

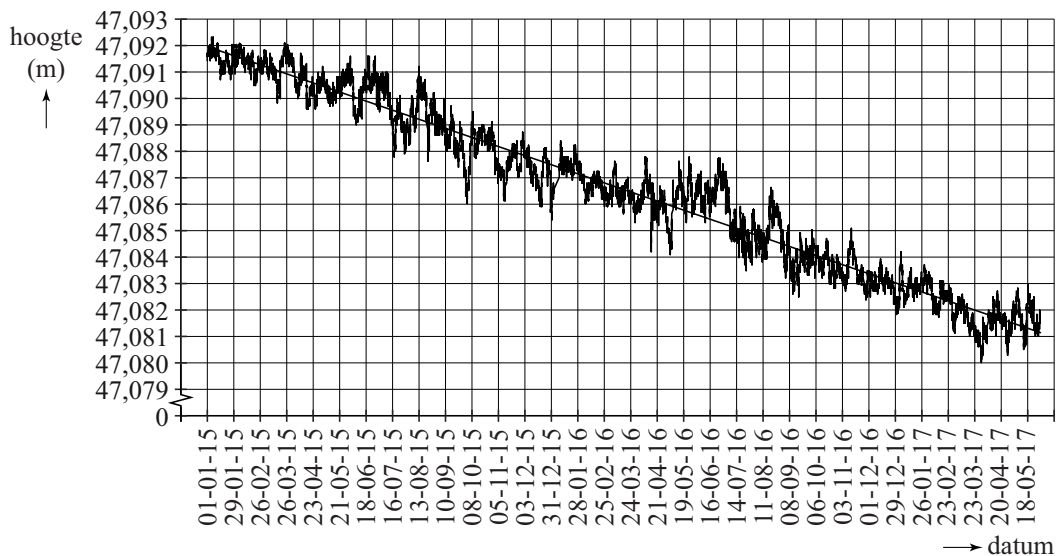
## Bodemdaling

Bodemdaling kan ontstaan door natuurlijke processen maar ook door menselijk handelen. Bij de gaswinning uit het Groningen-gasveld is er sprake van bodemdaling veroorzaakt door menselijk handelen. In deze opgave gaan we uit van de gegevens zoals die tot en met 2017 bekend waren. We nemen verder aan dat ontwikkelingen die tot op dat moment geconstateerd zijn, zich in de periode daarna op dezelfde wijze voortzetten.

Metingen van deze bodemdaling worden onder andere gedaan door zogeheten GPS-monitoring-stations, die zeer nauwkeurig posities bepalen. Een van deze stations staat boven op een gebouw bij het Eemskanaal. Elk uur wordt de hoogte van de GPS-antenne (ten opzichte van zeeniveau) van dit station gemeten.

In figuur 1 zijn alle metingen vanaf 1 januari 2015 om 0:00 uur tot en met 31 mei 2017 om 23:00 uur weergegeven. Deze figuur is vergroot op de uitwerkbijlage afgebeeld.

figuur 1



Het jaar 2016 was een schrikkeljaar.

2p 17 Bereken om hoeveel metingen het in figuur 1 gaat.

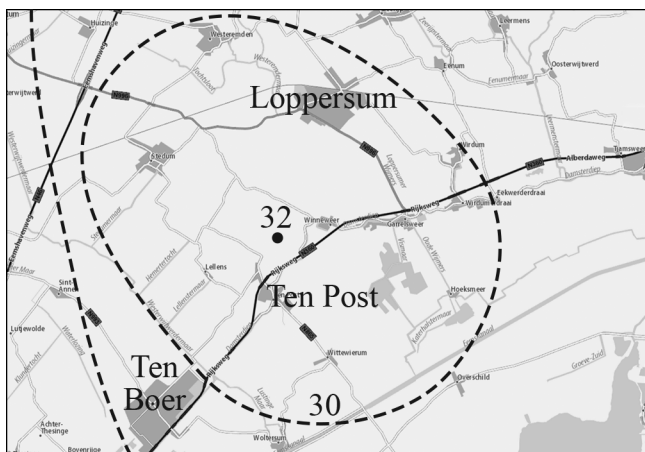
In figuur 1 is ook de trendlijn van de hoogte van de GPS-antenne weergegeven. Zoals je kunt zien, is de eenheid op de horizontale as vier weken.

Als de bodemdaling onveranderd doorgaat, zal de hoogte van de GPS-antenne in de toekomst lager dan 47 meter zijn.

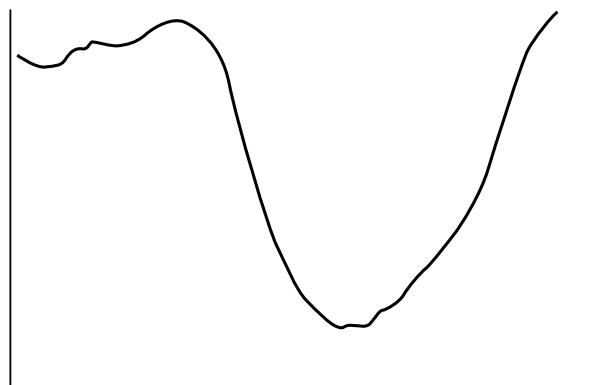
5p 18 Bereken in welk jaar dat volgens de gegeven trendlijn voor het eerst zal zijn. Gebruik daarbij de figuur op de uitwerkbijlage.

Het gebied waar sprake is van bodemdaling wordt het **dalingsgebied** genoemd. In het midden van het dalingsgebied, nabij Ten Post, is de bodemdaling het grootst. Tot 2013 was de bodem daar al 32 centimeter gedaald. De bodemdaling is niet overal even groot. Het gebied waar de bodem ten minste 30 centimeter is gedaald, is bij benadering cirkelvormig. Zie figuur 2. In figuur 3 is bovendien de dwarsdoorsnede van de bodem door het laagste punt geschetst. Rondom het laagste punt heeft deze dwarsdoorsnede bij benadering de vorm van de grafiek van een kwadratisch verband, met andere woorden de vorm van een **parabool**.

**figuur 2 bodemdaling in cm**



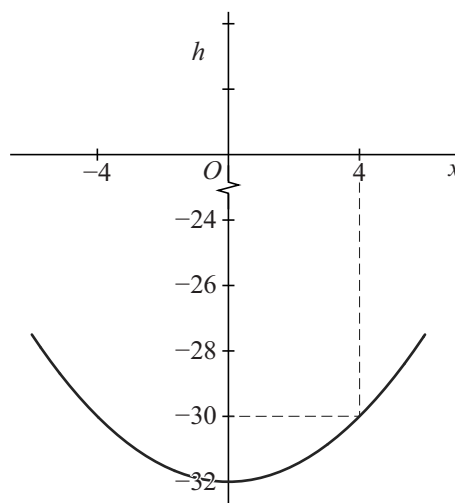
**figuur 3 dwarsdoorsnede bodem**



We nemen nu aan dat het gebied waar de bodem ten minste 30 centimeter is gedaald cirkelvormig is. Verder nemen we aan dat de dwarsdoorsnede van de bodem rondom het midden van het dalingsgebied de vorm van een parabool heeft. De top van deze parabool komt overeen met het laagste punt van het dalingsgebied.

In 2013 was de straal van het cirkelvormige gebied gelijk aan 4 km en in het laagste punt was de bodem dus 32 centimeter gedaald. In figuur 4 is de parabool geschetst bij het model van de dwarsdoorsnede dat bij deze gegevens hoort.

**figuur 4**



De parabool bij het model voor 2013 kan beschreven worden met een formule van de vorm  $h = ax^2 + b$ . Hierin is  $x$  de afstand tot het midden van het dalingsgebied in kilometers en  $h$  is de daling van de bodem in centimeters.

4p **19** Bepaal de niet-afgeronde waarden van  $a$  en  $b$ .

**Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.**

Rondom Ten Post blijft de bodem dalen. Daardoor wordt het dalingsgebied ook groter. Men voorspelt dat het gebied rondom Ten Post tot 2080 flink zal blijven dalen. Ook voor 2080 nemen we aan dat het gebied waar de bodem ten minste 30 centimeter is gedaald bij benadering cirkelvormig is. We nemen ook weer aan dat de dwarsdoorsnede van de bodem rondom het midden van het dalingsgebied de vorm van een parabool heeft waarvan de top overeenkomt met het laagste punt van het dalingsgebied.

Voor 2080 wordt de parabool beschreven door de formule

$h = 0,084x^2 - 47$ . Hierin is  $x$  weer de afstand tot het midden van het dalingsgebied in kilometers en  $h$  is weer de daling van de bodem in centimeters.

Volgens de voorspellingen zal de oppervlakte van het gebied met een daling van ten minste 30 cm in 2080 een stuk groter zijn dan in 2013.

5p **20** Bereken hoeveel keer zo groot. Geef je antwoord als geheel getal.

Als gevolg van de bodemdaling vinden er in Groningen en omgeving aardbevingen plaats. In de tabel zie je hoe snel de aardbevingen elkaar in het jaar 1993 opvolgden.

**tabel**

aardbevingen in 1993 (chronologisch)																
aantal dagen sinds de vorige beving	63	21	7	14	40	9	44	0	13	17	27	12	18	3	59	29

Voorbeeld: de 0 in de tabel geeft aan dat de 7e en 8e aardbeving in 1993 op dezelfde dag plaatsvonden.

Op basis van de tabel en de afzonderlijke lengtes van de kalendermaanden kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De tweede en vierde aardbeving in 1993 kunnen in één kalendermaand plaatsgevonden hebben.
- De eerste aardbeving in 1993 werd voorafgegaan door minstens één aardbevingsvrije kalendermaand.

4p **21** Geef voor beide conclusies een sluitende redenering.