



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Richtlijn voor seismische monitoringsstations versie 1

P. Kruiver, E. Ruigrok, G.J. van den Hazel, D. de Vos, E. Stoffer en L. Evers

De Bilt, 2024 | Technisch rapport 24-01

Richtlijn voor seismische monitoringsstations

versie 1

KNMI, R&D Seismologie en Akoestiek

Pauline Kruiver, Elmer Ruigrok, Gert-Jan van den Hazel, Denise de Vos,
Edward Stoffer en Láslo Evers

26 februari 2024

Samenvatting

Seismische monitoringstations zijn nodig om aardbevingen te lokaliseren en karakteriseren. Deze stations worden aangelegd door zowel KNMI als door uitvoerders van mijnbouwactiviteiten. Het KNMI heeft als wettelijke taak het publiek onverwijld te informeren over geïnduceerde aardbevingen met een magnitude groter of gelijk aan 2,0 en natuurlijke aardbevingen met een magnitude groter of gelijk aan 4,5. Uitvoerders hebben vanuit hun vergunning vaak de verplichting om lagere magnitudes (zwakkere aardbevingen) te kunnen lokaliseren en karakteriseren.

De meetdata van het seismische netwerk van het KNMI zijn openbaar. Ook verspreidt het KNMI de aardbevingsgegevens die met dit netwerk zijn geanalyseerd. Het KNMI moedigt uitvoerders aan om hun stations en de meetdata aan het KNMI over te dragen. Dit is goed voor de transparantie, toegankelijkheid en uniformiteit van aardbevingsgegevens.

Dit document beschrijft de voorwaarden waaraan een seismisch monitoringstation moet voldoen voor opname van de data en overname van het station door KNMI. De richtlijn is onderverdeeld in eisen en wensen op het vlak van locatiekeuze, instrumentatie, datacommunicatie en juridische aspecten. Bij alle onderdelen is vooraf overleg met KNMI gewenst.

Dit is versie 1 van de richtlijn.

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
1 Locatiekeuze	3
1.1 Eisen aan locatiekeuze	3
1.2 Wensen voor locatiekeuze	3
1.3 Compleetheidsmagnitude	4
2 Instrumentatie	6
3 Site Acceptance Test	10
4 Datacommunicatie	11
5 Juridische aspecten	12
6 Contactgegevens KNMI	12
7 Referenties	13

1 Locatiekeuze

Seismische stations worden over het algemeen neergezet om jarenlang data te verzamelen. Bij een boorgatstation zit de gefoonstring vast in de grond. Deze is niet te verplaatsen. Versnellingsmeters staan in een meetkast aan het oppervlak en zijn makkelijker te verplaatsen. De ervaring leert dat het veel werk is om een station te installeren. Het is daarom belangrijk om de locatie voorafgaand aan de installatie goed te kiezen. Er zijn daarbij een aantal zaken om rekening mee te houden.

Plaatsing en installatie van een seismisch netwerk blijft te allen tijden de verantwoordelijkheid van de uitvoerder. Het KNMI is niet aansprakelijk voor enige schade, direct of indirect, ontstaan ten gevolge van de installatie.

1.1 Eisen aan locatiekeuze

Allereerst moet de locatie **veilig** zijn voor het algemene publiek en voor de onderhoudsmonteurs. De locatie mag bijvoorbeeld geen onveilige verkeerssituaties opleveren. Ten tweede moet de locatie **vrij toegankelijk** zijn voor de onderhoudsmonteurs. Dit betekent dat de kast met apparatuur bereikbaar is zonder tussenkomst van een contactpersoon. Dit is belangrijk in het geval van het oplossen van een storing. Het seismische station kan dus niet achter een gesloten hek worden geplaatst, tenzij KNMI een sleutel krijgt. Om er zeker van te zijn dat de locatie geschikt is, moet er **overleg met het KNMI** plaatsvinden voorafgaand aan de definitieve vaststelling van de locatie.

Alle **vergunningen, toestemmingen, ontheffingen en meldingen** die nodig zijn voor de aanleg, het hebben en houden van het seismische station vallen onder de verantwoordelijkheid van de uitvoerder. Deze moeten direct opvraagbaar zijn bij de uitvoerder.

Voor de aanleg van een boorgatstation is voldoende werkruimte nodig: ongeveer 9 m bij 15 m en werkhoogte voor de boorstelling. Als het boorgatstation gereed is, is het ruimtebeslag slechts enkele vierkante meters.

De eisen met betrekking tot de locatiekeuze zijn samengevat in Tabel 1.

No.	Locatie-eis
1	Veilig
2	Vrij toegankelijk
3	Overleg met KNMI
4	Vergunningen, toestemmingen, ontheffingen en meldingen geregeld
5	Bij boorgatstation: voldoende werkruimte

Tabel 1: Eisen aan locatiekeuze

1.2 Wensen voor locatiekeuze

Nederland is een druk en vol land. De beschikbare ruimte is beperkt. Gelukkig neemt een seismisch station niet veel ruimte in beslag, hooguit een paar vierkante meter. Voor een goede datakwaliteit is het belangrijk om de ruisbronnen zoveel mogelijk te beperken. Op sommige ruisbronnen hebben we geen invloed, bijvoorbeeld op de ruis van oceaangolven. Op andere ruisbronnen hebben we wel invloed, door de sensor te plaatsen op een **bepaalde afstand tot een ruisbron** zoals bijvoorbeeld een weg of spoorlijn. Verder is een sensor op een zandige ondergrond gunstiger dan op klei of veen. Ook hier is **overleg met KNMI** nodig om de beste ruiscondities te kiezen, rekening houdend met de situatie in de regio waar

een sensor gepland is. De aan te houden afstand is weergegeven in Tabel 2.

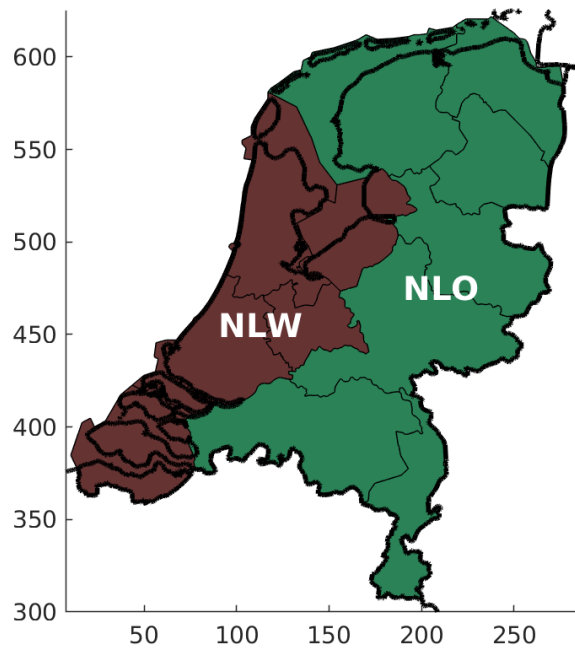
No.	Ruisbron	Afstand
1	Rustige weg	10 m
2	Drukke weg, snelweg of spoorlijn	100 m
3	Individuele boom of bosrand	10 m
4	Transformatorhuisje	10 m
5	Industriële installaties	100 m
6	Windturbine	horizontale afstand gelijk aan tiphoogte
7	Andere ruisbronnen	per stuk beoordelen

Tabel 2: Minimale afstand tot mogelijke ruisbronnen

1.3 Compleetheidsmagnitude

Vanuit de vergunning en/of het seismische risicobeheerplan zijn er vaak eisen gesteld aan de minimale magnitude van een aardbeving die gelokaliseerd en gekarakteriseerd moet kunnen worden (compleetheidsmagnitude, MoC). Bij meerdere mijnbouwactiviteiten die bij elkaar in de buurt plaatsvinden, kunnen er ook eisen worden gesteld aan de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van de aardbeving. Het KNMI genereert jaarlijks kaarten met de compleetheidsmagnitude en met de nauwkeurigheid van het seismische monitoringsnetwerk. De gegevens van deze kaarten zijn beschikbaar via het [KNMI Data Platform](#).

Wanneer de MoC te hoog is ter plaatse van de geplande mijnbouwactiviteit, dan kan de MoC verlaagd worden door seismische stations bij te plaatsen. De maximale afstand tussen de stations is afhankelijk van het ruisniveau en van de gewenste MoC. De ruiscondities in het westen van het land zijn wat hoger dan in het oosten van het land. Tevens zijn de ruiscondities op hardrock veel gunstiger dan op zachte sedimenten ([rapport TR405](#)). Hardrock komt aan de oppervlakte in Zuid Limburg en in het oosten van Gelderland. Op basis van gemiddelde P90 ruiscondities in west en oost Nederland zijn indicatieve maximale stationsafstanden gegeven voor ondiepe en diepe sensoren (Tabel 3). Hierin zijn ook de hardrockcondities opgenomen. De opdeling in oost en west is getoond in [Figuur 1](#). Wanneer bijvoorbeeld in westen (NLW) drie sensoren worden geplaatst aan het oppervlakte (ON), met afstanden van 3 km tot elkaar, wordt binnen de gevormde driehoek een MoC van 0,5 bereikt. Vaak zijn minder dan 3 extra stations nodig omdat er al dekking is vanuit bestaande stations, zie bijvoorbeeld [de landelijke MoC kaart](#) en [MoC data op KNMI Data Platform](#) voor de meest recente MoC gegevens. Toch kan het nodig zijn om juist meer stations te plaatsen dan strikt noodzakelijk is, om verminderde dekking bij technische problemen te voorkomen. Of de gewenste MoC daadwerkelijk met een toegevoegd station bereikt wordt, hangt af van het werkelijke ruisniveau ter plaatse van het nieuwe station. Dit ruisniveau kan bepaald worden met minimaal twee weken aan meetdata van het station.



Figuur 1: Opdeling van Nederland in twee klassen van ongeconsolideerde sedimenten: NLW (westelijk Nederland) en NLO (oostelijk Nederland).

MoC	NLW ON	NLW DN	NLO ON	NLO DN	Hardrock ON	Hardrock DN
0,5	3	6,5	3,5	8	14,5	26
1,0	5	11,5	5	15,5	27	48
1,5	7	22	7,5	29	50	88

Tabel 3: Maximale stationsafstanden in kilometers (afgerond op halve kilometers) uitgesplitst per regio (zie Figuur 1) en diepte. ON = ondiep niveau, sensor aan oppervlakte of tot 40 m diepte; DN = diep niveau, sensor vanaf 40 m diepte. De getallen zijn gebaseerd op gemiddelde P90 ruisniveaus volgens methode uit [rapport TR405](#).

2 Instrumentatie

Om een goede datakwaliteit te waarborgen, moet de seismische apparatuur (accelerometer, datalogger, gefoonstring) aan specificaties voldoen (eisen). Voor verschillende types apparatuur zijn de specificaties weergegeven in Tabellen 4 tot en met 7. Bij een combinatie van accelerometer met datalogger of gefoonstring met datalogger moet de sensor compatibel zijn met de datalogger.

No.	Eis aan versnellingsmeter
1	Triaxiale “force balance” accelerometer
2	Vlakke instrument respons voor grondversnellingen van 0,5 Hz tot 100 Hz
3	Instrumentruis (self-noise) onder -120 dB bij een clipniveau van 2 g (1 m/s ² referentiewaarde) van 1 Hz tot 30 Hz
4	Dynamisch bereik van ten minste 130 dB tussen 1 en 15 Hz bij 200 samples per seconde
5	Aanpasbare maximale range, inclusief 2 g setting
6	Waterpas indicatie (fysieke bel en/of digitaal)
7	Horizontale richtingsmarkering, bijv. noordpijl
8	Maximum grootte van 20 x 20 x 15 cm (lxbxh)
9	Bedrijfstemperatuur van -20°C tot 60°C
10	Bekabeling (intern en extern) van IP67 equivalent of hoger
11	Compatibel met datalogger, evt via bijgeleverde adapter of break-out box
12	Volledig informatieblad met specificaties beschikbaar met minimaal fabrieksinstrumentrespons en instrumentruiscurves

Tabel 4: Specificaties versnellingsmeter of accelerometer

No.	Eis aan datalogger
1	Gelijktijdige sampling op alle kanalen
2	Resolutie van ten minste 24 bit bij 200 samples per seconde
3	Continue acquisitie met MiniSEED support
4	Continue datastroom, zowel seismisch als state-of-health, conform SeedLink protocol
5	Automatische data backfill als datacommunicatie uitvalt
6	Tijdsnauwkeurigheid van kleiner dan 5 µs via interne GNSS ontvanger en externe antenne
7	Maximum grootte van 30 x 30 x 20 cm (lxbxh)
8	Interne opslag van ten minste 8 GB
9	Ondersteuning van (incidentele) bestandsoverdracht via internet
10	Op afstand (via internet) te besturen/raadplegen, in combinatie met de sensor: self-diagnostics, configuratie, testen, kalibraties
11	Bedrijfstemperatuur van -20°C tot 60°C
12	Bekabeling (intern en extern) van IP67 equivalent of hoger
13	Compatibel met sensor, evt via bijgeleverde adapter of break-out box
14	Volledig informatieblad met specificaties beschikbaar met minimaal fabrieksinstrumentrespons en instrumentruiscurves

Tabel 5: Specificaties datalogger

No.	Eis aan boorgatgefoon
1	3 component (triaxial) long coil travel gefoon
2	Differentiële output per component (verdeling van signaal over twee draden met tegengesteld teken)
3	Vlakke instrument respons voor grondsnelheid van 5 Hz tot 100 Hz
4	Instrumentruis (self-noise) onder -175 dB (1 m/s referentie waarde) van 5 Hz tot 100 Hz. Instrumentruis wordt veroorzaakt door de combinatie van de datalogger, boorgatgefoons en overige apparatuur.
5	Dynamisch bereik van ten minste 135 dB tussen 1 en 15 Hz bij 200 samples per seconde
6	Robust ontwerp voor langjarige toepassing in 200 m diep nat boorgat
7	Gevoeligheid van tenminste 50 V/m/s
8	Bedrijfstemperatuur van -30°C tot 80°C
9	Maximale diameter van 140 mm
10	Vier in de string geïntegreerde gefoons die eindigen op 55, 105, 155 en 205 m langs de string
11	Bekabeling (intern en extern) van IP68 equivalent of hoger
12	Compatibel met datalogger, eventueel via bijgeleverde adapter of break-out box
13	Volledig informatieblad met specificaties beschikbaar met minimaal fabrieksinstrumentrespons en instrumentruiscurves

Tabel 6: Specificaties boorgatgefoon

No.	Eis aan overige apparatuur
1	Remote power control unit aanwezig (EPC of vergelijkbaar, te bedienen via SMS)
2	Internet connectie met modem-router van Vodafone (instructies in hoofdstuk 4), mobiel en/of DSL afhankelijk van mobiele dekking in het gebied
3	Bescherming tegen blikseminslag (bijvoorbeeld middenbeveiliging of alternatief)
4	Slimme aardlekschakelaar, die zichzelf na enige tijd weer probeert aan te zetten
5	Mogelijkheid om op afstand de werking van apparatuur te monitoren, inclusief een code bij een foutmelding in geval van een storing, bijvoorbeeld via het webportal van de datalogger

Tabel 7: Specificaties overige apparatuur

De keuze voor het installeren van een oppervlaktestation of een boorgatstation hangt af van benodigde dekking en ruisniveaus. De uitvoerder dient de oppervlaktesensor te oriënteren op het geografische noorden. Bij een boorgatstation in combinatie met een oppervlaktesensor stelt KNMI de oriëntatie van de componenten van sensoren op diepte vast. Dit wordt eenmaal per jaar in een ronde langs de nieuwe stations gedaan tegen een vaste vergoeding per station.

Ook aan het ontwerp van een station zijn een aantal eisen gesteld. Het standaardontwerp bestaat uit een betonplaat met een meetkast. De ontwerpisen zijn opgenomen in Tabel 8.

No.	Eis aan stationsontwerp
1	Betonplaat met afmetingen van ca. 2 m x 1 m x 0,14 m (lxbxh). Zie Figuur 2.
2	Instrumentatiekast. Zie Figuur 2.
3	Betrouwbare stroomvoorziening. Bij voorkeur een vaste stroomaansluiting. Als gekozen wordt voor zonnepanelen, dan dient er backup aanwezig te zijn om vooral in de winter uitval van het station te voorkomen.
4	Bescherming tegen ongedierte met hydrokorrels. Zie Figuur 3.

Tabel 8: Ontwerpeisen van seismisch station



Figuur 2: Voorbeeld van een betonplaat met een meetkast



Figuur 3: Hydrokorrels rond een versnellingsmeter. Voor een goede bescherming tegen ongedierte, bijvoorbeeld mieren, moet de hele sensor bedekt zijn met hydrokorrels.

KNMI moedigt uitvoerders aan om na de aanleg van het seismische station, dit over te dragen aan het KNMI. Voor een goede overdracht van het station en de data is informatie nodig. De informatie en de stappen zijn opgenomen in Tabel 9. Ook zal er een overeenkomst tussen de uitvoerder en het KNMI gesloten worden.

No.	Stap/informatie	Uitgevoerd door
1	Foto's van setup inclusief kabelconnecties	uitvoerder
2	Configuratie van datalogger	KNMI
3	Site acceptatie test, zie hoofdstuk 3	KNMI
4	Overdracht van sleutels	uitvoerder
5	Controle van datakwaliteit met data van 14 dagen	KNMI
6	Overdracht van eigendom	uitvoerder
7	Overeenkomst tussen uitvoerder en KNMI, zie hoofdstuk 5	KNMI en uitvoerder

Tabel 9: Overdracht van een seismisch station

3 Site Acceptance Test

Voordat een seismisch station van de uitvoerder aan KNMI overgedragen wordt, voert KNMI een Site Acceptance Test (SAT) uit. Hierin wordt een checklist doorgelopen om te controleren of het station aan alle eisen voldoet. De SAT heeft een algemeen deel (adresgegevens, coördinaten, foto's en bijzonderheden van het station) en een deel dat bestaat uit de resultaten van verschillende testen. Zo worden de elektra en dataverbindingen getest. De onderdelen van de SAT zijn opgenomen in Tabel 10. KNMI heeft een standaardformulier voor de SAT.

1	Algemene informatie
	Stationscode
	Adres van station
	Coördinaten van station
	Foto's
	Overdracht benodigde specificaties
	Bijzonderheden
2	Instrumentatiekast
	Staat van de instrumentatiekast
	Check wandcontactdozen
	Accelerometer merk en serienummer, KNMI identificatienummer
	Datalogger merk en serienummer, KNMI identificatienummer
	Gefoonstring merk en serienummer, KNMI identificatienummer
3	Testen
	Controleren of alle elektrische componenten juist geïnstalleerd zijn
	Overspanningsbeveiligingen visueel controleren
	UPS led status controleren
	Vodafone modem-router led status controleren
	Check dataverbinding
	Voedingsspanning installatie
	Aardverspreidingsweerstand RA meten (onder spanning)
	Aardlekschakelaar functioneel testen, afschakelen
	Aardlekschakelaar functioneel testen met testknop
	Isolatieweerstand bepalen

Tabel 10: Onderdelen van de Site Acceptance Test

4 Datacommunicatie

KNMI heeft vanuit de overheid een contract met Vodafone voor de levering van telefoon-diensten. Dit betekent dat de modem-router geleverd moet worden door Vodafone. Deze modem-router is robuuster dan een standaard huismodem-router en wordt door Vodafone geconfigureerd voor aansluiting op het KNMI netwerk. Om de datacommunicatie soepel te laten verlopen, moeten een aantal stappen worden doorlopen. Deze stappen zijn opgenomen in Tabel 11. Hierin is ook aangegeven wie welke stap uitvoert.

No.	Stap	Uitgevoerd door
1	Contact opnemen met KNMI over stationslocaties met coördinaten (X en Y) en indien aanwezig adres	Uitvoerder
2	Check bij Vodafone of mobiele dekking op de voorgestelde locatie(s) voldoende is	KNMI
2a	Zo ja, locatie is wat betreft dekking voor datacommunicatie akkoord	KNMI
2b	Zo nee, onderzoek of vaste lijn mogelijk is	KNMI en Vodafone
2c	Zo nee, onderzoek of het verplaatsen van de stationslocatie een mogelijk is, met daarna weer stap 2	Uitvoerder
3	Offerte aanvragen voor modem-router bij Vodafone	KNMI
4	Prijs doorgeven aan uitvoerder	KNMI
5	Akkoord voor de bestelling en geeft contactpersoon van uitvoerder (naam, email, telefoonnummer) en afleveradres door aan KNMI	Uitvoerder
6	Bestelling van de modem-router(s) bij Vodafone, inclusief informatie over contactpersoon en afleveradres bij uitvoerder	KNMI
7	Vodafone koppelt een projectmanager aan deze bestelling	Vodafone
8	Configuratie van de modem-router(s)	Vodafone
9	Check de levering met technische medewerker van uitvoerder dat locatie en configuratie kloppen	Vodafone
10	Levering van gegevens over de modem-router(s) aan KNMI (SIM kaart nummer en ip adres)	Vodafone
11	Facturatie van de modem-router(s) aan uitvoerder	KNMI
12	Betaling van de factuur voor de modem-router(s)	Uitvoerder
13	Starten van de datacommunicatie	KNMI

Tabel 11: Stappen voor opzetten datacommunicatie met KNMI

5 Juridische aspecten

Om de afspraken tussen de uitvoerder en KNMI goed te regelen wordt er een overeenkomst afgesloten. Er is een standaardovereenkomst opgesteld, die als uitgangsdokument kan dienen. In overleg zijn aanpassingen van de artikelen mogelijk. De titels van de artikelen zijn weergegeven in Tabel 12.

No.	Titel
	Overwegingen
Artikel 1	Definities
Artikel 2	locatie(s)
Artikel 3	Verantwoordelijkheden uitvoerder en KNMI
Artikel 4	Gegevens
Artikel 5	Nutsaansluitingen
Artikel 6	Optioneel: Klein onderhoud door uitvoerder
Artikel 7	Onderhoudsverplichtingen KNMI
Artikel 8	Aansprakelijkheid
Artikel 9	Kostenverdeling
Artikel 10	Wijzigingen
Artikel 11	Toepasselijk recht
Artikel 12	Persoonsgegevens
Artikel 13	Contactpersonen
Bijlage 0	Informatie over de stations met een tabel met gegevens zoals coördinaten en stationscodes. Deze wordt bijgewerkt als er stations bij komen of af gaan.
Bijlage 1	Aanvullende informatie zoals situatieschetsen en eventuele verdere afspraken

Tabel 12: Onderdelen van de overeenkomst tussen uitvoerder en KNMI

6 Contactgegevens KNMI

Wilt u naar aanleiding van deze richtlijn contact opnemen met het KNMI dan kan dat via het [contactformulier op de KNMI website](#). Als onderwerp kunt u dan "Aardbevingen en Infrageluid" kiezen.

7 Referenties

Ruigrok, E., P. Kruiver en B. Dost (2023). Construction of earthquake location uncertainty maps for the Netherlands. KNMI rapport TR-405.

<https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubTR/TR405.pdf>

KNMI Data Platform:

Algemeen:

<https://dataplatform.knmi.nl>

Compleetheidsmagnitude:

<https://dataplatform.knmi.nl/dataset/netherlands-earthquake-magnitude-completeness-1-0>

<https://doi.org/10.21944/9xhp-f394>

Locatieonzekerheid:

<https://dataplatform.knmi.nl/dataset/netherlands-earthquake-location-uncertainty-1-0>

<https://doi.org/10.21944/9wr1-8t33>

KNMI website met informatie over seismische stations:

<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/seismische-meetstations>

Alle websites laatst geraadpleegd op 9 februari 2024.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl