

## Bevingen in Japan

De laatste jaren waren de zeebevingen in de buurt van Japan regelmatig in het nieuws.

De zeebeving van 11 maart 2011 met de daaropvolgende tsunami zorgde voor grote problemen bij de kerncentrale Fukushima I. Om de reactoren te koelen, werd zeewater in de reactoren gepompt. Dit water lekte, radioactief geworden, weer terug in zee. Hierdoor raakte vis besmet met radioactief jodium en moest de visvangst tijdelijk worden stopgezet.

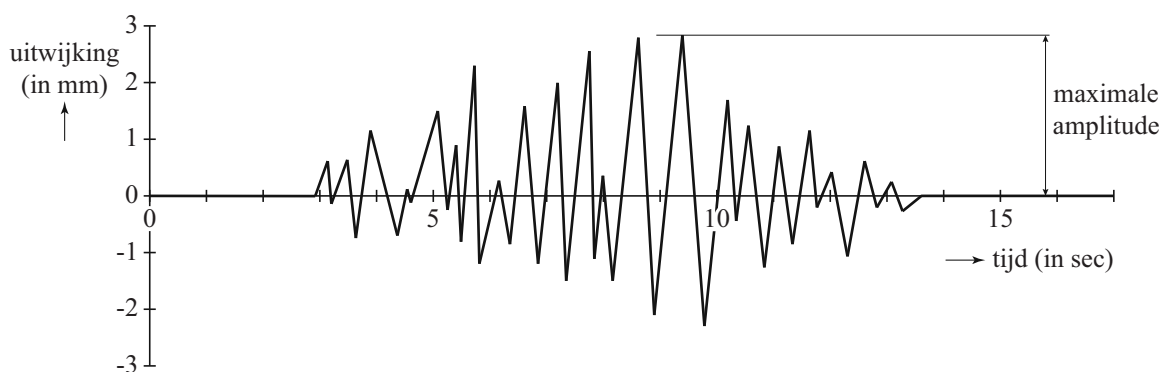
Radioactief jodium verdwijnt volgens een exponentieel proces. De halveringstijd van radioactief jodium is 8 dagen. Op 6 april 2011 gaven metingen aan dat er 4800 keer de maximaal toegestane hoeveelheid radioactief jodium in het zeewater aanwezig was. De maximaal toegestane hoeveelheid radioactief jodium is 5 becquerel/liter.

Op het moment dat de maximaal toegestane hoeveelheid werd bereikt, mocht er weer gevist worden. We gaan ervan uit dat er na 6 april 2011 geen nieuw radioactief jodium meer in zee lekte.

5p 13 Bereken na hoeveel dagen er weer gevist mocht worden.

De zeebeving van Sendai in 2011 en de aardbeving van 2004 die een enorme tsunami in de Indische Oceaan veroorzaakte, zijn allebei bevingen met een kracht van 9,0 of meer op de schaal van Richter. De Amerikaan Charles Richter gebruikte seismogrammen om de **magnitude** (kracht) van een beving te kunnen bepalen. In de figuur zie je een voorbeeld van een seismogram. In dit seismogram zie je de gemeten trillingen van de aarde als uitwijkingen in mm. De grootste uitwijking in het seismogram heet de **maximale amplitude**.

figuur



Om de magnitude van een beving te bepalen, gebruikt men de formule van Richter. Hieronder staat een vereenvoudigde versie daarvan:

$$M = \log(A) + 3$$

In deze formule is  $M$  de magnitude en  $A$  de maximale amplitude in mm.

Uit de formule blijkt, dat als de maximale amplitude  $A$  tien keer zo groot wordt, de magnitude met 1 eenheid toeneemt.

- 3p 14 Toon met behulp van de rekenregels voor logaritmen aan dat  $\log(10A) + 3$  altijd 1 groter is dan  $\log(A) + 3$ .

De magnitude neemt dus met 1 eenheid toe als de maximale amplitude 10 keer zo groot wordt. Dus de grafiek van  $M$  is afnemend stijgend. Dit kun je ook zien aan de afgeleide van  $M$ .

- 4p 15 Stel een formule op voor  $\frac{dM}{dA}$  en toon met behulp daarvan aan dat  $M$  toeneemt en dat deze toename steeds kleiner wordt.

Bij een beving komt heel veel energie vrij. Hiervoor wordt een andere formule van Richter gebruikt:

$$M = 0,67 \cdot \log(E) - 0,9$$

Hierin is  $E$  de vrijkomende energie in kilojoule en  $M$  de magnitude op de schaal van Richter.

Door deze formule te combineren met de formule  $M = \log(A) + 3$  is het mogelijk een verband op te stellen tussen de vrijkomende energie  $E$  en de maximale amplitude  $A$ .

Het verband tussen  $E$  en  $A$  is te schrijven als:

$$\log(A) + 3 = 0,67 \cdot \log(E) - 0,9$$

Dit verband kan vereenvoudigd worden tot de vorm  $E = 10^{p \cdot \log(A) + q}$ .

- 4p 16 Bereken de waarden van  $p$  en  $q$  in deze formule. Rond  $p$  en  $q$  af op twee decimalen.