

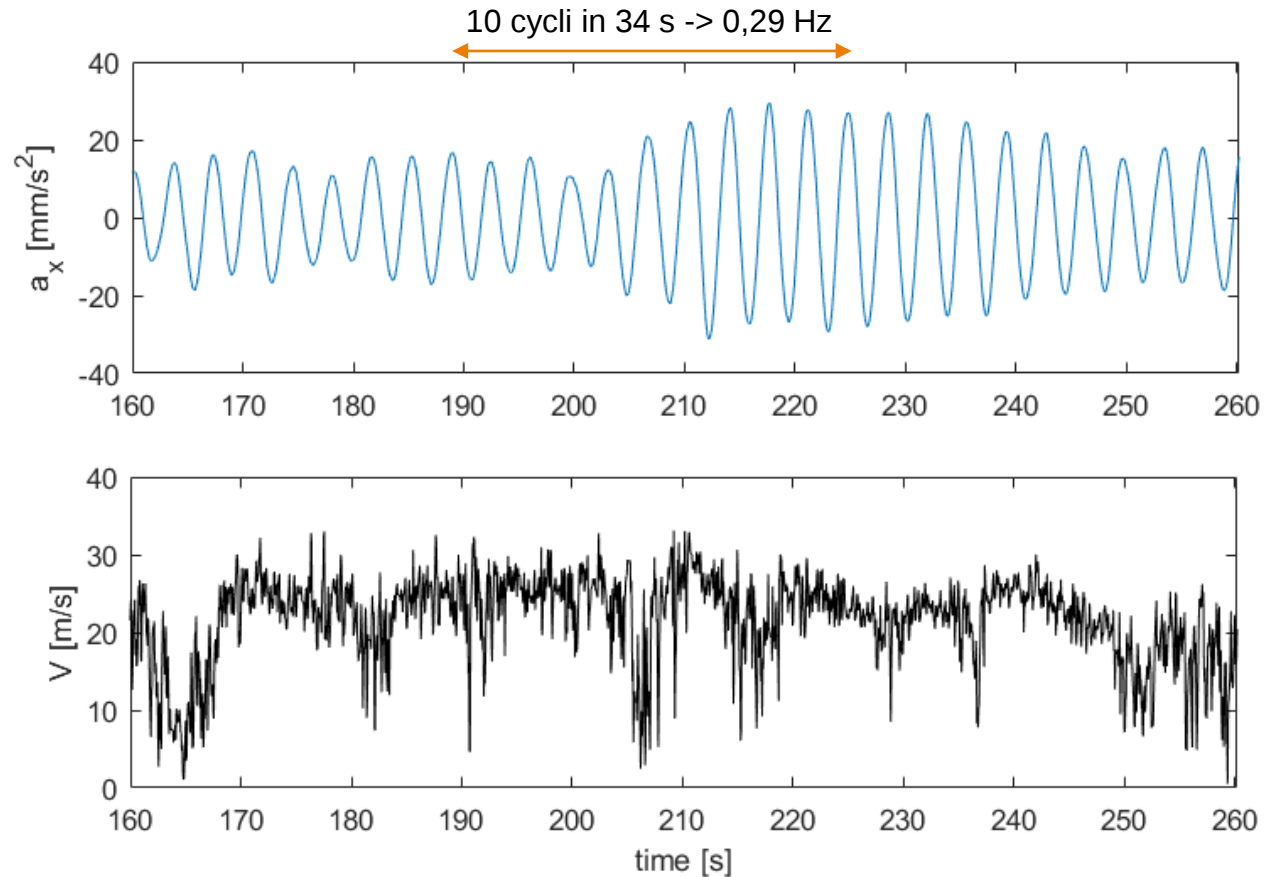


› BELEVING VAN TRILLINGEN IN HOOGBOUW

CHRIS GEURTS

TNO innovation
for life

TRILLINGEN DOOR WIND



TRILLINGEN DOOR WIND

- › Veiligheid en comfort
- › Toetsen: Eurocode
- › Veldmetingen
- › Toetsing op comfort
- › Hoe ervaren we deze trillingen ?



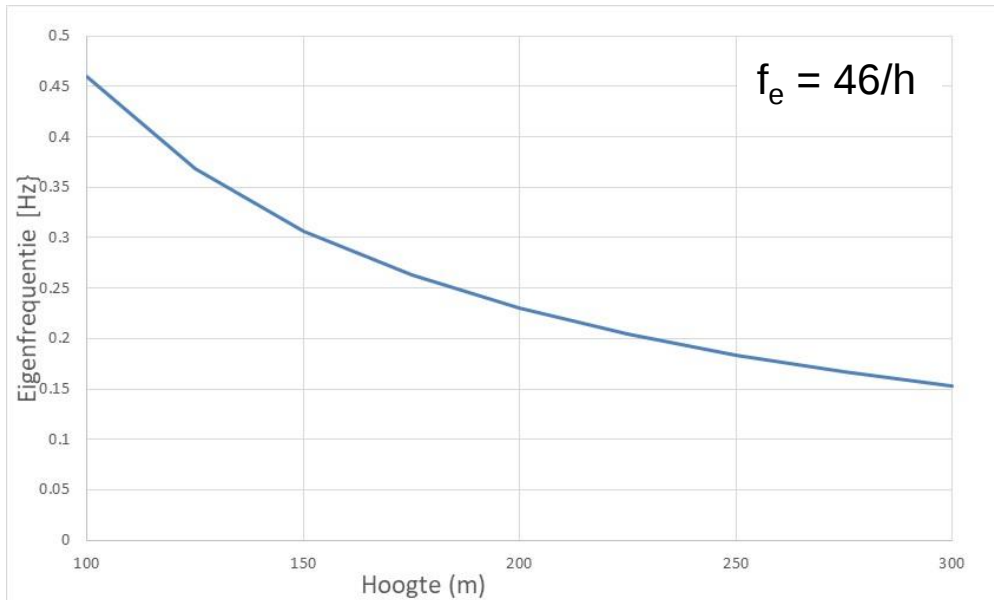
TOETS OP WINDTRILLINGEN

- › Toets op sterkte is verplicht (Bouwbesluit)
 - › Controle via NEN-EN 1990 serie (herhalingsjijd 50 jaar)
 - › Statische berekening met dynamische correctiefactor $c_s c_d$
- › Toets op trillingsniveaus (private afspraak)
 - › Piekwaarde versnelling (herhalingsjijd 1 jaar)
 - › Rekenmodel NEN-EN 1991-1-4 voor RMS waarde
 - › Criteria: NEN-EN 1990 voor piekwaarde
- › Berekening versnelling én criterium frequentie afhankelijk
- › Gebouwparameters Massa, Eigenfrequentie en Damping relevant
- › Versnelling: RMS waarde x piekfactor

GEBOUWPARAMETERS IN DE NORMEN

NEN-EN 1991-1-4

Constructietype	Constructieve damping δ_s
Gebouwen van gewapend beton	0,10
Stalen gebouwen	0,05



NEN-EN 1990/NB

D is de dempingsmaat van het gebouw

$= 0,01$ voor $n_{1,x} \leq 1 \text{ Hz}$;

$= n_{1,x}/100$ voor $1 \text{ Hz} < n_{1,x} < 2 \text{ Hz}$;

$= 0,02$ voor $n_{1,x} \geq 2 \text{ Hz}$;

$$\delta = 2 \pi D \text{ (factor 6 !)}$$

$$n_{1,x} = f_e = (1+20/h) \times 46/h$$

NEN 6702

De eigenfrequentie mag als volgt zijn bepaald:

$$f_e = \sqrt{\frac{a}{\delta}}$$

waarin:

f_e is de eerste eigenfrequentie van de cons

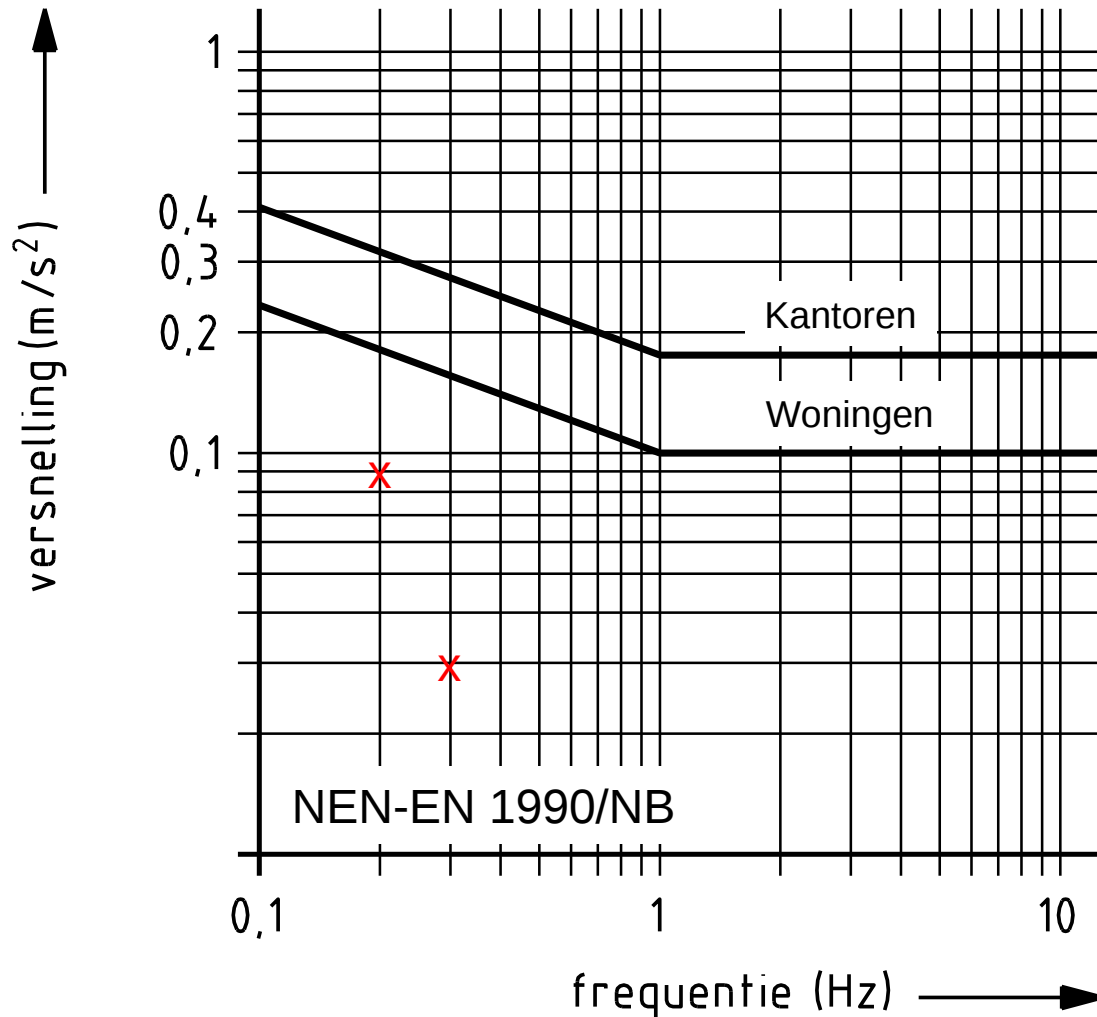
BEREKENING EN METING

- › Woontoren New Orleans Rotterdam
 - › H x B x D: 155 x 29 x 29
 - › Massa: 500 kg/m³
 - › Betonnen draagconstructie

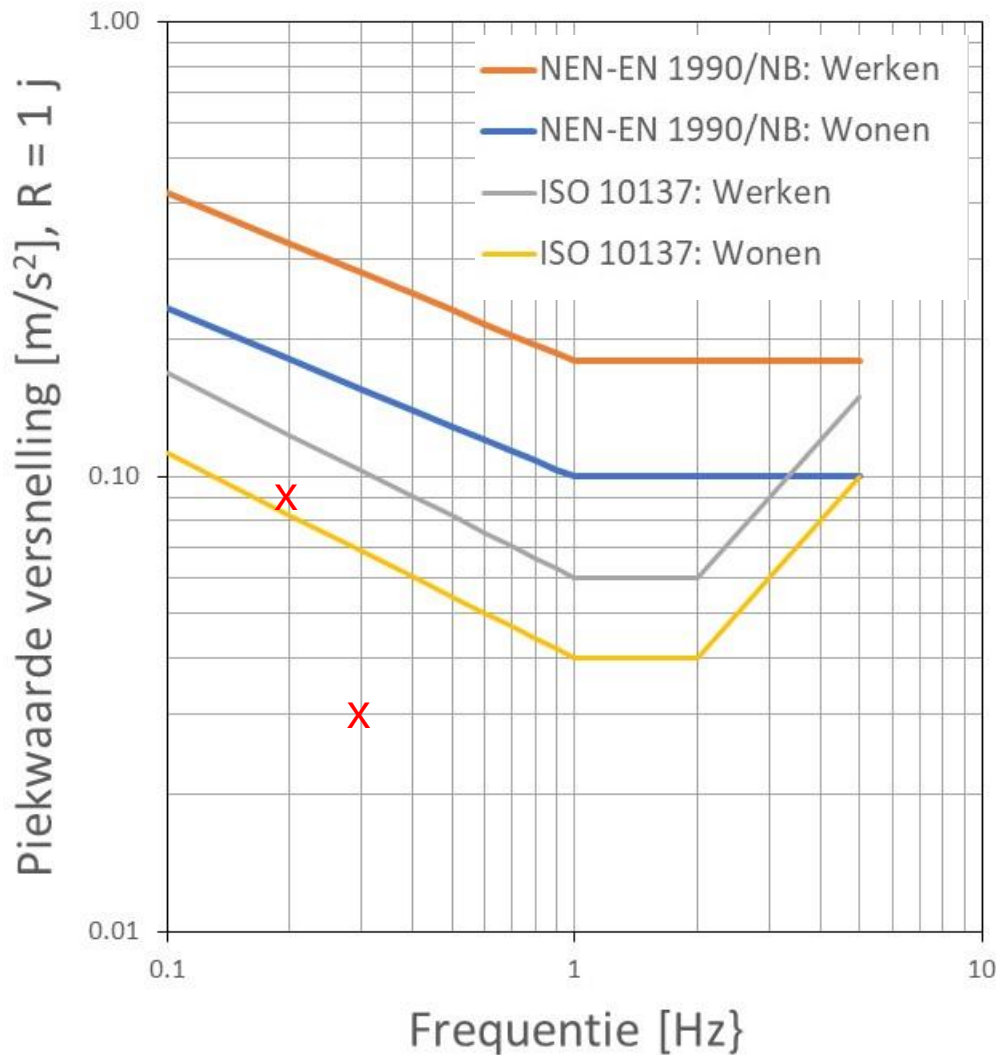
	NEN-EN 1991-1-4	NEN 6702	Meting
Eigen- frequentie [Hz]	0,30	0,19	0,28 / 0,29
Damping [δ]	0,10	0,06	0,06 – 0,09
Damping [D]	1,6 %	1 %	1% - 1,5%
a _{max} [m/s ²]	0,03	0,09	0,03
v _{max} :	15 mm/s	75 mm/s	15 mm/s



WINDTRILLINGEN; CRITERIA



WINDTRILLINGEN; CRITERIA

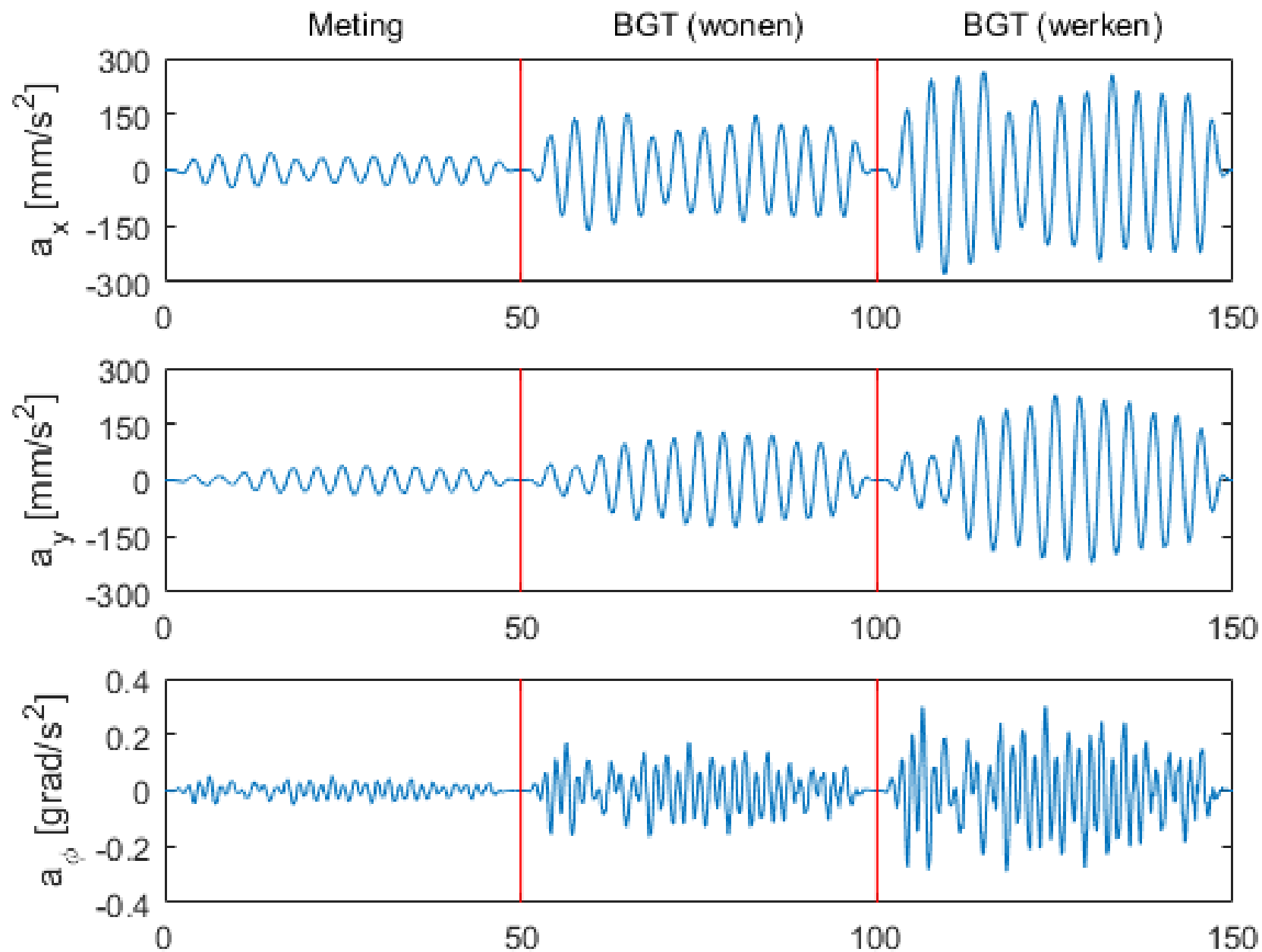


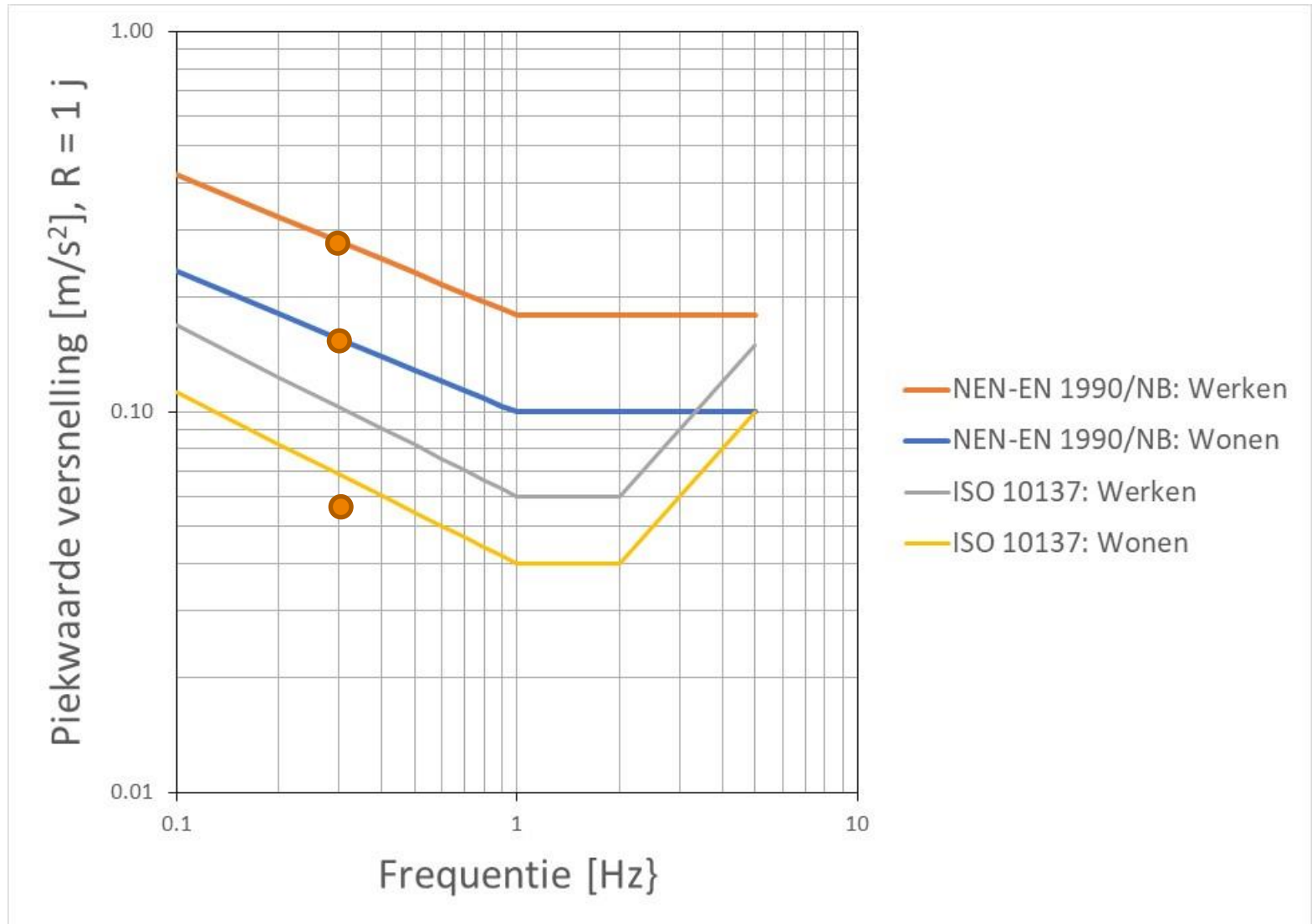
Windgebied	v_b [m/s]	
I	22.1	Bft 9
II	19.4	Bft 8
III	16.9	Bft 7

ERVAREN VAN WINDTRILLINGEN

TNO innovation
for life







HET UITZICHT



EVALUATIE



- › 35 personen
- › 35 responsformulieren retour
 - › 28 mannen
 - › 7 vrouwen
- › 5 personen beschouwen zichzelf als gevoelig voor bewegingsziekte
- › Leeftijd tussen 25 en 68 jaar (gemiddeld 49)
 - 6 personen jonger dan 40
 - 14 personen tussen 40 en 50
 - 14 personen ouder dan 50

EVALUATIE

Wat vond u van de aangeboden trilling:

0 = niets van gemerkt

1 = gevoeld

2 = een beetje hinderlijk

3 = erg hinderlijk

4 = zeer hinderlijk

5 = beangstigend

Vul hier uw keuze in

Signaal 1

0 – 2 personen

1 – 32 personen

2

3

4

5

Grens Wonen

0

1 – 14 personen

2 – 18 personen

3 – 2 personen

4

5

Grens Werken

0

1 – 3 personen

2 – 15 personen

3 – 9 personen

4 – 6 personen

5 – 2 personen

EVALUATIE

Wat vond u van de aangeboden trilling:

0 = niets van gemerkt

1 = gevoeld

2 = een beetje hinderlijk

3 = erg hinderlijk

4 = zeer hinderlijk

5 = beangstigend

Vul hier uw keuze in



EVALUATIE

Heeft u symptomen van bewegingsziekte ervaren?

0 = niets van gemerkt
ook niet als ik langer in de simulator had gezeten
1 = niets van gemerkt
wel als ik langer in de simulator had gezeten
2 = een beetje last, niet misselijk
3 = veel last, niet misselijk
4 = beetje last van misselijkheid
5 = veel last van misselijkheid.

Vul hier uw keuze in

Signaal 1

0 – 32 personen
1 – 2 personen
2
3
4
5

Grens Wonen

0 – 25 personen
1 – 7 personen
2 – 2 personen
3
4
5

Grens Werken

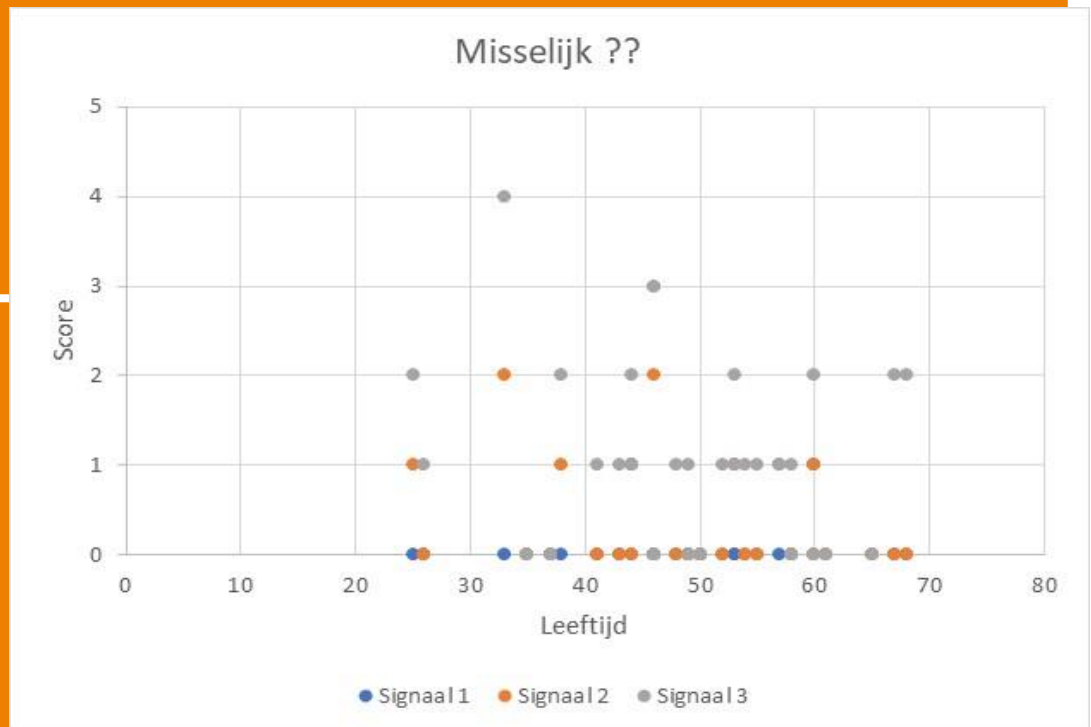
0 – 12 personen
1 – 13 personen
2 – 7 personen
3 – 2 personen
4 – 1 persoon
5

EVALUATIE

Heeft u symptomen van bewegingsziekte ervaren?

0 = niets van gemerkt
ook niet als ik langer in de simulator had gezeten
1 = niets van gemerkt
wel als ik langer in de simulator had gezeten
2 = een beetje last, niet misselijk
3 = veel last, niet misselijk
4 = beetje last van misselijkheid
5 = veel last van misselijkheid.

Vul hier uw keuze in



EVALUATIE

Wat wilt u verder nog kwijt over uw ervaringen met de simulator?

- › Leuke ervaring
- › Ik had problemen verwacht maar het viel mee
- › Na afloop een 'zwevend gevoel'
- › Benieuwd wat er gebeurt als het nog harder waait
- › Als het langer zou hebben geduurd, weet ik niet hoe ik me had gevoeld.

TOT SLOT

- › Trillingen ontwerpcriterium voor constructie
- › Geen Bouwbesluit toets op hinder
- › Dynamische eigenschappen cruciaal
 - › Demping
 - › Eigenfrequentie
 - › Massa
- › Verschillen in rekenmethoden en metingen
- › Behoefte aan empirische data
 - › Monitoring Hoogbouw
 - › Perceptie van trillingen

Wind-Induced Motion



of Tall Buildings

DESIGNING FOR HABITABILITY

Kenny C. S. Kwok, Ph.D., C.PEng.; Melissa D. Burton, Ph.D., C.Eng.;
and Ahmad K. Abdelrazaq, S.E.

ASCE



MONITORING VAN HOOGBOUW

MONITOREN TRILLINGEN IN HOOGBOUWCONSTRUCTIES

VRIJ 12 JUL 2019

TNO ontwikkelt samen met het bedrijfsleven een rekenmodel waarmee het mogelijk is het trillingsgedrag van hoogbouw beter te kunnen voorspellen. Daarom worden de komende jaren de bewegingen van een aantal hoge gebouwen gemonitord. TNO is nu op zoek naar partijen die actief zijn in hoogbouw en bij willen dragen aan verdere kennisontwikkeling om in de toekomst tot een betere voorspelling van het trillingsgedrag te komen.

Hoge gebouwen bewegen in de wind. Vaak gebeurt dit al bij een matige tot krachtige wind. Mensen zijn gevoelig voor bewegingen, en deze kunnen als onprettig of onveilig worden ervaren. Gevoelens van onbehagen hebben invloed op het welbevinden van bewoners en de productiviteit van werknemers. Dit kan zelfs consequenties hebben voor de waarde van het vastgoed. Een gebruiker moet zich veilig en comfortabel voelen in een hoogbouwtoeren. De bewegingen tijdens harde wind zijn voor hoogbouw een belangrijk ontwerpcriterium voor de constructie.

De gevoeligheid van hoogbouw voor trillingen is van vele factoren afhankelijk, zoals de stijfheid, eigenfrequentie, massa en demping. Uit praktijkmetingen blijkt dat deze eigenschappen fors kunnen afwijken van de uitgangspunten tijdens het ontwerp. Een hoog gebouw gedraagt zich daarom meestal anders dan voorspeld. Dit kan zowel leiden tot een overschatting dan wel onderschatting van het trillingsgedrag.

Er is in de praktijk weinig bekend over de invloed van ontwerpkeuzes (zoals voor fundering, hoofddraagconstructie, wanden, vloeren en afbouw) op de dynamische eigenschappen van het gebouw. Hierdoor wordt het gebouw niet optimaal ontworpen. Dit inzicht is nodig om met slimme keuzes in het gebouwontwerp het comfort van de gebruiker te verbeteren.



BEKIJK OOK

[Dynamica](#)
[Hoogbouw](#)

<https://www.cementonline.nl/monitoren-trillingen-in-hoogbouwconstructies>



› **BEDANKT VOOR UW INTERESSE**

chris.geurts@tno.nl

TNO innovation
for life