04-8 9602	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	9,20	0,03	+	2 tot 6	-	-	-	-	-	-
	04-9 9621	0,0	0,0	2,0	2,5	0,0	29,28	0,09	+	2 tot 6	-	-	-	-	-	-
05. Oldambt	05-1 9673	13,0	2,5	1,5	2,0	0,0	2,16	0,01	-	2 tot 6	-	-	-	0	0	-
	05-2 9944	8,0	5,0	1,5	2,5	0,0	8,88	0,03	-	<2	-	-	-	0	0	0
	05-3 9682	(potklei)	3,0	1,5	2,0	1,5	2,85	0,01	-	>6	-	-	-	0	0	0
	05-4 9679	(potklei)	0,5	2,0	2,5	2,5	4,15	0,01	+	2 tot 6	-	-	-	0	0	-
	05-5 9682	(potklei)	3,0	1,5	2,0	2,0	2,32	0,01	-	>6	-	-	-	0	0	-
	05-6 9944	7,0	5,0	1,5	2,5	0,0	9,38	0,03	-	2 tot 6	-	+	-	0	0	+
	05-7 9675	(potklei)	2,5	2,0	2,0	2,0	2,43	0,01	-	>6	-	-	-	0	0	-
	05-8 9944	6,5	5,0	1,5	2,0	0,0	7,76	0,02	-	>6	-	-	-	-	-	0
06. Pekela	06-1 9665	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	2,01	0,01	+	<2	-	+	0	0	0	0
	06-2 9665	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	2,03	0,01	+	2 tot 6	-	-	+	0	0	0
	06-3 9665	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	2,06	0,01	+	<2	-	+	-	-	-	-
07. Westerkwartier	07-1 9863	(potklei)	3,0	1,5	2,0	0,0	2,03	0,01	+	<2	-	-	0	0	0	-
	07-2 9831	8,5	5,0	1,5	2,5	0,0	6,59	0,02	-	2 tot 6	-	-	-	-	0	0
	07-3 9882	(potklei)	1,0	1,5	2,0	0,0	2,93	0,01	+	<2	-	-	-	-	0	0
	07-4 9892	15	3,0	2,0	2,5	0,0	8,58	0,03	-	<2	-	-	-	0	-	0
	07-5 9804	8,5	1,0	2,0	2,5	0,0	4,91	0,02	-	<2	-	-	-	0	0	-
	07-6 9883	2,5	2,5	2,0	2,5	0,0	5,53	0,02	-	<2	-	-	-	0	0	-
	07-7 9822	8,5	0,0	2,0	2,0	0,0	3,54	0,01	+	<2	-	-	-	0	0	-
	07-8 9801	8,5	0,0	2,0	2,5	0,0	4,55	0,01	-	<2	-	-	-	0	0	-
08. Veendam	08-1 9641	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	2,82	0,01	+	>6	-	+	0	0	0	-
	08-2 9646	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	3,00	0,01	-	>6	-	-	0	0	-	-
	08-3 9648	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	2,29	0,01	+	<2	-	-	0	0	0	-
	08-4 9631	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	3,46	0,01	+	>6	-	-	-	-	-	-
	08-5 9642	0,0	0,0	1,5	1,5	0,0	2,51	0,01	+	>6	-	-	0	0	-	-
	08-6 9641	0,0	0,0	2,0	2,5	0,0	2,64	0,01	+	2 tot 6	-	-	0	0	0	-
	08-7 9644	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	2,16	0,01	+	<2	-	-	-	-	0	0
	08-8 9642	0,0	0,0	1,0	1,5	0,0	2,71	0,01	+	>6	-	-	0	0	0	-
09. Tynaarlo	09-1 9761	0,0	0,5	1,0	1,5	0,0	3,56	0,01	+	<2	-	-	0	0	-	0
	09-2 9761	0,0	1,0	2,0	2,5	0,0	3,58	0,01	+	<2	-	-	0	0	-	0
	09-3 9765	6,0	3,0	2,0	2,5	0,0	4,06	0,01	+	<2	-	-	0	0	0	-
	09-4 9496	0,0	2,5	2,0	2,5	0,0	3,04	0,01	+	<2	-	-	-	-	0	-
	09-5 9761	0,0	0,0	2,0	2,5	0,0	3,56	0,01	+	2 tot 6	-	-	0	0	0	0
	09-6 9761	0,0	0,5	1,5	2,0	0,0	3,86	0,01	0,0	2 tot 6	0	+	0	0	0	0
	09-7 9761	4,0	2,5	1,0	1,5	0,0	3,69	0,01	+	<2	-	-	0	0	0	0
10. Aa en Hunze	10-1 9761	0,0	2,0	2,0	2,5	0,0	3,73	0,01	+	<2	-	-	0	0	-	-
	10-2 9654	1,0	0,5	1,5	2,0	0,0	2,38	0,01	+	<2	-	+	-	-	0	-
	10-3 9468	0,0	0,5	2,0	2,5	2,0	2,26	0,01	+	<2	-	+	-	-	0	-
	10-4 9655	6,5	3,0	1,0	1,5	0,0	2,70	0,01	+	2 tot 6	-	-	-	-	0	0
11. Noordenveld	11-1 9301	(potklei)	3,0	2,0	2,5	0,0	2,92	0,01	+	<2	-	-	0	0	-	-
	11-2 9302	4,0	1,0	2,0	2,5	0,0	2,61	0,01	+	2 tot 6	-	-	0	0	0	-
	11-3 9313	(potklei)	3,5	2,0	2,5	0,0	3,16	0,01	-	<2	-	-	-	-	0	0
	11-4 9321	0,0	0,0	2,0	2,5	0,0	3,57	0,01	+	<2	-	-	0	0	-	-
	11-5 9302	(potklei)	3,0	1,5	2,0	0,0	2,73	0,01	-	2 tot 6	-	-	-	0	-	-
	11-6 9312	(potklei)	3,0	1,0	1,5	0,0	3,05	0,01	-	<2	-	-	-	-	0	-
	11-7 9301	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	2,95	0,01	+	<2	-	-	-	-	-	-
	11-8 9301	0,0	0,0	1,5	2,0	0,0	2,87	0,01	+	<2	-	-	-	0	0	0

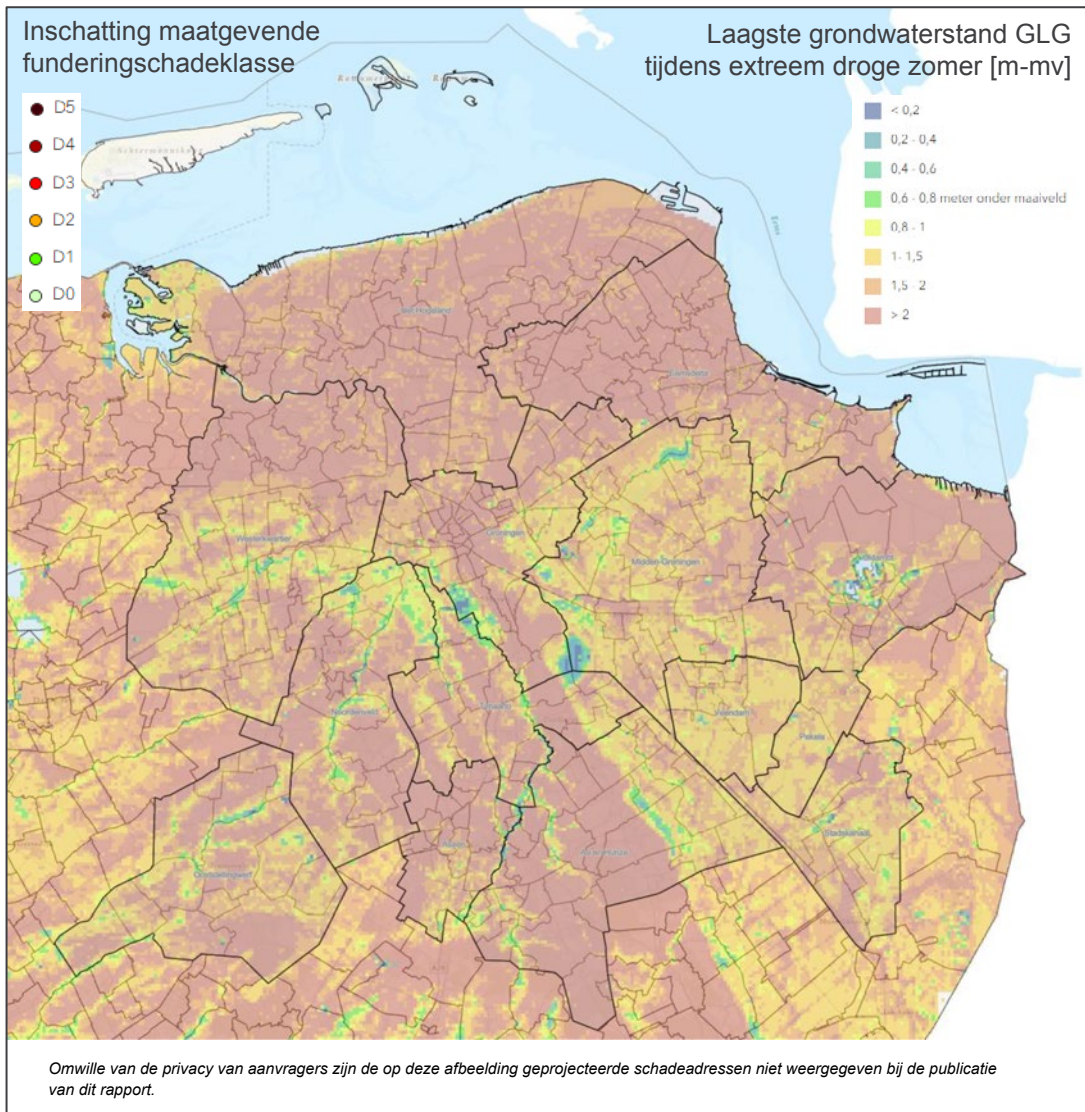
Gemeente	Codering object	Postcode	Geringe draagkracht	Slappe lagen	GWS-verlaging	Veenoxidatie	Verdichting	Bodemdaling	Negatieve kleef	Aantasting droogte
			G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
00. Pilotstudies	00-1	9625	+	+	+	++	-	++	-	-
	00-2	9901	+	+	++	-	+	-	-	-
	00-3	9937	-	-	++	-	+	+	-	-
	00-4	9919	-	+	+	-	-	+	-	+
	00-5	9628	++	++	++	+	+	++	-	-
	00-6	9901	+	+	+	-	-	-	-	-
01. Het Hogeland	01-1	9781	-	+	-	-	-	-	-	-
	01-2	9981	-	-	+	-	+	-	-	-
	01-3	9951	+	+	+	-	-	-	-	-
	01-4	9951	+	-	+	+	-	-	-	-
	01-5	9781	-	-	-	-	-	-	-	-
	01-6	9771	-	-	-	-	-	-	-	-
	01-7	9981	-	-	+	-	+	-	-	-
	01-8	9982	-	-	++	-	+	-	-	-
02. Delfzijl / Eemsdelta	02-1	9934	-	-	+	-	-	+	-	-
	02-2	9937	-	-	+	+	+	++	-	-
	02-3	9905	-	-	+	-	-	++	-	-
	02-4	9908	-	-	+	++	-	++	-	-
	02-5	9932	-	-	+	-	-	+	-	-
	02-6	9932	+	+	-	-	-	+	+	-
	02-7	9908	-	-	+	++	-	+	-	-
	02-8	9936	-	-	-	-	-	-	-	-
	02-9	9931	-	-	-	-	-	-	-	-
03. Groningen (stad)	03-1	9797	-	-	+	-	-	+	-	-
	03-2	9718	-	-	-	-	-	-	-	-
	03-3	9745	-	-	++	-	-	-	-	-
	03-4	9479	-	-	+	-	-	-	-	-
	03-5	9715	-	-	-	-	-	-	-	-
	03-6	9715	-	+	+	-	-	-	-	-
	03-7	9796	-	-	-	-	-	-	-	-
	03-8	9734	-	-	++	-	-	+	-	-
	03-9	9792	-	+	+	-	-	-	+	+
04. Midden-Groningen	04-1	9611	-	-	+	-	-	+	-	-
	04-2	9627	-	+	+	-	++	++	-	+
	04-3	9602	-	-	-	-	-	-	-	-
	04-4	9628	-	-	+	-	+	++	-	-
	04-5	9628	-	-	++	+	-	++	-	-
	04-6	9623	-	+	+	+	-	++	+	-
	04-7	9621	-	-	+	-	+	++	-	-
	04-8	9602	-	-	-	-	-	-	-	-
	04-9	9621	-	-	+	-	+	+	-	-
05. Oldambt	05-1	9673	-	-	+	-	-	+	-	-
	05-2	9944	-	-	-	-	-	-	-	-
	05-3	9682	-	-	-	-	-	-	-	-
	05-4	9679	-	-	+	-	-	+	-	-
	05-5	9682	-	-	-	-	-	-	-	-
	05-6	9944	-	+	++	-	-	+	-	-
	05-7	9675	-	-	-	-	-	++	-	-
	05-8	9944	-	-	+	-	-	++	-	-
06. Pekela	06-1	9665	-	-	+	-	-	+	-	-
	06-2	9665	-	-	+	-	-	+	-	-
	06-3	9665	-	-	-	-	-	-	-	-
07. Westerkwartier	07-1	9363	-	-	+	-	-	-	-	-
	07-2	9831	-	-	+	-	-	+	-	-
	07-3	9862	-	-	+	-	-	-	-	-
	07-4	9892	-	-	+	-	-	-	-	-
	07-5	9804	-	-	-	-	-	-	-	-
	07-6	9883	-	-	+	-	-	-	-	-
	07-7	9822	-	-	-	-	-	-	-	-
	07-8	9801	-	-	+	-	-	-	-	-
08. Veendam	08-1	9641	-	-	-	-	-	++	-	-
	08-2	9646	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-3	9648	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-4	9631	-	-	-	-	-	++	-	-
	08-5	9642	-	-	-	-	-	-	-	-
	08-6	9641	-	-	+	-	-	+	-	-
	08-7	9644	-	-	+	-	-	-	-	-
	08-8	9642	-	-	+	-	-	++	0	-
09. Tynaarlo	09-1	9761	-	-	+	-	-	-	-	-
	09-2	9761	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-3	9765	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-4	9496	-	-	-	-	-	-	-	-
	09-5	9761	-	+	+	-	-	+	-	-
	09-6	9761	-	-	+	-	-	+	-	-
	09-7	9761	-	-	+	-	-	-	-	-
10. Aa en Hunze	10-1	9761	-	-	+	-	-	-	-	-
	10-2	9654	-	-	-	-	-	-	-	-
	10-3	9468	-	-	+	-	-	-	-	-
	10-4	9655	-	-	+	+	-	+	-	-
11. Noorderveld	11-1	9301	-	+	+	-	-	-	-	-
	11-2	9302	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-3	9313	+	+	+	-	-	-	-	-
	11-4	9321	-	-	+	-	-	-	-	-
	11-5	9302	-	-	-	-	-	-	+	-
	11-6	9312	-	-	-	-	-	-	-	-
	11-7	9301	-	-	+	-	-	-	-	-
	11-8	9301	-	-	+	-	-	-	-	-

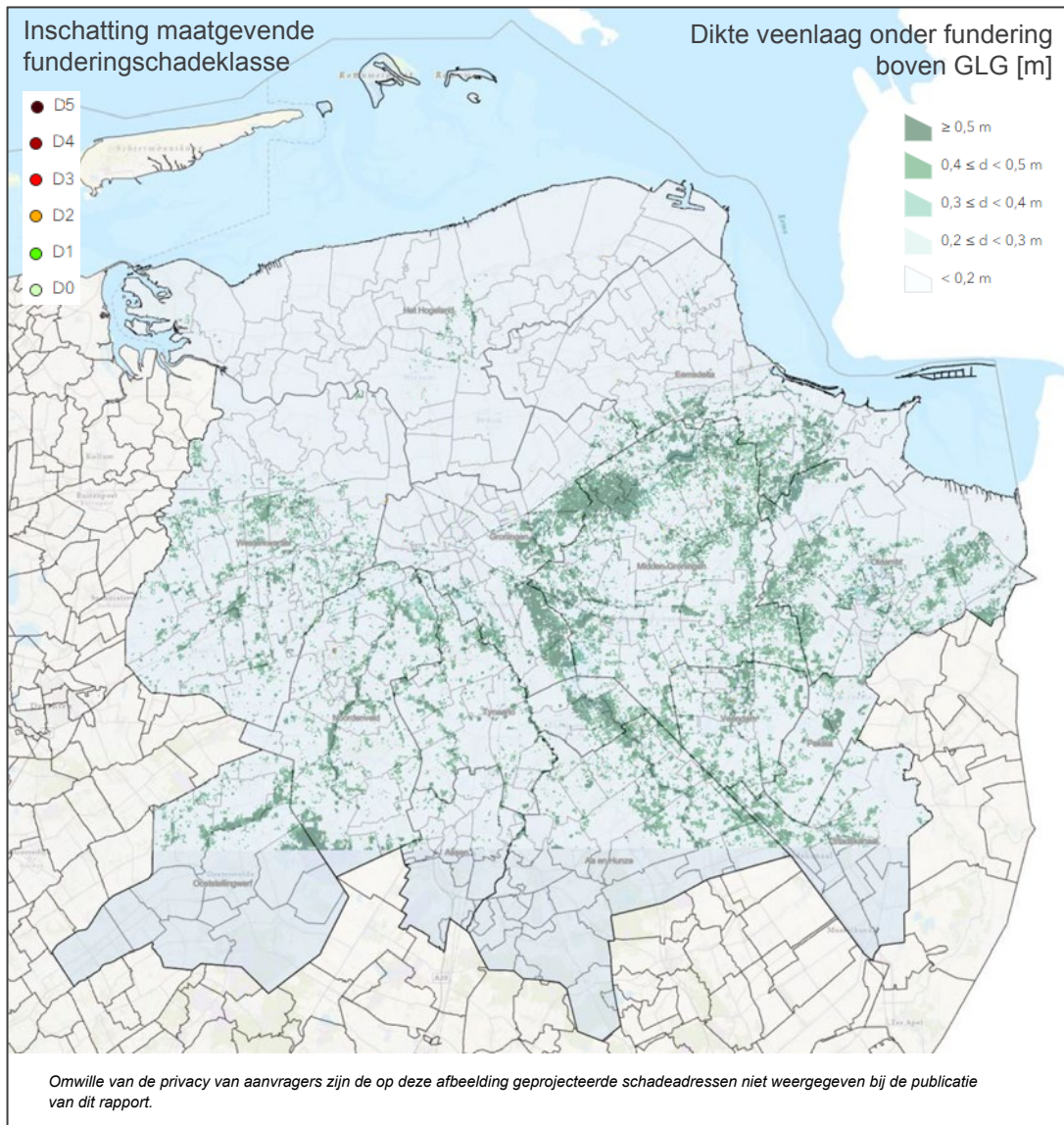
B4.2 Kaartlagen correlaties locatiegerelateerde aspecten met schadeklassen

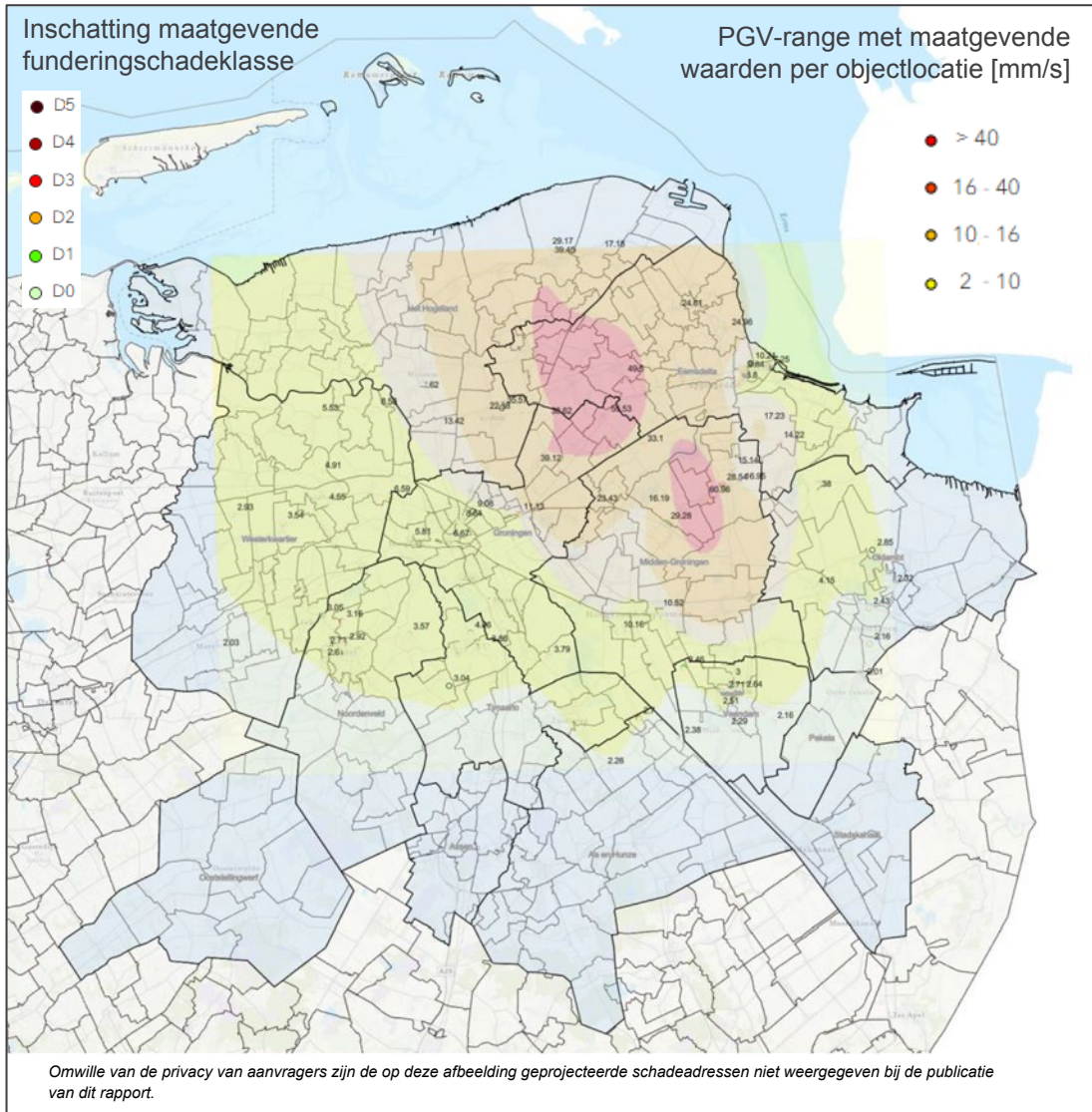


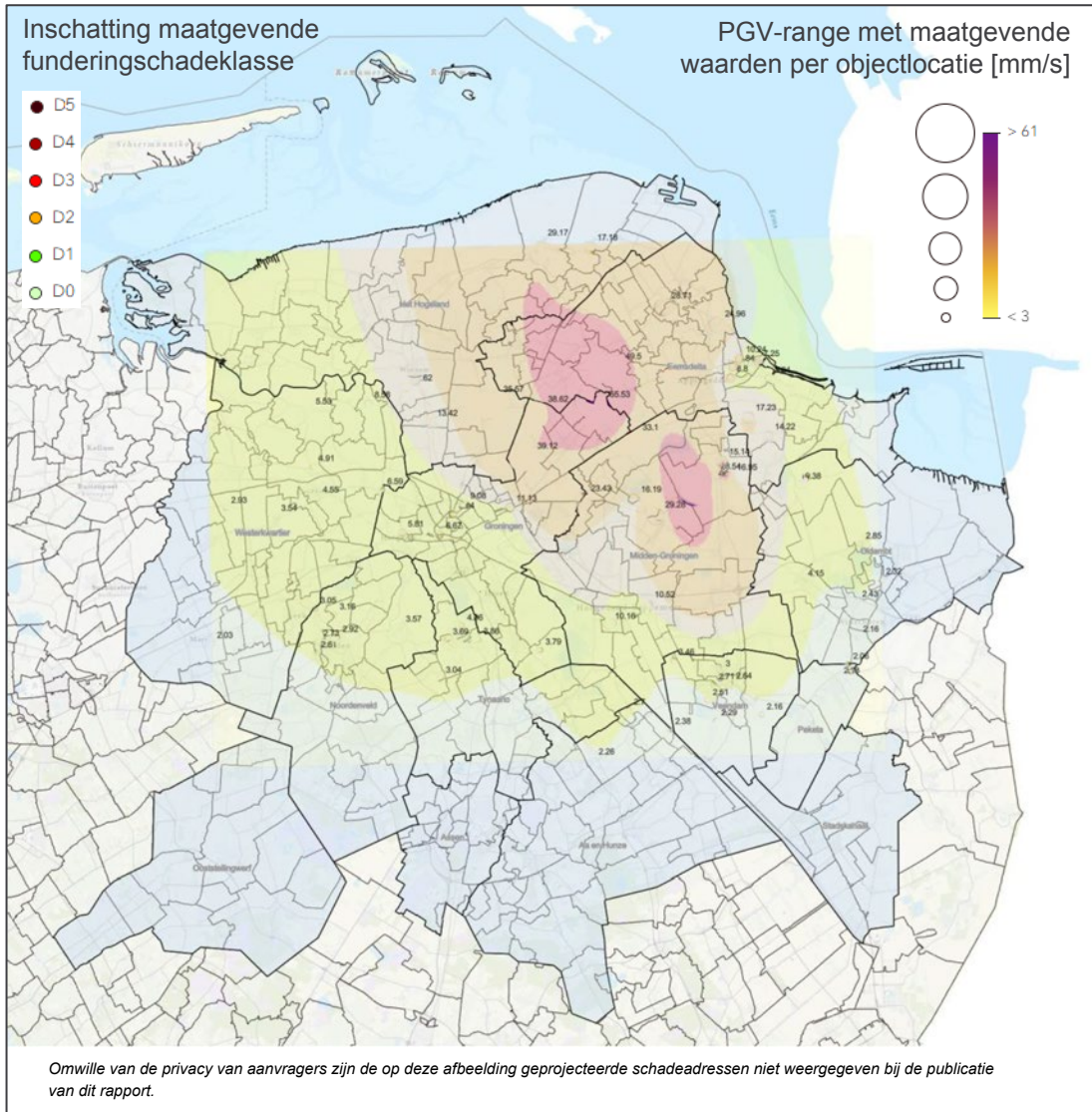


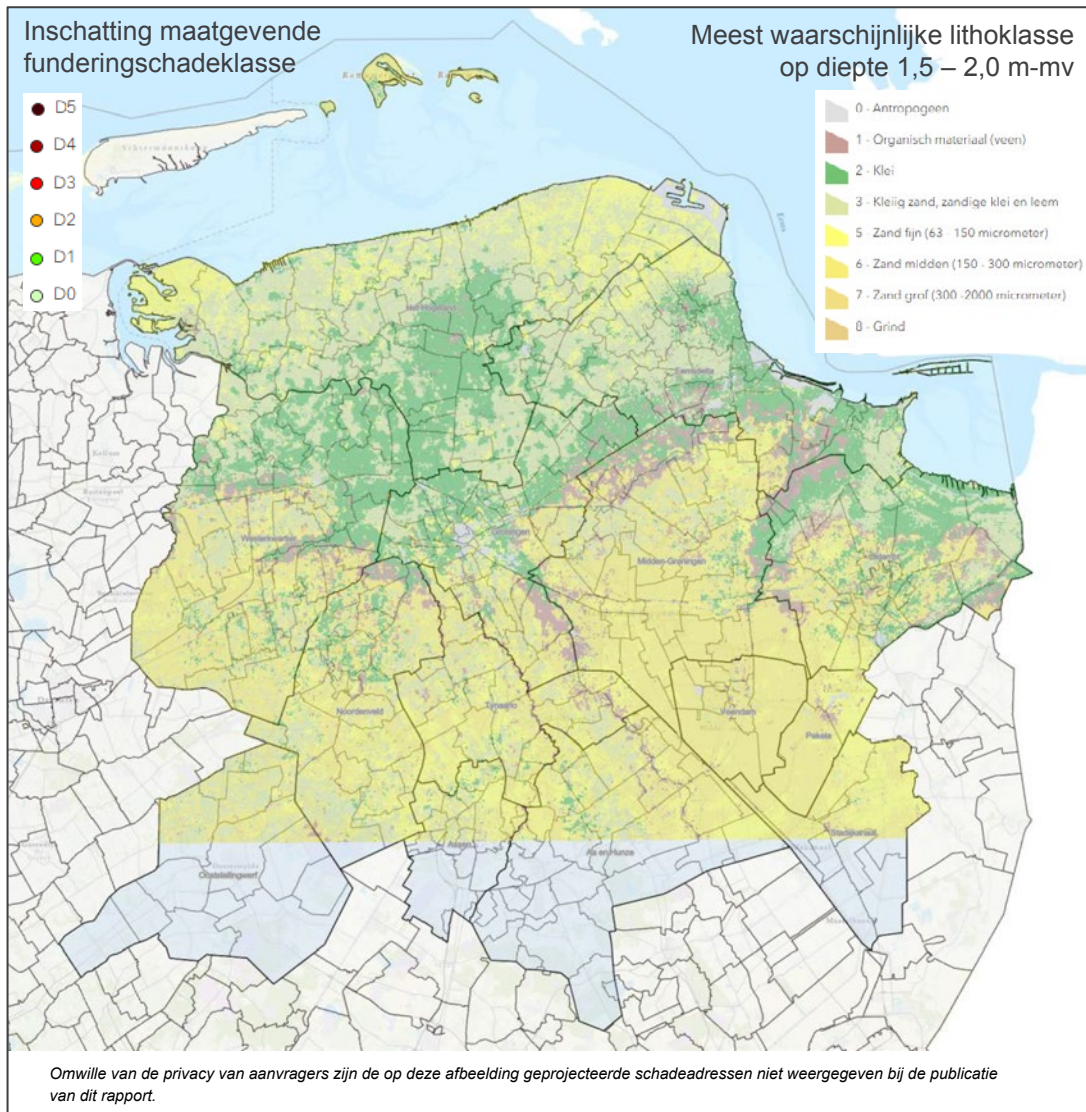


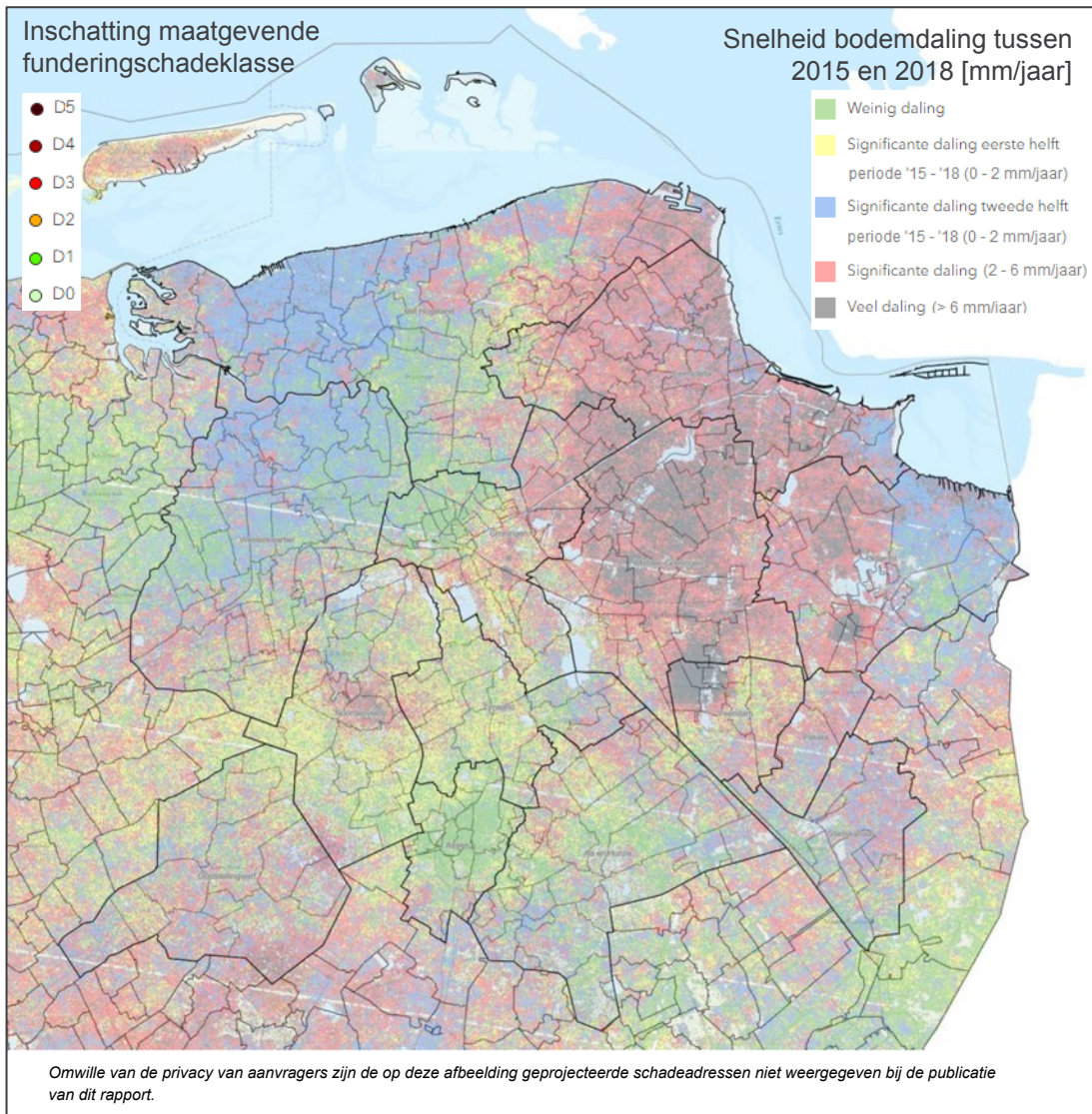




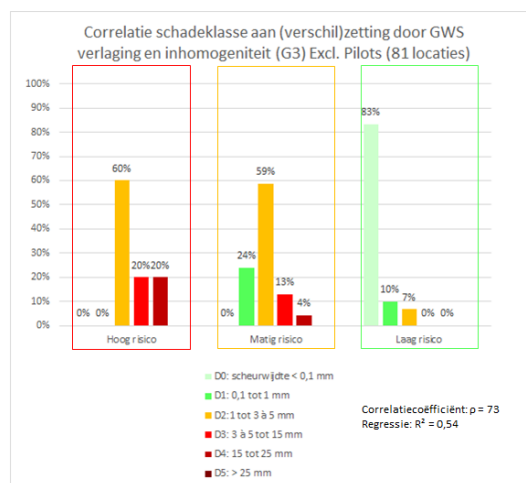
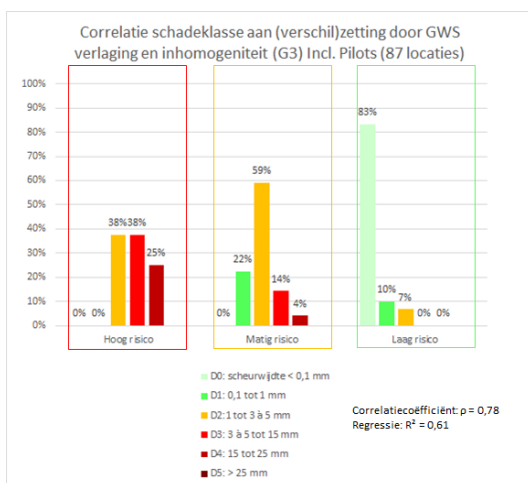
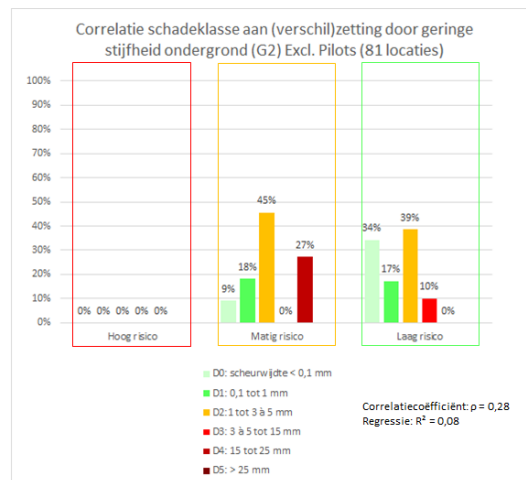
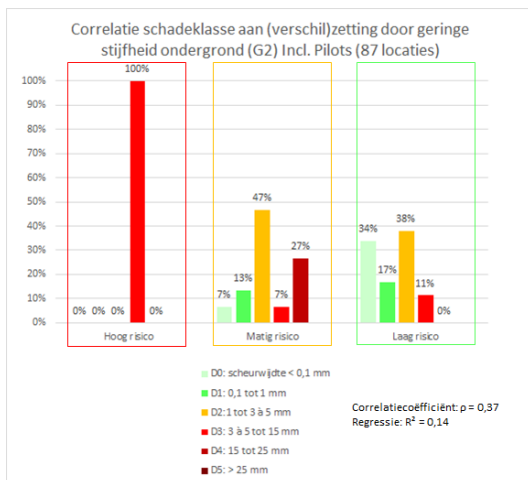
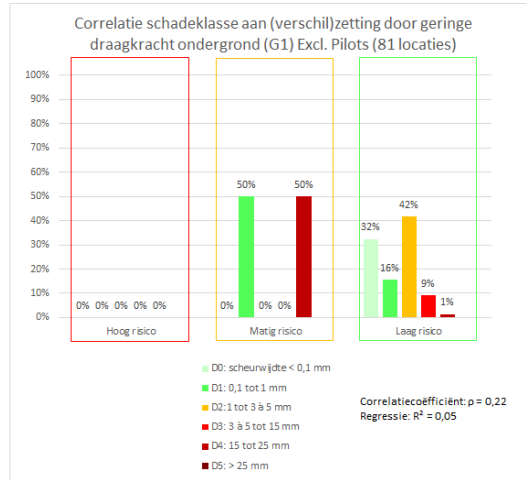
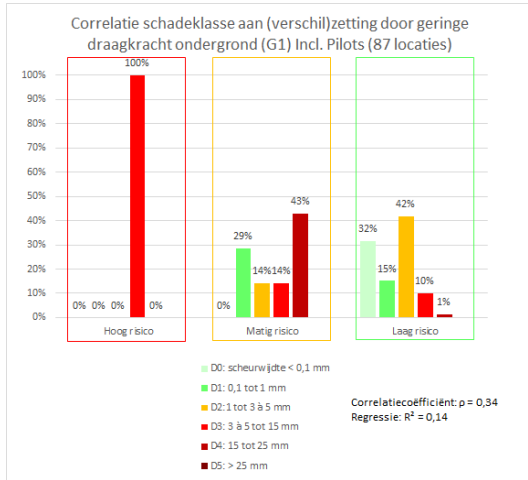


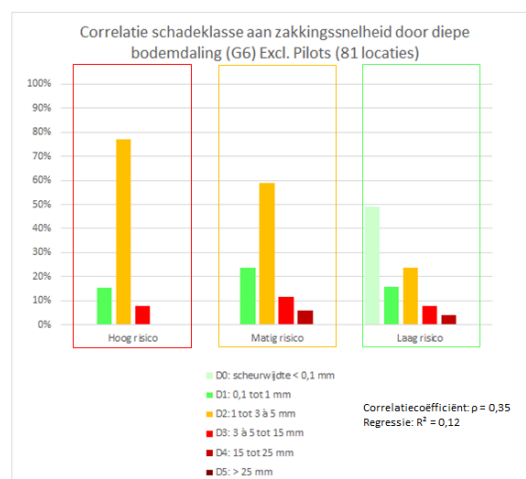
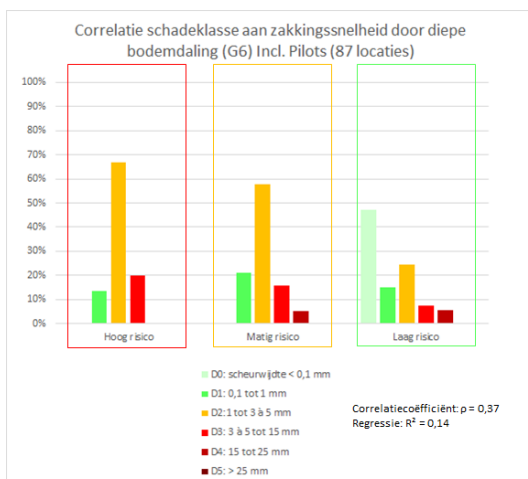
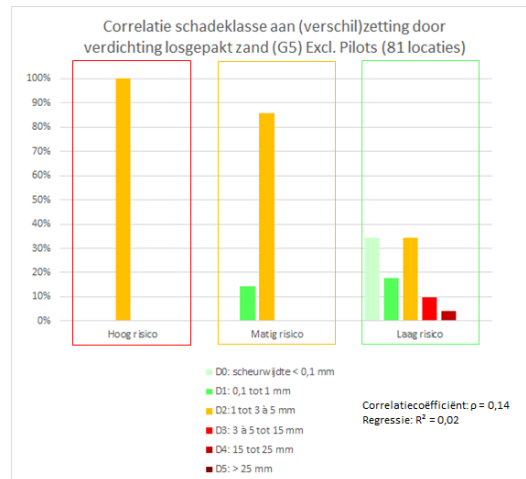
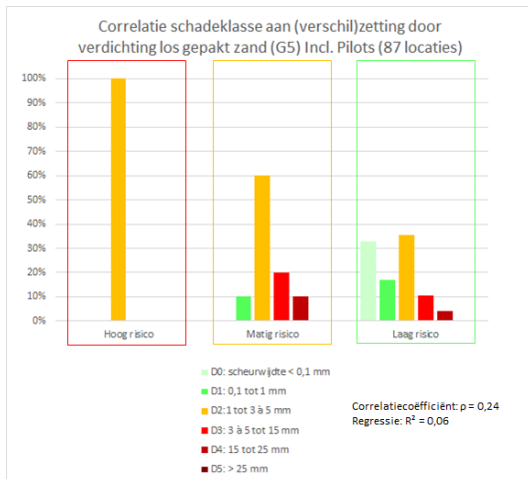
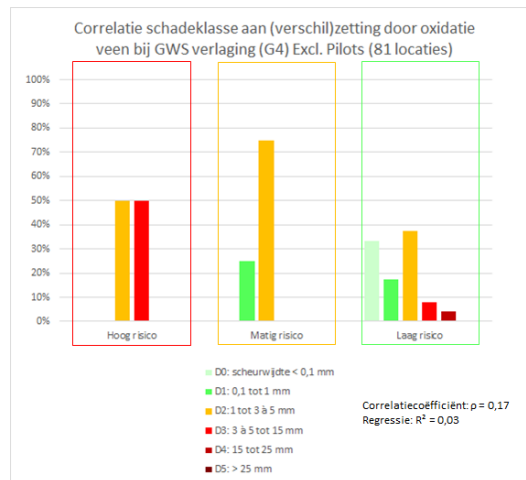
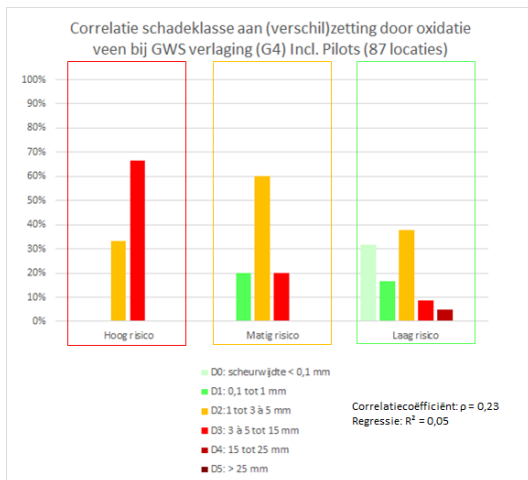


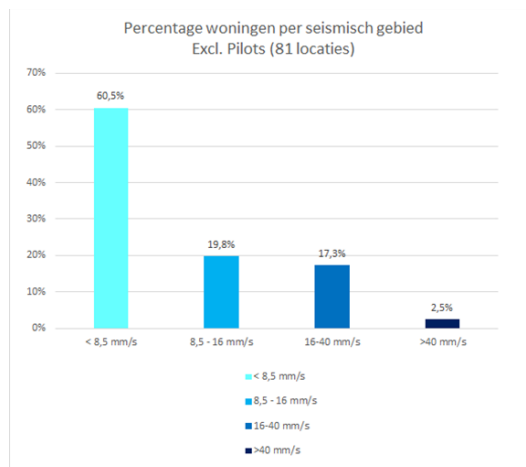
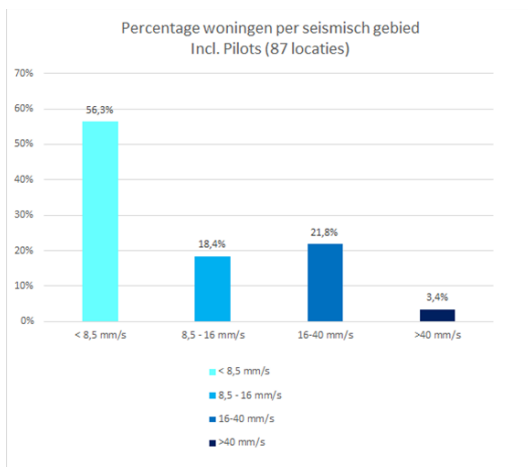
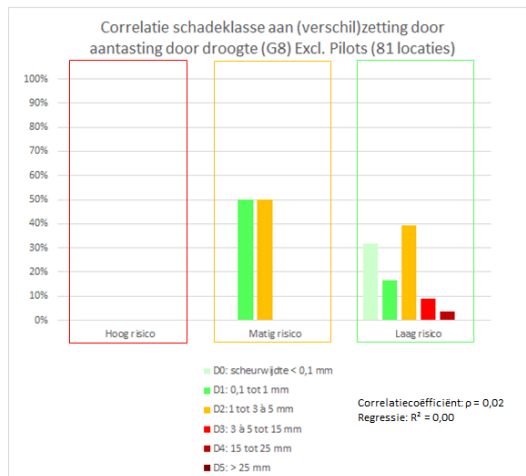
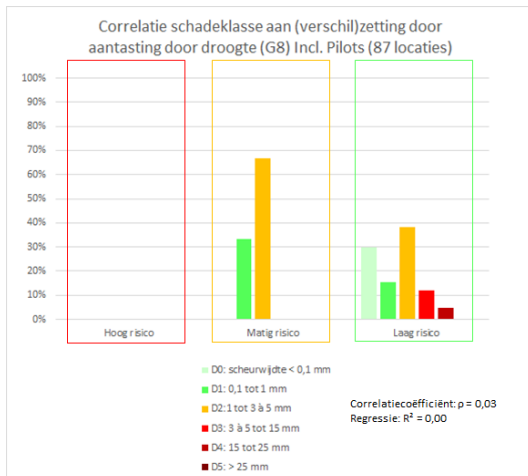
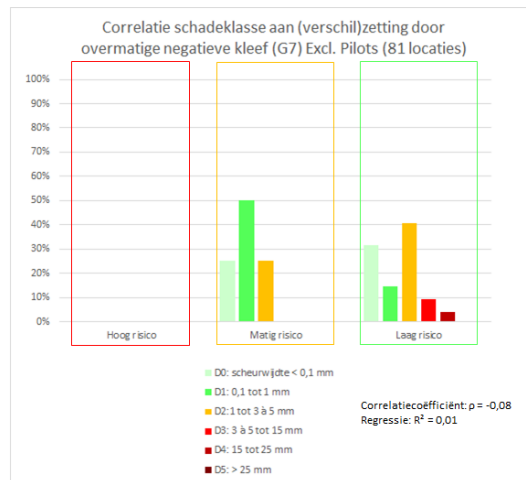
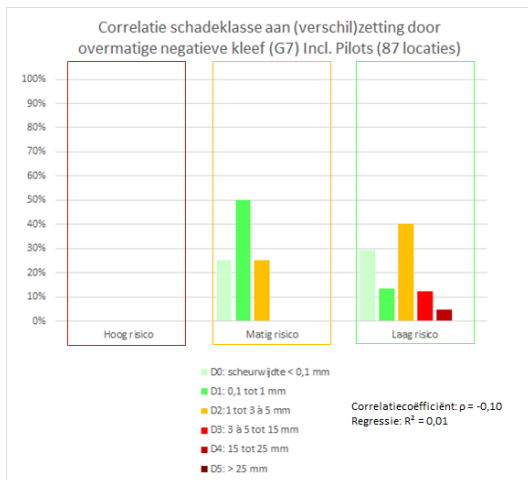




B4.3 Verdeling van de schadeklassen over locatiespecifieke aspecten







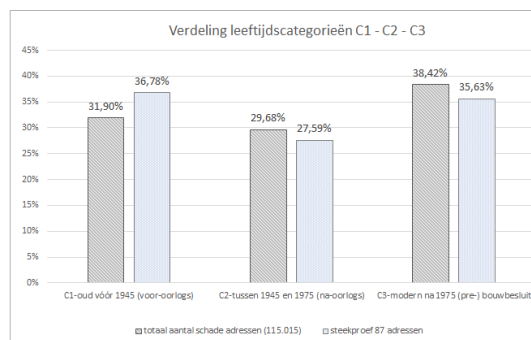
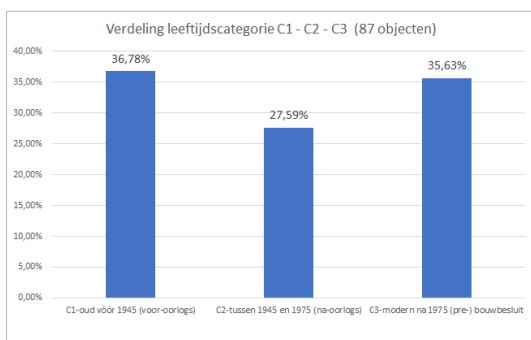
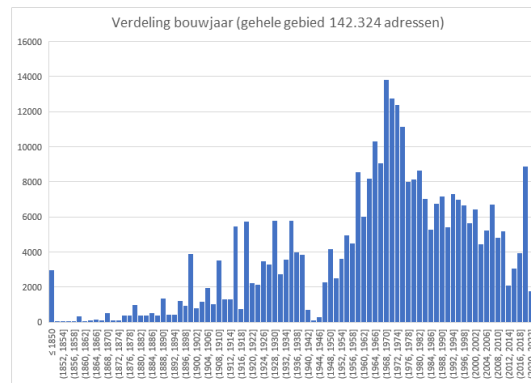
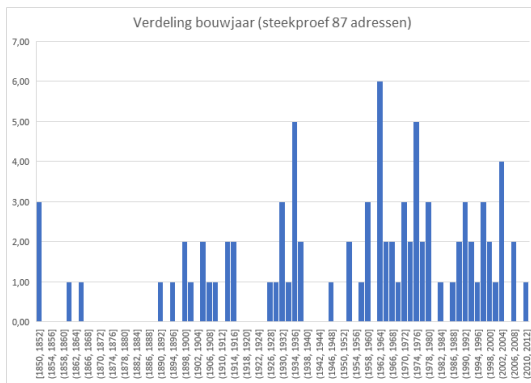
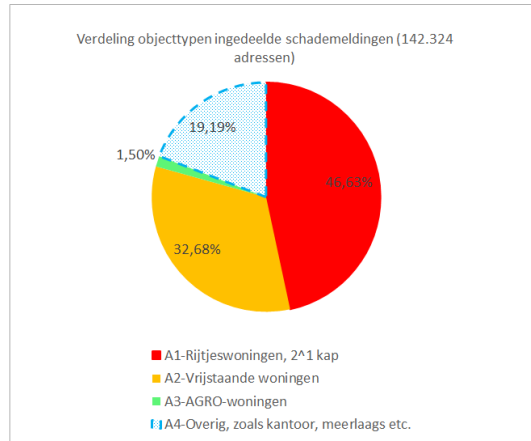
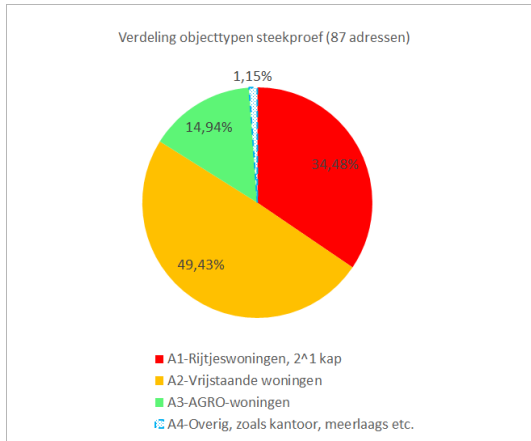
Bijlage 5 Extrapolatie schadebeeld naar onderzoeksgebied

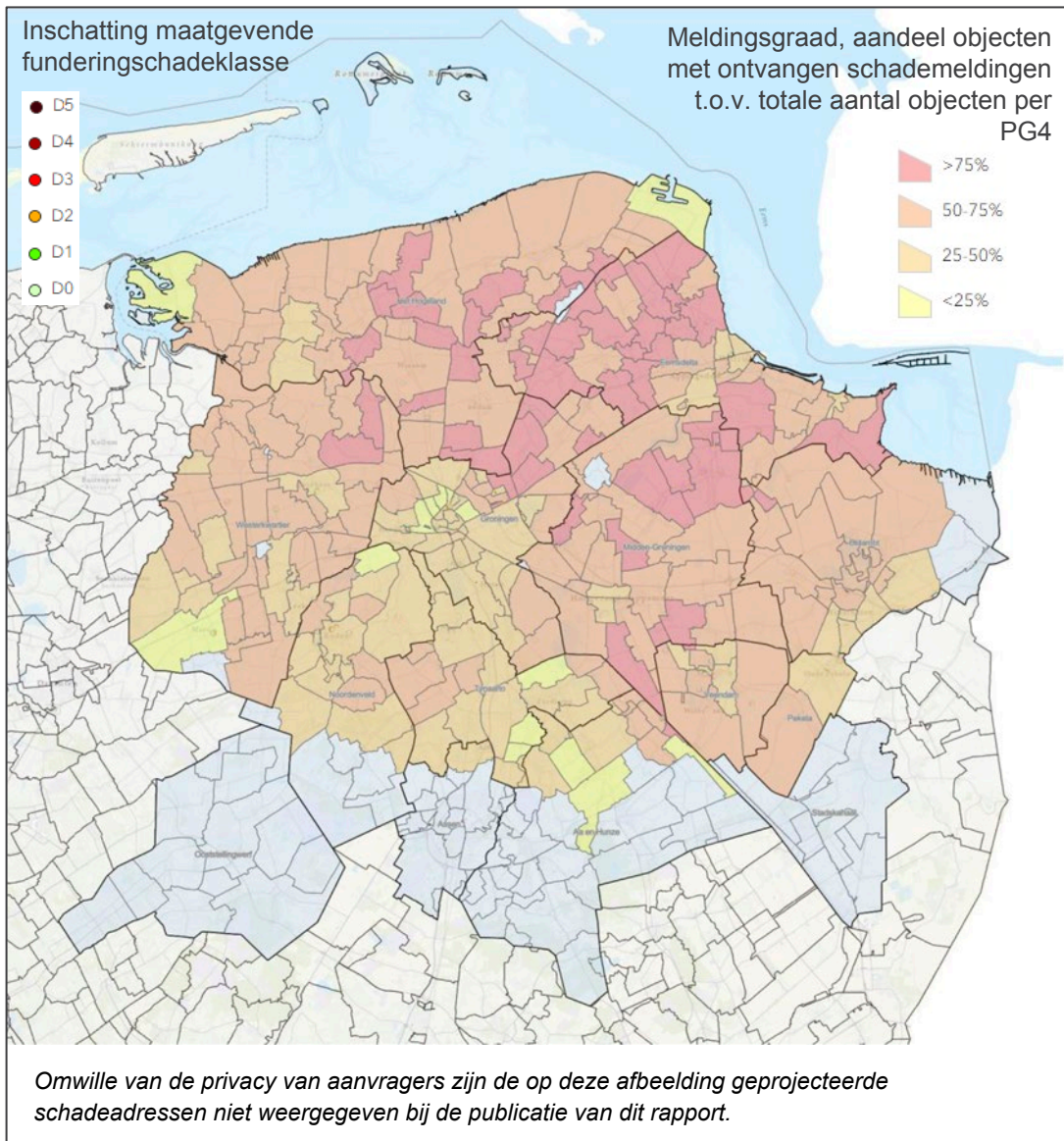
B5.1 Bepaling risicocategorieën geïnventariseerde objecten

Gemeente	Codering object	Postcode PC6	Type object	Bouwjaar object	Kans fundering op staal	Risicocategorie object	Dikte holoceen [m]	Dikte veen boven GLG [m]	GLG _{aanbreem} [m]	GLG Risicocategorie ondergrond	PGV [mm/s]	Ondergrond voor PGV	Risicocategorie seismisch
00. Pilotstudies	00-1	9625	A3	C1	H	ZH	2 ≤ d < 3	≥ 0,5	0,8 ≤ d < 1,0	ZH	≥ 16 mm/s	zand	H
	00-2	9901	A3	C1	H	ZH	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	00-3	9937	A2	C1	M	H	1 ≤ d < 2	< 0,2	≥ 1	L	≥ 16 mm/s	zand	H
	00-4	9919	A2	C1	H	H	≥ 4	< 0,2	0,8 ≤ d < 1,0	H	≥ 40 mm/s	klei	H
	00-5	9628	A3	C1	H	ZH	2 ≤ d < 3	≥ 0,5	≥ 1	ZH	≥ 16 mm/s	zand	H
	00-6	9901	A4	C1	H	M	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
01. Het Hogeland	01-1	9781	A1	C2	H	L	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	8,5-40 mm/s	klei	M
	01-2	9981	A2	C3	H	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	≥ 16 mm/s	zand	H
	01-3	9951	A3	C1	H	ZH	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	8,5-40 mm/s	klei	M
	01-4	9951	A2	C2	H	M	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	01-5	9781	A1	C3	L	ZL	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	01-6	9771	A1	C3	L	ZL	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	01-7	9981	A2	C1	M	H	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	8,5-40 mm/s	klei	M
	01-8	9982	A1	C2	H	L	2 ≤ d < 3	< 0,2	≥ 1	H	≥ 16 mm/s	zand	H
02. Delfzijl / Eemdelta	02-1	9934	A2	C1	H	H	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	02-2	9937	A2	C1	H	H	3 ≤ d < 4	≥ 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	8,5-16 mm/s	zand	M
	02-3	9905	A2	C3	H	ZL	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	02-4	9908	A2	C2	M	M	≥ 4	≥ 0,5	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	02-5	9932	A2	C3	L	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	8,5-16 mm/s	zand	M
	02-6	9932	A1	C2	M	L	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	8,5-16 mm/s	zand	M
	02-7	9908	A3	C1	H	ZH	≥ 4	0,4 ≤ d < 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	02-8	9936	A1	C2	H	L	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	< 8,5 mm/s	klei	L
	02-9	9931	A1	C2	H	L	3 ≤ d < 4	< 0,2	≥ 1	H	8,5-16 mm/s	zand	M
	03. Groningen (stad)	03-1	9797	A2	C1	M	H	3 ≤ d < 4	< 0,2	≥ 1	H	≥ 16 mm/s	zand
03-2		9718	A1	C1	M	M	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	< 8,5 mm/s	klei	L
03-3		9745	A2	C1	H	H	3 ≤ d < 4	< 0,2	≥ 1	H	< 8,5 mm/s	zand	L
03-4		9479	A2	C3	H	ZL	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
03-5		9715	A1	C3	L	ZL	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	8,5-16 mm/s	zand	M
03-6		9715	A2	C1	M	H	3 ≤ d < 4	< 0,2	≥ 1	H	< 8,5 mm/s	zand	L
03-7		9796	A2	C3	L	ZL	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	≥ 16 mm/s	zand	H
03-8		9734	A2	C2	H	M	1 ≤ d < 2	< 0,2	≥ 1	L	8,5-16 mm/s	zand	M
03-9		9792	A2	C3	L	ZL	≥ 4	0,2 ≤ d < 0,3	≥ 1	ZH	≥ 40 mm/s	klei	H
04. Midden-Groningen	04-1	9611	A1	C1	H	M	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	8,5-16 mm/s	zand	M
	04-2	9627	A2	C1	H	H	1 ≤ d < 2	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	≥ 16 mm/s	zand	H
	04-3	9602	A1	C3	H	ZL	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	8,5-16 mm/s	zand	M
	04-4	9628	A2	C2	H	M	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	≥ 16 mm/s	zand	H
	04-5	9628	A3	C1	H	ZH	1 ≤ d < 2	≥ 0,5	≥ 1	ZH	8,5-16 mm/s	zand	M
	04-6	9623	A2	C3	L	ZL	2 ≤ d < 3	≥ 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	≥ 16 mm/s	zand	H
	04-7	9621	A2	C1	H	H	3 ≤ d < 4	≥ 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	≥ 16 mm/s	zand	H
	04-8	9602	A1	C2	H	L	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	8,5-16 mm/s	zand	M
	04-9	9621	A1	C3	H	ZL	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	≥ 16 mm/s	zand	H
05. Oldambt	05-1	9673	A1	C2	H	L	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	05-2	9944	A1	C3	L	ZL	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	05-3	9682	A2	C3	L	ZL	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	05-4	9679	A2	C3	H	ZL	1 ≤ d < 2	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	05-5	9682	A2	C3	H	ZL	2 ≤ d < 3	≥ 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	< 8,5 mm/s	zand	L
	05-6	9944	A3	C1	H	ZH	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	8,5-40 mm/s	klei	M
	05-7	9675	A1	C3	M	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	< 0,4	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	05-8	9944	A3	C1	H	ZH	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	< 8,5 mm/s	klei	L
06. Pekela	06-1	9665	A2	C1	H	H	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	06-2	9665	A1	C2	H	L	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	06-3	9665	A2	C3	H	ZL	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
07. Westerkwartier	07-1	9363	A2	C3	H	ZL	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	07-2	9831	A1	C1	H	M	≥ 4	< 0,2	≥ 1	ZH	< 8,5 mm/s	klei	L
	07-3	9862	A2	C1	H	H	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	07-4	9892	A2	C1	H	H	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	8,5-16 mm/s	zand	M
	07-5	9804	A1	C3	L	ZL	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	< 8,5 mm/s	klei	L
	07-6	9883	A2	C1	H	H	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	07-7	9822	A2	C3	L	ZL	3 ≤ d < 4	< 0,2	< 0,4	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	07-8	9801	A1	C2	L	ZL	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
08. Veendam	08-1	9641	A1	C2	H	L	< 1	< 0,2	< 0,4	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-2	9646	A2	C3	L	ZL	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-3	9648	A2	C2	H	M	1 ≤ d < 2	≥ 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-4	9631	A2	C1	H	H	< 1	< 0,2	< 0,4	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-5	9642	A1	C3	H	ZL	< 1	< 0,2	< 0,4	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-6	9641	A2	C1	H	H	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-7	9644	A3	C1	H	ZH	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	08-8	9642	A1	C2	H	L	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
09. Tynaarlo	09-1	9761	A1	C3	H	ZL	1 ≤ d < 2	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	09-2	9761	A2	C3	M	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	09-3	9765	A2	C2	M	M	≥ 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	M	< 8,5 mm/s	klei	L
	09-4	9496	A3	C3	L	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	09-5	9761	A3	C1	H	ZH	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	09-6	9761	A3	C1	H	ZH	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	09-7	9761	A1	C3	L	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
10. Aa en Hunze	10-1	9761	A1	C2	M	L	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	10-2	9654	A1	C2	H	L	< 1	≥ 0,5	0,4 ≤ d < 0,6	ZH	< 8,5 mm/s	zand	L
	10-3	9468	A2	C3	H	ZL	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	10-4	9655	A2	C2	H	M	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
11. Noordenveld	11-1	9301	A1	C2	M	L	3 ≤ d < 4	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-2	9302	A1	C3	M	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-3	9313	A3	C1	H	ZH	< 1	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	ZL	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-4	9321	A2	C2	H	M	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-5	9302	A2	C3	L	ZL	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-6	9312	A2	C3	L	ZL	1 ≤ d < 2	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-7	9301	A2	C2	M	M	1 ≤ d < 2	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L
	11-8	9301	A1	C2	M	L	2 ≤ d < 3	< 0,2	0,4 ≤ d < 0,6	L	< 8,5 mm/s	zand	L

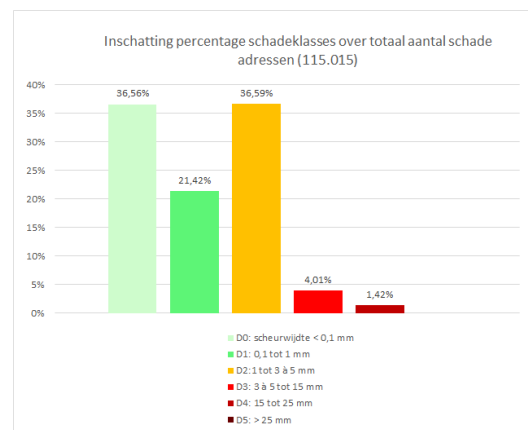
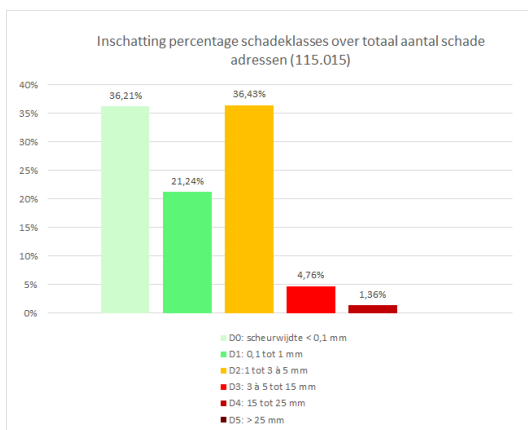
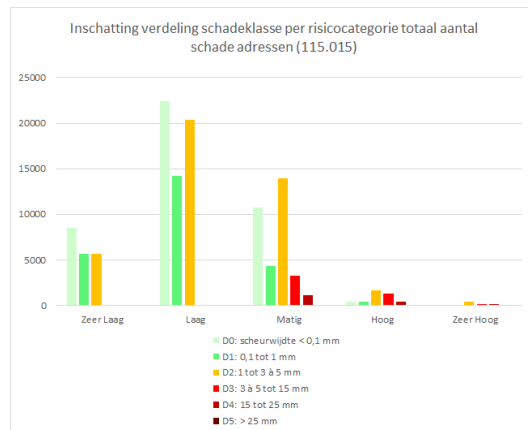
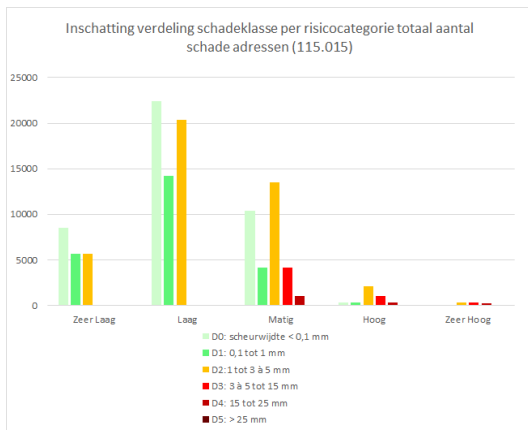
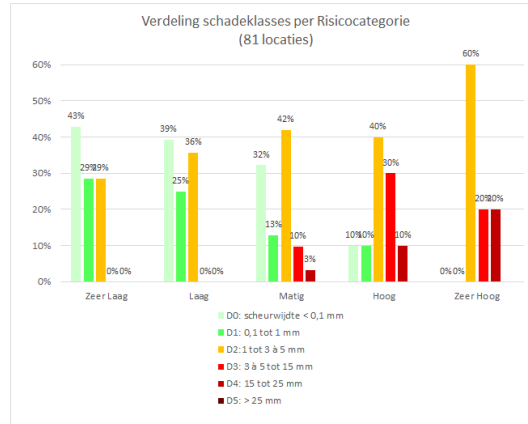
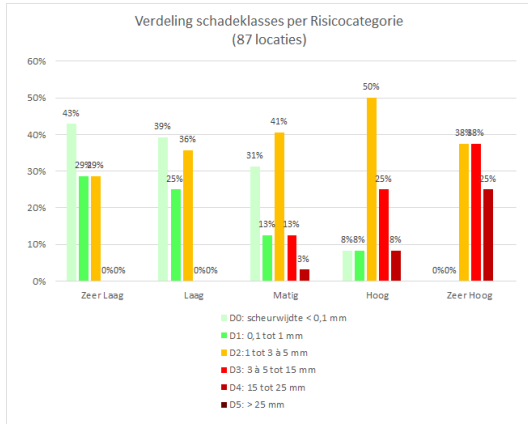
Gemeente	Codering object	Postcode PC6	Score object	Score ondergrond	Score seismisch	Gewicht op score object	Gewicht op score ondergrond	Gewicht op score seismisch	Totale score	Relatieve score totaal	Risicocategorie		Schadeklasse object
											totaal	object	
00. Pilotstudies	00-1	9625	5,0	5,0	4,0	1,0	1,0	0,8	13,2	1,00	ZH	D3	
	00-2	9901	5,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	12,4	0,94	ZH	D4	
	00-3	9937	4,0	2,0	4,0	1,0	1,0	0,8	9,2	0,70	M	D3	
	00-4	9919	4,0	4,0	4,0	1,0	1,0	0,8	11,2	0,85	H	D2	
	00-5	9628	5,0	5,0	4,0	1,0	1,0	0,8	13,2	1,00	ZH	D3	
	00-6	9901	3,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	10,4	0,79	H	D2	
01. Het Hogeland	01-1	9781	2,0	3,0	3,0	1,0	1,0	0,8	7,4	0,56	M	D0	
	01-2	9981	1,0	2,0	4,0	1,0	1,0	0,8	6,2	0,47	L	D2	
	01-3	9951	5,0	3,0	3,0	1,0	1,0	0,8	10,4	0,79	H	D4	
	01-4	9951	3,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	10,4	0,79	H	D1	
	01-5	9781	1,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	8,4	0,64	M	D0	
	01-6	9771	1,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	8,4	0,64	M	D0	
	01-7	9981	4,0	3,0	3,0	1,0	1,0	0,8	9,4	0,71	H	D2	
	01-8	9982	2,0	4,0	4,0	1,0	1,0	0,8	9,2	0,70	M	D2	
02. Delfzijl / Eemsdelta	02-1	9934	4,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D2	
	02-2	9937	4,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	11,4	0,86	ZH	D2	
	02-3	9905	1,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	8,4	0,64	M	D2	
	02-4	9908	3,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	10,4	0,79	H	D2	
	02-5	9932	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0	0,8	5,4	0,41	L	D2	
	02-6	9932	2,0	2,0	3,0	1,0	1,0	0,8	6,4	0,48	L	D1	
	02-7	9908	5,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	12,4	0,94	ZH	D3	
	02-8	9936	2,0	5,0	2,0	1,0	1,0	0,8	8,6	0,65	M	D0	
	02-9	9931	2,0	4,0	3,0	1,0	1,0	0,8	8,4	0,64	M	D0	
	03. Groningen (stad)	03-1	9797	4,0	4,0	4,0	1,0	1,0	0,8	11,2	0,85	H	D3
03-2		9718	3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D0	
03-3		9745	4,0	4,0	2,0	1,0	1,0	0,8	9,6	0,73	H	D3	
03-4		9479	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D2	
03-5		9715	1,0	2,0	3,0	1,0	1,0	0,8	5,4	0,41	L	D0	
03-6		9715	4,0	4,0	2,0	1,0	1,0	0,8	9,6	0,73	H	D2	
03-7		9796	1,0	2,0	4,0	1,0	1,0	0,8	6,2	0,47	L	D0	
03-8		9734	3,0	2,0	3,0	1,0	1,0	0,8	7,4	0,56	M	D2	
03-9		9792	1,0	5,0	4,0	1,0	1,0	0,8	9,2	0,70	M	D1	
04. Midden-Groningen	04-1	9611	3,0	1,0	3,0	1,0	1,0	0,8	6,4	0,48	L	D2	
	04-2	9627	4,0	2,0	4,0	1,0	1,0	0,8	9,2	0,70	M	D2	
	04-3	9602	1,0	1,0	3,0	1,0	1,0	0,8	4,4	0,33	L	D0	
	04-4	9628	3,0	1,0	4,0	1,0	1,0	0,8	7,2	0,55	M	D2	
	04-5	9628	5,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	12,4	0,94	ZH	D2	
	04-6	9623	1,0	5,0	4,0	1,0	1,0	0,8	9,2	0,70	M	D2	
	04-7	9621	4,0	5,0	4,0	1,0	1,0	0,8	12,2	0,92	ZH	D2	
	04-8	9602	2,0	1,0	3,0	1,0	1,0	0,8	5,4	0,41	L	D0	
	04-9	9621	1,0	1,0	4,0	1,0	1,0	0,8	5,2	0,39	L	D1	
05. Oldambt	05-1	9673	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	5,6	0,42	L	D2	
	05-2	9944	1,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	8,4	0,64	M	D0	
	05-3	9682	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D0	
	05-4	9679	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D2	
	05-5	9682	1,0	5,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D0	
	05-6	9944	5,0	5,0	3,0	1,0	1,0	0,8	12,4	0,94	ZH	D4	
	05-7	9675	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D2	
	05-8	9944	5,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,8	9,6	0,73	H	D3	
06. Pekela	06-1	9665	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	6,6	0,50	M	D3	
	06-2	9665	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D1	
	06-3	9665	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D0	
07. Westerkwartier	07-1	9363	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D2	
	07-2	9831	3,0	5,0	2,0	1,0	1,0	0,8	9,6	0,73	H	D2	
	07-3	9862	4,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D2	
	07-4	9892	4,0	2,0	3,0	1,0	1,0	0,8	8,4	0,64	M	D2	
	07-5	9804	1,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,8	5,6	0,42	L	D0	
	07-6	9883	4,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D2	
	07-7	9822	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D1	
	07-8	9801	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	5,6	0,42	L	D1	
08. Veendam	08-1	9641	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D2	
	08-2	9646	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D0	
	08-3	9648	3,0	5,0	2,0	1,0	1,0	0,8	9,6	0,73	H	D0	
	08-4	9631	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	6,6	0,50	M	D1	
	08-5	9642	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D0	
	08-6	9641	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	6,6	0,50	M	D2	
	08-7	9644	5,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D3	
	08-8	9642	2,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D1	
09. Tynaarlo	09-1	9761	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D1	
	09-2	9761	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D0	
	09-3	9765	3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D0	
	09-4	9496	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D0	
	09-5	9761	5,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	8,6	0,65	M	D2	
	09-6	9761	5,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D1	
	09-7	9761	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D1	
10. Aa en Hunze	10-1	9761	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	5,6	0,42	L	D2	
	10-2	9654	2,0	5,0	2,0	1,0	1,0	0,8	8,6	0,65	M	D0	
	10-3	9468	1,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	3,6	0,27	ZL	D1	
	10-4	9655	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	6,6	0,50	M	D2	
11. Noordenveld	11-1	9301	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	5,6	0,42	L	D2	
	11-2	9302	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D0	
	11-3	9313	5,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0,8	7,6	0,58	M	D4	
	11-4	9321	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	6,6	0,50	M	D3	
	11-5	9302	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D0	
	11-6	9312	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	4,6	0,35	L	D0	
	11-7	9301	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	6,6	0,50	M	D1	
	11-8	9301	2,0	2,0	2,0	1,0	1,0	0,8	5,6	0,42	L	D2	

B5.2 Verdeling objectkenmerken over onderzoeksgebied





B5.2 Resultaten extrapolatie funderingsschade naar onderzoeksgebied



B5.3 Risicokaarten met meest relevante locatiegerelateerde mechanismen

