

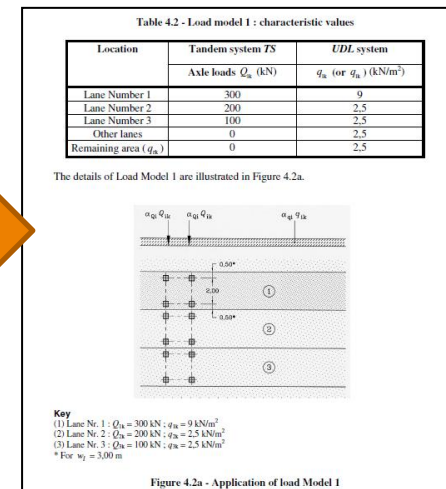
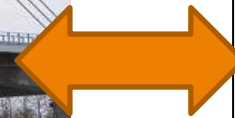


Veiligheidsbeoordeling bestaande bruggen onder wegverkeersbelasting



Onderwerpen

- › Veiligheidsfilosofie bestaande bruggen
- › Nederlandse situatie wegverkeersbelasting op bruggen t.o.v. EN 1991-2
- › Welke reductiefactoren kunnen gebruikt worden bij de beoordeling van bestaande bruggen met een beperkte restlevensduur?





Veiligheidseisen bestaande bruggen



Betrouwbaarheidsindex

gevolg- klasse	Periode t [jaar]	nieuwbouw β_n		verbouw β_v		afkeuren β_a	
		wn	wd	wn	wd	wn	wd
CC1A	1	3,3	2,3	2,8	1,8	1,8	0,8
CC1B	1	3,3	2,3	2,8	2,3*	2,3*	2,3*
CC2	15	3,8	2,8	3,3 (3,1)	2,5*	2,5*	2,5*
CC3	15	4,3	3,3	3,8 (3,6)	3,3*	3,3* (3,1*)	3,3*

* Menselijke veiligheid maatgevend:

() Terugvaloptie voor constructies gebouwd onder NEN 6700 regime



Wanneer verbouw/afkeur?

› Woningwet:

Een eigenaar mag een bouwwerk niet in een staat brengen of houden onder het afkeurniveau van het Bouwbesluit 2012.

Publiekrechtelijk gezien moet een constructie worden **afgekeurd** als:

- bij een **restlevensduur van 1 jaar** en de daarbij behorende **referentieperiode**, die voor de gevolklassen CC2 en CC3 niet lager mag zijn genomen dan **15 jaar**,
- het **veiligheidsniveau behorende bij afkeur** wordt onderschreden.



Wanneer afkeur?

› Geest van de norm:

Bedoeld voor uniformiseren van aanschrijvingen door bevoegd gezag.

Dus voor incidenten:

In geval van disproportionele kosten: de investering om een hoger veiligheidsniveau te bereiken weegt niet op tegen de meerwaarde aan veiligheid die die investering met zich meebrengt.



Wanneer afkeur?

› Incidenten versus Areaal

Areaal aan bouwwerken: hoger afkeurcriterium dan bij het beoordelen van een incident.

Indien het minimum veiligheidsniveau behorend bij een incident ook zou worden toegepast op een areaal wordt het totale risico voor de maatschappij aanmerkelijk groter.

Er ontstaat dan een risico dat groter kan zijn dan in het algemeen maatschappelijk verkeer aanvaardbaar wordt geacht; het absolute aantal slachtoffers kan te groot worden door de grote aantallen bouwwerken



Wanneer afkeur?

› Incidenten versus Areaal

Areaal aan bouwwerken: hoger afkeurcriterium dan bij het beoordelen van een incident.

Indien het minimum veiligheidsniveau behorend bij een incident ook zou worden toegepast op een areaal wordt het totale risico voor de maatschappij aanmerkelijk groter.

Er ontstaat dan een risico dat groter kan zijn dan in het algemeen maatschappelijk verkeer aanvaardbaar wordt geacht; het absolute aantal slachtoffers kan te groot worden door de grote aantallen bouwwerken.

Officiële wetgeving moet heroverwogen worden.



Wanneer afkeur?

› Incidenten versus Areaal

Huidige afkeurniveau alleen voor incidenten.

➤ Binnen areaal: klein aantal

➤ Individuele bouwwerkeigenaren:

Individuele gevallen dienen bij voorkeur gelijk te behandeld te worden.

Advies is het afkeurniveau alleen toe te staan voor slechts een beperkte periode.

De beperkte periode betreft orde jaren en zal nader vastgesteld moeten worden, afhankelijk van de mate van onderschrijding van het verbouwniveau.

In geval van functieverandering is het advies voor de gehele constructie minimaal uit te gaan van het verbouwniveau.



Verbouw

- 1) **Verbouw** vindt normaal gesproken plaats volgens vigerende **nieuwbouweisen**.
- 2) **Afwijking tot het niveau 'verbouw'** is toegestaan in het geval van disproportionele kosten om aan het nieuwbouwniveau te voldoen. Een **motivering** waarom niet aan de nieuwbouweis wordt voldaan **is verplicht**.



Overzicht

- › Het **nieuwbouwniveau** is altijd het **streefniveau**;
- › Als het nieuwbouwniveau wordt onderschreden en als er sprake is van **disproportionele kosten** om aan het nieuwbouwniveau te voldoen, volstaat het **verbouwniveau**.
- › Disproportionele kosten om aan het verbouwniveau te voldoen zouden in **incidentele gevallen** kunnen leiden tot het achterwege late van maatregelen en het **afkeurniveau** als voldoende te zien.
- › Eigenaren van een **areaal** van bouwwerken dienen zowel te toetsen aan het verbouwniveau als afkeurniveau. Slechts voor een **klein percentage** bouwwerken mag het afkeurniveau als voldoende worden gezien; de grote meerderheid van de bouwwerken dient aan het verbouwniveau te voldoen.
- › Als het **afkeurniveau wordt onderschreden** zijn **maatregelen direct noodzakelijk**, ongeacht het rechtens verkregen niveau.
- › Bij eventuele **verbouw** is wederom **nieuwbouwniveau het streefniveau**, maar zijn om economische redenen reducties tot het wettelijke minimum verbouwniveau in bepaalde gevallen te rechtvaardigen.



RWS invulling

- › Kunstwerken gebouwd vóór 1 april 2012:
- › Areaal-afkeurniveau voor zowel CC2 als CC3 van $\beta=3.3$.
- › Bij CC3 tussen het incident-afkeurniveau van $\beta=3.1$ en het verbouwniveau van $\beta=3.6$.
- › Bij afkeur én disproportionele kosten om aan het nieuwbouwniveau te voldoen kiest RWS ervoor constructies te versterken tot het verbouwniveau.



Bruggen in onderliggend wegennet

- › VK 30/45/60
- › Belastingmodellen gekalibreerd op Rijkswegennet (zie vervolg presentatie).
- › Onderliggend wegennet mogelijk lichter belast?
- › Maar vrachtwagens rijden toch overal en stoppen niet bij de afrit...
- › Bebording noodzakelijk: dikwijls nog geen borden. Hoe handhaven?

- › Bouwen met Staal 229 (2012): Jaco Reusink:
 - › Gemeente Rotterdam bezig met een weegprogramma voor stedelijke bruggen.
 - › Tot het moment van beschikbaar komen van deze gegevens wordt aanbevolen voor bruggen in het onderliggend wegennet, met uitzondering van industriële ontsluitingsroutes, het (incident) afkeurniveau als absolute ondergrens voor de constructieve veiligheid aan te houden en hieraan te toetsen.
 - › Daarna weer met areaalbeschouwing.





Wegverkeerbelasting op bruggen



Nederlandse situatie

- › Nederland heeft zwaar belast wegennet;
- › wettelijk maximum Nederland 50 ton, België 44 ton, Duitsland 40 ton.



- › In Nederland tussen 50 en 100 ton doorlopende vergunning.





Betrouwbaarheidseis voor brugconstructie

- › De constructie mag:
 - › de gedefinieerde uiterste grenstoestanden,
 - › gedurende de **vastgestelde referentieperiode**
 - › met de **vastgelegde mate van betrouwbaarheid**

- › niet overschrijden.

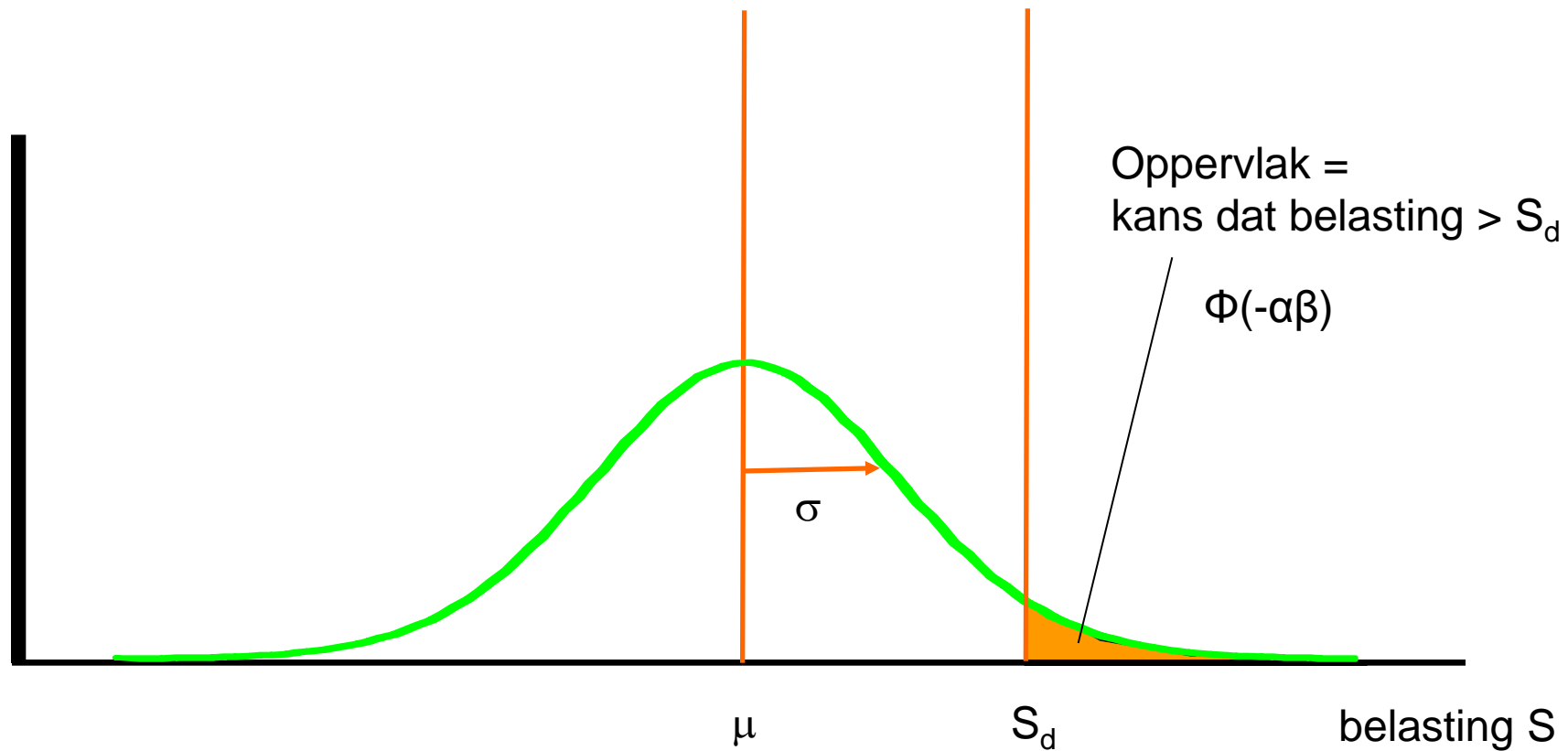


Eisen voor bruggen

- › Karakteristieke belasting: ééns in de levensduur
- › Ontwerpwaarde belasting: NEN-EN 1990 Gevolgklasse 3: $\beta=4.3$ (nieuwbouw rijkswegen)
- › $P(S > S_d) = \Phi(-\alpha\beta) = \Phi(-0.7*4.3) = \Phi(-3.01) = 1/760$
- › Dit geldt voor de referentieperiode van 100 jaar voor nieuwbouw.
- › We zijn op zoek naar de verkeersbelasting met een herhalingsstijd van $100 * 760 = 76\ 000$ jaar voor nieuwbouw
- › Voor bestaande bouw orde 5 000-10 000 jaar

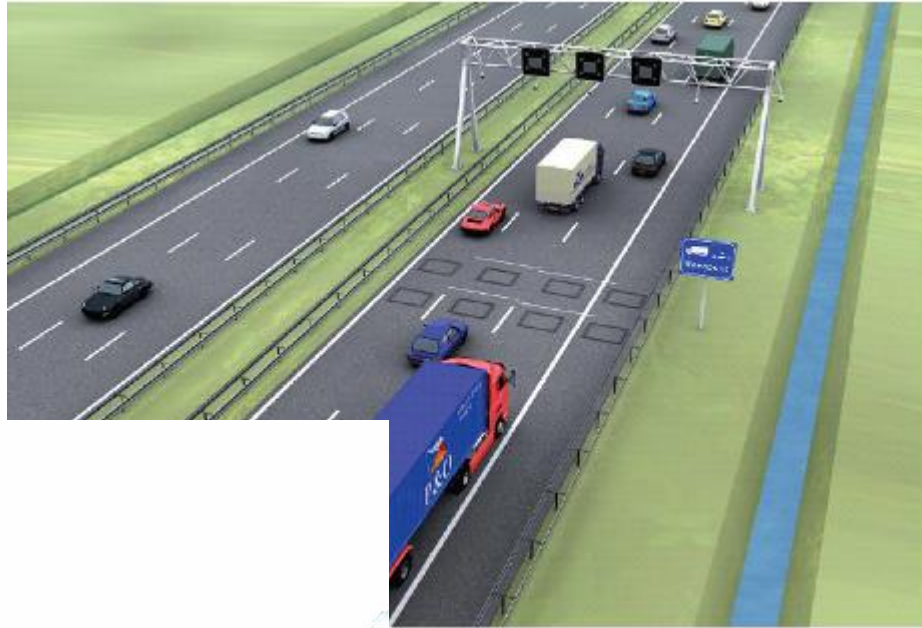


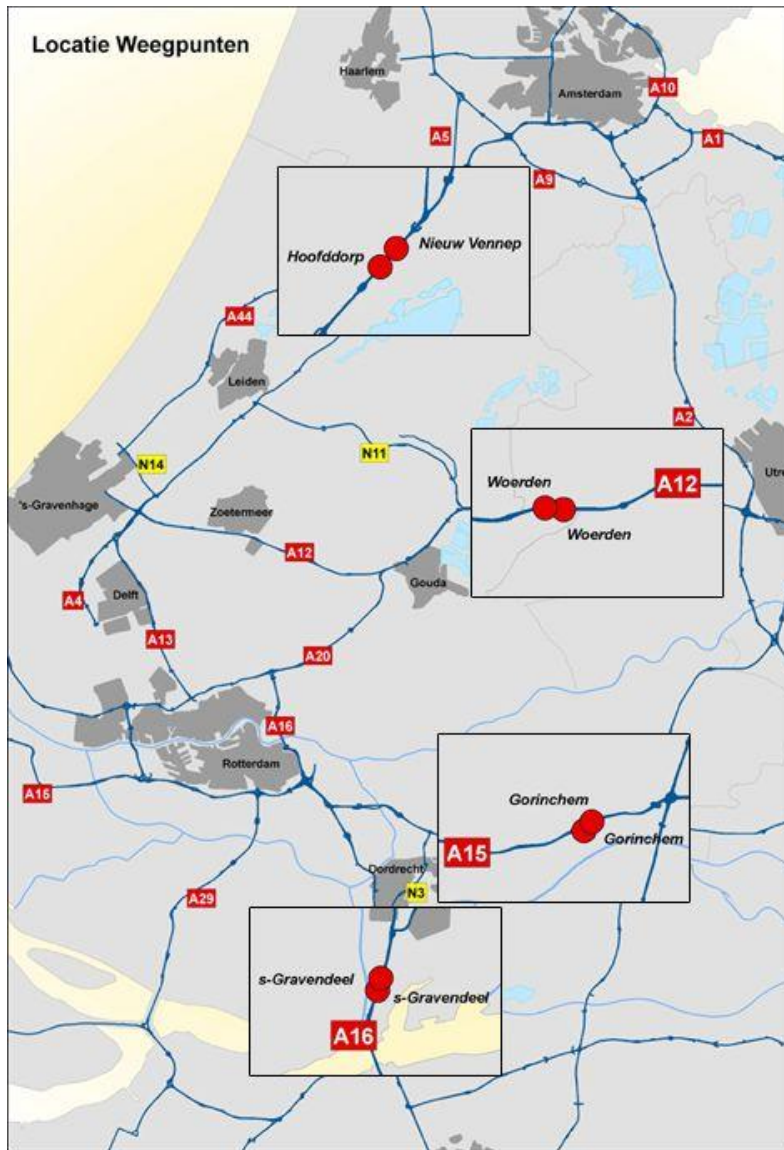
Rekenwaarden - principe





WIM





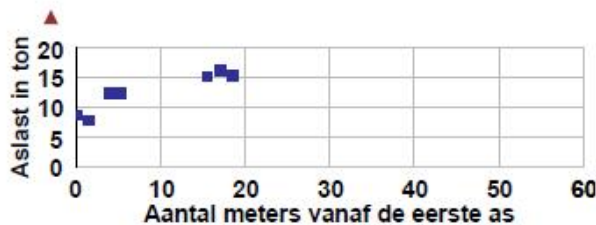
WIM metingen rijkswegen:
A16, A12, A15, A4, beide richtingen



63220646

Datum	14 April 2008
Tijd	12:43:15
Rijstrook	3 R-R
Meetlocatie	RW 012 1 HR R
Subcategorie	O223
Snelheid (km/uur)	80

asdruk (ton)			
	dynamisch	statisch	lengte (m)
totaal	88.4	0.0	20.87
	dynamisch	statisch	afstand (m)
as 1	8.8		0.00
as 2	7.9		1.50
as 3	12.4		2.52
as 4	12.4		1.34
as 5	15.2		10.16
as 6	16.3		1.51
as 7	15.4		1.53



Kenteken

NB

Subcategorie

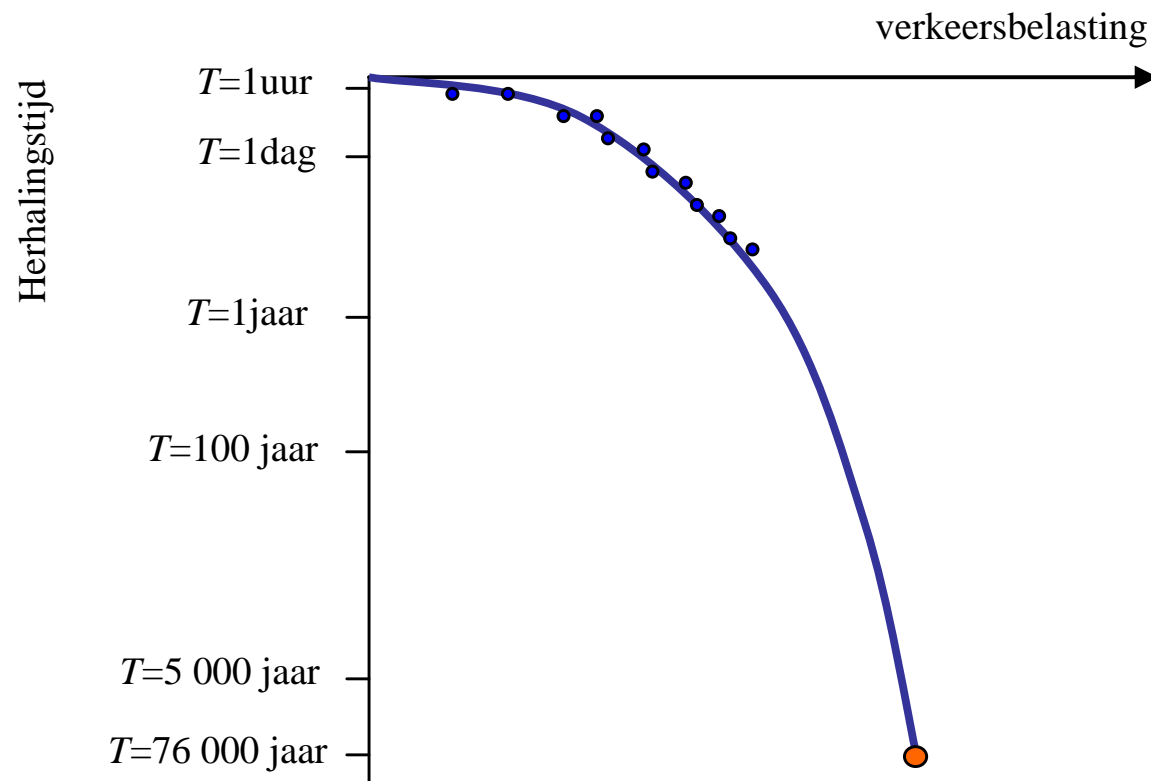


Op basis foto's: speciale eenmalige vergunningen eruit, check op fouten



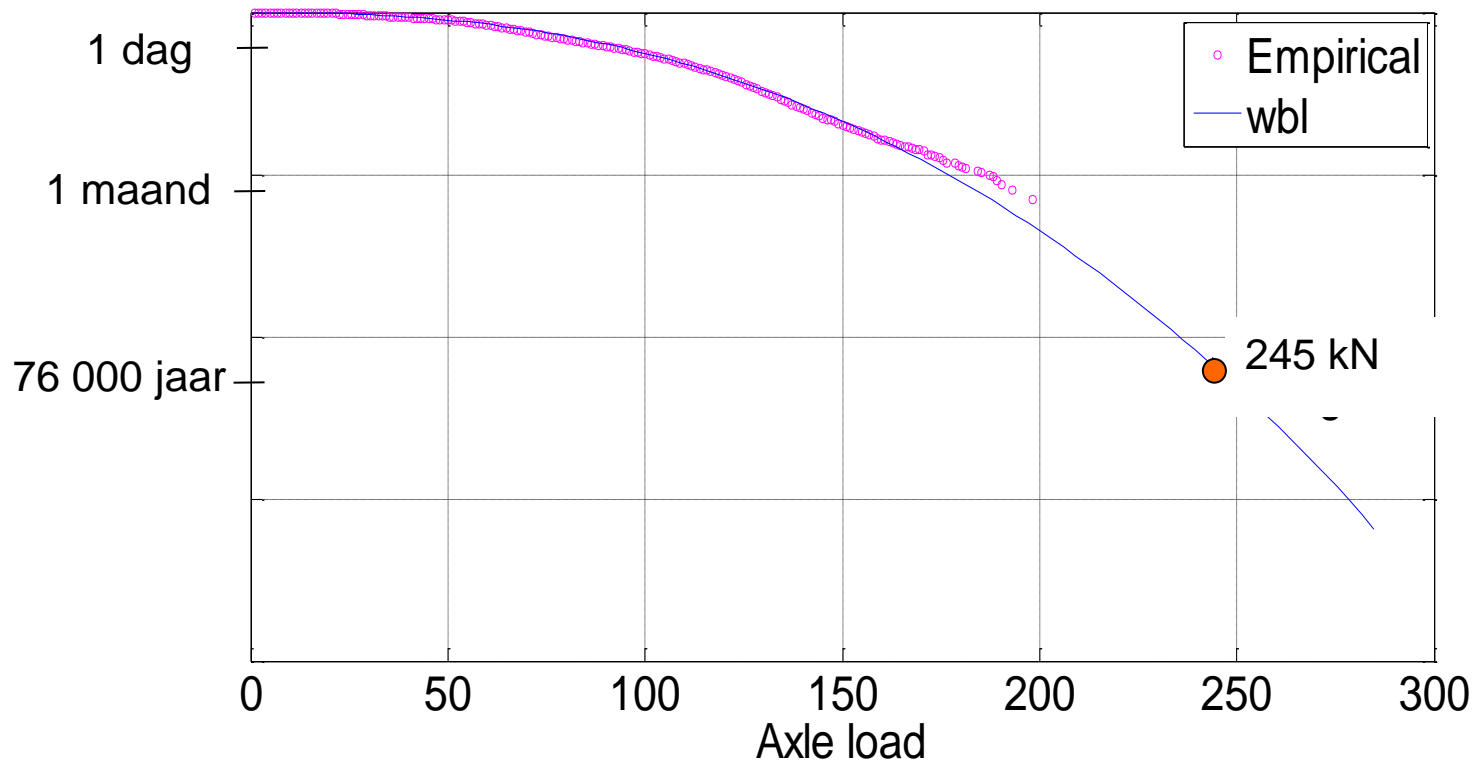
Analyse WIM

- › Verkeersbelasting is statistische grootheid





Aslasten

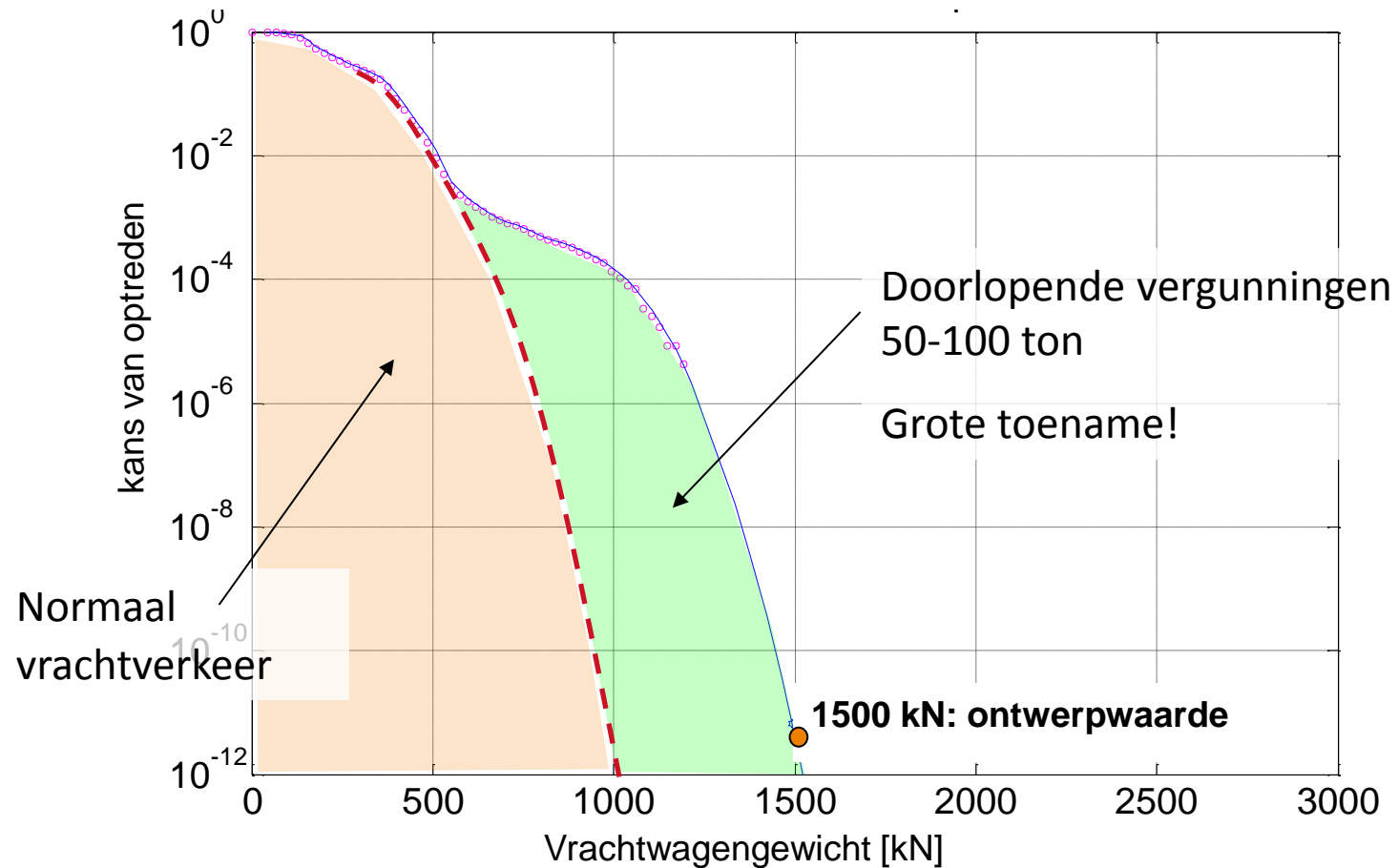


Alle meetlocaties hetzelfde beeld, ontwerpwaarde uit WIM \approx 245 kN



Rijstrookbelasting: vrachtwagengewichten

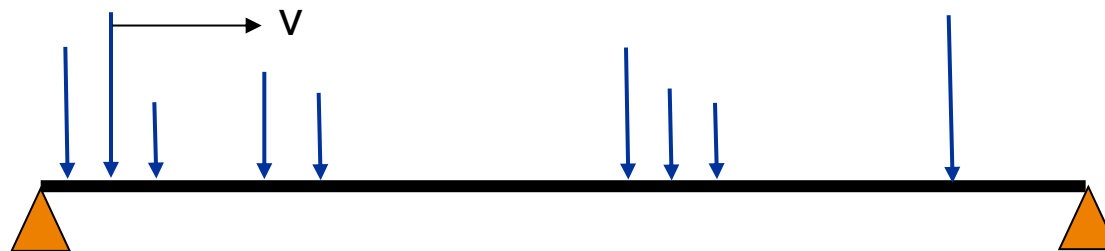
RW 16, Moerdijk





Rijstrookbelasting: verkeersmodel (1)

- › Monte Carlo
- › Reeks voertuigen zoals gemeten met verdelingen voor voertuiggewichten en tussenafstanden wordt over brug met lengte L en n stroken gestuurd.
- › $L=20, 50, 100, 200$ m
- › Stroken: langzaam, snel, langzaam+snel

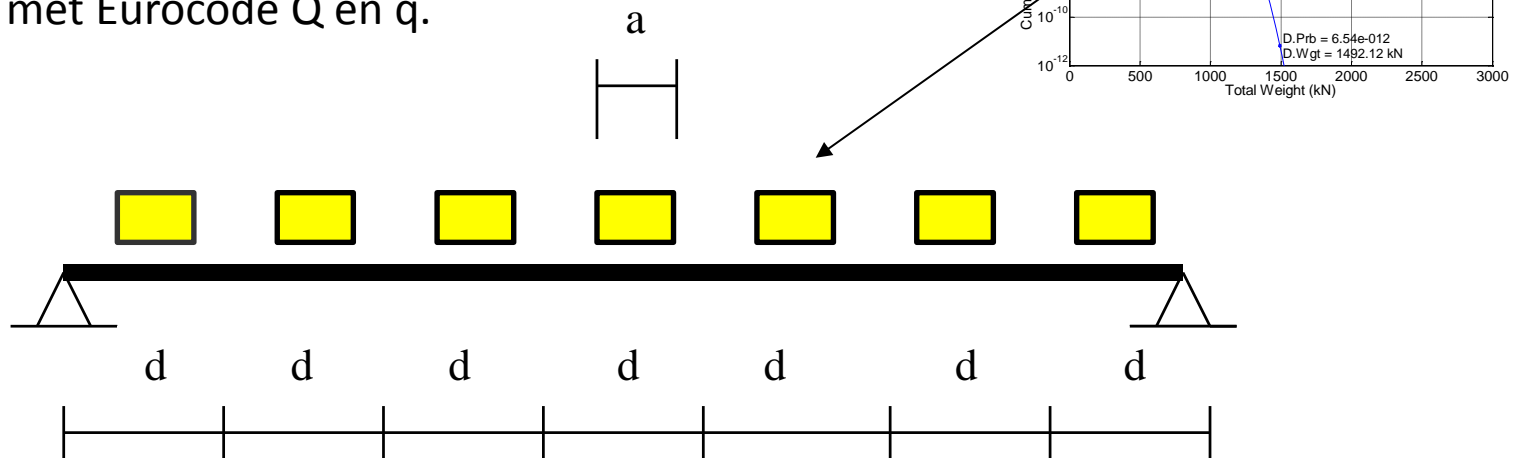


- › Maximale belastingeffecten met herhalingstijden 1 dag, 1 week, 1 maand
 - › 50 jaar, 100 jaar (kar) of 76 000 jaar (ontwerp) niet mogelijk



Rijstrookbelasting: verkeersmodel (2)

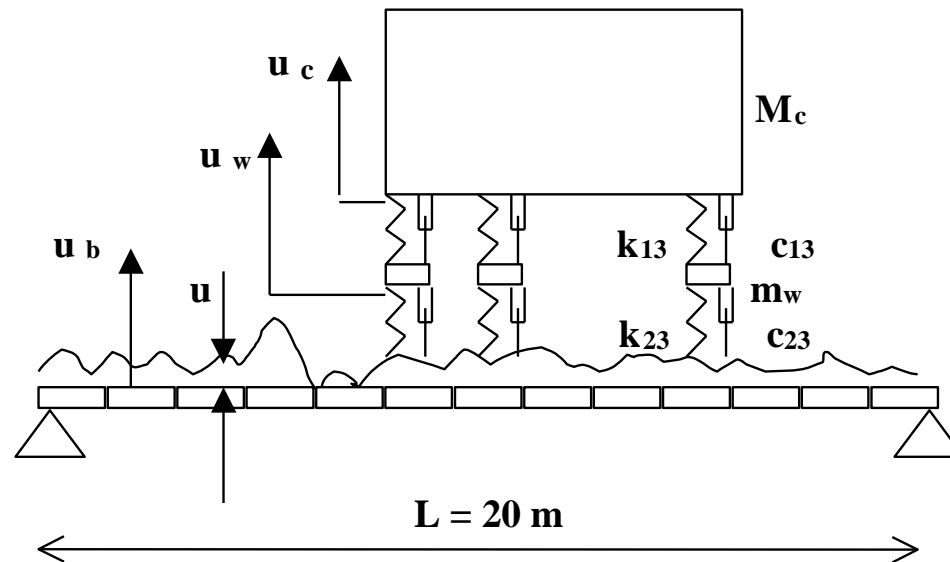
- › Analytisch model: tunen voor korte periodes aan Monte Carlo
- › Werken met velden op een brug met kansen van aanwezigheid vrachtwagen
- › Vrij verkeer en file bekijken
- › S, L, L+S
- › Vergelijken met Eurocode Q en q.





Dynamica

- › Brugresonantie apart toevoegen.



- › Statische toets UGT:

- › Lokaal: 1,4
- › Globaal: 1,1



Trends

Voor 50-100 jaar!

gemiddeld voertuiggewicht
ontwerpwaarde voertuiggewicht
ontwerpwaarde asbelasting
intensiteit
congestiedeel
vrachtwagens/personenwagens
konvoilengte
voertuigafstand bij congestie
vrachtwagenaandeel snelle strook



Verkeersbelastingen, vergelijking Eurocode

- › NEN-EN 1991-2/NB en NEN 8701
 - › met NEN-EN 1990/NB en NEN 8700 belastingfactoren

- › Aslasten en wiellasten LM1 en LM2 voldoen
- › NEN-EN 1991-2, LM 1 voldoet niet voor $L=20\text{m}$, 50m en 100m , behalve:
 - › In geval van doelgroepstrook
NEN-EN 1991-2/NB: $\alpha_{q1} = 1.15$
 - › Meer dan 2 rijstroken
NEN-EN 1991-2/NB: $\alpha_{q1} = 1.15$; $\alpha_{qi>1} = 1.40$

- › $L>100\text{ m}$: LM 1 conservatief: last-lengte factor in NEN 8701



Verkeersbelastingen, aanpassingen bestaande bruggen

NEN 8701

- › Rekenen met bestaande rijstrookindeling

- › Ontwerplevensduur korter:
 - › karakteristieke belasting lager
 - › minder trend

- › Aantallen uitgangspunt is zwaarst belaste locatie (RW16):
 - › reductie aantallen



Verkeersbelastingen, aanpassingen bestaande bruggen

NEN 8701

Tabel 1 — ψ -factor voor kortere referentieperioden

Referentieperiode	ψ -factor ^a			
	Lengte van de overspanning of invloedslengte L			
	20 m	50 m	100 m	≥ 200 m
100 jaar	1,00	1,00	1,00	1,00
50 jaar	0,99	0,99	0,99	0,99
30 jaar	0,99	0,99	0,98	0,97
15 jaar	0,98	0,98	0,96	0,96
1 jaar	0,95 ^b	0,94 ^b	0,89	0,88
1 maand	0,91 ^b	0,91 ^b	0,81	0,81

^a Voor andere invloedslengten en referentieperioden mag lineair zijn geïnterpoleerd.
^b Zie de opmerking onder de tabel.



Verkeersbelastingen, aanpassingen bestaande bruggen

NEN 8701

Tabel 2 — Reductiefactor α_{trend} voor de invloed van de trend ten opzichte van het jaar 2060, voor de belastingsgrootte voor BM1 en BM2

Invloedslengte L [m]	Reductiefactor α_{trend} ^a					
	2010	2020	2030	2040	2050	2060
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00
50	0,82	0,86	0,89	0,93	0,96	1,00
75	0,78	0,83	0,87	0,91	0,96	1,00
100	0,76	0,81	0,85	0,90	0,95	1,00
150	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
≥ 200	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00

^a Voor andere perioden en invloedslengten mag men lineair interpoleren. Voor belastingen door de enkele as of het enkele wiel (van BM2) mag men ongeacht de invloedslengte de waarde voor $L = 20$ m aanhouden. Twee in elkaars verlengde geplaatste pendelassen gelden hierbij als een enkele as.



Verkeersbelastingen, aanpassingen bestaande bruggen

NEN 8701

Tabel 2 — Reductiefactor α_{trend} voor de invloed van de trend ten opzichte van het jaar 2060, voor de belastingsgrootte voor BM1 en BM2

Invloedslengte L [m]	Reductiefactor α_{trend} ^a					
	2010	2020	2030	2040	2050	2060
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	0,89	0,91	0,93	0,96	0,98	1,00
50	0,82	0,86	0,89	0,93	0,96	1,00
75	0,78	0,83	0,87	0,91	0,96	1,00
100	0,76	0,81	0,85	0,90	0,95	1,00
150	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
≥ 200	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00

^a Voor andere perioden en invloedslengten mag men lineair interpoleren. Voor belastingen door de enkele as of het enkele wiel (van BM2) mag men ongeacht de invloedslengte de waarde voor $L = 20$ m aanhouden. Twee in elkaars verlengde geplaatste pendelassen gelden hierbij als een enkele as.



Verkeersbelastingen, aanpassingen bestaande bruggen

NEN 8701

Bij bruggen met overspanningen of invloedslengten L groter dan of gelijk aan 100 m, mogen de correctiefactoren α_{qi} en α_{qr} uit NEN-EN 1991-2 zijn vermenigvuldigd met de reductiefactor α_L .

$$\alpha_L = 1,2 - 0,002 \times L \quad \text{voor } 100 \text{ m} \leq L < 200 \text{ m}$$

$$\alpha_L = 0,8 \quad \text{voor } L \geq 200 \text{ m}$$

waarin L is de getalswaarde van L in [m].



Veiligheid van bestaande bruggen onder verkeersbelasting

- › Partiële factoren om de vereiste betrouwbaarheidsindex te behalen
- › Belastingmodel: statistische evaluatie van WIM metingen
- › Probabilistische berekeningen om partiële factoren te calibreren:
 - › Verbouw en afkeur CC1, CC2, CC3.



Veiligheid van bestaande bruggen onder verkeersbelasting

- › (A) Ontwerp een brug met $u.c.=1$ volgens de normen:
 - › Belastingnormen
 - › Sterktemodellen uit Eurocode incl materiaalfactoren.
 - › NEN EN 1990: toetsing volgens 6.10a/b met partiële factoren

- › (B) Beschouw de werkelijke situatie:
 - › Beschouw de werkelijke sterkte incl onzekerheid (uit proeven)
 - › Belast de brug met het daadwerkelijke verkeer zoals gemeten in WIM

- › (C) Bepaal de partiële factoren zdd de β -waarde gehaald wordt.



Veiligheid van bestaande bruggen onder verkeersbelasting

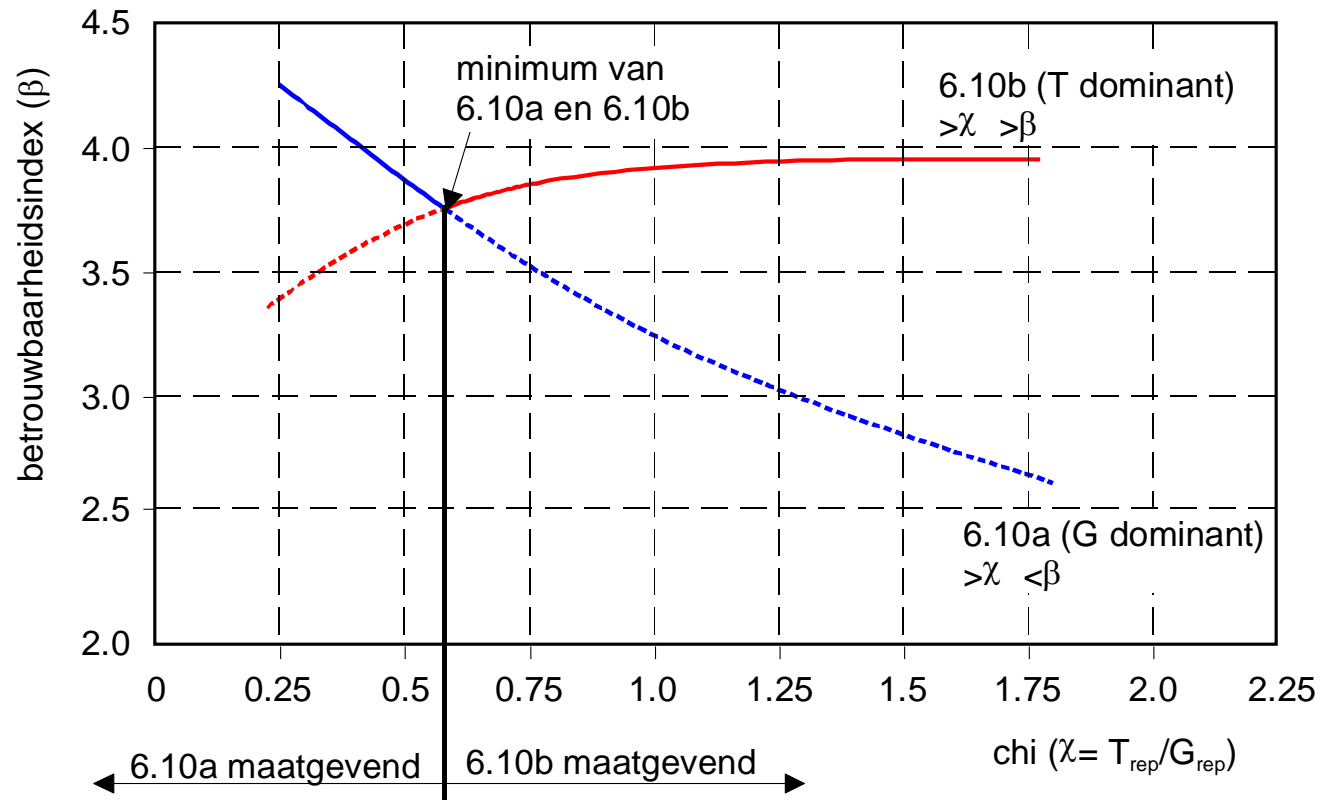
- › Probabilistische berekeningen:
 - › (A) Ontwerp een constructie volgens de norm met u.c.=1.0:
 - › (B) Belast de brug met de werkelijke verdeling van de belasting en bepaal faalkans:

$$Z = R - m_G G - m_T T$$

- › Sterkte R
 - › Lognormaal verdeeld met $V_R=0.10$
 - › Different shear stress models e.g. Eurocode with different combinations of parameters such as reinforcement ratio and concrete strength
- › Permanente belasting G : variatiecoefficient van 7 %.
- › T : gebaseerd op WIM metingen.
- › JCSS model onzekerheden.



Veiligheid van bestaande bruggen onder verkeersbelasting





Veiligheid van bestaande bruggen onder verkeersbelasting

NEN 8700	klasse	beta	G	Gcom	T	W	Q
nieuw	CC1	3,3	1,20	1,10	1,20	1,35	1,35
nieuw	CC2	3,8	1,30	1,20	1,35	1,50	1,50
nieuw	CC3	4,3	1,40	1,25	1,50	1,65	1,65
verbouw	CC1	2.8	1,10	1,10	1,10	1,20	1,10
verbouw	CC2	3.3(3,1)	1.25	1,15(1,10)	1,25(1,20)	1,40	1,30
verbouw	CC3	3.8(3,6)	1,30	1,20(1,15)	1,35 (1,30)	1,60	1,50
afkeuren	CC1	1.8	1,00	1,00	1,00	1,10	1,05
afkeuren	CC2	2.5	1,10	1,10	1,10	1,30	1,15
afkeuren	CC3	3.3(3,1)	1,25	1,15(1,10)	1,25	1,50	1,30

(getallen tussen haken voor bruggen ontworpen volgens de NEN 6700-serie of eerder)



Bebording

- › Ir. Frank van Dooren in het voorbeeld.
- › Inschatting van verhouding bord/werkelijke belasting
- › Hoe te handhaven?



raphael.steenbergen@tno.nl