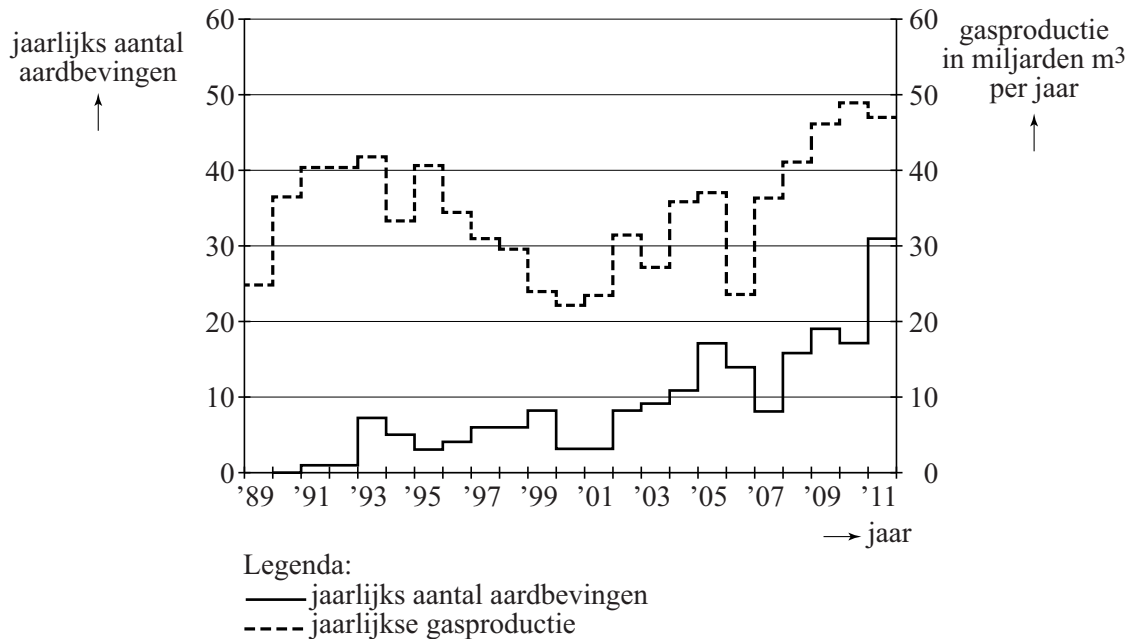


## Groningse aardbevingen

In de provincie Groningen vinden, als gevolg van gasproductie, regelmatig aardbevingen plaats. In 2013 is daar grootschalig onderzoek naar gedaan. Zo werd er gekeken naar het verband tussen de gasproductie en aardbevingen. Enkele resultaten daarvan staan in figuur 1. Deze figuur staat ook, vergroot, op de uitwerkbijlage. Hier zie je bijvoorbeeld dat er in 1993 zeven aardbevingen zijn geweest en er in datzelfde jaar 42 miljard kubieke meter gas is geproduceerd.

figuur 1



We bekijken de volgende drie beweringen:

- 1 De gasproductie en het aantal aardbevingen zijn over de gehele periode 2000-2011 procentueel evenveel gestegen.
- 2 Als na 2000 de gasproductie daalt, dan heeft dat altijd een jaar later ook een daling van het aantal aardbevingen tot gevolg.
- 3 In de periode 2005-2011 is de gemiddelde stijging per jaar van het aantal aardbevingen groter dan in de periode 1998-2004.

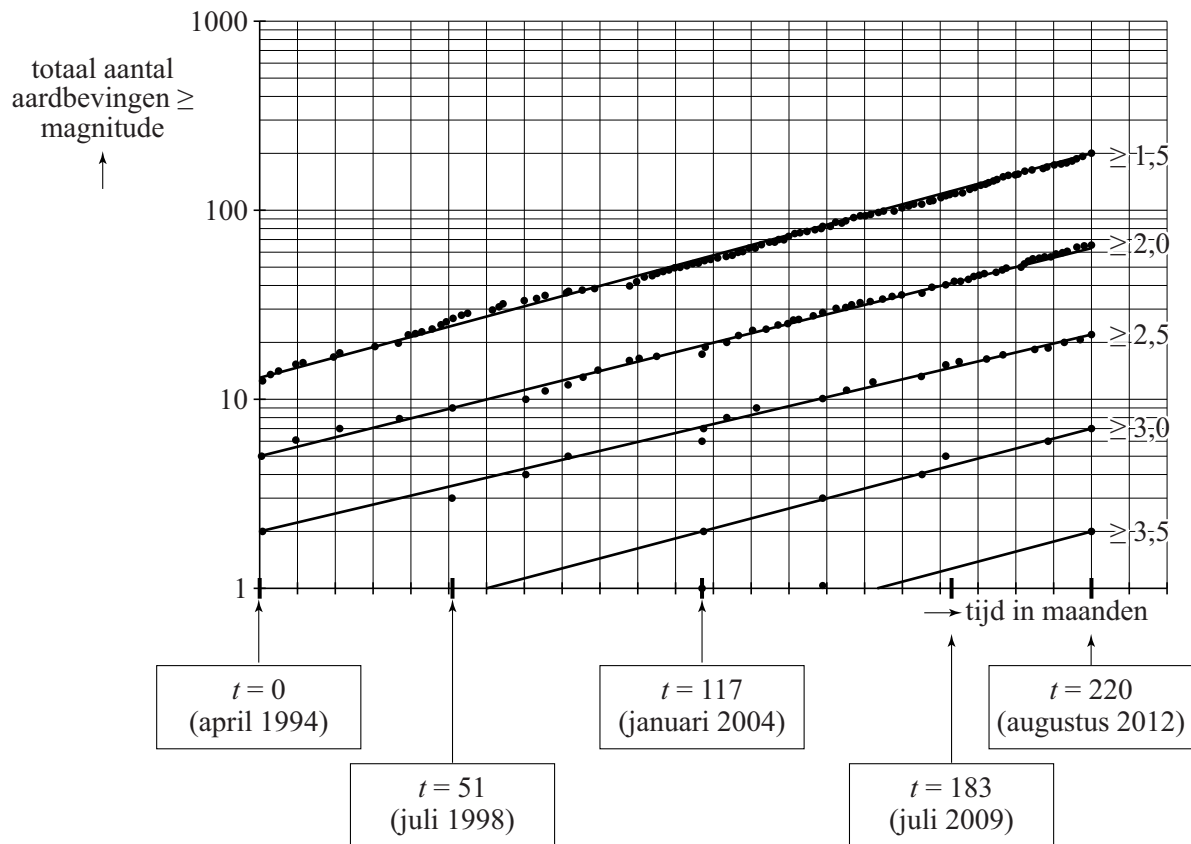
5p 14 Geef van elke bewering aan of deze waar is of niet. Gebruik in je toelichting gegevens uit figuur 1 en gebruik daarbij eventueel de figuur op de uitwerkbijlage.

De **magnitude**, de kracht van een aardbeving, wordt uitgedrukt in een getal op de schaal van Richter.

In figuur 2 zijn de Groningse aardbevingen vanaf 1994 verzameld en ingedeeld naar sterkte. Dat geeft bij een logaritmische schaalverdeling langs de verticale as een opvallend patroon: alle grafieken zijn bij benadering evenwijdige rechte lijnen.

Elke stip in deze figuur stelt een aardbeving van een zekere magnitude voor: zo kun je zien dat er vlak voor juli 2009 een aardbeving van magnitude  $\geq 3,0$  heeft plaatsgevonden: die aardbeving zie je dus ook terug bij de aardbevingen van de klassen  $\geq 2,5$ ;  $\geq 2,0$  en  $\geq 1,5$ .

**figuur 2**



In het onderzoek werden alleen aardbevingen bekeken die schade zouden kunnen veroorzaken. Omdat aardbevingen met een magnitude van minder dan 1,5 geen schade aanrichten, zijn deze niet in figuur 2 opgenomen.

- 3p 15 Bereken voor augustus 2012 hoeveel procent van het aantal aardbevingen van magnitude  $\geq 2,0$  een magnitude van 2,5 of hoger heeft. Geef je antwoord in gehele procenten.

Het feit dat de grafieken in figuur 2 evenwijdige rechte lijnen zijn, betekent dat het aantal aardbevingen van elke klasse exponentieel toeneemt met dezelfde groeifactor. Het totaal aantal aardbevingen  $A$  voor magnitudes  $\geq 1,5$  is te beschrijven met de volgende formule:

$$A = 12 \cdot e^{0,013t} \text{ met } t = 0 \text{ voor april 1994 en } t \text{ in maanden.}$$

- 4p 16 Bereken door middel van differentiëren de waarde van de afgeleide van  $A$  voor  $t = 117$ . Geef je antwoord in één decimaal en leg uit wat de betekenis van deze waarde is in deze situatie.

De formules van de overige lijnen in figuur 2 kunnen worden afgeleid van die voor de magnitudes  $\geq 1,5$ . Bekijk de grafiek voor de magnitudes  $\geq 2,0$ . Deze grafiek is 85 maanden later op dezelfde hoogte als de grafiek voor magnitudes  $\geq 1,5$ .

Hieronder staan vier formules. Een van de vier is juist voor de magnitudes  $\geq 2,0$ :

A  $A_{2,0} = 12 \cdot e^{0,013(t+85)}$  met  $t = 0$  voor april 1994

B  $A_{2,0} = 12 \cdot e^{0,013(t-85)}$  met  $t = 0$  voor april 1994

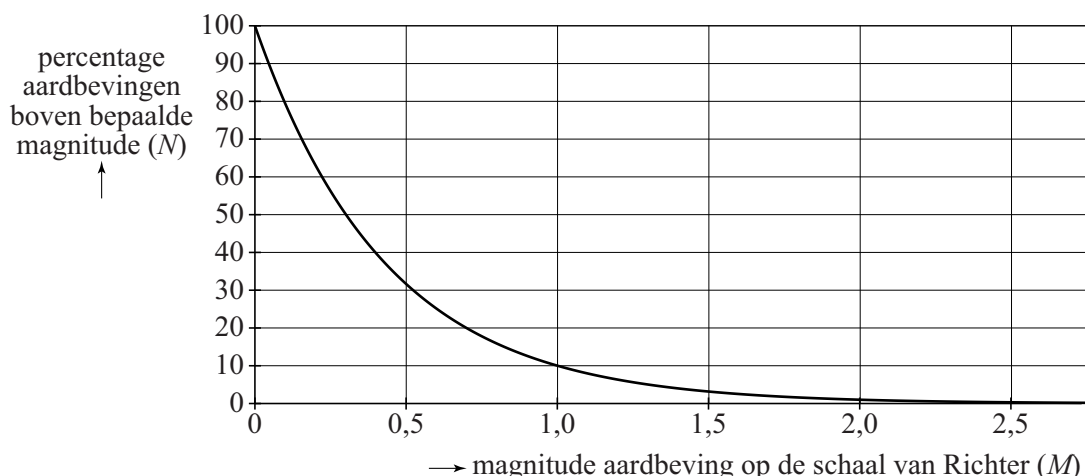
C  $A_{2,0} = 12 \cdot e^{0,013t+85}$  met  $t = 0$  voor april 1994

D  $A_{2,0} = 12 \cdot e^{0,013t-85}$  met  $t = 0$  voor april 1994

3p 17 Beredeneer welke van de vier formules juist is.

In een rapport van het Staatstoezicht op de Mijnen wordt geconstateerd dat er een duidelijk verband is tussen de magnitude en het percentage aardbevingen boven die magnitude. In figuur 3 is dat verband weergegeven.

**figuur 3**



Zo is bijvoorbeeld af te lezen dat 10% van de aardbevingen een magnitude boven de 1,0 heeft.

Bij deze grafiek hoort de volgende formule:

$$N = 10^{a-M}$$

Hierbij is  $M$  de magnitude en  $N$  het percentage van de aardbevingen boven magnitude  $M$ .

3p 18 Laat met een berekening zien dat geldt:  $a = 2$ .

Omgekeerd kun je je ook afvragen welke magnitude de (bijvoorbeeld) 20% zwaarste aardbevingen minstens hadden. Om vragen als deze te beantwoorden, is het handig de formule te herschrijven.

De formule  $N = 10^{2-M}$  is te herleiden tot  $M = p + q \cdot \log(N)$ .

3p 19 Bereken  $p$  en  $q$ .

**Let op: de laatste vraag van dit examen staat op de volgende pagina.**