

Memo overbelasten overbrenging

Overzicht onderzoeksresultaten TNO
betrouwbaarheid bewegingswerken

TNO 2025 R12170 – 14 oktober 2025

Memo overbelasten overbrenging

Overzicht onderzoeksresultaten TNO betrouwbaarheid bewegingswerken

Auteurs	R.D.J.M. Steenbergen C.H.H. van Battum F.E.M. Swaalf W.M.G. Courage A.J. Bronkhorst
Rubricering rapport	TNO Publiek
Titel	TNO Publiek
Rapporttekst	TNO Publiek
Aantal pagina's	21 (excl. voor- en achterblad)
Aantal bijlagen	0

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

© 2025 TNO

Inhoudsopgave

1	Gevolklassen in NEN-EN 1990 en NEN 8700.....	4
2	Windbelasting	6
2.1	NEN 6786-1:2021 – nieuw voorstel 2.3.2.1.....	6
2.2	NEN 6786-1:2021 – nieuw voorstel 2.3.2.2.....	12
3	Veiligheidsfactoren nieuwbouw en bestaande bouw.....	16
4	Referenties	20
5	Ondertekening.....	21

In onderhavig memo wordt een kort overzicht gegeven van de belangrijkste onderzoeksresultaten van het TNO onderzoek naar belastingen op en betrouwbaarheid van bewegingswerken van bruggen. De afgelopen twee jaar heeft TNO onderzoek gedaan naar de windbelasting op beweegbare bruggen en naar de benodigde veiligheidsfactoren voor nieuwbouw en bestaande bouw zoals deze in de verschillende belastingscombinaties moeten zijn gehanteerd. Uitgangspunt voor dit memo zijn de betrouwbaarheidseisen in NEN-EN 1990:2019 [1] voor nieuwbouw en NEN 8700:2020 [2] voor bestaande bouw.

Voor de totstandkoming van de inhoud in dit memo is een achtergrondrapportage beschikbaar, zie [3].

1 Gevolgklassen in NEN-EN 1990 en NEN 8700

Tabel NB.23 in NEN-EN 1990/NB:2019 [4] regelt in de Nederlandse bouwregelgeving de indeling van kustwerken in gevolgklassen. Bewegingswerken maken daar (nog) geen expliciet onderdeel van uit. Daarom wordt in [Tabel 1.1](#) een suggestie gedaan voor het indelen van bewegingswerken in gevolgklassen. Daarin is meegenomen dat, conform NEN-EN 1990/NB:2019 [4], voor een onderdeel van de brug waarvan bezwijken leidt tot een kleinere gevolgschade dan voor het geheel, de gevolgklasse kan zijn aangepast.

Tabel 1.1: Indeling onderdelen van mechanische uitrusting en brugbewegingsmechanisme in gevolgklassen volgens NEN-EN 1990:2019/NB:2019 [4]

Gevolgklasse	Beschrijving	Type (onderdelen van) mechanische uitrusting en brugbewegingsmechanisme
CC1A	Kleine economische schade en geen gevaar voor mensenlevens.	<ul style="list-style-type: none"> • Geen of nauwelijks beroepsvaart en/of geen economische vaarweg. • Geen economisch belangrijke verbinding voor wegverkeer. EN <ul style="list-style-type: none"> • Falen leidt tot geen gevaar voor mensenlevens (bijvoorbeeld personen op de passerende boten).
CC1B	Kleine economische schade en beperkte schade in termen van mensenlevens.	<ul style="list-style-type: none"> • Geen of nauwelijks beroepsvaart en/of geen economische vaarweg. • Geen economisch belangrijke verbinding voor wegverkeer. • Onderdelen van bruggen in het onderliggende wegennet waarvan falen leidt tot beperkte hinder en schade. Te denken valt ook aan een snel beschikbaar en snel vervangbaar onderdeel.
CC2	Middelmatige economische schade en middelmatige schade in termen van mensenlevens.	Alles niet in CC1 en CC3.
CC3	Grote economische schade of grote schade in termen van mensenlevens.	<ul style="list-style-type: none"> • Zeehavengebied of vaarweg met zeegaande vaart én grote economische schade voelbaar op nationaal niveau.
Opmerkingen: <ul style="list-style-type: none"> • Indien het falen van het onderdeel alleen gevolgen heeft voor de beschikbaarheid van de brug en niet voor de betrouwbaarheid van het brugbewegingsmechanisme mag dit meegenomen worden in de indeling in gevolgklassen. • Gevolgen dienen ook te worden beschouwd in termen van voortschrijdende instorting. 		

In **Tabel 1.2** is weergegeven welke betrouwbaarheid geëist wordt voor elk van de gevolgklassen in NEN-EN 1990:2019/NB:2019 [4] voor nieuwbouw en in NEN 8700:2020 [2] voor bestaande bouw.

Tabel 1.2: Betrouwbaarheidseisen bouwwerken gebaseerd op NEN-EN 1990:2019/NB:2019 [4] voor nieuwbouw en NEN 8700:2020 [2] voor bestaande bouw. De tabel is identiek aan Tabel B.2 uit NEN 8700:2020 [2]

Gevolgklasse	Eis nieuwbouw voor $T_{ref}=50$ of 100 jaar	Eis bestaande bouw (verbouw) voor $T_{ref}=15$ jaar	Eis bestaande bouw (afkeur)
CC1A	$\beta=3.3$	$\beta=2.8$	$\beta=1,8$; T_{ref} minimaal 1 jaar
CC1B	$\beta=3.3$	$\beta=2.8$	$\beta=1,8$; T_{ref} minimaal 15 jaar
CC2	$\beta=3.8$	$\beta=3.3$	$\beta=2.5$; T_{ref} minimaal 15 jaar
CC3	$\beta=4.3$	$\beta=3.8$	$\beta=3.3$; T_{ref} minimaal 15 jaar

2 Windbelasting

Windbelasting is een belangrijke belasting op het val en daarmee op de bewegingswerken van bruggen. De huidige NEN 6786-1:2021 [5] bevat aangaande de windbelasting bepalingen die nog niet geharmoniseerd zijn met de Eurocode NEN-EN 1991-1-4:2011 [6] en welke doorgaans aan de conservatieve kant zijn. TNO heeft gekeken naar de (internationale) state of the art en geconcludeerd dat overstappen naar de Eurocode bepalingen verantwoord is met enkele aanmerkingen. Ook heeft TNO onderzoek gedaan of de bepalingen voor de karakteristieke waarde van de windbelasting aangevuld met de veiligheidsfactoren in de belastingscombinaties (zie hoofdstuk 3) leiden tot voldoende betrouwbaarheid.

Dit betekent dat in NEN 6786-1:2021 [5] de paragrafen 2.3.2.1 en 2.3.2.2 kunnen worden vervangen door onderstaande bepalingen.

2.1 NEN 6786-1:2021 – nieuw voorstel 2.3.2.1

2.3.2.1 Algemeen

(1) Voor de windbelasting moet onderscheid zijn gemaakt tussen de windbelasting op de brug tijdens en buiten de bewegingscyclus. De in rekening te brengen windbelasting is afhankelijk van het windgebied, het aantal uren per jaar dat de brug niet-bedienbaar mag zijn, en het aantal openingen en de openingsduur.

(2) Gerekend moet zijn dat de wind de brug zowel openend als sluitend kan belasten.

(3) De windbelasting moet voor bascule-, ophaal- en draaibruggen zijn herleid tot een moment $M_{w;brug}$ op de draaiingsas van de brug en voor hefbruggen moet de windbelasting zijn herleid tot een kracht $F_{w;brug}$ op het val. Aangenomen moet zijn dat de stuwdruk $q_p(z_e)$ – ongeacht de openingshoek van de brug – loodrecht op het val staat.

$$M_{w;brug} = 1,05 \cdot c_s c_d \cdot c_f \cdot \sum q_p(z_e) \cdot S \quad (1)$$

$$F_{w;brug} = 1,05 \cdot c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{val} \quad (2)$$

met:

$$q_p(z_e) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \left(c_{dir} \cdot c_{prob} \cdot c_o \cdot v_{m,k} \cdot 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} \cdot \ln \left(\frac{z_e}{z_0} \right) \right)^2 \cdot \left(1 + \frac{7 \cdot k_1}{c_o(z_e) \cdot \ln \left(\frac{z_e}{z_0} \right)} \right) \quad (3)$$

waarin:

$q_p(z_e)$ is de extreme stuwdruk op hoogte z_e in N/m^2 ;

$c_s c_d$ is de bouwwerkfactor;

c_f is de krachtcoëfficiënt voor de constructie of het constructie-element;

S	is het statisch moment van het door de wind getroffen oppervlak(ken) van het val ten opzichte van de draaiingsas(sen) van de brug in m^3 ;
A_{val}	is het door de wind getroffen oppervlak van het val in m^2 ;
ρ	is de dichtheid van de lucht, gelijk aan $1,25 \text{ kg/m}^3$;
c_{dir}	is de windrichtingsfactor;
c_{prob}	is de waarschijnlijkheidsfactor;
c_o	is de orografiefactor op referentiehoogte z_e , gelijk aan $1,0$.
$v_{m,k}$	is de karakteristieke waarde van de 10-minuten gemiddelde maximale windsnelheid in m/s (tijdens opening bij een bepaald aantal uren per jaar niet-bediendbaar) op 10 m hoogte boven maaiveld voor de standaard terreinruwheidslengte $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$, zie paragraaf 2.3.2.2 voor nadere uitleg;
z_0	is de ruwheidslengte in m volgens NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB+C2:2023;
$z_{0,II}$	is de referentie terreinruwheidslengte behorend bij terreincategorie II (volgens NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2019+C2:2023) $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$;
z_e	is de referentiehoogte in m ;
k_1	is de turbulentiefactor gelijk aan $1,0$;

OPMERKING 1 De factor $1,05$ is toegevoegd in verband met de onnauwkeurigheid in de meting van de windsnelheid waarbij de brug mag worden geopend. Desgewenst kan de normcommissie hier een differentiatie aanbrenge op basis van de kwaliteit van de meting.

OPMERKING 2 De krachtcoëfficiënt c_f is gelijk aan de windvormfactor C_t uit NEN 6786-1:2021.

OPMERKING 3 Het maaiveld wordt bepaald door de laagste waarde van de gemiddelde waterstand of het aansluitende terrein.

(4) Voor z_e moet per windsector de afstand van het hoogste punt van het val tot de laagste waarde van i) de gemiddelde waterstand en ii) het aansluitende terrein zijn genomen. Het hoogste punt van het val moet zijn bepaald voor de stand van de brug die wordt beschouwd. De minimale waarde voor z_e is afhankelijk van de terreincategorie volgens NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB+C2:2023.

(5) Voor de bouwwerkfactor kan als algemeen veilig geachte waarde $c_s c_d = 1,05$ zijn genomen indien sprake is van voorzieningen die een substantiële bijdrage aan de demping leveren (uitgegaan wordt van een dempingsmaat $D = 2\%$, zoals door een bufferveer opgebouwd uit schotelveren). Indien deze voorzieningen niet aanwezig zijn kan een waarde $c_s c_d = 1,2$ zijn aangehouden (uitgegaan wordt van $D = 0,5\%$, zoals een situatie zonder bufferveer of wanneer de bufferveer niet aangesproken wordt).

(6) Als alternatief voor (5) mag de waarde van $c_s c_d$ voor elektromechanische aandrijvingen ook volgens NEN-EN 1991-1-4:2011 zijn bepaald. De procedure in NEN-EN 1991-1-4:2011 is alleen geldig voor openingshoeken van het val gelijk aan en groter dan 75 graden. De waarde van $c_s c_d$ moet worden bepaald voor een volledig geopende stand. Deze waarde is van toepassing voor het hele openingsregime, behalve als de bepaalde waarde kleiner is dan $c_s c_d = 1,0$. Indien de bepaalde $c_s c_d$ waarde kleiner is dan $1,0$, dan is deze waarde van toepassing voor openingshoeken van het val gelijk aan en groter dan 75 graden. Voor

openingshoeken kleiner dan 60 graden moet $c_s c_d = 1,0$ worden aangehouden. Voor openingshoeken tussen 60 en 75 graden kan de $c_s c_d$ waarde worden bepaald door middel van lineaire interpolatie.

NEN-EN 1991-1-4:2011 definieert de bouwwerkfactor $c_s c_d$ als volgt:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_s)} \quad (4)$$

waarin:

- k_p is de piekfactor vastgesteld als de verhouding tussen de maximale waarde van het fluctuerend deel van de respons en de standaardafwijking;
- I_v is de turbulentie-intensiteit zie NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011;
- z_s is de referentiehoogte voor de bouwwerkfactor in m, zie NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2019+C2:2023;
- B^2 is de achtergrondresponsfactor, die het gebrek aan volledige correlatie van de druk op de oppervlakte van de constructie in rekening brengt;
- R^2 is de resonantieresponsfactor, die turbulentie in resonantie met de trillingsvorm in rekening brengt.

Voor de bepaling van k_p , B^2 en R^2 dient bijlage C uit NEN-EN 1991-1-4:2011 te zijn gehanteerd.

De referentiehoogte voor de bouwwerkfactor z_s mag zijn berekend met:

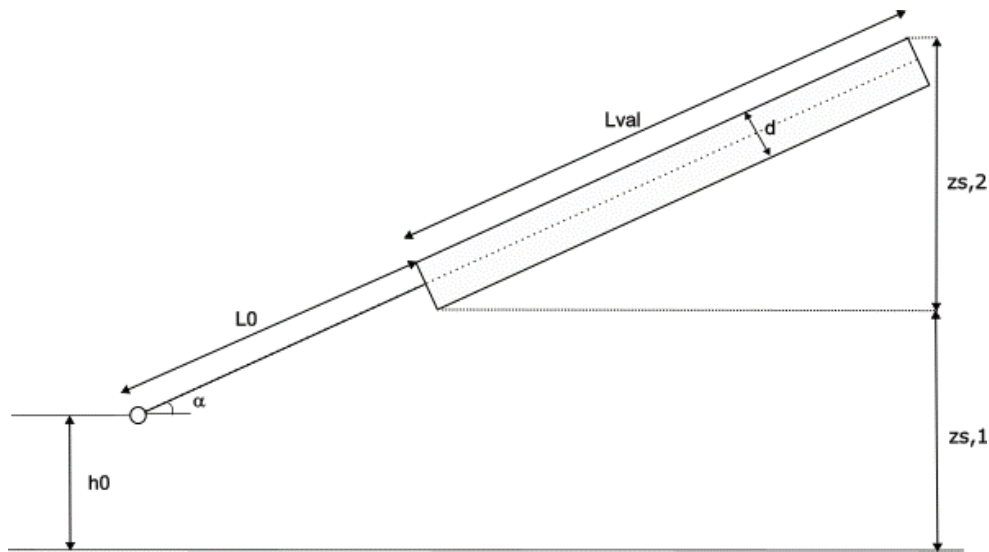
$$z_s = h_0 + L_0 \cdot \sin(\alpha) + 0,5L_{val} \cdot \sin(\alpha) \quad (5)$$

waarin:

- h_0 is de hoogte van het draaipunt van het bewegingswerk ten opzichte van het maaiveld in m (zie [Figuur 2.1](#));
- L_0 is de afstand van het draaipunt tot de onderzijde van het gesloten deel van het val in m (zie [Figuur 2.1](#));
- L_{val} is de lengte van het gesloten deel van het val in m;
- α is de openingshoek in graden.

Bij het bepalen van k_p , B^2 en R^2 volgens bijlage C uit NEN-EN 1991-1-4:2011, gelden de volgende uitgangspunten:

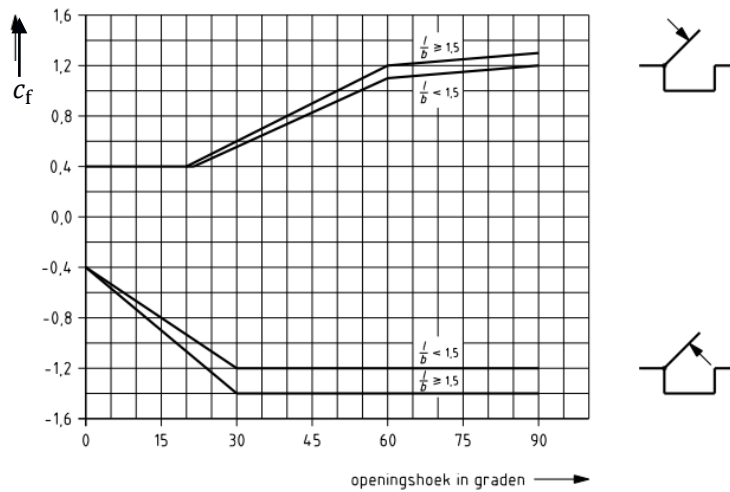
- G_y en G_z hangen af van de trillingsvorm volgens NEN-EN 1991-1-4:2011. Hier mogen de waarden $G_y = 1/2$ en $G_z = 3/8$ zijn gebruikt.
- Bij bepaling van de achtergrondresponsfactor B^2 en de parameters φ_y en φ_z in de afmetingsreductiefactor $K_s(n_{1,x})$ zijn b en h de breedte en hoogte van het oppervlak waar de drukfluctuaties op werken. Voor b dient de breedte van het val B_{val} en voor h dient de lengte van het val L_{val} gebruikt te worden. De hoogte is daarmee onafhankelijk van de openingshoek α .



Figuur 2.1: Schematisering geometrische eigenschappen brugval t.b.v. c_d berekening.

- Rekening moet zijn gehouden met de laagste eigenfrequentie van de brug inclusief de aandrijving. Bij de bepaling van de eigenfrequentie moet de stijfheid van alle onderdelen van het brugbewegingsmechanisme tussen de rem en het val zijn meegenomen. Bij ophaalbruggen moet de stijfheid van de consoles en de dwarsdrager waarop het bewegingswerk is gemonteerd zijn meegenomen en bij basculebruggen de stijfheid van de hoofdliggers. De eigenfrequentie moet zijn bepaald voor de stand van het val waarbij de eigenfrequentie het laagst is.
- Als waarde voor de dempingsmaat mag voor bruggen waarbij in brugbewegingswerk een buffer opgebouwd uit schotelveren is toegepast 2% en voor bruggen zonder buffer 0,5% zijn aangehouden, tenzij is aangetoond dat een andere waarde van toepassing is.

(7) Voor bascule- en ophaalbruggen moet de krachtcoëfficiënt voor de horizontale windbelasting in dwarsrichting van de brug, zowel tijdens als buiten de bewegingscyclus, zijn bepaald volgens NEN-EN 1991-1-4:2011. Voor de verticale windbelasting op het val (wind op of onder het val) moet voor elke openingshoek van het val zijn gerekend met de krachtcoëfficiënt c_f volgens **Figuur 2.2** in het geval van plaatliggerbruggen. Voor de gesloten stand van de brug buiten de bewegingscyclus moet, bij een helling van het brugdek in dwarsrichting van het val die kleiner of gelijk is aan 1:40, voor de verticale windbelasting op het val (wind op of onder het val) zijn gerekend met een krachtcoëfficiënt $c_f = 0.4$ en $c_f = -0.4$. Indien de helling van het brugdek in dwarsrichting van het val groter is dan 1:40, dan moet voor de waarde van de krachtcoëfficiënt $c_{f,z}$ volgens 8.3.3 van NEN-EN 1991-1+A1+C2:2011/NB+C2:2023 zijn aangehouden.



Figuur 2.2: De krachtcoëfficiënt als functie van de openingshoek van de brug, voor bascule- en ophaalbruggen met een rechthoekig val en gesloten dek.

OPMERKING 1 l/b is de verhouding tussen de lengte en de breedte van het door de wind belaste deel van het val. Interpolatie tussen de in **Figuur 2.2** gespecificeerde krachtcoëfficiënten is niet toegelaten. Bij een negatieve waarde van de krachtcoëfficiënt wordt de brug door de wind in openende richting belast, bij positieve waarden in sluitende richting. Voor een openingshoek van 0° is c_f de krachtcoëfficiënt voor het bepalen van de liftkracht als gevolg van de wind.

OPMERKING 2 Voor schuine bruggen mag de verhouding l/b zijn bepaald op basis van de lengten van de zijden van het val van de schuine brug.

OPMERKING 3 De krachtcoëfficiënten in **Figuur 2.2** zijn niet van toepassing voor bascule- en ophaalbruggen met een kokervorm.

(8) Voor draai- en hefbruggen moet de krachtcoëfficiënt van de wind voor horizontale windbelasting in dwarsrichting van de brug, zowel tijdens als buiten de bewegingscyclus, zijn bepaald volgens NEN-EN 1991-1-4:2011. Voor de verticale windbelasting (wind op of onder het val) moet in het geval van plaatliggerbruggen, bij een helling van het brugdek in dwarsrichting van het val die kleiner of gelijk is aan 1:40, zijn gerekend met een krachtcoëfficiënt van respectievelijk $c_f = c_{f,z} = 0,4$ en $c_f = c_{f,z} = -0,4$. Indien de helling van het brugdek in dwarsrichting van het val groter is dan 1:40, dan moet voor de waarde van de krachtcoëfficiënt c_f de krachtcoëfficiënt $c_{f,z}$ volgens 8.3.3 van NEN-EN 1991-1-4:2011/NB+C2:2023 zijn aangehouden.

OPMERKING Indien een nauwkeurigere bepaling van c_f gewenst is, wordt aangeraden een windtunneltest uit te voeren.

(9) Voor situaties waar deze norm geen krachtcoëfficiënten specificeert, is NEN-EN 1991-1-4:2011 van toepassing.

(10) Het statisch moment om de draaiingsas mag zijn bepaald met de referentieoppervlakken die behoren bij de referentiehoogten z_e volgens 7.2.2 in NEN-EN 1991-1-4:2011/NB+C2:2023. Indien is afgezien van een nauwkeurige bepaling van het referentieoppervlak van het statisch moment om de draaiingsas, dan moet het hoogste punt van het val in geopende stand zijn aangehouden.

(11) Voor het bepalen van de windbelasting op bascule- en ophaalbruggen moet het direct getroffen oppervlak van het val en de invloed van alle direct getroffen oppervlakken die met het val meebewegen, zoals balansen, hangstangen, contragewichten en dergelijke in rekening zijn gebracht. Hierbij moet onderscheid zijn gemaakt tussen de gunstige en ongunstige invloed van de windbelasting.

(12) Bij achter elkaar liggende oppervlakken tot een maximum van 5 oppervlakten achter elkaar moet het totale oppervlak zijn bepaald volgens NEN-EN 1991-1-4:2011/NB+C2:2023. In het geval van meerdere oppervlakten achter elkaar wordt aanbevolen de regel toe te passen zoals deze in de Duitse Nationale Bijlage bij EN 1991-1-4+A1+C2:2011 is opgenomen, conform de aanbeveling in TNO-2021-R10531 [7].

(13) Voor zowel in horizontale als in verticale richting moet bij draaibruggen een factor 0,5 in rekening zijn gebracht voor die arm waarvan het statisch moment ten opzichte van de draaiingsas (resp. kantellijn) het kleinst is.

(14) Voor de delen van het brugdek waarin roosters zijn toegepast, mag voor de bepaling van A_{val} en S_{mom} 30 % van het met roosters bedekte oppervlak in rekening zijn gebracht, indien het gesloten roosteroppervlak maximaal 25 % is van het totale roosteroppervlak. Hierbij mogen zich voor of achter het rooster geen delen bevinden, die een vrije doorstroming van de wind kunnen belemmeren.

(15) Voor c_{dir} dient de waarde $c_{dir} = 1,0$ aangehouden te worden.

OPMERKING Het is mogelijk een $c_{dir} < 1,0$ toe te passen voor verscheidene windrichtingen. Echter, dit behoeft nog extra uitwerking bijvoorbeeld in een nog te schrijven bijlage bij dit hoofdstuk.

(16) De parameter c_{prob} is een waarschijnlijkheidsfactor om het effect van de karakteristieke windbelasting met een andere referentieperiode dan 50 jaar te berekenen zoals bij de beoordeling van bestaande bouw. De formule is gebaseerd op een Gumbel-verdeling voor de windsnelheid. De volgende formule conform NEN-EN 1991-1-4:2011 dient te zijn aangehouden:

$$c_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^N \quad (6)$$

$$p = 1 - \exp\left(-\frac{1}{T}\right) \quad (7)$$

De waarden voor K en N zijn gegeven in NEN-EN 1991-1-4:2011/NB+C2:2023 en zijn weergegeven in [Tabel 2.1](#). In vergelijking (7) dient de referentieperiode T in jaren ingevuld te worden.

Tabel 2.1: De factoren K en N voor toepassing in Nederland op basis van NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2019+C2:2023 met bijbehorende waarden voor c_{prob}

Windgebied	I	II	III
K	0,2	0,234	0,281
N	0,5	0,5	0,5
c_{prob} bij $T = 15$ jaar	0,93	0,92	0,92
c_{prob} bij $T = 30$ jaar	0,97	0,97	0,97
c_{prob} bij $T = 50$ jaar	1,00	1,00	1,00
c_{prob} bij $T = 100$ jaar	1,04	1,04	1,05

2.2 NEN 6786-1:2021 – nieuw voorstel 2.3.2.2

2.3.2.2_NIEUW Stuursnelheid en karakteristieke windsnelheid tijdens de bewegingscyclus

(1) Voor de berekening van de stuwdruk in formule (3) tijdens de bewegingscyclus moet afhankelijk van het type vaarweg en windgebied (WG) worden bepaald wat het maximaal aantal uren per jaar is dat de brug niet-bedienbaar mag zijn ten gevolge van wind.

(2) De 10-minuten gemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte ($v_{m,stuur}$) bij standaard terreinruwheid $z_0 = 0,05$ m gerelateerd aan het gemiddeld aantal uren per jaar niet-bedienbaar ten gevolge van wind, onderscheiden naar de gebieden I, II en III volgens NEN-EN 1991-1-4:2011/NB+C2:2023, moet zijn ontleend aan [Tabel 2.2](#). Deze windsnelheid wordt de stuursnelheid genoemd.

Tabel 2.2: Stuursnelheden $v_{m,stuur}$ [m/s] voor de drie windgebieden bij $z_0 = 0,05$ m

Vaarweg	Windgebied	I	II	III
	Gemiddeld aantal uren niet beschikbaar ten gevolge van wind	$v_{m,stuur}$ [m/s]	$v_{m,stuur}$ [m/s]	$v_{m,stuur}$ [m/s]
1	Verwaarloosbaar (0,25)	22,8	20,9	16,9
2	2	19,2	18,0	14,6
3	6	17,7	16,1	13,1
4	12	16,7	15,2	12,2
5	24	15,7	14,2	11,3
6	48	14,7	13,0	10,3
7	72	14,1	12,3	9,8
8	168 (7 dagen)	12,8	10,9	8,6
9	336 (14 dagen)	11,6	9,6	7,7
10	672 (28 dagen)	10,3	8,1	6,6

(3) Voor bruggen die binnen 1 km van de kust liggen of in of nabij open water met een strijklengte van meer dan 2 km of nabij zeer vlak land zonder obstakels (sloten, bomen, boerderijen) met een strijklengte van meer dan 2 km of nabij startbanen voor vliegverkeer met een strijklengte van meer dan 2 km moet de terreincategorie zee of kustgebied aan zee volgens NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB+C2:2023 artikel 4.3.2 zijn toegepast per windrichtingssector.

(4) Voordat de brug mag worden geopend, moet zijn vastgesteld of de tijdens de bewegingscyclus te verwachten windsnelheid waarop de mechanische uitrusting is ontworpen, niet wordt overschreden. Deze waarde moet in het bedieningsvoorschrift van de brug zijn opgenomen.

(5) Voor de tijdens de bewegingscyclus te verwachten windsnelheid moet zijn uitgegaan van de gemeten 10-minuten gemiddelde windsnelheid, gemeten met een ter plaatse van de brug opgestelde geijkte windmeter.

(6) Bij een brug wordt doorgaans ter plaatse niet op 10 m hoogte en bij standaard ruwheid ($z_{0,II} = 0,05$ m) gemeten; de windsnelheid tot welke de brug nog mag worden geopend moet dan zijn bepaald met:

$$v_{m, \text{stuur}, z_m} = v_{m, \text{stuur}} \cdot 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0, \text{II}}} \right)^{0,07} \cdot \ln \left(\frac{z_m}{z_0} \right) \quad (8)$$

waarin:

- v_{m, stuur, z_m} is de stuursnelheid bij terreinruwheid rondom de brug op hoogte z_m tot waarbij de brug mag worden bewogen in m/s;
- $v_{m, \text{stuur}}$ is de stuursnelheid uit [Tabel 2.2](#) in m/s;
- z_0 is de ruwheidslengte ter plaatse van de brug in m;
- $z_{0, \text{II}}$ is de referentie terreinruwheidslengte $z_{0, \text{II}} = 0,05$ m;
- z_m is de verticale afstand van windmeter tot maaiveld in m.

OPMERKING Voor de ruwheidslengte z_0 ter plaatse van de brug wordt aanbevolen de waarde aan te houden die past bij de terreincategorie ter plaatse van de brug volgens NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB+C2:2023: kust, onbebouwd of bebouwd.

OPMERKING Voor de hoogte z_m wordt een hoogte van 10 meter aanbevolen. Als minimale hoogte dient z_{min} gehanteerd te worden, zoals vastgesteld in NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB+C2:2023 voor kust, onbebouwd of bebouwd.

(7) De karakteristieke waarde van de windsnelheid ($v_{m, k}$), welke gesubstitueerd dient te worden in vergelijking (3), wordt berekend met:

$$v_{m, k} = k_{\text{stuur}} v_{m, \text{stuur}} \quad (9)$$

waarin:

- $k_{\text{stuur}}(WG, T)$ is de factor voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de 10-minuten gemiddelde windsnelheid op basis van de stuursnelheid, voor k_{stuur} dient de omhullende van $k_{\text{stuur, regulier}}$ en $k_{\text{stuur, storing}}$ zijn genomen voor de belastingsituaties overbelasten.
- $v_{m, \text{stuur}}$ is de stuursnelheid uit [Tabel 2.2](#) in m/s.

Voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de 10-minuten gemiddelde windsnelheid worden twee situaties onderscheiden: een storing tijdens de bewegingscyclus en reguliere opening. De factor voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de 10-minuten gemiddelde windsnelheid op basis van de stuursnelheid kan bepaald worden met:

$$k_{\text{stuur, storing}}(WG, T) = \max(1; a + b \cdot \ln(T)) \quad (10)$$

$$k_{\text{stuur, regulier}}(WG, T, N) = \max(1; a + b \cdot \ln(T) + c \cdot \ln(N)) \quad (11)$$

waarin:

- $k_{\text{stuur, storing}}(WG, T)$ is de factor voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de 10-minuten gemiddelde windsnelheid op basis van de stuursnelheid in de situatie van een storing welke afhankelijk is van het windgebied (WG) en de openingsduur (T) gegeven in [Tabel 2.3](#),

[Tabel 2.4](#) en [Tabel 2.5](#);

- $k_{\text{stuur, regulier}}(WG, T, N)$ is de factor voor het bepalen van de karakteristieke waarde van de 10-minuten gemiddelde windsnelheid op basis van de

stuursnelheid in de situatie van reguliere opening welke afhankelijk is van het windgebied (WG), de openingsduur (T) en het aantal openingen (N) gegeven in [Tabel 2.3](#),

[Tabel 2.4](#) en [Tabel 2.5](#);

<i>T</i>	is de doorlooptijd na controle van de stuursnelheden in minuten;
<i>N</i>	is het aantal openingen per jaar met $500 \leq N \leq 10000$, N mag niet lager dan N=500 genomen zijn;
<i>a, b, c</i>	zijn de factoren voor vergelijking (10) en (11) welke afhankelijk zijn van de vaarweg en het windgebied.

OPMERKING De parameters gegeven voor vergelijkingen (10) en (11) in [Tabel 2.3](#),

[Tabel 2.4](#) en [Tabel 2.5](#) zijn enkel geldig voor een storing wanneer $120 \leq T \leq 480$ minuten en voor reguliere opening wanneer $10 \leq T \leq 30$ minuten en $500 \leq N \leq 10000$ openingen per jaar. Indien de brug langer verwacht wordt open te staan dan de in [Tabel 2.3](#),

Tabel 2.4 en Tabel 2.5 genoemde waarde, dient de windbelasting berekend te zijn conform NEN-EN 1991-1-4:2011.

OPMERKING: Voor toepassing in gevolgklasse CC3 dienen de waarden zoals berekend door middel van (10) en (11) met een factor 1,02 te zijn opgehoogd om tot precies de streefwaarde van de betrouwbaarheid te komen. Echter gezien dat ook in CC3 de economische schade van falen niet heel groot is, zou genoeg genomen kunnen worden met een iets lagere betrouwbaarheid en het achterwege blijven van deze ophoging.

Tabel 2.3: Factoren voor bepaling van de karakteristieke waarde van de windsnelheid in windgebied I bij een specifieke vaarweg en standaard ruwheid $z_0 = 0,05$ m

Situatie	Tijdens bewegingscyclus				
	Storing		Reguliere opening		
Voorwaarden	$120 \leq T \leq 480$ minuten		$10 \leq T \leq 30$ minuten opening $500 \leq N \leq 10000$ openingen per jaar		
Vaarweg	a	b	a	b	c
1	0,644	0,045	0,820	0,030	0,019
2	0,715	0,055	0,872	0,049	0,017
3	0,682	0,074	0,88	0,056	0,018
4	0,669	0,084	0,879	0,068	0,018
5	0,626	0,101	0,876	0,077	0,017
6	0,606	0,114	0,848	0,095	0,017
7	0,546	0,130	0,840	0,103	0,016
8	0,372	0,176	0,823	0,116	0,017
9	0,187	0,225	0,845	0,116	0,018
10	-0,027	0,283	0,886	0,128	0,015

Tabel 2.4: Factoren voor bepaling van karakteristieke waarde windsnelheid voor windgebied II voor standaard ruwheid $z_0 = 0,05$ m

Situatie	Tijdens bewegingscyclus				
	Storing		Reguliere opening		
Voorwaarden	$120 \leq T \leq 480$ minuten		$10 \leq T \leq 30$ minuten opening $500 \leq N \leq 10000$ openingen per jaar		
Vaarweg	a	b	a	b	c
1	0,674	0,056	0,821	0,049	0,021
2	0,708	0,074	0,867	0,070	0,021
3	0,619	0,108	0,824	0,099	0,023
4	0,569	0,126	0,716	0,136	0,024
5	0,476	0,155	0,669	0,159	0,024
6	0,375	0,188	0,687	0,158	0,026
7	0,239	0,223	0,787	0,138	0,023
8	-0,018	0,291	0,812	0,157	0,021
9	-0,243	0,359	0,781	0,193	0,020
10	-0,697	0,481	0,712	0,241	0,021

Tabel 2.5: Factoren voor bepaling van karakteristieke waarde windsnelheid voor windgebied III voor standaard ruwheid $z_0 = 0,05$ m

Situatie	Tijdens bewegingscyclus				
	Storing		Reguliere opening		
Voorwaarden	$120 \leq T \leq 480$ minuten		$10 \leq T \leq 30$ minuten opening $500 \leq N \leq 10000$ openingen per jaar		
Vaarweg	a	b	a	b	c
1	0,567	0,091	0,709	0,088	0,030
2	0,416	0,140	0,681	0,117	0,032
3	0,310	0,178	0,733	0,130	0,029
4	0,205	0,210	0,728	0,134	0,033
5	0,166	0,230	0,686	0,163	0,033
6	0,096	0,261	0,678	0,183	0,033
7	0,035	0,282	0,676	0,188	0,033
8	-0,393	0,391	0,673	0,211	0,032
9	-0,666	0,460	0,578	0,250	0,034
10	-0,833	0,523	0,527	0,286	0,035

3 Veiligheidsfactoren nieuwbouw en bestaande bouw

TNO heeft een probabilistische modeltrein opgesteld om de partiële factoren voor bewegingswerken te kalibreren aan de geldende veiligheidseisen. De resultaten zijn hieronder weergegeven. Hieronder wordt een nieuw voorstel gedaan voor de invulling van tabel 11 in NEN 6786-1:2021 [5].

(1) Voor nieuwbouw mag voor de belastingssituatie overbelasten overbrenging Tabel 11 uit NEN 6786-1:2021 zijn vervangen door onderstaande [Tabel 3.1](#).

(2) Voor het beoordelen van bestaande bouw situaties verbouw en afkeur mag voor de belastingssituatie overbelasten overbrenging Tabel 11 uit NEN 6786-1:2021 zijn vervangen door respectievelijk

Tabel 3.2 en Tabel 3.3.

(3) Wanneer blijvende belastingen gunstig werken, dient voor alle gevolklassen en combinatieregels bij nieuwbouw, verbouw, afkeur een waarde van 0.9 aangehouden te worden voor $\gamma_{G6.10a}$ en $\gamma_{G6.10b}$. De onzekerheid van het zwaartepunt brugval dient nog wel te worden verrekend.

(4) Bij de berekening van tandwielen conform hoofdstuk 10 van NEN 6786-1:2021 dient de berekening voor zowel nieuwbouw als bestaande bouw uitgevoerd te zijn conform NEN-ISO 6336-3:2019. In paragraaf 10.2.3.1 (1) dient de waarde van $S_F = 1,0$ te zijn aangehouden in plaats van de waarde $S_F \geq 1,65$ zoals vermeld in NEN 6786-1:2021.

OPMERKING 1 De waarden van Ψ_t uit [Tabel 3.1](#),

Tabel 3.2 en **Tabel 3.3** zijn op dit moment onderwerp van studie, vooralsnog worden de waarden uit NEN 6786-1:2021 hier overgenomen.

OPMERKING 2 De dynamische belastingscombinaties onder de belastingsituatie “overbelasten overbrenging” zijn op dit moment nog onderwerp van studie. Om deze reden zijn vooralsnog de waarden uit NEN 6786-1:2021 overgenomen.

Tabel 3.1: Rekenwaarden van momenten op het brugbewegingsmechanisme, elektromechanisch aangedreven als functie van de belastingsituatie met nieuwe partiële factoren voor nieuwbouw

Belastingssituatie	Belastingscombinatie	Rekenwaarde van momenten	Gevolgs-klasse	Ψ_t	γ_w	$\gamma_{G6.10a}$	$\gamma_{G6.10b}$	γ_{Q_i}
Overbelasten overbrenging	Vasthouden in elke stand	M_{Ed}	CC1	1,0	1,35	1,2	1,1	Volgens tabel 7, NEN 6786-1:2021
			CC2		1,5	1,3	1,2	
			CC3		1,65	1,4	1,25	
	Begin openen vanuit gesloten stand	$M_{Ed} + \epsilon M_{\alpha, Ed} + 0,9 \sqrt{\{(\epsilon M_{\alpha, Ed})^2 + \gamma^2 \omega^2 C_1 I_2\}}$ $\vee M_{Ed} + M_{max, Ed}$	CC1	0,7	1,35	1,2	1,1	
			CC2		1,5	1,3	1,2	
			CC3		1,65	1,4	1,25	
	Aanvang versnellen/ vertragen vanuit open/tussenstand	$\phi_{\alpha} \epsilon (M_{Ed} + M_{\alpha, Ed}) + 1 - \phi_{\alpha} \epsilon M_{Ed}$ $\vee M_{Ed} + M_{max, Ed}$	CC1	0,7	1,35	1,2	1,1	
			CC2		1,5	1,3	1,2	
			CC3		1,65	1,4	1,25	
	Stoppen van de brugbeweging via stopcategorie 0	$\phi_{\alpha} \epsilon M_{br, Ed} + 1 - \phi_{\alpha} \epsilon M_{Ed}$ $\vee M_{Ed} + M_{max, Ed}$	CC1	0,7	1,35	1,2	1,1	
			CC2		1,5	1,3	1,2	
			CC3		1,65	1,4	1,25	
	Terugslag na remmen	$M_{Ed} + \phi_{br} \epsilon (M_{Ed} + M_{br, Ed})$ $\vee M_{Ed} + M_{max, Ed}$	CC1	0,7	1,35	1,2	1,1	
			CC2		1,5	1,3	1,2	
			CC3		1,65	1,4	1,25	
	Doorlopen verende buffer	$M_{Ed} + 0,4 M_{max, Ed}$	CC1	0,7	1,35	1,2	1,1	
			CC2		1,5	1,3	1,2	
			CC3		1,65	1,4	1,25	
	Aandrukken op de opleggingen	$M_{fc, Ed}$	CC1	-	-	1,2	1,1	
			CC2		-	1,3	1,2	
			CC3		-	1,4	1,25	

Tabel 3.2: Rekenwaarden van momenten op het brugbewegingsmechanisme, elektromechanisch aangedreven als functie van de belastingssituatie met nieuwe partiële factoren voor bestaande bouw situatie verbouw

Belastingssituatie	Belastingscombinatie	Rekenwaarde van momenten	Gevolg-klasse	Ψ_t	γ_w	$\gamma_{G6.10a}$	$\gamma_{G6.10b}$	γ_{Q_i}
Overbelasten overbrenging	Vasthouden in elke stand	M_{Ed}	CC1	1,0	1,2	1,10	1,10	Volgens tabel 7, NEN 6786-1:2021
			CC2		1,4	1,25	1,15 (1,10)	
			CC3		1,6	1,30	1,20 (1,15)	
	Begin openen vanuit gesloten stand	$M_{Ed} + \epsilon M_{o,Ed} + 0,9 \sqrt{\{\epsilon M_{o,Ed}\}^2 + \gamma^2 \omega^2 C_1 I_2}$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,2	1,10	1,10	
			CC2		1,4	1,25	1,15 (1,10)	
			CC3		1,6	1,30	1,20 (1,15)	
	Aanvang versnellen/ vertragen vanuit open/tussenstand	$\phi_o \epsilon (M_{Ed} + M_{o,Ed}) + 1 - \phi_o \epsilon M_{Ed}$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,2	1,10	1,10	
			CC2		1,4	1,25	1,15 (1,10)	
			CC3		1,6	1,30	1,20 (1,15)	
	Stoppen van de brugbeweging via stopcategorie 0	$\phi_o \epsilon M_{br,Ed} + 1 - \phi_o \epsilon M_{Ed}$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,2	1,10	1,10	
			CC2		1,4	1,25	1,15 (1,10)	
			CC3		1,6	1,30	1,20 (1,15)	
	Terugslag na remmen	$M_{Ed} + \phi_{br} \epsilon (M_{Ed} + M_{br,Ed})$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,2	1,10	1,10	
			CC2		1,4	1,25	1,15 (1,10)	
			CC3		1,6	1,30	1,20 (1,15)	
Doorlopen verende buffer	$M_{Ed} + 0,4 M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,2	1,10	1,10		
		CC2		1,4	1,25	1,15 (1,10)		
		CC3		1,6	1,30	1,20 (1,15)		
Aandrukken op de opleggingen	$M_{fc,Ed}$	CC1	-	-	-	1,10	1,10	
		CC2		-	-	1,25	1,15 (1,10)	
		CC3		-	-	1,30	1,20 (1,15)	

OPMERKING De waarden tussen haakjes mogen alleen zijn toegepast bij bruggen waarvoor een omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend onder Bouwbesluit 2003 of daarvoor.

Tabel 3.3: Rekenwaarden van momenten op het brugbewegingsmechanisme, elektromechanisch aangedreven als functie van de belastingssituatie met nieuwe partiële factoren voor bestaande bouw situatie afkeur

Belastingssituatie	Belastingscombinatie	Rekenwaarde van momenten	Gevolgs-klasse	Ψ_t	γ_w	$\gamma_{G6.10a}$	$\gamma_{G6.10b}$	γ_{Q_i}	
Overbelasten overbrenging	Vasthouden in elke stand	M_{Ed}	CC1	1,0	1,1	1,0	1,0	Volgens tabel 7, NEN 6786-1:2021	
			CC2		1,3	1,1	1,1		
			CC3		1,5	1,25	1,15 (1,10)		
	Begin openen vanuit gesloten stand	$M_{Ed} + \epsilon M_{\alpha,Ed} + 0,9 \sqrt{\{(\epsilon M_{\alpha,Ed})^2 + \gamma^2 \omega^2 C_1 I_2\}}$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,1	1,0	1,0		
			CC2		1,3	1,1	1,1		
			CC3		1,5	1,25	1,15 (1,10)		
	Aanvang versnellen/ vertragen vanuit open/tussenstand	$\phi_{\alpha} \epsilon (M_{Ed} + M_{\alpha,Ed}) + 1 - \phi_{\alpha} \epsilon M_{Ed}$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,1	1,0	1,0		
			CC2		1,3	1,1	1,1		
			CC3		1,5	1,25	1,15 (1,10)		
	Stoppen van de brugbeweging via stopcategorie 0	$\phi_{\alpha} \epsilon M_{br,Ed} + 1 - \phi_{\alpha} \epsilon M_{Ed}$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,1	1,0	1,0		
			CC2		1,3	1,1	1,1		
			CC3		1,5	1,25	1,15 (1,10)		
	Terugslag na remmen	$M_{Ed} + \phi_{br} \epsilon (M_{Ed} + M_{br,Ed})$ \vee $M_{Ed} + M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,1	1,0	1,0		
			CC2		1,3	1,1	1,1		
			CC3		1,5	1,25	1,15 (1,10)		
	Doorlopen verende buffer	$M_{Ed} + 0,4 M_{max,Ed}$	CC1	0,7	1,1	1,0	1,0		
			CC2		1,3	1,1	1,1		
			CC3		1,5	1,25	1,15 (1,10)		
	Aandrukken op de opleggingen	$M_{fc,Ed}$	CC1	-	-	-	1,0		1,0
			CC2		-	-	1,1		1,1
			CC3		-	-	1,25		1,15 (1,10)

OPMERKING De waarden tussen haakjes mogen alleen zijn toegepast bij bruggen waarvoor een omgevingsvergunning voor het bouwen is verleend onder Bouwbesluit 2003 of daarvoor.

4 Referenties

- [1] *NEN-EN 1990+A1+A1/C2*, Delft: NEN, 2019.
- [2] *NEN 8700+A1*, NEN, 2020.
- [3] C. v. Battum, F. Swaalf, W. Courage and R. Steenbergen, "Achtergrondrapportage bij "Memo overbelasten overbrenging" - Overzicht onderzoeksresultaten TNO betrouwbaarheid bewegingswerken," Nog te publiceren, 2025.
- [4] *NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB*, Delft: NEN, 2019.
- [5] *NEN 6786-1:2017+C1:2021*, Delft: NEN, 2021.
- [6] *NEN-EN 1991-1-4+A1+C2*, NEN, 2011.
- [7] C. Geurts and O. Bronkhorst, "Wind op bruggen: interpretatie en literatuurstudie krachtcoëfficiënten," TNO, Delft, 2021.

5 Ondertekening

TNO › Mobility & Built Environment › Delft, 14 oktober 2025

R.D.J.M. Steenbergen
Auteur

L.M. Abspoel-Bukman
Project Manager

Ir. M. van Roermund
Research Manager
Reliable Structures

Mobility & Built Environment

Molengraaffsingel 8
2629 JD Delft
www.tno.nl