

Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 15 276 30 00
F +31 15 276 30 10
info-BenO@tno.nl

TNO-rapport

TNO-034-DTM-2009-04435

Kalibratiestudie schade door aardbevingen

Datum	11 november 2009
Auteur(s)	Ir W. Roos Dr Ir P.H. Waarts Drs B.B.T. Wassing
Opdrachtgever	NAM, TAQA, Vermilion
Projectnummer	034.77219/01.01

Rubricering rapport

Titel
Samenvatting
Rapporttekst
Bijlagen

Aantal pagina's	33 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
1.1	Achtergrond.....	3
1.2	Doel.....	4
1.3	Aanpak	4
2	Relatie trillingssnelheid ~ kans op schade	6
2.1	Categorisering van de woningen	6
2.2	Attenuation curves.....	7
2.3	Analyse aardbevingen	10
2.4	Totaal.....	20
2.5	Conclusies	22
3	Buitengrenzen van schade	23
3.1	Bovengrens.....	23
3.2	Relatie buitengrens ~ magnitude	24
4	Validatie	26
5	Conclusies en aanbevelingen	28
5.1	Conclusies	28
5.2	Aanbevelingen.....	28
	Bijlage(n)	
	A Buitengrenzen Alkmaar	
	B Schadevoorspelling	

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In 2003 en 2004 is door TNO en KNMI in opdracht van het consortium bestaande uit Nederlandse Aardolie Maatschappij BV, BP Nederland Energie BV, TOTAL Nederland BV en Wintershall Noordzee BV onderzoek uitgevoerd naar de seismische hazard door geïnduceerde aardbevingen (seismische hazard analyse) en de gevoeligheid van de verschillende typen woningen voor schade door geïnduceerde seismiciteit.

In de seismische hazard analyse is geanalyseerd welke trillingssnelheden aan maaiveld kunnen optreden ten gevolge van de geïnduceerde aardbevingen. De resultaten van de hazardanalyse worden weergegeven op hazard zonation kaarten. De gevoeligheid van de gebouwen voor schade is beoordeeld door de trillingssnelheden, die met de modellen voorspeld worden, te vergelijken met de grenswaarden voor trillingssnelheden en schadekansen voor verschillende typen woningen uit de SBR-richtlijn 'Trilling: meet en beoordelingsrichtlijnen, deel A - Schade aan gebouwen'. Uit een vergelijking van de voorspelde schade met de schade die geclaimd is, blijkt dat er met de huidige hazard- en schademodellen met name op de grotere afstanden (> 6 km van het epicentrum) meer schade wordt voorspeld dan wordt geclaimd.

Een betere predictie van de schade kan mogelijk worden bereikt door de verschillende modellen die ten grondslag liggen aan de hazard- en schadeanalyse te kalibreren aan de hand van metingen en waarnemingen tijdens een aantal geïnduceerde aardbevingen.

In 2006 is daarom in opdracht van het consortium (bestaande uit Nederlandse Aardolie Maatschappij BV, BP Nederland Energie BV, Vermilion Oil & Gas Netherlands BV en Wintershall Noordzee BV) gestart met het onderzoek "Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen Kalibratie hazard- en schademodellen". Het doel van dit onderzoek is:

- Kalibratie van de attenuation relatie, site response en schademodellen op basis van beschikbare metingen en waarnemingen (accelerometerdata, intensiteitsdata en schademeldingen/rapporten).
- Bepaling van de afstand tot het epicentrum, waarop nog schade verwacht wordt (verwachtingswaarde voor de 'buitengrens' van schade) bij een gegeven aardbevingsmagnitude.

Het onderzoek is opgedeeld in twee fasen. In fase 1 van het project is een selectie gemaakt van aardbevingscases en is geïnventariseerd welke data voor kalibratie beschikbaar zijn. Op grond hiervan is geconcludeerd dat de focus van het vervolgonderzoek in fase 2 moet liggen op de kalibratie van de schademodellen.

Dit rapport beschrijft de resultaten van fase 2: de kalibratie van de schademodellen.

1.2 Doel

Het doel van fase 2 is drieledig:

- Kalibratie van de schademodelen (de relatie tussen trillingssnelheid en kans-op schade voor diverse type woningen) op basis van de nieuwe attenuation relatie van het KNMI en de schademeldingen.
- Bepalen van de afstand van het epicentrum, waarop nog schade verwacht wordt (verwachtingswaarde voor de ‘buitengrens’ van schade) bij een gegeven aardbevingsmagnitude.
- Validatie aan de hand van de Aardbeving te Alkmaar (2001).

1.3 Aanpak

Het onderzoek is opgedeeld in drie activiteiten, te weten:

- Activiteit 1; Bepaling relatie trillingssnelheid en kans op schade per woningcategorie

De relatie tussen trillingssnelheid en kans op schade is bepaald op basis van de volgende aardbevingscases:

- Roswinkel beving 1997 (M=3.4)
- Roswinkel beving 1998 (M=3.2)
- Hoeksmeer beving 2003 (M=3.0)
- Stedum beving 2003 (M=3.0)
- Westeremden beving 2006 (M=3.5)

De beving van Alkmaar 2001 is niet meegenomen wegens het ontbreken van accelerometerdata en het feit dat hier twee bevingen, met verschillende magnitude, kort na elkaar plaatsvonden. Door dit laatste is het onduidelijk welke beving welke schade heeft veroorzaakt.

Per woningcategorie is de relatie tussen de trillingssnelheid en de kans op toegekende schadeclaim als volgt bepaald:

- Indelen van alle woningen in de aardbevingsgebieden in een representatieve woningcategorie. Hiertoe zijn BridGis gegevens over woningtype en bouwjaar per adresniveau aangeschaft.
- Indelen schademeldingen en schadetoekenningen in een woningcategorie.
- Bepaling van de relatie tussen afstand en de kans op toegekende schadeclaims per woningcategorie.
- Afleiden van de relatie tussen trillingssnelheid en kans op schade (toegekende schadeclaims) per woningcategorie. De relatie trillingssnelheid ~ afstand epicentrum wordt verkregen uit de attenuation relatie van het KNMI.

- Activiteit 2: Bepaling van de verwachtingswaarde en bovengrens voor de ‘buitengrens’ van toegekende schadeclaim per aardbevingscase.

Bepaling van de verwachtingswaarde voor de ‘buitengrens’ van toegekende schadeclaim per aardbevingscase. Er worden hier twee situaties bepaald: Enerzijds wordt uitgegaan van de verwachtingswaarde, anderzijds wordt uitgegaan van de 1 of 5 % overschrijdingskans, waarbij rekening wordt gehouden met de onzekerheid in de attenuation curve en schade curve.

- Activiteit 3 – Validatie

De in activiteit 1 gevonden relatie tussen trillingssnelheid en schade zal worden gevalideerd aan de hand van de schadegevallen voor de twee aardbevingen te Alkmaar

in 2001. De schadegevallen van beide aardbevingen moeten binnen de in activiteit 2 gevonden buitengrens vallen.

2 Relatie trillingssnelheid ~ kans op schade

2.1 Categorisering van de woningen

Ten behoeve van de bepaling van de relatie tussen de trillingssnelheid en de kans op schade wordt gebruik gemaakt van de gegevens van de volgende aardbevingscases:

- Roswinkel beving 1997 (M=3.4)
- Roswinkel beving 1998 (M=3.2)
- Hoeksmeer beving 2003 (M=3.0)
- Stedum beving 2003 (M=3.0)
- Westeremden beving 2006 (M=3.5)

Deze vijf aardbevingscase vallen in de volgende twee gebieden:

- Gebied Roswinkel – 11 km rond X109000, Y518500
Roswinkel beving 1997 & Roswinkel beving 1998

- Gebied Groningen – 15 km rond X242000, Y596600
Hoeksmeer beving 2003, Stedum beving 2003 & Westeremden beving 2006

Van deze gebieden zijn de adresgegevens (Bridgis) aangeschaft en daarbij per adres:

- Het woningtype
- Het bouwjaar
- De XYcoördinaten

Op basis van deze gegevens zijn de woningen in de gebieden gecategoriseerd in één van de categorieën uit tabel 1. De indeling in deze categorieën is ingegeven vanwege de verschillen in bouwwijze. Zo bestaat de draagconstructie van boerderijen en laagbouwwoningen veelal uit metselwerk en is deze bij hoogbouwwoningen veelal van beton. Metselwerk is gevoeliger voor trillingen dan beton. Daarnaast zullen de lange gevels van boerderijen weer gevoeliger zijn voor trillingen dan de korte gevels van laagbouwwoningen. De onderverdeling in voor en na 1940 is zeer grof en geeft grofweg de start van enkele veranderingen in bouwwijze en gebruikte materialen (gebruik spouw, gebruik beton in woningbouw, andere mortels, cement i.p.v. kalk, voor metselwerk etc.). Elk van deze veranderingen zal ofwel een verbetering ten opzichte van de gevoeligheid voor trillingen opleveren (gebruik beton in woningbouw) ofwel een verslechtering (cement in plaats van kalk). Het ontstaan van schade zal altijd een combinatie van meerdere factoren betreffen.

Naast deze drie woningcategorieën worden in de adresgegevens nog andere woningtypen onderscheiden zoals garage, woonboten en woonwagens. Deze woningtypen en woningen waarvan het bouwjaar niet bekend is zijn verder buiten beschouwing gelaten (categorie “niet gecategoriseerd” in tabel 1).

Tabel 1 Woningcategorieën en aantal woningen in aardbevingsgebieden per woningcategorie

Categorie	Beschrijving	Aantal woningen Gebied Roswinkel	Aantal woningen Gebied Groningen
1a	Boerderij voor 1940	341	789
1b	Boerderij na 1940	190	217
2a	Laagbouwwoning voor 1940	3664	4969
2b	Laagbouwwoning na 1940	16248	24308
3a	Hoogbouwwoning voor 1940	12	30
3b	Hoogbouwwoning na 1940	2617	5212
#	Niet gecategoriseerd	3051	22558
	Totaal woningen	26123	58083

De adressen uit de schademeldingen van de aardbevingen zijn op basis van de aangeschafte gegevens (Bridgis) gekoppeld aan een woningcategorie. In tabel 2 is een overzicht gegeven van het aantal woningen per woningcategorie voor deze schademeldingen (M) en de toegekende schademeldingen (S).

Tabel 2 Aantal schademeldingen (M) en toegekende schademeldingen (S) per woningcategorie

Categorie	Roswinkel 97		Roswinkel 98		Hoeksmeer		Stedum		Westeremden	
	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S
1a	19	18	12	12	0	0	13	7	32	24
1b	5	4	4	3	0	0	2	2	6	2
2a	87	76	59	57	7	2	33	16	144	106
2b	81	73	59	55	6	3	27	15	121	85
3a	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
#	42	32	14	14	1	0	7	3	107	56
Totaal	235	204	148	141	14	5	82	43	410	275

De schademeldingen (M) en toegekende schademeldingen (S) die in de categorie “niet gecategoriseerd” vallen zijn woningen met “ongeldige” postcode – huisnummer combinaties, alsmede schademeldingen waarbij een postbus nummer is opgegeven. Van deze schademeldingen kan niet worden vastgesteld in welke categorie de woningen vallen, waardoor deze schademelding buiten de analyse vallen. Daarnaast kan ook niet worden vastgesteld wat de afstand tot het epicentrum is.

2.2 Attenuation curves

De verwachtingswaarde voor de trillingssnelheid op een bepaalde afstand van het epicentrum aan maaiveld voor de 5 cases wordt verkregen uit de attenuation relatie van het KNMI. De attenuation curve is berekend op basis van de attenuation relatie van het KNMI voor Noord-Nederland, gebaseerd op accelerometerdata en boorgatseismometerdata (Dost, pers. comm., 2007). De attenuation relatie is als volgt geformuleerd:

$$\log V_h(R) = -1.83 + \log(OS) + 0.74M - 0.00139\sqrt{(d^2 + R^2)} - 1.33\log(\sqrt{(d^2 + R^2)})$$

Met:

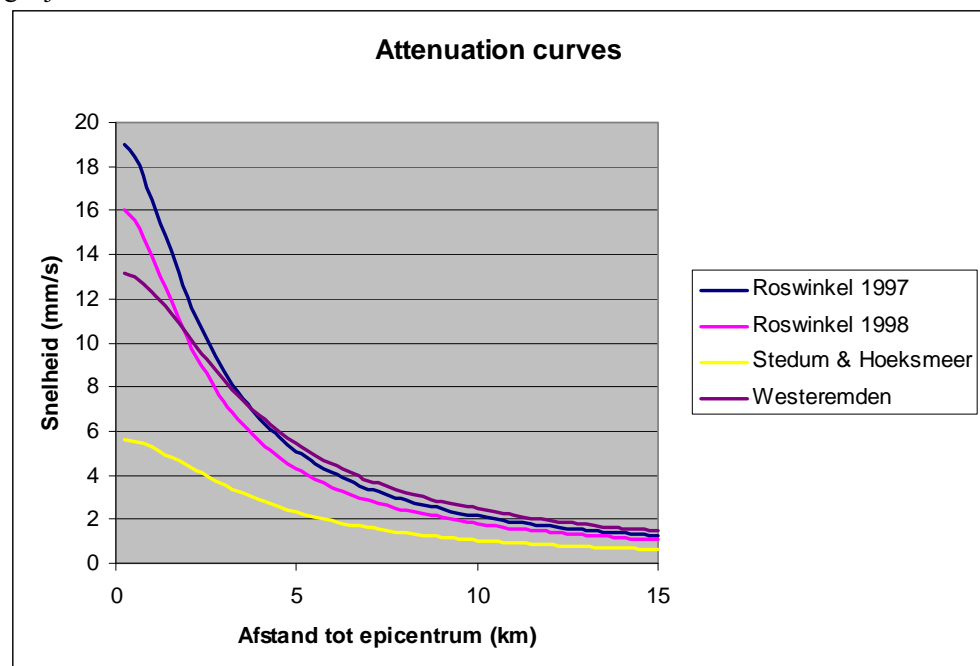
- R = afstand (m),
- d = diepte(m) hypocentrum,
- M = magnitude,
- V_h = peak ground velocity of pgv (cm/s) en
- OS = opslingerfactor (-) voor de ondergrond.

In tabel 3 zijn voor de vijf aardbevingen de waarden van bovengenoemde parameters gegeven. De gekozen haarddieptes en opslingerfactoren uit tabel 3, gebruikt in de berekeningen van de snelheden aan maaiveld, geven de beste fit op de accelerometerdata voor de betreffende bevingen.

Tabel 3: Parameters van de attenuationcurves

	Roswinkel 97	Roswinkel 98	Hoeksmeer	Stedum	Westeremden
d (m)	2000	2000	3000	3000	3000
M (-)	3,4	3,3	3,0	3,0	3,5
OS (-)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

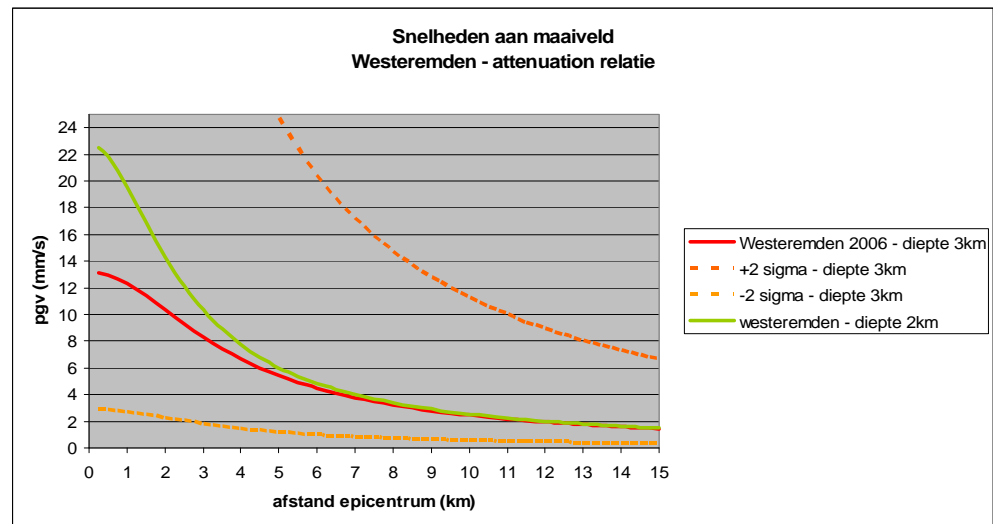
In figuur 1 zijn de attenuation curves voor de vijf bevingen gegeven, voor de inputparameters uit tabel 3. De attenuation curve voor Stedum en Hoeksmeer zijn gelijk.



Figuur 1 Attenuation curve Roswinkel 97

De standaardafwijking σ voor de attenuation relatie (voor $\log V_h$) is relatief groot, namelijk $\sigma=0.33$ (Van Eck, pers. comm., 2008). Figuur 2 geeft ter illustratie de verwachtingswaarde en bandbreedte van $2*\sigma$ voor de aardbeving Westeremden weer. Recent onderzoek door KNMI wijst erop dat een groot deel van de spreiding in de snelheden op een bepaalde afstand van het epicentrum veroorzaakt wordt door het haardmechanisme van de beving. Naast het haardmechanisme leiden ook de

onzekerheden met betrekking tot de haarddiepte en de gemiddelde OS-factor (opslingerfactor) tot onzekerheden in de snelheden aan maaiveld (zie bijvoorbeeld de groene lijn in figuur 2). Zoals blijkt uit figuur 2 heeft de onzekerheid in haarddiepte met name effect op de snelheden op de kortere afstanden van het epicentrum van de beving. De onzekerheid in opslingerfactor heeft ook invloed op de snelheden op de grotere afstanden van het epicentrum.



Figuur 2 Verwachtingswaarde en bandbreedte van de snelheid aan maaiveld (pgv) voor de Westeremdenbeving 2006, onder aanname van haarddiepte 3km en OS=1. De groene lijn geeft de verwachtingswaarde van de pgv voor een haarddiepte van 2km en OS=1.

In deze studie wordt als normering voor de kans op schade alleen de verwachtingswaarde van de attenuation gebruikt. De onzekerheid in attenuation wordt verdisconteerd met de variatie in de waarnemingen van de kans op schade.

2.3 Analyse aardbevingen

2.3.1 Roswinkel 1997

In tabel 4 zijn de woninggegevens uit tabel 1 en 2 die voor de analyse van de beving in Roswinkel in 1997 van belang zijn samengevoegd.

Tabel 4 Gegevens woningen Roswinkel 1997

Categorie	Aantal woningen Gebied Roswinkel	Roswinkel 97	
		M	S
Boerderij voor 1940	341	19	18
Boerderij na 1940	190	5	4
Laagbouwwoning voor 1940	3664	87	76
Laagbouwwoning na 1940	16248	81	73
Hoogbouwwoning voor 1940	12	1	1
Hoogbouwwoning na 1940	2617	0	0
Niet gecategoriseerd	3051	42	32
Totaal woningen	26123	235	204

In tabel 4 valt op dat, met name voor de beide categorieën boerderijen, het aantal toegekende schadeclaims bijna gelijk is met het aantal schademeldingen.

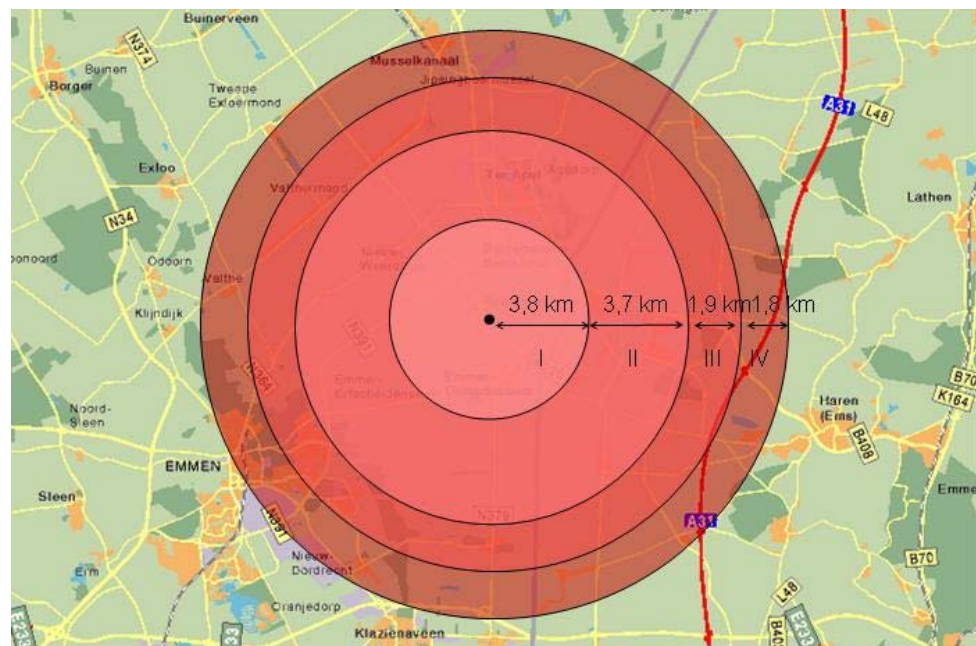
Ten behoeve van de bepaling van de kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid is van alle woningen in het gebied Roswinkel de afstand tot het epicentrum bepaald. Vervolgens is het gebied Roswinkel opgedeeld in ringen. In iedere ring zijn evenveel woningen gelegen. Dit is gedaan voor ieder woningtype afzonderlijk. Ten slotte is per ring de kans op schade bepaald en is deze gekoppeld aan de verwachtingswaarde voor de trillingssnelheid, welke uit de attenuation curve volgt.

Aangezien het aantal woningen per woningtype in het gebied Roswinkel enorm uiteenloopt (190 boerderijen van na 1940 tegenover 16248 laagbouwwoningen van na 1940) en het aantal punten in een grafiek hanteerbaar te houden is ervoor gekozen om het aantal woningen per ring afhankelijk te laten zijn van de woningcategorie. Ten behoeve van de statistische analyse is een minimale ringgrootte van 100 woning per ring nodig. In tabel 5 is per categorie aangegeven hoeveel woningen een ring ongeveer bevat en in figuur 3 is de opdeling van een gebied in ringen gevisualiseerd. Voor iedere woningcategorie en voor iedere aardbevingscase is de grootte van de ringen bepaald opdat iedere ring een gelijk aantal woningen van die woningcategorie bevat.

De woningcategorieën hoogbouwwoningen voor 1940 en hoogbouwwoningen na 1940 zijn niet in de figuren opgenomen omdat de lijnen van deze categorieën op 0% liggen (respectievelijk te weinig data en geen schadetoekenningen).

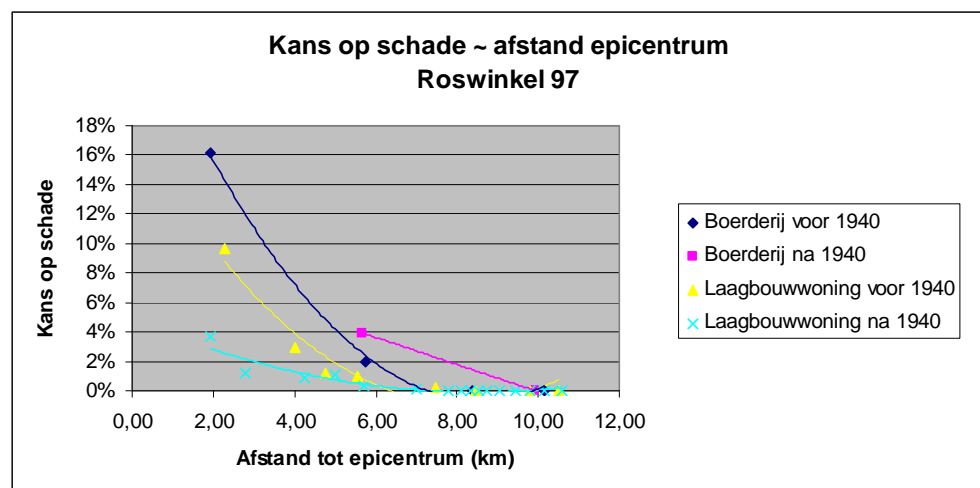
Tabel 5 Aantal woningen per ring

Categorie	Aantal woningen Gebied Roswinkel	Aantal woningen per ring
Boerderij voor 1940	341	100
Boerderij na 1940	190	100
Laagbouwwoning voor 1940	3664	500
Laagbouwwoning na 1940	16248	1000



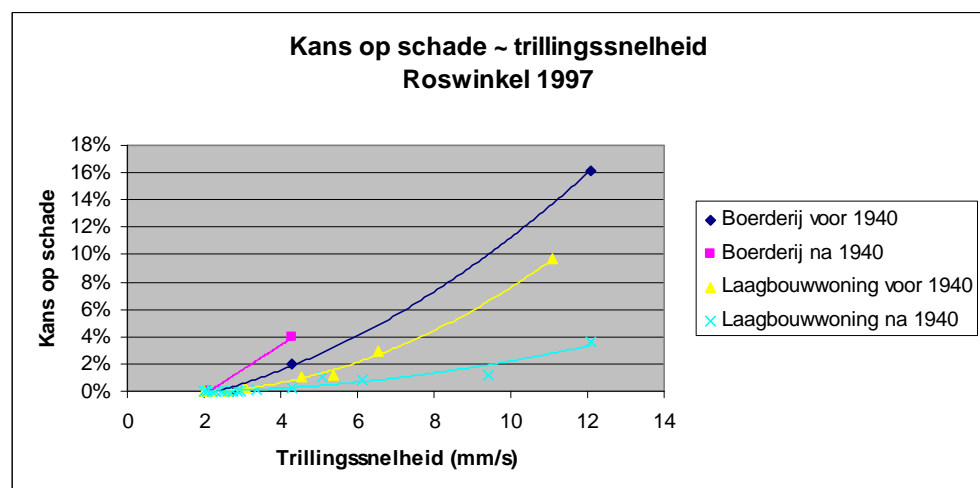
Figuur 3 Voorbeeld van ringindeling voor boerderijen voor 1940: 4 ringen (I, II, III, IV) ieder met verschillend oppervlak maar met gelijk aantal boerderijen van voor 1940, middelpunt van de ringen is het epicentrum.

Aan de hand van het aantal schadetoekenningen per ring is vastgesteld wat de kans op schade is in een bepaalde ring (bijvoorbeeld: ring II heeft 100 boerderijen van voor 1940 waarvan 2 schade hebben hieruit volgt: kans 0,02). Daarnaast is per ring de gemiddelde afstand van de woningen uit die ring tot het epicentrum bepaald (bijvoorbeeld: de 100 boerderijen van voor 1940 uit ring II liggen gemiddeld op 5,8 km afstand van het epicentrum). De resultaten zijn in figuur 4 weergegeven (bijvoorbeeld: op 5,8 km afstand is de kans op schade voor een boerderij van voor 1940 0,02). Door de punten is een tweede graads polynoom gefit op basis van de kleinste kwadraten methode.



Figuur 4 Roswinkel 1997: Kans op schade bij een bepaalde afstand tot het epicentrum

Door combinatie van de gegevens uit figuur 1 en 4 kan de relatie kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid worden bepaald. Deze relatie is weergegeven in figuur 5.



Figuur 5 Roswinkel 1997: Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid

Uit figuur 4 en 5 kan het volgende worden afgeleid voor de aardbevingscase Roswinkel 1997:

1. boerderijen zijn gevoeliger dan laagbouwwoningen
2. boerderijen voor 1940 zijn minder gevoelig dan boerderijen na 1940
3. laagbouwwoningen na 1940 zijn minder gevoelig dan laagbouwwoningen voor 1940
4. hoogbouwwoningen niet gevoelig zijn

In het navolgende is getracht om een algemene verklaring te geven bij de hiervoor genoemde punten. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat het ontstaan van schade in de meeste gevallen een combinatie van verschillende factoren zal zijn, die voor ieder schadegeval zullen verschillen. De verklaring kan dus voor afzonderlijke gevallen anders zijn en is slechts een zeer ruime verklaring.

1. Boerderijen zijn gevoeliger dan laagbouwwoningen

Dit kan worden verklaard door de vaak kortere lengte van gevels van laagbouwwoningen ten opzichte van de gevels van boerderijen. Bij een zelfde vervorming treed bij de lange gevel dan een grotere rek op.

2. Boerderijen voor 1940 zijn minder gevoelig dan boerderijen na 1940

Aangezien er weinig tot geen boerderijen van na 1940 op korte afstand van het epicentrum voorkomen (zie figuur 4: eerste 100 boerderijen liggen gemiddeld op ongeveer 6 km afstand) is op basis van figuur 5 het verschil tussen de categorieën boerderij voor 1940 en boerderij na 1940 op kleinere afstanden / grotere trillingssnelheden niet af te leiden. Op grotere afstanden / bij kleinere trillingssnelheden is een boerderij na 1940 gevoeliger dan een boerderij voor 1940. Dit zou veroorzaakt kunnen worden doordat de voor 1940 (grofweg) gebruikte kalkmortels flexibeler zijn.

3. Laagbouwwoningen na 1940 zijn minder gevoelig dan laagbouwwoningen voor 1940

Laagbouwwoningen van voor 1940 zijn gevoeliger dan laagbouwwoningen na 1940. Dit strookt niet met voorgaande opmerking dat de voor 1940 (grofweg) gebruikte kalkmortels flexibeler zijn. Blijkbaar is in dit geval een ander mechanisme leidend. Waarschijnlijk is in dit geval de combinatie korte, relatief stijve, gevels, en flexibele maar rekgevoelige mortels niet ideaal. In de stijve gevels zullen spanningsconcentraties rond de raamopeningen optreden. Hierdoor zullen de voegen (rekgevoelig) rond raamopeningen scheuren.

4. Hoogbouwwoningen niet gevoelig zijn

Gezien het lage aantal schademeldingen is geen relatie tussen kans op schade en trillingssnelheid gevonden voor de woningcategorieën van hoogbouwwoningen. Hoogbouw blijkt in dit geval dus minder gevoelig. Dit zal veroorzaakt worden door de bouwwijze (gietbouw, elementenbouw).

2.3.2 Roswinkel 1998

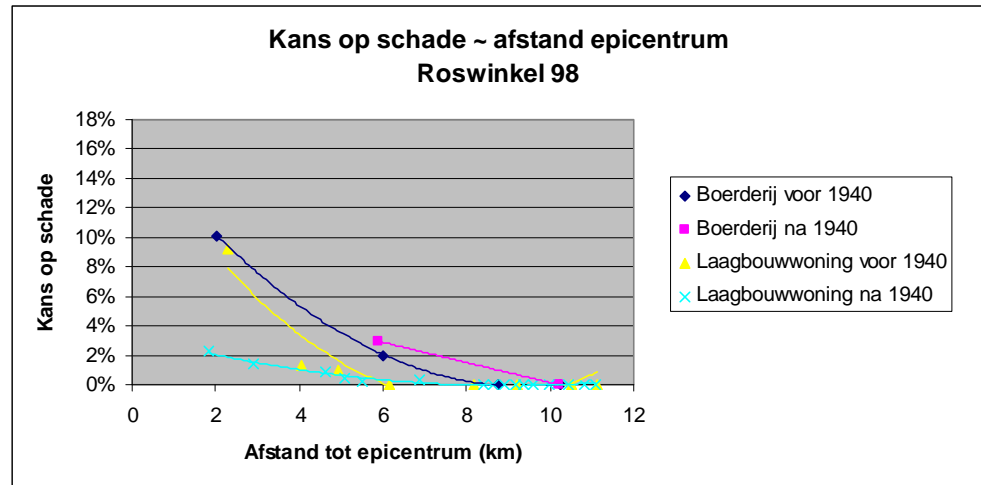
In tabel 6 zijn de woninggegevens uit tabel 1 en 2 die voor de analyse van de beving in Roswinkel in 1998 van belang zijn samengevoegd.

Tabel 6 Gegevens woningen Roswinkel 1998

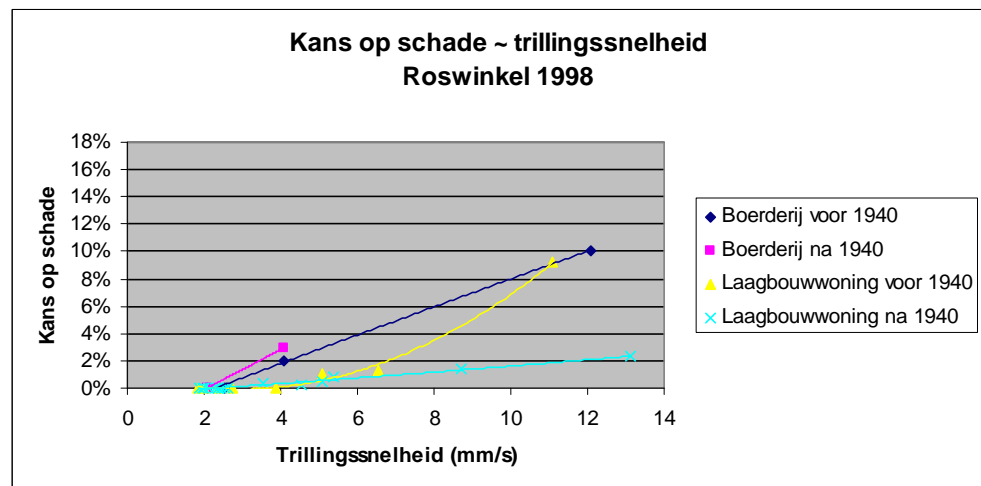
Categorie	Aantal woningen Gebied Roswinkel	Roswinkel 98	
		M	S
Boerderij voor 1940	341	12	12
Boerderij na 1940	190	4	3
Laagbouwwoning voor 1940	3664	59	57
Laagbouwwoning na 1940	16248	59	55
Hoogbouwwoning voor 1940	12	0	0
Hoogbouwwoning na 1940	2617	0	0
Niet gecategoriseerd	3051	14	14
Totaal woningen	26123	148	141

Het aantal woningen per ring is gelijk aan de verdeling die voor Roswinkel 1997 is gekozen (zie tabel 5). In figuur 6 en 7 zijn op basis van de gegevens van de beving van Roswinkel in 1998 weer de kans op schade gegeven bij een bepaalde afstand tot het epicentrum (figuur 6) en een bepaalde trillingssnelheid (figuur 7) gegeven.

De woningcategorieën hoogbouwwoningen voor 1940 en hoogbouwwoningen na 1940 wordt ook in deze figuur niet weergegeven aangezien voor beide woningcategorieën geen schademeldingen zijn ontvangen waardoor de kans op schade gelijk is aan 0%.



Figuur 6 Roswinkel 1998: Kans op schade bij een bepaalde afstand tot het epicentrum



Figuur 7 Roswinkel 1998: Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid

Uit bovenstaande figuren komt wederom naar voren dat boerderijen gevoeliger zijn dan laagbouwwoningen en dat hoogbouwwoningen niet gevoelig zijn voor de aardbeving. Opvallend is dat de schadecurve voor laagbouwwoningen van voor 1940 grofweg overeenkomt met de schadecurve voor deze categorie die volgt uit de gegevens van de beving bij Roswinkel in 1997 (zie figuur 5). De schadecurven voor de overige categorieën wijken voornamelijk bij hogere snelheden iets af van de schadecurven die volgen uit de beving bij Roswinkel in 1997 (zie figuur 5). De kans op schade voor deze categorieën is op basis van de gegevens van de beving van Roswinkel 1997 iets hoger. Onduidelijk is waar dit verschil door wordt veroorzaakt.

2.3.3 *Hoeksmeer*

In tabel 7 zijn de woninggegevens uit tabel 1 en 2 die voor de analyse van de beving in Hoeksmeer van belang zijn samengevoegd.

Tabel 7 Gegevens woningen Hoeksmeer

Categorie	Aantal woningen Gebied Groningen	Hoeksmeer	
		M	S
Boerderij voor 1940	789	0	0
Boerderij na 1940	217	0	0
Laagbouwwoning voor 1940	4969	7	2
Laagbouwwoning na 1940	24308	6	3
Hoogbouwwoning voor 1940	30	0	0
Hoogbouwwoning na 1940	5212	0	0
Niet gecategoriseerd	22558	1	0
Totaal woningen	58083	14	5

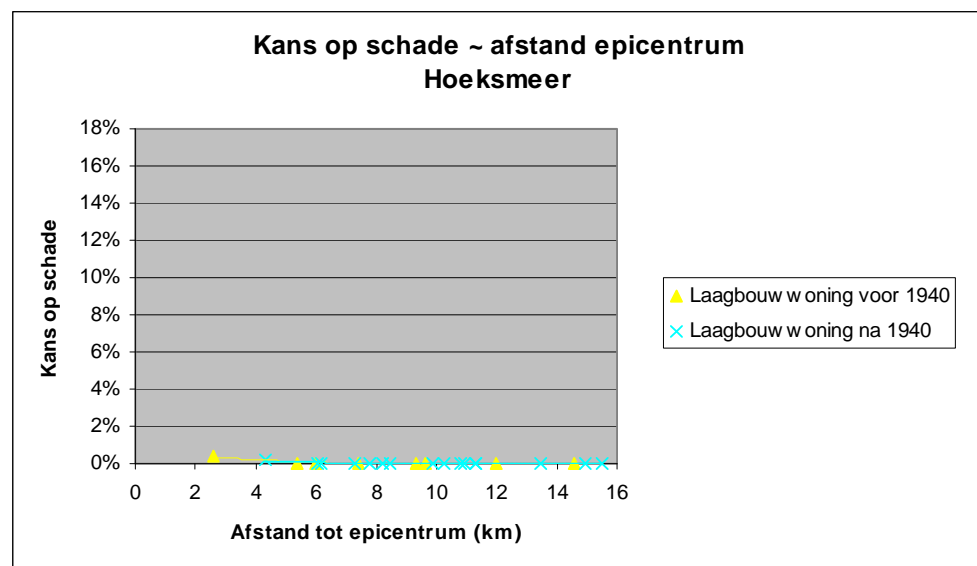
Aangezien er alleen toegekende schademeldingen zijn bij de woningcategorieën laagbouwwoningen voor 1940 en laagbouwwoningen na 1940 worden alleen deze categorieën in de figuren weergegeven. Voor de andere categorieën geldt dat de kans op schadeclaims gelijk is aan 0%. Deze lijnen worden niet weergegeven in de grafieken.

Ook in het gebied Groningen lopen het aantal woningen per woningcategorie erg uiteen. Daarom worden ook voor dit gebied het aantal woningen per ring afgestemd op het aantal woningen in een bepaalde categorie (zie tabel 8).

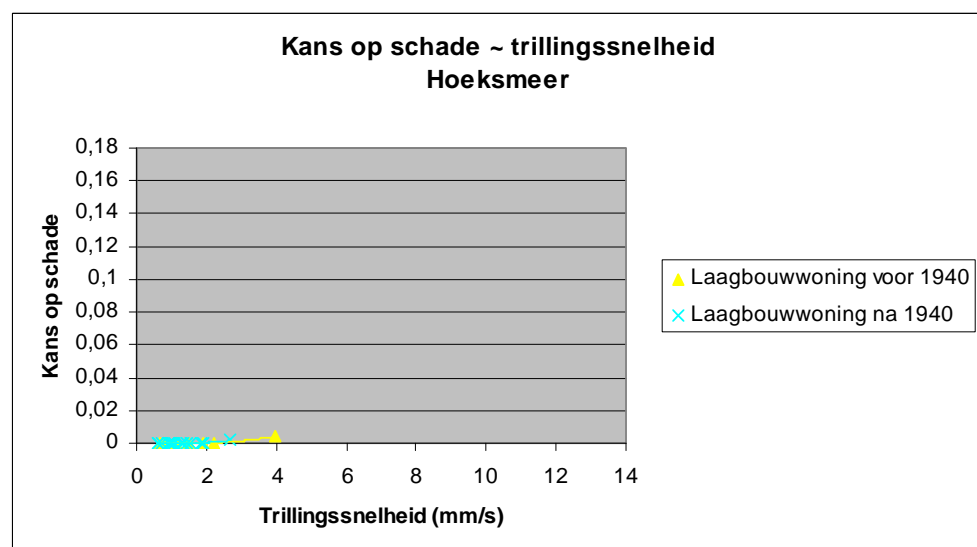
Tabel 8 Aantal woningen per ring

Categorie	Aantal woningen Gebied Groningen	Aantal woningen per ring
Boerderij voor 1940	789	100
Boerderij na 1940	217	100
Laagbouwwoning voor 1940	4969	500
Laagbouwwoning na 1940	24308	1000

In figuur 8 en 9 is op basis van de gegevens van de beving van Hoeksmeer de kans op schade gegeven bij een bepaalde afstand tot het epicentrum (figuur 8) en bij een bepaalde trillingssnelheid (figuur 9) gegeven. Hierbij is voor de verticale as dezelfde schaal aangehouden als bij voorgaande figuren.



Figuur 8 Hoeksmeer: Kans op schade bij een bepaalde afstand tot het epicentrum



Figuur 9 Hoeksmeer: Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid

Gelijk aan de schadecurven voor laagbouwwoningen voor de bevingen Roswinkel 1997 en 1998 ligt de kans op schade tot een trillingssnelheid van 4 mm/s onder de 1%. Opvallend is dat er geen schadeclaims zijn voor de beide categorieën boerderijen terwijl uit de gegevens van de beide bevingen in Roswinkel blijkt dat de kans op schade bij boerderijen reeds bij 4 mm/s op 2 tot 4 % ligt. Mogelijk wordt dit door een verschil in bouwstijl veroorzaakt. Een andere mogelijkheid is dat het verschil wordt veroorzaakt door de variatie in attenuation curve.

2.3.4 Stedum

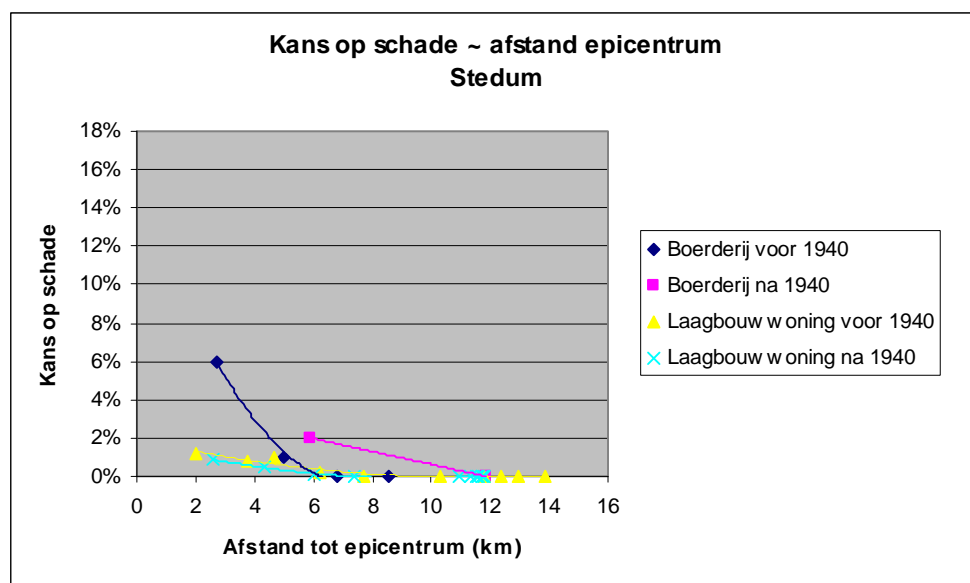
In tabel 9 zijn de woninggegevens uit tabel 1 en 2 die voor de analyse van de beving in Hoeksmeer van belang zijn samengevoegd.

Tabel 9 Gegevens woningen Stedum

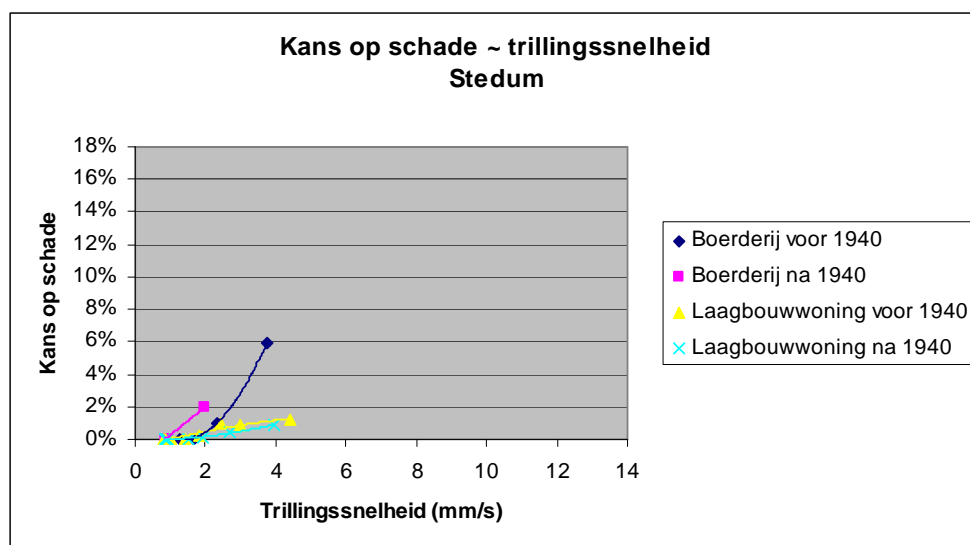
Categorie	Aantal woningen Gebied Groningen	Stedum	
		M	S
Boerderij voor 1940	789	13	7
Boerderij na 1940	217	2	2
Laagbouwwoning voor 1940	4969	33	16
Laagbouwwoning na 1940	24308	27	15
Hoogbouwwoning voor 1940	30	0	0
Hoogbouwwoning na 1940	5212	0	0
Niet gecategoriseerd	22558	7	3
Totaal woningen	58083	82	43

De woningcategorieën hoogbouwwoningen voor 1940 en hoogbouwwoningen na 1940 worden buiten de analyse gelaten aangezien voor beide woningcategorieën geen schademeldingen zijn ontvangen.

Het aantal woningen per ring is gelijk aan de verdeling die voor Hoeksmeer is gekozen (zie tabel 8). In figuur 10 en 11 is op basis van de gegevens van de beving van Stedum de kans op schade gegeven bij een bepaalde afstand tot het epicentrum (figuur 10) en bij een bepaalde trillingssnelheid (figuur 11) gegeven.



Figuur 10 Stedum: Kans op schade bij een bepaalde afstand tot het epicentrum



Figuur 11 Stedum: Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid

De kans op schadeclaims bij lage snelheden is op basis van de gegevens van de beving in Stedum hoger (m.u.v. de schadecurve voor hoogbouw, welke op 0% ligt) dan de schadecurven uit de voorgaande paragrafen laten zien (zie figuur 5, 7 en 9). Onduidelijk is waar dit verschil door wordt veroorzaakt. Mogelijk wordt dit veroorzaakt door de variatie in de attenuation curve.

2.3.5 Westeremden

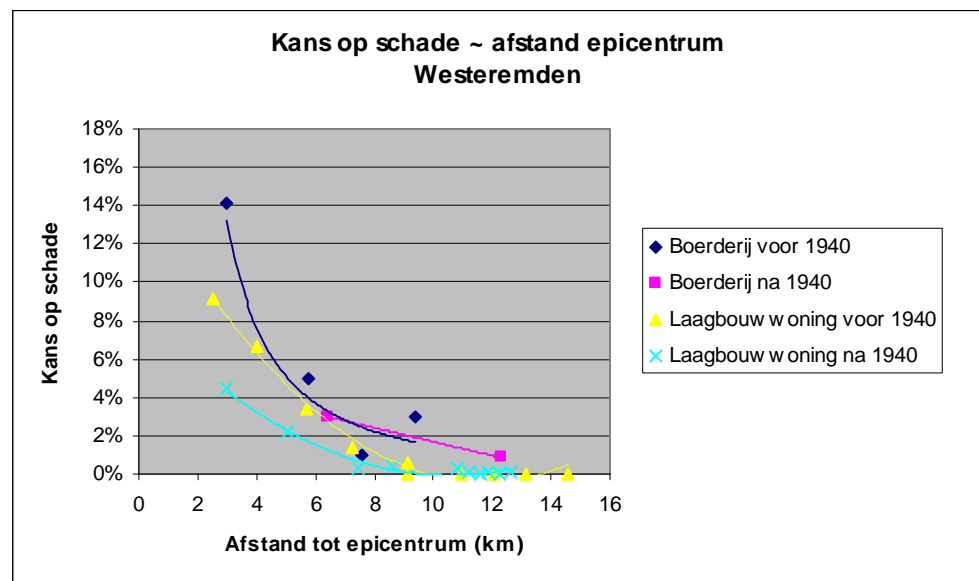
In tabel 10 zijn de woninggegevens uit tabel 1 en 2 die voor de analyse van de beving in Hoeksmeer van belang zijn samengevoegd.

Tabel 10 Gegevens woningen Westeremden

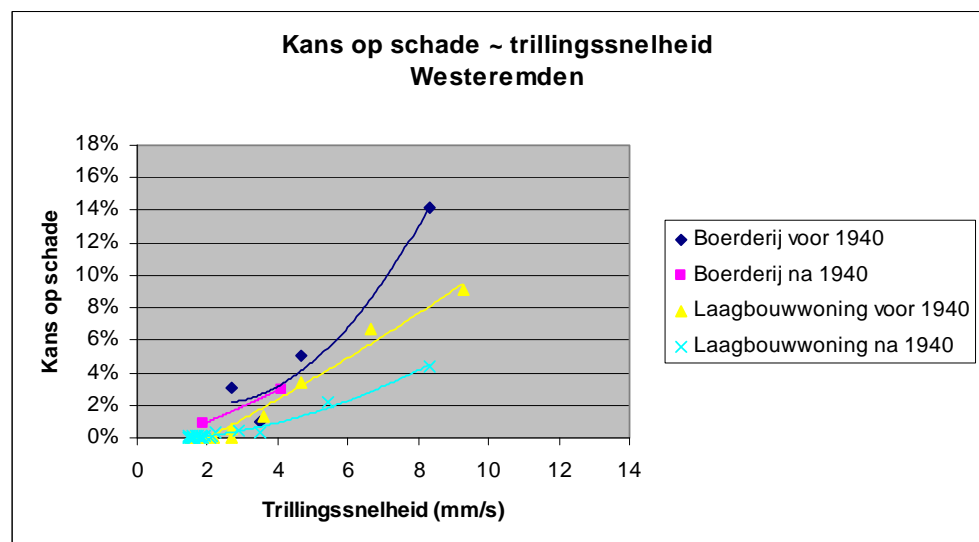
Categorie	Aantal woningen Gebied Groningen	Westeremden	
		M	S
Boerderij voor 1940	789	32	24
Boerderij na 1940	217	6	2
Laagbouwwoning voor 1940	4969	144	106
Laagbouwwoning na 1940	24308	121	85
Hoogbouwwoning voor 1940	30	0	0
Hoogbouwwoning na 1940	5212	0	0
Niet gecategoriseerd	22558	107	56
Totaal woningen	58083	410	275

Er is wederom geen schade geclaimd in de woningcategorieën hoogbouwwoningen voor 1940 en hoogbouwwoningen na 1940. De kans op een schadeclaim in deze categorieën is daarmee wederom 0% en wordt niet weergegeven in de figuren.

Het aantal woningen per ring is gelijk aan de verdeling die voor Hoeksmeer is gekozen (zie tabel 8). In figuur 12 en 13 is op basis van de gegevens van de beving van Westeremden de kans op schade gegeven bij een bepaalde afstand tot het epicentrum (figuur 12) en bij een bepaalde trillingssnelheid (figuur 13) gegeven.



Figuur 12 Westeremden: Kans op schade bij een bepaalde afstand tot het epicentrum

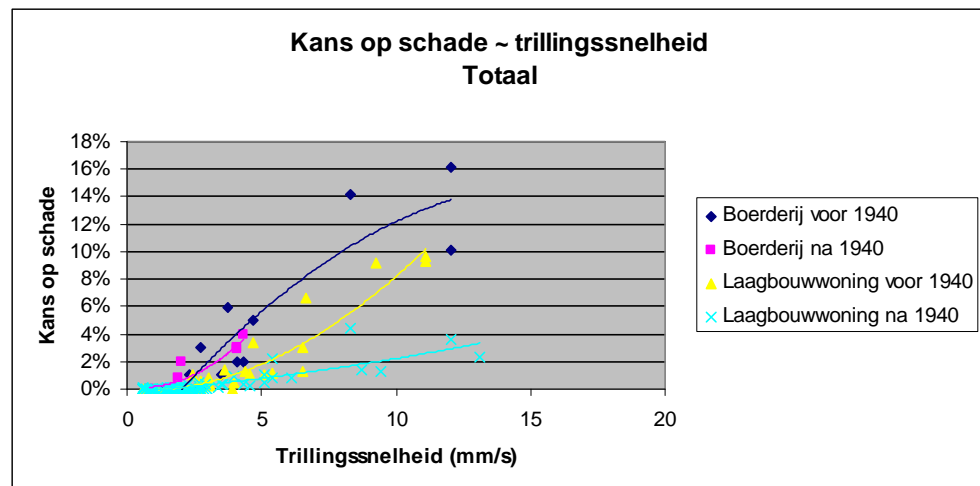


Figuur 13 Westeremden: Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid

De schadecurven voor boerderijen uit figuur 13 liggen in elkaars verlengde. Dit betekent dat in dit geval een onderscheid tussen voor en na 1940 voor niet noodzakelijk is. De schadecurven voor boerderijen zijn vergelijkbaar met de curven die volgden uit de gegevens uit de bevingen in Roswinkel in 1997 en 1998. De curve voor laagbouw woningen voor 1940 ligt daarentegen hoger dan alle voorgaande gevonden curven. Hetzelfde geldt voor de curve voor laagbouw woningen van na 1940.

2.4 Totaal

In onderstaande figuur is alle data uit paragraaf 2.3 samengevoegd. Hierbij wordt opgemerkt dat de schadecurve voor hoogbouw niet is weergegeven aangezien uit voorgaande paragrafen blijkt dat in alle aardbevingscases de kans op schadeclaims voor hoogbouw gelijk is aan 0%.



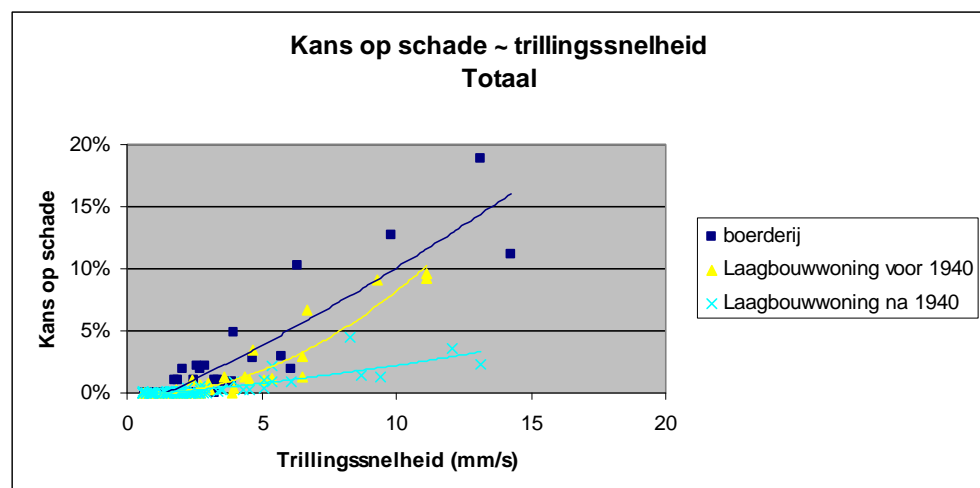
Figuur 14 Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid op basis van gegevens uit de aardbevingen Roswinkel 1997 en 1998, Hoeksmeer, Stedum en Westeremden

In figuur 14 is te zien dat de schadecurves voor de categorieën boerderij voor 1940 en boerderij na 1940 elkaar overlappen. Het verwachte verschil in de kans op schade door de veranderingen in materiaalgebruik (mortel) is dus niet zo sterk. Hieruit volgt dat voor het woningtype “boerderij” een onderverdeling naar bouwjaar niet nodig is. Het voordeel van een samenvoeging van deze categorieën is dat ook boerderijen waarvan geen bouwjaar bekend was meegenomen kunnen worden in de analyse (zie tabel 11).

Tabel 11 Aantal boerderijen in gebied Roswinkel en Groningen

Categorie	Beschrijving	Aantal woningen Gebied Roswinkel	Aantal woningen Gebied Groningen
1a	Boerderij voor 1940	341	789
1b	Boerderij na 1940	190	217
	Boerderij bouwjaar onbekend	35	499
1	Boerderij (totaal)	566	1505

In figuur 15 is opnieuw de relatie tussen kans op schade en trillingssnelheid weergegeven. In deze figuur is geen onderscheid meer gemaakt tussen boerderijen die voor en na 1940 zijn gebouwd.



Figuur 15 Kans op schade bij een bepaalde trillingssnelheid op basis van gegevens uit de aardbevingen Roswinkel 1997 en 1998, Hoeksmeer, Stedum en Westeremden ~ waarbij de categorie boerderijen niet is onderverdeeld naar bouwjaar

In SBR richtlijn A wordt als grenswaarde de trillingssnelheid bij 1% kans op schade aangehouden. Uit figuur 15 kan de trillingssnelheid bij 1% kans op schade voor boerderijen, laagbouwwoningen voor 1940 en laagbouwwoningen worden afgelezen. In geval van een conservatieve aanname zouden boerderijen grofweg vergeleken kunnen worden met categorie 3 uit de SBR richtlijn, laagbouwwoningen met categorie 2 en hoogbouwwoningen met categorie 1. In de volgende tabel zijn de grenswaarden uit de SBR vergeleken met de trillingssnelheden die volgen uit figuur 15.

Tabel 12 De buitengrens per woningcategorie per aardbevingscase bij 1% kans op schade

Categorie	Trillingssnelheid bij 1% kans op schade (figuur 15) (mm/s)	SBR categorie	Grenswaarde SBR (mm/s)
Boerderij	2,4	3	3
Laagbouwwoning voor 1940	3,3	2	5
Laagbouwwoning na 1940	5,8	2	5
Hoogbouwwoningen	>>	1	20

Uit tabel 12 volgt dat de trillingssnelheden uit figuur 15 grofweg vergeleken kunnen worden met de grenswaarden uit de SBR richtlijn. Op basis hiervan kan worden gesteld dat de schadecurve voor hoogbouwwoningen waarschijnlijk pas boven de 0% stijgt vanaf ongeveer 20 mm/s.

2.5 Conclusies

Het woningtype “boerderij” blijkt het gevoeligst voor schade door aardbevingen. Dit kan verklaard worden door de kleinere stijfheid van de lange gevels ten opzichte van de relatief korte gevels van laagbouwwoningen.

Laagbouwwoningen voor 1940 zijn gevoeliger voor schade door aardbevingen dan laagbouwwoningen van na 1940.

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in dit geval de combinatie korte, relatief stijve, gevels, en flexibele maar rekgevoelige mortels niet ideaal is. In de stijve gevels zullen spanningsconcentraties met name rond de raamopeningen optreden. Hierdoor zullen de voegen (rekgevoelig) rond raamopeningen scheuren.

Hoogbouw blijkt niet gevoelig voor de trillingen van aardbevingen uit de beschouwde cases. Dit zal veroorzaakt worden door de bouwwijze (gietsbouw, elementenbouw).

De grenswaarden van de SBR richtlijn zijn vergelijkbaar met de gevonden trillingssnelheden bij 1% kans op schade. Gezien de vergelijkbaarheid wordt op basis hiervan geconcludeerd dat bij hoogbouw pas schadeclaims worden verwacht vanaf trillingssnelheden ongeveer 20 mm/s.

3 Buitengrenzen van schade

Op basis van de relaties die in voorgaand hoofdstuk gevonden zijn is in dit hoofdstuk voor verschillende overschrijdingskansen de ‘buitengrens’ van toegekende schadeclaim per aardbevingscase bepaald.

3.1 Bovengrens

De bovengrens van de buitengrens wil zeggen dat rekening is gehouden met de onzekerheden in de schadecurven (figuur 15) genormeerd naar de verwachtingswaarde van de attenuation curve. De bovengrens voor schade (1%, 5% en 10% overschrijdingskansen) wordt bepaald op basis van constante standaardafwijkingen voor de schade curven.

Aangenomen wordt dat de schadecurven lognormale verdelingen betreffen. Door middel van een fit van de curven op de lognormale verdeling is de trillingssnelheid waaronder de kans op schade gelijk is aan 1%, 5% en 10% afgelezen (zie tabel 13).

Tabel 13 Trillingssnelheden waaronder de kans op schade gelijk is aan 1%, 5% en 10%

Categorie	Overschrijdingskans 1% (mm/s)	Overschrijdingskans 5% (mm/s)	Overschrijdingskans 10% (mm/s)
Boerderij	2,4	3,4	6,0
Laagbouwwoning voor 1940	6,0	6,9	15,7
Laagbouwwoning na 1940	9,6	10,2	26,0

Aangezien er geen relatie gevonden is voor hoogbouw en de kans op schade is er geen buitengrens vast te stellen voor deze categorie. Op basis van de grenswaarden uit de SBR richtlijnen wordt verwacht dat 1% kans op schade ongeveer bij 20 mm/s optreedt.

Gegeven de snelheden uit tabel 13 kunnen de bovengrenzen (km) voor de verschillende overschrijdingskansen worden afgelezen uit de verwachtingswaarde van de attenuation curves voor de verschillende aardbevingen (zie tabel 14 tot en met 16).

Tabel 14 Bovengrens (km) voor een overschrijdingskans van 1%

Categorie	Roswinkel 1997	Roswinkel 1998	Hoeksmeer	Stedum	Westeremden
Boerderij	9,25	8	4,75	4,75	10,25
Laagbouwwoning voor 1940	7	3,25	3,25	3,25	7,75
Laagbouwwoning na 1940	4,25	0,5	0	0	4,5

Tabel 15 Bovengrens (km) voor een overschrijdingskans van 5%

Categorie	Roswinkel 1997	Roswinkel 1998	Hoeksmeer	Stedum	Westeremden
Boerderij	4,25	3,75	0	0	4,5
Laagbouwwoning voor 1940	3,75	3,25	0	0	3,75
Laagbouwwoning na 1940	1,25	0,5	0	0	0

Tabel 16 Bovengrens (km) voor een overschrijdingskans van 10%

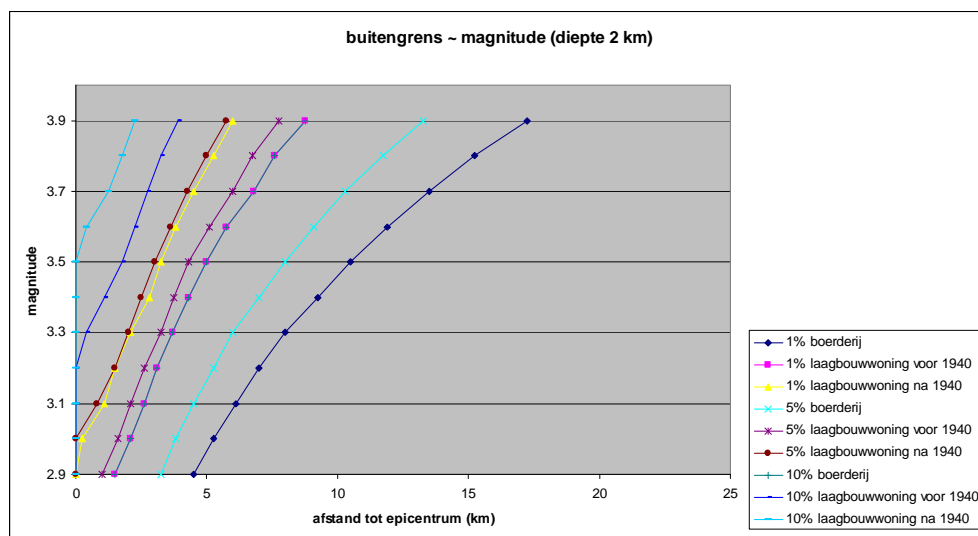
Categorie	Roswinkel 1997	Roswinkel 1998	Hoeksmeer	Stedum	Westeremden
Boerderij	2,75	2,25	0	0	2,25
Laagbouwwoning voor 1940	2,5	2	0	0	2
Laagbouwwoning na 1940	0	0	0	0	0

3.2 Relatie buitengrens ~ magnitude

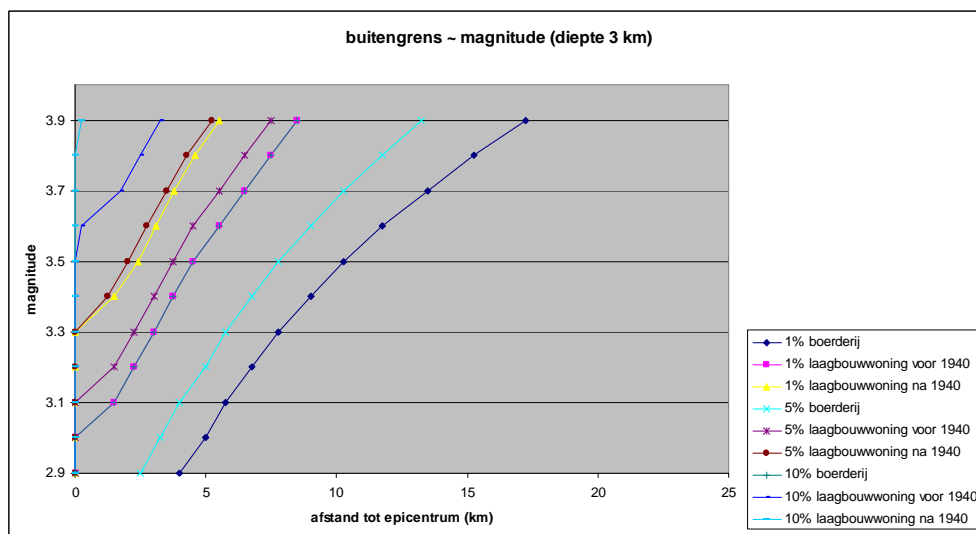
Gelijk aan de afleiding van de buitengrenzen voor de verschillende aardbevingscases is het ook mogelijk om de buitengrenzen per aardbevingsmagnitude vast te stellen. De opslingerfactor (1) is hierbij constant gehouden. In figuur 16 en 17 zijn de buitengrenzen van de drie categorieën weergegeven voor de 1%, 5% en 10% overschrijdingskans. Voor figuur 16 is een haarddiepte van 2km aangenomen, voor figuur 17 een haarddiepte van 3km.

Voor een beving van een magnitude $M=3,5$ (hoogst waargenomen magnitude tot nu toe) geldt bij een haarddiepte van 2km dat de buitengrens voor schade voor het meest gevoelige bouwtype (boerderij) op circa 10,5 km ligt (1% overschrijdingskans). Voor een zelfde magnitude aardbeving op een diepte van 3km ligt de buitengrens voor schade op circa 10 km. Laagbouw is minder gevoelig voor schade; de buitengrens voor laagbouwwoningen die zijn gebouwd voor 1940 ligt, afhankelijk van de diepte van de beving, op 4,5 a 5 km van het epicentrum (1 % overschrijdingskans). Voor laagbouw gebouwd na 1940 ligt de buitengrens voor een magnitude $M=3,5$ beving, afhankelijk van de diepte, tussen de 2,5 en 3,5 km (1% overschrijdingskans).

Voor een kleinere beving met een magnitude $M=3,0$ geldt dat boerderijen en laagbouw gebouwd voor 1940 binnen een afstand van circa 5km, respectievelijk 2,5km nog schade kunnen oplopen (1% overschrijdingskans). Laagbouw gebouwd na 1940 zal nauwelijks schade ondervinden bij een magnitude $M=3,0$ beving, met uitzondering van de woningen direct boven het hypocentrum.



Figuur 16 Buitengrens voor schadeclaims bij een gegeven magnitude, voor een haarddiepte van 2km. De achterliggende schadecurves zijn gebaseerd op gegevens voor aardbevingen met magnitudes van $M=3.0$ tot $M=3.5$. De voorspelling van de buitengrens voor bevingen met magnitudes groter dan $M=3.5$ berust op extrapolatie en is hiermee minder betrouwbaar.



Figuur 17 Buitengrens voor schadeclaims bij een gegeven magnitude, voor een haarddiepte van 3km. De achterliggende schadecurves zijn gebaseerd op gegevens voor aardbevingen met magnitudes van $M=3.0$ tot $M=3.5$. De voorspelling van de buitengrens voor bevingen met magnitudes groter dan $M=3.5$ berust op extrapolatie en is hiermee minder betrouwbaar.

4 Validatie

De validatie van de gevonden buitengrenzen wordt uitgevoerd aan de hand van de gegevens van de aardbeving in Alkmaar. Tabel 17 geeft een overzicht van de gegevens die beschikbaar zijn voor deze aardbevingscase.

Tabel 17 Aantal woningen en schades per woningcategorie in aardbevingsgebied Alkmaar

Categorie	Aantal woningen Gebied Alkmaar	Aantal woningen met schade Alkmaar
Boerderij	1252	3
Laagbouwwoning voor 1940	11735	41
Laagbouwwoning na 1940	65262	133
Hoogbouwwoningen	22301	9
Niet gecategoriseerd	49779	130
Totaal woningen	150329	316

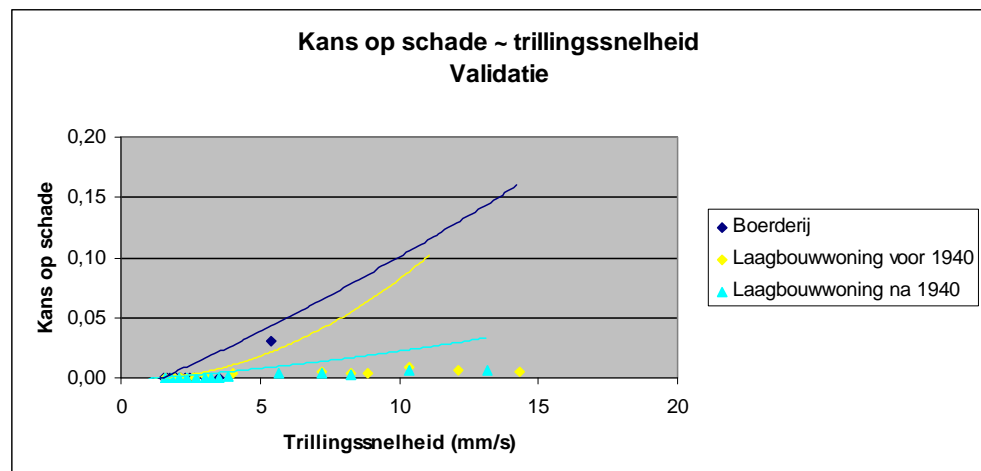
De woningen worden weer onderverdeeld in ringen met een gelijk aantal woningen van een bepaalde woningcategorie (zie voor uitleg principe hoofdstuk 2). In tabel 18 is het aantal woningen per ring per woningcategorie weergegeven.

Tabel 18 Aantal woningen per ring

Categorie	Aantal woningen Gebied Alkmaar	Aantal woningen per ring
Boerderij	1252	100
Laagbouwwoning voor 1940	11735	1000
Laagbouwwoning na 1940	65262	5000

Aan de hand van het aantal schadetoekenningen per ring is vastgesteld wat de kans op schade is op een bepaalde afstand van het epicentrum. De schadepunten van Alkmaar zijn in figuur 18 samen met de schadecurven uit figuur 15 weergegeven.

De trillingssnelheid is bepaald als maximum van de twee bevingen in Alkmaar (2001). De gebruikte data zijn: $M = 3.5$, $d = 2000$ m, $OS = 1$.



Figuur 18 Validatie van schadecurven o.b.v. toegekende schade Alkmaar. De getrokken lijnen zijn de verwachtingen volgens de kalibratie. De punten zijn de waargenomen data

Uit figuur 18 kan worden afgelezen dat de schadecurven bij hogere snelheden, zeker voor de laagbouw, afwijken van de gegevens voor Alkmaar. De schadecurve zijn dus voor Alkmaar conservatief. Het conservatisme is aan de hoge kant. Mogelijke verklaringen hiervoor kunnen zijn verschillen in bouwwijze en/of grondslag en het grote aantal huizen. Meer voor de hand liggend is een verklaring door een afwijking van de normerende attenuationcurve. Zoals in par. 1.3 is gesteld is de attenuationcurve hier niet gebaseerd op accelerometerdata. De ligging van de attenuationcurve kan dus afwijken van de werkelijkheid.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het woningtype “boerderij” blijkt het gevoeligst voor schade door aardbevingen. Dit kan verklaard worden door de kleinere stijfheid van de lange gevels ten opzichte van de relatief korte gevels van laagbouwwoningen.

Laagbouwwoningen voor 1940 zijn gevoeliger voor schade door aardbevingen dan laagbouwwoningen van na 1940.

Een mogelijke verklaring hiervoor is dat in dit geval de combinatie korte, relatief stijve, gevels, en flexibele maar rekgevoelige mortels niet ideaal is. In de stijve gevels zullen spanningsconcentraties rond de raamopeningen optreden. Hierdoor zullen de voegen (rekgevoelig) rond raamopeningen scheuren.

Hoogbouw blijkt een zeer geringe kans te hebben op schade door aardbevingen. Dit zal veroorzaakt worden door de bouwwijze (gietsbouw, elementenbouw).

Opvallend is dat de afgeleide schadecurven niet veel afwijken van de grenswaarden van de SBR-richtlijn-A.

Op basis van de afgeleide schadecurven en de gemiddelde attenuation-curven kunnen voor aardbevingen met een bepaalde magnitude en haarddiepte de buitengrenzen worden berekend waarbinnen schade verwacht wordt. Hieruit volgt dat de diepte van de beving relatief weinig invloed heeft op de voorspelde buitengrens voor schade, behalve wanneer het gaat om de kleinere aardbevingen. De buitengrens voor schade voor een aardbeving met een magnitude van $M=3,5$ (1% overschrijdingskans) voor het meest gevoelige gebouwtype (boerderij) ligt op circa 10,5 km.

5.2 Aanbevelingen

De schadecurven (figuur 15) zijn opgesteld op basis van data van een beperkt aantal aardbevingen. De schadecurven zijn daarom alleen te gebruiken voor aardbevingen met een magnitude tussen de 3 en 3,5.

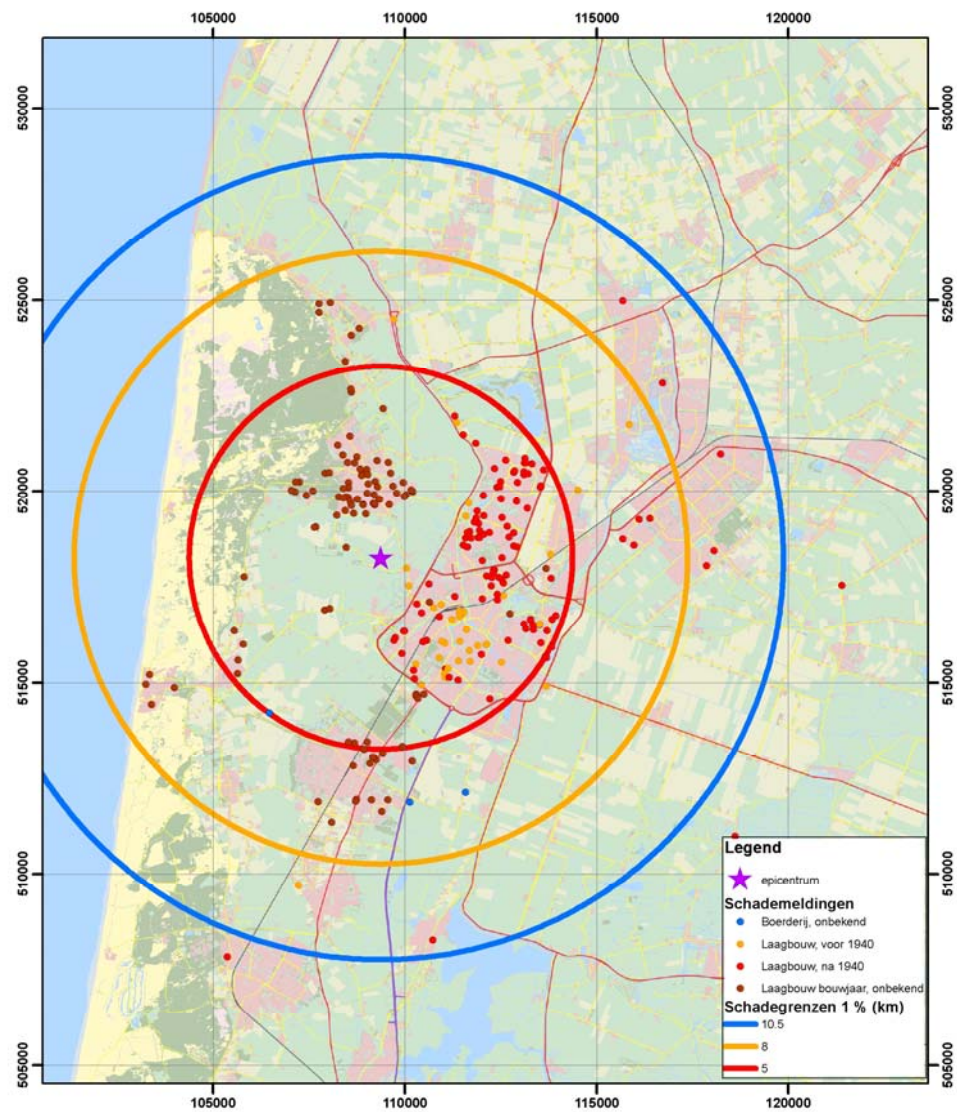
De validatie met Alkmaar laat zien dat de schadecurven soms conservatief zijn. Dit kan ook te wijten zijn aan een conservatieve attenuationcurve. Kalibratie van beide curven met een groter aantal aardbevingen is aan te bevelen. De normering zal verbeteren door een groter aantal meetpunten te gebruiken voor de bepaling van de attenuationcurves.

A Buitengrenzen Alkmaar

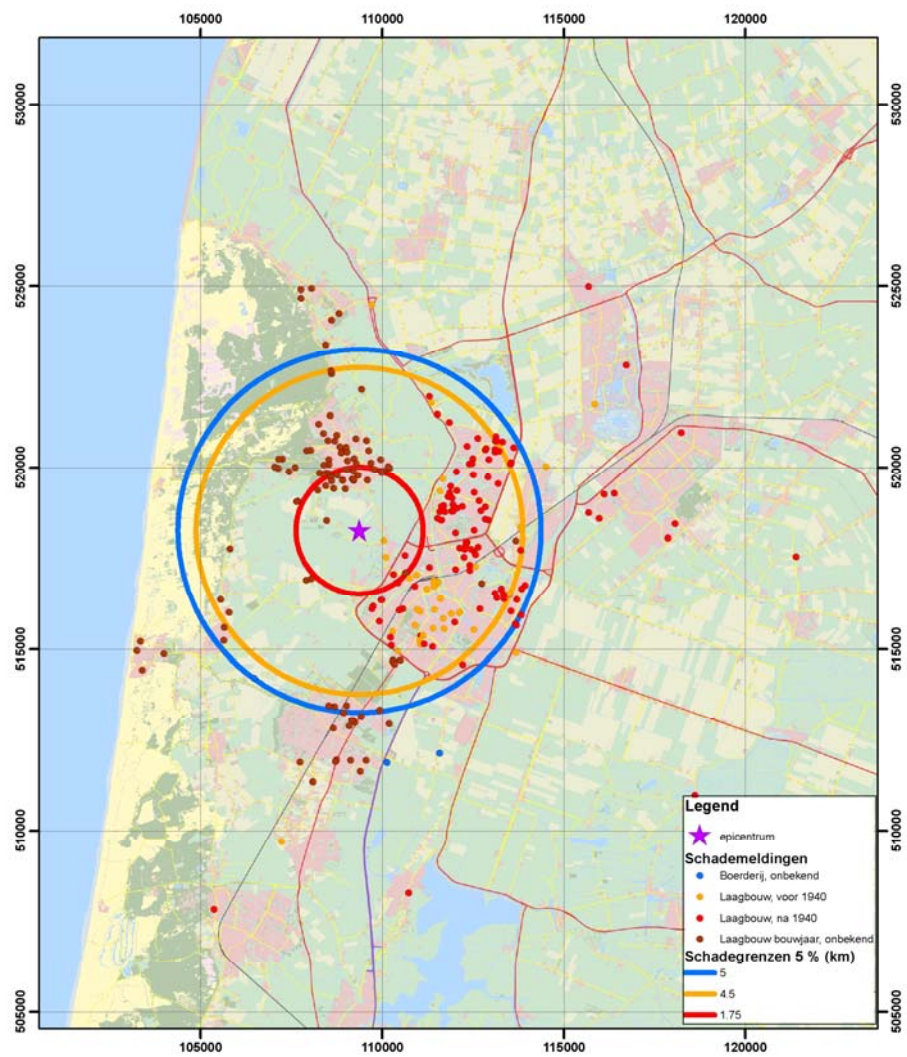
Ook voor Alkmaar worden de buitengrenzen bepaald op basis van de methode zoals beschreven in paragraaf 3.1. In tabel 19 zijn de resultaten gegeven.

Tabel 19 Buitengrenzen (km) voor verschillende kansen op schade

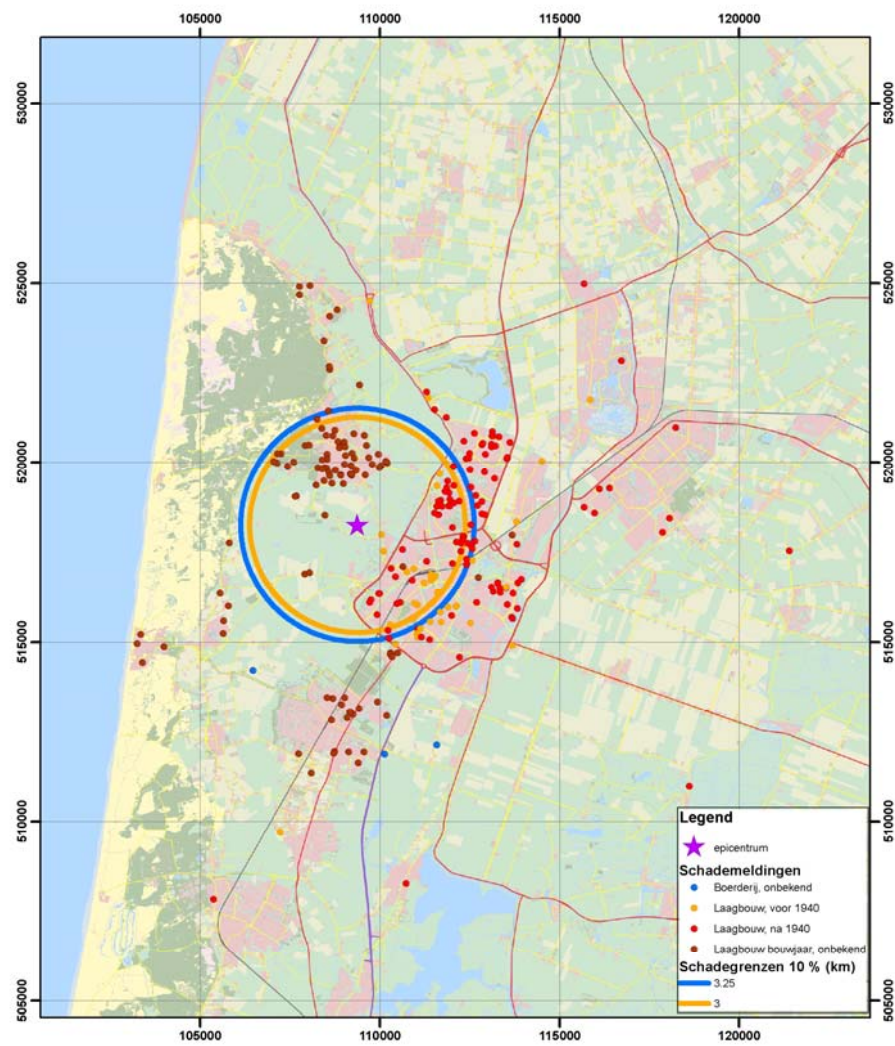
Categorie	Kans op schade 1% (mm/s)	Kans op schade 5% (mm/)	Kans op schade 10% (mm/s)
Boerderij	10,5	5	3,25
Laagbouwwoning voor 1940	8	4,5	3
Laagbouwwoning na 1940	5	1,75	0



Figuur 19 Buitengrenzen voor de verschillende woningcategorieën (1% overschrijdingskans) en de schadetoekenningen van die woningcategorie



Figuur 20 Buitengrenzen voor de verschillende woningcategorieën (5% overschrijdingskans) en de schadetoekenningen van die woningcategorie

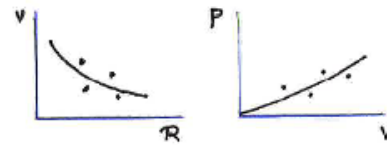


Figuur 21 Buitengrenzen voor de verschillende woningcategorieën (10% overschrijdingskans) en de schadetoekenningen van die woningcategorie

B Schadevoorspelling

Schadevoorspelling

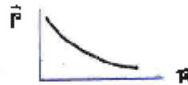
Attenuation law: $v = v(R, M) + \varepsilon_1$
 Schadefunctie: $p = p(v) + \varepsilon_2$



met ε_1 positieve foutvormen (gemiddeld 1.0): $\varepsilon_1 = \exp(u, V_1)$

In het ideale geval zijn de beide functies $v(\cdot)$ en $p(\cdot)$ bekend alsmede de waarden van V_1 en V_2 . Men kan dan uittrekken wat bij gegeven waarden van M de kansverdeling van p is als functie van R . Vervolgens bepalen we het gemiddelde \bar{p} als functie van R . Hierin kan het gezochte 10% fractiel gevonden worden. De straal R corresponderend met gemiddeld 10 % schade volgt dus uit:

$$\bar{p}(R) = 0.10$$

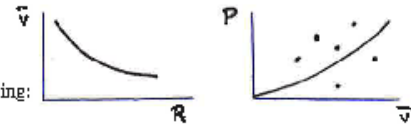


In ons geval is de situatie iets anders. We bepalen voor een gegeven aardbeving en straal de gemiddelde snelheid:

$$\bar{v} = v(R, M)$$

Daaruit volgt een schadebeeld met spreiding:

$$p = p'(\bar{v}) + \varepsilon_1$$



Als we het gemiddelde van ε_1 gelijk aan 1.0 houden zal $p'(\cdot)$ niet precies gelijk zijn aan $p(\cdot)$. Houden we p' en p wel gelijk aan elkaar, dan zal de fout niet precies een gemiddelde 1.0 hebben en niet lognormaal zijn.

In het gevolgde proces is de detailinformatie verloren gegaan en is $p(\cdot)$ onbekend. We hebben alleen dus p' . Op zich is dit niet erg. Eigenlijk is een en ander er eenvoudiger op geworden: de gezochte waarde van R kan (wederom bij gefixeerde M) direct uit de grafiek worden afgelezen.

$$p' = p'(v(R, M)) = 0.10$$

Numeriek moeten de antwoorden verkregen langs beide wegen identiek zijn als we de exacte verdelingen van de fouttermen zouden kennen.

Een andere manier om er tegen aan te kijken is om de schadegrafiek direct te lezen als een verband tussen R en p .

