

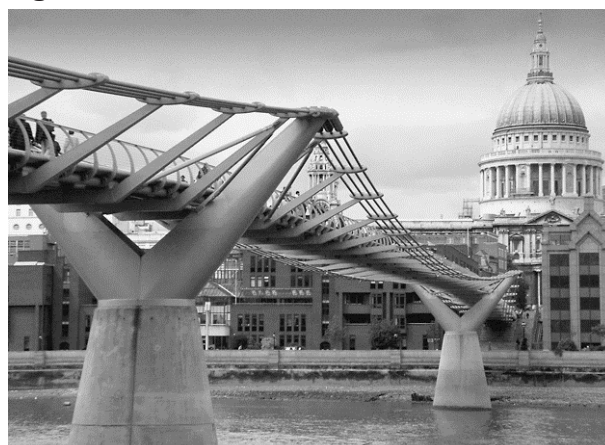
Opgave 1 Millenniumbrug

Op 10 juni 2000 werd in Londen de Millenniumbrug geopend. Zie figuur 1.

Deze hangbrug werd al na drie dagen gesloten. Als er veel mensen op de brug liepen, begon het deel van de brug tussen de pijlers te trillen.

Eerst trilde de brug nog nauwelijks, maar doordat er steeds meer mensen in hetzelfde ritme over de brug gingen lopen als waarmee de brug trilde, werd het trillen van de brug steeds erger.

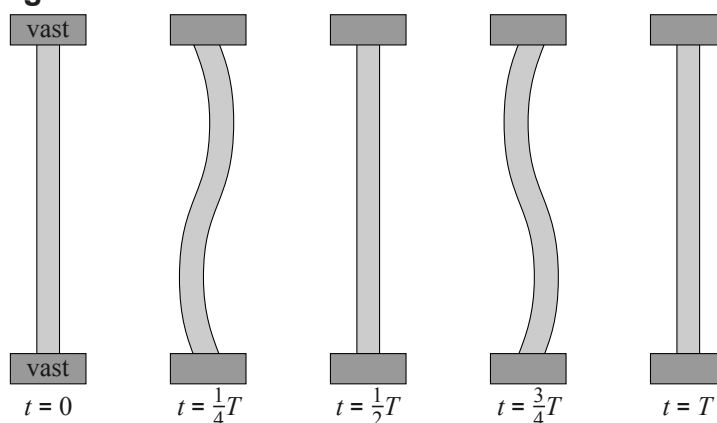
figuur 1



1p 1 Hoe heet dit natuurkundig verschijnsel?

Om problemen te voorkomen werd de brug gesloten. Technici deden daarna verschillende testen. Het lukte hen om het wegdek tussen de pijlers van de brug een horizontale staande golfbeweging te laten uitvoeren. Van deze staande golfbeweging is op vijf verschillende

figuur 2



tijdstippen een bovenaanzicht getekend. Zie figuur 2.

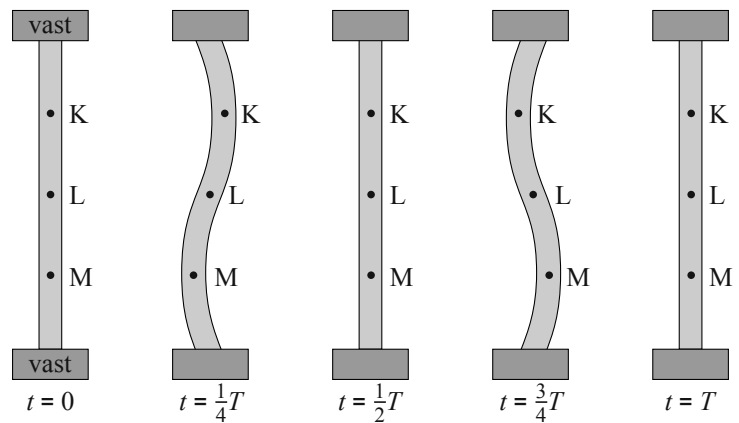
De trillingstijd van deze golfbeweging is 0,90 s.

De lengte van het deel van het wegdek dat trilt is 144 m. Figuur 2 is niet op schaal.

3p 2 Bereken de golfsnelheid in het wegdek.

Karen (K), Linda (L) en Maureen (M) stonden tijdens deze test op de brug. Zie figuur 3. De beweging van Karen is in een (u, t) -diagram op de uitwerkbijlage weergegeven met de letter K.

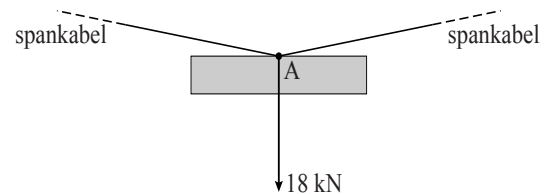
figuur 3



- 3p **3** Schets in het diagram op de uitwerkbijlage de uitwijking als functie van de tijd voor Linda (L) en voor Maureen (M). Geef duidelijk aan welke functie bij Linda hoort en welke bij Maureen.

In figuur 4 is een spankabel van de brug getekend waaraan een gedeelte van het wegdek hangt. In punt A van de spankabel werkt een kracht van 18 kN verticaal omlaag. Figuur 4 staat vergroot op de uitwerkbijlage.

figuur 4



- 4p **4** Bepaal met behulp van de figuur op de uitwerkbijlage de grootte van de spankracht in de spankabel.

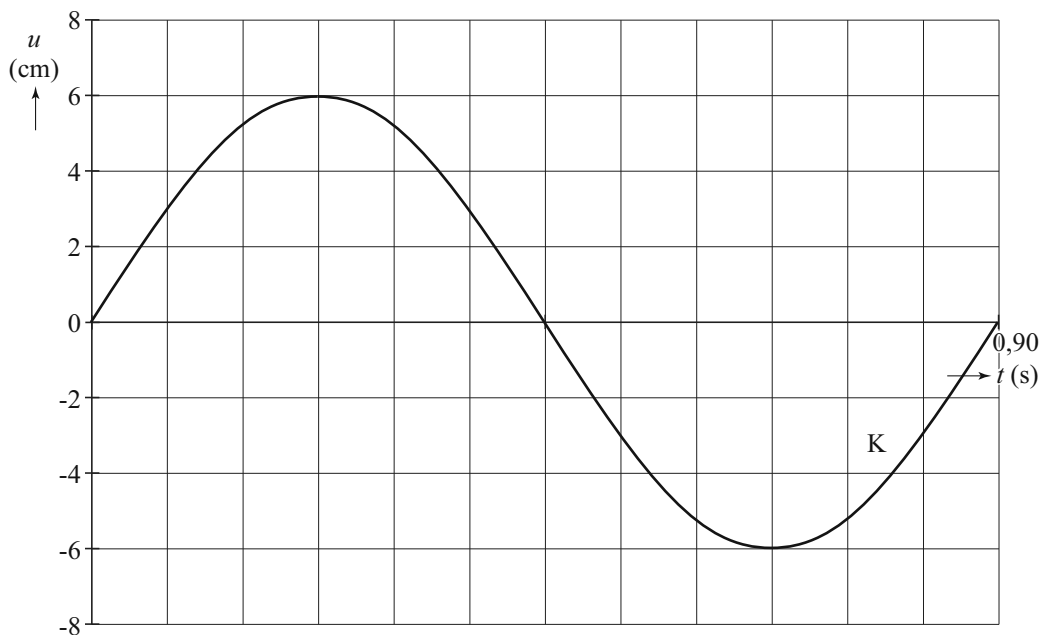
Voor de trillingstijd T van een brug geldt: $T = k\sqrt{m}$; hierin is m de massa van het middendeel van de brug en is k een constante. Voor deze brug is de massa van het middendeel 288 ton.

De frequentie waarmee de brug trilt, kan worden verlaagd door extra massa aan het middendeel van de brug te bevestigen. Iemand stelde voor om zo de eigenfrequentie van de brug drie keer zo klein te maken. De ingenieurs veegden dit voorstel echter direct van tafel.

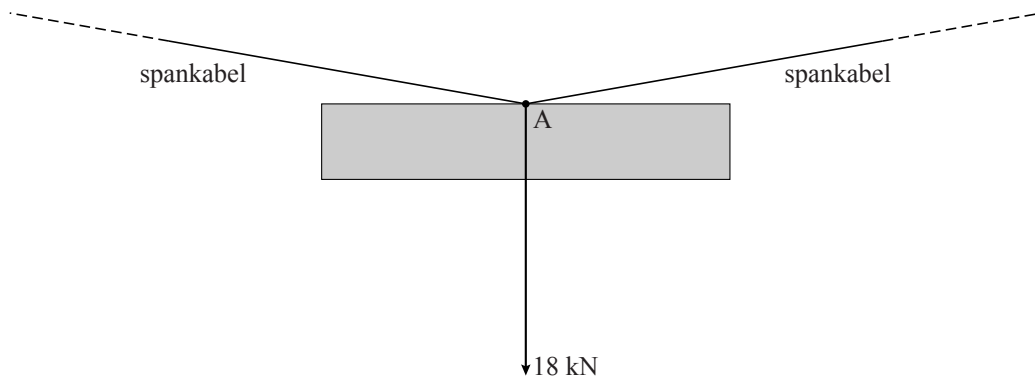
- 3p **5** Bereken de extra massa (in ton) die nodig geweest zou zijn om de frequentie waarmee de brug kan trillen drie keer zo klein te maken.

uitwerkbijlage

3



4



ruimte voor een berekening:

.....

.....