

## Constructiegeluid en trillingen

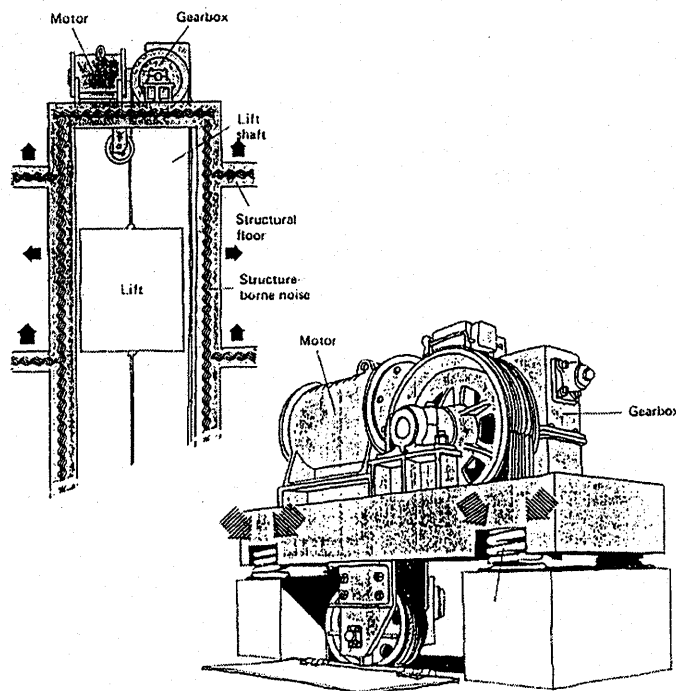
Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir. L. Nederlof, prof.ir. J.J.M. Cauberg

### 1 Contactgeluid

Een buitengewoon hinderlijke vorm van geluid ontstaat als een scheidingsconstructie rechtstreeks - dat wil zeggen langs mechanische weg - in trilling wordt gebracht. Naar de wijze waarop dit geluid wordt opgewekt, spreken we van contactgeluid ("structure-borne-sound"), in tegenstelling tot luchtgeluid ("air-borne-sound").

Berucht is natuurlijk het apparaat, waarmee nieuwe flatbewoners hun eigen gaatjes maken voor gordijnrails, boekenplanken en schilderijen, maar het kan ook een dichtslaan de deur betreffen, naaldhakken op een parketvloer of het dreunen van een slecht afgeveerde machine, bij voorbeeld een liftmotor.



figuur 1. contactgeluid kan ver doordringen in een gebouw

Kenmerkend voor contactgeluid is, dat plaatselijk veel energie op de constructie wordt overgedragen, waardoor de opgewekte trillingen (in de vorm van "vrije buiggolven") ook ver in een gebouw doordringen c.q. waarneembaar zijn. Naarmate een constructiedeel dichter bij de bron ligt en het oppervlak ervan groter is, zal meer van de oorspronkelijke trillingsenergie naar de aangrenzende lucht worden afgestraald en het geluid dus harder klinken.

### 2 Trillingsisolatie

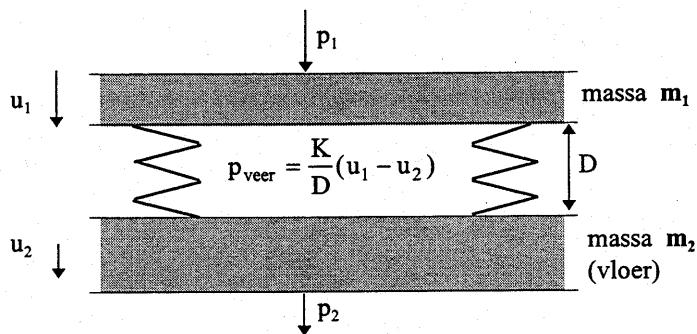
Draaiende motoren trillen nu eenmaal en zolang ze op een ondergrond staan, zullen die trillingen daarop worden overgedragen. We hebben dus te maken met een vorm van

contactgeluid, al zal het aan de frequentie van de trillingen liggen of we dit daadwerkelijk horen, dan wel voelen of in het geheel niet opmerken.

De veerkrachtige laag bij de zwevende dekvloer in figuur 2 geeft al aan om welke maatregel het eigenlijk gaat bij de bestrijding van zulk contactgeluid: trillingsisolatie en in het bijzonder trillingsdemping.

Het fysische model daarvoor, of het nu een afgeveerde liftmotor is of een zwevende dekvloer, uit een massa-veer-massasysteem, dat we ook bij spouwconstructies al tegenkwamen; veerconstante en massa's zijn hooguit anders.

De kern hiervan is nog eens weergegeven in figuur 2, waarbij massa en kracht steeds per m<sup>2</sup> beschouwd worden.



figuur 2. massaveersysteem voor zwevende opstelling

De basisvergelijkingen in dit massa-veer-massasysteem luiden:

$$\text{Voor massa } m_1: p_1 - p_{\text{veer}} = m_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \quad (1)$$

$$\text{Verliesvrije veer: } p_{\text{veer}} = \frac{K}{D}(u_1 - u_2) \quad (2)$$

$$\text{Voor massa } m_2: p_{\text{veer}} - p_2 = m_2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} \quad (3)$$

Hierin is:

p	kracht [N]
m	massa [kg]
u	uitwijking [m]
K	veerconstante [N]
D	spouwbreedte [m]
T	tijd [s]

Dit is hetzelfde stelsel formules als de formules (6a t/m 6c uit de module A-18; Luchtgeluidisolatie van spouwconstructies) voor een spouw. Nu zijn we echter niet geïnteresseerd in transmissie van geluid en daarom zien we hier af van de bijbehorende formules (dat wil zeggen: formules 6d en 6e en de relatie  $p=pc.v$ ).

Gevolg hiervan is, dat het stelsel formules (1 t/m 3) slechts opgelost kan worden door een bepaalde aanname te doen, verbonden aan de vraag die we stellen en met het model beantwoord willen zien. We onderscheiden daartoe de volgende twee gevallen:

## 2.1 Actieve trillingsisolatie

Hierbij trilt de massa  $m_1$  onder invloed van een zekere kracht ( $p_1$ ) en de vraag is welke kracht ( $p_2$ ) op de ondergrond ( $m_2$ ) wordt uitgeoefend. De aanname is, dat uitwijking  $u_2 = 0$ ; met andere woorden  $m_2$  komt niet in beweging en  $p_2 = p_{\text{veer}}$ .  
Formule (1) is dan te schrijven als:

$$p_1 = p_2 + \frac{D}{K} m_1 \frac{\partial^2 p_2}{\partial t^2} \quad (4)$$

en voor de transmissie bij sinusvormige belasting  $p_1 = \hat{p}_1 \cdot \sin(2\pi f t)$  geldt dan:

$$\frac{1}{t} = \left| \frac{\hat{p}_1}{\hat{p}_2} \right|^2 = \left[ 1 - (2\pi f)^2 m_1 \frac{D}{K} \right]^2 \quad (5)$$

## 2.2 Passieve trillingsisolatie

Nu wordt verondersteld dat de ondergrond vibreert volgens  $u_2 = \hat{u}_2 \cdot \sin(2\pi f t)$  en luidt de vraag welke uitwijking massa  $m_1$  passief ondergaat; met andere woorden stel  $p_1 = 0$ .  
Formule (1) gaat daarmee over in:

$$u_2 = u_1 + \frac{D}{K} m_1 \frac{\partial^2 u_1}{\partial t^2} \quad (6)$$

De onderhavige overdracht is nu van  $m_2$  naar  $m_1$  en daarvoor vinden we:

$$\frac{1}{t} = \left| \frac{\hat{u}_1}{\hat{u}_2} \right|^2 = \left[ 1 - (2\pi f)^2 \cdot \frac{D}{K} \right]^2 \quad (7)$$

Actieve en passieve trillingsisolatie berusten dus op dezelfde transmissiefunctie en uit formule (5) respectievelijk (7) blijkt ook, dat resonantie op kan treden (rechterlid = 0,  $t \rightarrow \infty$ ):

$$\text{Resonantiefrequentie: } f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{m_1} \frac{K}{D}} \quad [Hz] \quad (8)$$

(dezelfde uitdrukking voor  $f_R$  ontstaat uit formule (4) module A-18; Luchtgeluidisolatie van spouwconstructies) ingeval  $m_2 \gg m_1$ ).

Bij een motor, die horizontaal staat opgesteld en niet draait, geldt ten aanzien van de veerdruk dat:  $m_1 g = \frac{K}{D} \Delta D$ , zodat formule (8) te schrijven is als:

$$f_R = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta D}} \approx \frac{1}{2\sqrt{\Delta D}} \quad [Hz] \quad (9)$$

Hierin is:

- g                versnelling van de zwaartekracht = 9.81 [m/s<sup>2</sup>]  
 $\Delta D$             statische inverting [m]; deze is eenvoudig te meten als de verkorting van de veer ten gevolge van de erop geplaatste massa  $m_1$

Draait een machine met bedrijfsfrequentie  $f_M$ , dan luidt de eis voor een voldoende:

Trillingsisolatie:

$$R_{vriil}^{def} = 10 \cdot \log \frac{1}{t} = 20 \cdot \log \left| 1 - \frac{f_m^2}{f_R^2} \right| \quad (10)$$

Bij trillingsvrije opstelling:

$$\frac{f_m^2}{f_R^2} \gg 1 \quad \text{ofwel} \quad \Delta D \cdot 4 f_m^2 \gg 1 \quad (11)$$

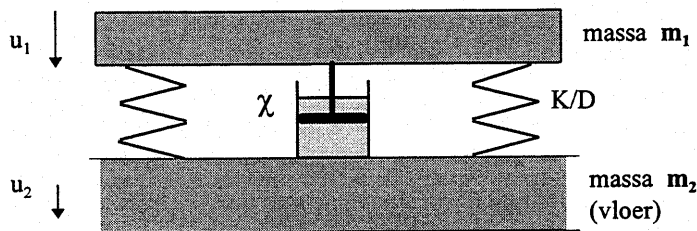
Een bezwaar tegen voorgaand overdrachtsmodel is, dat bij resonantie  $t \rightarrow \infty$  gaat, wat fysisch niet mogelijk is; de oorzaak is de premisse van een verliesvrije veer of meer algemeen een term (wrijvingsweerstand), die het opslingeren bij resonantie afdempt.

We kunnen dit in het model inbouwen, wat in figuur 3 symbolisch is aangegeven door een demper (oliepot) met weerstand  $\chi$ . De combinatie oliepot-veer is op te vatten als een:

Gedempte veer:

$$p_{veer} = \frac{K}{D}(u_1 - u_2) + \chi \left( \frac{\partial u_1}{\partial t} - \frac{\partial u_2}{\partial t} \right) \quad (12)$$

Rekenen we ons actieve of passieve trillingsmodel met zo'n gedempte veer door, dan rolt daar inderdaad een transmissie  $t$  uit, die ook bij resonantie beperkt blijft.



figuur 3. massaveersysteem met extra wrijvingselement (demper)