

Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen

Integratie van deelstudies

Datum

20 december 2004

Auteurs

Wassing, B.B.T., TNO-NITG

Van Eck, T., KNMI

Van Eijs, R.M.H.E., TNO-NITG



TNO-NITG
Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

T +31 (0)30-2564850
F +31 (0)30-2564855
www.tno.nl



KNMI
Wilhelminalaan 10
Postbus 201
3730 AE De Bilt

T +31 (0)30-2206911
F +31 (0)30-2210407
www.knmi.nl

TNO/KNMI-rapport

Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen
Integratie van deelstudies

Datum 20 december 2004

Auteur(s) Wassing, B.B.T. (TNO-NITG)
 Van Eck, T. (KNMI)
 Van Eijs, R.M.H.E. (TNO-NITG)

© KNMI, De Bilt. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in retrieval systems, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission in writing from the publisher.

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fot-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

© 2004 TNO

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Beschrijving van de kaarten	5
2.1	Bijlage 1: De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen.....	5
2.2	Bijlage 2: Probabilistische seismische hazard analyse	6
2.3	Bijlage 3: Site response	6
2.4	Bijlage 4: Seismische zonatiekaarten, gecorrigeerd voor site response	7
2.5	Gebruik van de kaarten.....	8
3	Referenties.....	10

Appendices

Appendix 1. Kans op beven (in procenten) op basis van verwachte totale drukval voor de verschillende voorkomens.

Appendix 2. Horizontale pieksnelheid op de fundering.

Appendix 3. Site response.

Appendix 4. Horizontale pieksnelheid op de fundering (gecorrigeerd voor de site response).

Appendices apart bijgeleverd op CD.

1 Inleiding

TNO-NITG, TNO Bouw en het KNMI hebben de afgelopen twee jaar een aantal studies uitgevoerd, bedoeld om de aspecten die invloed hebben op het seismisch risico ten gevolge van bevingen, geïnduceerd door de olie- en gaswinning, systematisch in kaart te brengen en het risico op basis van de nu bekende kennis en gegevens te kwantificeren. De aanleiding voor deze studies is de nieuwe mijnbouwwet, die de mijnbouwmaatschappijen per 1 januari 2003 onder andere verplicht om een risico-analyse uit te voeren en een meetplan te presenteren alvorens toestemming te krijgen voor winning.

De studies presenteren de gezamenlijke state-of the-art kennis van geïnduceerde seismiciteit gebaseerd op 17 jaar continue waarnemingen door het KNMI, de verzamelde productiegegevens van de maatschappijen (vertrouwelijk, maar verplicht gedeponereerd bij TNO-NITG), de kennis van de diepe en ondiepe ondergrond van TNO-NITG en de bouwtechnische expertise van TNO Bouw.

Het betreft in totaal 3 deelstudies:

- TNO-NITG heeft in 2004 een deterministische seismische hazard-analyse uitgevoerd voor de onshore olie- en gasvelden in Nederland. In deze studie is onderzocht of het mogelijk is om een uitspraak te doen over de kans dat er in deze voorkomens aardbevingen optreden, op basis van de geologische, produktietechnische en mechanische kenmerken van de verschillende olie- en gasvoorkomens. De in het rapport beschreven techniek biedt tevens de mogelijkheid om een kans op aardbevingen in te schatten voor een nog te produceren voorkomen. De resultaten van het onderzoek zijn vastgelegd in *Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit. TNO-NITG rapport NITG 04-171-C.*
- Het KNMI heeft in 2003/2004 een probabilistische schatting uitgevoerd van de te verwachten grondbeweging boven verschillende onshore olie- en gasvelden in Nederland, die momenteel seismische activiteit vertonen. Deze studie heeft onder meer geresulteerd in seismische zonatiekaarten, waarop de bodembeweging met een jaarlijkse overschrijdingskans wordt aangegeven. Tevens wordt op basis van deze studie geconcludeerd dat de maximaal te verwachten magnitude van de geïnduceerde bevingen 3.9 op de schaal van Richter bedraagt. De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in *Van Eck, 2004. Seismic hazard due to small shallow induced earthquakes. KNMI scientific report; WR 2004-01.*
- TNO-NITG heeft in 2003/2004 een studie verricht naar de invloed van de lokale site response op de geschatte bodembeweging. Aan de hand van de resultaten zijn de seismische zonatiekaarten aangepast voor de site response. Daarnaast heeft TNO-NITG in samenwerking met TNO Bouw onderzoek uitgevoerd naar de schadegevoeligheid van gebouwen in de omgeving van de gasvelden. De resultaten van deze studie zijn vastgelegd in *Wassing, 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Rapportage fase 1 en Rapportage fase 2. TNO-rapporten NITG 03-185-C en NITG 03-186-C.*

In dit rapport worden de resultaten van de drie verschillende deelstudies geïntegreerd en samengevat in de vorm van 6 kaarten. De nadruk van dit rapport ligt op de kwantificatie van de (kans op het optreden van) bodembeweging ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen en de gebruiksmogelijkheden van de kaarten.

Bij elke bijlage wordt kort toegelicht op welke wijze de kaart tot stand is gekomen en welke informatie op de kaart wordt weergegeven. In de deterministische hazard analyse, die is uitgevoerd nadat de hazard studies van KNMI en TNO-NITG waren afgerond, is nieuw inzicht verkregen in de kans op beven van de verschillende olie- en gasvelden. Hierdoor zijn enkele eerdere aannames over de kans op beven van de verschillende velden herzien. Dit verklaart het feit dat het aantal olie- en gasvelden dat wordt weergegeven op de seismische hazard zonation kaarten in dit rapport is gewijzigd ten opzichte van de eerdere kaarten. In het laatste hoofdstuk wordt kort ingegaan op het gebruik van de kaarten.

2 Beschrijving van de kaarten

2.1 Bijlage 1: De kans op beven van een olie- of gasvoorkomen

In de studie ‘Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit’ is door TNO-NITG onderzocht welke eigenschappen (geologische, productietechnische en geomechanische eigenschappen) van de olie- en gasvoorkomens invloed hebben op het wel of niet optreden van aardbevingen. Om de voorkomens goed met elkaar te kunnen vergelijken is de dataset gesplitst op basis van de totale drukkaling in het voorkomen. Alleen de voorkomens met een drukval > 72 bar zijn met elkaar vergeleken. Uit de studie is gebleken dat het mogelijk is om aan de hand van twee parameters van een olie- of gasvoorkomen een uitspraak te doen over de kans op beven van dat voorkomen. Deze twee parameters zijn:

- E: de verhouding tussen de Young’s moduli (stijfheidsmoduli) van de ‘overburden’ -en het reservoirgesteente;
- B: een maat voor de breukdichtheid van het reservoir.

Op basis van statistisch onderzoek naar de combinatie van deze parameters en gebruikmakend van informatie over de voorkomens die al gebeefd hebben, kunnen voorkomens ingedeeld worden in 4 kansklassen:

- Kans op aardbeving 0
- Kans op aardbeving 0.10
- Kans op aardbeving 0.52
- Kans op aardbeving 1

Op de kaart in bijlage 1 zijn de olie- en gasvelden op land en binnen de 3-mijls zone ingedeeld in de bovengenoemde 4 kansklassen. Olie- en gasvoorkomens die reeds in het verleden hebben gebeefd krijgen een kans op een aardbeving van 1 toegekend. Voorkomens die, wat de bovengenoemde twee parameters betreft, sterk lijken op de voorkomens die reeds gebeefd hebben krijgen een relatief hoge kans (0.52) op een aardbeving toegekend. Voorkomens die weinig of geen gelijkenis vertonen met de velden die al gebeefd hebben krijgen een zeer geringe kans van op een aardbeving (0.10) of een kans van 0 toegekend.

De kaart geeft alleen de kans op beven van een voorkomen weer. De kaart geeft geen informatie over de vraag hoe groot de frequentie en magnitude van de beving zal zijn. Informatie over de frequentie en magnitude van mogelijke bevingen in de voorkomens die reeds gebeefd hebben is wel verwerkt op de seismische zonatiekaarten (bijlage 2 en 4).

Uit de kaart in bijlage 1 blijkt dat aan de olie- en gasvoorkomens in Noord-Brabant, Zuid-Holland en het merendeel van de voorkomens in Friesland een kans van 0 tot een zeer geringe kans (0.10) van beven wordt toegekend. Een groot deel van de voorkomens in Groningen, Drente en Overijssel en enkele voorkomens in Noord-Holland daarentegen hebben een redelijke kans op beven (0.52) of hebben al gebeefd (1).

Voor een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten, aannames en resultaten van de deterministische hazard analyse wordt hier verwezen naar Van Eijs, 2004. Deterministische hazard analyse voor geïnduceerde seismiciteit. TNO-NITG rapport NITG 04-171-C.

2.2 Bijlage 2: Probabilistische seismische hazard analyse

In bijlage 2 worden de seismische zonatiekaarten weergegeven voor olie- en gasvoorkomens, waar in het verleden reeds aardbevingen zijn opgetreden (dus voor velden met een aardbevingskans van 1). Deze kaarten, die de te verwachten bodembewegingen aangeven, zijn gebaseerd op een probabilistische seismic hazard analyse. Deze analyse is gebaseerd op statistische modellen van de seismiciteit en empirische modellen voor het schatten van de groundbeweging, gegeven de kracht, diepte en afstand van de beving. Om de specifieke bodembeweging, veroorzaakt door kleine en ondiepe geïnduceerde bevingen, en de waarschijnlijkheid daarop te kunnen schatten, zijn de modellen geijkt op de waarnemingen van het seismisch netwerk in Nederland in de afgelopen 17 jaar.

Het resultaat van deze analyse is verantwoord boven, en in de nabijheid van, velden waar aardbevingen zijn waargenomen, maar blijft spekulatief voor velden waar dit (nog) niet het geval is. In het laatste geval verdient het de aanbeveling om zich nu te beperken tot de kans op een aardbeving (bijlage 1) zonder een schatting van de te verwachten bodembeweging.

De seismische zonatiekaarten geven de geschatte, locatie gebonden, horizontale pieksnelheid (in mm/s) met een overschrijdingskans. Gekozen is om de jaarlijkse overschrijdingskans van 10% (of een keer in de 10 jaar, $T=10$) en de overschrijdingskans van 10% in 10 jaar (of een keer in 100 jaar, $T=100$) te presenteren.

De in bijlage 2a en 2b gepresenteerde pieksnelheid is de geschatte maximale horizontale pieksnelheid rond 10 Hz op de fundering van een gebouw voor een gemiddelde vaste ondergrond aan het maaiveld. De pieksnelheden zijn tot een afstand van 10km van de rand van het veld in kaart gebracht.

Afhankelijk van de samenstelling van de bovenste 30 meter van de ondergrond kan er lokaal een extra demping of versterking van de bodembeweging optreden. Dit effect wordt in bijlage 3 gepresenteerd en de samenstelling van beide resultaten in bijlage 4.

Voor een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten, aannames en resultaten van de probabilistische hazard analyse wordt hier verwezen naar Van Eck, 2004. Seismic hazard due to small shallow induced earthquakes. KNMI scientific report; WR 2004-01.

2.3 Bijlage 3: Site response

Afhankelijk van de samenstelling van de bovenste tientallen meters van de ondergrond kan er lokaal een extra demping of amplificatie van de trilling optreden, de zogenaamde 'site response'. Uit onderzoek is gebleken dat de site response in sterke mate afhangt van de gemiddelde schuifgolfsnelheid en de aanwezigheid van scherpe contrasten in stijfheid in de bovenste circa 30m van de ondergrond. Op basis van de gemiddelde schuifgolfsnelheid ($V_{s,30}$) wordt de ondergrond ingedeeld in een klasse 'slappe grond' ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en een klasse 'stijve grond' ($V_{s,30} > 200\text{m/s}$). Daarnaast wordt op grond van lithologische eigenschappen een extra klasse onderscheiden, nl. de klasse

‘special study soils’. Deze klasse omvat grondsoorten die extra gevoelig zijn voor amplificatie, zoals veenlagen dikker dan 3m en slappe veenlagen met een dikte van 1m-3m gelegen op een stijve ondergrond.

Bijlage 2 geeft pieksnelheden voor een gemiddelde vaste referentie-ondergrond (stijve grond). Amplificatie is hier gedefinieerd als opslinging van de groundbeweging ten opzichte van een referentielocatie met een vaste stijve grond aan maaiveld (op een vergelijkbare afstand van het epicentrum). Dit betekent dat in de klasse ‘stijve grond’ geen amplificatie optreedt. In de klassen ‘slappe grond’ en ‘special study soils’ kan de groundbeweging opgeslingerd worden. Deze klassen worden gekenmerkt door amplificatiefactoren: Deze geven een gemiddelde respons voor ‘vergelijkbare’ sites. In de klasse ‘slappe grond’ kan de groundbeweging tot een factor 1.5 opgeslingerd worden. In de klasse ‘special study soils’ kan de groundbeweging tot een factor 2 opgeslingerd worden. De amplificatie is afhankelijk van de amplitude van de groundbeweging en neemt af bij een toenemende piekversnelling. In bijlage 3 zijn de 3 site response klassen boven- en in de directe omgeving van de olie- en gasvelden in kaart gebracht.

Voor een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten, aannames en resultaten van het onderzoek naar de site response wordt hier verwezen naar Wassing, 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Rapportage fase 1 en Rapportage fase 2. TNO-rapporten NITG 03-185-C en NITG 03-186-C.

2.4 Bijlage 4: Seismische zonatiekaarten, gecorrigeerd voor site response

Bijlage 4 toont de samengestelde seismische zonatie kaarten waarbij de site response effecten (bijlage 3) verwerkt zijn in de zonatie kaarten van bijlage 2. In de schattingen van horizontale pieksnelheden (mm/s) met een jaarlijkse overschrijdingskans van 10% (bijlage 4a) zijn nu dus ook de effecten van de lokale ondergrond verwerkt. Dit is mede het geval voor de horizontale pieksnelheden met een overschrijdingskans van 10% in 10 jaar (bijlage 4b).

Deze pieksnelheid kan beschouwd worden als de horizontale pieksnelheid in het gebouw op funderingsniveau.

Op de kaart in bijlage 4a worden de snelheden weergegeven behorend bij een overschrijdingskans van 10% in een jaar ($T=10$). De kaart geeft de hoogste snelheden (meer dan 40 mm/s) boven de gasvelden Roswinkel, Groningen, Annerveen en Bergermeer, op de locaties waar ‘special study soils’ of ‘slappe grond’ aan maaiveld wordt aangetroffen. Het noordelijke deel van het Groningen gasveld wordt gekenmerkt door een iets hogere seismische hazard (>30 mm/s) dan het zuidelijke deel (>20 mm/s). In het noordelijke deel komt ‘slappe grond’ aan het maaiveld voor. De overig gasvelden tonen een lagere seismische hazard: De snelheden voor een overschrijdingskans van 10% in 1 jaar liggen boven deze gasvelden tussen 10 mm/s en 30 mm/s. De hogere waarden gelden voor gebieden waar ‘special study soils’ aan maaiveld voorkomen. Dezelfde trend wordt onderscheiden in het kaartbeeld voor overschrijdingskans van 10% in 10 jaar ($T=100$). Ook hier tonen de velden Groningen, Roswinkel, Bergermeer en Annerveen het hoogste seismische hazard (snelheden > 60 mm/s).

Gemiddeld gezien geldt voor alle gasvelden dat de pieksnelheid afneemt met een toenemende afstand tot de rand van het veld. De pieksnelheden zijn tot een afstand van 10km van de rand van het veld in kaart gebracht.

Voor een uitgebreide beschrijving van de uitgangspunten, aannames en resultaten van de probabilistische hazard analyse wordt hier verwezen naar Van Eck, 2004. Seismic hazard due to small shallow induced earthquakes. KNMI scientific report; WR 2004-01 en Wassing, 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Rapportage fase 1 en Rapportage fase 2. TNO-rapporten NITG 03-185-C en NITG 03-186-C.

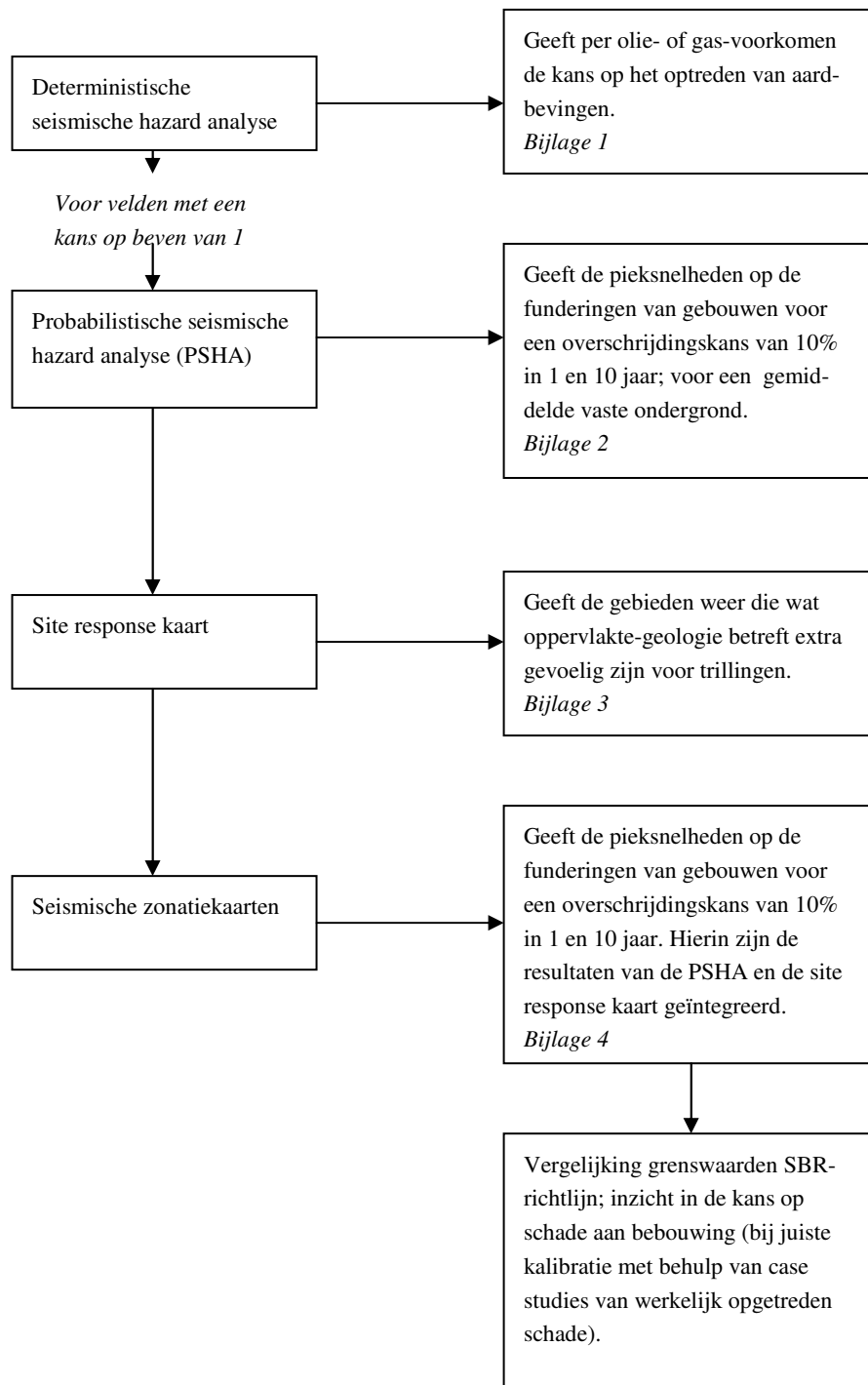
2.5 Gebruik van de kaarten

De opzet en de toepassing van de kaarten is weergegeven in het schema in figuur 1. Uit de kaart in bijlage 1 kan voor een specifiek olie- of gasveld afgeleid worden hoe groot de kans is dat er een aardbeving zal optreden. Uit de seismische zonatiekaarten van bijlage 4 kan vervolgens, voor locaties boven en in de directe omgeving van de velden die reeds gebeefd hebben, informatie over de pieksnelheid op funderingsniveau (bij een overschrijdingskans van 10% in een jaar of 10% per decade) verkregen worden.

Er is voor gekozen om de pieksnelheid op de seismische zonatiekaarten weer te geven. Voor dit type aardbevingen correleert de pieksnelheid beter met de kans op schade aan bebouwing dan de piekversnelling. Inzicht in het risico op schade aan bebouwing kan verkregen worden door de pieksnelheden op bijlage 4 te vergelijken met de grenswaarden voor trillingssnelheden voor verschillende typen woningen uit de SBR-richtlijn 'Trilling: meet- en beoordelingsrichtlijnen, deel A - Schade aan gebouwen'. Volgens de SBR-richtlijn dienen de pieksnelheden eerst vermenigvuldigd te worden met een veiligheidsfactor (1.6) om de mogelijke opslinging in het gebouw in rekening te brengen. Onder de in de SBR-richtlijn gestelde grenswaarden wordt geen schade verwacht. Boven de SBR-richtlijn neemt de kans op schade betrekkelijk langzaam toe.

Hier wordt benadrukt dat de kaarten gebaseerd zijn op de op dit moment best beschikbare kennis en modellen, maar dat enkele van de modellen hun beperkingen kennen. Zo is uit een recente case studie voor Roswinkel gebleken dat met de gebruikte empirische dempingrelatie (Campbell, 1997) de pieksnelheden, en daarmee ook het risico op schade, op afstanden groter dan circa 7 km mogelijk aanzienlijk wordt overschat (Wassing, 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Aanpassing dempingsfunctie. TNO-rapport NITG 04-233-C). Voor alle modellen die aan de kaarten ten grondslag liggen geldt dat zij bij het beschikbaar komen van nieuwe informatie, in de vorm van nieuwe meetgegevens of nieuwe inzichten, getoetst en aangepast moeten worden.

De pieksnelheden zijn tot een afstand van 10km van de rand van het veld in kaart gebracht.



Figuur 1. Opzet en toepassing van de kaarten.

3 Referenties

Campbell, K.W., 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity and pseudo-acceleration response spectra. In: Seism. Res. Lett., 68, pp.154-179.

Van Eck, T., Goutbeek, F., Haak, H., Dost, B., 2004. Seismic hazard due to small shallow induced earthquakes. KNMI Scientific report; WR 2004-01.

Waarts, P.P.H., Ostendorf, C.H., 2002. SBR-deel A: Trilling: meet- en beoordelingsrichtlijnen, deel A – Schade aan gebouwen. Rotterdam, Stichting Bouwresearch, 2002.

Wassing, B.B.T., Maljers, D., Westerhoff, R.S., Bosch, J.H.A., Weerts, H.J.T., 2003. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Rapportage fase 1. TNO-rapport NITG 03-185-C.

Wassing, B.B.T., Maljers, D., Westerhoff, R.S., Bosch, J.H.A., Weerts, H.J.T., Koopman, A., Dullemond, A., Roos, W., 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Rapportage fase 2. TNO-rapport NITG 03-186-C.

Wassing, B.B.T., Waarts, P.P.H., 2004. Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen. Aanpassing dempingsfunctie. TNO-rapport NITG 04-233-C.