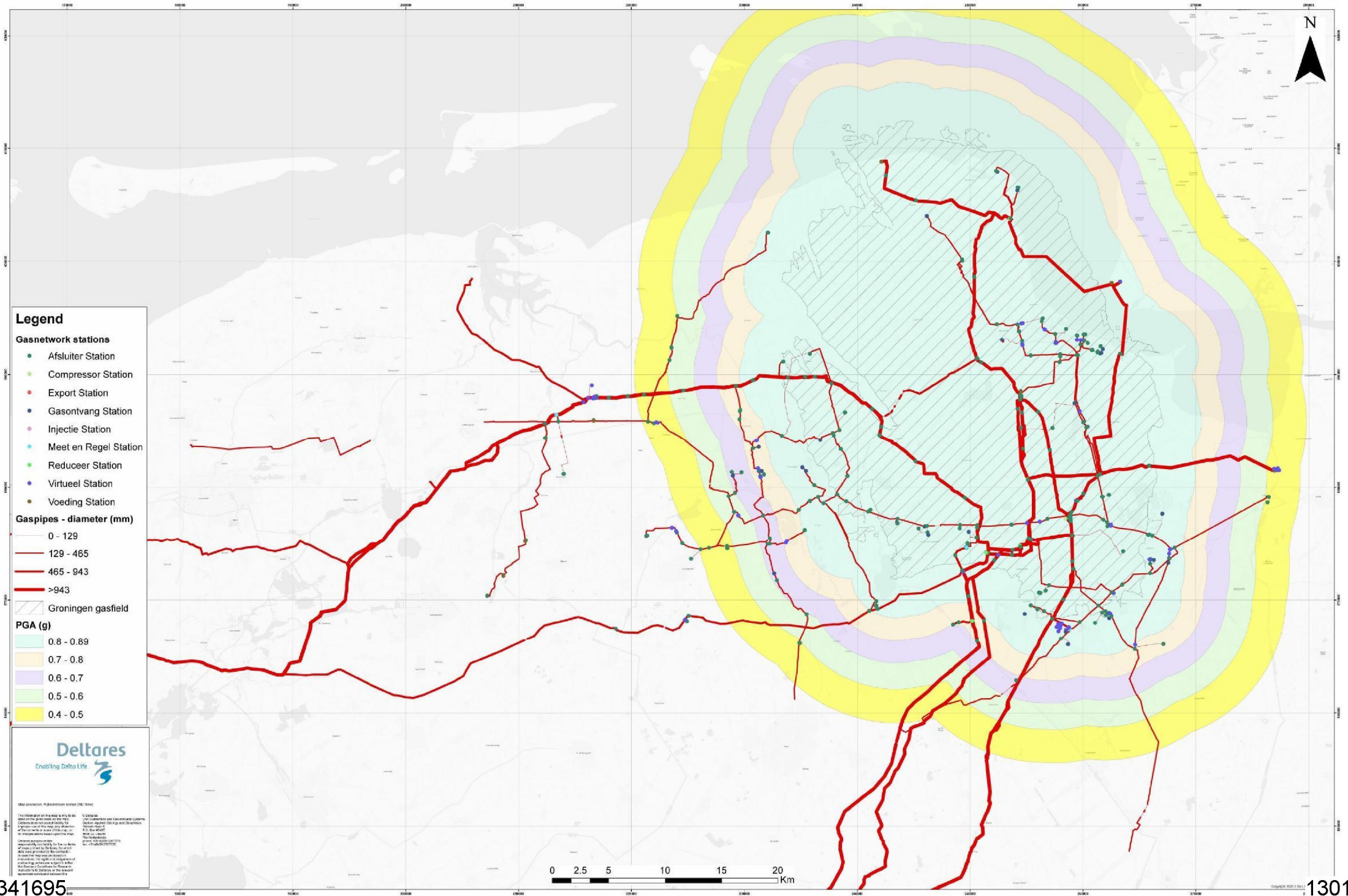


Peak Ground Acceleration, mean + 1 st. dev. acc. to Akkar et al. (2013); $M_w = 6.0$, focal depth 3 km, $V_{s30} = 184$ m/s



C Literatuuronderzoek leidingen

In deze bijlage wordt de beschikbare literatuur met ervaringsdata bekeken, waarbij getracht wordt conclusies te trekken voor de sterkte van de geïnduceerde aardbevingen zoals die in Nederland momenteel verwacht worden.

De volgende ervaringsdata zijn beschikbaar (de figuur nummers verwijzen naar de originele referenties):

O'Rourke 1998

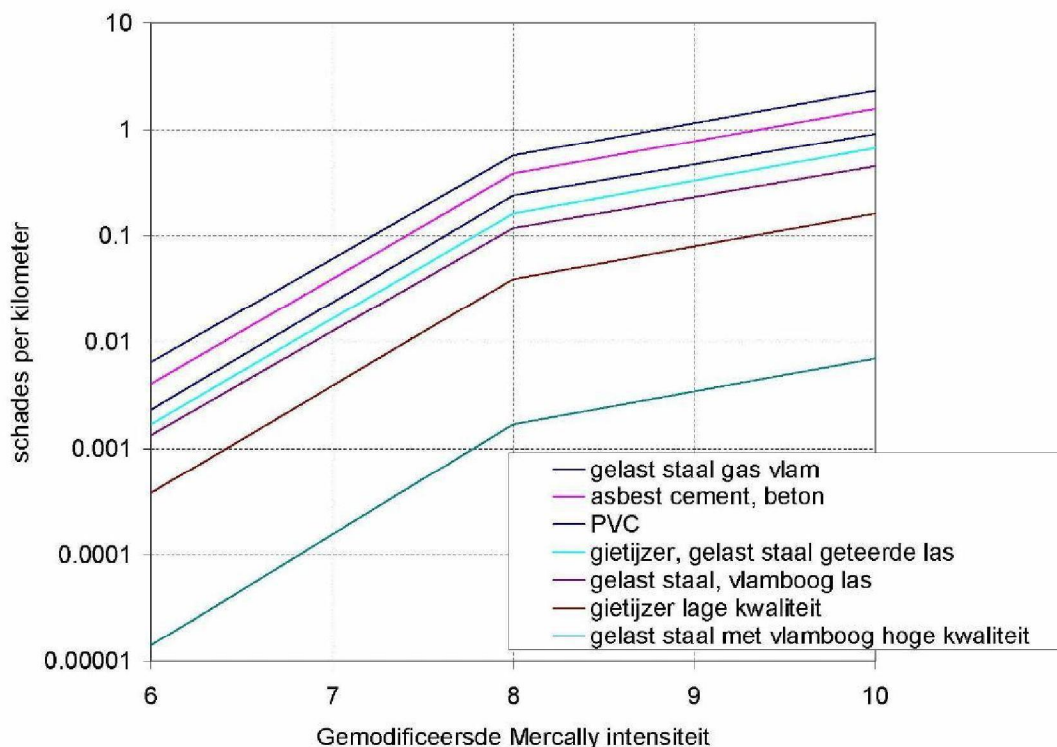
Uit een figuur kan worden afgelezen dat bij een grond pieksnelheid van 200 mm/s 0.02 reparaties per km worden verwacht, dus er treedt gemiddeld op een leiding van 50 km één beschadiging op.

O'Rourke et al, 2001

Een andere figuur geeft echter andere getallen aan. Bij een piek grondsnelheid van 200 mm/s varieert het aantal schades van 0.06 voor asbest cement tot 0.6 voor stalen leidingen. Dat wil zeggen dat er per 16 km asbest cement leiding een beschadiging verwacht wordt, terwijl dit voor stalen leiding per 1.6 km het geval is.

O'Rourke en Liu, 1999

In Alaska, 1964, waren de meeste van de 300 schades aan leidingen veroorzaakt door afschuivingen en grondbreuk (scheurvorming, hoogteverschil). Figuur C. geeft voor de gemodificeerde Mercalli schaal het aantal schades per kilometer leiding. Opvallend hierbij is de constatering dat bij gelaste buizen de soort las maatgevend is voor de schade kans.



Figuur C.1 Schade frequentie bij natuurlijke aardbevingen [O'Rourke, Liu, 1999]

Pradipta Banerji, 1992.

Figuur 2 geeft voor relatief zware aardbevingen (kracht 6 op de *modified* Mercalli schaal) 0.04 tot 0.06 reparatie per kilometer (één reparatie per 25 tot 16 km), een en ander afhankelijk van het type leiding.

Wang, O'Rourke, 1978

Het aantal schades is gerelateerd aan de grondsoort: hoe zachter de grond, des te meer schades worden er waargenomen. Japanse resultaten geven aan dat bij Magnitude 7 het aantal schades door grondtrilling dramatisch toeneemt. Maar, het hangt ook af van de bodem situatie, als er veel blijvende deformaties optreden, is het beeld veel minder duidelijk.

Er lijkt geen verband te bestaan tussen het aantal schades en de leiding diameter, zowel een toenemende als een afnemende schade kans met toenemende diameter worden gerapporteerd. Er bestaat ook geen verband tussen het doel en het belang van de leiding.

Wel neemt het aantal schades toe als de leiding in verschillende grondsoorten loopt (en dus grond overgangen kruist). Ook is een leiding die evenwijdig loopt aan de richting van de aardbevingsgolven 2.5 keer zo gevoelig voor schade als in de richting er loodrecht op.

Uit Japans onderzoek is gebleken dat ver weg van de bron (lage frequenties overheersen) de leiding vrijwel volledig met de grond meebeweegt. Nabij de bron (hoge frequenties overheersen) ontstaan relatief meer verschillen, maar deze blijven klein.

De leiding heeft weinig invloed op de grondverplaatsing, de massa van de leiding speelt nauwelijks een rol in de responsie.

Zowel buig als normaalspanningen treden op, maar de normaalspanningen overheersen het gedrag. De overheersende frequentie heeft meer invloed op de spanningen dan de sterkte van de trillingen.

Compressie golven die zich evenwijdig aan de leiding voortplanten, leiden tot axiale spanningen, terwijl schuifgolven die zich onder een hoek van 45 graden op de leiding voortplanten, ook leiden tot axiale spanningen.

Dash en Jain 2007.

Internationaal wordt na optreden van natuurlijke aardbevingen (met name in de VS) vaak een schade analyse uitgevoerd. Dash en Jain (2007) hebben waarnemingen van verschillende onderzoekers gebundeld en in een tabel weergegeven. Deze tabel is weergegeven in de onderstaande tabel.

Year	Earthquake	M	Damage to Oil and Gas Pipelines	References
1906	San Francisco Earthquake	7.8	Major damage to buried pipelines; Major damage to waterworks; About 50% of all pipeline damage occurred in or near the PGD zone, and remaining was mostly due to seismic wave propagation.	El Hamadi and O'Rourke ¹⁵
1923	Kanto Earthquake	8.3	Major fire damage; Over 4000 breaks and about 1500 blocks of Tokyo gas distribution lines were destroyed in Tokyo; Most of the damage occurred at the joints of small diameter cast-iron pipes.	Eguchi ¹⁶ Strand ¹⁷
1933	Long-Beach Earthquake	6.3	Utility lines, oil pipelines, and waste water lines were extensively damaged; Along the fault zone there were thousands of damaged natural gas mains, valves, and service connections; Numerous fires in streets at broken gas lines; Failures at many locations of gas transmission pipeline due to ground failure; Damage to oil storage facilities.	Tousson et al ¹⁸
1952	Kern County Earthquake	7.5	Extensive damage reported to the oxyacetylene-welded pipelines than those with electric arc-welded pipelines.	McCaffery and O'Rourke ¹⁹
1964	Alaska Earthquake	8.4	Over 200 breaks in gas pipelines were reported; Over 100 breaks in water distribution pipelines at anchorages; Gas lines within the fault zone were ruptured; Most of the pipeline damages were due to landslides and ground cracking.	Hansen ²⁰ O'Rourke and Liu ²¹