

**VERMILION
E N E R G Y**



Vermilion Energy Netherlands B.V.

Aanvraag Instemming Eesveen Winningsplan

Versie 2.1 - Addendum bij Versie 2.0

19-Mei-17

Inhoud

Inhoud	2
1 Doel van dit Addendum	3
2 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden	4
2.1 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse	4
2.2 Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan	5
2.2.1 Niveau 1: Screening Potentieel	5
2.2.2 Niveau 2: Risico Classificatie	8
3 Referenties	14

1 Doel van dit Addendum

In dit addendum wordt een versie van de Seismische Risico Analyse (SRA) besproken, die licht gewijzigd is ten opzichte van die in de Actualisatie (versie 2.0; Ref. 20). Dit addendum vervangt Hoofdstuk 17 uit versie 2.0 (Ref. 20).

Tabel 1-1 Geschiedenis Winningsplan Eesveen

Datum	Versie	Versie
Apr-14	1.0	Eerste winningsplan Eesveen
Feb-17	2.0	Actualisatie
Mei-17	2.1	Update van SRA (als addendum)

2 Bijlage: Seismische Risico Analyse: Details en Achtergronden

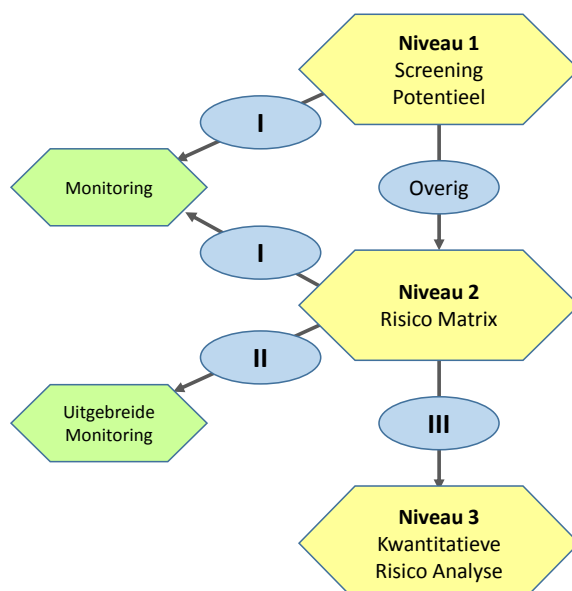
Het Eesveen voorkomen valt in risico categorie I; dit is de laagste risico-categorie. Dit betekent volgens de gepubliceerde richtlijnen dat alleen monitoring van seismische activiteit via het bestaande seismisch monitoring netwerk van het KNMI noodzakelijk is.

Deze bijlage bevat de details omtrent de seismische risico-analyse. Hierbij is gebruik gemaakt van alle beschikbare reservoir-gegevens die belangrijk zijn bij het inschatten van het seismisch risico.

2.1 Algemeen kader voor Seismische Risico Analyse

Het kader en de hier beschreven methodiek is gebaseerd op: *Methodiek Voor Risicoanalyse Omtrent Geïnduceerde Bevingen Door Gaswinning*; Tijdelijke Leidraad Voor Adressering Mbb. 24.1.p, Versie 1.2, 1 februari 2016, Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) (ref. 5)..

Om het seismisch risicoprofiel vast te stellen van een voorkomen wordt een risico-analyse uitgevoerd voor het voorkomen volgens een getrapt model dat bestaat uit drie stappen. Deze drie stappen worden weergegeven in Figuur 2-1. Op basis van de uitkomsten van de verschillende individuele stappen worden vervolgstappen genomen.



Figuur 2-1: Weergave van de verschillende stappen in de seismische risico analyse (SRA).

Niveau 1: Screening Potentieel

In deze stap wordt het potentiële vermogen van het gasvoorkomen om aardbevingen te genereren bepaald. Dit potentiële vermogen wordt bepaald aan de hand van de correlatie die is opgesteld door TNO in de studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (ref. 3 en 4)

Voor voorkomens die op basis van deze initiële analyse een verwaarloosbare kans hebben om geïnduceerde bevingen te genereren, is het niet noodzakelijk om aansluitende niveaus 2 en 3 te doorlopen.

Indien de kans op een geïnduceerde beving niet verwaarloosbaar is, zullen er aanvullende berekeningen worden uitgevoerd om de sterkte van een potentiële geïnduceerde beving te kunnen bepalen. Als de sterkte (seismisch moment, M) van een potentiële geïnduceerde beving boven de 2.5 ligt, dan zal de risico analyse verder worden uitgebreid met de risico matrix (niveau 2).

Niveau 2: Risico Matrix

In deze stap wordt op basis van een risicomatrix-benadering het risico ten gevolge van geïnduceerde aardbevingen verder gekwalificeerd.

De inschattingen van het risiconiveau (I, II, III) bepaalt of er aanvullende monitoringsverplichtingen of maatregelen moeten worden genomen met betrekking tot de productie uit het voorkomen.

Niveau 3: Kwantitatieve Risico Analyse

Er zal een aanvullende kwantitatieve risico-analyse worden uitgevoerd in het geval dat een voorkomen op basis van de risicomatrix als categorie III wordt gekwalificeerd.

2.2 Seismische Risico Analyse voor de voorkomens in dit winningsplan

2.2.1 Niveau 1: Screening Potentieel

De studie *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland* (TNO, ref. 3 en 4) (DHAIS) gebruikt gegevens over seismiciteit (bron: www.knmi.nl), drukdata en eigenschappen van de verschillende voorkomens. Aan de hand van de volgende parameters van een olie- of gasvoorkomen wordt de kans bepaald dat zich, op enig moment gedurende de productie van een voorkomen, een beving voordoet:

- $\Delta P/P_{ini}$ = de ratio van drukval (ΔP) en initiële druk (P_{ini}) in het reservoir;
- E = de verhouding tussen de Young's moduli (stijfheidsmoduli) van de 'overburden' en het reservoirgesteente
- Parameter B wordt gedefinieerd door de volgende vergelijking:

$$B = \frac{\text{Fault_surface}^{3/2}}{\text{gross_rock_volume}} = \frac{l_b^{3/2} \cdot h^{3/2}}{A \cdot h} = \frac{l_b^{3/2} \cdot \sqrt{h}}{A}$$

Waarbij:

l_b = De totale breuklengte van de intra-reservoir breuken en de randbreuken van het voorkomen in meters;

h = De maximale dikte van de gaskolom van het voorkomen in meters;

A = De oppervlakte van het voorkomen gemeten binnen de GWC dieptecontour (in vierkante meters);

De DHAIS kans-klassen worden hieronder weergegeven (met P_h de kans op beven van het voorkomen):

Tabel 2-1 DHAIS kans-classificatie (TNO, ref. 3 en 4). De kans betreft bevingen met een magnitude $M > 1.5$.

Reeds bevende voorkomens	
$\Delta P/P_{ini} \geq 28\%$	$B > 0,86$ en $E \geq 1,34$: $P_h = 0.42 \pm 0.08$
	$B > 0,86$ en $1,01 \leq E \leq 1,33$: $P_h = 0.19 \pm 0.05$
	$B < 0,86$ en/of $E < 1,01$: verwaarloosbare kans
$\Delta P/P_{ini} < 28\%$	Verwaarloosbare kans

De grenswaarde voor de drukval als gevolg van gaswinning waaronder geen geïnduceerde bodemtrillingen zijn gemeten, is 28% van de initiële reservoirdruk. De drukval in het Eesveen-voorkomen zal deze grenswaarde overschrijden.

Voor wat betreft de breuken, de B factor is berekend op 4.35. De gesteente-stijfheid is verwerkt in de E factor, die is berekend op 1.79 (Tabel 2-2).

Hierdoor valt het Eesveen voorkomen in de categorie 42%. Het is dus nodig de maximaal realistische magnitude te schatten. Een eerste schatting voor de hoeveelheid energie die vrijkomt bij een beving, en daarmee de sterkte van een beving, gaat ervanuit dat die schaal met het breukoppervlak dat beweegt. De grootte van een breuk is daarmee limiterend voor de sterkste beving die op die breuk kan plaatsvinden. Deze schatting wordt gegeven door (Kanamori, 2001; Stein en Wysession, 2006; zie Ref. 5):

$$M_0 = \frac{3\pi}{8} \Delta\sigma(w^2 L)$$

Hierin is M_0 het seismisch moment (maat voor de hoeveelheid energie) die bij een beving vrijkomt, $\Delta\sigma$ stress drop, oftewel de spanning die tijdens een beving wordt gerelaxeerd, w de hoogte en L de lengte van de breuk. Uit de literatuur volgt dat 5 MPa een bruikbare waarde voor $\Delta\sigma$ is.

Een tweede schatting gaat uit van de door compactie opgebouwde energie. Op basis van Kostrov (1974) hebben Bourne et al. (2014) voor Groningen afgeleid (zie Ref. 5):

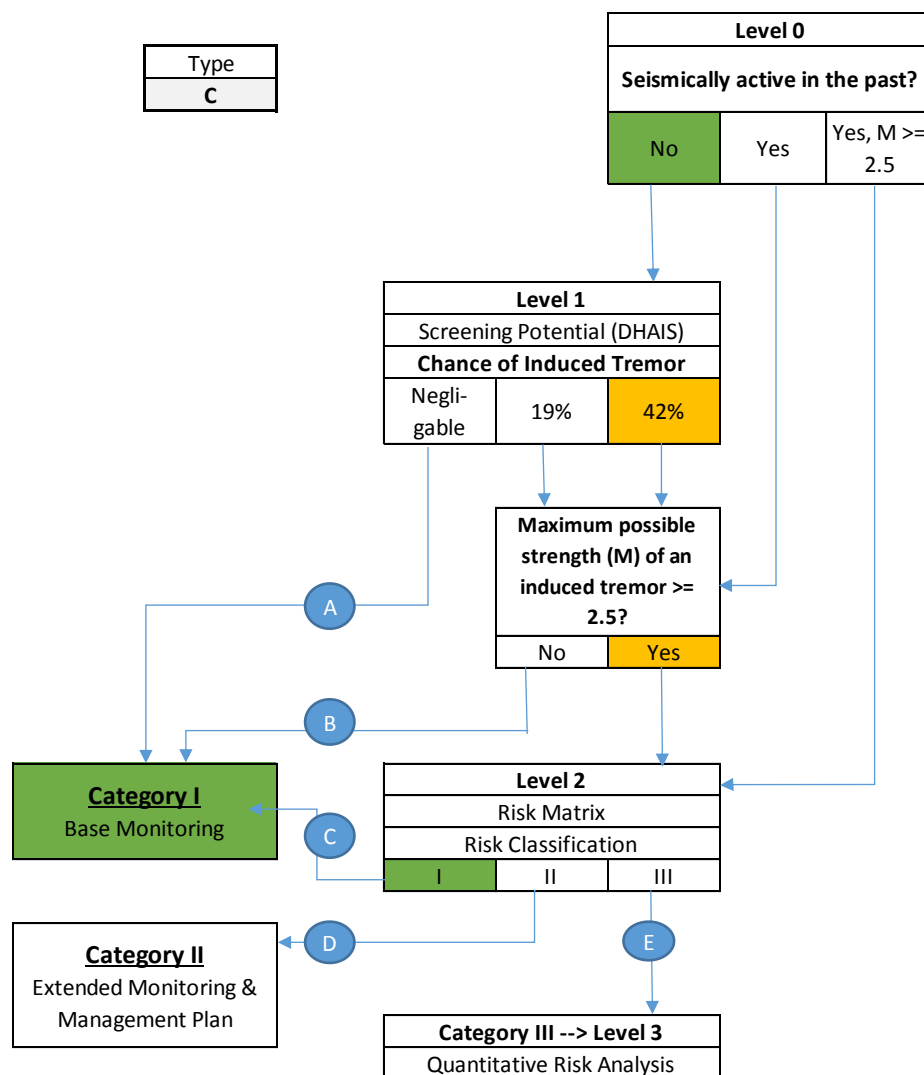
$$M_{0,T}(t) \cong \frac{4\mu}{3} \alpha |\Delta V(t)|$$

Hierin is M_0 het seismisch moment is dat maximaal vrij kan komen, μ de schuifmodulus en ΔV de volume verandering in het reservoir ten gevolge van de compactie door gasonttrekking. De fractie van de door compactie opgebouwde energie die seismisch vrij kan komen wordt gegeven door de zogenaamde partiticoëfficiënt α . Uit de literatuur volgt dat 0.01 een redelijke waarde voor α is (Ref. 5).

De relatie tussen het seismisch moment M_0 en de magnitude M van een beving wordt gegeven door (Hanks and Kanamori, 1979 zie Ref. 5):

$$\log_{10} M_0 = 9.1 + 1.5M$$

De uitkomst van deze twee schattingen voor het Eesveen voorkomen is een bovengrens van net boven de 2.5 (Tabel 2-2). Op grond van de maximaal realistische magnitude is een niveau 2 analyse dus noodzakelijk.



Figuur 2-2 SRA beslisboom toegepast voor Eesveen. De uitkomst is Categorie-I.

Tabel 2-2 Parameters voor SRA voor het Eesveen voorkomen

Depth (GWC)	[mTVDss]	2045
Initial pressure	[bar]	225
Dp/Pini	[-]	93%
Total Fault Length	[m]	15323
Longest Fault	[m]	3548
Area @ GWC	[km2]	1.95
H	[m]	20
B factor	[-]	4.35
Data sources E		APS-02 RO
		APS-02 ZE1
		WIT-03 ROSL
		WIT-03 ZE1
Overburden, Vp	[m/s]	5304.56
Overburden, Vs	[m/s]	2963.54
Overburden, rho	[kg/m3]	2796.40
Reservoir, Vp	[m/s]	4053.73
Reservoir, Vs	[m/s]	2435.87
Reservoir, rho	[kg/m3]	2435.84
Static E Overburden	[GPa]	39.70
Static E Reservoir	[GPa]	22.20
E factor	[-]	1.79

Historic Seismicity?		N
Mmax_hist		0
Num events > 1.5		0

Height of largest fault	[m]	20
Poisson Ratio Reservoir	[-]	0.217
Mmax	(frac)	2.5
	(frac, max. aspect 1:20)	1.9
	(comp)	2.3

In deze analyse zijn de twee deelvoorkomens samen bekeken. Als ze elk apart bekeken worden, is de conclusie gelijk.

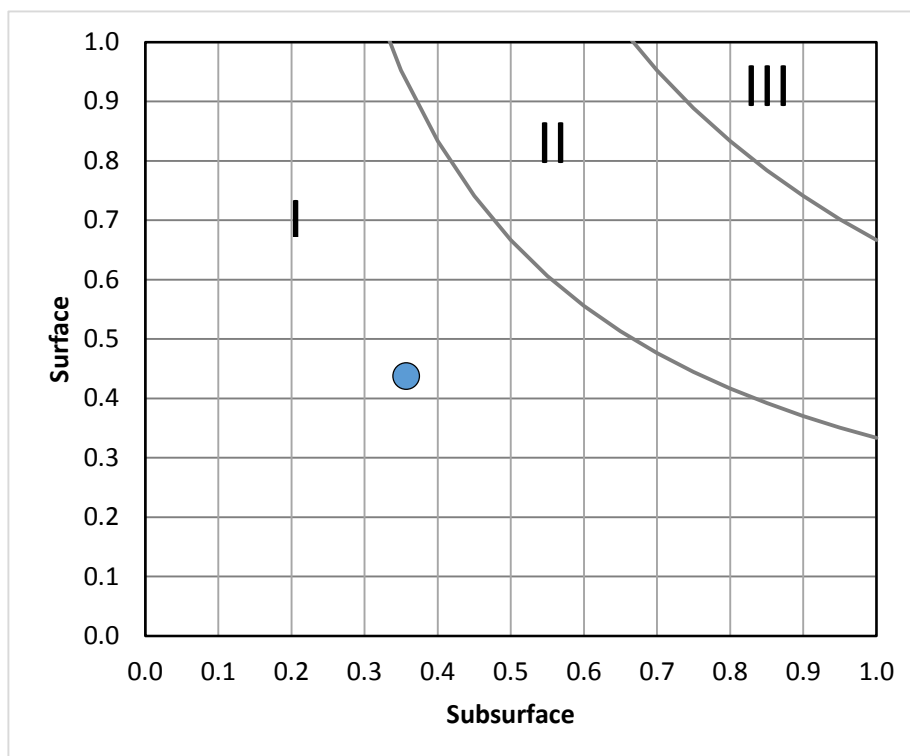
De waarden voor de Young's modulus E zijn gecorrigeerd van dynamisch naar statisch.

Er is *niet* vanuit gegaan dat de verhouding tussen de lengte van een bewegend breukdeel en de reservoir-hoogte beperkt is. Het niet meenemen van deze beperking is een conservatieve aanname (vgl. bijv. ref. 19). Als we wel zouden aannemen dat die verhouding hoogstens 20:1 kan zijn, dan zou de Mmax 1.9 i.p.v. 2.5 zijn.

2.2.2 Niveau 2: Risico Classificatie

Een niveau 2 analyse, nodig omdat de Mmax net boven de 2.5 ligt, geeft aan dat het Eesveen voorkomen heel ruim binnen het Categorie-I gebied blijft. Dat is gedocumenteerd in de figuren en tabellen hieronder.

De conclusie is dus dat het Eesveen voorkomen in Categorie I valt. Deze conclusie is schematisch weergegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-3 Resultaat van een Niveau-2 analyse voor Eesveen.

Tabel 2-3 Overzicht van ondergrond-factoren. De ondergrond-score wordt berekend door de individuele scores op te tellen, en het totaal te delen door 14, en geplott op de x-as van bovenstaande figuur.

Score	DHAIS	M	Ligging voorkomen	Opslingering
5		Alle methodes > 4.5		
4	Bevend veld; > 5 bevingen per jaar van M > 1.5	1 methode > 4.5 en/of alle methodes 4.1-4.5		
3	Bevend veld; < 5 bevingen per jaar van M > 1.5	1 methode 4.1-4.5 en/of alle methodes 3.6-4.0		>60% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of >30% grondsoort 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.
2	p = 42% of bevend veld M < 1.5	1 methode 3.6-4.0 en/of alle methodes 3.1-3.5	Boven de lijn Amsterdam-Arnhem	30-60% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of 15-30% grondsoort 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.
1	p = 19%	1 methode 3.1-3.5 en/of alle methodes 2.6-3.0		10-30% slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of 5-15% grondsoort 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.
0	Verwaarloosbaar	1 methode 2.6-3.0 en/of alle methodes <= 2.5	Onder de lijn Amsterdam-Arnhem	<10 % slappe grond ($V_{s,30} \leq 200\text{m/s}$) en/of < 5% grondsoort 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.

Tabel 2-4 Overzicht van oppervlakte-factoren. De ondergronds-score wordt berekend door de individuele scores op te tellen, en het totaal te delen door 16. Daarna wordt het getal geplot op de y-as van bovenstaande figuur. Zie de kaarten hieronder voor de brongegevens

Score	Bevolkings-dichtheid	Industriële inrichtingen	Speciale gebouwen en vitale infrastructuur	Dijken
4	>2500 inwoners/km2	Meerdere direct boven het veld	Meerder ziekenhuizen en/of energievoorzieningen direct boven het veld	Primaire dijken boven het veld
3	1000-2500 en/of 500-1000 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 boven het veld en/of meerdere binnen 5 km rond het veld.	1 ziekenhuis en/of energievoorziening direct boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld. Meerdere scholen, tehuizen en/of publieksgebouwen direct boven het veld	Primaire dijken binnen 5 km rond het veld en/of secundaire dijken boven het veld
2	500-1000 en/of 250-500 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld	1 binnen 5 km rond het veld.	1 school, tehuis en/of publieksgebouw boven het veld of meerdere binnen 5 km rond het veld.	Secundaire dijken binnen 5 km rond het veld
1	250-500 en/of <250 met wijken bestaande uit flats/appartementencomplexen binnen 5 km rond het veld		1 school, tehuis en/of publieksgebouw binnen 5 km rond het veld.	
0	<250	Geen binnen 5 km rond het veld	Geen boven en/of binnen 5 km rond het veld	Geen dijken binnen 5 km rond het veld

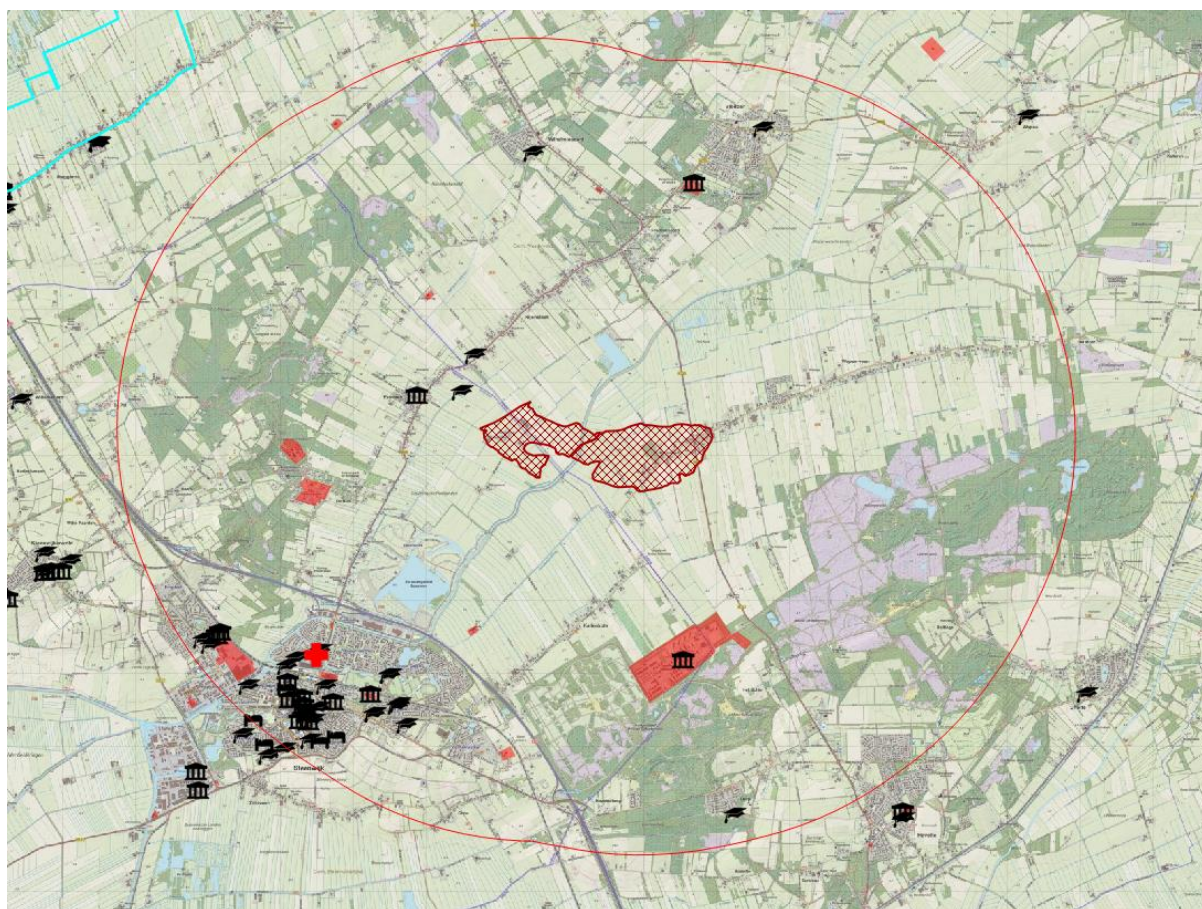


Figure 2-4 Overzicht van dijken (blauwe lijntjes) en 'Speciale gebouwen' (scholen= , tehuizen= , overige publieke gebouwen= , e.d.) in de omgeving van het Eesveen voorkomen. (bron: risicokaart.nl). De rode cirkel geeft de 5 km straal die voorgeschreven is voor de SRA.

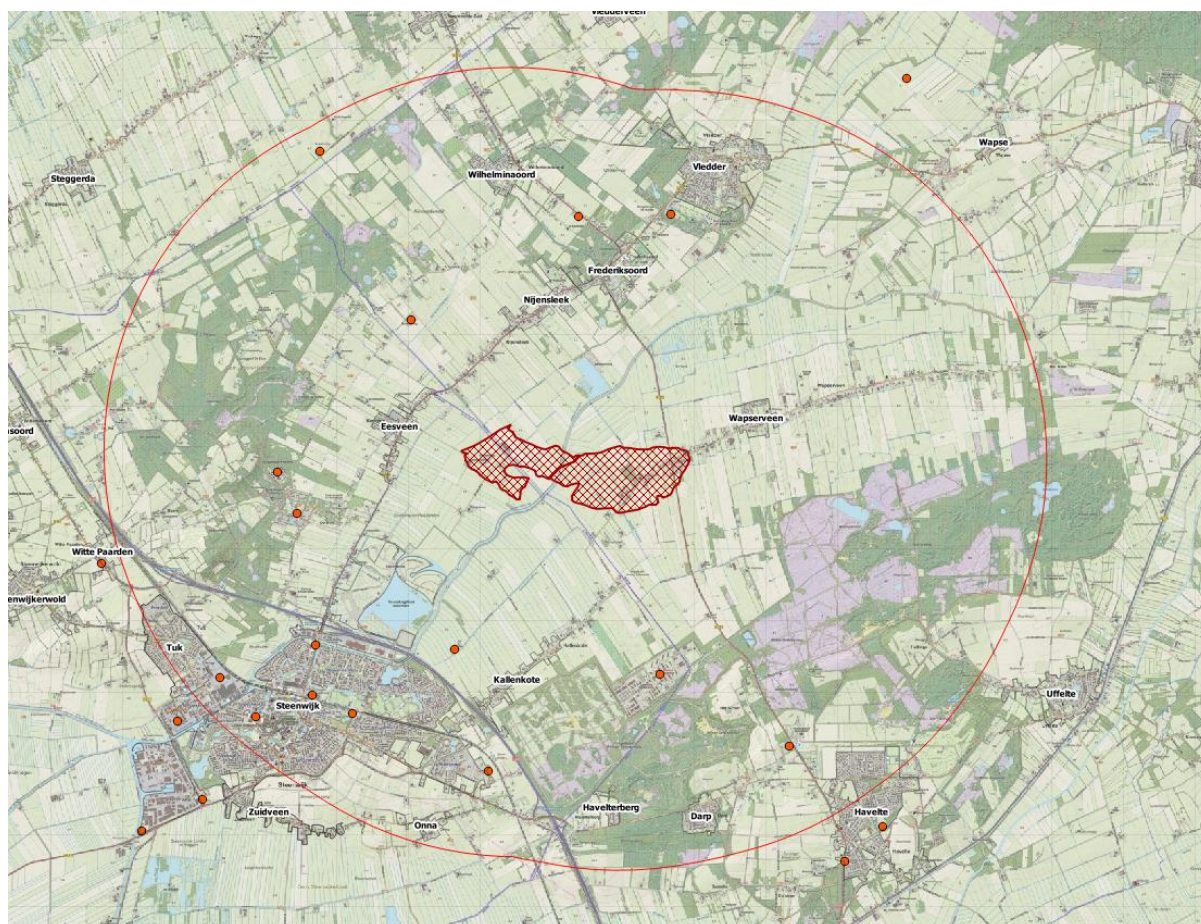


Figure 2-5 Overzicht van 'Industriële inrichtingen' rond het Eesveen voorkomen (bron: risicokaart.nl). De rode cirkel geeft de 5 km straal in die voorgeschreven is voor de SRA.

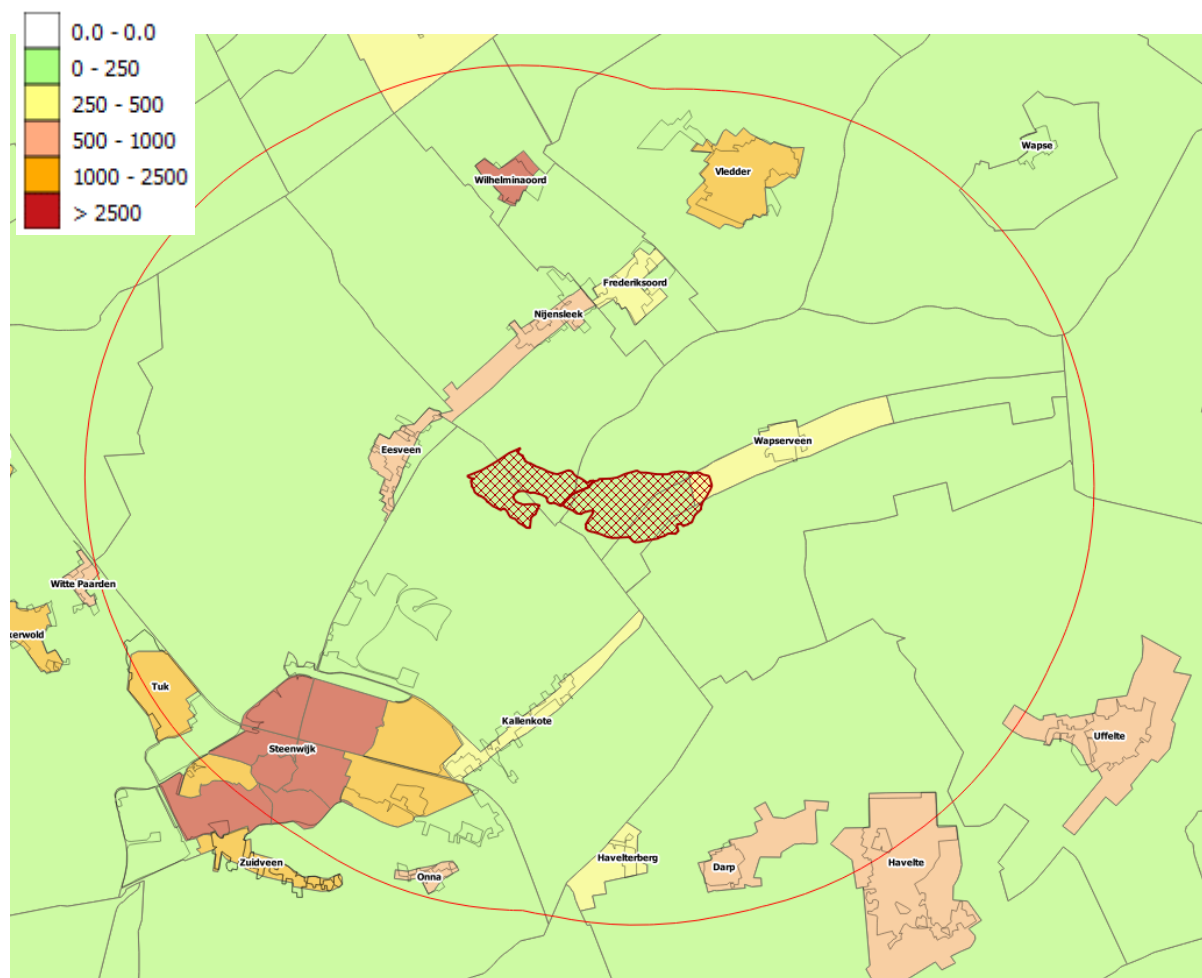


Figure 2-6 Bevolkingsdichtheid voor de buurten/wijken rond het Eesveen voorkomen (bron: CBS). De rode cirkel geeft de 5 km straal in die voorgeschreven is voor de SRA. Het gemiddelde over het hele gebied ligt net onder de 250 inwoners per km², maar voor de analyse is een conservatieve score van 1 genomen (Tabel 2-4).

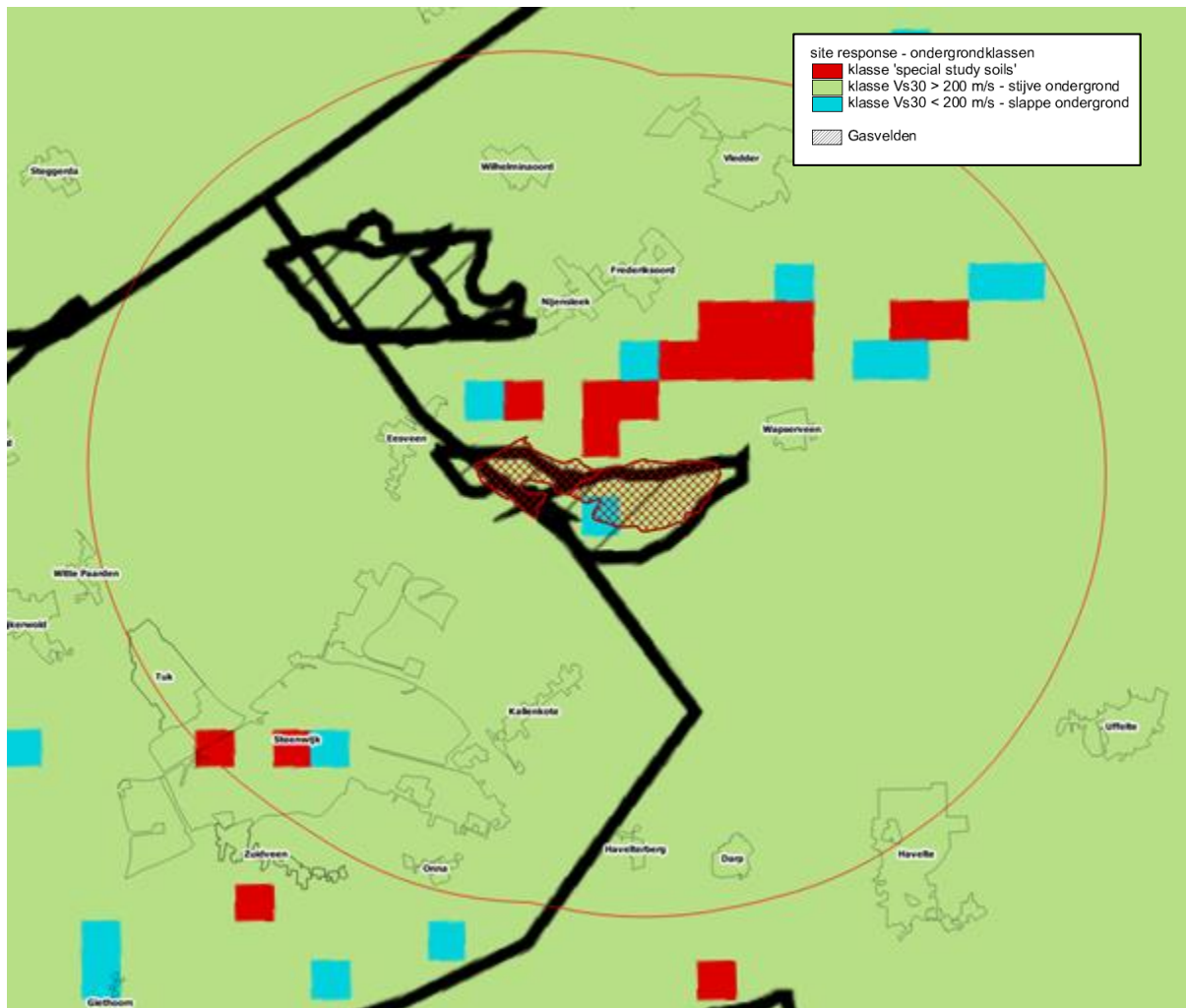
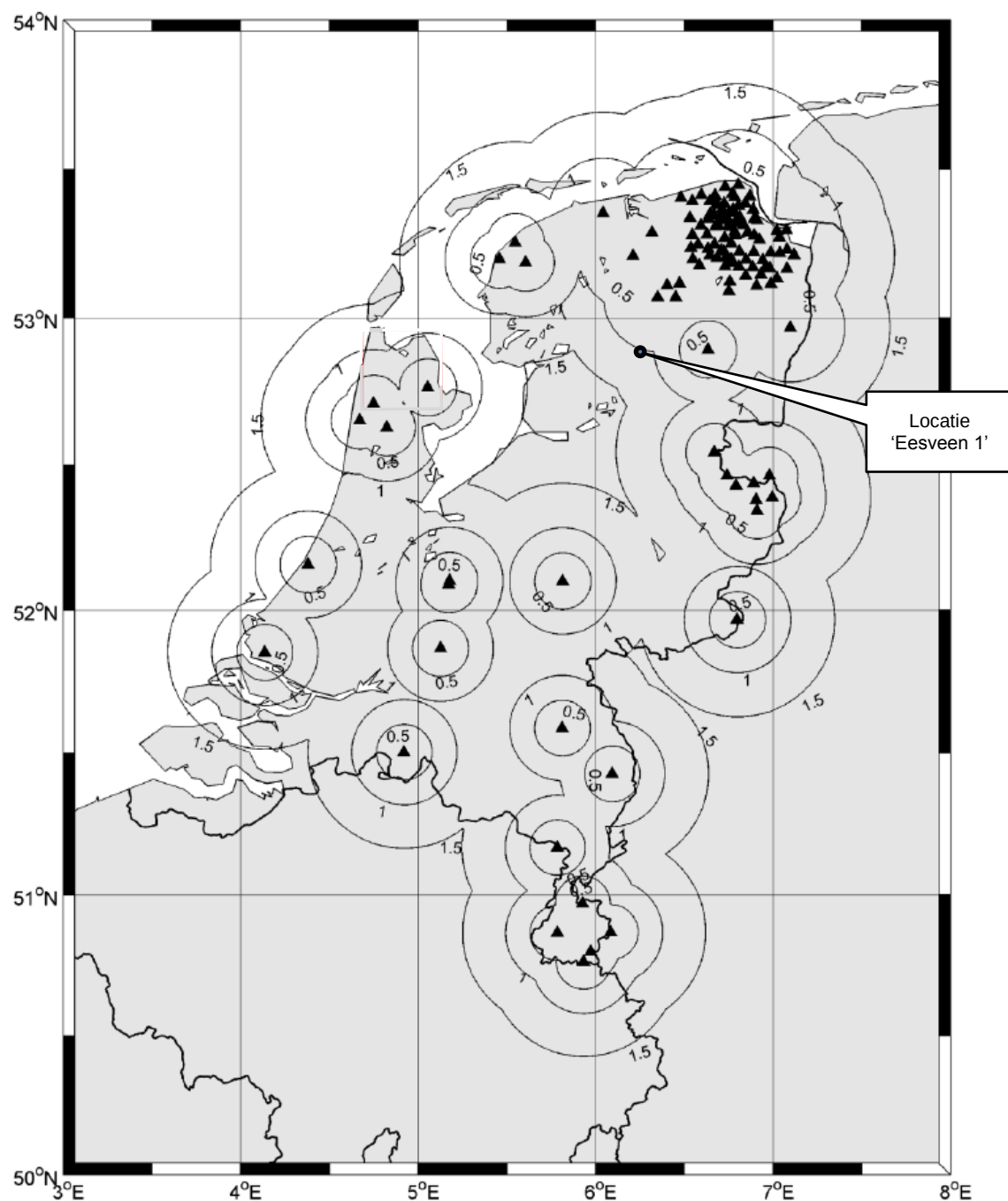


Figure 2-7 Grondsoorten in de buurt van het Eesveen voorkomen, gecategoriseerd naar mogelijke opslingeringseffecten (ref. 3). De rode cirkel geeft de 5 km straal in die relevant is voor de SRA. De zwarte contouren zijn zoals in de referentie (het weergegeven voorkomen ten noordwesten is Nijensleek (uitgeproduceerd)). Het doel van het kaartje is een inschatting van de fractie aan opslingeringsgevoelige grondopbouw, niet een locatie-specifieke detail-analyse (ref. 5).



Figuur 2-8 Seismische detectie-stations en detectie-drempel-magnitude. De figuur geeft de situatie van eind 2016 weer (aangepast naar Fig. 2a uit KNMI Ref. 10).

3 Referenties

1. Deltares, *Bodemdalingskaarten*, 2011.
2. TCBB, *Industrieleidraad ter Geodetische bepaling van bodembeweging als gevolg van mijnbouwactiviteiten*, 2014.
3. TNO, *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland*, 2004 (NITG 04-171-C),
4. TNO, *Deterministische Hazard Analyse voor Geïnduceerde Seismiciteit in Nederland*, update 2012 (R10198).
5. SodM, *Methodiek voor Risico-Analyse omtrent geïnduceerde bevingen door gaswinning* (Tijdelijke Leidraad), Februari 2016.
6. TNO, *Seismiciteit onshore gasvelden Nederland*, 2016 (R10164).
7. *Schade aan buisleiding door aardbeving, fase 1 inventarisatie*, Deltares Project report 1001649-000, 2010.
8. *Seismisch hazard van geïnduceerde aardbevingen Integratie van deelstudies*, Wassing, B.B.T. (TNO) & Dost, B. (KNMI), Report nummer TNO 2012 R11139, 24 december 2012.
9. *De relatie tussen schade aan gebouwen en lichte, ondiepe aardbevingen in Nederland: inventarisatie*, TNO Rapport 97-CON-R1523-1, door Van Staalduinen & Geurts, 1998.
10. *Seismisch Risico in Noord-Nederland*, Th. de Crook & H.W. Haak & B. Dost, februari 1998, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Afdeling Seismologie
11. G.H.C. van Opstal: "The effect of base-rock rigidity on subsidence due to reservoir compaction". *Proc. 3rd Congress. Int. Soc. Rock Mech.*, Denver Colorado, September 1974, vol 2, part B
12. Nederlands Aardolie Maatschappij, *Bodemdalingsrapport Noord-Nederland*, 2015
13. *Geology of the Netherlands*, Wong et al. (eds), Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007 / Amsterdam University Press, 2007
14. *Meetregister bij het meetplan Nijensleek, Rapportage van de nauwkeurigheidswaterpassing Nijensleek 2015*; projectnr. 262444, revisie 00; 4 mei 2015; Antea Group
15. *Analyse bodemdaling De Hoeve, Vinkega, Nijensleek*; Vermilion, 2017
16. *Physical Properties of Natural Gases*, Nederlandse Gasunie, 1988
17. TCBB, *Jaarverslag*, 2015
18. www.commissiebodemdaling.nl
19. M. Leonard, "Earthquake Fault Scaling", *Bull Seis. Soc. Am.*, **100** (2010), p. 1971
20. Winningsplan Eesveen, Versie 2.0 – Actualisatie, Vermilion, 22 Februari 2017