

Tribunebelastingen

Okke Bronkhorst

TNO Mobility and Built Environment

17 september 2026

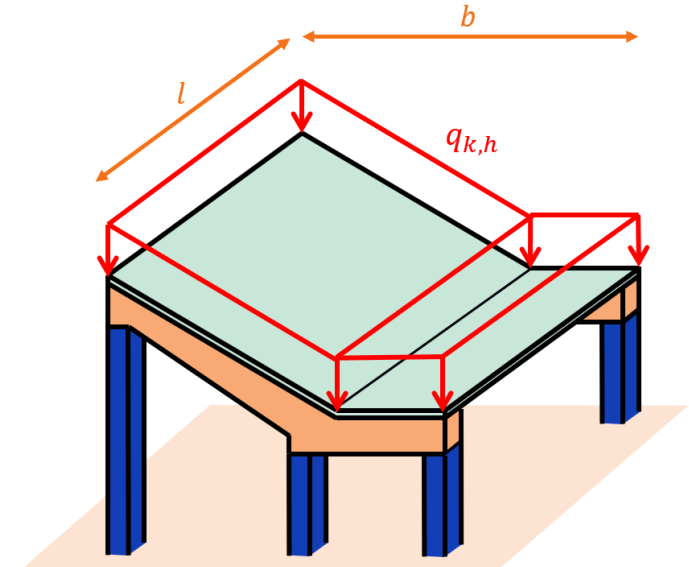
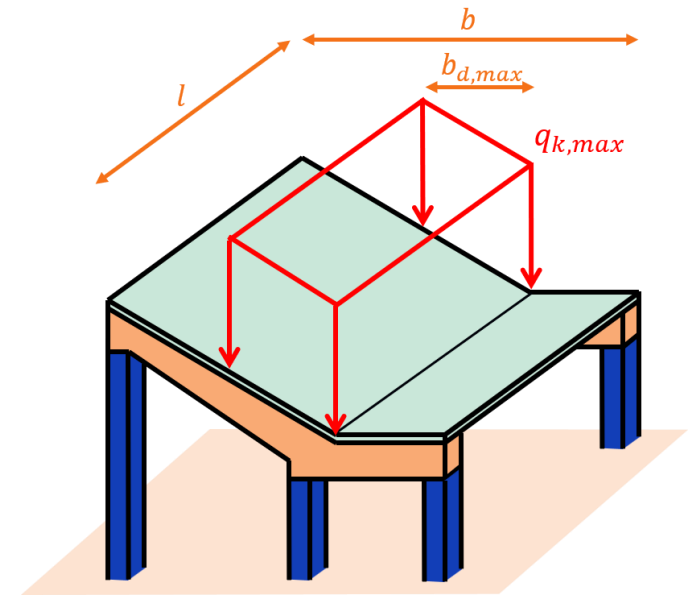
Onderzoek tribunebelastingen

- Probleem: Gebruiksbelastingen tribunes en springen
- Doel: Voorstel NEN-EN 1991-1-1
- Aanpak: Literatuurstudie
- Scope: Nieuwbouw



Eindresultaat

- Gebruiksbelastingen – Huidig
 - C2 $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$
 - C5 $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- Gebruiksbelastingen – Voorstel nieuwbouw
 - C21 $q_{k,max} = 4,0 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 4,0 \text{ kN/m}^2$
 - C22 $q_{k,max} = 7,0 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
 - C51 $q_{k,max} = 5,0 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
 - C52 $q_{k,max} = 8,5 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 6,0 \text{ kN/m}^2$



Onderwerpen

- Gebruiksklassen
- Gebruiksbelastingen
- Dynamische effecten

Belasting door springende mensen op tribunes

Voorstel normbepalingen nieuwbouwontwerp
op basis van literatuuronderzoek

TNO Intern | TNO 2025 R11354
28 augustus 2025

<https://repository.tno.nl/SingleDoc?docId=75771>

Gebruiksklassen

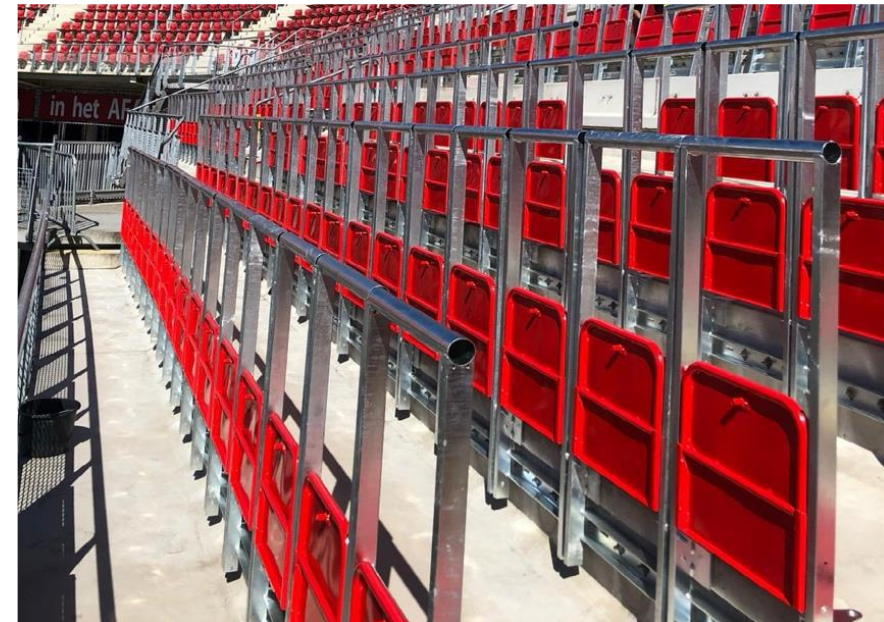
- Huidig
 - C2 Vaste zitplaatsen
 - C5 Grote mensenmassa's

Tabel 6.1 — Gebruiksklassen

Klasse	Specifiek gebruik	Voorbeeld
A	Ruimten voor wonen en huishoudelijk gebruik	Kamers in woongebouwen en huizen; ziekenkamers en -zalen in ziekenhuizen; slaapkamers in hotels en tehuizen; keukens en toiletten.
B	Kantoorruimten	
C	Ruimten waar mensen kunnen samenkomen (met uitzondering van de onder klasse A, B en D ¹⁾ genoemde ruimten)	C1: Ruimten met tafels enz. bijv. ruimten in scholen, cafés, restaurants, eetzaal, leeszaal, ontvangstruimten. C2: Ruimten met vaste zitplaatsen, bijv. ruimten in kerken, theaters of bioscopen, conferentiezalen, collegezalen, vergaderzalen, wachtkamers, wachtkamers/-lokale in stations. C3: Ruimten zonder obstakels voor rondlopende mensen, bijv. ruimten in musea, tentoonstellingsruimten enz. en toegangsruimten in openbare gebouwen en kantoren, hotels, ziekenhuizen, stationshallen. C4: Ruimten ten behoeve van o.a. lichaamsbeweging, bijv. danszaal, gymnastiekzaal, toneel-/balletpodia enz. C5: Ruimten waar zich grote mensenmassa's kunnen bevinden, bijv. in gebouwen voor openbare evenementen, zoals concertzaal, sporthallen met inbegrip van tribunes, bordessen en toegangsruimten, stationsperrons.
D	Winkelruimten	D1: Ruimten in gewone kleinhandelzaken. D2: Ruimten in grootwarenhuizen/supermarkten.
¹⁾ De aandacht wordt gevestigd op 6.3.1.1 (2), in het bijzonder wat betreft C4 en C5. Zie EN 1990 wanneer dynamische effecten in aanmerking moeten zijn genomen. Voor klasse E, zie tabel 6.3. OPMERKING 1 Afhankelijk van het te verwachten gebruik, mogen ruimten die doorgaans worden ingedeeld bij C2, C3, C4 zijn ingedeeld bij C5 door een beslissing van de opdrachtgever en/of de nationale bijlage. OPMERKING 2 In de nationale bijlage kunnen onderverdelingen zijn gegeven voor A, B, C1 tot C5, D1 en D2. OPMERKING 3 Zie 6.3.2 voor opslag of industrieel gebruik.		

Gebruiksklassen

- Huidig
 - C2 Vaste zitplaatsen
 - C5 Grote mensenmassa's
- Observaties tribunegebruik
 - Ophoopgedrag
 - Gecoördineerd springen
 - Safe standing

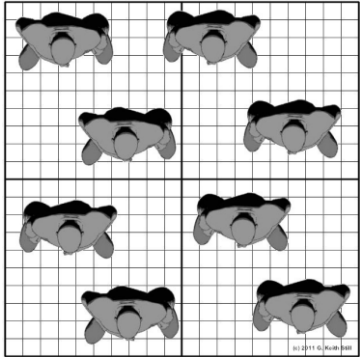


Gebruiksklassen

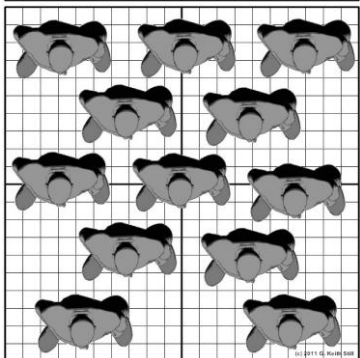
- Uitgangspunten voorstel
 - Groepsdichtheid
 - Gecoördineerd springen

Groepsdichtheid: staantribune

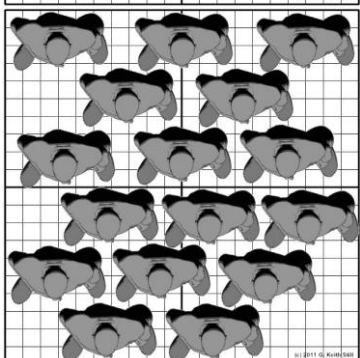
	Dichtheid (personen/m²)	Bron	Activiteit	Situatie
Metingen/ observaties	9,0	Tschechne (2022)	Stilstaande menigte	Hadj (Mekka), vlakke ondergrond
	7,7	Drewniok en Orr (2019)	Stilstaande menigte	Experiment, vlakke ondergrond
	6,6	Paloheimo en Allilo (1973)	Stilstaande menigte	Experiment, vlakke ondergrond
	4,4	RHDHV (2022a)	Springende menigte	Staantribune (Goffert)
	4,0	ABT (2022c)	Springende menigte	Staantribune (Abe Lenstra)
Limieten	6,0	Oberhagemann (2012)	Stilstaande menigte	Niet gespecificeerd
	6,0	ISO 10137 (2007)	Gecoördineerd springen	Niet gespecificeerd
	5,0	Still (2019)	Stilstaande menigte	Niet gespecificeerd
	4,7	Green Guide (SGSA, 2018)	Stilstaande menigte	Stadions, tribunes
	4,7	NEN-EN 13200-1 (2019)	Stilstaande menigte	Stadions, tribunes



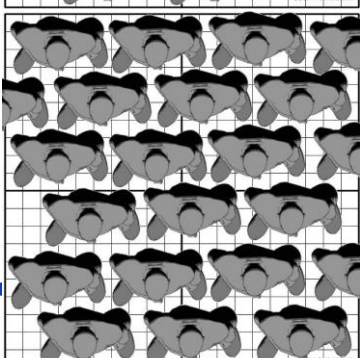
2 p/m²



3 p/m²



4 p/m²

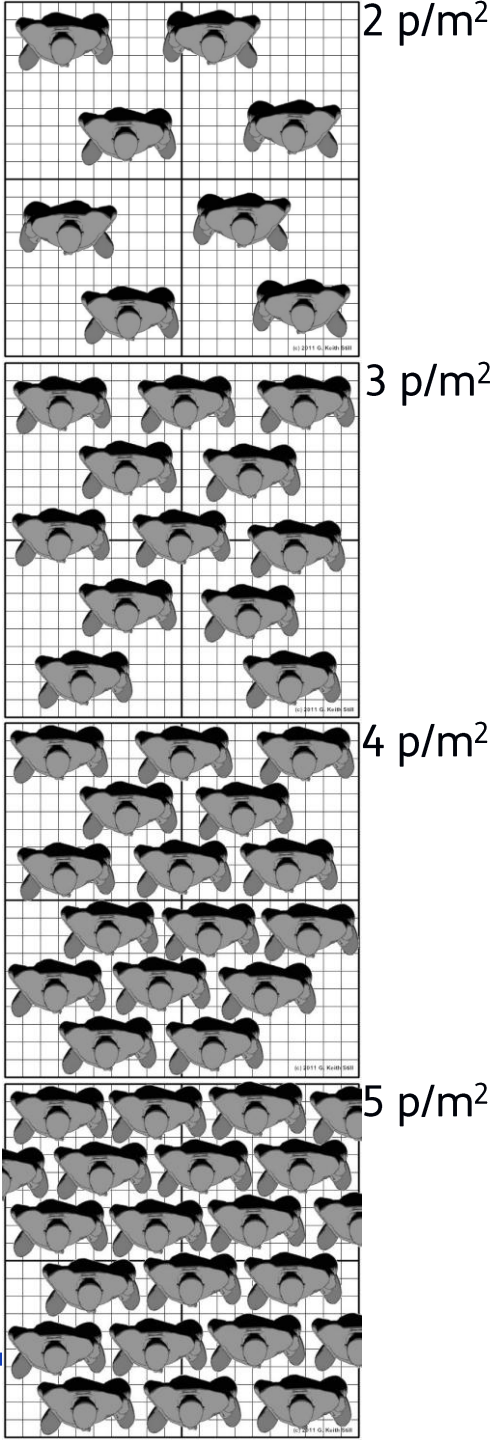


5 p/m²

Groepsdichtheid: staantribune

	Dichtheid (personen/m ²)	Bron	Activiteit	Situatie
Metingen/ observaties	9,0	Tschechne (2022)	Stilstaande menigte	Hadj (Mekka), vlakke ondergrond
	7,7	Drewniok en Orr (2019)	Stilstaande menigte	Experiment, vlakke ondergrond
	6,6	Paloheimo en Allilo (1973)	Stilstaande menigte	Experiment, vlakke ondergrond
	4,4	RHDHV (2022a)	Springende menigte	Staantribune (Goffert)
	4,0	ABT (2022c)	Springende menigte	Staantribune (Abe Lenstra)
Limieten	6,0	Oberhagemann (2012)	Stilstaande menigte	Niet gespecificeerd
	6,0	ISO 10137 (2007)	Gecoördineerd springen	Niet gespecificeerd
	5,0	Still (2019)	Stilstaande menigte	Niet gespecificeerd
	4,7	Green Guide (SGSA, 2018)	Stilstaande menigte	Stadions, tribunes
	4,7	NEN-EN 13200-1 (2019)	Stilstaande menigte	Stadions, tribunes

Voorstel: 5 personen/m²



Gecoördineerd springen

- Sfeervakken (ultras)
- Aansturing (capo)
- Ritme (trommels, muziek)



Gebruiksklassen

- Huidig

- C2 Vaste zitplaatsen
- C5 Grote mensenmassa's

- Voorstel

- | | | |
|-------|--|-----------------------------|
| • C21 | Wel vaste barrières (4 p/m ²) | Geen gecoördineerd springen |
| • C22 | Wel vaste barrières (4 p/m ²) | Wel gecoördineerd springen |
| • C51 | Geen vaste barrières (5 p/m ²) | Geen gecoördineerd springen |
| • C52 | Geen vaste barrières (5 p/m ²) | Wel gecoördineerd springen |

Gebruiksbelastingen

- Huidig
 - C2 $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$
 - C5 $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

Gebruiksbelastingen

- Huidig

- C2 $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$
- C5 $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

- Observaties

- Gebaseerd op beperkte set metingen
- Gebruiksbelastingen niet goed herleidbaar
- Geen probabilistische basis

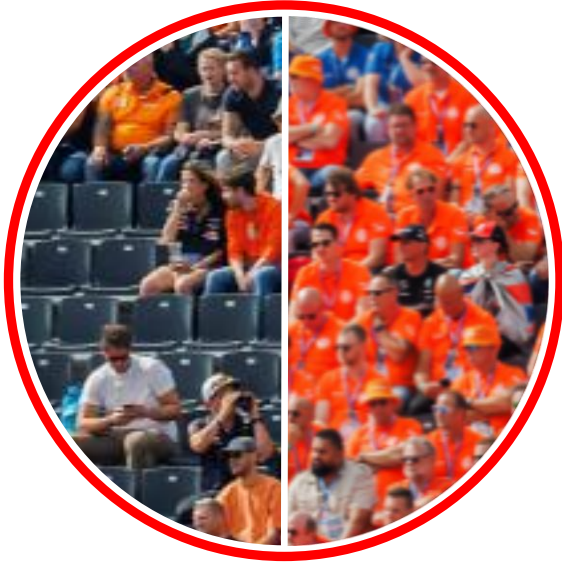
Tabel 3.11 Vloerbelasting veroorzaakt door bewegingen van personen

Sentler [17] Activiteit	Factor dynamisch / statisch	Paloheimo [18] Activiteit	Maximaal waargenomen belasting
dansen	3,5	dansen	2,9 - 5,0
springen	4,0	springen	2,3 kN/m ²
langzaam ver- plaatsende menigte	1,1	stilstaande menigte	5,5 kN/m ²
lopen	1,5	party	4,0 kN/m ²
hardlopen	3,0	party in ruimte die gedeeltelijk met stoelen is gevuld	2,4 kN/m ²
plaats springen	5,0	opstaan uit stoelen	3,4 kN/m ²

TNO B-89-227 (1989)

Gebruiksbelastingen

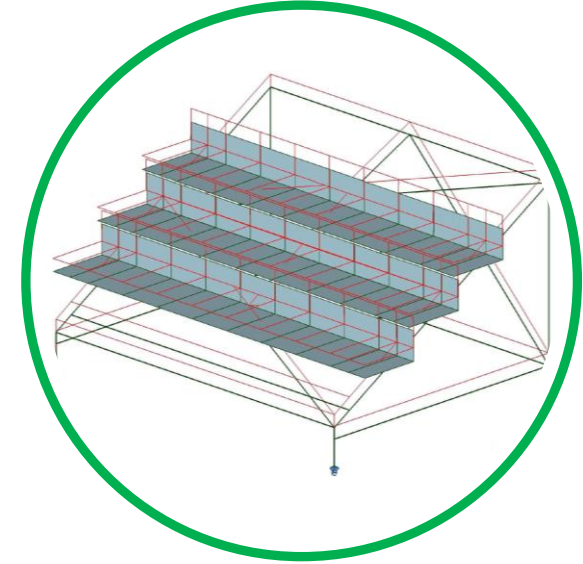
Groep



Springdynamica



Constructiedynamica



$$q = q_{stat} \cdot \varphi_{sprong} \cdot \varphi_c$$

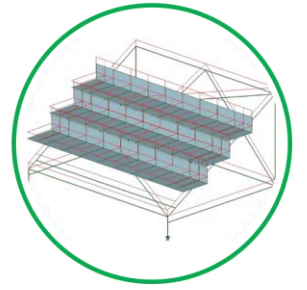
Gebruiksbelastingen



Springdynamica



Constructiedynamica



Massaverdeling NL man (CBS, 2019)

$$q_{stat} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n m_i \cdot g$$

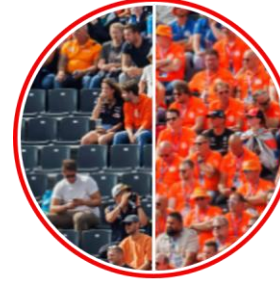
$$n = dA$$

$$d = 4 \text{ (C22) of } 5 \text{ (C52)}$$

Massa, m [kg]	Fractie van voorkomen [%]
minder 53	0,2
53-57	1
58-62	1,8
63-67	4,7
68-72	10,3
73-77	12,4
78-82	16,7
83-87	14,5
88-92	13
93-97	9,4
98-102	5,7
103-107	3,5
meer dan 108	6,7

Gebruiksbelastingen

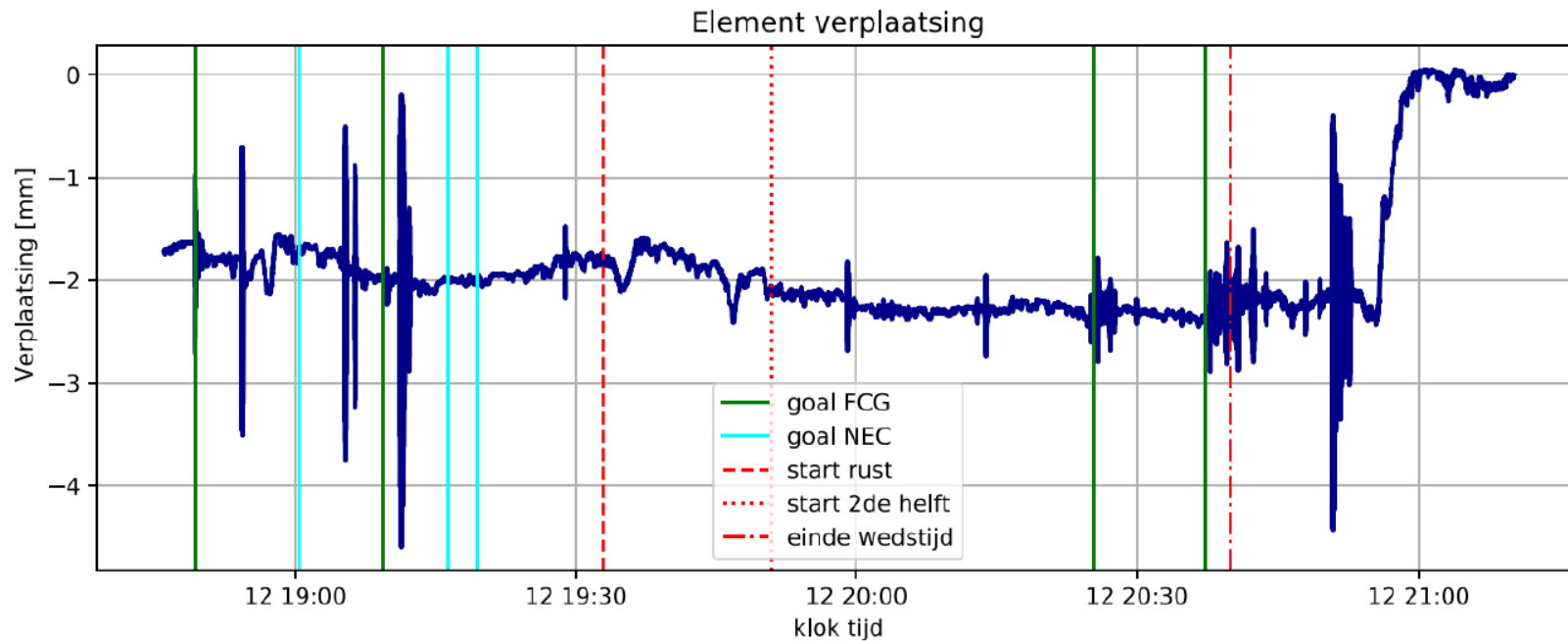
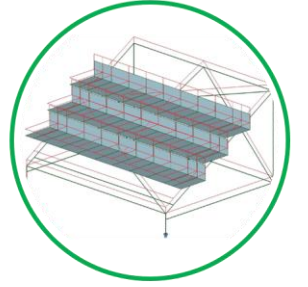
Groep



Springdynamica

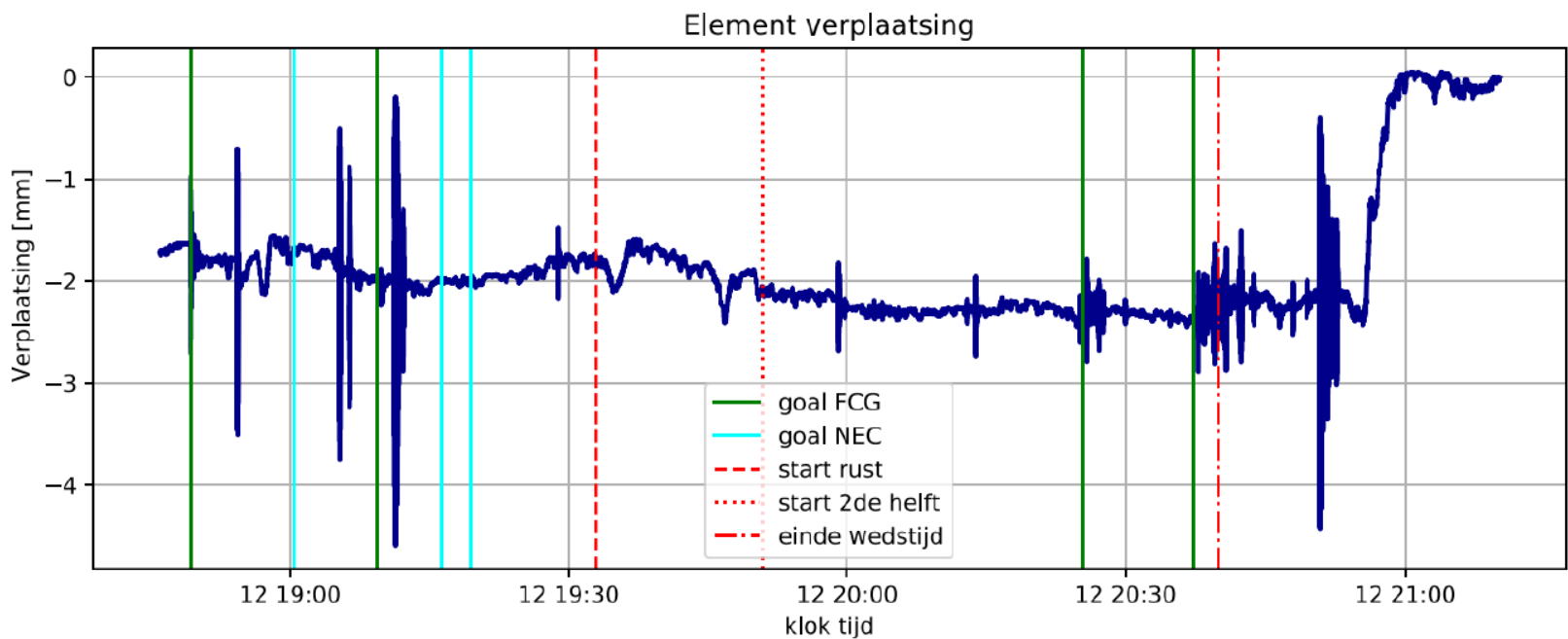


Constructiedynamica



abtWassenaar (2022a) – stadion FC Groningen (FC Groningen – NEC)

Gebruiksbelastingen



abtWassenaar (2022a) – stadion FC Groningen (FC Groningen – NEC)



Referentie	Wedstrijd	Tijdstip	DAF
abtWassenaar (2022a)	FC Groningen – NEC	18:50	1,6
		18:55	1,8
		19:05	2,0
		19:05	1,7
		19:10	2,3
abtWassenaar (2022a)	FC Groningen – Ajax	20:50	2,1
		16:30	2,5
		16:33	2,5
		16:35	2,4
		16:50	2,6
		17:00	2,2
		17:05	2,3
		18:35	1,6
ABT (2022b)	AZ – SC Heerenveen	16:05	1,4
ABT (2022c)	SC Heerenveen – Go Ahead Eagles	16:10	1,8
		14:40	2,5
		15:00	1,5
		15:05	2,1
		15:15	2,5
		15:55	2,3
		16:05	2,1
		16:25	1,4
RHDHV (2022b)	Ajax – SC Heerenveen	21:18	2,0
		21:46	2,1
		20:06	1,9
		21:18	2,3
RHDHV (2022b)	Ajax – SC Heerenveen	21:46	2,2
		20:06	1,8
		21:18	1,9
		21:46	2,5
		20:06	1,4
RHDHV (2022c)	FC Utrecht – Vitesse	21:00	2,3
		22:38	2,3

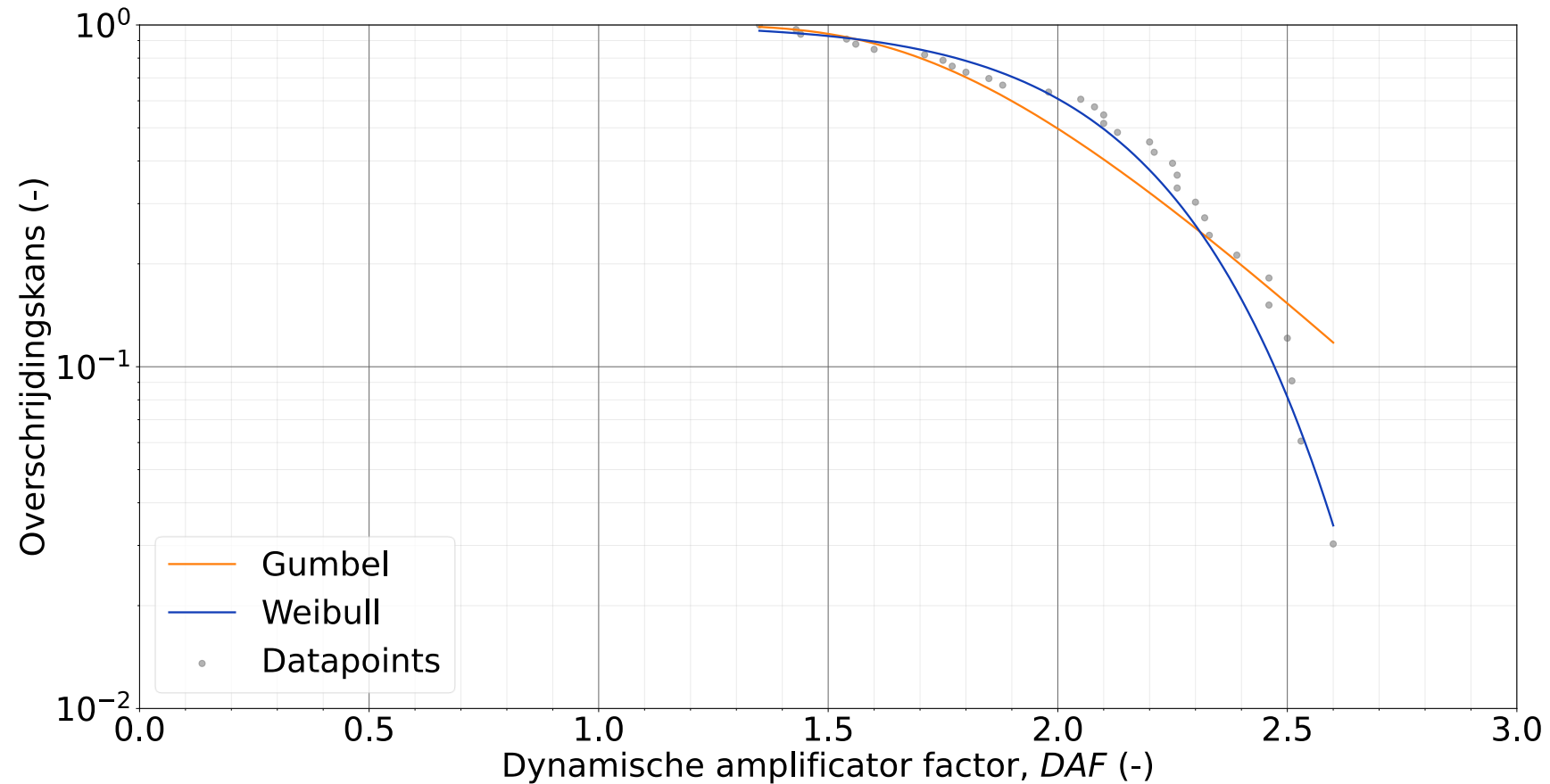
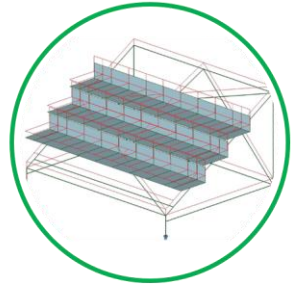
Gebruiksbelastingen



Springdynamica



Constructiedynamica



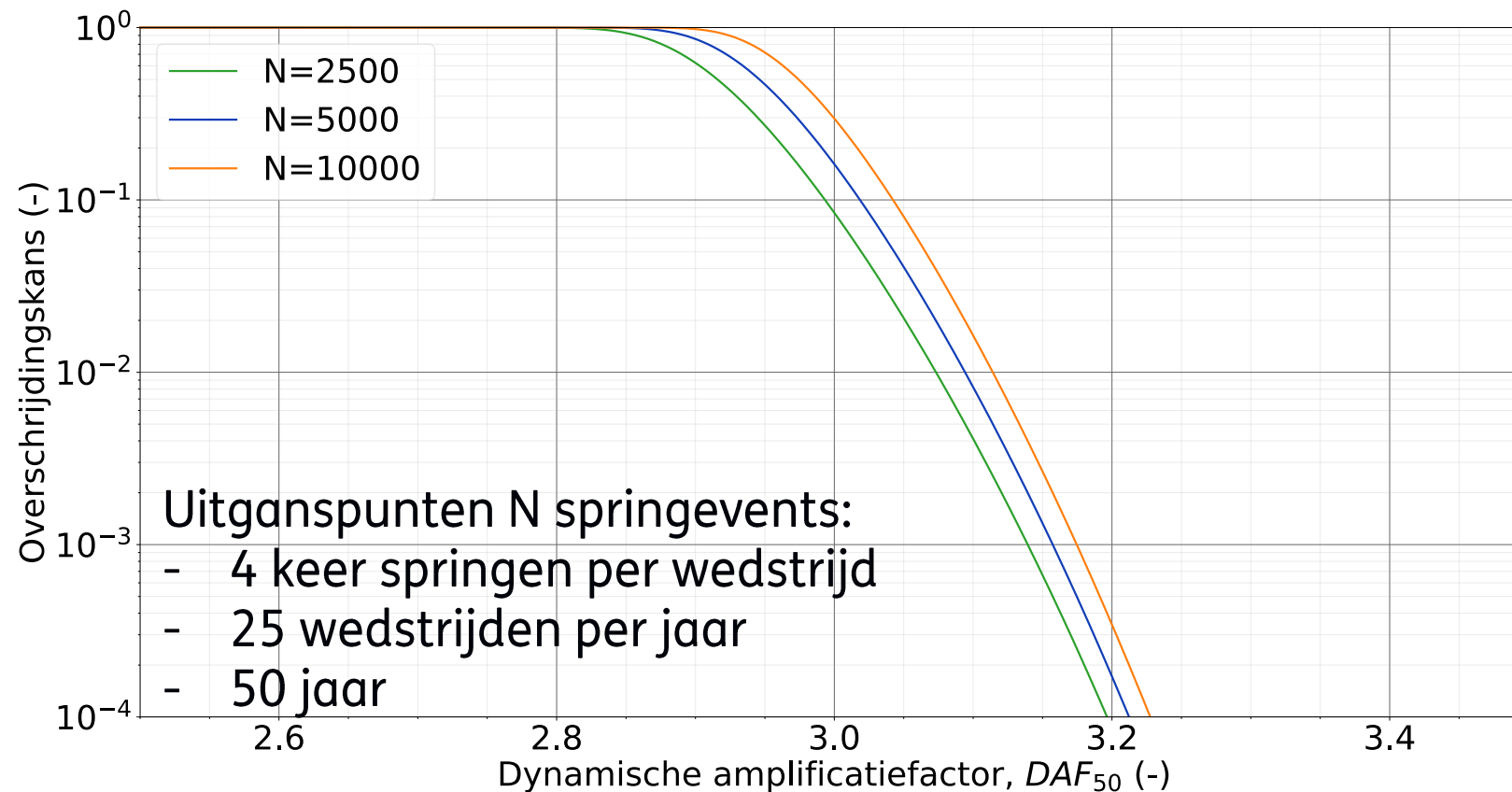
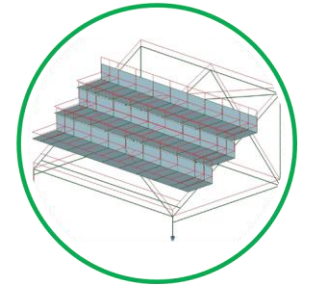
Gebruiksbelastingen



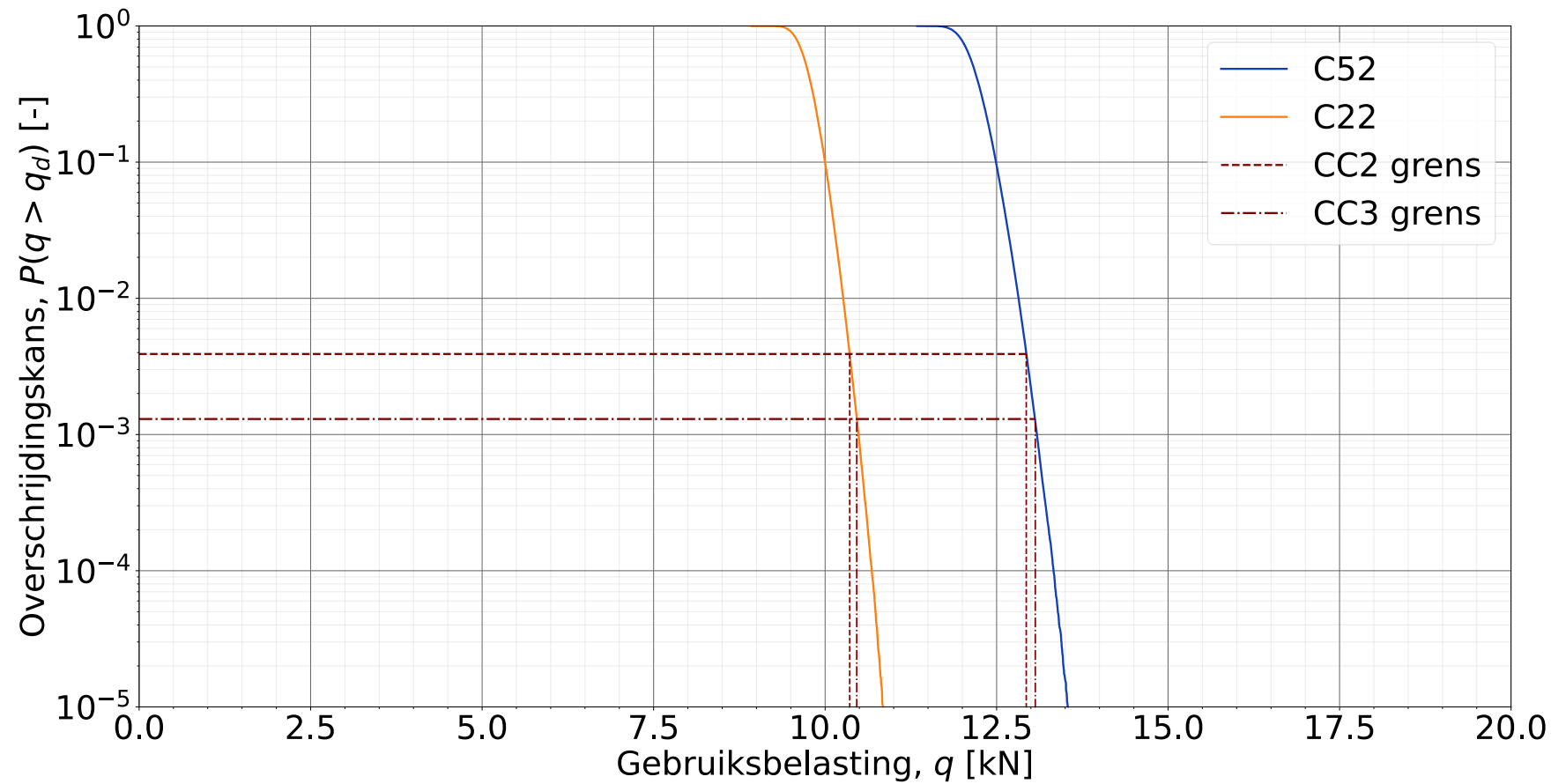
Springdynamica



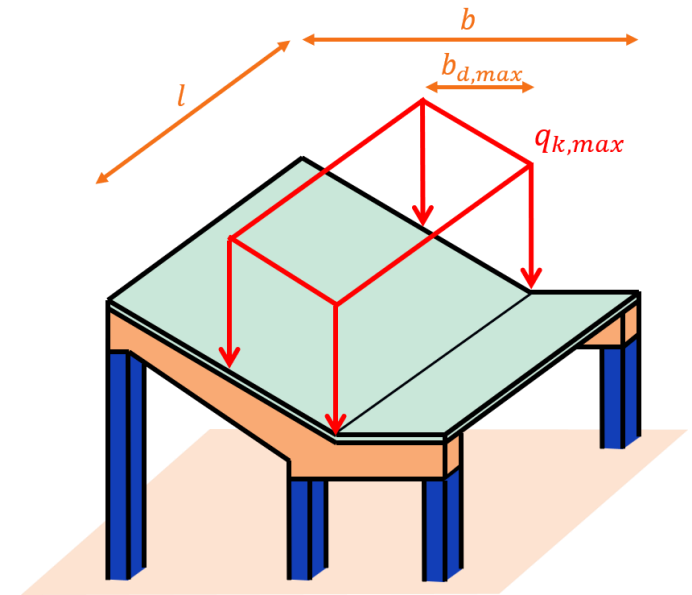
Constructiedynamica



Gebruiksbelastingen

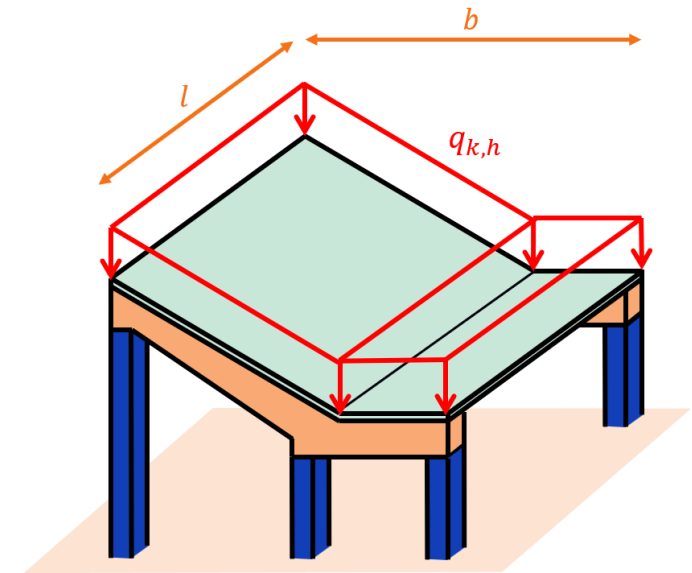


Gebruiksbelastingen



Gebruiksklasse	Groepsdichtheid d	Consequentieklasse	Rekenwaarde gebruiksbelasting F_d	Partiële belastingfactor γ_F	Karakteristieke waarde gebruiksbelasting $q_{k,max}$ [kN/m ²]
[-]	[p/m ²]	[-]	[kN/m ²]	[-]	
C22	4	CC2	10,4	1,5	6,9
C22	4	CC3	10,5	1,65	6,3
C52	5	CC2	12,9	1,5	8,6
C52	5	CC3	13,1	1,65	7,9

Gebruiksbelastingen



$$q_{k,h} = \frac{d_{vak}}{d_{max}} \cdot q_{k,max}$$

Gebruiksklasse	Gebruiksbelasting $q_{k,max}$	Groepsdichtheid d_{max}	Groepsdichtheid d_{vak}	Berekende gebruiksbelasting $q_{k,h}$	Voorstel gebruiksbelasting $q_{k,h}$
[-]	[kN/m ²]	[p/m ²]	[p/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]
C21	4,0	4,0	2,5	2,5	4,0
C22	7,0	4,0	2,5	4,4	5,0
C51	5,0	5,0	3,5	3,5	5,0
C52	8,5	5,0	3,5	6,0	6,0

Voorstel nieuwbouw

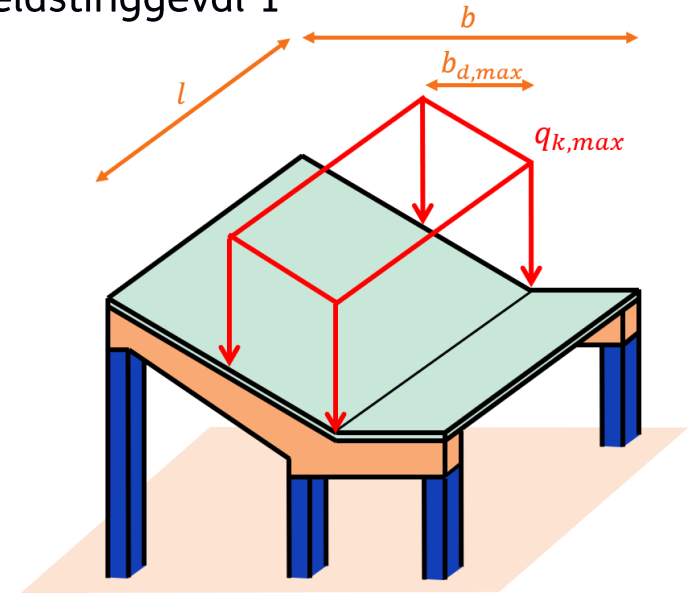
- Huidig

- C2 $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$
- C5 $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$

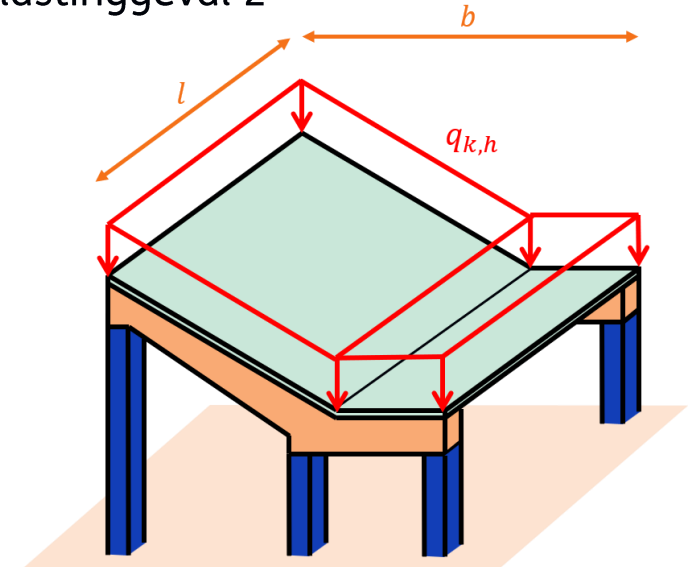
- Voorstel nieuwbouw

- C21 $q_{k,max} = 4,0 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 4,0 \text{ kN/m}^2$
- C22 $q_{k,max} = 7,0 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- C51 $q_{k,max} = 5,0 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 5,0 \text{ kN/m}^2$
- C52 $q_{k,max} = 8,5 \text{ kN/m}^2$ en $q_{k,h} = 6,0 \text{ kN/m}^2$

Belastinggeval 1



Belastinggeval 2



Conclusie

- Onderzoek springende mensen op tribunes
- Voorstel gebruiksbelastingen nieuwbouw
 - Eenvoudige modelketen
 - Metingen op tribunes
- Rapport gedeeld met NB commissie



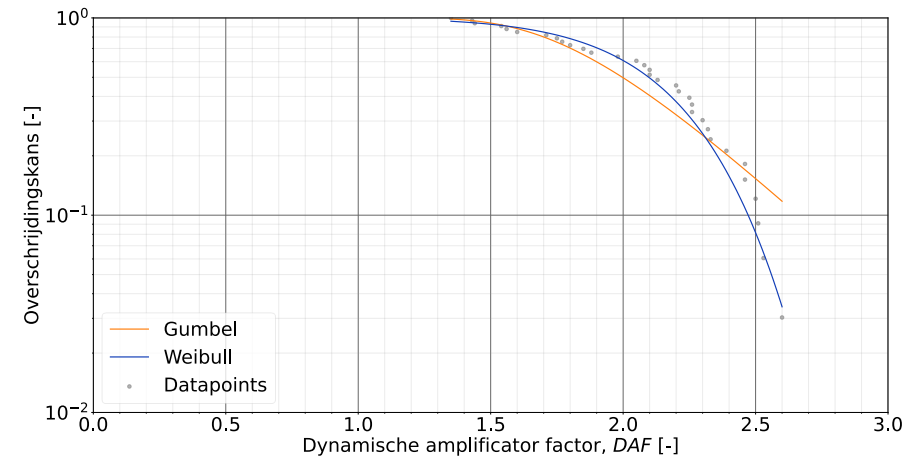
<https://repository.tno.nl/SingleDoc?docId=75771>

Vervolgonderzoek bestaande bouw

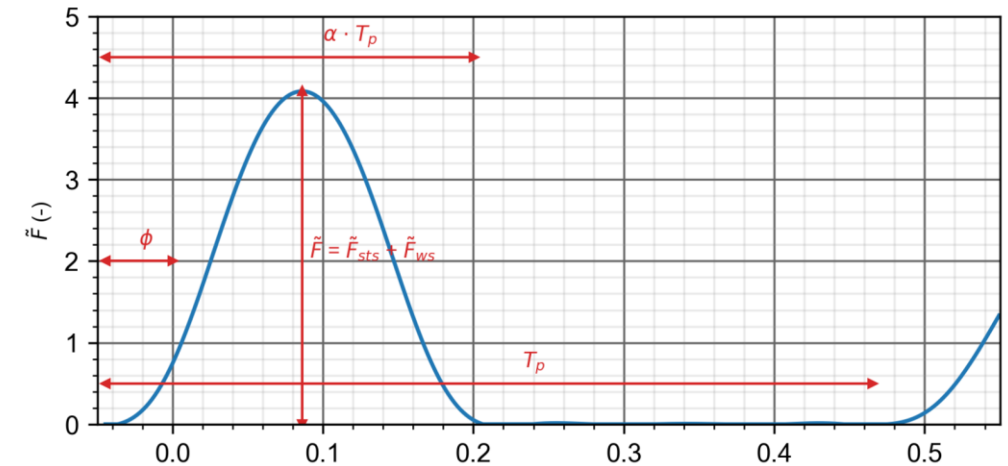
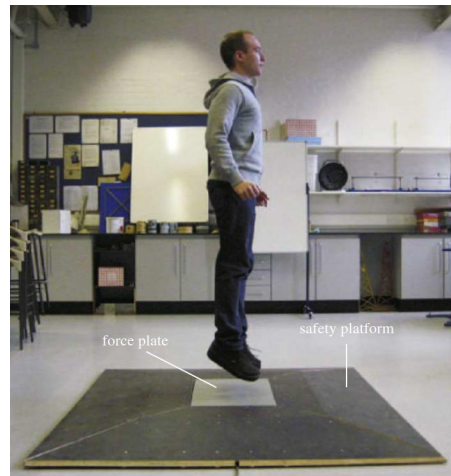
- Fase 1:
 - Een geavanceerde springbelastingmodelketen
 - Testen met springende mensen
- Fase 2:
 - Een uitgebreide probabilistische analyse naar springbelastingen
 - Een normvoorstel voor gebruiksbelastingen voor bestaande bouw

Geavanceerde modelketen

Huidig model (nieuwbouw)



Nieuw model (bestaande bouw)

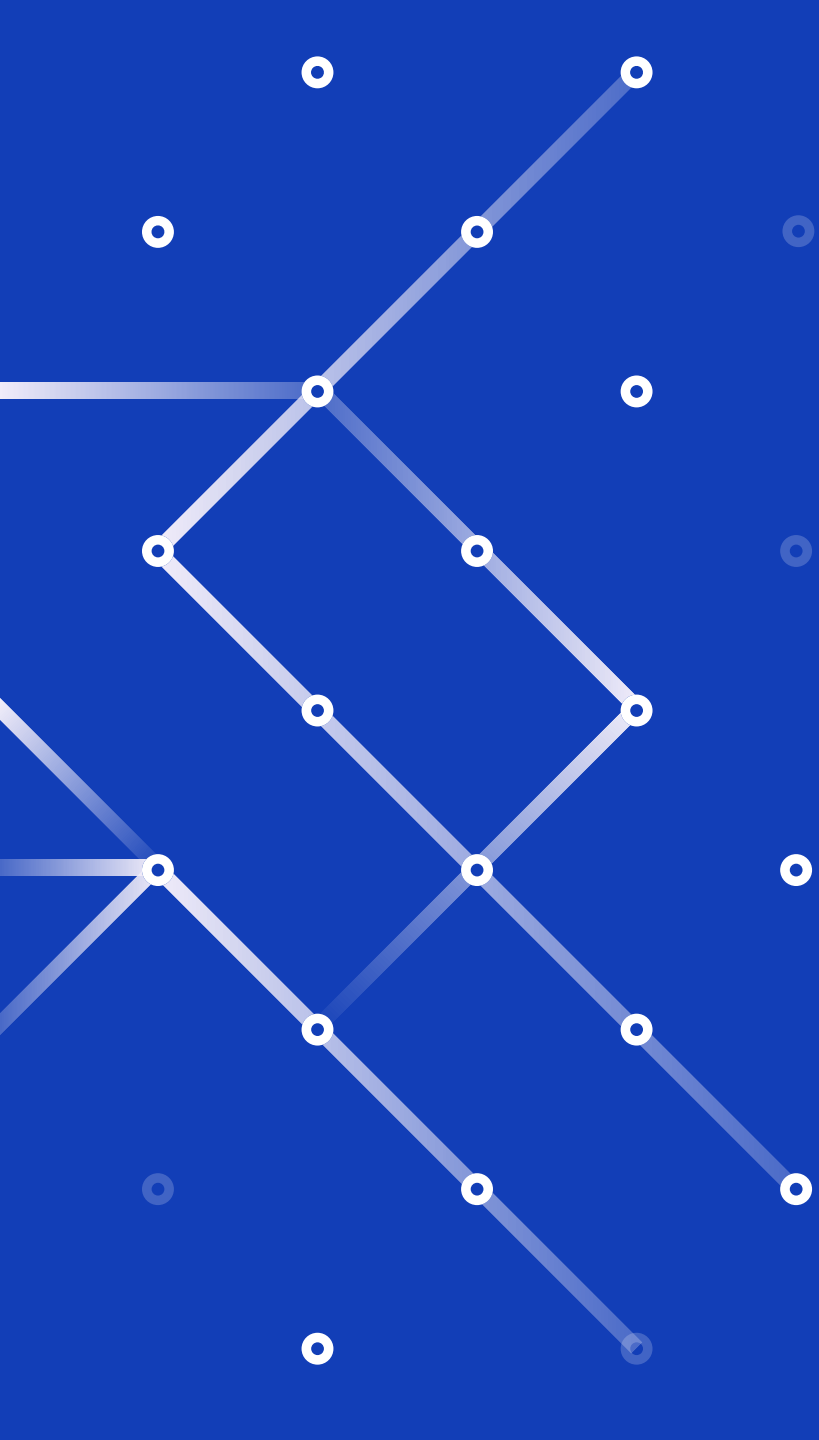


Springtesten



Interesse in deelname?

Mail nanma.gireesh@tno.nl en okke.bronkhorst@tno.nl



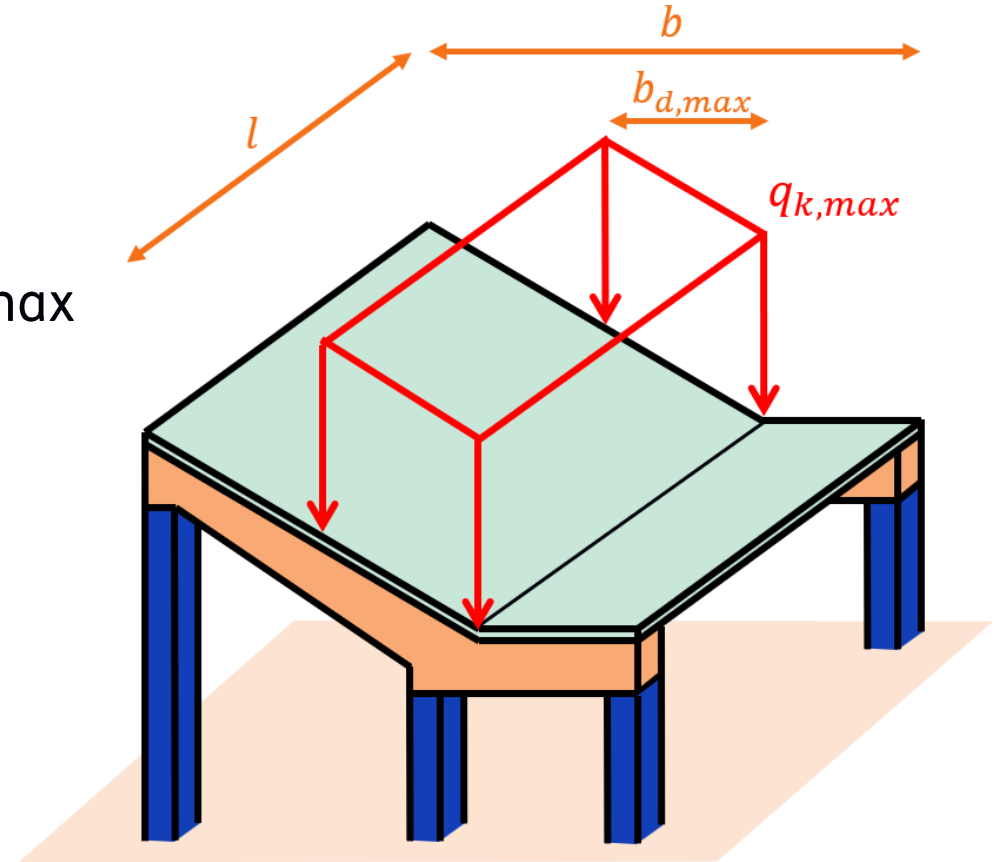
TNO innovation
for life

Zonebreedte $b_{d,max}$

Publiek op tribune met breedte b
concentreert in zone met breedte $b_{d,max}$

$$b_{d,max} = \min(n \cdot b; 20b_{rij})$$

$$n = \begin{cases} 0,625 & \text{Voor gebruiksklasse C22} \\ 0,70 & \text{Voor gebruiksklasse C52} \end{cases}$$



Dynamische effecten

- Huidig
 - Volledig dynamische berekening niet vereist voor (NEN-EN 1991-1-1/NB): relatief kleine constructiedelen met weinig demping en belast door ten hoogste 10 personen, waarvoor de eigenfrequentie niet kleiner is dan 8 Hz en bovendien is gerekend met een naar boven gerichte belasting van 50% van de neerwaarts gerichte gebruiksbelasting.

Dynamische effecten

- Gebruik gelijkwaardige statische belastingen (NEN-EN 1990)
 - alleen de laagste eigenfrequentie relevant voor belasting
 - lineair geometrisch gedrag en lineair materiaalgedrag
 - regelmatige geometrische, stijfheids- en massaverdeling
- Laagste eigenfrequentie (Britse NB)
 - Verticaal $f_n > 8,4 \text{ Hz}$
 - Horizontaal $f_n > 4,0 \text{ Hz}$

Dynamische effecten

- Huidig
 - Dynamische berekening niet vereist voor (NEN-EN 1991-1-1/NB):
relatief kleine constructiedelen met weinig demping en belast door ten hoogste 10 personen, waarvoor de eigenfrequentie niet kleiner is dan 8 Hz en bovendien is gerekend met een naar boven gerichte belasting van 50% van de neerwaarts gerichte gebruiksbelasting.
- Voorstel
 - Dynamische berekening niet vereist indien:
 - de verticale eigenfrequentie groter is dan 8,4 Hz en de horizontale eigenfrequentie groter is dan 4,0 Hz;
 - er sprake is van lineair geometrisch gedrag en lineair materiaalgedrag, voor betonnen constructies mag scheurvorming in rekening worden gebracht door met de gescheurde doorsnede te rekenen;
 - de constructie een regelmatige geometrische, stijfheids- en massaverdeling heeft.