



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Theoretische en operationele compleetheidsmagnitude van het KNMI

P. Kruiver, E. Ruigrok en L. Evers

De Bilt, 2024 | Technisch rapport; TR-24-06



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Theoretische en operationele
compleetheidsmagnitudo
van het KNMI

Datum 25 oktober 2024
Status definitief

Inhoud

| | |
|----------|--|
| | Samenvatting—5 |
| 1 | Inleiding—6 |
| 2 | De theoretische kaart van de compleetheidsmagnitude—7 |
| 3 | De operationele kaart van de compleetheidsmagnitude—8 |
| 4 | Doorontwikkeling van de operationele kaart van de compleetheidsmagnitude—10 |
| 4.1 | Korte termijn ontwikkelingen—10 |
| 4.2 | Implementatie van de korte termijn ontwikkelingen—10 |
| 4.3 | De nieuwe operationele kaart van de compleetheidsmagnitude—10 |
| 5 | Doorkijk naar ontwikkelingen in aardbevingsdetectie—13 |
| 6 | Referenties—14 |

Samenvatting

KNMI publiceert kaarten met de compleetheidsmagnitude behorende bij het netwerk van seismische stations. De theoretische kaart is gebaseerd op internationale standaarden en gaat uit van detectie van een aardbeving op drie stations. De operationele aardbevingsdetectie door het KNMI gaat uit van zes stations. Hierdoor is er een verschil tussen de theoretische en operationele kaart. KNMI heeft een aantal technische ontwikkelingen doorgevoerd om de detectie in Zuid-Holland en Friesland bij lagere magnitudes mogelijk te maken. Dit rapport beschrijft deze ontwikkelingen en presenteert de nieuwe operationele kaart. De implementatie van deze ontwikkelingen is van kracht per 1 november 2024.

1 Inleiding

Het KNMI publiceert kaarten met de minimale magnitude van een aardbeving die gedetecteerd en gelokaliseerd kan worden. Dit wordt de compleetheidsmagnitude (MoC) genoemd. Op 30 september 2024 heeft de Minister van Klimaat en Groene Groei (KGG) de Tweede Kamer met een kamerbrief¹ geïnformeerd over het meten van aardbevingen, het verschil tussen theoretische en operationele compleetheidsmagnitudekaarten en de korte en lange termijn inspanningen van het KNMI om aardbevingen zo goed mogelijk te meten.

De kamerbrief¹ gaat in op de wettelijke taak van het KNMI: geïnduceerde aardbevingen met een magnitude van 2 en hoger onmiddellijk rapporteren. Dit zijn aardbevingen die gevoeld kunnen worden en tot schade kunnen leiden. Hiervoor volstaat het huidige netwerk van seismische stations in Nederland. Ook kleinere aardbevingen worden gemeten en zijn relevant om beter inzicht in de ontwikkeling van aardbevingen te krijgen en vroegtijdig seismische activiteit te signaleren. Hiervoor breidt het KNMI het netwerk in Nederland de komende jaren uit. Deze uitbreiding is een maatregel volgend uit de parlementaire enquête aardgaswinning Groningen^{2,3}.

Bij het verlenen voor vergunningen voor bijvoorbeeld gaswinning en geothermie gaat KGG uit van de compleetheidsmagnitude (<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/seismische-meetstations>). Afhankelijk hiervan vullen operators het basisnetwerk van het KNMI aan met extra seismische stations. Er is een verschil tussen de theoretische compleetheidsmagnitude, volgens internationale standaarden met drie stations berekend, en de operationele praktijk waarin detectie plaatsvindt met zes station. Met de uitbreiding van het netwerk en toepassing van nieuwe detectie-algoritmes wordt dit verschil verkleind.

Dit rapport beschrijft de theoretische en operationele MoC kaarten (hoofdstuk 2 en 3) en de technische ontwikkelingen voor de provincies Zuid-Holland en Friesland om, respectievelijk, geothermie en gaswinning aldaar zo goed mogelijk te monitoren (hoofdstuk 4). Het laatste hoofdstuk gaat in op toekomstige ontwikkelingen in aardbevingsdetectie.

1 Kamerbrief 2024D35744

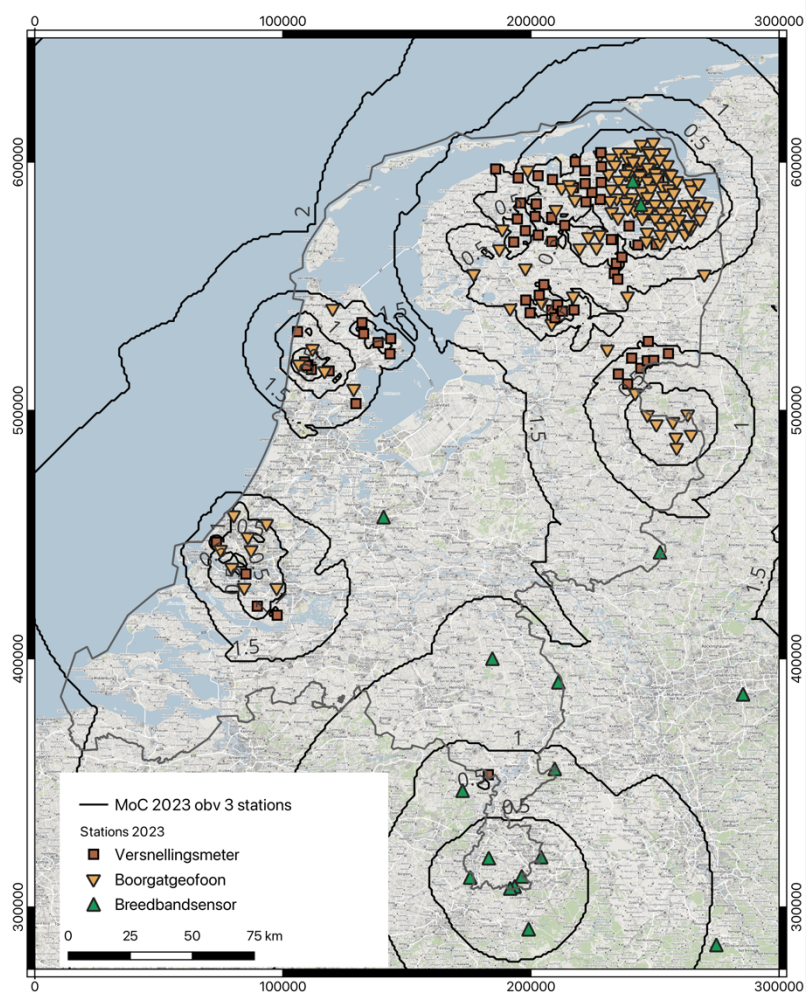
2 Kamerstuk 32 849, nr. 236

3 Kamerstuk 35 561, nr. 17

2 De theoretische kaart van de compleetheidsmagnitude

Het KNMI publiceert regelmatig een kaart met de compleetheidsmagnitude (MoC) op het KNMI Data Platform (<https://dataplatform.knmi.nl/dataset/netherlands-earthquake-magnitude-completeness-1-0>). De meest recente kaart dateert van 2023. Voor de berekening deze kaart is uitgegaan van de methode zoals die is beschreven in Ruigrok et al (2023) en de stations in het seismische monitoringsnetwerk van 2023 (KNMI, 1993) aangevuld met enkele stations in België en Duitsland.

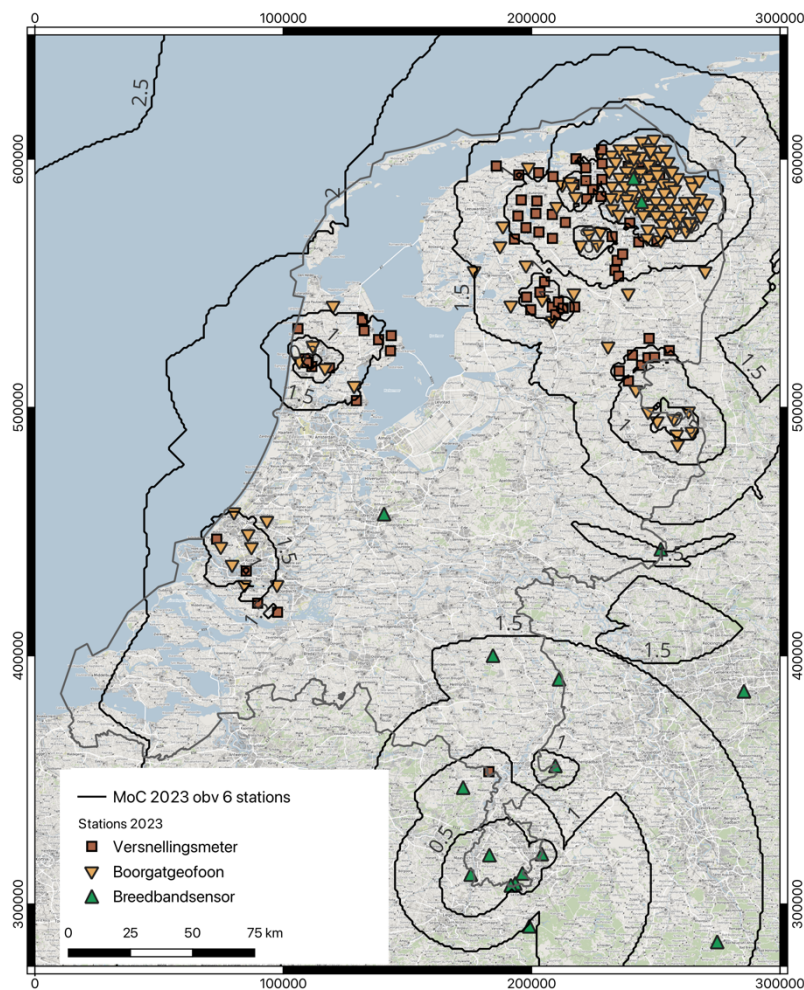
Om een vergelijking met andere seismische netwerken mogelijk te maken, is KNMI uitgegaan van de internationale standaard om de compleetheidsmagnitude te berekenen op basis van drie stations. De resulterende MoC kaart is opgenomen in Figuur 2-1. De waarde van de theoretische MoC per locatie kan gevonden worden via de dataset op het KNMI Data Platform.



Figuur 2-1 Kaart met de compleetheidsmagnitude (MoC) gebaseerd op detectie van een aardbeving met drie stations voor de stationsconfiguratie van 2023. Twee stations in Duitsland en één station in België liggen buiten het bereik van deze kaart. Contourlijnen geven de MoC weer. Voor het gebied tussen de contourlijnen van bijvoorbeeld 1,5 en 2,0 geldt dat de MoC groter is dan 1,5 en kleiner of gelijk aan 2,0. Brondata MoC: KNMI Data Platform. Achtergrondkaart: OpenStreetMap.

3 De operationele kaart van de compleetheidsmagnitude

In de operationele aardbevingsdetectie van het KNMI wordt uitgegaan van detectie van een aardbeving op ten minste zes stations in plaats van drie stations. Dit komt doordat het algoritme in de software gebruik maakt van minimaal zes stations. Daarnaast worden meldingen van gevoelde trillingen handmatig beoordeeld. Dit betekent dat alle gevoelde aardbevingen zijn opgenomen in de aardbevings-catalogus van het KNMI. De operationele kaart op basis van zes detecties is weergegeven in Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Kaart met de compleetheidsmagnitude (MoC) gebaseerd op detectie van een aardbeving met zes stations voor de stationsconfiguratie van 2023. Hierin zijn reeds de coincidence trigger in de regio Limburg en dubbele niveaus voor de stations bij Norg (N01-N03) en bij Grijpskerk (GK01-GK04) meegenomen. Contourlijnen geven de MoC weer, voor uitleg zie Figuur 2-1. Achtergrondkaart: OpenStreetMap.

Afhankelijk van de ruiscondities wordt bij aardbevingsdetectie gebruik gemaakt van de seismische stations die zo dicht mogelijk bij de aardbevingsbron liggen. Hoe verder weg de stations liggen of hoe ongunstiger de ruiscondities zijn, hoe groter de aardbeving (dus hoe hoger de magnitude) moet zijn om op een station gezien te worden. Bij detectie met drie stations worden de drie stations met de hoogste signaal-ruisverhouding gebruikt. Dit zijn vaak de stations die het dichtst bij de

aardbevingslocatie liggen. Bij detectie met zes stations zijn naast deze drie stations nog drie stations nodig die over het algemeen verder weg liggen. Hierdoor is de magnitude van de aardbeving die met zes stations gezien kan worden hoger dan met drie stations. Dit is te zien aan de ligging van de contourlijnen in Figuur 3-1 ten opzichte van Figuur 2-1.

4 Doorontwikkeling van de operationele kaart van de compleetheidsmagnitude

4.1 Korte termijn ontwikkelingen

Er zijn twee korte termijn ontwikkelingen in de algoritmes voor aardbevingsdetectie mogelijk, namelijk:

1. Het instellen van een algoritme dat automatische detectie met minder dan zes station toestaat. Dit is vormgegeven met een zogenaamde coïncidentie trigger (CT). De CT zoekt in de meetgegevens van een willekeurig aantal seismische stations naar een seismische aankomst. Als er op een aantal stations binnen een bepaald tijdsegment een aankomst gevonden wordt, wordt een trigger gedefinieerd. Een CT wordt al toegepast in de regio Limburg.
2. Meer dan 1 detectie per seismisch boorgatstation mogelijk maken. Een boorgatstation heeft meerdere sensoren, namelijk op 0, 50, 100, 150 en 200 meter diepte. Standaard is de diepste sensor van een boorgat opgenomen in de automatische aardbevingsdetectie, omdat deze sensor het laagste ruisniveau heeft. Hierbij wordt naast de sensor op 200 meter diepte ook de sensor op 150 meter diepte meegenomen in de automatische aardbevingsdetectie. Deze werkwijze wordt al toegepast voor Grijskerk en Norg, om de automatische detectie met drie stations mogelijk te maken.

4.2 Implementatie van de korte termijn ontwikkelingen

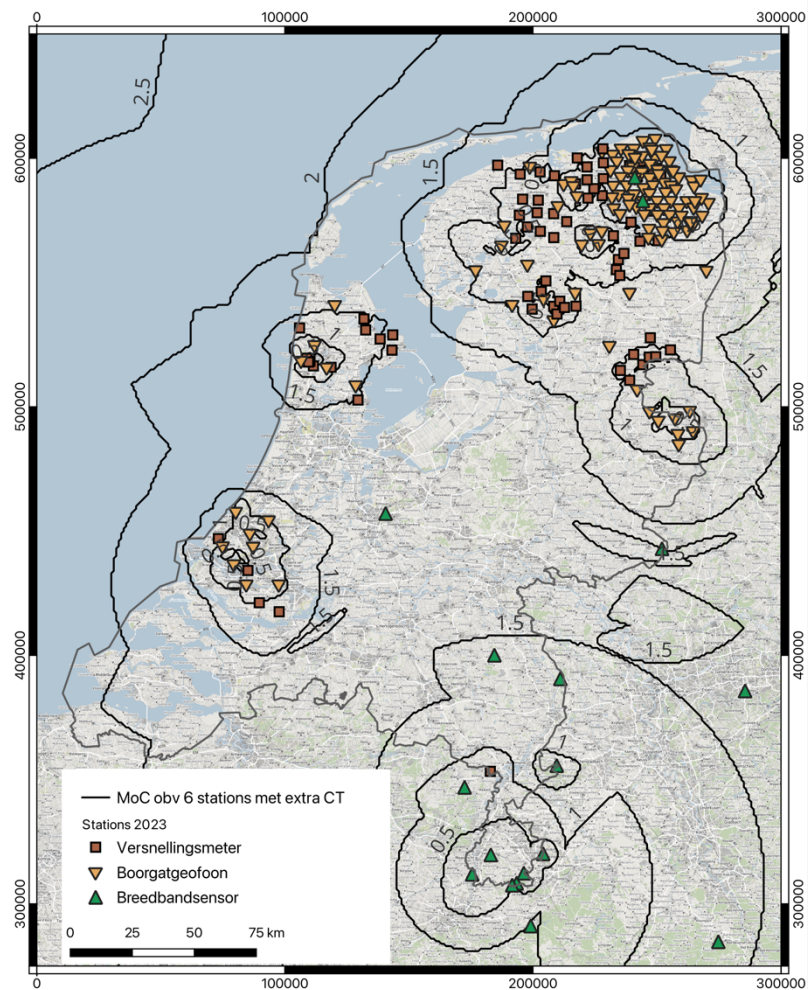
Tussen 13 juli 2024 en 1 november 2024 zijn de twee technische korte termijn ontwikkelingen in de detectie-algoritmes getest. De CT is geconfigureerd voor Zuid-Holland en Friesland om automatische detecties met drie stations te doen. Voor Zuid-Holland zijn de diepste sensoren van acht seismische boorgatstations gebruikt: ZH01 t/m ZH08. Er worden in dit geval acht seismische stations aan de CT aangeboden. Een automatische detectie vindt plaats als ten minste drie van de acht stations een seismische aankomst meten. Voor Friesland zijn zes seismische boorgatstations (FR01 t/m FR06) in de CT meegenomen, met wederom een detectie op drie stations.

De CT in Zuid-Holland en Friesland dekken bijna het gehele gebied met vergunningen af. In het noorden van Friesland is er één gasveld waar het verschil tussen de theoretische en operationele MoC relevant was en waar de CT onvoldoende dekking heeft. Dit is het Ezumazijl gasveld. Voor dit gebied is de tweede optie geïmplementeerd. De boorgaten waarvan een tweede sensor toegevoegd is zijn ENM, NIW en GK02. Naast ENM4, NIW4 en GK024 zijn ook ENM3, NIW3 en GK022 in de automatische aardbevingsdetectie opgenomen.

De ontwikkelingen zijn per 1 november 2024 opgenomen in de operationele keten van aardbevingsdetectie.

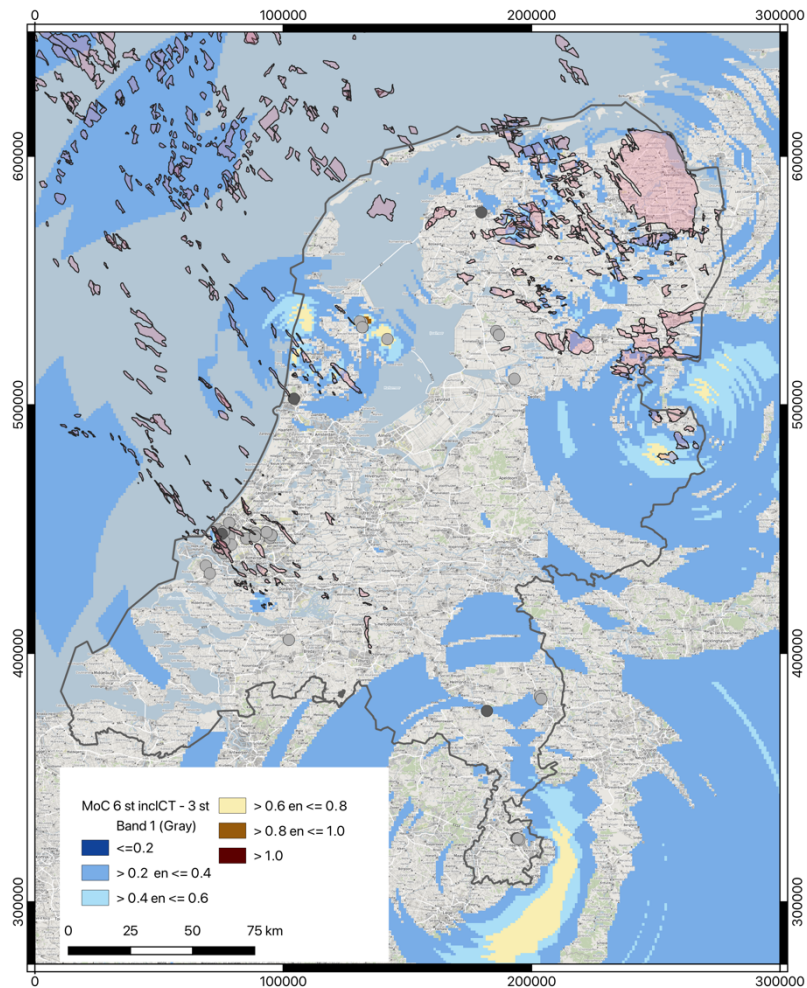
4.3 De nieuwe operationele kaart van de compleetheidsmagnitude

Op basis van de ontwikkelingen beschreven in §4.2 is de nieuwe operationele MoC berekend voor de stationsconfiguratie van 2023. Deze is weergegeven in Figuur 4-1. De waarde van de operationele MoC per locatie kan gevonden worden via de dataset op het KNMI Data Platform.



Figuur 4-1 De nieuwe operationele MoC kaart met detectie op basis van zes stations, de CT in Zuid-Holland en Friesland en de dubbele niveaus bij stations in het noorden van Friesland, voor de stationsconfiguratie van 2023. Contourlijnen geven de MoC weer, voor uitleg zie Figuur 2-1. Brondata MoC: KNMI Data Platform. Achtergrondkaart: OpenStreetMap.

De verschilkaart tussen de theoretische kaart (Figuur 2-1) en de nieuwe operationele kaart (Figuur 4-1) is weergegeven in Figuur 4-2. Deze verschilkaart laat zien dat voor Zuid-Holland en Friesland de MoC waarden significant verlaagd zijn en op de meeste relevante plekken het verschil nul is.



Figuur 4-2 Verschilkaart tussen de theoretische en de nieuwe operationele MoC kaart voor de stationsconfiguratie van 2023. Het verschil is gedefinieerd als de theoretische MoC op basis van drie stations minus de operationele MoC op basis van zes stations aangevuld met de twee CT en de dubbele niveaus zoals beschreven in dit hoofdstuk. Een verschil kleiner of gelijk aan 0,2 is transparant weergegeven. De velden (bleekroze) en geothermieboringen (grijze stippen) zijn gebaseerd op nlog, situatie augustus 2024. Achtergrondkaart: OpenStreetMap.

5 Doorkijk naar ontwikkelingen in aardbevingsdetectie

De in hoofdstuk 4 beschreven technische ontwikkelingen in de aardbevingsdetectie zijn tijdelijk van aard, omdat er handmatige analyses voor nodig zijn. Op langere termijn zullen aanvullende ontwikkelingen plaatsvinden. In het kader van de kabinetsreactie Nij Begun op de parlementaire enquête Groningen is onder maatregel 49 aangegeven dat het meetnet van het KNMI zal worden uitgebreid^{4,5}. Deze uitbreiding zal het KNMI de komende vijf jaar uitvoeren. Binnen de door het KNMI gebruikte software zijn diverse algoritmes beschikbaar, waaronder algoritmes die minder dan zes stations nodig hebben. Deze algoritmes zullen getest en bij bewezen geschiktheid ingevoerd worden.

4 Kamerstuk 32 849, nr. 236

5 Kamerstuk 35 561, nr. 17

Kamerstuk 32 849, nr. 236: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32849-236.pdf> Laatst geraadpleegd op 15 oktober 2024.

Kamerstuk 35 561, nr. 17: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-35561-17.pdf> Laatst geraadpleegd op 15 oktober 2024.

Kamerbrief 2024D35744:
https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2024D35744&did=2024D35744/ Laatst geraadpleegd op 15 oktober 2024.

KNMI Data Platform voor seismologie en akoestiek:
<https://dataplatform.knmi.nl/group/seismology-and-acoustics>. Laatst geraadpleegd op 25 oktober 2024.

KNMI (1993): Netherlands Seismic and Acoustic Network. Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). Other/Seismic Network. doi:10.21944/e970fd34-23b9-3411-b366-e4f72877d2c5

KNMI website uitleg seismische stations: <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/seismische-meetstations> Laatst geraadpleegd op 17 oktober 2024.

nlog: <https://www.nlog.nl/bestanden-interactieve-kaart>. Laatst geraadpleegd op 6 augustus 2024.

Ruigrok, E., P. Kruiver en B. Dost (2023). Construction of earthquake location uncertainty maps for the Netherlands. KNMI rapport TR-405. Beschikbaar op <https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/knmipubTR/TR405.pdf>

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

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