

Stieltjesweg 1
2628 CK Delft
Postbus 155
2600 AD Delft

www.tno.nl

T +31 88 866 20 00
F +31 88 866 06 30

TNO-rapport TNO-2017-R10480

RBK Staal d.d. 31-1-2017
(startdocument voor NEN commissie
3510010204 Bestaande Staalbouw voor het
opstellen van NEN 8703)

Datum	12 april 2017
Auteur(s)	dr. ir. A.H.J.M. Vervuurt (editor)
Exemplaarnummer	0100304866
Aantal pagina's	81 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	6
Projectnummer	060.21649 - NEN 8703
Projectnaam	NEN 8703

Alle rechten voorbehouden.

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

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2017 TNO

Voorwoord

Met het uitkomen van de Eurocodes en NEN 8700 en NEN 8701 is vanuit ontwerpende en toetsende partijen als ook vanuit bevoegde gezagen een sterke behoefte ontstaan aan een breed gedragen methodiek om de bezwijkveiligheid en duurzaamheid van bestaande staalconstructies te beoordelen waarbij rekening kan worden gehouden met de bij de bouw toegepaste materialen.

Voor staalconstructies zijn de delen van Eurocode 3 (EC 3) geschreven voor nieuwbouw en deze houden geen rekening met oude ontwerpfilosofieën, materiaaleigenschappen en sterketoetsingen (rekenregels). Om hier alsnog in te voorzien, wordt in de lijn van de reeds uitgebrachte NEN 8700 en NEN 8701, als ook in de lijn van de in ontwikkeling zijnde NEN 8702 (Betonconstructies) invulling gegeven aan NEN 8703 welke dient te voorzien in beoordelingsrichtlijnen voor bestaande staalconstructies (in lijn met Eurocode 3, EN 1993).

NEN commissie “3510010204 Bestaande Staalbouw” is belast met het geven van invulling aan NEN 8703. De werkzaamheden die hiertoe dienen te worden uitgevoerd, behelzen onder andere het implementeren van de relevante onderdelen uit het onderdeel Staalconstructies van de Richtlijnen voor het Beoordelen van Bestaande constructies (RBK, RTD-1006), hierna genoemd RBK-Staal.

De RBK-Staal is vooralsnog een levend document. Om duidelijkheid te verkrijgen omtrent de startpunten van NEN commissie “3510010204 Bestaande Staalbouw” is in dit rapport de (momenteel) meest recente versie van de RBK-Staal vastgelegd. Deze versie dient als basis voor het opstellen van NEN 8703. De RBK-Staal is gebaseerd op de versie die op 31 januari 2017 door TNO is opgeleverd aan Rijkswaterstaat.

Merk op dat de hoofdstuknummering gelijk is gehouden aan het oorspronkelijke document (RBK-Staal). De paragrafen die niet relevant zijn voor NEN 8703 zijn niet ingevuld en grijs weergegeven. Daarnaast zijn enkele openstaande punten en vragen geel gearceerd weergegeven in rode tekst. Deze teksten maken geen onderdeel uit van de RBK-Staal.

Inhoudsopgave

1	Algemeen	5
2	Aanvullingen op normen en richtlijnen	5
2.1	Inleiding	5
2.2	Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp	5
2.3	NEN 8700	5
2.4	Eurocode 1 – Belastingen op constructies	5
2.5	NEN 8701	5
2.6	Eurocode 2: Ontwerp en berekening betonconstructies	5
2.7	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies (en mechanische uitrustingen, incl. fabricage en uitvoering)	5
2.8	Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies	5
2.8.1	Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen	5
2.8.2	Deel 1-2: Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand .	12
2.8.3	Deel 1-3: Algemene regels - Aanvullende regels voor koudgeformde dunwandige profielen en platen	12
2.8.4	Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvaste staalsoorten	12
2.8.5	Deel 1-5 Constructieve plaatvelden.....	13
2.8.6	Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en Stabiliteit van Schaalconstructies	13
2.8.7	Deel 1-7: sterkte en stabiliteit haaks op het vlak belaste platen	14
2.8.8	Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen	14
2.8.9	Deel 1-9: Vermoeiing.....	19
2.8.10	Deel 1-10: Materiaaltaaiheid en eigenschappen in de dikterichting.....	28
2.8.11	Deel 1-11: Ontwerp en berekening van op trek belaste componenten	28
2.8.12	Deel 1-12: Aanvullende regels voor de uitbreiding van NEN-EN 1993 voor staalsoorten tot en met S 700.....	28
2.8.13	Deel 2: Stalen bruggen.....	28
	Bijlage S1 - Verenmodel	36
S1.1	Algemeen.....	36
S1.2	Stijfheidsmodel voor een verbindingsmiddel belast op afschuiving	36
S1.2.1	Vervormingsmodel voor een voorgespannen bout.....	36
S1.2.2	37	
S1.2.3	Vervormingsmodel voor een klinknagel.....	38
S1.3	Bepaling van de krachtsverdeling in stuikverbindingen in flenzen	39
	Bijlage S2 - Toetsing van een doorsnede met een scherp defect	42
S2.1	Algemeen.....	42
S2.2	Bepaling van de effectieve afmetingen van het defect.....	43
S2.3	Equivalenten afmeting van het defect	43
S2.4	Kritische afmeting van het defect	49
S2.5`	Brektaaiheid uitgedrukt in de spanningsintensiteitsfactor	50
S2.6	Toetsing van de doorsnede met scheur	51
	Bijlage S3 - Low cycle vermoeiing	64
	Bijlage S4 - Modelleren stalen bruggen (informatief)	67
S4.1	Model algemene berekening bruggen.....	67

S4.2	Modellering plaatliggerbruggen	67
S4.2.1	Stijfheid verbindingen	68
S4.2.2	Modellering van de dekplaat.....	68
S4.2.3	Modellering troggen	69
S4.2.4	Modellering troggen in hoofdliggers	69
S4.3	Modellering bruggen met betonnen dek	70
S4.3.1	Modellering bevestiging betonnen dek.....	71
S4.3.2	Toetsing krachtsverdeling in verbindingen	71
S4.3.3	Moment om zwakke as in langsligger.....	73
S4.4	Modellering van specifieke onderdelen	73
S4.4.1	Zeeg.....	73
S4.4.2	Verbindingen met drukpunten in langsliggers	73
S4.4.3	Verticale staven en hangers in bogen en vakwerken.....	74
S4.4.4	Afrondingen in flenzen van dwarsdragers en consoles.....	75
S4.4.5	Plaatplooien met langs- en dwarsverstijvingen onder een combinatie van buiging en dwarskracht	76
S4.5	Ontwerp en modellering van de constructie met versterkingen	76
S4.5.1	Spannings- en vervormingen.....	76
S4.5.2	Modellering van versterkingen.....	77
Bijlage S5 - Inventarisatie van de bestaande constructie.....		78
S5.1	Inspectie van corrosie.....	78
S5.2	Constructieve inspectie	78
Bijlage S6 - Uitvoeringseisen.....		80
S6.1	Corrosie	80
S6.2	Lasbaarheid	80

1 Algemeen

2 Aanvullingen op normen en richtlijnen

2.1 Inleiding

2.2 Eurocode 0 – Grondslagen van het constructief ontwerp

2.3 NEN 8700

2.4 Eurocode 1 – Belastingen op constructies

2.5 NEN 8701

2.6 Eurocode 2: Ontwerp en berekening betonconstructies

2.7 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies (en mechanische uitrustingen, incl. fabricage en uitvoering)

2.8 Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies

NEN-EN 1993 serie	Eis
-------------------	-----

In aanvulling op de NEN-EN 1993 serie (Eurocode 3) geldt:

(1) Met verwijzing naar 4.2, opmerking 3 in NEN 8700 mogen de waarden van de materiaaleigenschappen en producten worden ontleend aan de ten tijde van het ontwerp geldende normen, voorschriften, ontwerp-, besteks-, bouw- of as built tekeningen of andere documentatie. Indien van toepassing moet deze informatie zijn omgerekend naar representatieve resp. rekenwaarden zoals bedoeld in de huidige normen voor toepassing bij nieuwbouw.

2.8.1 *Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen*

Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-1.

1.1.1(1) en (3)	Eis
-----------------	-----

Voor bestaande kunstwerken zie ook NEN 8700 en NEN 8701.

2.1.1(1)P en (3)	Eis
------------------	-----

Voor bestaande kunstwerken moet de toetsing worden uitgevoerd in overeenstemming met de regels in EN 1990 en NEN 8700 met de belastingen volgens NEN 8701, evenals de eisen in de RTD 1001 (ROK).

2.1.2 (1)	Eis
-----------	-----

NEN 8700 is van toepassing.

Delen van het kunstwerk mogen worden beoordeeld voor verschillende betrouwbaarheidsklassen. Daarbij geldt dat het hoofddraagsysteem altijd voor CC3 moet worden geverifieerd.

2.1.3.1(1)	Eis
------------	-----

Een kunstwerk van weervast staal moet worden getoetst als een kunstwerk van constructiestaal. Voor de verbouw van kunstwerken van koolstofstaal mag geen weervast staal worden toegepast.

Toelichting: Aangenomen is dat het kunstwerk is voorzien van een geschikte oppervlaktebescherming

2.3.1(1)	Eis
----------	-----

Belastingen en externe invloeden: NEN 8700 en NEN 8701 zijn eveneens van toepassing.

2.3.1(3)	Eis
----------	-----

Indien in de projectspecificatie is voorgeschreven, moet bij de analyse van het kunstwerk de opgetreden zettingen worden beschouwd. De zettingen moeten worden bepaald uit metingen. Eveneens moet een voorspelling worden gemaakt van de effecten van toekomstige te verwachten zettingen binnen de geplande restlevensduur van het kunstwerk.

2.4.2 (1)	Eis
-----------	-----

Geometrische gegevens moeten worden ontleend aan ontwerp/bestekstekeningen en/of aan fabriekstekeningen. Indien in de projectspecificatie is vermeld, moeten deze gegevens worden gecontroleerd met metingen aan het kunstwerk. Bij het ontbreken van tekeningen moeten de geometrische gegevens worden ontleend aan in-situ metingen.

Wanneer de afwijking tussen de afmetingen op ontwerp-, bestek- of fabrieks- en as built tekeningen en de gemeten geometrie van (onderdelen van) het kunstwerk leidt tot een reductie van de statische waarden met meer dan 5%, moet de gereduceerde waarde worden meegenomen in de verificatie.

Indien in de projectspecificatie vermeld moeten scheefstanden van bogen, pylonen van tuibruggen en vakwerken worden ingemeten. Deze scheefstanden moeten dan worden meegenomen in de toetsing.

Toelichting: De gemeten scheefstand is een gevolg van de imperfecties en de belasting en zettingen aanwezig tijdens de meting.

2.5	Eis
-----	-----

In aanvulling NEN-EN 1993-1-1 geldt:

(4) Indien in de projectspecificatie is voorgeschreven dat de constructieve eigenschappen van de toegepaste materialen moet worden bepaald door proefnemingen aan (onderdelen van) het kunstwerk, dan moet het aantal proefstukken zijn vermeld. In geval van walsprofielen moet de plaats van het uitgenomen materiaal overeenkomen met de plaats zoals aangegeven in de thans geldende productnormen.

(5) Op basis van de resultaten van trekproeven kan de vloeigrens en de treksterkte bepaald worden en op grond daarvan de staalsoort of een door meting vastgestelde waarde van de vloeigrens. In geval de trekproef dient ter vaststelling van de staalsoort

moet de bij de staalsoort behorende nominale vloeigrens worden bepaald op basis van RBK tabel 6.2.

(6) Indien een destructieve test als onder (5) niet uitgevoerd kan worden op de posities van het kunstwerk waar men deze informatie nodig heeft, d.w.z. op onderdelen van het kunstwerk met de hoogste unity checks, kan de destructieve test uitgevoerd worden op eenzelfde type onderdeel van het kunstwerk mits door niet-destructieve proeven wordt aangetoond dat de onderdelen uit hetzelfde staal zijn vervaardigd. Om dit aan te tonen moeten per plaat c.q. per profiel de volgende niet-destructieve proeven zijn genomen:

- 2 spectroscopiemetingen ten behoeve van de chemische samenstelling;
- 5 hardheidsmetingen op het geschuurde oppervlak, met een Vickersmeting HV5;
- 2 replicametingen op het geschuurde, gepolijste en geëtste oppervlak op basis van microscopie ten behoeve van de korrelgrootte en het percentage perliet.

(7) Bij proeven ter vaststelling van de staalsoort mag ervan uit gegaan worden dat de staalsoort volgend uit de trekproef ook geldig is voor alle soortgelijke onderdelen wanneer de afwijkingen van de niet-destructieve proeven op deze delen ten opzichte van de meting op het deel van de trekproef niet groter zijn dan de volgende waarden:

- spectroscopiemetingen: afwijkingen in koolstof: 0,05 %, silicium en mangaan niet groter dan 0,1 % (massapercentages);
- hardheidsmetingen: afwijking in hardheid niet groter dan 15 %;
- replicametingen: afwijking in ferriet korrelgrootte (G_{ISO}) niet groter dan 0,5 volgens de norm NEN-EN-ISO 643, [1]. Afwijking in gehalte perliet niet groter dan 5 %.

Opmerking 1: Een trekproef is altijd vereist, aangezien de niet-destructieve metingen enkel informatie over het materiaal aan het oppervlak van de plaat of het profiel geven, terwijl de materiaaleigenschappen over de dikte kunnen variëren. Voor spectroscopiemetingen geldt aanvullend dat de chemische samenstellingen van verschillende staalsoorten zeer vergelijkbaar kunnen zijn.

Opmerking 2: Referentie [1]: NEN-EN-ISO 643:2013, Steels - Micrographic determination of the apparent grain size.

(8) Alleen indien de richting waarin men de vloeigrens f_y wil weten gelijk is aan de walsrichting mag op basis van de uitkomst van trekproeven een hogere dan de nominale waarde van de vloeigrens volgens RBK tabel 6.2 bij de toetsing zijn genomen. Hierbij is sprake van één van de twee volgende situaties en moet voldaan zijn aan de bijbehorende aanvullende voorwaarden:

- De trekproef is uitgevoerd op materiaal uitgenomen uit de plaat of het walsprofiel waarvan men de vloeigrens wil weten.
Er kan volstaan worden met één trekproef. In de berekening mag voor f_y aangenomen worden 0.9 x de 0,2% rekgrens volgend uit de proef;
- De trekproef is uitgevoerd op materiaal waarvan de materiaal eigenschappen overeen komen met het onderdeel waarvan men de vloeigrens wil weten.
In dit geval moeten ten minste drie trekproeven zijn uitgevoerd op materiaal uitgenomen uit eenzelfde type onderdeel van de constructie, én de 0.2 % rekgrens van de drie trekproeven verschillen niet meer dan 2 % ten opzichte van elkaar, én de afwijkingen van het niet destructief onderzoek volgens (6) zijn op alle soortgelijke delen niet groter dan de volgende waarden:

- spectroscopiemetingen: afwijkingen in koolstof, silicium en mangaan niet groter dan 0,03 % (massapercentages);
- hardheidsmetingen: afwijking in hardheid niet groter dan 5 %;
- replicametingen: afwijking in ferriet korrelgrootte (G_{ISO}) niet groter dan 0,5 volgens de norm NEN-EN-ISO 643, [1]. Afwijking in gehalte perliet niet groter dan 5 %.

In de berekening mag voor f_y aangenomen worden $0.9 \times$ de laagst gemeten $0,2\%$ rekgrens volgend uit de drie trekproeven

3.1(2)	Eis
--------	-----

Voor constructiestaal moet voor de bepaling van de staalsoort en staalkwaliteit zijn uitgegaan van de informatie op de ontwerp-, besteks-, fabrieks- of as built tekeningen en andere beschikbare documenten of materiaalproeven.

Opmerking:

Voor verschillende constructiedelen kunnen verschillende staalsoorten en staalkwaliteiten zijn toegepast.

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

(3) Indien er tegenstrijdigheden aanwezig zijn in de documenten is het beschikbare document met het laagste volgnummer volgens RBK tabel 6.1 leidend.

Tabel 6.1 – Rangorde van documenten in het archief

Volgnummer	Document
1	Materiaalcertificaten
2	As built tekeningen
3	Bestek
4	Ontwerp/bestekstekeningen
5	Ontwerpnota's
6	Ontwerpberekeningen

(4) Indien informatie over de staalsoort ontbreekt, behoort in de toetsing in het algemeen uitgegaan te zijn van de staalsoort met de laagste vloeispanning van alle staalsoorten die tijdens de bouwperiode gebruikt werden. In de toetsing moet uitgegaan te zijn van de nominale vloeispanning in combinatie met de voor die staalsoort van toepassing zijnde partiële factor voor de weerstand.

(5) De partiële factoren voor de weerstand behorend bij die staalsoorten, zijn gegeven in 6.1 in deze RBK bij NEN-EN 1993-1-1.

(6) Indien (4) leidt tot afkeur of onderschrijding van het gebruiksniveau van het kunstwerk moeten materiaalproeven uitgevoerd worden volgens 2.5 van deze RBK bij NEN-EN 1993-1-1 om de werkelijk waarde van f_y en f_u te bepalen. Het uitvoeren van materiaalproeven moet in de projectspecificatie zijn voorgeschreven.

3.2.1	Eis
-------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

(2) Voor de nominale waarden van de vloeigrens f_y en de treksterkte f_u voor constructiestaal volgens de materiaalnormen ten tijde van het ontwerp en de uitvoering

mag worden uitgegaan van RBK tabel 6.2.

Opmerking: Tabel 6.2 is een overzicht van de staalsoorten die in verschillende periodes zijn toegepast.

Tabel 6.2: Nominale waarden van de vloeigrens f_y en de treksterkte f_u voor constructiestaal volgens oude normen

Staalsoort	Periode vanaf	Oude norm	t [mm]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
Vloeiijzer: 1.A 1.B 1.D 2.B	1920	Voorschriften ijzer	- - - -	235 235 235 235	330 330 330 330
Gewalst staal: St. 37 St. 44 L. St. 52 L. St. 56	1938	VOSB 1938	- - - t ≤ 18 18 < t ≤ 30 30 < t ≤ 50	235 235 355 350 345 340	340 430 510 540 540 540
Gewalst staal: Qm 37/Fe 302 Qmc 37/Fe 305 LQmc 52 / Fe 310	1952	V 1035 - IV ¹⁾	- - -	235 215 350	340 340 510
Gewalst staal: Fe 37 Fe 52 en hoger	1963	VOSB 1963 ¹⁾	- -	235 355	360 510
Staalsoort volgens Euronorm 25-72: Fe 310 / Fe 33 Fe 360 / Fe 37 Fe 430 / Fe 44 Fe 510 / Fe 52	1973	NEN 3851	t ≤ 40 40 < t < 100 t ≤ 40 40 < t < 100 t ≤ 40 40 < t < 100 t ≤ 40 40 < t < 100	200 180 240 216 280 252 360 324	310 279 360 324 430 397 510 459
Gewalst staal: EN 10025:1991 Fe 360 / Fe E 235 Fe 430 / Fe E 275 Fe 510 / Fe E 355 EU 113: 1986	1991	NEN 6770	t ≤ 40 40 < t ≤ 100 100 < t ≤ 250 t ≤ 40 40 < t ≤ 100 100 < t ≤ 250 t ≤ 40 40 < t ≤ 100 100 < t ≤ 250	235 215 175 275 255 205 355 325 275	360 340 320 430 410 380 510 490 450

Staalsoort	Periode vanaf	Oude norm	t [mm]	f _y [N/mm ²]	f _u [N/mm ²]
Fe 370 / Fe E 255			t ≤ 40	255	370
			40 < t ≤ 70	235	370
Fe 400 / Fe E 285			t ≤ 40	285	400
			40 < t ≤ 70	265	400
Fe 440 / Fe E 315			t ≤ 40	315	440
			40 < t ≤ 70	295	440
Fe 490 / Fe E 355			t ≤ 40	355	490
			40 < t ≤ 70	325	490
Gewalst staal: NEN-EN 10113	1995	VOSB 1995			
S 235			t ≤ 35	250	340
			35 < t ≤ 50	245	340
			50 < t ≤ 70	235	340
S 275			t ≤ 35	285	360
			35 < t ≤ 50	275	360
			50 < t ≤ 70	265	360
S 355			t ≤ 35	355	450
			35 < t ≤ 50	345	450
			50 < t ≤ 70	325	450
NEN-EN 10025	2001	VOBB 2001			
S235			t ≤ 16	235	340
			16 < t ≤ 40	225	340
			40 < t ≤ 100	215	340
S355			t ≤ 16	355	490
			16 < t ≤ 40	345	490
			40 < t ≤ 100	315	490
NEN-EN 10113					
S355N/ S355NL			t ≤ 16	355	470
			16 < t ≤ 40	345	470
			40 < t ≤ 100	315	470
DIN 17103					
TStE			t ≤ 50	355	490
			50 < t ≤ 100	335	490
			100 < t ≤ 150	315	470
			150 < t ≤ 375	295	470
			375 < t ≤ 600	275	470
1) Voor de constructieve eigenschappen moet rekening zijn gehouden met de invloed van de dikte van het materiaal zoals aangegeven in de materiaalnormen die ten tijde van het ontwerp en de uitvoering van toepassing waren. Indien van toepassing moeten deze waarden zijn omgerekend naar waarden overeenkomend met de huidige normen					

5.1.1(1)P

Advies

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

Aanwijzingen voor het toepassen van eindige elementen modellen zijn gegeven in bijlage S4.

5.1.1(2)	Eis
----------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

Voor de verificatie van de verbinding tussen langsliggers en dwarsdragers moet rekening zijn gehouden met de stijfheidsverdeling in de verbinding. Aanwijzingen hiervoor zijn gegeven in bijlage S4.

5.1.1(2)	Advies
----------	--------

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

Als de statische waarde van de doorsnede van een onderdeel met meer dan 5% is gereduceerd ten opzichte van de nominale doorsnede door bijvoorbeeld corrosie of afwijking van de geometrie, dan moet in de modellering van de constructie zijn gerekend met die gereduceerde statische waarde.

Opmerking De nominale doorsnede is de doorsnede gebaseerd op de plaatdikten zoals op de ontwerp-, fabrieks- of as built tekeningen is vermeld. De nominale doorsnede van profielen is de doorsnede met de afmetingen zoals in de productnormen ten tijde van het ontwerp en uitvoering is vermeld.

6.1	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

(2) Voor de partiële factoren γ_M voor bestaande kunstwerken vervaardigd uit constructie staal moet worden uitgegaan van de partiële factoren voor stalen bruggen volgens NEN-EN 1993-2.

(3) Voor de partiële factoren γ_M voor bestaande kunstwerken vervaardigd uit vloeiijzer moet worden uitgegaan van de volgende partiële factoren:

$$\gamma_{M0} = 1,15, \gamma_{M1} = 1,15 \text{ en } \gamma_{M2} = 1,35.$$

Toelichting: Ten gevolge van de spreiding in materiaaleigenschappen kunnen de partiële factoren voor oudere staalsoorten groter zijn dan de aanbevolen waarden in NEN-EN 1993-1-1. Voor meer informatie wordt verwezen naar de (Zwitserse en Duitse richtlijnen) SN505_269/3 en Richtlinie zur Nachrechnung von Strassenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie.)

6.2.1(5)	Eis
----------	-----

Bij 3-D spanningstoestanden moet het 3-D vloeicriterium volgens Von Mises worden gebruikt.

6.2.2.1	Eis
---------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

(2) Wanneer de statische waarde (oppervlak, weerstandsmoment, e.d.) van een doorsnede van een onderdeel van de constructie met meer dan 5% is gereduceerd ten opzichte van de nominale doorsnede door bijvoorbeeld (put)corrosie of afwijking van de geometrie, dan moet dat onderdeel zijn getoetst met de gereduceerde statische waarde.

(3) Voor de toetsing van de stabiliteit van platen en staven moet rekening zijn gehouden met de verdeling van corrosie over het te beschouwen constructiedeel.

Toelichting: In het algemeen is de invloed van lokale corrosie op de stabiliteit geringer dan bij een doorsnede toets. Indien het door corrosie aangetaste deel niet de zwaarst belaste doorsnede betreft kan men vaak uitgaan van de gemiddelde waarde van de door corrosie gereduceerde doorsneden over de lengte van het te toetsen element.

(4) In geval dat onderdelen van de constructie zijn aangetast door putcorrosie en er is door slijpen geen vloeiende geometrie overgang gerealiseerd, dan moet putcorrosie zijn beschouwd als een defect waarvoor de restlevensduur voor vermoeiing moet zijn bepaald op basis van bijlage S2.

Toelichting: Indien bij putcorrosie een vloeiende geometrie overgang is gerealiseerd zijn lid (2) en (3) van toepassing.

6.4.3.2	Eis
---------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-1 geldt:

(4) Indien de uitvoering van het kunstwerk afwijkt van de voorgeschreven detaillering in NEN-EN 1993-1-1, dan moet hiermee rekening worden gehouden bij de verificatie.

2.8.2 *Deel 1-2: Algemene regels – Ontwerp en berekening van constructies bij brand*

Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-2.

Algemeen	Eis
----------	-----

In de projectspecificatie moet zijn opgenomen of moet worden geverifieerd in welke mate de bestaande constructie gevoelig is voor brand. Als bijvoorbeeld bij een brugconstructie de bovenbouw door brand eenvoudig bezwijkt, dient de opdrachtnemer voorstellen te doen om bezwijken te voorkomen.

Toelichting:

Veel bruggen in het hoofdwegennet zijn ontworpen en gebouwd in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw. Destijds is er in het constructieve ontwerp geen rekening gehouden met het belastingsgeval brand. Bij de invoering van de Eurocodes is het belastingsgeval brand wel een aspect dat in het constructieve ontwerp meegenomen dient te worden.

2.8.3 *Deel 1-3: Algemene regels - Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen*

Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-3.

Algemeen	Eis
----------	-----

Bij renovatie is het toepassen van koudgevormde profielen anders dan gesloten verstijvingen (trogprofielen), zoals die worden toegepast voor orthotrope stalen rijdekken, niet toegelaten.

2.8.4 *Deel 1-4: Algemene regels - Aanvullende regels voor roestvaste staalsoorten*

Geen aanvullingen op NEN-EN 1993-1-4.

2.8.5 Deel 1-5 Constructieve plaatvelden

Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-5:2006(en) + NEN-EN 1993-1-5:2006/AC + NEN-EN 1993-1-5:2006/NB:2011

2.2 (2)	Eis
---------	-----

De meewerkende plaatbreedte bij bruggen dient bepaald te worden voor steunpunten en velden. In tegenstelling tot het gestelde is het niet toegestaan om een continue meewerkende breedte langs de lengte van de brug te veronderstellen.

2.2(5)	Eis
--------	-----

In de globale krachtswerking hoeft geen rekening gehouden te worden met het effect van plooi van lijfplaten op de stijfheid van plaatliggers, ook niet wanneer voor deze lijfplaten geldt dat $\rho < \rho_{lim}$.

2.4	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-5 geldt:

(2) Als de modellen volgens hoofdstuk 4 tot en met 7 van toepassing zijn, moeten deze zijn gebruikt. Indien spanningen in zowel langs- als dwarsrichting in het vlak van de plaat aanwezig zijn, dan moet de gereduceerde spanningsmethode worden toegepast.

Toelichting:

Over het algemeen is de spanningsreductiemethode erg conservatief. Daarom wordt aangeraden om de doorsnedereductiemethode en de rotated tension field methode toe te passen. Alleen indien deze methode niet toegepast kan worden mag gebruik gemaakt worden van de spanningsreductiemethode.

4.2(2)	Eis
--------	-----

De tekst moet gelezen worden zonder het woord "druk".

Toelichting: Deze additionele eis is bedoeld om met de spanningen in de brug in het elastisch domein te blijven (geen herverdeling van trekspanningen).

A.3	Eis
-----	-----

Indien uit de methode, beschreven in bijlage A, volgt dat de constructie niet voldoet ($UC > 1$), dan moet een analyse met een geometrisch niet lineair elastisch eindig-elementenmodel (GNA model) worden uitgevoerd, mits dit in de projectspecificatie is voorgeschreven.

Opmerking De definitie van een GNA-model is gegeven in 1.3.5.5 van NEN-EN 1993-1-6.

Toelichting:

De toetsingsregels volgens bijlage A.3 zijn bij opleggingen conservatief omdat er geen rekening kan worden gehouden met alle aanwezige verstijvingen en het werkelijk aanwezige spanningsverloop.

2.8.6 Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en Stabiliteit van Schaalconstructies

Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-6.

Algemeen	Eis
----------	-----

Om de stabiliteit te verifiëren van ronde buisprofielen van klasse 4, zoals genoemd in tabel 5.2 in NEN-EN 1993-1-1, wordt bedoeld een verificatie voor LS3.

2.8.7 *Deel 1-7: sterkte en stabiliteit haaks op het vlak belaste platen*
Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-7.

5.2.1	Eis
-------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-7 geldt:

(6) Met inachtneming van (5) is verificatie met een plastische berekening alleen toegelaten als is aangetoond dat lokaal vloeigedrag in combinatie met de vervorming van het betreffende constructie element in de uiterste grenstoestand geen gevolgen heeft voor sterkte en de standzekerheid van de constructie als geheel.

5.2.3.3(6)	Eis
------------	-----

Vervang het gestelde door: " $e_0 = \min(a/200, b/200)$ "

2.8.8 *Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen*
Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-8

2.2	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(4) Bij niet voldoende beschikbare informatie betreffende de toegepaste verbindingsmiddelen moet steekproefsgewijs een verbindingsmiddel worden uitgenomen en beproefd, mits dit in de projectspecificatie is voorgeschreven. De beproeving moet worden uitgevoerd volgens de huidige normen. Een uitgenomen bout moet worden vervangen door een bout van ten minste dezelfde boutklasse; een uitgenomen klinknagel moet worden vervangen door een voorspaninjectiebout van ten minste boutklasse 8.8.

Opmerking HvdW: Je zou de klinknagel ook kunnen vervangen door een pasbout. Als uitvoeringseis in bijlage S6 opnemen gat ruimen?

Indien de sterkte van het verbindingsmiddel niet eenduidig is vast te stellen, dan moeten alle verbindingsmiddelen in de betreffende verbinding(en) worden vervangen.

2.4./2.5	Eis
----------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

Bij verificatie van verbindingen in lijfplaten van plaatliggers

- Mag voor doorsnedeklasse 1 en 2 zijn gerekend met de capaciteit van de verbindingsmiddelen;
- Moet voor doorsnedeklasse 3 de krachtsverdeling over de verbindingsmiddelen aansluiten bij de spanningsverdeling in de aan te sluiten onderdelen;
- Moet voor doorsnedeklasse 4 de krachtsverdeling over de verbindingsmiddelen aansluiten bij de spanningsverdeling in de aan te sluiten onderdelen. Bij de toetsing van op druk belaste verbindingen moet rekening zijn gehouden met de spanningsverdeling die hoort bij de gekozen methode van verifiëren (spanningsreductie resp. doorsnedereductie methode).

2.5	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

g) Indien er bij klinknagel- of voorspanboutverbindingen indicaties zijn van verschuiving van één of meer verbindingsmiddelen, dan mogen deze verbindingsmiddelen niet in de berekening worden meegenomen, tenzij deze vervangen worden.

h) Verbindingsmiddelen met ernstige corrosieschade mogen bij de berekening van de sterkte van de verbinding niet zijn meegenomen, tenzij ze worden vervangen. Bij beperkte aantasting van de verbindingsmiddelen mag ervan uitgegaan zijn dat de verbindingsmiddelen hun originele doorsnede en sterkte hebben behouden.

Opmerking 1:

Wanneer de kop of moer van een bout zodanig is aangetast dat er geen sleutel om past of de kop of de moer is gedeeltelijk weg gecorrodeerd, dan is er sprake van ernstige aantasting door corrosie. Wanneer een klinknagel los zit, dan moet ervan uitgegaan worden dat sprake is van ernstige aantasting door corrosie.

Opmerking 2:

Wanneer nauwelijks sprake is van corrosie van de kop of de moer, mag ervan uitgegaan zijn dat ook de steel van het verbindingmiddel nauwelijks aangetast is.

3.2 (1)	Eis
---------	-----

Voor de rekenwaarde van de treksterkte f_{ur} voor klinknagels volgens de normen ten tijde van het ontwerp en de uitvoering mogen de waarden in RBK tabel 6.3 zijn aangehouden.

3.3 (1)	Eis
---------	-----

Zie de aanvulling op de NEN-EN serie in deze RBK.

3.5 (1)	Eis
---------	-----

Tabel 3.3 is geldig voor staalsoorten die van toepassing waren ten tijde van het ontwerp en de uitvoering.

3.6.1(15)	Eis
-----------	-----

Voor de toetsing van de afschuifweerstand en trekweerstand van klinknagels volgens de normen die ten tijde van het ontwerp en de uitvoering van toepassing waren, mag voor de rekenwaarde van de sterkte van klinknagels f_{ur} worden uitgegaan van RBK tabel 6.3.

Tabel 6.3: Rekenwaarde f_{ur} voor klinknagels volgens oude normen

Staalsoort klinknagel	Periode vanaf	Oude norm	f_{ur} [N/mm ²]
Welijzer 2.A. Vloeiijzer 1.D	1920	Voorschriften ijzer	400 400
K. St. 34 L. K. St. 42 L. K. St. 47	1938	VOSB 1938	400 600 600
Qmc 34 Qmc 41 LQmc 42 LQmc 46	1952	V 1035 - IV	400 600 600 600
Fe 34 Fe 42 Fe 47	1963	VOSB 1963	400 600 600
Fe 330	1995	VOSB 1995	400

Fe 420			600
S 235	2011	EN 1993	400
S 275			600

Opmerking: In het verleden werd de staalsoort van klinknagels gekozen behorend bij het materiaal waarin hij werd toegepast. De toetsing op sterkte van de klinknagel was hierdoor gerelateerd aan de staalsoort van het plaatmateriaal.

3.6.1, tabel 3.4	Eis
------------------	-----

Vervang noot 3 van tabel 3.4 door:

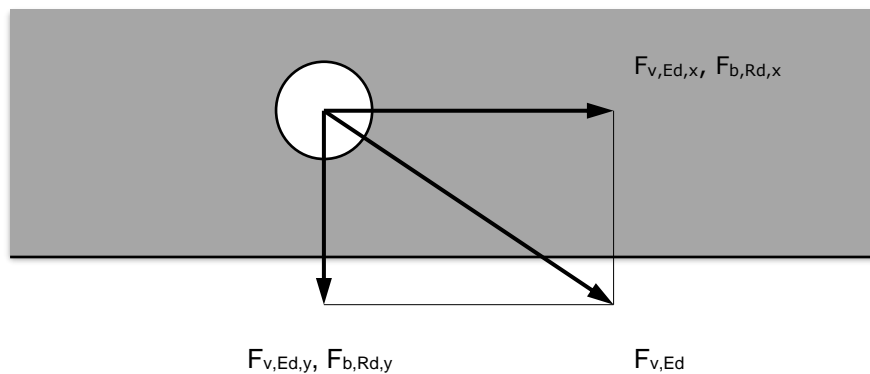
Een bout die niet parallel aan een plaatrand belast wordt, moet voor stuw voldoen aan, zie figuur 6.1:

$$\left(\frac{F_{v,Ed,x}}{F_{b,Rd,x}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed,y}}{F_{b,Rd,y}}\right)^2 \leq 1$$

waarin:

- $F_{b,Rd,x}$ is de rekenwaarde van de stuwweerstand van de bout parallel aan de plaatrand (x-richting);
- $F_{v,Ed,x}$ is de rekenwaarde van de stuwkracht werkend op de bout parallel aan de plaatrand (x-richting);
- $F_{b,Rd,y}$ is de rekenwaarde van stuwweerstand van de bout loodrecht op de plaatrand (y-richting);
- $F_{v,Ed,y}$ is de rekenwaarde van de stuwkracht werkend op de bout loodrecht op de plaatrand (y-richting).

Opmerking: De x-richting is gedefinieerd als de richting evenwijdig aan de dichtstbijzijnde rand.



Figuur 6.1: Definitie boutkracht richtingen

3.8	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(3) Wanneer de krachtsverdeling in een voorspanboutverbinding is bepaald volgens bijlage S1 is artikel 3.8 (2) niet van toepassing.

Toelichting:

Artikel 3.8 betreft de toetsingsregel voor de krachtsverdeling in een (schetsplaat)verbinding (knoop) voor lange verbindingen. Het verenmodel volgens bijlage S1 houdt rekening met de verdeling van de krachten tussen de verbindingsmiddelen op basis van stijfheden en vervormingscapaciteiten.

3.9.1 (1)	Eis
-----------	-----

Wrijvingscoëfficiënten van voorgespannen boutverbindingen moeten worden afgeleid van de tijdens het ontwerp en de bouw geldende documenten en normen dan wel onderzoeksresultaten ten tijde van het ontwerp. In RBK tabel 6.4 zijn wrijvingscoëfficiënten gegeven die ten tijde van het ontwerp en de bouw gebruikt werden.

Opmerking HvdW: Check HS+FvD

Toelichting: Vanaf ongeveer 1970 werden voorspanbout verbindingen "geschopeerd" (Schoop). Voor de dimensionering en uitvoering werd het "Rode Boekje" Publicatie "Voorlopige richtlijnen voor het ontwerpen en uitvoeren van verbindingen met voorspanbouts in staalconstructies," 2^{de} uitgave, november 1968 gehanteerd.

Tabel 6.4 wrijvingscoëfficiënten

contactvlakken	wrijvingscoëfficiënt
Gestraald en onbehandeld	0,3
Aluminium geschopeerd	0,5
Ethyl zink-silicaat	0,45

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(2) Voorspanboutverbindingen die in één of beide krachtsrichtingen niet voldoen aan de verificatie volgens categorie C (glijvast in de uiterste grenstoestand) mogen worden geverifieerd volgens categorie B (glijvast in de gebruikstoestand). De overige uit te voeren verificaties moeten worden uitgevoerd voor de uiterste grenstoestand.

(3) In verbindingen die afwisselend op trek en druk worden belast, mag alleen in de richting van de absolute waarde van de grootste kracht (trek of druk) ten gevolge van de belasting in de uiterste grenstoestand glijden van de verbinding optreden. In de richting van de absolute waarde van de kleinste kracht ten gevolge van de belasting in de uiterste grenstoestand moet de verbinding glijvast zijn, (categorie C)

Toelichting: Door afwisselend glijden kan de wrijvingskracht verloren gaan.

(4) Indien in een voorspanboutverbinding bij de belasting behorende bij de gebruikstoestand slijp optreedt, dan moet de krachtsverdeling in de verbinding zijn bepaald volgens bijlage S1.

3.9.3 (1)	Eis
-----------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(1) Van voorspanboutverbindingen van boutklasse 10.9 in verbindingen die in de uiterste grenstoestand als glijvast zijn ontworpen mag zijn aangenomen dat deze samen met de lassen de belasting opnemen, mits de bouten na het lassen zijn voorgespannen.

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(2) Bij (onder)flenzen die zijn opgebouwd uit een aantal, met langlassen aan elkaar verbonden platen, mag voor het opnemen van de schuifkracht, behalve ter plaatse van

de stuiken in de (onder)flenzen, geen rekening zijn gehouden met aanwezige bouten tenzij deze zijn voorgespannen.

Toelichting:

In veel bestaande constructies zijn platen van onderflenzen gebout en tevens in langsrchting gelast. De bouten dienen om het pakket bij elkaar te houden.

3.10.2	Eis
--------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(4) Als alternatief mag voor een boutgroep die is onderworpen aan een excentrische belasting in formule 3.10 van NEN-EN 1993-1-8 de constante 0,5 worden vervangen door de verhouding tussen de gemiddelde trekspanning en de maximale trekspanning in de doorsnede A_{nt} .

Toelichting:

Formule 3.10 van NEN-EN 1993-1-8 is afgeleid voor de situatie van een raveling met een dubbele rij bouten volgens figuur 3.8 uit NEN-EN 1993-1-8. Bij een dergelijke verbinding kan de volledige plastische doorsnedecapaciteit zich niet ontwikkelen in de op trek belaste netto doorsnede A_{nt} . In formule 3.10 is hiervoor uitgegaan van een spanningsverdeling van 0 tot f_u . Voor lange schetsplaatverbindingen is deze benadering te conservatief, waardoor beter kan worden uitgegaan van het optredende spanningsverloop over deze doorsnede.

3.12 (1), (2) en (3)	Eis
----------------------	-----

Is niet van toepassing wanneer de krachtsverdeling in een voorspanboutverbinding is bepaald volgens bijlage S1

Toelichting:

Het verenmodel volgens bijlage S1 houdt rekening met de verdeling van de krachten tussen de verbindingsmiddelen op basis van stijfheden en vervormingscapaciteiten.

5.1.5 (3)	Eis
-----------	-----

Vervang: 'aan beide' door 'aan de vier volgende'.

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

- de constructie moet voldoen aan de eisen met betrekking tot de uiterste grenstoestand wanneer scharnieren zijn aangenomen ter plaatse van de betreffende verbindingen.

5.1.5	Eis
-------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-8 geldt:

(10) Het verwaarlozen van secundaire momenten in de aansluiting van hangers aan bogen is toegestaan, mits aan dezelfde voorwaarden voor vakwerken conform artikel 5.1.5 van NEN-EN 1993-1-8 en 5.1.5 (3) in deze RBK bij NEN-EN 1993-1-8 is voldaan.

(11) Voor de toetsing op (low cycle)vermoeiing moeten de secundaire momenten zijn meegenomen. Voor het bepalen van de secundaire momenten moet de stijfheid van de verbindingen nauwkeurig worden gemodelleerd.

2.8.9 *Deel 1-9: Vermoeiing*

Aanvullingen op NEN-EN 1993-1-9.

1.4	Eis
-----	-----

Vervang “m = helling van de vermoeiingssterkte curve” door “m = de reciproque (of: inverse) waarde van de helling van de vermoeiingssterkte curve wanneer deze wordt weergegeven op logaritmische schaal”.

3 NB	Eis
------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-9 geldt:

(8) De vermoeiingsbeoordeling moet zijn gebaseerd op NEN-EN 1993-2 en RTD 1001 (ROK).

(2) Als voor de hoofddraagconstructie de vermoeiingsschade $D > 1$ dan moet de vermoeiingsbeoordeling zijn gebaseerd op het concept van ‘schade tolerant’ en ‘grote gevolgen bij bezwijken’ ($\gamma_{Mf} = 1,15$). Aanvullend moet dan een inspectie-interval worden bepaald, gebaseerd op een berekening volgens bijlage S2.

(10) Als voor de orthotrope rijvloer de vermoeiingsschade $D > 1$, dan moet voor de vermoeiingsbeoordeling zijn uitgegaan van het concept ‘schade tolerant’ en ‘geringe gevolgen bij bezwijken’ ($\gamma_{Mf} = 1,0$). Aanvullend moet een inspectie-interval worden bepaald, gebaseerd op een berekening volgens bijlage S2.

(11) Voor de orthotrope rijvloer geldt dat uitgegaan mag worden van ‘geringe gevolgen bij bezwijken’, tenzij het betreffende constructiedeel behoort tot de hoofddraagconstructie, dan moet zijn uitgegaan van ‘grote gevolgen bij bezwijken’. Voor de overige delen van de hoofddraagconstructie geldt dat uitgegaan moet worden van ‘grote gevolgen bij bezwijken’, tenzij wordt aangetoond dat de brug niet bezwijkt bij het bezwijken van het betreffende deel.

Toelichting:

Als de rijvloer onderdeel uitmaakt van de hoofddraagconstructie en de rijvloer fungeert als de bovenflens van de dwarsdrager of de hoofdligger, én wanneer het bezwijken van deze dwarsdrager of hoofdligger kan resulteren in het bezwijken van de brug, bijvoorbeeld doordat de dwarsdrager de krachten van hoofdliggers overbrengt naar opleggingen of naar de tuien, dan is de rijvloer onderdeel van de hoofddraagconstructie.

(12) Bij een geconstateerd defect (scheur) moet de restlevensduur zijn bepaald met een berekening volgens bijlage S2. Bij een defect (scheur) in secundaire verbindingen moet worden nagaan of verdergaande scheurgroei kan leiden tot bezwijken van primaire verbindingen.

4	Eis
---	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-9 geldt:

(3) Als in de uiterste grenstoestand voor de verificatie van een doorsnede gebruik is gemaakt van plastische herverdeling, dan moet naast de verificatie op vermoeiing volgens NEN-EN 1993-1-9 ook een verificatie op low-cycle vermoeiing volgens bijlage S3 worden uitgevoerd.

6	Eis
---	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-9 geldt:

- (1) Voor een gelaste constructie waarbij scheurvorming vanuit de lasteen kan optreden, moet de verificatie van de vermoeiingssterkte worden gebaseerd op de (gemodificeerde) nominale spanning of zijn uitgevoerd met de hot-spot (of geometrische) spanning.
- (2) Wanneer de krachtsafracht is bepaald met een model bestaande uit balkelementen of met een handberekening, dan moet de gemodificeerde nominale spanning ter plaatse van de verbinding worden bepaald door de nominale spanning ter plaatse van de verbinding te vermenigvuldigen met de globale spanningsconcentratiefactor k_f . De nominale spanning ter plaatse van de verbinding is de spanning loodrecht op de las.

Opmerking 1 Door vermenigvuldiging van de nominale spanning met de factor k_f wordt de invloed van de globale geometrie in rekening gebracht.

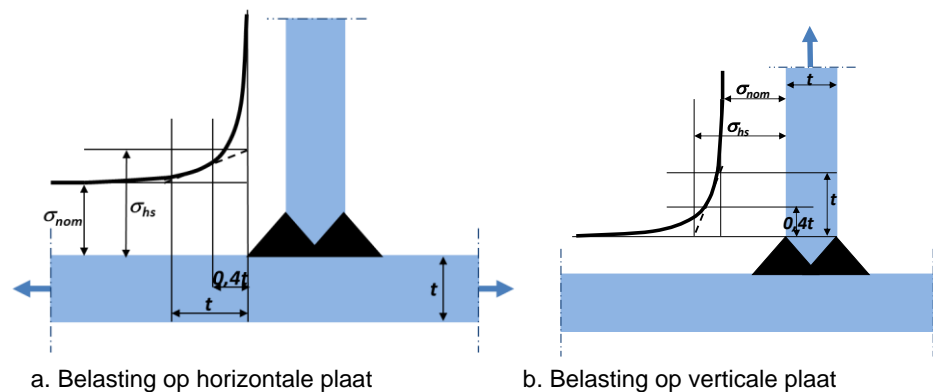
Opmerking 2 De globale spanningsconcentratiefactor k_f kan voor standaard details gevonden worden in de literatuur of kan bepaald worden op basis van een detailanalyse met behulp van een model met schaalementen.

- (3) Wanneer de krachtsafracht is bepaald met een model bestaande uit volume-elementen waarin tevens de las is gemodelleerd, dan moet daaruit de hot-spot spanning bepaald worden door lineaire extrapolatie van de spanning naar de lasteen. De hot-spotspanning moet worden geëxtrapoleerd vanuit de spanning aan het oppervlak van de belaste plaat in punten die op $0,4t$ en t vanaf de lasteen liggen. Hierin is t gelijk aan de dikte van de belaste plaat, zie figuur 6.1.

- (4) De gemodificeerde nominale spanning mag ook zijn bepaald met een model bestaande uit plaat- of schaalementen. Als waarde voor de gemodificeerde nominale spanning moet de spanning loodrecht op de las, ter plaatse van het snijpunt van de twee platen, aan het oppervlak van de belaste plaat worden genomen.

Opmerking: Afhankelijk van de geometrie is de hot-spot spanning op basis van een eindige-elementenmodel bestaande uit schaalementen in het algemeen conservatief.

- (5) De vermoeiingsanalyse moet zijn gebaseerd op de spanningen loodrecht op de las. Een vermoeiingsanalyse op basis van de Von Mises spanning is niet toegelaten.



Figuur 6.1: Definitie van de hot-spot spanning.

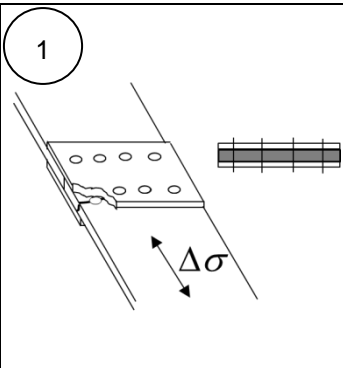
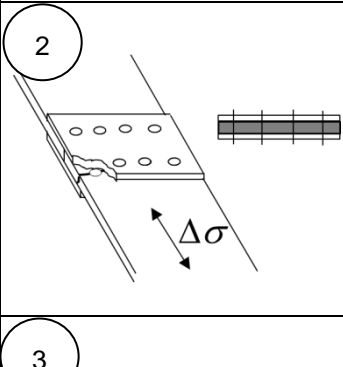
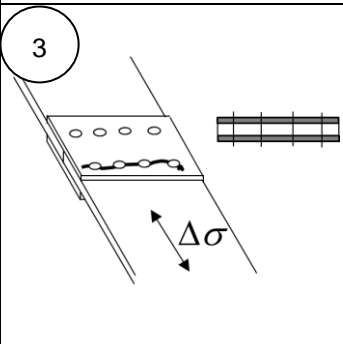
(6) De verificatie op vermoeiing van een wortel van een las moet zijn gebaseerd op de spanning ten gevolge van de normaalkracht en een buigend moment in de aansluitende plaat, ongeacht de modellering die is gehanteerd voor de bepaling van de krachtsafdracht. De spanning moet zijn bepaald volgens artikel 5 (6) in EN 1993-1-9.

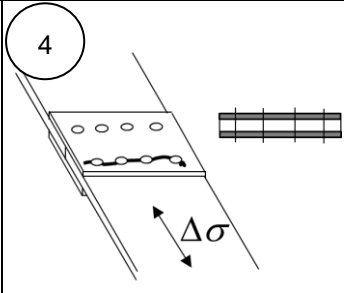
7.1(6) NB	Eis
-----------	-----

Voor de toetsing op vermoeiing van klinknagels en klinknagelverbindingen gelden de detailcategorieën volgens tabel 6.5.

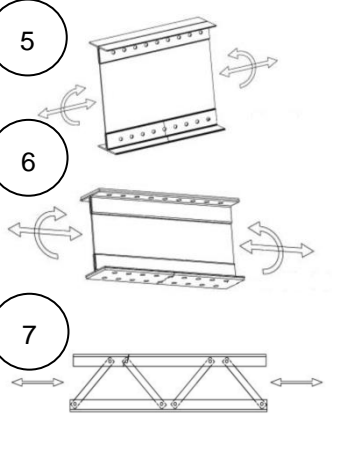
De spanningswisselingen ten gevolge van de belasting moeten zijn bepaald op basis van de netto doorsnede. Voor de hele S-N lijn moet een helling $m=5$ zijn aangenomen.

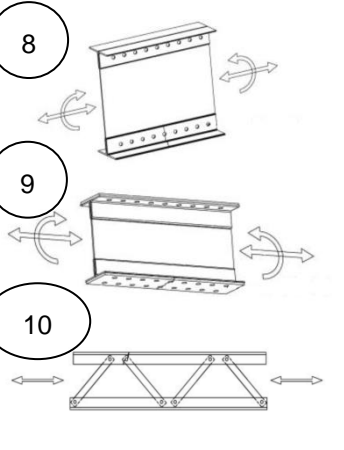
Tabel 6.5 Klinknagelverbindingen

Detail-categorie	Constructiedetail	Beschrijving	Eisen
<u>Symmetrische verbinding met stuikeplaten</u>			
90 $m = 5$		1) Middelste platen	<ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de middelste plaat. - De verhouding stuijspanning t.o.v. netto spanning is kleiner dan 2: $\sigma_{stuijk}/\sigma_{netto} < 2$. - Klinknagels met $f_{ur} \leq 400$ N/mm², of - Klinknagels met $f_{ur} > 400$ N/mm² waarbij geen corrosiebeschermende coating of menie op de contactoppervlakken is aangebracht, zie noot ^{b)}
80 $m = 5$		2) Middelste platen	<ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de middelste plaat. - Als aan één of meer eisen van detail 1) niet is voldaan, zie noot ^{b)}
80 $m = 5$		3) Stuikeplaten	<ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de stuikeplaat. - De verhouding stuijspanning t.o.v. netto spanning is kleiner dan 2: $\sigma_{stuijk}/\sigma_{netto} < 2$. - Klinknagels met $f_{ur} \leq 400$ N/mm², of - Klinknagels met $f_{ur} > 400$ N/mm² waarbij geen corrosiebeschermende coating of menie op de contactoppervlakken is aangebracht, zie noot ^{b)}

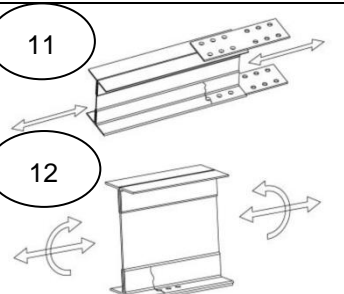
<p>71 $m = 5$</p>		<p>4) Stuikplaten</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de stuikplaat. - Als aan één of meer eisen van detail 3) niet is voldaan, zie noot ^{b)}
----------------------------------	---	-----------------------	---

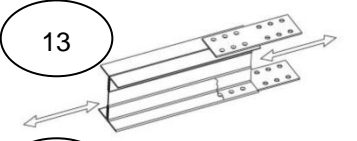

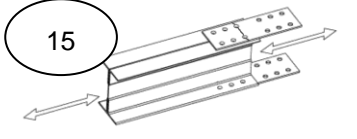
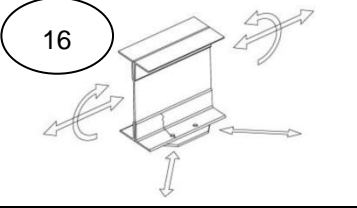
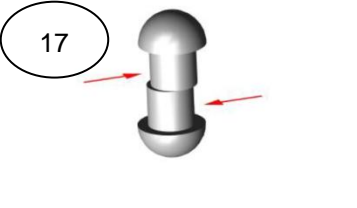
Samengestelde liggers

<p>85 $m = 5$</p>		<p>5) Doorgaande verbinding tussen hoekstalen en lijf 6) Doorgaande verbinding tussen hoekstalen en flensplaten 7) Vakwerkligger</p>	<p>Details 5) tot 7)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - De schuifkracht per klinknagel-afschuifvlak in de bruikbaarheidsgrenstoestand is kleiner dan de minimum waarde van de slipweerstand volgens Tabel 6.6, zie noot ^{c)}
----------------------------------	--	--	--

<p>71 $m = 5$</p>		<p>8) Doorgaande verbinding tussen hoekstalen en lijf 9) Doorgaande verbinding tussen hoekstalen en flensplaten 10) Vakwerkligger</p>	<p>Details 8) tot 10)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Als aan de eis van details 5) tot 7) niet is voldaan.
----------------------------------	---	---	---

Enkelzijdige verbindingen

<p>85 $m = 5$</p>		<p>11) Verbinding met stuikplaten, flens 12) Eerste klinknagelrij van een opdikplaat</p>	<p>Details 11) tot 12)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de flens - De schuifkracht per klinknagel-afschuifvlak in de bruikbaarheidsgrenstoestand is kleiner dan de minimum waarde van de slipweerstand volgens Tabel 6.6, zie noot ^{c)}
----------------------------------	---	--	--

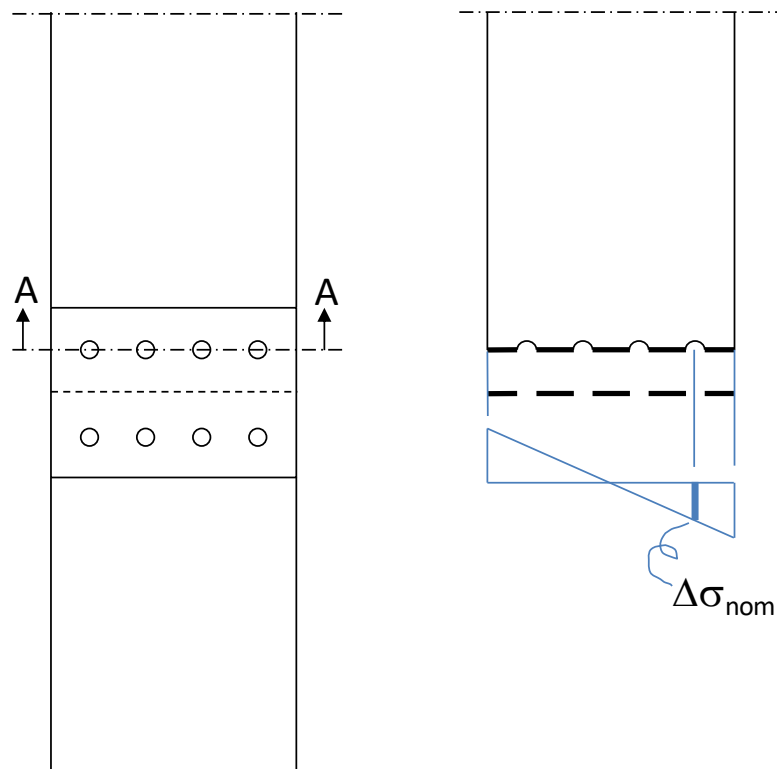
71 $m = 5$	  	<p>13) Verbinding met stukplaten, flens</p> <p>14) Eerste klinknagelrij van een opdikplaat</p> <p>15) Verbinding met stukplaten, stukplaat</p>	<p>Details 13) tot 14)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Als aan de eis van details 11) tot 12) niet is voldaan. <p>Detail 15)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de stukplaat.
71 $m = 5$		16) Verbindingsvlak van een dwarsverband aan de flens van een ligger	<ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{a)} - Spanning in de flens van de ligger.
<u>Klinknagel belast op afschuiving</u>			
140 $m = 5$		17) Klinknagel belast op afschuiving	<ul style="list-style-type: none"> - Zie noot ^{d)} - Toetsing gebaseerd op de schuifspanningsrange $\Delta\tau$ berekend als $\Delta F/A$, met ΔF is de range van de schuifkracht per klinknagel en per afschuifvlak en A is de doorsnede van de klinknagel.
<p>^{a)} Details 1 – 16:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gebruik de nominale spanning in de netto doorsnede ter plaatse van de klinknagel. Als voorbeeld, bij buiging in het vlak, gebruik de nominale spanning in de netto doorsnede ter plaatse van de zwaarst belaste klinknagel, zie Figuur 6.1A. - Geldig voor zowel trek-trek, trek-druk en druk-druk belastingsituaties. - De vorm van de S-N curve is identiek aan die van figuur 7.2 van NEN-EN 1993-1-9 (die voor klinknagelverbindingen dus geldt voor normaalspanningsintervallen). - Er mag geen gebruik gemaakt worden van de correctie op de vermoeingssterkte voor niet-gelaste details deels op druk belast volgens paragraaf 7.2.1 van NEN-EN 1993-1-9. <p>^{b)} Details 1 – 4: De klemkracht van klinknagels met $f_{ur} > 400 \text{ N/mm}^2$ is geringer dan van klinknagels met $f_{ur} < 400 \text{ N/mm}^2$. In combinatie met menie betekent dit dat de krachtoverdracht door wrijving van klinknagels met $f_{ur} > 400 \text{ N/mm}^2$ relatief gering is. Klinknagelverbindingen in constructies van Rijkswaterstaat werden normaliter voorzien van menie tussen de contactoppervlakken. Tenzij er bewijs is dat dit niet is gebeurd, moet er daarom vanuit gegaan zijn dat er menie is aangebracht op de contactvlakken.</p> <p>^{c)} Details 5 – 7, 11 en 12: Met krachten in de bruikbaarheidsgrenstoestand wordt in deze tabel bedoeld de kracht ten gevolge van de combinatie van permanente en veranderlijke belastingen met partiële factoren gelijk aan 1.</p> <p>^{d)} De vorm van de S-N curve is identiek aan die van figuur 7.2 van NEN-EN 1993-1-9</p>			

Tabel 6.6. Minimum waarden van de slipweerstand per klinknagel-afschuifvlak.

Toegepaste klinktechniek en aantal klinknagels, n ^{a)}	Minimum waarde van de slipweerstand per klinknagel-afschuifvlak	
	Klinknagels van ijzer of staal met $f_{ur} \leq 400 \text{ N/mm}^2$	Klinknagels van staal met $f_{ur} > 400 \text{ N/mm}^2$
Techniek niet bekend of handmatig aangebracht	12 kN	8 kN
Met pneumatische hamer aangebracht en $n \leq 15$	12 kN	8 kN

Toegepaste klinktechniek en aantal klinknagels, n ^{a)}	Minimum waarde van de slipweerstand per klinknagel-afschuifvlak	
	Klinknagels van ijzer of staal met $f_{ur} \leq 400 \text{ N/mm}^2$	Klinknagels van staal met $f_{ur} > 400 \text{ N/mm}^2$
Met pneumatische hamer aangebracht en $n > 15$	15 kN	10 kN

^{a)} Voor details 5, 6, 8 en 9 is n gelijk aan 1; voor details 7, 10 en 16 is n het aantal klinknagels per verbinding tussen twee staven; voor details 1-4 en 11-15 is n het aantal klinknagels waarmee de kracht ingeleid wordt in de stuik- of opdikplaat.



Figuur 6.1A Voorbeeld van de berekening van de nominale spanning bij buiging in het vlak.

8	Eis
---	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(5) Voor een gescheurd (las)detail waarbij de scheur niet door de plaat “loopt” en de scheur is door middel van uitgutsen volledig verwijderd en opnieuw gelast, is de aan te houden detailcategorie van de gerepareerde las :

- Gelijk aan de detail categorie van de oorspronkelijke las als de detailcategorie gelijk was aan of lager dan 80;
- één klasse lager dan de detailcategorie van de oorspronkelijke las als de detailcategorie hoger was dan 80.

Opmerking: De detailcategorieën na reparatie door middel van uitgutsen en opnieuw lassen gelden alleen wanneer de reparatie is uitgevoerd door een daarvoor gecertificeerde lasser.

(6) Voor een scheur in de dekplaat van een orthotrope rijvloer die is gerepareerd door middel van uitgutsen en opnieuw lassen moet volledige doorlassing aangetoond zijn op basis van 100% NDT. Voor deze reparatielas moet detail categorie 95 zijn aangehouden.

8, tabel 8.1, details (1-5)	Eis
-----------------------------	-----

Voor randen van:

- gewalste platen, strippen en profielen
- geëxtrudeerde profielen of buizen
- platen met geknipte of thermisch gesneden randen

mag geen hogere detail categorie zijn aangehouden dan detail categorie 140 conform detail 4 van tabel 8.1.

8, tabel 8.1, details (8-10)	Toelichting
------------------------------	-------------

In afwijking van de illustraties van details (8-10) kunnen scheuren ook initiëren voor de onderlegging of ter plaatse van het einde van een plaat.

8, tabel 8.1, details (14-15)	Eis
-------------------------------	-----

Er mag alleen worden uitgegaan van voorgespannen verbindingen als uit de documentatie blijkt dat de voorspankracht tot stand is gekomen op basis van een gekwalificeerde en gekalibreerde aandraaimethode (zoals de moment-hoekmethode).

8, tabel 8.2	Eis
--------------	-----

Wanneer niet is te achterhalen of tijdens de fabricage voldaan is aan de voorwaarden m.b.t. het aanliggen van aansluitende vlakken en de stop-start posities, moet detail categorie 100 zijn toegepast voor de details (1) t/m (7), (10) en (11). Zie ook RTD 1001 (ROK).

8, tabel 8.3, details (1-12)	Eis
------------------------------	-----

Voor dubbelzijdige lassen zonder dikte-overgang tussen de aangesloten platen moet zijn uitgegaan van detail categorie 80, tenzij uit inspectie van het lasprofiel blijkt dat is voldaan aan de eisen voor de detail categorieën 90 resp. 112.

Opmerking JM: Vraag FvD: Aan deze tekst zouden we kunnen toevoegen: "als blijkt dat de berekende vermoeiingsschade met detail categorie 80 groter is dan $D=1$, dan moet het lasprofiel alsnog ingemeten worden en nagegaan worden of dit voldoet aan de eisen voor categorie 90 of 112." Idem voor het hierop volgende detail 13.

8, tabel 8.3, detail (13)	Eis
---------------------------	-----

Als de fabriekstekening een doorlassing aangeeft en NDO controle op de doorlassing in het bestek was voorgeschreven, mag uitgegaan zijn van detail categorie 71, Wanneer niet bekend is of NDO was voorgeschreven of geen controle op volledige doorlassing werd uitgevoerd, dan moet zijn uitgegaan van detail categorie 36.

8, tabel 8.3, details (14, 15)	Eis
--------------------------------	-----

De gegeven detail categorie is ook van toepassing in het geval van hechtlassen aan de rand van de backing strip.

Toelichting:

Tabel 8.4, details (6-8), geven een detail categorie die minstens even hoog is als tabel 8.2, details (14, 15). Een scheur door de hechtlas heeft geen constructieve consequenties.

8, tabel 8.3	Eis
--------------	-----

Voor de gehele tabel geldt:

De maximale excentriciteit in dit type lassen moet worden ontleend aan constructietekeningen en normen en uitvoeringsspecificaties tijdens het ontwerp en de bouw van het kunstwerk. Voor alle details in tabel 8.3 geldt dat de detailcategorie aangepast moet worden wanneer deze excentriciteit in de verbinding groter is dan 5 % van de plaatdikte. De in de tabel gegeven detail categorie moet in die gevallen worden vermenigvuldigd met de vergelijkingen gegeven in IIW IIW document XIII-1965-03 / XV-1127-03.

8, tabel 8.7	Eis
--------------	-----

Wanneer niet is voldaan aan de eisen voor de detail categorieën, dan moet de vermoeiingsbeoordeling zijn gebaseerd op de hot-spot spanningsmethode volgens 6 (3) van deze RBK bij NEN-EN 1993-1-9. De detail categorie moet zijn ontleend aan bijlage B van NEN-EN 1993-1-9.

8, tabel 8.8	Toelichting
--------------	-------------

In tabel NB.8 van NEN-EN 1993-2, bijlage F.1 zijn vermoeiingsclassificaties gegeven voor veel voorkomende details in bestaande orthotrope rijvloeren.

A.6	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-1-9 geldt:

(1) Een scheurgroei analyse moet zijn gemaakt en een inspectie-interval voor het betreffende detail zijn bepaald volgens bijlage S2 als uit de vermoeiingsanalyse van (een onderdeel van) de constructie volgt dat $D > 1$ voor de beoogde restlevensduur of als een defect (scheur) in een onderdeel van de constructie is waargenomen.

Opmerking 1 Het in rekening brengen van inspecties op de bepaling van de restlevensduur, is over het algemeen alleen zinvol als het materiaal voldoende taai is. In de praktijk betekent dit dat het materiaal ofwel toegepast moet zijn na het jaar 1965 ofwel dat materiaalonderzoek zoals kerfslagproeven, CTOD proeven of K_{IC} proeven uitgevoerd moet worden om de breuktaaiheid bij de ontwerp temperatuur vast te stellen.

(2) Als uit de vermoeiinganalyse volgt dat $D > 1$, dan zijn de voor de scheurgroei analyse aan te houden afmetingen van het defect gelijk aan de afmetingen van een defect dat met voldoende zekerheid gevonden kan worden met de betreffende inspectietechniek, de zogenaamde detectielimiet. De detectielimiet moet zijn genomen uit bijlage T van BS 7910:2013.

(3) Indien bij een voorgaande inspectie geen defecten zijn waargenomen, moet als aanwezig defect de detectielimiet van de toegepaste inspectietechniek worden aangehouden. Als tijdens een inspectie een defect wordt gedetecteerd, dan moet voor de scheurgroei analyse de grootste waarde van het geconstateerde defect tijdens de inspectie en de detectielimiet worden genomen.

Toelichting:

De detectielimiet van een inspectietechniek wordt uitgedrukt in de kans dat een defect met een bepaalde grootte wordt gevonden; de Probability of Detection (POD). Er is altijd een kans dat een kleiner defect kleiner wordt gevonden dan op basis van de POD mag worden verwacht.

(4) Uit de berekening van de restlevensduur op basis van een scheurgroei analyse kan volgen dat de ontwerpwaarde van de levensduur van het betreffende detail vanaf het moment van inspectie tot het rekenkundige moment van falen van het betreffende constructiedeel groter is dan de beoogde levensduur. In dat geval is slechts één inspectie vereist, namelijk op het tijdstip dat de vermoeiingsschade berekend met NEN-EN 1993-1-9 de waarde $D = 1$ bereikt.”

(5) Het volgens (2) bepaalde inspectie-interval mag worden toegepast totdat scheurvorming resp. scheuruitbreiding wordt vastgesteld. Daarna moet het inspectie-interval met de (grotere) scheurafmeting opnieuw volgens (2) worden vastgesteld.

(6) Wanneer in een geklonken kunstwerk materiaal is toegepast van voor 1965, dan geldt:

$$D \leq D_{lim}$$

waarin:

D is de geaccumuleerde vermoeiingsschade

D_{lim} is de grenswaarde van de vermoeiingsschade

Opmerking 1: Het jaar 1965 is het jaar waarin RWS begon met het eisen van minimale kerfslagwaarden.

Opmerking 2 : Bepaling van de kerfslagwaarde is vereist, omdat de breuktaaiheid niet goed kan worden vastgesteld op basis van de chemische samenstelling.

(7) De grenswaarde van de vermoeiingsschade is afhankelijk is van de toegepaste staalsoort en de rekenwaarde van de trekspanning σ^{*sd} ten gevolge van de belasting in de plaat of platen in de uiterste grenstoestand. De waarde van D_{lim} moet zijn genomen uit RBK tabel 6.6.

Tabel 6.6 Grenswaarde voor de vermoeiingsschade D_d

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$		$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$	
σ^{*sd} / f_y^*	D^*	σ^{*sd} / f_y^*	D^*
0	1	0	1
0,2	0,95	0,2	0,95
0,4	0,90	0,4	0,90
0,6	0,85	0,6	0,85
0,8	0,80	0,8	0,70
1,0	0,65	1,0	0,50

* Voor tussenliggende waarden mag lineair geïnterpoleerd worden.

(8) Wanneer niet voldaan wordt aan de eis $D \leq D_{lim}$, maar wel aan de eis $D \leq 1$, dan mag zijn uitgegaan van $D \leq 1$, mits uit materiaalonderzoek zoals kerfslagproeven blijkt

dat bij de ontwerptemperatuur het materiaal een minimale kerfslagwaarde heeft van 27 J.

Toelichting: Achtergrond informatie is gegeven in bijlage A.2.

- 2.8.10 *Deel 1-10: Materiaaltaaiheid en eigenschappen in de dikterichting*
Aanvulling op NEN-EN 1993-1-10.

Algemeen	Eis
----------	-----

Vervang Spanningsconcentratiefactor door Spanningsintensiteitsfactor

- 2.8.11 *Deel 1-11: Ontwerp en berekening van op trek belaste componenten*
Geen aanvullingen op NEN-EN 1993-1-11.

- 2.8.12 *Deel 1-12: Aanvullende regels voor de uitbreiding van NEN-EN 1993 voor staalsoorten tot en met S 700*
Geen aanvullingen op NEN-EN1993-1-12.

Opmerking: In het huidige bestand (tot 2005) komt geen hoge sterkte staal voor zoals staal groter dan S460 tot en met S700.

- 2.8.13 *Deel 2: Stalen bruggen*
Aanvullingen op NEN-EN 1993-2.

2.1.	Eis
------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(3) Verbindingen van onderdelen met onvoldoende capaciteit ($UC > 1$), maar waarvoor na bezwijken een geschikte tweede draagweg aanwezig is, zijn toegelaten mits aangetoond is dat deze tweede draagweg zich ook kan ontwikkelen en de draagkracht van de aangesloten onderdelen op geen enkel moment tijdens en na het ontwikkelen van de tweede draagweg wordt overschreden.

Toelichting :

Langsliggers kunnen momentvast zijn verbonden met de dwarsdragers. Indien deze verbinding onvoldoende capaciteit heeft, mag worden uitgegaan van de situatie die ontstaat na overschrijden van de capaciteit van deze verbinding. Een soortgelijke situatie kan ontstaan indien bij hangers een by-pass wordt ontworpen om de situatie na scheurvorming door secundaire momenten op te vangen.

2.1.3.2 (1) + NB, opm. 1.	Eis
---------------------------	-----

De opmerking verval.

Voor de ontwerplevensduur c.q. restlevensduur van het bestaande kunstwerk is artikel 2.3.1 van NEN 8700 van toepassing.

2.1.3.3 (4) + NB	Eis
------------------	-----

Artikel 2.1.3.3 (4) van de NB verval.

Blijvende verbindingen tussen constructieve onderdelen met voorspanbouten mogen ook zijn uitgevoerd als een categorie B verbinding, mits een eventuele verschuiving slechts in één richting optreedt. Aangetoond moet zijn dat is voldaan aan 3.9.1(4) en (5) van deze RBK voor NEN-EN 1993-1-8.

2.1.3.4 (1) + NB	Eis
------------------	-----

Voor de buitengewone belastingen wordt verwezen naar artikel 4.1.2 van NEN 8700, artikel 4.4.2 van NEN 8701, RTD 1001 (ROK) en contractdocumenten

2.1.3.4 (2) + NB	Eis
------------------	-----

Er moet uitgegaan worden van ofwel veilige levensduur ofwel schade tolerant. Zie deze RBK voor NEN-EN 1993-1-9.

3.2.3 + NB	Eis
------------	-----

Opmerking HvdW: Check (1) t/m (4) door JM en FvD
Opmerking JM: Overleg (3) met FvD: kunnen we daar altijd vanuit gaan (betreft kerfslagwaarde)?

(1) Van kunstwerken ontworpen en gebouwd na 1965 mag zijn aangenomen dat is voldaan aan de eisen met betrekking tot de breuktaaiheid. Van kunstwerken ontworpen en gebouwd voor 1965 moet bij het ontbreken van informatie over de breuktaaiheid (resultaten van kerfslagproeven) zijn aangenomen dat niet is voldaan aan de eisen met betrekking tot de breuktaaiheid en moet de invloed hiervan op de vermoeiingssterkte in rekening gebracht worden via (2)-(4).

(2) Voor gelaste details in kunstwerken ontworpen en gebouwd voor 1965 moet de vermoeiingsschade zijn bepaald volgens NEN-EN 1993-1-9. Als vermoeiingsschade van het detail:

- $D < 0,1$ mag zijn aangenomen dat het detail voldoet op vermoeiing;
- $0,1 \leq D \leq 1,0$ dan moeten kerfslagproeven worden uitgevoerd op monsters van een onderdeel vervaardigd uit plaat materiaal en een onderdeel vervaardigd uit profielstaal met de grootste vermoeiingsschade. Als de laagste kerfslagwaarde uit tenminste drie proeven voldoet aan de eis met betrekking tot de breuktaaiheid, dan mag zijn aangenomen dat de vermoeiingssterkte voldoet. Als de kerfslagwaarde niet voldoet aan de eis met betrekking tot de breuktaaiheid, dan moet de restlevensduur en een inspectie interval met de gemeten kerfslagwaarde worden bepaald volgens bijlage S2.
- $D > 1,0$ dan moeten kerfslagproeven worden uitgevoerd op monsters van een onderdeel vervaardigd uit plaat materiaal en een onderdeel vervaardigd uit profielstaal met de grootste vermoeiingsschade en moet de restlevensduur en een inspectie interval met de gemeten kerfslagwaarde worden bepaald volgens bijlage S2.

(3) De kerfslagwaarde moet bepaald zijn voor de wals richting van het materiaal. Aangenomen mag zijn dat de lengterichting van een onderdeel overeenkomt met de wals richting. *[Opmerking JM: Overleg met FvD: kunnen we daar altijd vanuit gaan (betreft kerfslagwaarde)?]* De kerfslagproeven moeten uitgevoerd zijn volgens de huidige voorschriften. In de berekening volgens bijlage S2 moet de gemiddelde waarde uit drie proeven worden aangehouden.

(4) Als het bepalen van de kerfslagwaarde in de projectspecificatie niet is voorgeschreven of wanneer het niet mogelijk is om aan de hand van monsters de kerfslagwaarde te bepalen, dan moet voor de bepaling van de restlevensduur zijn gerekend met een kerfslagwaarde $C_v = 4 \text{ J}$.

Opmerking : Voor geklonken kunstwerken ontworpen en gebouwd voor 1960 is het effect van een lage breuktaaiheid in tabel 6.6 in deze RBK voor NEN-EN 1993-1-9 in rekening gebracht.

3.5 (1) bijlage A	Eis
-------------------	-----

Wanneer de opleggingen niet voldoen aan de eisen in EN 1337, dan moet een meer gedetailleerde berekening uitgevoerd te worden, om te toetsen of de opleggingen alsnog voldoen.

5.1.1	Eis
-------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(5) Wanneer bij het ontwerp en de vervaardiging van het kunstwerk als uitgangspunt is genomen dat de contactvlakken van de aan te sluiten platen in stuikverbindingen tegen elkaar aanliggen, dan mag zijn aangenomen dat de normaalkracht door contactdruk tussen de platen wordt overdragen.

(6) Als niet bekend is of bij het ontwerp en de uitvoering is uitgegaan van de aanname dat de contactvlakken van de aan te sluiten platen in stuikverbindingen tegen elkaar aanliggen, dan mag zijn aangenomen dat de normaalkracht door contactdruk tussen de platen wordt overdragen, mits is vastgesteld dat de ruimte tussen de contactvlakken kleiner is dan 2 mm. Als de ruimte tussen de contactvlakken groter is dan 2mm, dan moet zijn aangenomen dat de normaalkracht wordt overgedragen door de verbindingsmiddelen. In de projectspecificatie kan zijn voorgeschreven dat de aanwezige ruimte tussen de stuikplaten moet worden vastgesteld.

5.2.1 (4) NB	Eis
--------------	-----

Bij de toetsing op verbouw en afkeur niveau mag zijn getoetst met de eerste orde theorie mits $\alpha_{cr} \geq 20$.

Toelichting:

Bij de toetsing op verbouw en afkeur niveau zijn de partiële factoren voor de belasting aanzienlijk lager dan bij nieuwbouw. Hierdoor zijn de tweede orde vervormingen bij $\alpha_{cr} \geq 10$ – de eis voor nieuwbouw – niet verwaarloosbaar.

5.2.2	Eis
-------	-----

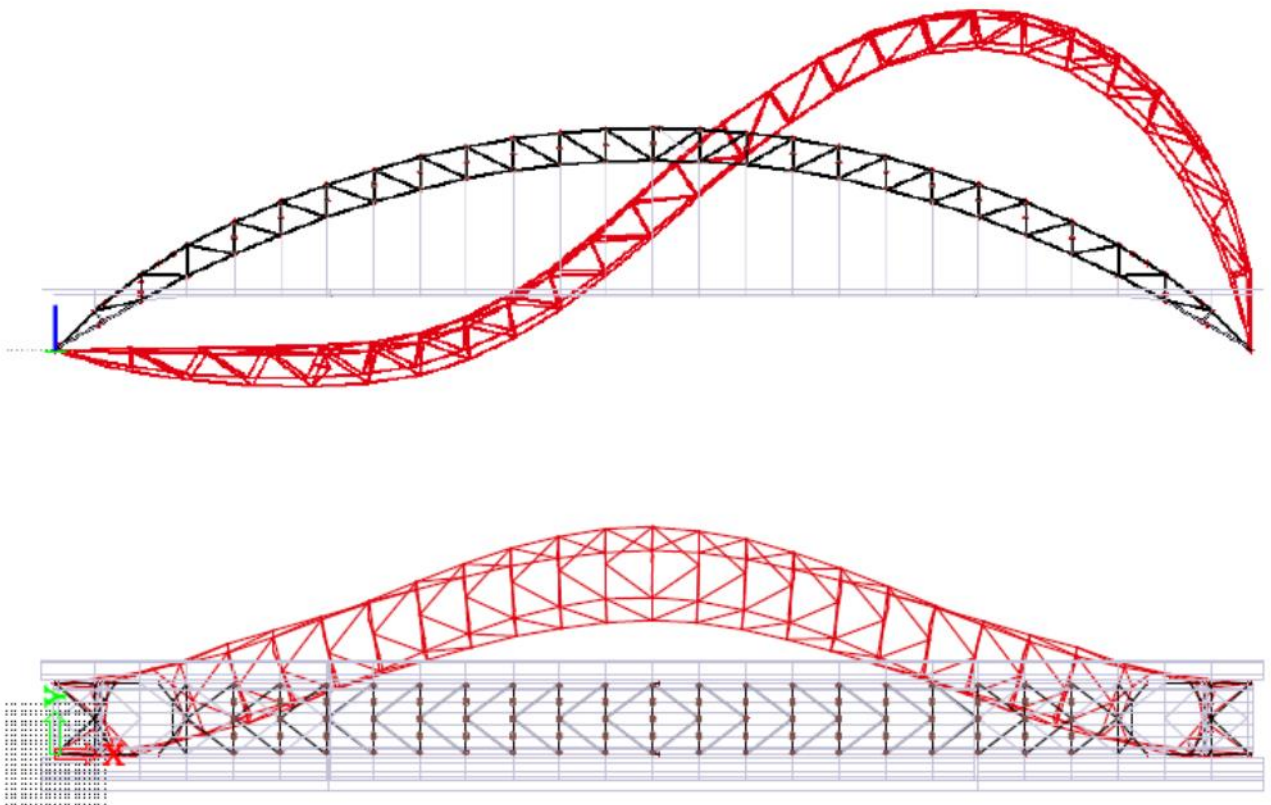
In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(6) Bij bogen opgebouwd uit vakwerken moet rekening zijn gehouden met de tweede orde vervormingen ten gevolge van de globale stabiliteit van de boog.

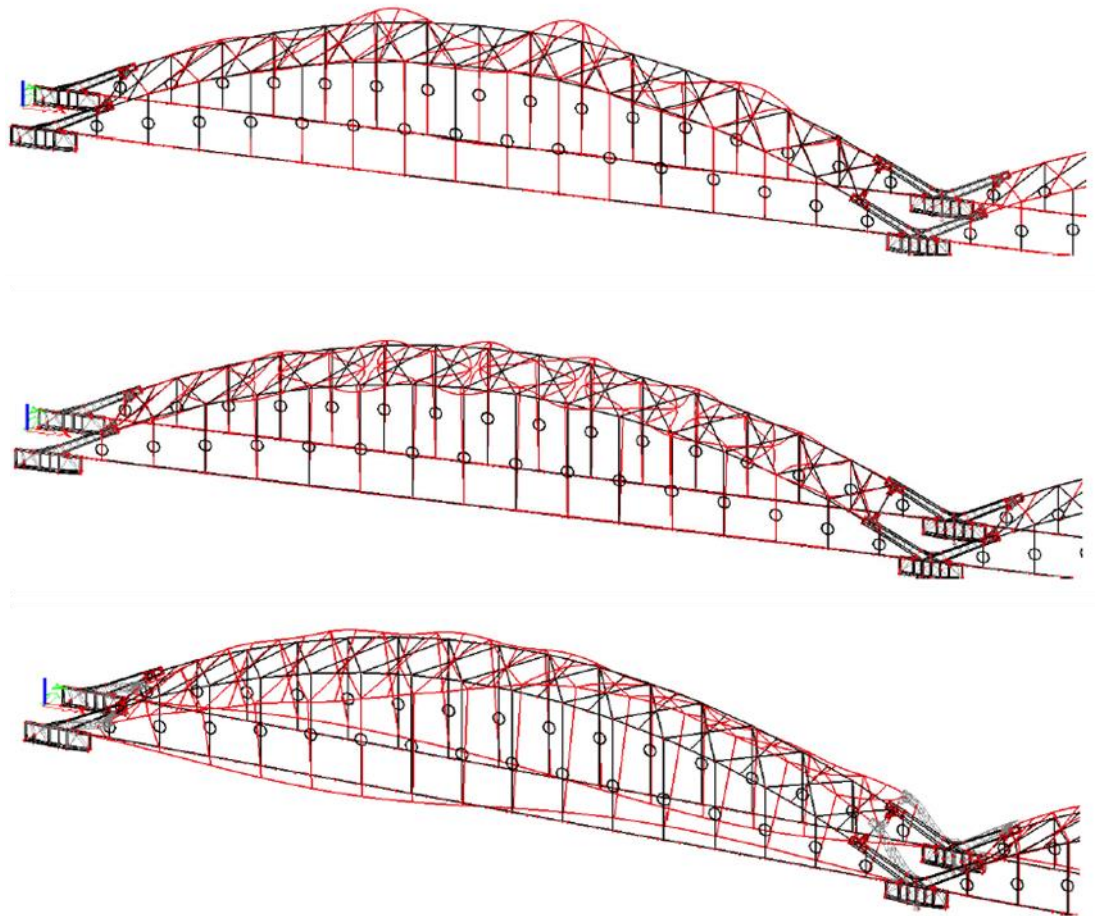
De tweede orde vervormingen mogen worden bepaald door de eerste orde vervormingen te vermenigvuldigen met een vergrotingsfactor analoog aan 5.2.2 in NEN-EN 1993-2.

Toelichting: In het algemeen betekent dit dat het moment in het vakwerk ten gevolge van de normaalkrachten in de randstaven moet worden vermenigvuldigd met een vergrotingsfactor. Hieruit volgen dan de additionele tweede orde normaalkrachten in de randstaven.

Voor momenten die worden vergroot door knik uit het vlak moeten de eerste orde momenten worden vergroot met een factor afhankelijk van $\alpha_{cr,uit}$ bij knik uit het vlak; voor momenten die worden vergroot door knik in het vlak moeten de eerste orde momenten worden vergroot met een factor afhankelijk van $\alpha_{cr,in}$ bij knik in het vlak. Voor de beoordeling van de globale stabiliteit van de boog moet het totale eerste orde moment in de boog worden vergroot, voor de stabiliteit van een staaf moet het eerste orde moment in een staaf worden vergroot.



Figuur 6.2: Globale instabiliteit van boog.



- a) Lokale instabiliteit van boogstaaf in het vlak van de boog
- b) Lokale instabiliteit van boogstaaf uit het vlak van de boog
- c) Lokale instabiliteit van eindportaal uit het vlak van de boog

Figuur 6.3: Lokale instabiliteit van boog.

(7) Voor de delen van de boog met raamwerkgedrag (b.v. eindportalen) moet worden uitgegaan van 5.2.2 in NEN- EN 1993-2 inclusief aanvullingen in de RBK.

5.2.2 (5)	Eis
-----------	-----

In aanvulling op EN-EN 1993-2 geldt:

Indien $\alpha_{cr} \leq 3$ dan mag geen gebruik zijn gemaakt van de vermenigvuldiging volgens 5.2.2(5) van EN 1993-2. De tweede orde effecten moeten met een geometrisch en fysisch niet lineair (GMNIA) model zijn bepaald.

Toelichting:

Voor de definitie van een GMNIA model zie 1.3.5.9 in NEN-EN 1993-1-6.

6.2.1	Eis
-------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(2) Bij een lineair elastische analyse van (een onderdeel van) een kunstwerk met behulp van een eindige elementenmodel bestaande uit schaalementen of uit volume-

elementen moet er rekening mee zijn gehouden dat ter plaatse van verbindingen of andere geometrie-overgangen spanningspieken optreden die hoger zijn dan de rekenwaarde van de vloeispanning. Nagegaan moet worden of de optredende krachten opgenomen kunnen worden en aan het rekriterium is voldaan.

(3) Als rekriterium bij verbindingen moet zijn aangehouden dat de met het model berekende rek niet groter mag zijn dan 2%. Een hogere waarde mag zijn aangehouden op basis van literatuur voor vergelijkbare verbindingen, mits deze waarde is gevalideerd bijvoorbeeld op basis van een vergelijking met proeven.

Opmerking: Een rek van 2% is een conservatieve aanname.

(4) Verbindingen met spanningspieken mogen zijn getoetst met de regels in NEN-EN 1993-1-8. De toets moet dan zijn uitgevoerd met de resulterende krachten in de aansluitende platen volgend uit het eindige elementen model.

Opmerking: Bij gelaste verbindingen tussen platen treden bij een lineair elastische berekening vaak spanningspieken op ten gevolge van de modellering. De krachten in deze verbindingen moeten bij voorkeur worden getoetst volgens de regels in NEN-EN 1993-1-8.

6.5	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(5) Voor korte plaatvelden en plaatvelden met verstijvingen moet bij de bepaling van de kritieke elastische plooielasting rekening zijn gehouden met de lengte van het plaatveld. Voor het bepalen van k_{σ} en k_{τ} , mag gebruik worden gemaakt van literatuur of daarvoor geschikte software.

Toelichting:

De formules voor k_{σ} en k_{τ} in NEN-EN 1991-1-5 zijn afgeleid voor lange plaatvelden en kunnen daardoor conservatief zijn voor korte plaatvelden.

(6) Voor plaatvelden met verstijvingen die niet over de volledige lengte van het plaatveld doorlopen en voor plaatvelden met meerdere dikten, mag gebruik worden gemaakt van geschikte software voor het bepalen van de kritieke elastische plooielasting.

(7) Als de kritieke elastische plooielasting wordt bepaald met daarvoor geschikte software, dan:

- moet de directe normaalspanning zowel op het plaatveld als de verstijvingen worden aangebracht;
- moet voor het bepalen van de kritieke elastische plooielasting voor afschuiving de randen worden gemodelleerd met scharnieren;
- mag voor de langsverstijvingen slechts 1/3 van de buigstijfheid van de langsverstijvingen in rekening worden gebracht;
- moet de kritieke plooispanning in langs- en dwarsrichting van het plaatveld afzonderlijk worden bepaald.

7.5 (1)	Eis
---------	-----

Wanneer niet wordt voldaan aan de eisen met betrekking tot de doorrij- of doorvaarthoogte, kan in overleg met de wegbeheerder worden besloten tot verificatie met een aangepaste rijbaanindeling.

Opmerking HvdW: Check FvD

8.0 NB (1), (2), (3)	Eis
----------------------	-----

Bij verificatie op afkeur en gebruiksniveau zijn de clausules (1) en (2) niet van toepassing.

8.1	Eis
-----	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(1) Bij de verificatie van een verbinding moet rekening zijn gehouden met de stijfheidsverdeling in de verbinding.

8.1.3.1 (2), (3) NB	Eis
---------------------	-----

Deze eisen zijn niet van toepassing op bestaande constructies.

Opmerking HvdW: Check HS en FvD

Opmerking HS: Onduidelijk

8.1.9 (1) en (2)	Eis
------------------	-----

Vervang deze clausules door 2.4, 2.5 en 3.12 van NEN-EN 1993-1-8.

8.2.	Eis
------	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(1) Wanneer sprake is van (een onderdeel van) een kunstwerk dat niet is gelast, dan moeten aanpassingen aan (onderdelen van) dat kunstwerk met boutverbindingen worden uitgevoerd, tenzij lassen in de projectspecificatie is toegelaten. De aangelaste onderdelen mogen geen kracht loodrecht op de plaat waar het onderdeel aan is bevestigd uitoefenen, maar alleen schuifkrachten overdragen.

Opmerking 1 Bij het ontwerpen van versterkingen die door middel van lassen verbonden worden met het bestaande kunstwerk, behoort rekening te zijn gehouden met het feit dat sommige oudere staalsoorten niet goed lasbaar zijn.

Opmerking 2 Wanneer het bestaande kunstwerk volgens het oorspronkelijke ontwerp gelast is, mag ervan worden uitgegaan dat het materiaal lasbaar is. Rekening moet zijn gehouden met de specificaties en materiaaleigenschappen van de oorspronkelijk toegepaste staalsoort (bijvoorbeeld CEV).

(2) Wanneer lassen is toegelaten, dan moet van alle onderdelen waaraan gelast wordt de kerfslagwaarde en het CEV bekend zijn. Zowel de kerfslagwaarde als het CEV mag worden bepaald aan de hand van beschikbare materiaalcertificaten of uit destructief onderzoek. De kerfslagwaarde moet zijn bepaald bij -20° C.

(3) De combinatie van plaatdikte, kerfslagwaarde en ontwerptemperatuur moet voldoen aan de eisen voor $\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$ in tabel 2.1 van NEN-EN 1993-1-10.

9.1.2, 9.2.1, 9.2.2 en 9.4.1 RTD 1001 (ROK)	Eis
--	-----

De eis in de RTD 1001 (ROK) m.b.t. het voldoen aan bijlage F.1 van de nationale bijlage vervalt. De vermoeiingslevensduur van onderdelen van en rond het orthotrope rijdek moet, evenals alle andere constructieve onderdelen, worden getoetst aan de uiterste grenstoestand en aan de vermoeiingsgrenstoestand.

9.3 P(2) NB	Eis
-------------	-----

De aan te houden beoordelingsmethode (veilige levensduur of schadetolerant) is gegeven in deze RBK voor NEN-EN 1993-1-9.

9.6 (3) RTD 1001 (ROK)	Eis
------------------------	-----

De eis in de RTD 1001 (ROK) m.b.t. het voldoen aan bijlage F.1 van de nationale bijlage vervalt. De vermoeiingslevensduur van onderdelen van en rond het orthotrope rijdek moeten, evenals alle andere constructieve onderdelen, worden getoetst aan de uiterste grenstoestand en aan de vermoeiingsgrenstoestand.

9.7 NB + RTD 1001 (ROK)	Eis
-------------------------	-----

Nabehandelen van lassen is alleen toegelaten als is aangetoond dat de te verkrijgen geometrie reproduceerbaar is en het positieve effect op de classificatie aantoonbaar is.

A.4.2.1 (1), A.4.2.3.1 A.4.2.7(3), A.4.3(1)	Eis
--	-----

In aanvulling op NEN-EN 1993-2 geldt:

(4) De volgende procedure moet zijn uitgevoerd: het inmeten van de hart op hart afstanden van de opleggingen, zowel aan de brug als op de onderbouw en de temperatuur van de brug tijdens de meting. Vervolgens moet de neutrale stand worden berekend (bij 10 °C) en moet worden nagaan of de functionaliteit van de oplegging past bij de ontwerpwaarden van de temperatuur volgens NEN-EN 1991-5. De meting moet worden uitgevoerd op een tijdstip waarbij de temperatuur over de hoogte van de brug gelijkmatig is (geen lineair verloop).

(5) Van rijbaanovergangen moet de loopweg en de temperatuur van de brug, inclusief een eventuele temperatuurgradiënt over de hoogte van de brug, zijn gemeten. Vervolgens moet de neutrale stand worden berekend (bij 10°C) en worden nagegaan of de functionaliteit van de voegovergangen past bij de ontwerpwaarden van de temperatuur volgens NEN-EN 1991-5.

Bijlage C + NB + RTD 1001 (ROK)	Toelichting
---------------------------------	-------------

Annex C ontwerpdeel moet worden beschouwd als achtergrond informatie.

Bijlage S1 - Verenmodel

S1.1 Algemeen

(1) Het verenmodel mag alleen worden toegepast voor stuijkplaatverbindingen waarin vervorming door buiging uit het vlak van de verbinding is verhinderd. Aangenomen mag zijn dat dit het geval is als de verbinding bestaat uit een symmetrisch platenpakket met meerdere platen en/of de flens afdoende wordt gesteund door het lijf.

Opmerking: De krachtsverdeling in verbindingen wordt bepaald door de stijfheidsverdeling in de verbinding en het evenwicht in de verbinding. Met het verenmodel kan de krachtsverdeling in iedere plaat en bout in een klink- of voorspanboutverbinding worden bepaald.

S1.2 Stijfheidsmodel voor een verbindingsmiddel belast op afschuiving

(1) Voor een voorgespannen bout, een bout in een ruim gat of een klinknagel die op afschuiving wordt belast, zijn voor de vervorming in het vlak tussen twee op elkaar verbonden platen onderstaande stijfheidsmodellen van toepassing.

Opmerking 1: Bij het belasten van een verbindingsmiddel tot bezwijken op afschuiving zijn er in het algemeen drie fasen voor het gedrag van het verbindingsmiddel te onderscheiden:

- *gedrag voordat slip optreedt;*
- *gedrag na slip, voordat contact optreedt tussen plaat en verbindingsmiddel;*
- *gedrag nadat contact optreedt tussen plaat en verbindingsmiddel.*

Opmerking 2: In deze modellen is voor de uiteindelijke vervorming bij bezwijken door afschuiving of stuijk uitgegaan van de kleinste vervorming (afschuiven van de (bout)steel).

S1.2.1 Vervormingsmodel voor een voorgespannen bout

(1) Voor een enkele voorspanbout moet de vervorming in de voorgespannen verbinding voordat slip optreedt, zijn bepaald met:

$$\delta = 0,1 \left(\frac{F}{F_{\text{slip}}} \right)^4 + 0,025 \frac{F}{F_{\text{slip}}}$$

waarin:

- δ is de verplaatsing (in mm) tussen de platen, voordat slip optreedt;
- F is de schuifkracht op de voorgespannen boutverbindingen;
- F_{slip} is de schuifkracht waarbij slip in de voorgespannen boutverbinding optreedt.

(2) De waarde van F_{slip} moet zijn bepaald met 3.9.1 in NEN-EN 1993-1-8.

(3) Nadat slip in de verbinding optreedt mag zijn aangenomen dat de slipkracht constant blijft totdat er contact optreedt tussen plaat en bout. Voor de maximale

verplaatsing in de verbinding moet zijn aangehouden dat deze gemiddeld gelijk is aan de speling tussen het boutgat en de bout ($= d - d_0$).

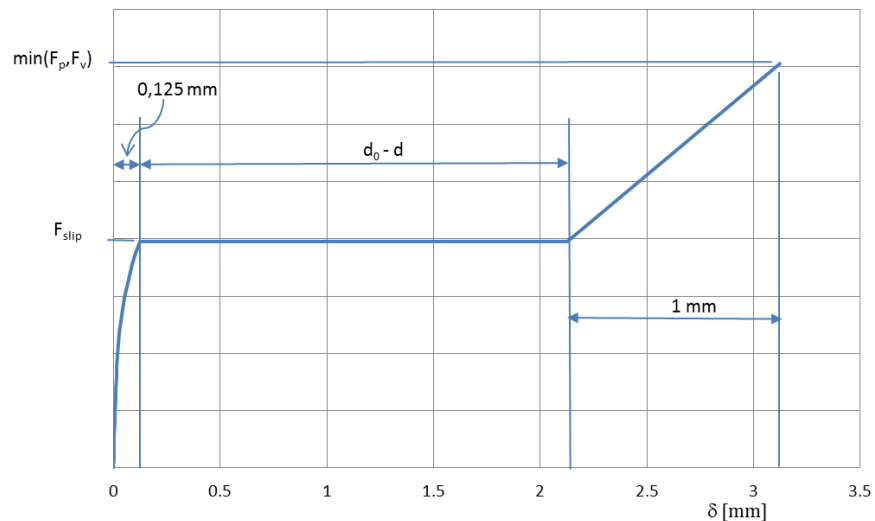
Opmerking 1: De aanname dat de slipkracht in deze fase constant is, is alleen geldig indien de vervormingen over het contactvlak beperkt zijn. Indien de verbinding door een wisselende belasting vaak slijpt, zal de voorspankracht door fretting verdwijnen.

Opmerking 2: Voor de lengte van het horizontale slipplateau is uitgegaan van de gemiddelde totale gatspeling tussen één bout en twee platen.

(4) Voor het gedrag van de verbinding nadat contact is opgetreden tussen de plaat en de bout mag zijn aangenomen dat bij bezwijken door afschuiving de vervorming in de orde van 1 mm ligt.

Opmerking 1: De voor de verplaatsing nadat contact optreedt aangehouden waarde van 1 mm is van toepassing voor bouten en klinknagels met een steeldiameter groter of gelijk aan 20 mm (M20).

(5) Het resulterende vervormingsmodel voor afschuiving van een voorgespannen bout is weergegeven in fig. S1.1.



Figuur S1.1: Vervormingsmodel voor één voorgespannen bout in het vlak tussen twee platen

Opmerking: Voor het lijnstuk dat het vervormingsgedrag beschrijft, voordat slip optreedt ($\delta \leq 0,125$ mm), dient bij voorkeur een niet lineair gedrag te worden gemodelleerd. Indien een lineair gedrag wordt aangehouden zal er in het model eerder slip optreden, dan bij een model met een niet lineair gedrag.

S1.2.2 Vervormingsmodel voor een niet voorgespannen bout

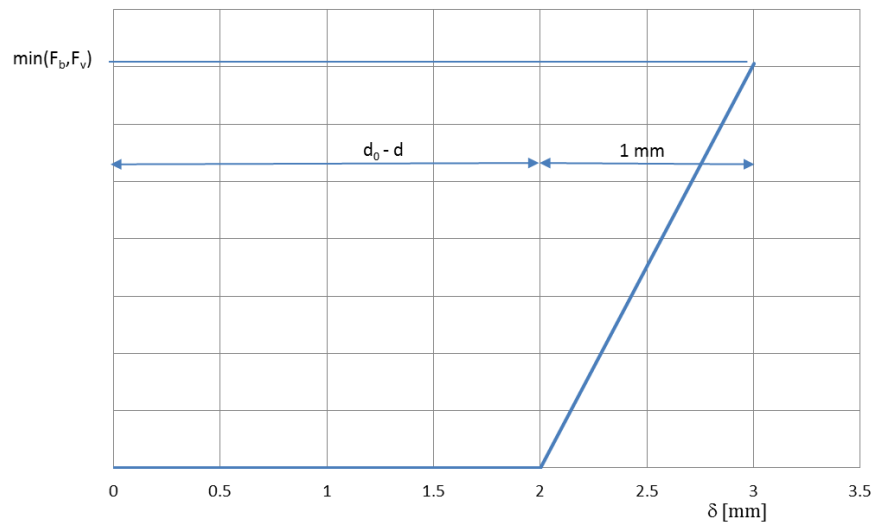
(1) Bouten waarbij de voorspanning niet voldoende gecontroleerd aanwezig is, moeten zijn beschouwd als niet voorgespannen bouten. De vervorming voordat slip tussen de op elkaar verbonden platen is verwaarloosbaar.

(2) Nadat slip in de verbinding optreedt kan de vervorming in de verbinding vrij toenemen totdat er contact optreedt tussen plaat en bout. Voor de maximale verplaatsing in de verbinding moet zijn aangehouden dat deze gemiddeld gelijk is aan

de speling tussen het boutgat en de bout ($= d_0 - d$).

(3) Voor het gedrag van de verbinding nadat contact is opgetreden tussen de plaat en de bout mag zijn aangenomen dat bij bezwijken door afschuiving de vervorming in de orde van 1 mm ligt.

(4) Het resulterende vervormingsmodel voor afschuiving van een niet voorgespannen bout is weergegeven in fig. S1.2



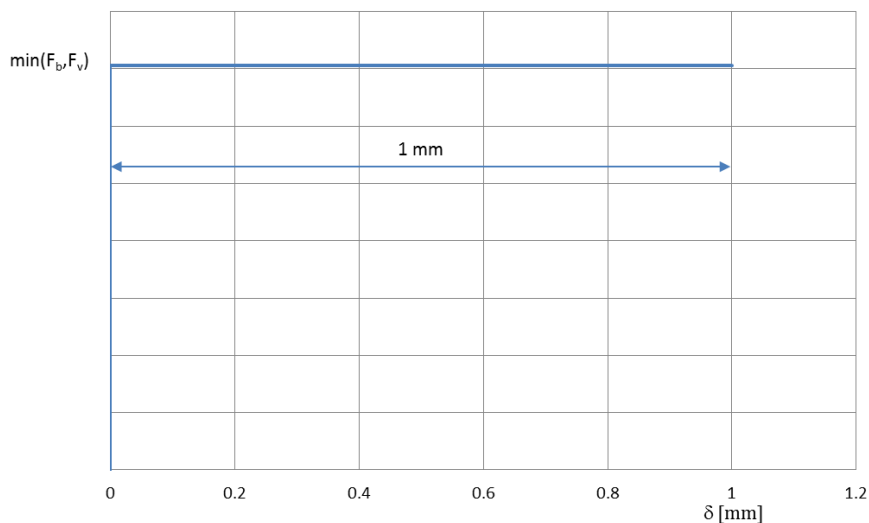
Figuur S1.2: Vervormingsmodel voor één niet voorgespannen bout in het vlak tussen twee platen

S1.2.3 Vervormingsmodel voor een klinknagel

(1) Voor een klinknagel is alleen de vervorming bij het bezwijken van de klinknagel van toepassing. Voor deze vervorming moet zijn aangenomen dat deze orde 1 mm bedraagt.

(2) Het resulterende vervormingsmodel voor afschuiving van een klinknagel is weergegeven in fig. S1.3.

Opmerking: Aangenomen is dat de klinknagel geen speling heeft en direct op de volledige afschuifcapaciteit wordt belast.



Figuur S1.3: Vervormingsmodel voor één klinknagel in het vlak tussen twee platen.

S1.3 Bepaling van de krachtsverdeling in stuikverbindingen in flenzen

(1) Voor de bepaling van de krachtsverdeling in een stuikplaatverbindingen in een flens moet de verbinding worden geschematiseerd tot een één dimensionale verbinding waarbij de te verbinden platen met elkaar zijn verbonden door middel van veren. De veerstijfheid moet zijn bepaald met het modellen volgens S1.2.1 resp. S1.2.2 en S1.2.3.

(2) De veerstijfheid in het contactvlak tussen de platen ter plaatse van een bout/klinknagelrij moet zijn bepaald door de stijfheid van het enkele verbindingsmiddel te vermenigvuldigen met het aantal bouten/klinknagels in een bout/klinknagelrij. Deze veerstijfheid moet voor alle contactvlakken ter plaatse van de beschouwde bout/klinknagelrij zijn toegepast.

Opmerking: Een bout/klinknagelrij staat loodrecht op de lengterichting van de stuikverbinding in een flens.

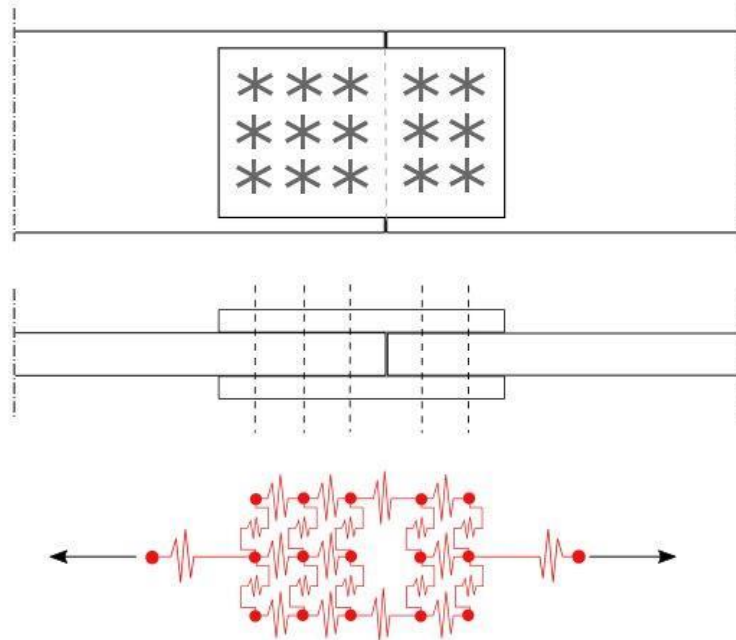
(3) De veerstijfheid voor afschuiving ter plaatse van een bout/klinknagelrij moet zijn bepaald door de stijfheid van het enkele verbindingsmiddel te vermenigvuldigen met het aantal bouten/klinknagels in een bout/klinknagelrij. De veerstijfheid voor afschuiving van een verbindingsmiddel moet zijn bepaald met de afschuifcapaciteit van het verbindingsmiddel volgens tabel 3.4 in NEN-EN 1993-1-8.

(4) De veerstijfheid van de flenzen (platen) tussen de bout/klinknagelrijen mag op basis van de bruto doorsnede van de beschouwde flens en de afstand tussen de verbindingsmiddelen in lengterichting van de verbinding worden bepaald. Voor flensplaten met een (gedeeltelijk) verlopende breedte mag voor de bepaling van de bruto doorsnede zijn uitgegaan van de gemiddelde breedte tussen de bout/klinknagelrijen.

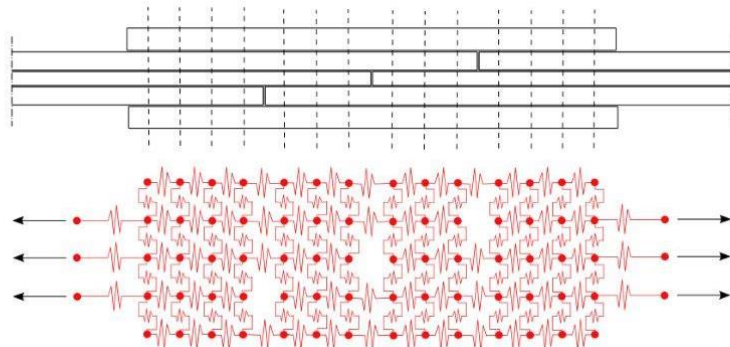
Opmerking: Fig. S1.4 geeft de schematisering van een asymmetrische stuikverbinding en fig. S1.5 voor een overlapverbinding

(5) De belasting op het model moet stapsgewijs worden aangebracht.

(6) Bij voorspanboutverbindingen moet zijn getoetst of slip van de verbinding optreedt bij de kracht ten gevolge van de gebruiksbelasting. Slip van de verbinding treedt op als bij alle bouten van één flensplaat de waarde van F_{slip} bepaald met 3.9.1 in NEN-EN 1993-1-8 is overschreden.



Figuur S1.4: Verenmodel asymmetrische stuikverbinding

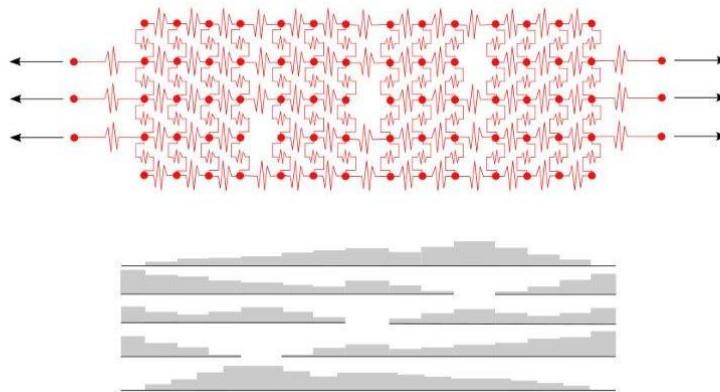


Figuur S1.5: Verenmodel overlap verbinding

Het verenmodel geeft per bout/klinknagelrij de verdeling van de krachten op de verbindingsmiddelen over de lengte van de verbinding. Bij gebruik van het verenmodel hoeft geen rekening te worden gehouden met de invloed van lange verbindingen volgens 3.8 in NEN-EN 1993-1-8, deze invloed is al in het verenmodel opgenomen.

Opmerking 1: Figuur S1.6 geeft een schematisering van de verdeling van de krachten op de verbindingsmiddelen in een overlap verbinding.

Opmerking 2: Met het verenmodel worden vergelijkbare resultaten worden gevonden als met proeven.



Figuur S1.6: Krachtsverdeling in een overlap verbinding

- (8) In de uiterste grenstoestand moeten de flensplaten en verbindingsmiddelen op stuijk en afschuiving zijn getoetst volgens NEN-EN 1993-1-8.
- (9) In de uiterste grenstoestand moeten de netto doorsneden van de platen worden getoetst volgens NEN-EN 1993-1-1 en NEN-EN 1993-2.
- (10) Bij wisselende belastingen die van richting veranderen mag slechts in 1 richting slip in de verbinding optreden.

Opmerking: In wisselende richting slippen van de verbinding moet worden voorkomen. Indien de verbinding door een wisselende belasting vaak slijpt, zal de voorspankracht door fretting verdwijnen, contactvlakken beschadigen en bouten loslopen.

Bijlage S2 - Toetsing van een doorsnede met een scherp defect

S2.1 Algemeen

(1) De toetsing mag zijn toegepast voor de bepaling van de toelaatbaarheid van een defect en de restlevensduur van (een onderdeel van) een constructie met bijvoorbeeld een vermoeiingsscheur of een scherpe corrosieput. De toetsing is alleen toepasbaar voor scheuren die min of meer loodrecht op de grootste hoofdspanning staan.

Opmerking: De toetsing is gebaseerd op de Britse norm BS 7910:2005 en is een relatief eenvoudige maar conservatieve toetsing. Voor niet scherpe defecten is de toetsing zeer conservatief.

(2) De spanning ten gevolge van de belasting in de uiterste grenstoestand, alsmede de spanningswisselingen ten gevolge van de vermoeiingsbelasting moeten bepaald worden loodrecht op het vlak van het defect en op basis van de elasticiteitstheorie.

(3) Voor een defect op een locatie in de nabijheid van een geometrische discontinuïteit moeten de spanning en de spanningswisselingen ter plaatse van de geometrieovergang bepaald zijn door lineaire extrapolatie van de spanning op een afstand van 0,4 t en 1,0 t vanaf die geometrieovergang.

(4) Bij de beoordeling van een defect bij gelaste details moet het volledige spanningsinterval van de spanningswisselingen ten gevolge van de vermoeiingsbelasting in rekening zijn gebracht.

(5) Voor de beoordeling van een defect bij een niet gelaste detail mag een effectief spanningsinterval toegepast zijn wanneer een deel van het spanningsinterval of het gehele spanningsinterval een drukspanning is. Het effectieve spanningsinterval moet zijn bepaald met 7.2 in NEN-EN 1993-1-9.

(6) Voor de spanning in de uiterste grenstoestand en de spanningswisseling in de vermoeiingsgrenstoestand moet onderscheid gemaakt worden tussen membraanspanning(swisselingen) en buigspanning(swisselingen). Een membraanspanning is de spanning die constant is over de dikte van de plaat; een buigspanning is de spanning die ontstaat door buiging van de plaat.

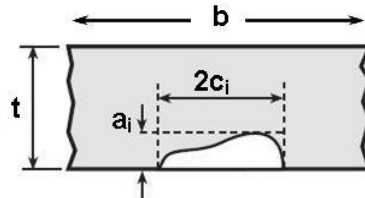
(7) Als de spanning in de uiterste grenstoestand bestaat uit een membraanspanning σ_m en een buigspanning σ_b , dan moeten deze spanningen afzonderlijk zijn beschouwd.

(8) Als de spanningswisselingen ten gevolge van de vermoeiingsbelasting bestaan uit membraanspanningswisselingen en buigspanningswisselingen, of bij gelijktijdig optreden van membraan- en buigspanningswisselingen, moet zijn uitgegaan van membraanspanningswisselingen. Als de grootste spanningsrange van alle membraanspanningswisselingen kleiner is dan 0,05 maal de spanningsrange van de grootste buigspanningswisseling moet zijn uitgegaan van de buigspanningswisselingen.

Opmerking: Bij een combinatie van membraan- en buigspanningswisselingen is het conservatief om uit te gaan van membraanspanningswisselingen.

S2.2 Bepaling van de effectieve afmetingen van het defect

(1) Een oppervlakte-defect dat nog niet door de dikte is gegroeid, moet worden gekarakteriseerd door de effectieve diepte a_i en de breedte $2c_i$ volgens figuur S2.1.



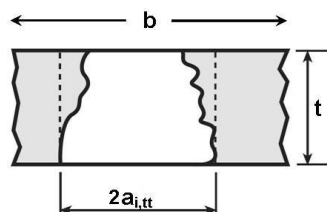
Figuur S2.1 Afmetingen van een oppervlakte-defect

(2) Als in een doorsnede meer dan één defect aanwezig is, moet, afhankelijk van de afstand tussen de defecten, rekening zijn gehouden met interactie tussen de defecten. Het criterium waarbij rekening moet zijn gehouden met interactie, alsmede de equivalente afmetingen van het defect bij interactie is geven in Figuur S2.2.

Defecten schematisch weergegeven	Criteria voor interactie	Equivalente afmetingen in geval van interactie
<p>Meerdere oppervlakte-defecten in een doorsnede</p>	<p>$S \leq 2 \cdot \min(c_1, c_2)$ als $a_1/c_1 \geq 1$ en/of $a_2/c_2 \geq 1$</p> <p>$S \leq \max(\frac{1}{2} a_1, \frac{1}{2} a_2)$ als $a_1/c_1 < 1$ en $a_2/c_2 < 1$</p>	<p>$a_i = \max\{a_1, a_2\}$</p> <p>$2c_i = 2c_1 + 2c_2 + s$</p>

Figuur S2.2. Afmetingen bij interactie tussen defecten

(3) Een oppervlakte-defect dat door de dikte is gegroeid, moet worden gekarakteriseerd door de effectieve diepte $a_{i,tt}$ volgens figuur S2.3.



Figuur S2.3. Afmetingen van een door-de-dikte defect

S2.3 Equivalente afmeting van het defect

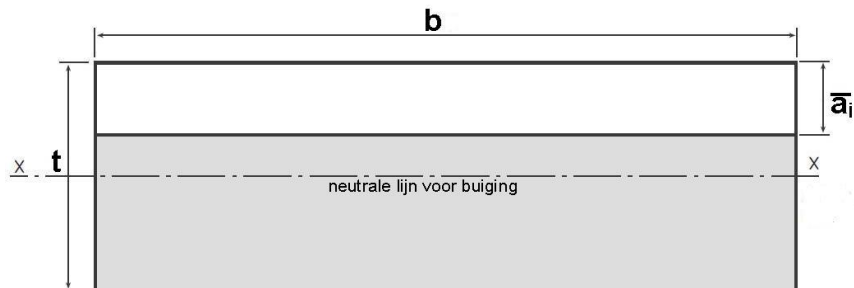
(1) Bij een oppervlakte defect (scheur) volgens Figuur S2.1 moet de equivalente afmeting \bar{a}_i zijn bepaald op basis van de effectieve afmetingen a_i en c_i met behulp van

figuren S2.5 t/m S2.8. Als een doorsnede is belast door spanningswisselingen ten gevolge van:

- een membraanspanningswisselingen, waarbij lasten of andere geometrische discontinuïteiten ten minste een afstand van $0,4t$ tot het defect hebben, moet Figuur S2.5 zijn toegepast;
- buigspanningswisselingen waarbij lasten of andere geometrische discontinuïteiten ten minste een afstand van $0,4t$ tot het defect hebben, moet Figuur S2.6 zijn toegepast;
- membraanspanningswisselingen, waarbij de afstand tussen het defect en lasten of andere geometrische discontinuïteiten kleiner is dan $0,4t$, moet Figuur S2.7 zijn toegepast;
- buigspanningswisselingen waarbij de afstand tussen het defect en lasten of andere geometrische discontinuïteiten kleiner is dan $0,4t$ moet Figuur S2.8 zijn toegepast.

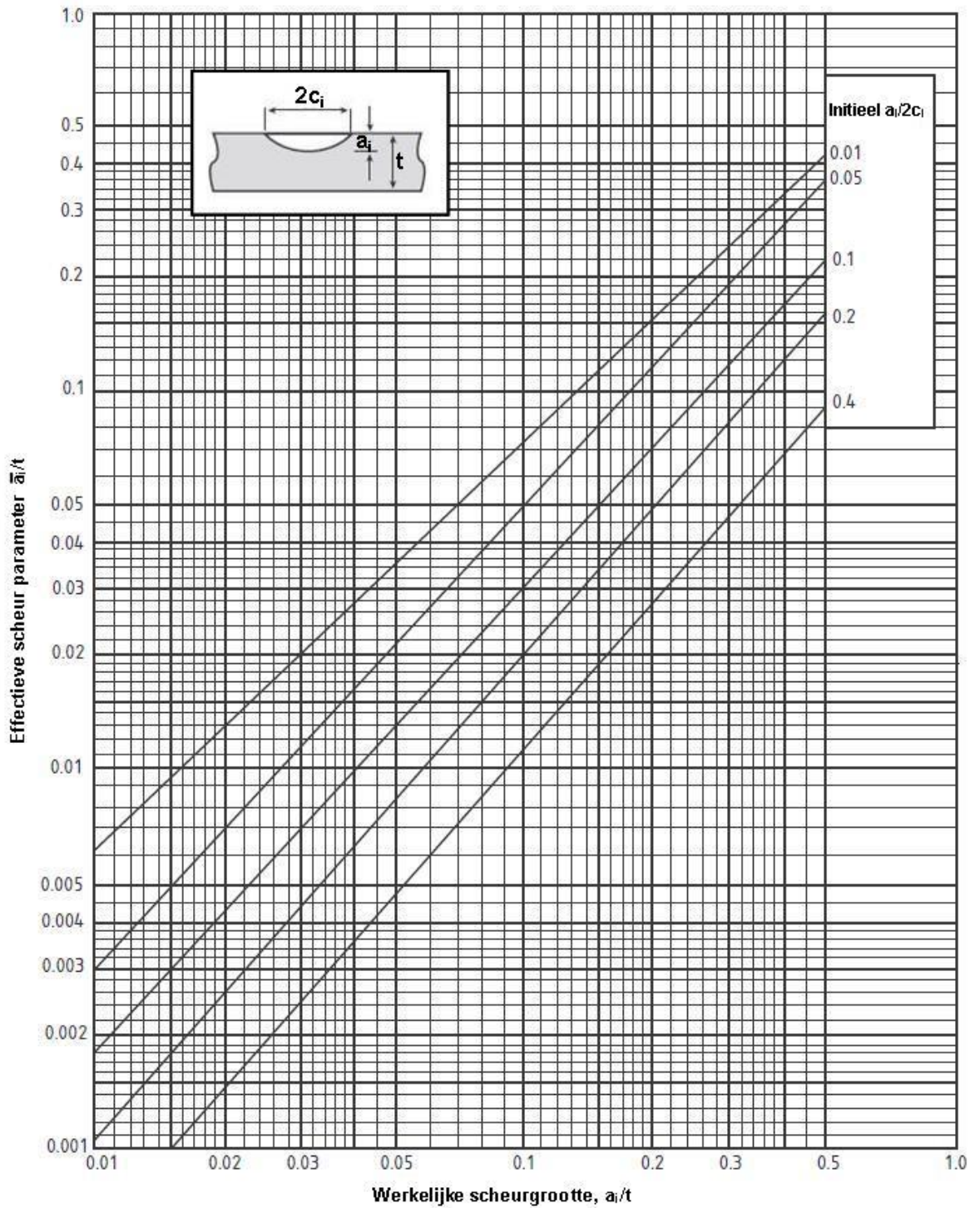
(2) Bij een door-de-dikte scheur volgens Figuur S2.3 moet de equivalente afmeting \bar{a}_i worden bepaald op basis van de effectieve afmetingen $a_{i,tt}$ met behulp van figuur S2.9.

Opmerking: De equivalente afmeting \bar{a}_i is de afmeting van een defect met een recht front (figuur S2.4), dat dezelfde spanningsintensiteitsfactor heeft als de half-ellipsvormige defect met afmetingen a_i en c_i , c.q. dat dezelfde spanningsintensiteitsfactor heeft als het door-de-plaat defect met afmeting $a_{i,tt}$.

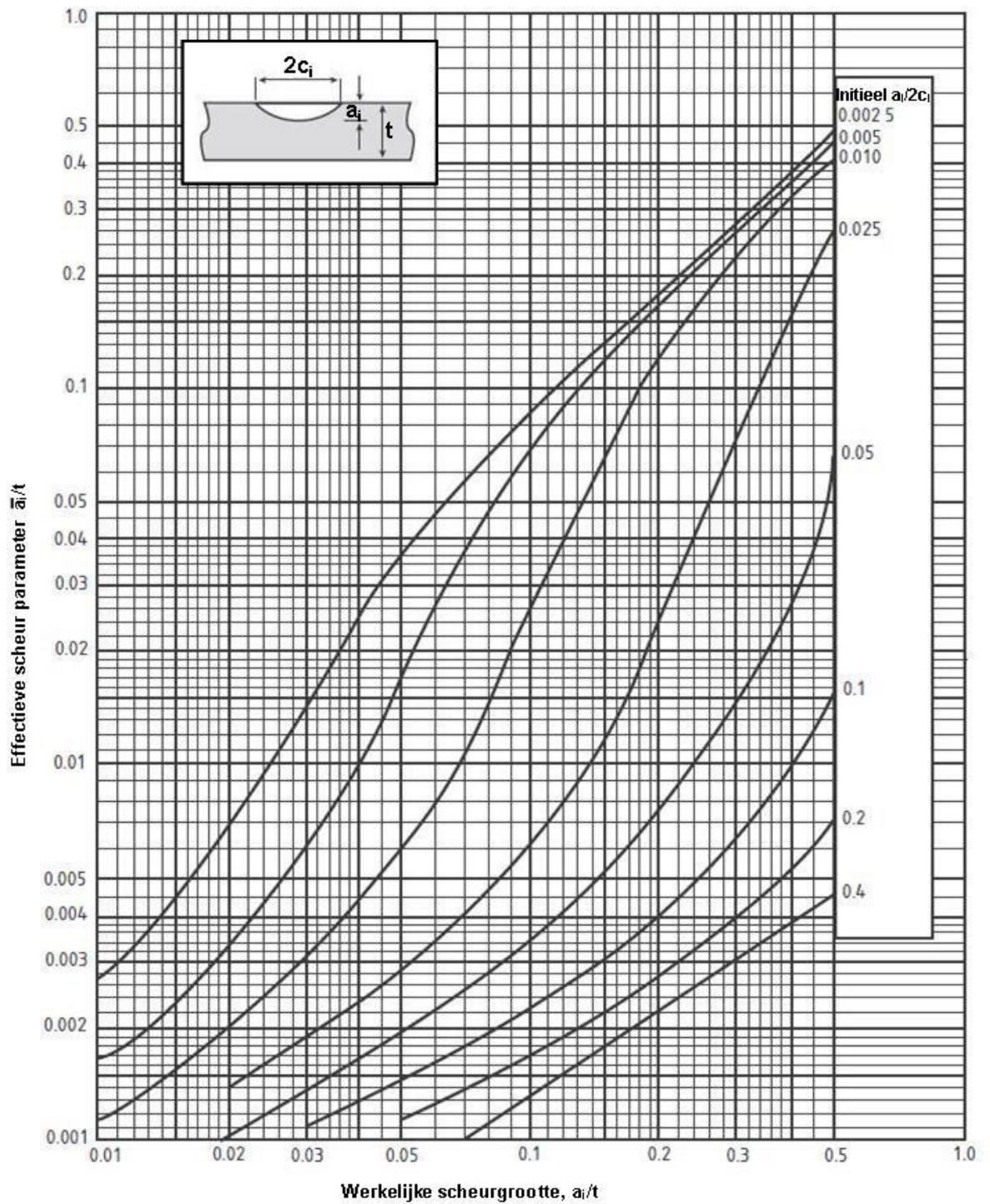


Figuur S2.4. Afmetingen van een defect met een recht front

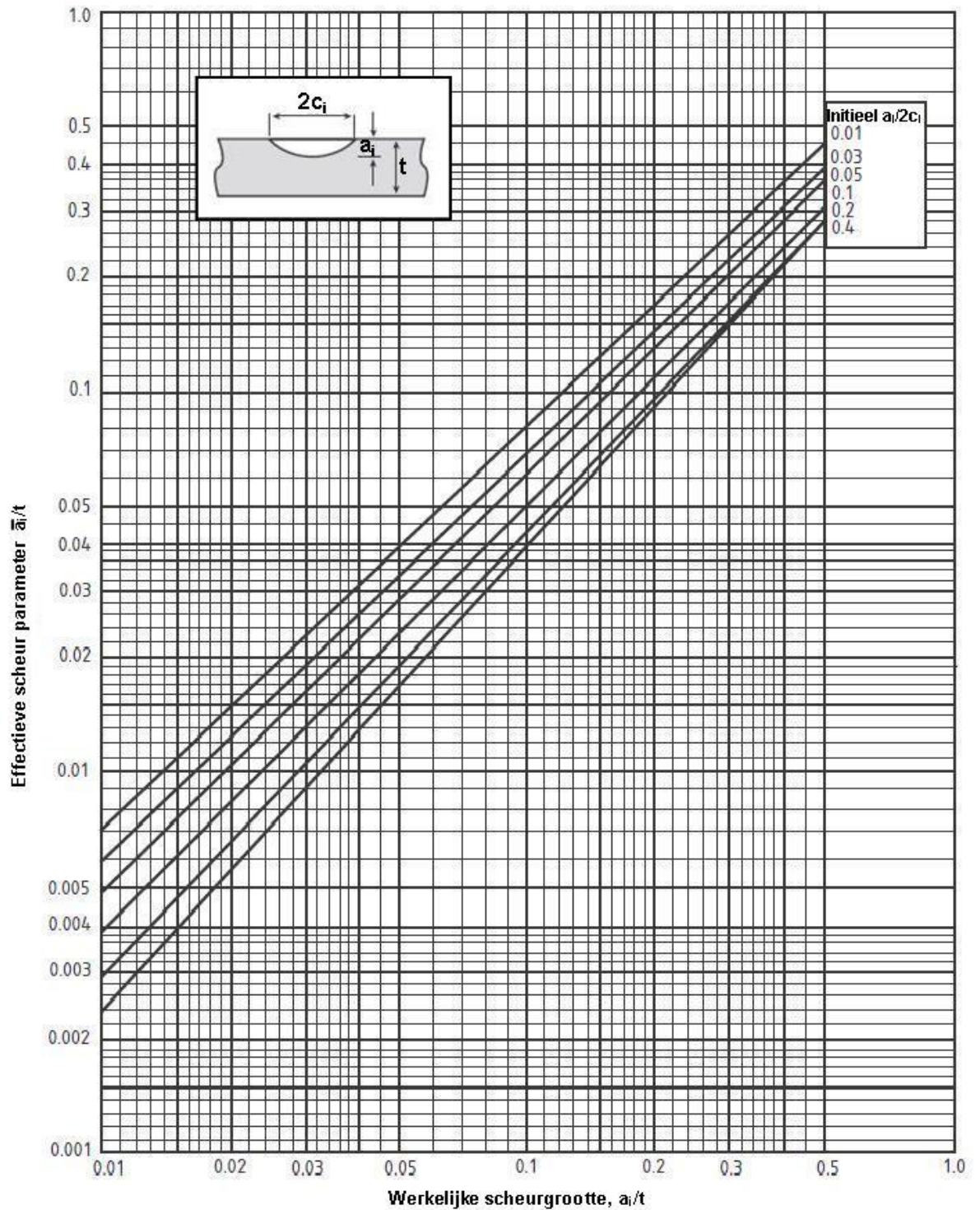
(3) Voor scheuren met afmetingen die buiten het toepassingsgebied van de curves in de figuren S2.5 t/m S2.8 vallen, moet een conservatieve waarde voor de equivalente afmeting \bar{a}_i gekozen worden. Als $a/2c_i > 0,4$ dan moet voor de bepaling van \bar{a}_i in de figuren S2.5 t/m S2.8 de curve voor $a/2c_i = 0,4$ zijn genomen; als bij membraanspanningswisselingen $a/2c_i < 0,01$ of bij buigspanningswisselingen $a/2c_i < 0,025$ dan moet voor \bar{a}_i de effectieve diepte a_i van het defect worden genomen.



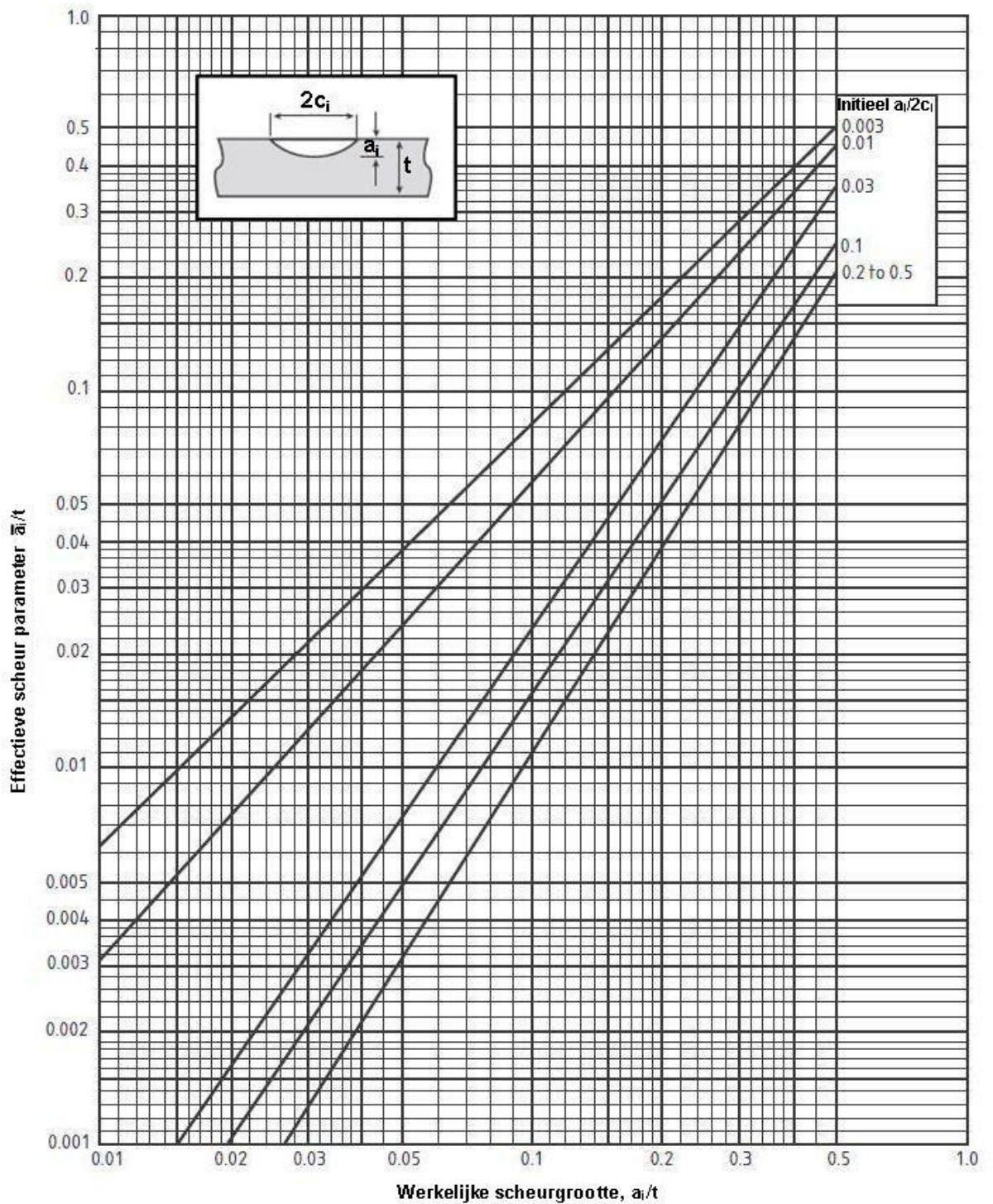
Figuur S2.5. Equivalente scheurdiepte voor een doorsnede belast door een membraanspanningswisseling, op een afstand groter dan $0,4t$ van een lasteen of een andere geometrische discontinuïteit.



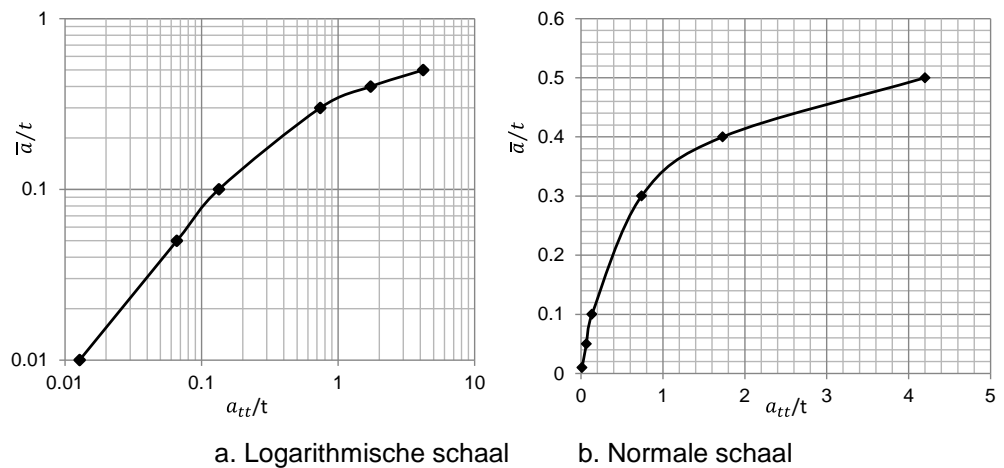
Figuur S2.6. Equivalente scheurdiepte voor een doorsnede belast door een buigspanningswisseling, op een afstand groter dan $0,4t$ van een lasteen of een andere geometrische discontinuïteit.



Figuur S2.7. Equivalente scheurdiepte voor een doorsnede belast door een membraanspanningswisseling op een afstand kleiner dan $0,4t$ van een lasteen of een andere geometrische discontinuïteit.



Figuur S2.8 Equivalente scheurdiepte voor een doorsnede belast door een buigspanningswisseling op een afstand kleiner dan $0,4t$ van een lasteen of een andere geometrische discontinuïteit.



Figuur S2.9. Verband tussen a_{tt} en \bar{a}

S2.4 Kritische afmeting van het defect

(1) De kritische afmeting $a_{max,tt}$ van een door-de-dikte scheur is de kleinste waarde die volgt uit:

$$a_{max,tt} = \frac{b}{6} \left(3 - \frac{\sigma_{b,Ed} + \sqrt{\sigma_{b,Ed}^2 + 9\sigma_{m,Ed}^2}}{0,8\sigma_{f,Ed}} \right) \quad (S2.1)$$

en

$$a_{max,tt} = \frac{K_{mat,d}^2}{\frac{2K_{mat,d}^2}{b} + 2\pi\sigma_{Ed}^2} \quad (S2.2)$$

waarin:

- $K_{mat,d}$ is de rekenwaarde van de breuktaaiheid uitgedrukt in de spanningsintensiteitsfactor in $N/mm^{3/2}$, volgens S2.5 (1);
- b is de breedte van het beschouwde constructiedeel, zie figuur S2.1 en S2.3;
- σ_{Ed} is de rekenwaarde van de spanning ten gevolge van de belasting in de uiterste grenstoestand, $\sigma_{Ed} = \sigma_{b,Ed} + \sigma_{m,Ed}$;
- $\sigma_{b,Ed}$ is het aandeel van de buigspanning in de rekenwaarde van de spanning ten gevolge van de belasting in de uiterste grenstoestand;
- $\sigma_{m,Ed}$ is het aandeel van membraanspanning in de rekenwaarde van de spanning ten gevolge van de belasting in de uiterste grenstoestand;
- $\sigma_{f,Ed}$ is de flowspanning.

(2) De flowspanning $\sigma_{f,Ed}$ moet worden bepaald met:

$$\sigma_{f,Ed} = \frac{1}{2}(f_y + f_u) \quad (S2.3)$$

waarin:

- f_y is de rekenwaarde van de vloeigrens;

f_u is de rekenwaarde van de treksterkte.

(3) Voor $\sigma_{f,Ed}$ mag niet meer in rekening zijn gebracht dan $\sigma_{f,Ed} = \frac{1}{2}(f_y + f_u)$.

(4) De equivalente kritische afmeting van het defect \bar{a}_{max} moet op basis van $a_{max,t}$ worden bepaald met behulp van figuur S2.9.

S2.5 Breuktaaiheid uitgedrukt in de spanningsintensiteitsfactor

(1) De rekenwaarde van de breuktaaiheid volgt uit:

$$K_{mat,d} = \frac{K_{mat,test}}{\gamma_{kmat}} \quad (S2.4)$$

waarin:

γ_{kmat} is een materiaal factor; $\gamma_{kmat} = 1.0$.

$K_{mat,test}$ is de breuktaaiheid volgend uit proeven uitgedrukt in de spanningsintensiteitsfactor in N/mm^{3/2}.

(2) Informatie over de breuktaaiheid mag zijn genomen uit ontwerpdocumenten en/of normen die ten tijde van het ontwerp en de bouw van toepassing waren.

(3) Voor staalkwaliteiten K2, M, N, ML, NL, QL en QL1 mag de breuktaaiheid $K_{mat,test}$ worden bepaald met:

$$K_{mat,av} = \begin{cases} 2200 & t \leq 8 \\ 632 + 1180 \left(\frac{25}{t} \right)^{\frac{1}{4}} & t > 8 \end{cases} \quad (S2.5)$$

waarin:

t is de materiaaldikte in mm van het betreffende constructiedeel, zie figuur S2.1.

Opmerking 1 Voor deze staalkwaliteiten geldt een minimaal gegarandeerde kerfslagwaarde van 27 Joule bij -20°C.

(4) Voor staalkwaliteiten JR en J0, alsmede indien geen informatie beschikbaar is over de staalkwaliteit, moet de kerfslagwaarde worden bepaald aan de hand van drie monsters. De monsters moeten worden genomen uit het onderdeel waarvoor de toelaatbaarheid van een defect wordt beoordeeld. Indien de monsters niet uit het betreffende onderdeel kunnen worden genomen, dan moeten deze zijn genomen uit een vergelijkbaar onderdeel. De kerfslagwaarde moet zijn bepaald volgens de huidige voorschriften bij -20°C. De kerfslagwaarde C_v is de minimumwaarde van de drie monsters.

- Indien de kerfslagwaarde C_v gelijk is aan of hoger is dan 27 J, dan mag de breuktaaiheid worden bepaald volgens vergelijking (S.5).
- Indien de kerfslagwaarde C_v lager is dan 27 J, dan mag de breuktaaiheid worden bepaald volgens:

$$K_{\text{mat,test}} = 632 + 0,475 \{348 + 2435 \exp[0,019(C_v - 34)]\} \left(\frac{25}{t}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (\text{S2.7})$$

waarin:

C_v is de laagste kerfslagwaarde [J] volgend uit de kerfslagproeven;
 t is de dikte in mm van het betreffende constructiedeel, zie figuur S2.1;

(5) Als het bepalen van de kerfslagwaarde in de projectspecificatie niet is voorgeschreven of wanneer het niet mogelijk is om aan de hand van monsters de kerfslagwaarde te bepalen, dan moet voor de bepaling van de restlevensduur zijn gerekend met $C_v = 4$ J.

(6) $K_{\text{mat,test}}$ mag ook bepaald zijn op basis van de laagste crack tip opening displacement volgend uit drie CTOD proeven, uitgevoerd bij -20°C .

Opmerking 1 In het algemeen is de waarde voor $K_{\text{mat,test}}$ volgend uit CTOD proeven hoger dan deze waarde volgend uit kerfslagproeven.

S2.6 Toetsing van de doorsnede met scheur

(1) In de uiterste grenstoestand moet:

$$\bar{a}_i \leq \bar{a}_{\text{max}} \quad (\text{S2.8})$$

waarin:

\bar{a}_i is de equivalente afmeting van het defect volgens S2.3;
 \bar{a}_{max} is de kritische afmeting van het defect volgens S2.4.

Opmerking Wanneer niet aan de eis wordt voldaan, kan een minder conservatieve analyse op basis van BS7910:2005 en/of op basis van aanvullende materiaalgegevens worden uitgevoerd.

(2) De scheurgroei van \bar{a}_i tot \bar{a}_{max} moet worden bepaald met de karakteristieke spanningsrange S :

$$S = \left(S_i^3 - S_m^3\right)^{1/3} \quad (\text{S2.9})$$

waarin:

S_i is de spanningsrange behorend bij de equivalente defect (scheur) afmeting;
 S_m is de spanningsrange behorend bij de maximale defect (scheur) afmeting.

(3) De spanningsrange S_i resp. S_m moet zijn bepaald met de figuren S2.11 t/m S2.19. Als een doorsnede is belast door spanningswisselingen ten gevolge van:

- membraanspanningswisselingen met lastenen of andere geometrische discontinuïteiten op een afstand groter dan $0,4t$ van het defect moet Figuur S2.11 zijn toegepast;

- buigspanningswisselingen met lasten of andere geometrische discontinuïteiten op een afstand groter dan $0,4t$ van het defect moet Figuur S2.12 zijn toegepast;
- membraanspanningswisselingen waarbij de afstand tussen het defect en lasten of andere geometrische discontinuïteiten kleiner is dan $0,4t$ moet voor een las de toe te passen figuur zijn ontleend aan tabel S2.1.

Tabel S2.1 Toe te passen figuur in relatie tot l/t

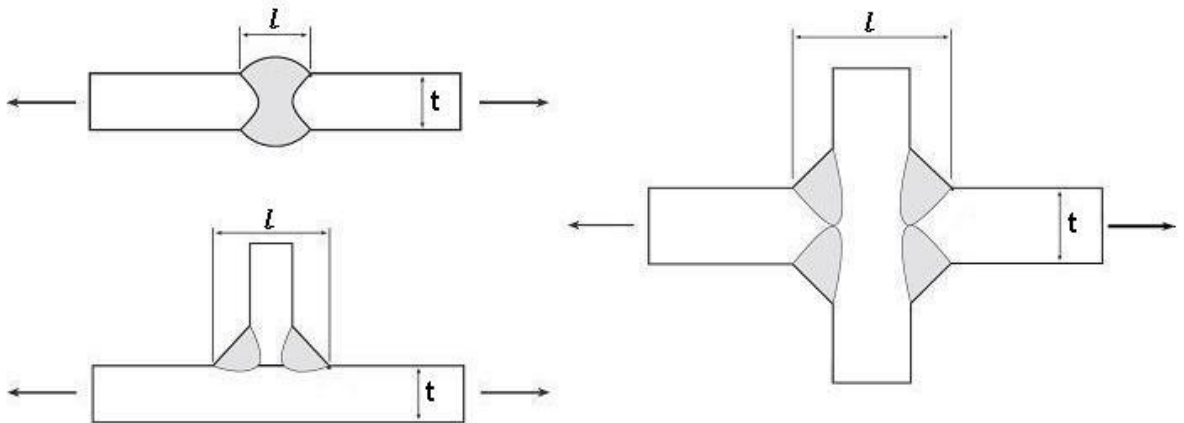
knooplengte/dikteverhouding l/t	figuur
$l/t \leq 0,5$	S2.13
$0,5 < l/t \leq 0,75$	S2.14
$0,75 < l/t \leq 1$	S2.15
$1 < l/t \leq 1,8$	S2.16
$l/t > 1,8$	S2.17

- buigspanningswisselingen waarbij de afstand tussen het defect en lasten of andere geometrische discontinuïteiten kleiner is dan $0,4t$, moet voor een las met:
 - een knooplengte/dikteverhouding $l/t < 1$ figuur S2.18 zijn toegepast;
 - een knooplengte/dikteverhouding $l/t \geq 1$ figuur S2.19 zijn toegepast.

Voor tussenliggende waarden van S_i mag zijn geïnterpoleerd.

De knooplengte is de afstand tussen de lasten op de beschouwde plaat.

Opmerking Voorbeelden van de knooplengte zijn gegeven in figuur S2.10.



Figuur S2.10. Voorbeelden van de definitie van de knooplengte l van een lasdetail.

(5) De karakteristieke S-N curve waarin het effect van het defect is verdisconteerd, volgt uit:

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_c^m 2 \cdot 10^6 \quad (\text{S2.10})$$

waarin:

N_R is de levensduur behorend bij spanningsrange $\Delta\sigma_R$

- m is de inverse waarde van de helling van de S-N curve; voor de gehele S-N curve mag $m = 3$ zijn aangehouden.
- $\Delta\sigma_c$ is de detailcategorie waarin het defect is verdisconteerd; $\Delta\sigma_c$ is de waarde van S bepaald volgens S2.6 (2).

Opmerking De aanname dat $m = 3$ voor de gehele S-N lijn geldt, is conservatief.

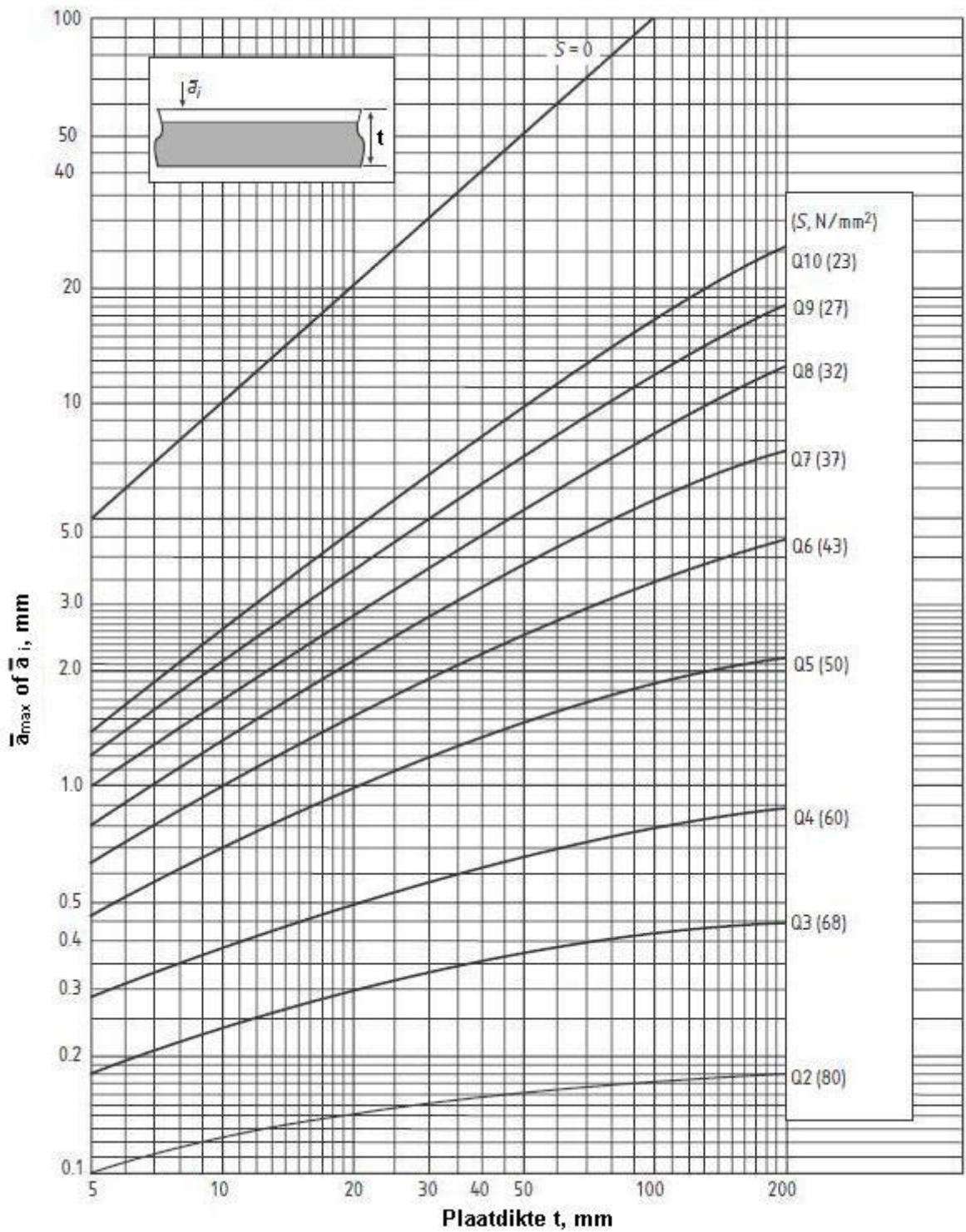
(6) De restlevensduur van een onderdeel met een defect moet zijn bepaald met de schade accumulatieregels van Palmgren-Miner volgens A.6 in NEN-EN1993-1-9 en met de karakteristieke S-N curve volgens (5) waarin het defect is verdisconteert.

(7) Voor onderdelen van de orthotrope rijvloer mag $\gamma_{Mf} = 1,0$ zijn aangehouden; voor alle overige onderdelen van de constructie moet $\gamma_{Mf} = 1,15$ zijn genomen. Voor γ_{ff} geldt: $\gamma_{ff} = 1,0$.

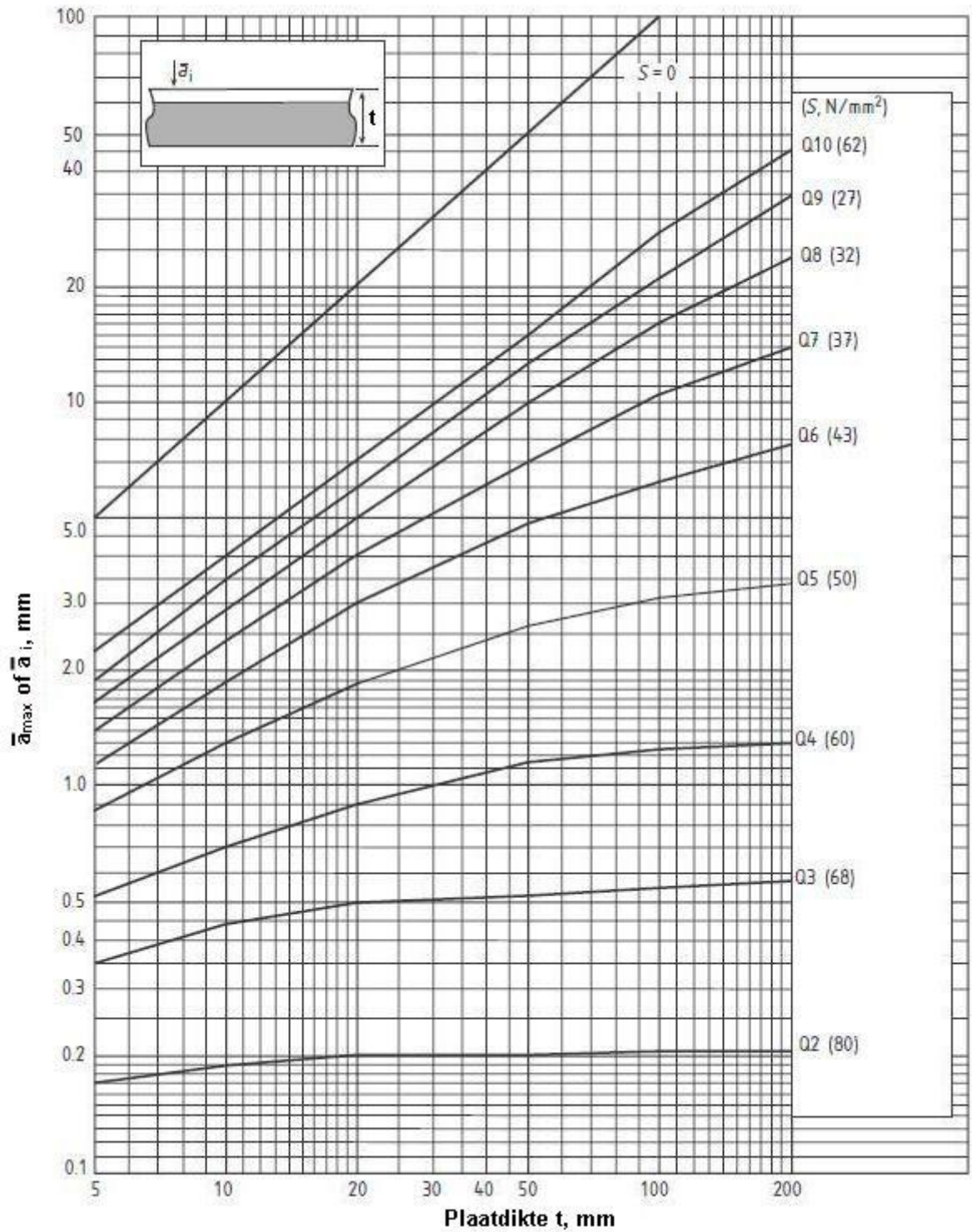
(8) Als de voor de beoogde restlevensduur (t_{tot}) $D > 1$, moet een inspectie-interval worden bepaald. Het aantal wisselingen in het vermoeiingsspectrum moet dan worden vermenigvuldigd met een factor Δ , zodanig dat de berekende schade D juist gelijk is aan 1. De eerstvolgende inspectie moet zijn uitgevoerd voor de periode Δt , berekend door vermenigvuldiging van t_{tot} met Δ .

(9) Het daarop volgende inspectie-interval moet worden bepaald op basis van de dan gevonden defectgrootte.

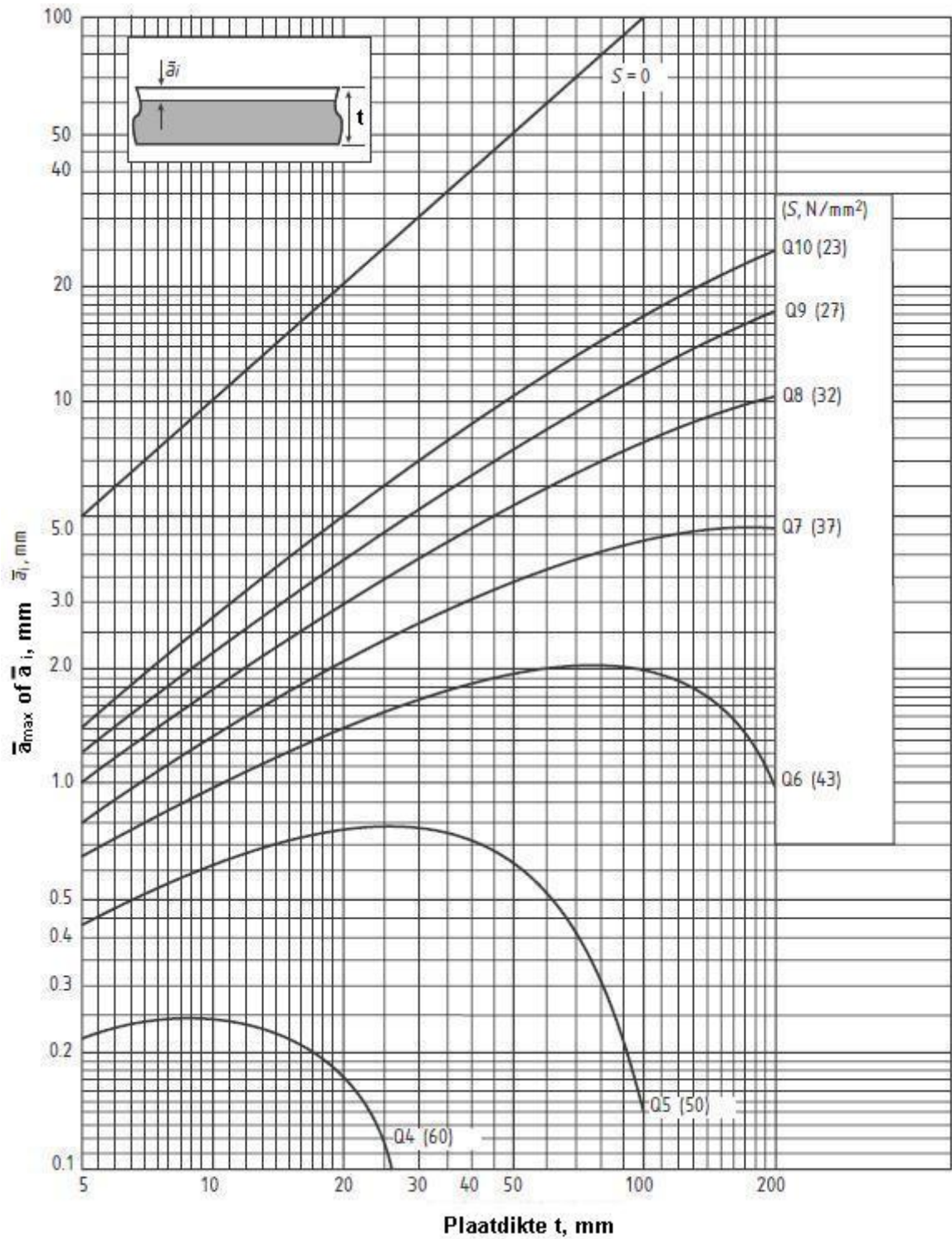
Opmerking: Indien het inspectie-interval onaanvaardbaar kort is, kan een minder conservatieve berekening van de restlevensduur uitgevoerd worden op basis van de Britse norm BS 7910:2005.



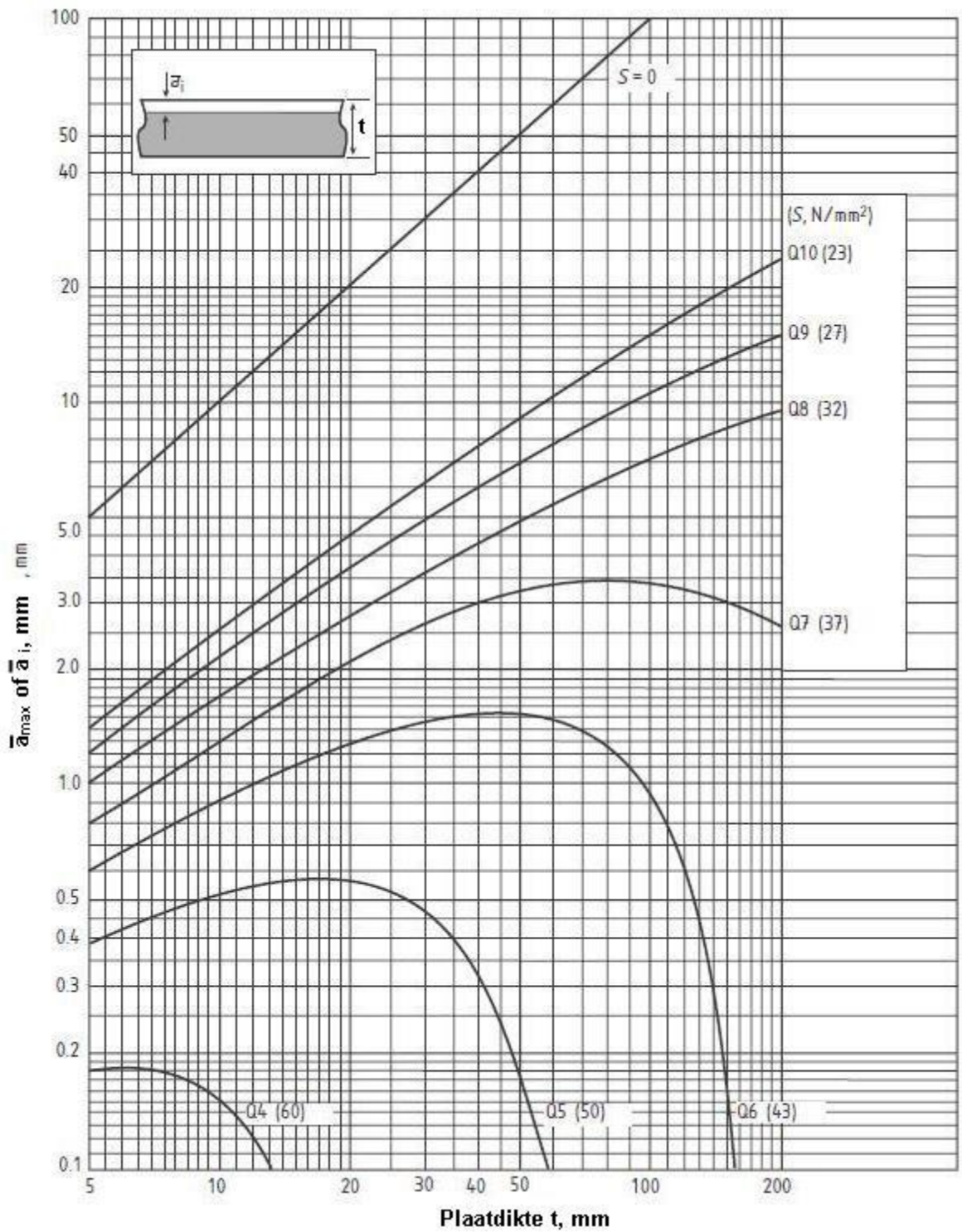
Figuur S2.11. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand groter dan $0,4t$ van een lasteen of een andere geometrische discontinuïteit.



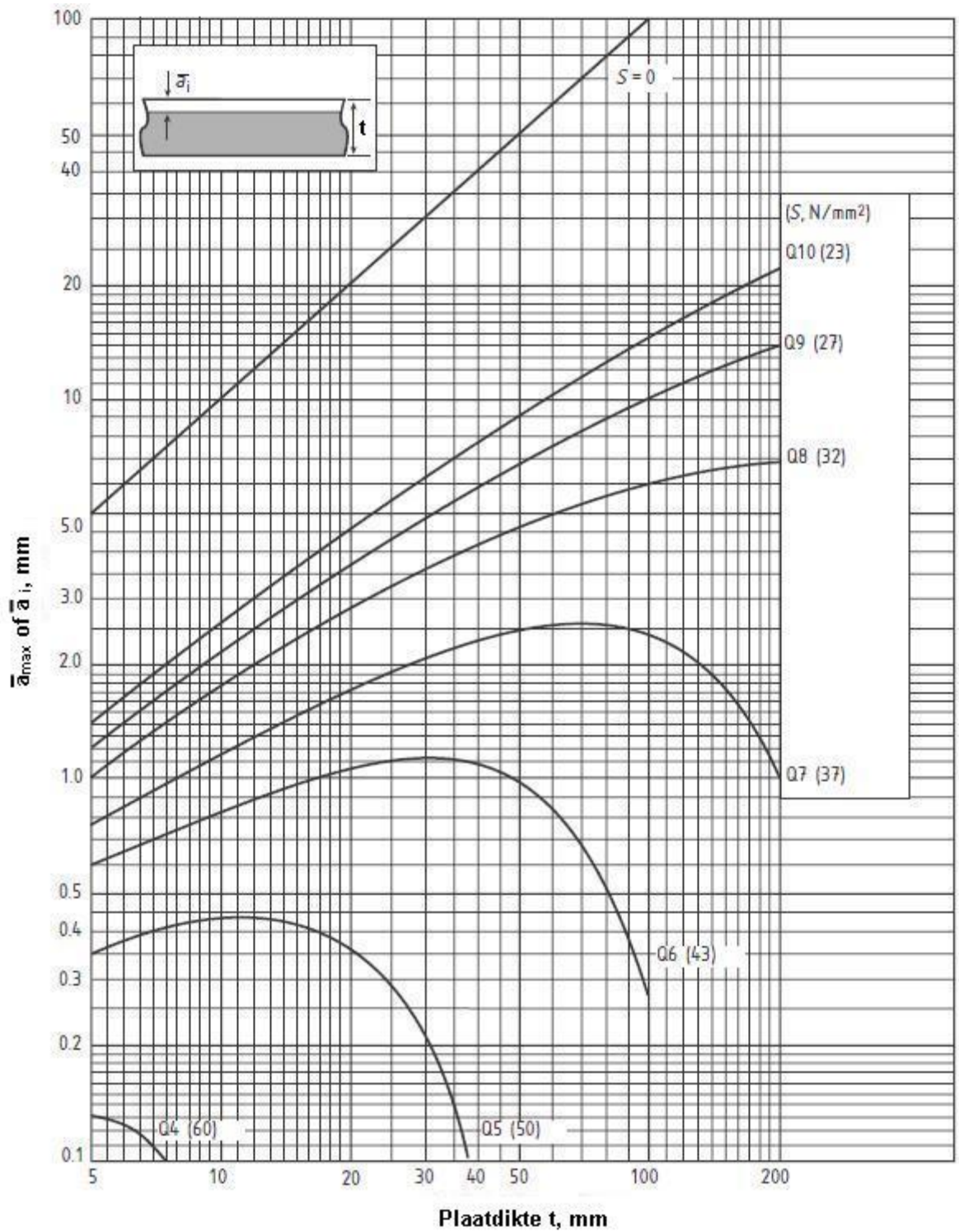
Figuur S2.12. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door buigspanningswisseling met een defect op een afstand groter dan $0,4 t$ van een lasteen of een andere geometrische discontinuïteit.



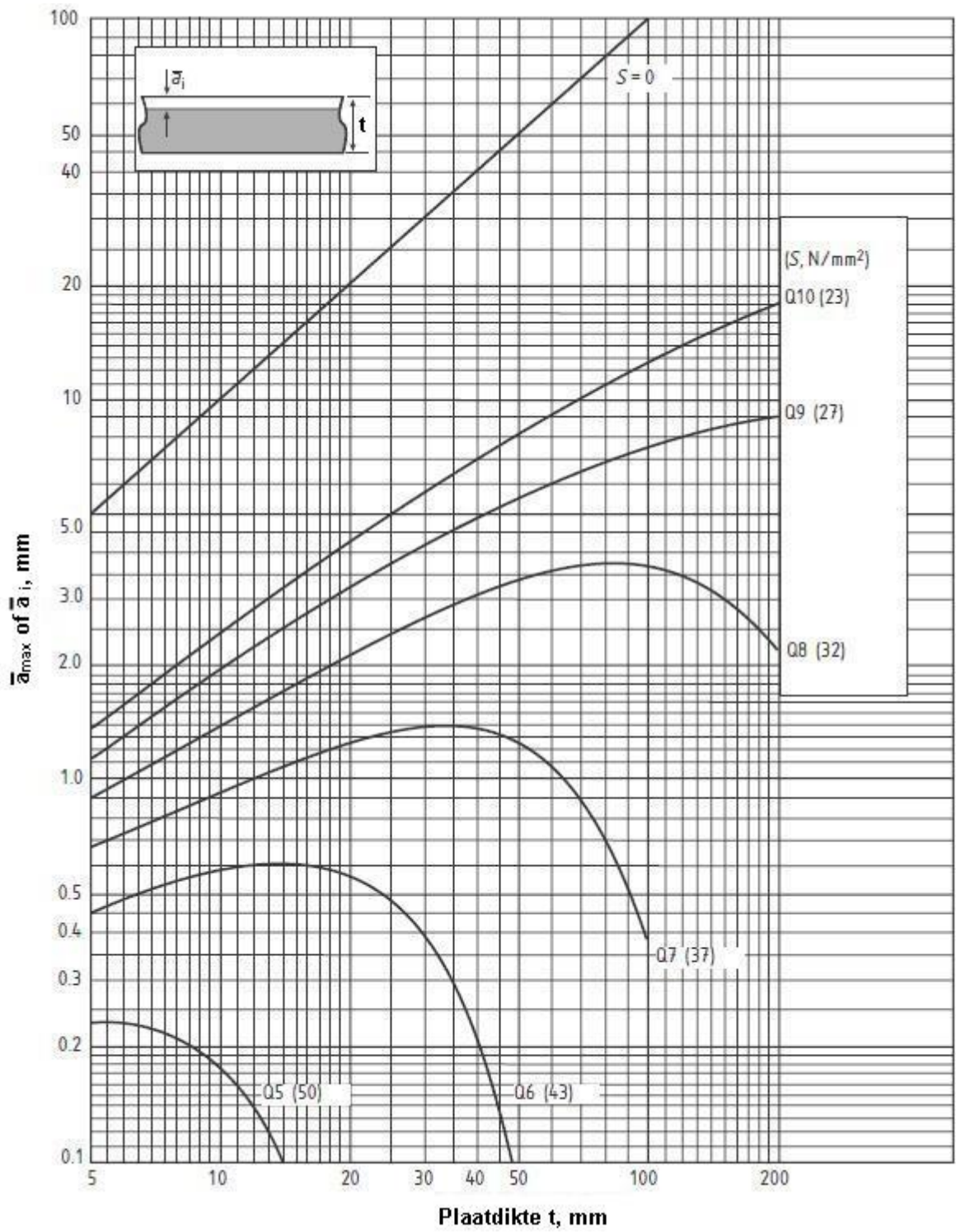
Figuur S2.13. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand kleiner dan $0,4 t$ van een lasten met $l/t \leq 0,5$.



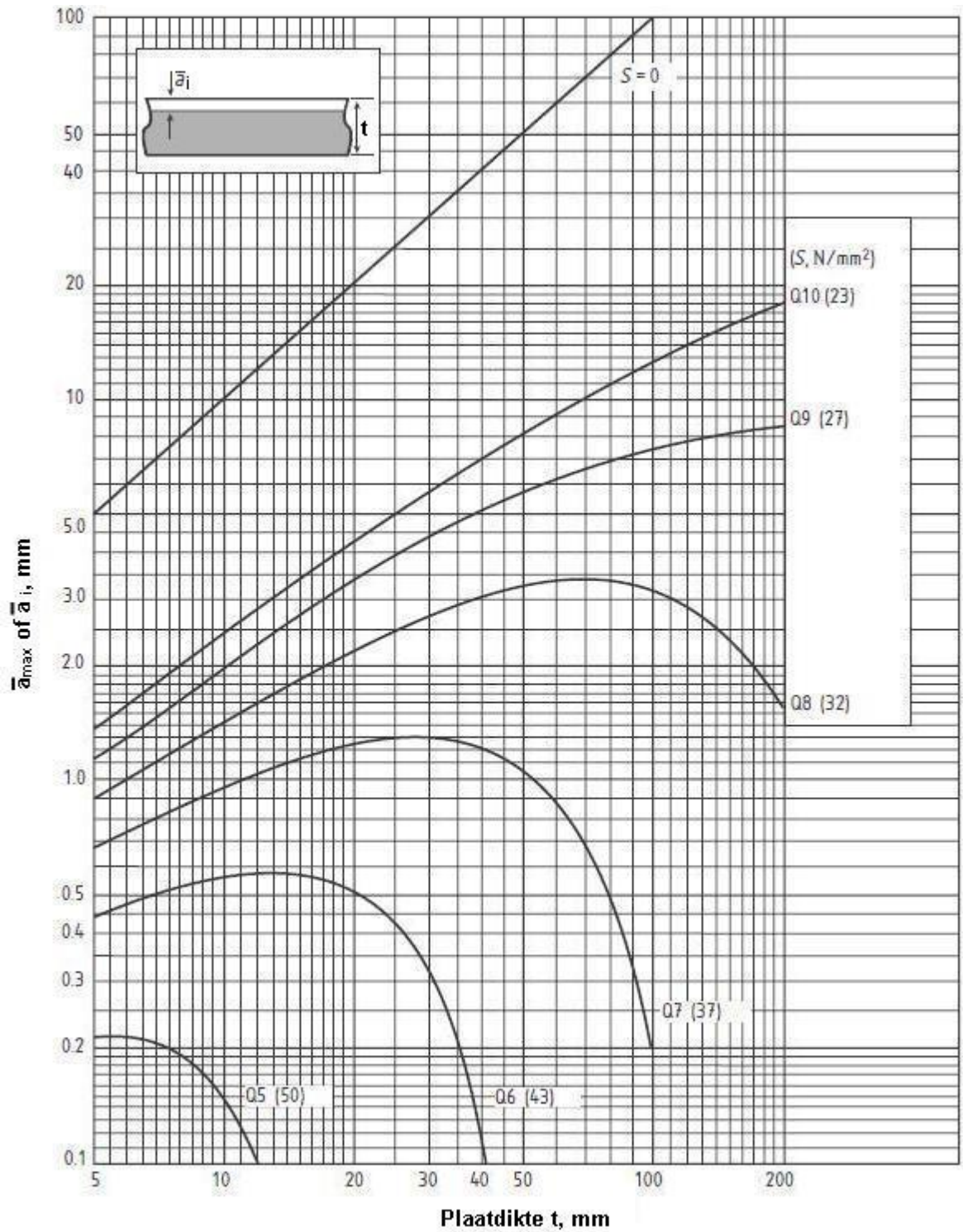
Figuur S2.14. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand kleiner dan $0,4 t$ van een lasteen met $0,5 < l/t \leq 0,75$.



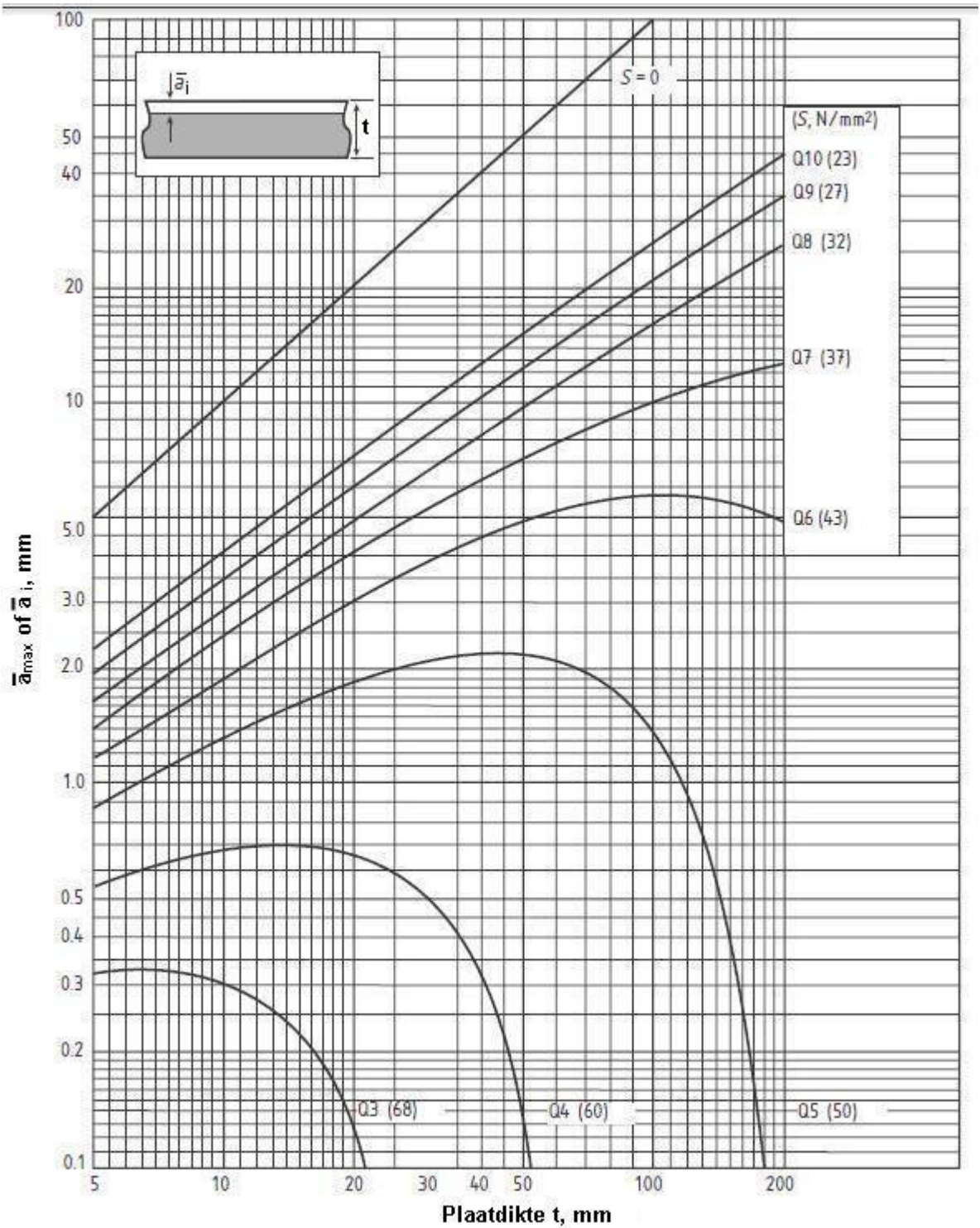
Figuur S2.15. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand kleiner dan $0,4 t$ van een lasteen met $0,75 < l/t \leq 1$.



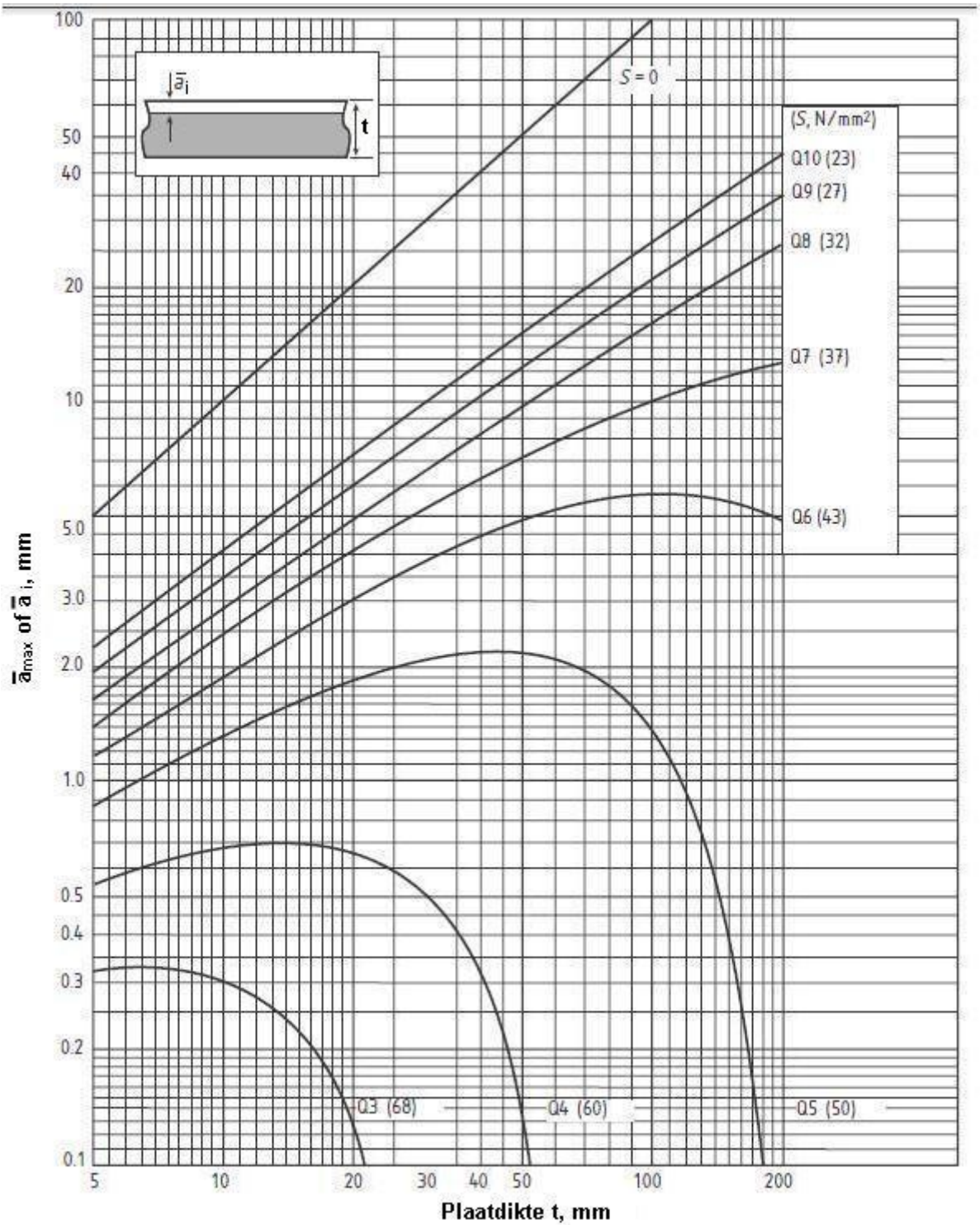
Figuur S2.16. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand kleiner dan $0,4 t$ van een lasteen met $1 < l/t \leq 1,8$.



Figuur S2.17. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand kleiner dan $0,4 t$ van een lasteen met $l/t > 1.8$.



Figuur S2.18. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand $0,4 t$ van een lasteen met $l/t < 1$.



Figuur S2.19. Spanningsrange S als functie van t en \bar{a} voor een doorsnede belast door membraanspanningswisseling met een defect op een afstand kleiner dan $0,4 t$ van een lasteen met $l/t \geq 1$

Toelichting:

De procedure in deze bijlage is gebaseerd op de Britse norm BS 7910:2005. De figuren in deze bijlage zijn overgenomen uit of gebaseerd op vergelijkbare figuren in BS 7910:2005.

Vergelijking (S2.2) betreft een criterium voor doorbreken van de doorsnede en is gebaseerd op vergelijkingen (N.1) en (N.4) van BS 7910:2005. Vergelijking (S2.1) betreft een criterium voor het plastisch bezwijken van (het niet gescheurde deel van) de doorsnede, en is gebaseerd op de tekst van artikel N.1.2 en op vergelijkingen (8) en (P.1) van BS 7910:2005. De factor 0,8 in deze vergelijking dient om rekening te houden met interactie tussen plastisch bezwijken en doorbreken, en is volgens de Level I assessment in BS 7910:2005.

Vergelijkingen (S2.6) en (S2.7) zijn gebaseerd op vergelijkingen (J.4) en (J.5) van BS 7910:2005. Vergelijking (S2.7) geeft een beperking om eventueel overschatten van de upper shelf waarde van de breuktaaiheid te voorkomen. Voor materiaal J0 en JR is de kerfslagwaarde bepaald voor een temperatuur hoger dan de minimale gebruikstemperatuur. In dat geval wordt op basis van vergelijking (S2.6) een lower shelf waarde gevonden van de breuktaaiheid, en deze zal maatgevend zijn. Vergelijking (S2.7) is dan niet relevant, vandaar dat in deze vergelijking de waarde van de kerfslagwaarde bij de beproevingstemperatuur aangehouden mag worden.

Vergelijking (S2.9) is gebaseerd op vergelijking (32) uit BS 7910:2005. Echter vergelijking (32) bevat overduidelijk een fout ($S = (S_i^3 \times S_m^3)^{1/3}$). Deze vergelijking is hier aangepast door het vermenigvuldigingsteken te vervangen door het aftrekteken. De vergelijking komt dan overeen met de vergelijking in de voorloper van BS 7910:2005, namelijk PD 6493.

Bijlage S3 - Low cycle vermoeiing

- (1) Als voor de toetsing van een doorsnede in de uiterste grenstoestand gebruik is gemaakt van plastische herverdeling, dan moet naast de toets op vermoeiing volgens NEN-EN 1993-1-9 een toets op low-cycle vermoeiing worden uitgevoerd.
- (2) Als belasting voor de low-cycle vermoeiing mag zijn uitgegaan van de frequente waarde van belastingmodel LM1 uit NEN-EN 1991-2.
- (3) De toetsing moet zijn uitgevoerd met de absolute waarde van de gemodificeerde nominale hoofdspansing alsmede de gemodificeerde nominale hoofdspansingsrange. De gemodificeerde nominale hoofdspansing is de spanning inclusief de spanningstoename ten gevolge van de globale geometrie, maar exclusief de spanningstoename veroorzaakt door de geometrie van het (gelaste) detail in de richting loodrecht op het detail.
- (4) De gemodificeerde nominale hoofdspansing is gedefinieerd als de:
- Hoofdspansing volgend uit een model met balkelementen of uit een handberekening, uitgaande van lineair elastisch materiaalgedrag. De berekende spanning moet zijn vermenigvuldigd met de globale spanningsconcentratiefactor k_t ;
 - Hoofdspansing in de uiterste vezel ter plaatse van het snijpunt van twee platen volgend uit een model met schaal- of plaalementen, waarbij is uitgegaan van lineair elastisch materiaalgedrag;
 - Hoofdspansing op een afstand van 1 maal de plaatdikte t van de lasten volgend uit een model met volume-elementen waarin de lassen zijn mee gemodelleerd en is uitgegaan van lineair elastisch materiaalgedrag.

Opmerking 1 De waarde van de gemodificeerde nominale spanning volgend uit een model bestaande uit schaal- of plaalementen kan conservatief zijn.

Opmerking 2 Bijlage S4 geeft aanwijzingen over de toepassing van eindige elementen modellen.

Opmerking 3 De spanningsconcentratiefactor k_t kan voor standaard details gevonden worden in de literatuur.

- (5) Toetsing op basis van de Von Mises spanning is niet toegelaten.
- (6) De toets op low-cycle vermoeiing hoeft niet uitgevoerd te worden wanneer voldaan is aan zowel:

$$|\sigma_n| \leq f_y$$

als:

$$\Delta\sigma_n \leq 1,5f_y$$

waarin

$|\sigma_n|$ is de gemodificeerde nominale hoofdspansing;

$\Delta\sigma_n$ is de gemodificeerde nominale hoofdspansingsrange;

f_y is de vloeigrens.

(7) De vermoeiingsschade bepaald volgens NEN-EN 1993-1-9 moet worden gecombineerd met de vermoeiingsschade ten gevolge van low-cycle vermoeiing. Aangetoond moet zijn dat:

$$D_{lc} + D \leq 1$$

waarin:

D is de vermoeiingsschade volgens NEN-EN1993-1-9;

D_{lc} is de vermoeiingsschade ten gevolge van low-cycle vermoeiing.

(8) De vermoeiingsschade D_{lc} ten gevolge van de low-cycle vermoeiing moet zijn bepaald met:

$$D_{lc} = \frac{n_{lc}}{N_{lc}}$$

waarin:

n_{lc} is het aantal optredende low-cycle wisselingen gedurende de levensduur; Uitgegaan mag zijn van 12 wisselingen per jaar;

N_{lc} is het aantal low-cycle wisselingen tot bezwijken.

(9) Het aantal low-cycle wisselingen N_{lc} tot bezwijken moet zijn bepaald met:

$$\frac{\Delta \varepsilon_c}{2} = \frac{0,5 f_u}{E} (2N_{lc})^{-0,1} + 0,04 (2N_{lc})^{-0,6}$$

waarin:

$\Delta \varepsilon_c$ is de rekwisseling ten gevolge van de cyclische belasting volgens (10);

E is de rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$;

f_u is de rekenwaarde van de treksterkte.

(10) De rekwisseling $\Delta \varepsilon_c$ moet zijn bepaald uit het verschil tussen de maximale en de minimale rek ten gevolge van de cyclische belasting veroorzaakt door het belastingseffect van de frequente waarde van belastingsmodel LM1 volgens NEN-EN 1991-2. De maximale rek $\varepsilon_{c,max}$ en de minimale rek $\varepsilon_{c,min}$ mogen zijn bepaald op basis van:

- een geometrisch en fysisch niet-lineaire eindige-elementenberekening van de beschouwde constructie of het beschouwde deel van de constructie, waarbij de cyclische spanning-rek relatie volgens (13) in rekening is gebracht;
- de gemodificeerde nominale hoofdspanning σ_n volgend uit een lineair elastisch model.

(11) Als de rekwisseling is bepaald op basis van de gemodificeerde nominale hoofdspanning σ_n volgend uit een lineair elastisch model moet de cyclische spanning zijn bepaald volgens (12) en vervolgens moet de cyclische rek zijn bepaald volgens (13)

(12) De waarde van cyclische spanning σ_c moet zijn bepaald met:

$$\frac{\sigma_n^2 \cdot k_f^2}{E} = \sigma_c \left[\frac{\sigma_c}{E} + \left(\frac{\sigma_c}{K'} \right)^{\frac{1}{n'}} \right]$$

waarin:

- σ_n is de gemodificeerde nominale hoofdspanning gedefinieerd volgens (4) ten gevolge van belastingsmodel LM1;
- k_f is de spanningsconcentratiefactor volgend uit een lineair elastische analyse.
- E is de rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus, $E = 210000 \text{ N/mm}^2$;
- σ_c is de cyclische spanning;
- K' is de verstevigingscoëfficiënt, $K' = 1,5 f_u$;
- n' is de verstevigingsexponent, $n' = 0,17$.

Opmerking: De spanningsconcentratiefactor voor low-cycle vermoeiing is gelijk aan die voor vermoeiing volgens NEN-EN 1993-1-9 en kan voor standaard details gevonden worden in literatuur. Als alternatief kan de spanningsconcentratiefactor afgeleid worden op basis van een lineair-elastisch eindige-elementenmodel opgebouwd uit volume-elementen, waarbij spanningsconcentratiefactor gelijk is aan het quotiënt tussen de hot-spot spanning en de nominale spanning. De hot-spot spanning σ_{HS} wordt verkregen door lineaire extrapolatie van de spanning aan het oppervlak van de belaste plaat naar de lasteen, vanuit de punten $0,4t$ en t van de lasteen verwijderd. Hierin is t gelijk aan de dikte van de belaste plaat, zie figuur 6.1 in deze RBK.

(13) De waarde van de cyclische rek ε_c moet zijn bepaald met:

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E} + \left(\frac{\sigma_c}{K'} \right)^{\frac{1}{n'}}$$

Bijlage S4 - Modelling stalen bruggen (informatief)

S4.1 Model algemene berekening bruggen

(1) Voor het modelleren van bruggen ten behoeve van de algemene berekening kunnen afhankelijk van het type brug een aantal type modelleringen worden onderscheiden:

Plaatliggerbruggen

Model a	model met balkelementen (een zogenaamd balkrooster)
Model b	model met schaalelementen
Model c	model met een combinatie van schaal- en balkelementen

Bruggen met een betonnen dek

Model d	model met langsliggers, dwarsdragers en betondek in één vlak
Model e	model met betondek en excentrisch aangesloten langsliggers en dwarsdragers
Model f	model met interface elementen tussen dek en dwarsdragers

Opmerking:

In de projectspecificatie kan een van deze modellen voor de algemene berekening van de krachtsverdeling zijn voorgeschreven.

S4.2 Modelling plaatliggerbruggen

(1) Model a: Model met balkelementen (een zogenaamd balkrooster)

Bij modellering van een plaatliggerbrug als balkrooster worden met behulp van de meewerkende breedten, gebaseerd op shear lag en plaatplooien (zie EN 1993-1-5), de dimensies van de hoofdliggers en dwarsdragers bepaald. Omdat de meewerkende breedte van de rijvloer met de hoofdligger afhankelijk is van het beschouwde belastinggeval, zijn er verschillende modellen nodig voor de berekening van het effect van de belasting.

Opmerking: Dit model is conservatief t.a.v. de meewerkende breedte (shear lag) en de verdeling van de belasting over de hoofdliggers. Verder is het verdelen van de verkeersbelasting over de balkelementen lastig, zodat om dit te automatiseren vaak alsnog schaalelementen voor de rijvloer worden toegepast.

(2) Model b: Model met schaalelementen

Bij een model bestaande uit schaalelementen wordt de invloed van elastische shear lag in het model meegenomen. Voor het meenemen van plastische shear lag moet een fysisch niet-lineaire berekening zijn uitgevoerd. Voor het verwerken van de invloed van plaatplooien in een lineair elastische berekening is dit model alleen bruikbaar, indien het effect van het plooien van platen op de stijfheid mag worden verwaarloosd, dus als $\rho > \rho_{lim}$ volgens 2.2(5) in NEN-EN 1993-1-5.

Opmerking: Dit model vraagt veel reken capaciteit, maar heeft als voordeel dat lokale effecten op de spanningsverdeling, zoals het spanningsverloop/-introdunctie bij opleggingen en de buiging om de zwakke as van de hoofdliggers goed wordt meegenomen.

Een nadeel van dit model is echter dat bij doorsnedeklasse 4 de toetsing met de doorsnedereductiemethode lastig is, omdat de gevonden spanningsverdelingen niet overeenkomt met de bij deze toetsingsmethode aangenomen spanningsverdeling.

(3) Model c: Model bestaande uit een combinatie van schaal- en balkelementen
Bij een model bestaande uit een combinatie van schaal- en balkelementen wordt de rijvloer gemodelleerd met schaalementen en de hoofdliggers, dwarsdragers, trogprofielen met excentrisch aan het dek aangesloten balkelementen. In dit model wordt de elastische shear lag meegenomen.

Opmerking: Dit model is voor constructies met plaatliggers van doorsnedeklasse 4 het meest geschikt. Het model houdt goed rekening met elastische shear lag en de herverdeling van de meewerkende breedte over de hoofdliggers voor de verschillende belastinggevallen en belastingcombinaties. De toetsing met de doorsnedereductiemethode is goed uitvoerbaar, omdat de spanningsverdeling aansluit bij de toetsingsmethode.

(4) Bij brugdekken met een HSB overlaging moet rekening worden gehouden met verschillende meewerkende breedte voor het dek met en zonder overlaging.

Opmerking: De modellen b en c zijn eenvoudig uit te breiden met schaalementen voor de modellering van een hoge sterkte beton (HSB) overlaging. Door de resultaten uit beide modellen te combineren kan de resulterende krachtverdeling worden gevonden.

S4.2.1 Stijfheid verbindingen

(1) Bij de modellen a en c moet aan de hand van de gevonden krachtsverdeling worden beoordeeld of de gevonden krachtsverdeling voldoende nauwkeurig is. Indien nodig moet het model worden aangepast.

Opmerking: Zonder specifieke maatregelen worden de momentverbindingen in de modellen a en c (bijvoorbeeld de verbindingen tussen hoofdliggers en dwarsdragers) volledig stijf aangenomen. In werkelijkheid zijn deze momentverbindingen niet volledig stijf, omdat de onderflens van de dwarsdrager meestal niet aansluit op de onderflens van de hoofdligger. Als gevolg van deze modellering kunnen sprongen ontstaan in de momentenlijn van de dwarsdragers en dwarsmomenten (torsie) in de hoofdligger ter plaatse van de verbinding. Zijn deze onbedoelde rekenmomenten significant, dan moet de stijfheid van de aansluiting worden aangepast. In geval van model a kan hiermee vrij eenvoudig rekening worden gehouden door het toepassen van tyings of veren bij de aansluiting. In geval van model c is het in veel gevallen lastiger om de benodigde aanpassingen aan te brengen. Afhankelijk van het type verbinding kan de torsiestijfheid van de (hoofd)ligger (I_t) verlaagd worden, of is een complex model benodigd, bijvoorbeeld model b.

S4.2.2 Modellering van de dekplaat

(1) Het is gebruikelijk om de dekplaat van een plaatliggerbrug te modelleren met schaalementen. In dit model worden de knopen ter plaatse van het middenvlak van de stalen dekplaat gelegd.

S4.2.3 Modellinging troggen

- (1) Bij toepassing van model a wordt met balkelementen het meewerkende deel van het dek inclusief de troggen gemodelleerd.
- (2) Bij toepassing van model b worden de troggen gemodelleerd met schaalelementen. Voor troggen met vlakke onderzijden, mag de afronding van de trogbodem in het algemeen worden verwaarloosd. Artikel 5.1 in NEN-EN 1993-1-3 geeft regels voor verwaarlozing van afrondingen.
- (3) Bij toepassing van model c zijn meerdere modelleringen voor de troggen mogelijk.
 - Als excentrische balkelementen ter plaatse van het hart van de trog (knopen in het dek, maar het zwaartepunt van de trog op de juiste positie). De doorsnedegrootheden A , I_y en I_t zijn met name van belang voor het gedrag van de constructie. De oppervlakte A betreft de oppervlakte van enkel het trogprofiel, het traagheidsmoment om de as evenwijdig aan het dek I_y betreft het traagheidsmoment van enkel het trogprofiel. Het torsietraagheidsmoment I_t betreft het torsietraagheidsmoment ten gevolge van trog inclusief het dek boven de trog.
 - Als centrische balkelementen boven het hart van de trog in het dek. Indien de balkelementen niet excentrisch worden geplaatst ten opzichte van het dek moeten de effecten van de excentriciteit op een andere wijze in rekening worden gebracht. In dergelijke gevallen moet worden gerekend met de effectieve dwarsdoorsneden van de verstijvingen. (Voor achtergrond informatie zie handleiding EBPlate).

Opmerking Bovenstaande modellering kan ook worden toegepast voor de aansluiting van de hoofdliggers en dwarsdragers aan het dek.

- (4) De spanningen in het dek loodrecht op de trog worden met model c niet goed berekend en moeten volgen uit een lokaal model. Dit lokaal model bestaat uit een modellering volgens model b en moet minimaal 5 velden tussen dwarsdragers omvatten.

Opmerking: Bij een model met balkelementen voor de troggen overspant de dekplaat de hart op hart afstand tussen de troggen (600 mm), terwijl dit in werkelijkheid de afstand tussen de trogbenen betreft (300 mm). Met een lokaal schaalelementen model kan dit eenvoudig worden ondervangen.

- (5) Het groeperen van meerdere troggen tot één balkelement wordt afgeraden omdat dit gevolgen heeft voor de toetsing.

Opmerking: Bij het groeperen van troggen tot één balkelement is het model niet meer geschikt voor de toetsing van de dwarsdragers en moeten de dwarsdragers worden berekend met een lokaal model. Na groepering van de troggen is het model alleen geschikt voor de krachtsverdeling in de hoofdliggers.

S4.2.4 Modellinging troggen in hoofdliggers

- (1) Wanneer een trogprofiel zich juist boven het lijf van de hoofdliggers bevindt, dan is het trogprofiel onderdeel van de hoofdligger.

(2) Bij toetsing van het trogprofiel dat onderdeel is van de hoofdligger moet rekeningen zijn gehouden met de spanningen in dwarsrichting ten gevolge van directe verkeersbelastingen boven het profiel.

Opmerking 1: Bij model b worden alle spanningen in een trog die onderdeel is van de hoofdligger in het model meegenomen.

Opmerking 2: Bij model c worden alleen de spanningen in de langsricting van het trogprofiel meegenomen in het model. De buigspanningen in de bodem en de wand van de trog ten gevolge van directe verkeersbelasting boven dit trogprofiel volgen niet uit dit model. Bij de toetsing van het trogprofiel boven de hoofdligger moeten de spanningen in dwarsrichting worden bepaald met een lokaal schaalmodel van het trogprofiel en samengevoegd met de spanningen in langsricting uit het balkmodel.

(3) Indien de trogbodem niet voldoet ten gevolge van de buigspanningen in de trog volgend uit het lokaal schaalmodel (model b), kan als alternatief gebruik worden gemaakt van een lokaal volumemodel. Hiermee kan rekening worden gehouden met de dikte van het lijf en de afmetingen van de lussen.

S4.3 Modelling bruggen met betonnen dek

(1) Model d: Model met langsliggers, dwarsdragers en betondek in één vlak
Bij deze modellering worden alle langsliggers en het betondek gemodelleerd in één vlak met centriscne aangesloten elementen (meestal ter plaatse van de neutrale lijn van de dwarsdragers) om langs spanningen in het betondek en langsliggers ten gevolge van de krachtswerking in het hoofddraagsysteem te voorkomen. Dit model kan worden toegepast als moet worden aangenomen dat de langsliggers en het betondek niet samenwerken met de staalconstructie.

Opmerking: Dit is een sterk vereenvoudigd model. Door alle elementen in één vlak te leggen wordt een samenwerking tussen de langsliggers en het betonnen dek niet meegenomen.

(2) Model e. Model met betondek en excentrisch aangesloten langsliggers en dwarsdragers
Bij deze modellering worden alle langsliggers en het betondek gemodelleerd in één vlak (vaak het betondek) met excentrisch aangesloten langsliggers en dwarsdragers. Dit model mag alleen worden toegepast als kan worden aangenomen dat het betondek samenwerkt met het hoofddraagsysteem/langsliggers.

(3) Model f: Model met interface elementen tussen dek en dwarsdragers
Bij deze modellering zijn de langsliggers gemodelleerd met knopen aan de bovenzijde van de liggers. Het betondek en de aansluiting hiervan op de langsliggers wordt met behulp van schaalementen gemodelleerd. De schaalementen worden bij de verbinding met de langsliggers schuivend aangesloten.

Opmerking 1: Beide modellen d en e zijn een compromis voor het gedrag van bruggen met een betonnen dek dat op stalen langsliggers ligt. Model f biedt vaak meer mogelijkheden om de interactie tussen betondek en liggers te modelleren, maar vereist meer modellering. Welke van deze modellen het meest geschikt is, is ook afhankelijk van de geometrie van de aansluitende constructie.

Opmerking 2: Model e is alleen correct indien de verbindingen tussen de langsliggers volledig stijf zijn. In alle andere gevallen moet bij de berekening van de krachtsverdeling rekening worden gehouden met de stijfheidsverdeling in de verbinding.

Voorbeeld:

Bij de aansluiting tussen de langsliggers volgens figuur S4.2 ontstaat aan de onderzijde van de console een drukpunt. Aan de bovenzijde van de verbinding zijn de flenzen m.b.v. platen doorverbonden. Deze bezitten een flexibiliteit.

Indien de langsliggers m.b.v. een liggermodel met excentrische knopen is aangesloten aan de knoop in het betondek, zal de ligger door de buiging t.g.v. de dwarsbelasting in het model verkorten. In werkelijkheid ontstaat aan de onderzijde een drukpunt. Ten gevolge van de buiging en rotatie van de knoop zal de ligger in werkelijkheid verlengen. Dit kan in rekening worden gebracht door de verbinding nauwkeuriger te modelleren indien deze niet volledig stijf is.

S4.3.1 *Modellering bevestiging betonnen dek*

(1) Indien een betonnen dek los op langsliggers en dwarsdragers ligt moet ervan worden uitgegaan dat het betonnen dek niet samenwerkt met de onderliggende constructie en er geen wrijving tussen het betondek en de langsliggers / dwarsdragers aanwezig is. De constructie moet worden beschouwd als een gestapelde constructie zonder wrijving tussen betondek en langsliggers / dwarsdragers.

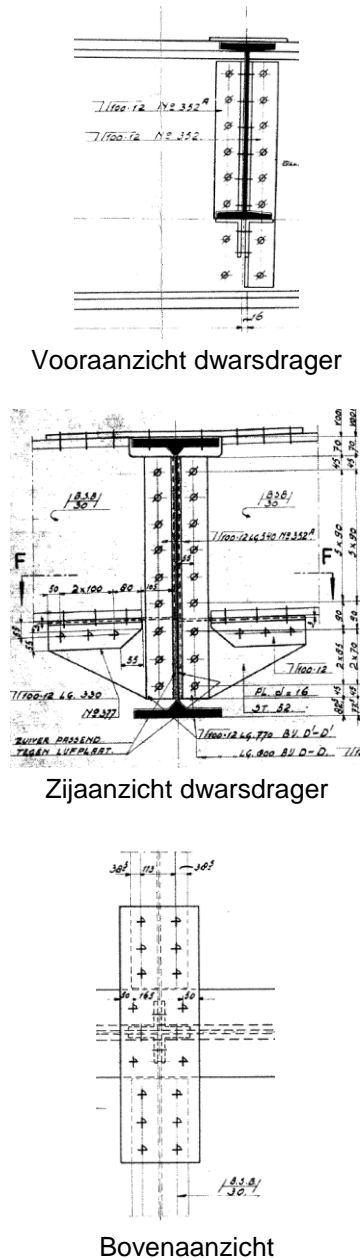
Indien het dek los gestapeld op de stalen langsliggers ligt, mag er in de uiterste grenstoestand niet van worden uitgegaan dat het dek volledig samenwerkt met de stalen liggers. In dergelijke gevallen moet de constructie zodanig worden gemodelleerd dat het betonnen dek en de langsliggers een niet-samenwerkende doorsnede vormen, terwijl de zakkingen toch gelijk zijn.

(2) Veerklemmen verhinderen het loskomen van het dek en kunnen dienen als kipsteun voor de liggers. Veerklemmen kunnen niet dienen als deuels.

Opmerking: Veerklemmen kunnen het loskomen van het dek verhinderen en met enige speling dienen als kipsteun. In de lengterichting van de langsliggers kunnen zij de onderlinge verschuiving van de betonplaat t.o.v. de langsligger onvoldoende verhinderen.

S4.3.2 *Toetsing krachtsverdeling in verbindingen*

(1) Bij het bepalen van de krachtsverdeling in een verbinding moet rekening worden gehouden met de stijfheidsverhoudingen in die verbinding. Over het algemeen zijn drukpunten in verbindingen stijf, platen in het vlak belast zijn stijf, maar op buiging belaste onderdelen zijn aanzienlijk minder stijf.



Figuur S4.1: Langsligger - dwarsdrager verbinding

Voorbeeld:

In de verbinding volgens figuur S4.1 wordt belast door een inklemningsmoment in de langsligger met trek aan de bovenzijde. Aan de onderzijde van de langsliggerverbinding is een contact punt gecreëerd. De bouten in de verbindingsplaat in de bovenflens worden alleen op normaalkracht en afschuiving belast en is voor deze belasting vrij stijf. De hoeklijn verbinding wordt op buiging belast, en is daardoor veel minder stijf dan de verbindingsplaat in de bovenflens. Voor de normaaltrekkkracht in de verbinding kan de krachtoverdracht via de hoeklijn worden verwaarloosd. De hoeklijn verbinding is wel in staat de dwarskrachten in de verbinding over te brengen. Voor het bepalen van de krachtsverdeling in de verbindingsmiddelen ten gevolge van de normaalkracht en het moment kan dus worden uitgegaan van evenwicht om het drukpunt.

S4.3.3 *Moment om zwakke as in langsligger*

(1) Voor de bepaling van de momenten om de zwakke as in langsliggers moet rekening zijn gehouden met de aanwezige stijfheid van de aansluitende dwarsdragers en het gedrag van de verbindingen tussen langsligger en dwarsdrager.

Opmerking: Bij een boogbrug met hoofdliggers voor het opvangen van de spatkrachten uit de boog ontstaan grote trekkrachten in de hoofdliggers. Dit veroorzaakt een verlenging van de hoofdliggers. Omdat het betonnen dek en de langsliggers ook een deel van deze verlenging moeten ondergaan zullen deze trekkrachten voor een deel worden overgedragen naar de langsliggers onder het betondek, door middel van buigende momenten om de zwakke as van de dwarsdragers. Hierdoor ontstaan secundaire momenten in de aansluiting om de zwakke as van de langsligger.

In de uiterste grenstoestand zullen deze momenten veelal niet aanwezig zijn door plastische vervormingen in de verbindingsmiddelen, afrondingen in dwarsdragers, speling in verbindingen, éézijdige verbindingen (alleen bovenflens momentvast verbonden), enz.. Hiervoor moeten de verbindingen en stijfheden zo nauwkeurig mogelijk gemodelleerd worden.

S4.4 Modelling van specifieke onderdelen

S4.4.1 *Zeeg*

(1) Bij de modellering van bestaande bruggen moet alleen rekening zijn gehouden met eventueel aanwezige zegen en het alignement van het wegdek, indien dit invloed heeft op de krachtsverdeling en stabiliteit van de constructie.

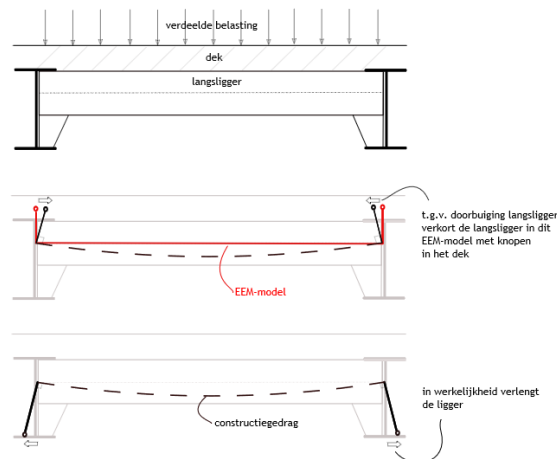
Opmerking: Bij plaatliggerbruggen is de invloed van de zeeg verwaarloosbaar. Bij boogbruggen is de invloed afhankelijk van de verhouding tussen de zeeg en de pijlmaat f van de boog. Bij tuibruggen moet voor de stabiliteit van de pyloon rekening zijn gehouden met de hoogte van de opleggingen en aangrijpingspunten van de tuien ten opzichte van elkaar. Deze wordt beïnvloed door de zeeg.

S4.4.2 *Verbindingen met drukpunten in langsliggers*

(1) Bij de modellering en toetsing van verbindingen in langsliggers aan de dwarsdragers moet rekening zijn gehouden met eventueel aanwezige drukpunten en bijbehorende hefboomsarm in de verbinding.

Toelichting: Bij niet volledig stijve verbindingen in de langsliggers moet rekening zijn gehouden met de plaats van het drukpunt in de verbinding. Dit betekent in het EEM model dat de knoop van het model ter plaatse van het drukpunt moet worden geplaatst.

Bij momentvaste verbindingen in de langsliggers mag zijn aangenomen dat de langsliggers doorgaande liggers zijn. De plaats van het knooppunt is dan niet van wezenlijk belang voor de normaalkrachten in de langsligger. Vaak worden de knopen daarom gemodelleerd in het hart van het dek, model e.

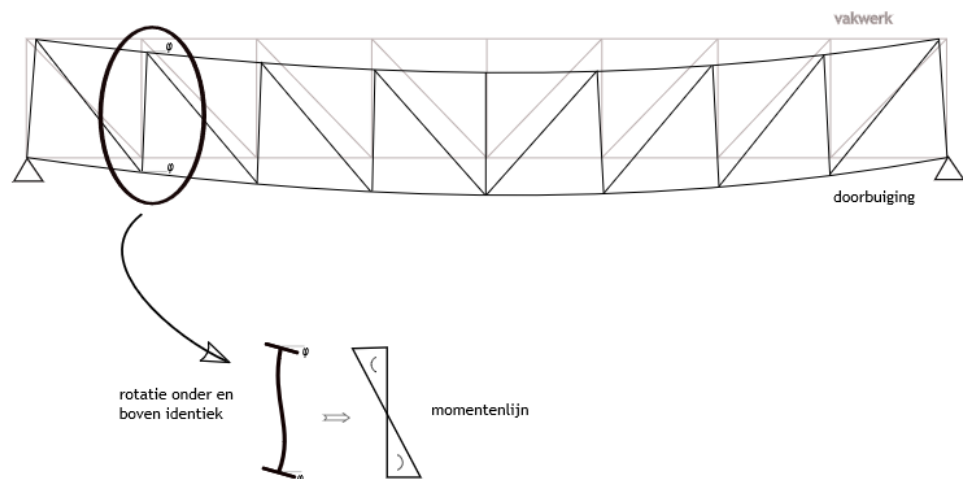


Figuur S4.2: Modelling verbinding langsligger bij dwarsdrager

Indien dit model wordt aangepast naar scharnierende of flexibele stuikverbindingen in de langsliggers, dan ontstaat in het EEM model door het verkorten van de langsligger een extra trekkracht. In werkelijkheid wordt de langsligger langer, doordat het drukpunt aan de onderzijde van de langsligger of console ligt. Hiermee moet rekening worden gehouden.

S4.4.3 Verticale staven en hangers in bogen en vakwerken

(1) Bij bruggen met bogen en vakwerken moet verticale staven in vakwerken, hangers aan bogen en staanders op bogen rekening worden gehouden met het optreden van secundaire momenten. De modellering moet zodanig zijn dat deze secundaire momenten zo nauwkeurig mogelijk worden bepaald.



Figuur S4.3: Secundaire momenten in vakwerkligger

Toelichting: Bij bruggen met bogen en vakwerken ontstaan secundaire momenten in de hangers en verticale staven. Deze worden veroorzaakt doordat de boven- en onderrand van de constructie evenveel doorbuigen en daardoor beide dezelfde rotaties moeten meemaken. De mate van deze rotatie wordt bepaald door de doorbuiging van de hele constructie. Hierdoor wordt in de hanger en staander een opgedrongen rotatie veroorzaakt, die secundaire momenten geeft. Uit metingen is

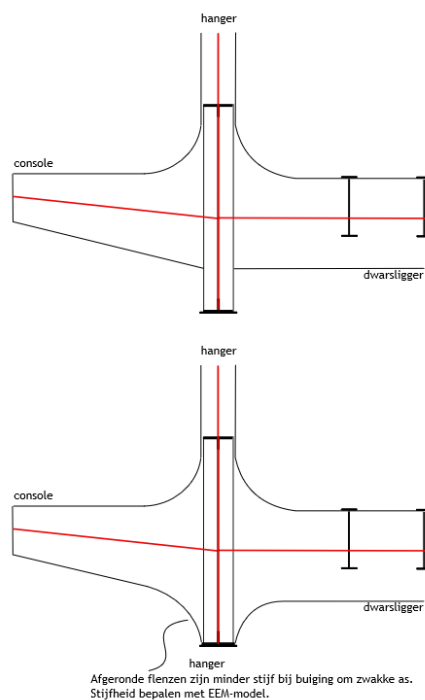
gebleken dat deze secundaire momenten ook daadwerkelijk optreden en goed kunnen worden bepaald met een nauwkeurige modellering.

Voor de modellering betekent dit dat de hangers en verticale staven, zoals hangers en kolommen op bogen, moeten worden gemodelleerd met een model dat de stijfheid van deze staven representeert. De hangers en andere verticale staven tussen de boven- en onderrand moeten voor de stijfheid hiervan zo nauwkeurig mogelijk worden gemodelleerd. Dit betekent dat deze vaak tussen de boven en onderrand worden gemodelleerd. De knopen liggen dus ter plaatse van de flenzen van de boven- en onderrand. Voor de afstand tussen de elementknopen van de boven- en onderrand en de hangers wordt dan een zeer stijf element toegevoegd.

Bij de modellering van een dek moet dit op een zodanige hoogte worden geplaatst dat de stijfheid van de hanger en verticale staven boven bogen zo goed mogelijk wordt gerepresenteerd. Bij een complexe geometrie kan het nodig zijn een specifiek deelmodel te maken om de stijfheid van de verbinding nauwkeurig te bepalen.

S4.4.4 Afrondingen in flenzen van dwarsdragers en consoles

(1) Bij gekromde flenzen van dwarsdragers en liggers moet rekening zijn gehouden met de meewerkende breedte van de flenzen volgens bijlage C van NEN 6786.



Figuur S4.4: Afgeronde flenzen

Toelichting: De flenzen van de dwarsdragers zijn soms met afrondingen aangesloten aan de hanger en staanders. De flens is zowel een onderdeel van de dwarsdrager als de hanger/staander. Door de kromming van de flens zal de flens minder stijf zijn dan een vergelijkbare verbinding zonder afrondingen. Voor deze verbindingen is een gedetailleerd model nodig of moet gerekend worden met een meewerkende breedte om de werkelijke krachtsverdeling en stijfheid van de verbinding te bepalen.

S4.4.5 *Plaatplooien met langs- en dwarsverstijvingen onder een combinatie van buiging en dwarskracht*

(1) Bij eindopleggingen van hoofdliggers in plaatliggerbruggen mag gebruik worden gemaakt van een GMNIA berekening om de draagkracht te bepalen.

Toelichting: Bij opleggingen van hoofdliggers kan de spanningsverdeling in de hoofdligger sterk afwijken van de spanningsverdeling bepaald met een model dat voor de hoofdligger gebruik maakt van balkelementen. Daarnaast zijn er nabij opleggingen vaak lokale verstijvingen aanwezig. Ook de invloed van membraanwerking door aansluitende plaatvelden wordt in de toetsingsregels voor afzonderlijke plaatvelden niet meegenomen. De invloeden hiervan op de draagkracht kan aanzienlijk zijn. Bij (eind)opleggingen van hoofdliggers is het daarom vaak economisch om de draagkracht te berekenen met behulp van een GMNIA model. In dit model kunnen alle (lokale) invloeden op de draagkracht worden meegenomen. De hoofdligger moet hierbij zodanig worden gemodelleerd dat alle instabiliteitsvormen van de hoofdligger goed worden meegenomen.

Opmerking Voor de definitie van een GMNIA model zie 1.3.5.9 in NEN-EN 1993-1-6.

S4.5 **Ontwerp en modellering van de constructie met versterkingen**

S4.5.1 *Spannings- en vervormingen*

(1) Voordat aanpassingen aan een bestaande brug kunnen worden ontworpen moet een analyse worden gemaakt van het gedrag van de constructie in relatie tot de aanpassingen en de bouwfaserings. Bij de analyse moet rekening worden gehouden met de oorzaak van de spanningen en vervormingen. Nadruk hierbij ligt op het bepalen of het afgekeurde deel van de constructie zich belastings- of vervormingsgestuurd gedraagt.

Opmerking: Voor verschillende onderdelen van bruggen worden de spanningen en vervormingen in deze onderdelen bepaald door het globale gedrag van de brug. Dit levert voor deze onderdelen opgedrongen vervormingen op. Voorbeelden hiervan zijn:

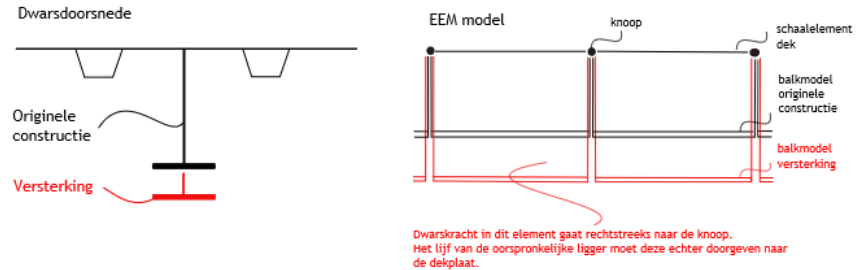
- *korte hangers en staanders bij boogbruggen*
- *uitzettingsverschillen tussen consoles en rijdek*
- *horizontale vervormingen in brugdekken ten gevolge van verschillen in de doorbuiging van de hoofdliggers of bogen.*

(2) Voor constructiedelen die rechtstreeks worden belast (belastingsgestuurd gedrag) zijn versterkingsmaatregelen vaak een geschikte oplossing; voor constructieonderdelen waar de spanningen volgen uit opgedrongen vervormingen, is het aanpassen van het constructieve systeem de meest geschikte oplossing (b.v.: door het creëren van scharnierende verbindingen).

(3) Indien hoofdliggers in aanzienlijke mate moeten worden versterkt, zal de neutrale lijn van de ligger verschuiven. Hierdoor kunnen de spanningswisselingen in het dek ten gevolge van het verkeer groter worden. Dit geeft een bovengrens aan de mate waarin men een hoofdligger aan de onderzijde kan versterken.

S4.5.2 Modelling van versterkingen

(1) Bij de modellering met excentrische balkelementen is het niet toegestaan meerdere excentrische balkelementen tussen gelijke knopen toe te passen.



Figuur S4.4: Niet toegestane modellering van versterkingen

Toelichting: Bij het modelleren van versterkingen ligt het voor de hand deze te modelleren met behulp van extra toegevoegde elementen. Hoofdliggers van plaatliggerbruggen worden bijvoorbeeld vaak gemodelleerd met schaalementen voor het dek en excentrische balkelementen voor het lijf en de onderflens (model b). De versterking van hoofdliggers door bijvoorbeeld additionele platen tegen de onderflens worden dan vaak toegevoegd als extra excentrische balkelementen. Dit geeft een goed model voor de globale krachtsverdeling in de constructies. Voor de berekening van de schuifspanning in het lijf geeft dit model daarvoor niet de juiste krachtsverdeling, omdat een belangrijk deel van de schuifkracht rechtstreeks via de excentrische aansluiting naar het dek wordt overgedragen.

Bijlage S5 - Inventarisatie van de bestaande constructie

S5.1 Inspectie van corrosie

(1) Indien in de projectspecificatie is voorgeschreven, moet de staalconstructie door een specialist nauwkeurig en volledig geïnspecteerd zijn op het optreden van corrosie. De volgende aspecten moeten worden gerapporteerd en dienen dan als basisinformatie voor de beoordeling van de constructie.

De rapportage moet ten minste bestaan uit:

- Per onderdeel een fotorapportage en een algemene beschrijving die een algehele indruk geeft van de aantasting;
- Vermelding van de locaties waar corrosie is geconstateerd, alsmede de omvang en het type corrosie;
- De materiaalafname ten gevolge van (algemene of uniforme) corrosie;
- Afmetingen van corrosieputten;
- Verbindingsmiddelen met corrosieschade zoals bouten of klinknagels;
- Vermelding van schade aan onderdelen met de hoogste unity checks die mogelijk invloed heeft op het draagvermogen van (het onderdeel) van de constructie;

(2) Bij verbindingsmiddelen moet zijn vastgesteld of sprake is van ernstige of beperkte corrosieaantasting. Voorbeelden zijn:

- Wanneer de kop of moer van een bout zodanig is aangetast dat er geen sleutel om past, is er sprake van ernstige schade. Wanneer nauwelijks sprake is van corrosie(-indringing) in de kop of de moer, mag ervan uitgegaan zijn dat ook de steel van het verbindingsmiddel nauwelijks aangetast is.
- Wanneer een klinknagel los zit, dan moet ervan uitgegaan worden dat sprake is van ernstige aantasting door corrosie.

(3) In volledig van de buitenwereld afgesloten (luchtdichte) kokerliggers/ruimten moet een klein gat worden geboord om vast te stellen of water is binnengedrongen door bijvoorbeeld capillaire werking e.d.

Bij vastgestelde lekkage moet de binnenzijde van de kokerligger/ruimte worden geïnspecteerd, waarvoor een inspectiemethode ontwikkeld moet worden.

Bij vaststellen van corrosie moet een herstelmethode ter voorkoming van verdere corrosie worden ontwikkeld. Na afloop van de inspectie en/of de herstelmethode moet het aangebrachte gat blijvend luchtdicht worden afgedicht.

Inspectie op aanwezigheid van water is voor gesloten rijvloerverstijvingen (trogprofielen) of soortgelijke toepassingen alleen vereist als dit in de projectspecificatie is aangegeven.

S5.2 Constructieve inspectie

Opmerking HvdW: uit deze inspectie volgt meerwerk, hoe contractueel te regelen?

De constructieve inspectie is eerste instantie een visuele inspectie van de brug. Bij het constateren van defecten zoals scheuren is het noodzakelijk om die defecten nauwkeurig in beeld te brengen met bijvoorbeeld niet destructief onderzoek. Indien dit noodzakelijk is, moet dit in de projectspecificatie zijn geregeld.

De visuele inspectie omvat ten minste:

- het inmeten van de werkelijke rijbaanindeling, de breedte van de rijstroken en de plaats van de rijstroken op het brugdek. Per rijstrook moet zijn aangegeven of dit een doorgaande resp. in-of uitvoegende resp. vluchtstrook is;
- steekproefsgewijs controleren of de afmetingen van onderdelen overeenkomen met de afmetingen op de ontwerp-, besteks- fabrieks- of as built tekeningen; indien bij de steekproef afwijkingen worden vastgesteld, dan moeten van alle vergelijkbare onderdelen de afmetingen worden gecontroleerd. De gemeten waarden moeten op tekening worden vastgelegd;
- het vaststellen of onderdelen zijn beschadigd. Eventuele schade moet op foto's worden vastgelegd en worden ingemeten;
- de controle op visueel waarneembare scheuren waarbij met name aandacht moet worden besteed aan de overgang van de las naar het moedermateriaal en aan plaatsen waar vanuit de constructieve vormgeving spanningsconcentraties kunnen worden verwacht. Indien scheurvorming wordt waargenomen, moet een uitgebreid NDO op alle soortgelijke verbindingen worden uitgevoerd;
- controle van alle bout- en klinkverbindingen of verschuiving is opgetreden; van geboute en geklonken verbindingen moet worden gecontroleerd of bouten resp. klinknagels los zitten of niet meer aanwezig zijn;
- in op druk belaste onderdelen moet van niet voorgespannen bout- en klinkverbindingen de speling tussen de aangesloten lijf- en flensplaten worden gemeten als dit in de projectspecificatie is voorgeschreven;
- van stuiklassen in onderflenzen moet worden vastgesteld of aan de eisen voor detail categorie 90 resp. 112 volgens tabel 8.3 in NEN-EN 1993-1-8 is voldaan;
- het niet destructief onderzoeken van de lassen van de verstijvingen aan de rijvloer (troggen) als dit in de projectspecificatie is voorgeschreven;
- inspectie van kettinglassen;
- de inspectie van de opleggingen en voegovergangen. Als dit in de projectspecificatie is voorgeschreven moet zowel van de opleggingen als de voegovergangen de stand ten opzichte van de brug en de pijlers resp. landhoofden zodanig worden ingemeten, opdat kan worden bepaald of de aanwezige loopwegen voldoen aan de benodigde loopwegen bij T_{max} resp. T_{min} ;
- het beoordelen of de toegankelijkheid ten behoeve van inspectie en onderhoud. Indien de toegankelijkheid beperkt of niet aanwezig is moet een advies ter verbetering worden opgesteld.

De resultaten van de inspectie moeten in een rapport zodanig worden vastgelegd dat de grootte van een afwijking en de locatie éénduidig is te herleiden naar de brug.

Veel dekken van bestaande bruggen zijn niet (volledig) geconstrueerd volgens deze adviezen. Wanneer dit wordt vastgesteld, moet men extra alert zijn op (het risico van) vermoeiing. Aangenomen moet dan zijn dat niet aan de eisen in de RTD 1001 (ROK) is voldaan.

Bijlage S6 - Uitvoeringseisen

In deze bijlage zijn eisen opgenomen die aanvullend zijn op EN 1090-2 voor werkzaamheden aan bestaande kunstwerken opdat aan de restlevensduur kan worden voldaan. Deze eisen moeten in de contracten voor die werkzaamheden worden opgenomen.

S6.1 Corrosie

(1) In geval van algemene of uniforme corrosie moet de corrosielaag verwijderd worden en de constructie opnieuw geconserveerd. De eisen ten aanzien van het verwijderen van de corrosielaag en de aan te brengen conservering moet in het contract zijn vermeld.

(2) In geval van put-corrosie moeten de putten zodanig weggeslepen worden dat een vloeiende geometrie-overgang ontstaat en moet de constructie (op de beschadigde plaatsen) geconserveerd te worden.

(3) In geval van ernstige corrosieaantasting van verbindingsmiddelen moeten deze verbindingsmiddelen vervangen worden.

Opmerking: Voorbeelden van ernstige corrosie zijn:

- *Wanneer de kop of moer van een bout zodanig is aangetast dat er geen sleutel om past, is er sprake van ernstige schade. Wanneer nauwelijks sprake is van corrosie(-indringing) in de kop of de moer, mag ervan uitgegaan zijn dat ook de steel van het verbindingsmiddel nauwelijks aangetast is.*
- *Wanneer een klinknagel los zit, dan moet ervan uitgegaan worden dat sprake is van ernstige aantasting door corrosie.*

(4) In geval van galvanische corrosie van een verbindingsmiddel, van plaatmateriaal of een profiel bij een verbinding, moet:

- het verbindingsmiddel vervangen worden door een verbindingsmiddel met een kleiner potentiaalverschil met het plaat- of profielmateriaal;
- of een isolatielaag aangebracht worden tussen het verbindingsmiddel en het plaatmateriaal.

Opmerking: Bij een potentiaalverschil, uitgedrukt in 'anodische index', van 0,15 à 0,20 V is geen galvanische corrosie te verwachten.

S6.2 Lasbaarheid

(1) Bij het aanbrengen van versterkingen die door middel van lassen verbonden worden met een bestaande constructie, dient men er rekening mee houden dat sommige oudere staalsoorten niet goed lasbaar zijn.

Opmerking: Het kan voorkomen dat de chemische samenstelling van het materiaal zodanig is, dat het niet lasbaar is.

- (2) Wanneer de bestaande constructie volgens het oorspronkelijke ontwerp gelast is, mag er vanuit worden gegaan dat het materiaal lasbaar is. Rekening moet zijn gehouden met de specificaties en materiaaleigenschappen van de oorspronkelijk toegepaste staalsoort (bijvoorbeeld brosheid).
- (3) Om vast te stellen of lassen, aan een oorspronkelijk niet-gelaste bruggen, is toegelaten moet van alle onderdelen waaraan gelast wordt worden vastgesteld:
- Het CEV. Het CEV kan worden bepaald aan de hand van beschikbare materiaalcertificaten of uit destructief onderzoek.
 - De door-de-dikte-eigenschap van het materiaal, uitgedrukt in de Z-waarde volgens EN 10164 moet zijn bepaald. De Z-waarde behoort te voldoen aan de eisen in EN 10164, EN 1993-1-10 en EN 1993-1-1.
 - De kerfslagwaarde bepaald bij een temperatuur van -20°C . De combinatie van plaatdikte, kerfslagwaarde en ontwerptemperatuur behoort te voldoen aan de eisen in tabel 2.1 van NEN-EN 1993-1-10, kolommen voor $\sigma_{Ed} = 0,75 f_y(t)$.
 - Moet een lasprocedure opgesteld worden die toegespitst is op het lassen van het betreffende materiaal
- (4) Voorverwarmen en / of lassen in verbindingen met klinknagels is niet toegestaan.
- (5) Bij onderbroken hoeklassen (kettinglassen) moeten maatregelen genomen worden ten behoeve van het voorkomen van corrosie.