

## Invloeden van schok en trillingen op product en verpakkingen

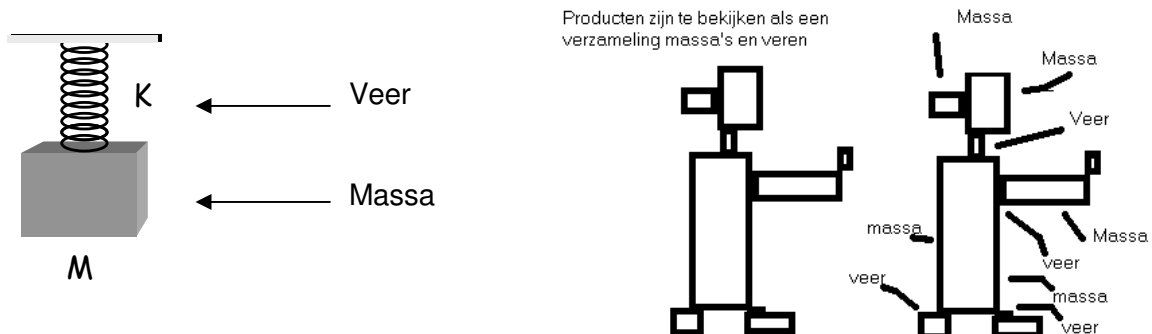
Er zijn diverse invloeden die schade kunnen veroorzaken aan producten tijdens transport. Temperatuur, luchtvochtigheid, trillingen en schokken. Wij behandelen nu alleen de invloeden van trillingen en schokken.

### Inleiding

Om inzicht te krijgen waarom producten kapot gaan tijdens transport is een bepaalde basiskennis nodig. Deze basiskennis is theorie over schokken en trillingen. Met de basiskennis van schok en trillingen zijn schades te verklaren. Vraagstukken zoals "we hebben dubbel ingepakt en nog is het kapot gegaan" kunnen worden verklaard met de theorie die hieronder behandeld wordt.

### Massa veersysteem

Alle onderdelen van een product zijn te beschouwen als een massa veersysteem verzameling van massa's op veertjes. Sommige zijn stijf andere zijn juist heel flexibel. Ook een verpakt product is als een massa veersysteem te bekijken. Deze insteek geeft ons de mogelijkheid om de invloeden van schok en trillingen aan de basis te bestuderen.

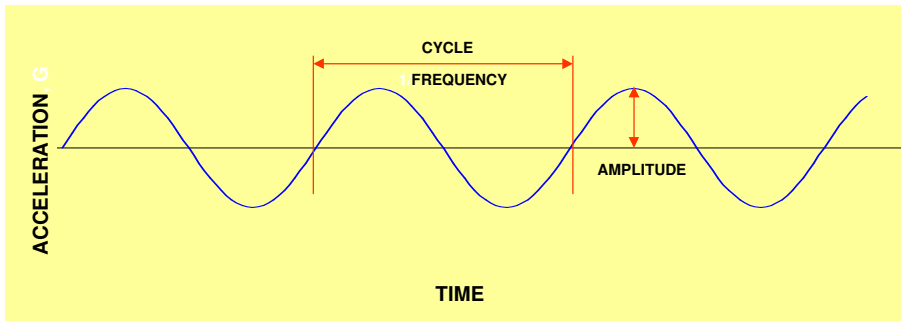


### Trillingen

Om een beter begrip te krijgen waarom een trilling schadelijk is, zullen we eerst ingaan op de basis principes van trillingen.

Hoe ziet een trilling grafisch er uit en wat zijn de gebruikte eenheden?

Als we een massa veersysteem in beweging brengen dan zien we dat gedurende een bepaalde tijd de massa van de ene naar de andere kant verplaatst. Dit kunnen we weergeven in een grafiek waarbij op de horizontale as de tijd staat genoteerd en op de verticale as de verplaatsing of versnelling van de massa.



Nu kunnen we met een eenvoudige berekening bepalen hoe vaak per tijdseenheid de massa heen en weer slingert. We noemen dit de frequentie, als u vier keer in een uur naar de wc gaat dan is de frequentie 4/uur. We gebruiken hier echter geen uren maar seconden. Als de massa 10 keer in een seconde heen en weer beweegt heeft deze een frequentie van 10/sec, ook wel 10 Hz, vernoemd naar de heer Hertz.

In formule vorm  $f=1/t$   
 f is frequentie in Hz  
 t is tijd in seconden

### De respons van een product op een trilling

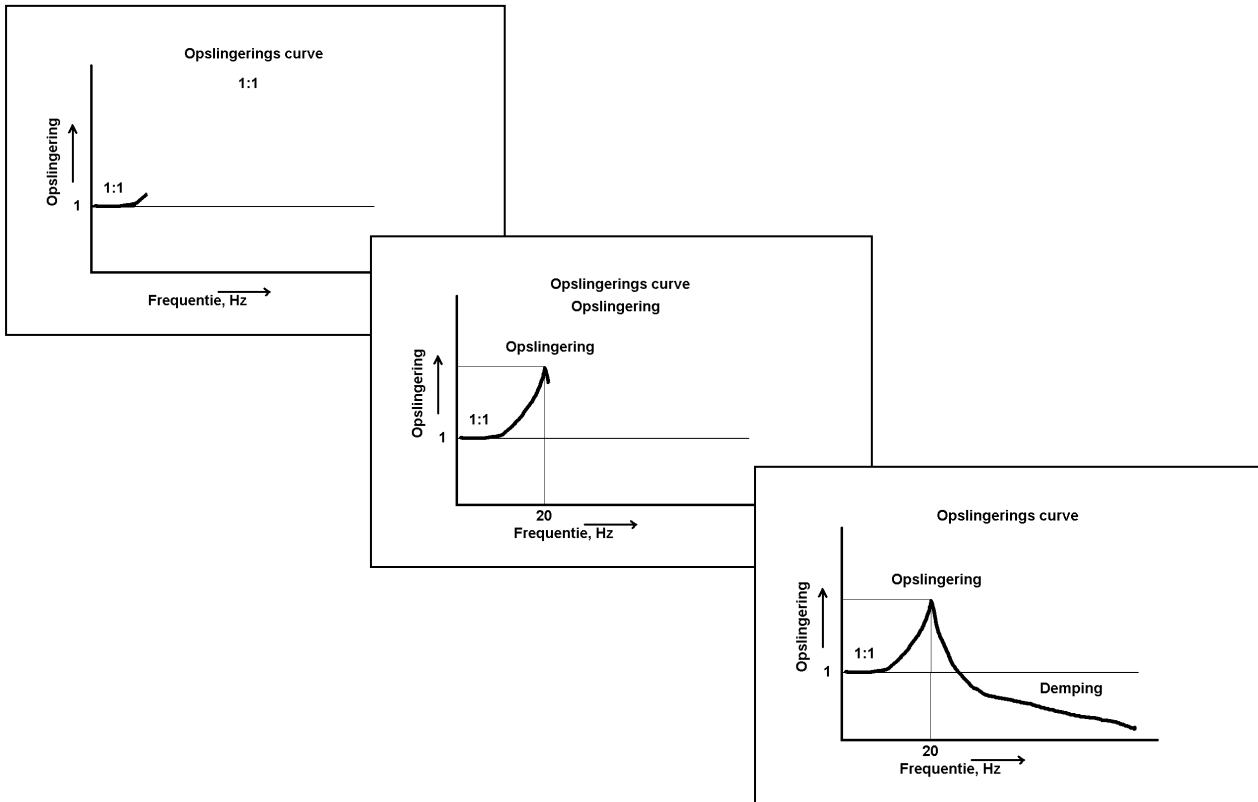
Een massa veersysteem heeft de eigenschap dat de trilsnelheid (frequentie) altijd hetzelfde is. Zolang er niets aan de massa of veer veranderd heeft deze combinatie dezelfde eigenfrequentie. Dit is een gegeven waarmee we veel kunnen verklaren.

Als een massa veersysteem geforceerd in beweging wordt gebracht kunnen er drie uiterste toestanden ontstaan:

- de massa beweegt met de aanstoting mee
- de massa beweegt harder dan de aanstoting
- de massa beweegt minder dan de aanstoting

We kunnen dit aantonen met behulp van een proefje, bijvoorbeeld een stuk elastiek, een veer en een massa bijvoorbeeld een bos sleutels.

Als we de aanstoting geleidelijk laten oplopen van een lage frequentie tot een hoge frequentie en daarbij de response van de massa meten, kunnen we de overdracht berekenen. De overdracht is het quotiënt van de response en de aanstoting. We delen de respons door de aanstoting. Bv. als de massa twee keer zo hard beweegt als de aanstoting (2/1) is de overdracht 2. Als we deze berekening per frequentie maken en al deze punten in een grafiek plaatsen krijgen we een lijn die er uit ziet als in de volgende plaatjes:



Het punt waar de opslintering het hoogst is noemen we ook wel resonantie frequentie.

### Waarom producten kapot gaan bij trillingen

We zagen dat bij een resonantie de massa de meeste verplaatsing ondervindt. Als tijdens een transport het product continue trilt zal er vermoeiing optreden. De mate van verplaatsing heeft daarbij een grote rol.

We kunnen dit aantonen met een paperclip. Eerst buigen we de paperclip open tot een recht staafje. Als we het staafje bij de uiteinde beetpakken kunnen we deze op twee uiterste manieren buigen. Lichtjes heen en weer buigen, de paperclip zal niet snel breken. Flink heen en weer buigen, na een aantal buigingen zal de paperclip breken.

Er is duidelijk een relatie tussen hoe ver u de paperclip buigt en het aantal malen (de frequentie) dat de paperclip gebogen wordt.

Dit is precies het faalmechanisme bij trillingen. We hebben een resonantie, grote verplaatsing en een regelmaat van verplaatsing, deze resulteren vaak in een vermoeiingsbreuk.

### Wat kun je tegen trillingen doen?

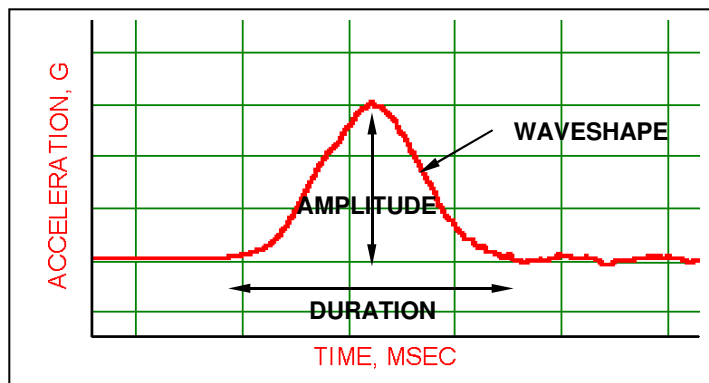
Wellicht erg voor de hand liggend maar probeer resonanties te voorkomen. Probeer als er resonanties zijn deze resonanties buiten het gebied van de hoogst aanstoting te leggen. Uit metingen is gebleken dat tijdens een vrachtwagen transport de hoogste trilniveaus tussen de 4 en 16 Hz liggen. Eigenfrequenties van producten en verpakkingen moeten het liefst buiten dit gebied liggen.

## Schok

Schok is niet veel anders dan trillingen echter een schok is vaak eenmalig. De basis is bijna hetzelfde als trillingen. Het faalmechanisme is echter net een beetje anders.

Hoe ziet een schok er grafisch uit en de gebruikte eenheden.

De schokpuls die u hier ziet lijkt op een verkapte trilling. Meerdere schokken achterelkaar zou een trilling kunnen zijn. Als u weer het massa veersysteem neemt en deze een klap geeft zal deze eenmalig flink bewegen en daarna uit trillen.



De puls is gepresenteerd in de tijd (t) de horizontale as, tegenover versnelling (a), de verticale as. Naarmate we verder komen in de tijd neemt de versnelling toe tot een maximum en neemt daarna af. Vaak wordt het maximum van de puls genoemd "zoveel [g]", of beter [m/s<sup>2</sup>]. Deze waarde geeft echter niet aan hoelang deze versnelling aanwezig was.

De schokpuls heeft net zoals trillingen een frequentie en is op de zelfde manier te berekenen. Het plaatje toont een halve sinus de frequentie van een schokpuls is:

$$\text{In formule vorm } f=1/2t$$

f is frequentie in Hz  
 t is tijd in seconden

We vermenigvuldigen hier de tijd met twee omdat de getoonde schok in het plaatje een halve sinus is.

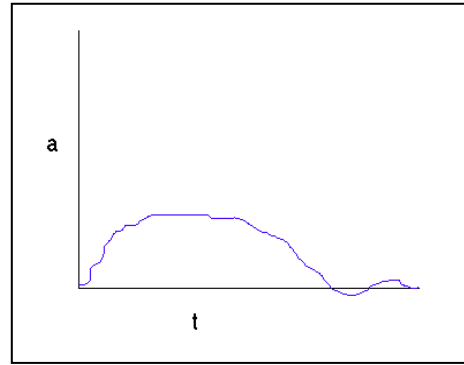
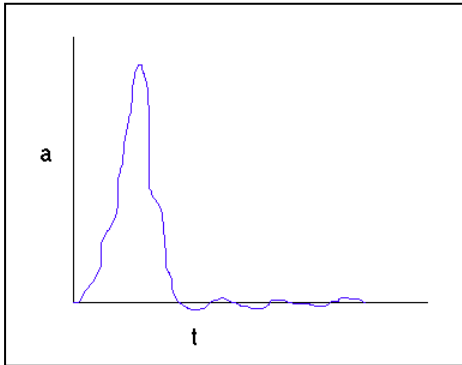
Wellicht erg technisch allemaal maar waar het op neerkomt is dat een schok net zoals een trilling een eigenfrequentie heeft.

### respons van een product op een schok

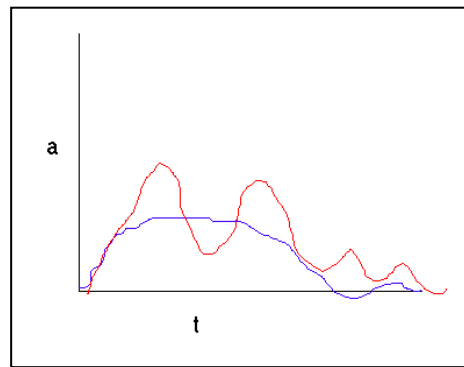
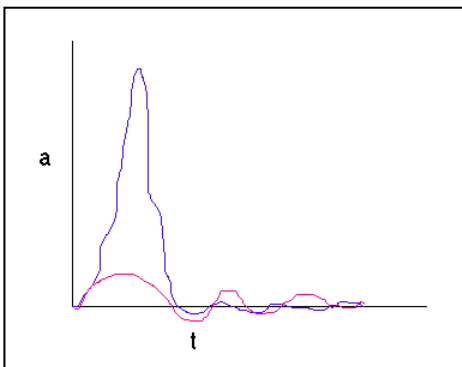
De veel besproken versnelling is echter niet het belangrijkste component van een schok. Zoals we bij trillingen zagen reageert een massa veersysteem op een bepaalde aanstoot frequentie. Zo ook bij schok.

Bijvoorbeeld, als u met de hand een klap geeft op de tafel zal een meting op kunnen lopen tot wel 1.000 [m/s<sup>2</sup>] (1 g = 9,81 m/s<sup>2</sup>) De tafel gaat hoogst waarschijnlijk niet kapot. Zou de puls langer duren, enkel seconden, dan zou de tafel wel kapot gaan. Hieruit blijkt dat niet alleen de versnelling maar ook de tijdsduur invloed heeft.

De volgende twee plaatjes tonen twee verschillende pulsen. De eerste puls geeft een hoge versnelling met een korte tijdsduur en de tweede een lage versnelling met lange tijdsduur.



De eerste puls heeft een hoge frequentie en de tweede puls een lage frequentie. Een massa veersysteem zal afhankelijk van zijn eigenfrequentie reageren op deze puls. De rode lijnen in de volgende plaatjes tonen hoe een massa veersysteem op de twee pulsen kan reageren.



Afhankelijk van de eigenfrequentie van het product of de verpakking zal deze wel of niet reageren op de schokpuls. Als de frequentie van de schokpuls hetzelfde is als de eigenfrequentie van een product of verpakking zal het product of verpakking hierop reageren. Net zoals bij een trilling. U ziet dat bij het tweede plaatje de opslingering van het massa veersysteem hoger is dan bij het eerste plaatje. Waarschijnlijk gaat het product ondanks de lagere versnelling kapot bij de twee pulsen.

Om deze twee pulsen toch te kunnen vergelijken wordt naar het oppervlak van de gehele puls gekeken. De oppervlakte staat gelijk aan de snelheidsverandering  $\Delta v$  in [m/s]. De snelheidsverandering is ook wel de valhoogte (energie).

In wiskundige termen; de versnelling wordt geïntegreerd naar de tijd,  $f(a)d(t)$  geeft snelheid. Een hoge versnelling met een zeer korte tijdsduur heeft een kleine snelheidsverandering en hoeft dus niet direct schade te geven.

Samengevat: een schokpuls is gedefinieerd door twee waarden, versnelling [ $m/s^2$ ] en tijdsduur [ms]. Met deze versnelling en tijdsduur is de snelheidsverandering [m/s] "energie" te bepalen. De snelheidsverandering is maat voor het schade toebrengend vermogen van de schok.



## Waarom producten kapot gaan bij schok

Schok is eenmalig. Net zoals bij de paperclip trilproef gaat het bij schok om de verplaatsing, maar ook om de energie inhoud van de schok (snelheidsverandering). Het volgende stukje legt uit waarom.

Grofweg zijn producten te verdelen in twee groepen, taaie producten en brossse producten. De vervormbaarheid ook wel vloeigrens van producten is bij taaie, elastische producten hoger dan bij brossse producten. Taaie producten zijn bv staal, veel kunststoffen, vershout. Brossse producten zijn keramiek, beton en glas en oud hout. Een elastiek kan goed energie opnemen een stuk beton minder. (U spring liever op de bank dan op straat, de bank neemt u valenergie op en de straat niet.)

Omdat bij schok plotseling een hoeveelheid energie (snelheidsverandering) in het product gestopt wordt is de mate van energie absorptie, de elasticiteit, bepalend of het product zal breken of niet.

Resumé, het faalmechanisme bij schok is, verplaatsing (respons) net zoals bij trillingen en het vermogen om energie op te kunnen nemen, elasticiteit.

## De praktijk

Nu u deze theorie doorgenomen heeft zullen een hoop schades verklaard kunnen worden. Stel u heeft een product dubbel ingepakt in het meest elastische en zachte verpakkingsmateriaal dat u kon vinden en toch is het product nog kapot gegaan hoe kan dat? Blijkbaar heeft u van de verpakking (de veer) en het te vervoeren product (massa) een zodanig massa veersysteem gemaakt dat de eigenfrequentie precies gelijk is aan de aanstoot frequentie van het transport middel. Indien het product ook nog eens onderdelen heeft die resoneren op deze frequentie treden er grote verplaatsingen op en schade is evident.

## A is een versnelling in $m/s^2$ , F is een kracht in Newton

Tot slot nog een opmerking, veel mensen hebben het over g-krachten. Dit is geen goede benaming want we zagen dat versnelling in  $[m/s^2]$  genoteerd wordt. Een kracht F is in Newtons. Een g-kracht bestaat dan ook niet. Wel hebben we de formule  $F=m*a$  waarbij door vermenigvuldiging van de massa en versnelling de kracht bepaald wordt.