



## **Boutverbinding Molenroeden**

- 1. Historische ontwikkeling van de roeden**
- 2. Flensconstructie met voorspanbouten**
- 3. Mechanisch gedrag geboute verbinding**
- 4. Aanbrengen van voorspanbouten**
- 5. Kwaliteitsniveau fabricage**
- 6. Mogelijke oorzaak boutbreuk**
- 7. Achterhalen van de oorzaak boutbreuk**

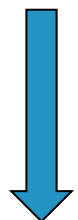
## **Opbouw presentatie**

# Historische ontwikkeling van de roeden

## □ Ontwerp:

- < 1980 Ontwerp op basis van ervaring en overlevering
- > 1980 Ontwerp op basis van normering / numeriek berekeningen

## □ Materiaal:

- 
- < 1870 Hout
  - 1870–1950 IJzer met geklonken verbindingen
  - > 1950 Staal met gelaste/geboute verbindingen

## □ Schaalvergroting:

Deelbare roede thermisch verzinkt

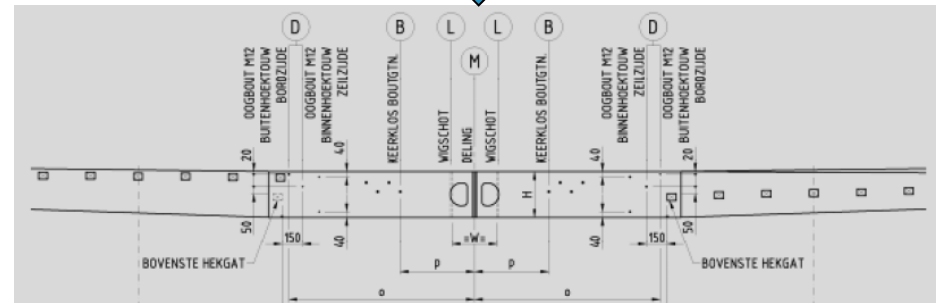


boutverbinding

# Historische ontwikkeling van de roeden



Montagedeling in het midden van de roede



# Flensconstructie met voorspanbouten



## Ontwerp

- Statische sterkte
- Vermoeiingssterkte

## Fabricage/assemblage/montage

- Laswerk
- Voorspannen bouten 10.9

## Conserveren

- Thermisch verzinken



# Flensconstructie met voorspanbouten

Niet uniform  
stijfheidsgedrag  
binnen verbinding



Herverdelings  
capaciteit

Vermoeiings  
belasting



Exacte spanning  
weten

Voorspanbouten  
10.9



Risicovol mbt  
uitvoering

Thermisch  
verzinkt



Achteruitgang  
eigenschappen

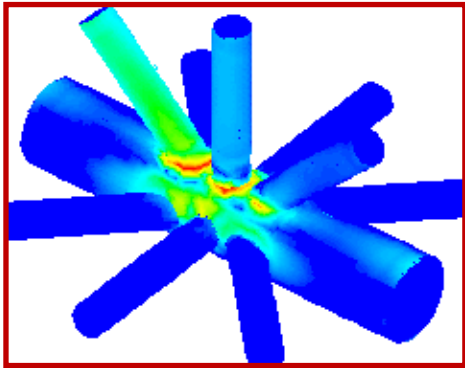
**Optelsom: Oppassen geblazen**



# Flensconstructie met voorspanbouten

Bezwijken agv:

1. Vermoeiing



2. Statische sterkte

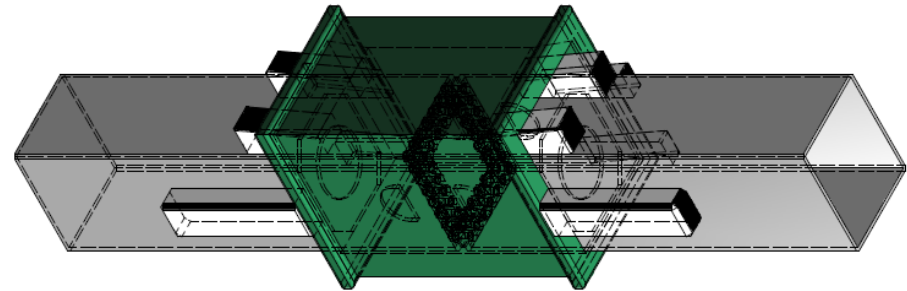
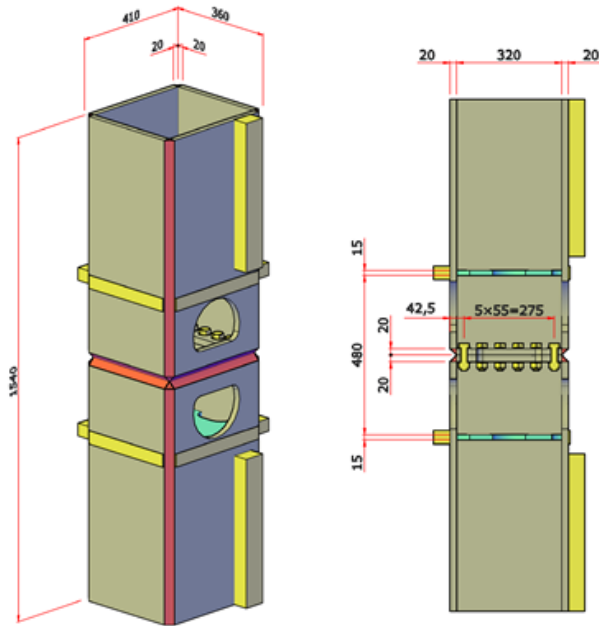


3. Waterstofbrosheid





# Flensconstructie met voorspanbouten



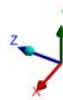
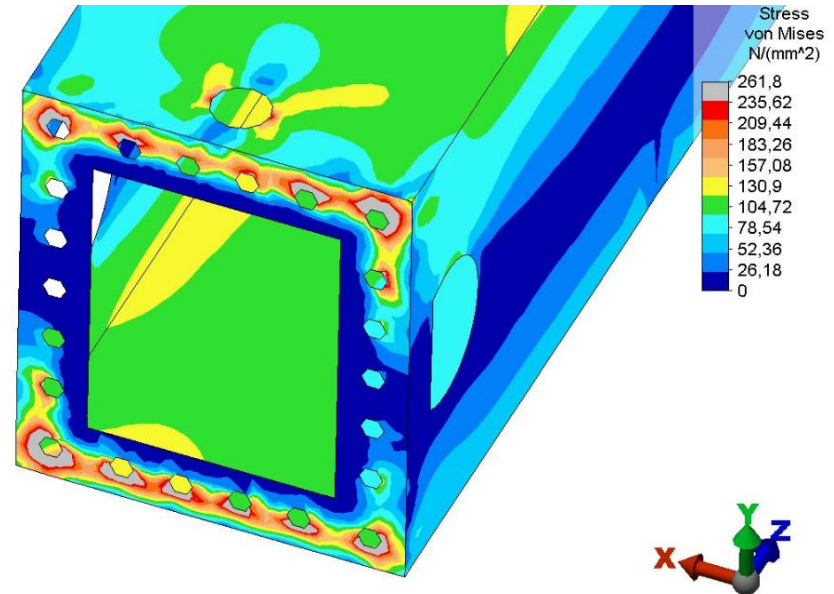
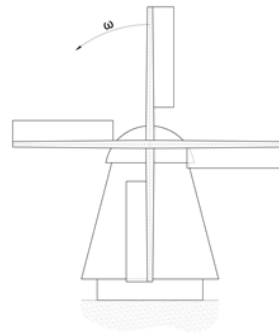
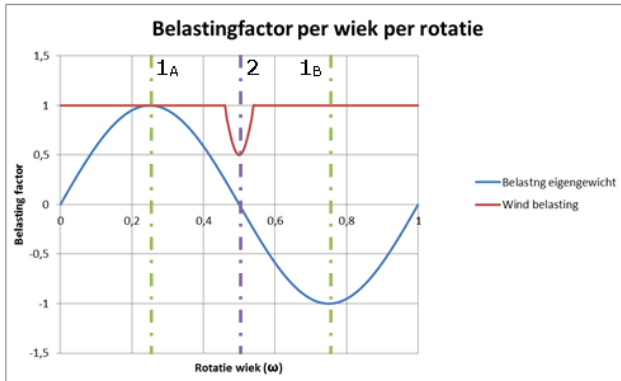
Krachtsafdracht via wrijving (afschuiving) en veranderende contactdruk (trek/druk)

Gunstige werking van houten wiggen is onzeker!

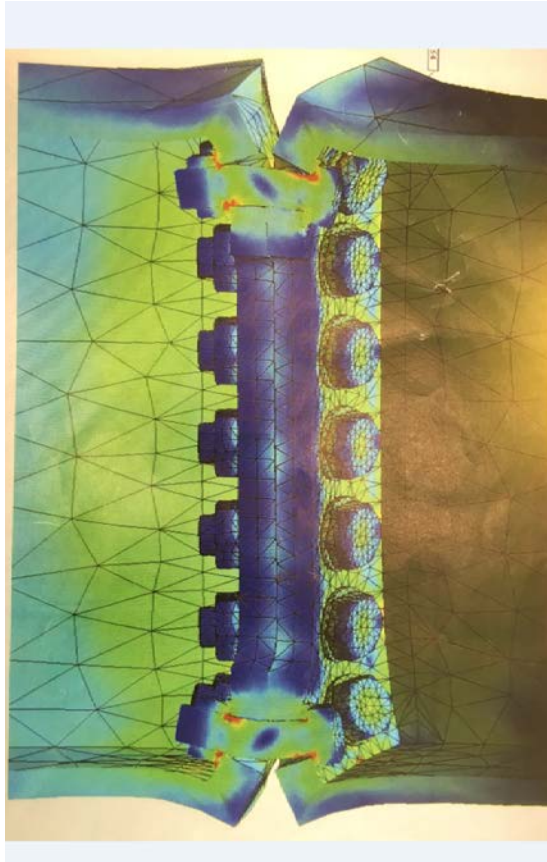




# Mechanisch gedrag geboute verbinding

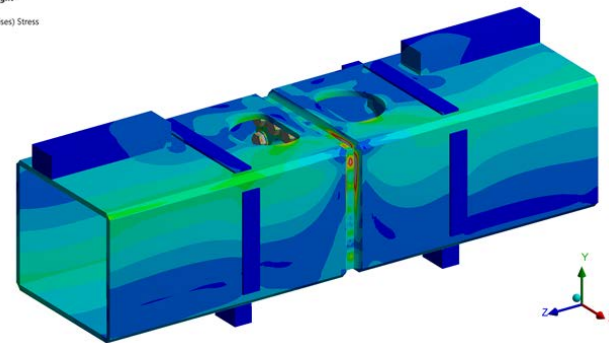


# Mechanisch gedrag geboute verbinding



C: Case 1 - Wind + Weight  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1  
14/09/2016 16:55

600
137.92
125.83
113.75
101.67
89.583
77.5
65.417
53.333
41.25
29.167
17.083
5
0.25



# Mechanisch gedrag geboute verbinding

Sterk niet uniforme stijfheid binnen de verbinding kent de nodige gevaren:

- ❑ Bouten op de hoekpunten veel zwaarder belast
  - Geeft extra spanningconcentraties met kans op vermoeiingsschade
  - Overbelast zijn gezien vanuit statische sterkte
- ❑ Bouten op moment belast door buiging van flensplaat
  - Mag niet want dan geen goed wrijvingsvlak
  - Al snel te hoge spanningswisseling met kans op vermoeiingsschade
- ❑ 10.9 bouten hebben lage rekcapaciteit
  - Bouten niet combineren bij te groot stijfheidsverschil binnen verbinding

# Mechanisch gedrag geboute verbinding

Effect van verhoogde temperatuur op mechanisch eigenschappen

Afname 0,2% rekgrens bij verhoogde temperatuur					
Temperatuur in graden Celcius	+ 20°	+ 100°	+ 200°	+ 250°	+ 300°
Klasse aanduiding	0,2% rekgrens in MPa (N/mm <sup>2</sup> )				
5.6	300	270	230	215	195
8.8	640	590	540	510	480
10.9	940	875	790	745	705
12.9	1100	1020	925	875	825
U130 ≤ M16	1170	1120	1080	1050	1000
U130 > M16	1125	1070	1030	1000	950

Minimum temperatuur voor bovenstaande materialen is -50°C.

De sterkteklassen 4.8, 5.8 en 6.8 (koud vervormd zonder verdere warmtebehandeling) zijn gevoeliger voor spanningsvervorming dan de gehard en ontlaten of spanningsvrij gegloeide bevestigingsartikelen.

Altijd door vertalen naar ontwerp

# Aanbrengen van voorspanbouten

## NEN-EN 1090-2

### 8.5.1 Algemeen

Tenzij anders gespecificeerd moet als de nominale minimale voorspankracht  $F_{p,C}$  worden genomen:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

waarin:

$f_{ub}$  is de nominale treksterkte van het boutmateriaal, en

$A_s$  is de spanningsdoorsnede van de bout

zoals gedefinieerd in EN 1993-1-8 en weergegeven in tabel 19. Dit niveau van voorspanning moet worden gebruikt voor alle schuifvaste voorgespannen verbindingen en alle andere voorgespannen verbindingen tenzij een lager niveau van voorspannen is gespecificeerd. In dit laatste geval moeten ook de boutsets, de aandraaimethode, de aanspanvariabelen en de keuringseisen worden gespecificeerd.

OPMERKING Voorspanning kan worden toegepast voor schuifvastheid, voor aardbevingsbestendige verbindingen, voor weerstand tegen vermoeiing, voor uitvoeringsdoelen, of als kwaliteitsmaatregel (bijvoorbeeld voor duurzaamheid).

Tabel 19 — Waarden van  $F_{p,C}$  in kN

Sterkteklasse	Boutmiddellijn in mm							
	12	16	20	22	24	27	30	36
8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
10.9	59	110	172	212	247	321	393	572



# Aanbrengen van voorspanbouten

NEN-EN 1090-2

Tabel 20 — k-waarden bij aanspanmethoden

Aanspanmethode	k-waarde
Momentmethode	K2
Moment-hoekmethode	K2 of K1
HRC-(wringnek)aandraaimethode	K0 alleen met HRD-moer of K2
Methode met directe trekspanningsaanduiding (DTI)	K2, K1 of K0

## 8.5.2 Referentiewaarden van het aandraaimoment

De voor een nominale minimale voorspanning  $F_{p,C}$  te gebruiken referentiewaarden van het aandraaimoment  $M_{r,i}$ , worden voor elk soort van gebruikte bout-moercombinatie bepaald door een van de volgende opties:

a) waarden gebaseerd op de  $k$ -klasse, verklaard door de leverancier van het verbindingsmiddel, in overeenstemming met de van toepassing zijnde delen van EN 14399:

1)  $M_{r,2} = k_m d F_{p,C}$  met  $k_m$  voor  $k$ -klasse K2;

2)  $M_{r,1} = k_m d F_{p,C}$  met  $k_m$  voor  $k$ -klasse K1;

b) waarden bepaald volgens bijlage H:

1)  $M_{r,test} = M_m$  met  $M_m$  bepaald volgens de procedure van toepassing op de te gebruiken aanspanmethode.



# Aanbrengen van voorspanbouten

NEN-EN 1090-2

**Bijlage H**

(normatief)

[A1] **IJKingsproef voor voorspanbouten onder bouwplaatsomstandigheden**

## H.9 Beproeversrapport

De volgende informatie moet minimaal in het beproevingsrapport zijn opgenomen:

- datum van de proef;
- identificatienummer van de montageserie of de uitgebreide montageserie;
- aantal beproefde sets;
- aanduiding van de verbindingsmiddelen;
- merktekens van bouten, moeren en sluitringen;
- deklaag of afwerking van het oppervlak en de smeringscondities; omschrijving van de veranderingen aan het oppervlak als gevolg van blootstelling op de bouwplaats indien van toepassing;
- klemlengte tijdens de proef;
- details van de beproevingsopstelling en de apparatuur om de trekkracht en het moment te meten;
- opmerkingen betreffende de uitvoering van de proeven (met inbegrip van speciale beproevingsomstandigheden en -methoden, zoals het verdraaien van de boutkop);
- beproevingsresultaten volgens deze bijlage;
- [A1] — specificaties voor de voorspanning van de verbindingsmiddelen die verband houden met de beproefde keuringsserie;
- [A1] — ijkcertificaten voor momentsleutels en geijkte instrumenten voor het meten van de kracht.

Het beproevingsrapport moet zijn getekend en gedateerd.

# Aanbrengen van voorspanbouten

NEN-EN 1090-2

Tekeningnummer: 26.131-00-103 B		Boutgroep (postnummer): pos. 101 / 102 / 103	
Omschrijving boutset	Type	ID	merktekens
Bout M24 x 80	10.9	0040116880996C03	C3
Moer M24 HV	Klasse 10	7077433BA2899	B3 10Z
Ring M24 HV	HV	136129	0 AF
Vereiste voorspanning NEN-EN 1090-2 tabel 19 $F_{DC} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s(N)$ zie werkljst. Op aanwijzing RWS		185 KN	
Deklaag en afwerking van het oppervlak en de smeringcondities (overeenkomstig situatie bouwplaats)		Thermisch verzinkt	
Klemlengte tijdens de proef = Minimale klemlengte volgens werkljst (mm)		45 mm	
ID nummer boutkrachtmeter / certificaat		241612	
Type boutkrachtmeter (maximale onzekerheid in de geijkte boutkrachtmeter ±6%, terugkerende fout ± 3%)		BOLTSAFE CMS M24	
Calibratie datum van boutkrachtmeter (maximaal 1 jaar oud, door erkende keuringsinstantie)		15-03-2016	
ID nummer momentsleutel / certificaat		11600249	
Type momentsleutel (geen slagsleutel, maximale onnauwkeurigheid in de geijkte momentsleutel ± 4%, terugkerende fout ± 1%)		PLARAD MSX Hydraulische moment sleutel	
Type hydraulische unit Toegepaste lengte slang		pomp nr. 1160010 5 meter	
Calibratie datum van momentsleutel / hydraulische unit (maximaal 1 jaar oud)			
UITVOERING VAN DE PROEF			
De uitvoering van deze proef maakt onderdeel uit van het projectspecifieke voorspanprotocol en maakt daarmee onderdeel uit van de projectvoorbereiding. Op basis van de op te stellen werkljsten zal het werk in uitvoering gebracht worden. Indien de proef tijdens de uitvoering, op de bouwplaats herhaald moet worden zal dit altijd gecoördineerd worden door werkvoorbereiding			
De boutsets en vullingen moeten zodanig worden aangebracht dat:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>- De opbouw van de combinatie gelijkwaardig is aan het gebruik in de praktijk;</li> <li>- Een afgeschuinde ring of vulplaat is aangebracht onder de boutkop met de afschuining tegen de boutkop;</li> <li>- Een ring is aangebracht onder de moer, indien de moer bij het aanspannen wordt verdraaid;</li> <li>- De klemlengte, met inbegrip van de vullingen en ring(en), mag na het aandraaien niet minder dan één volle draadgang en niet meer dan 3 draadgangen uit het vlak van de moer steken.</li> </ul>			

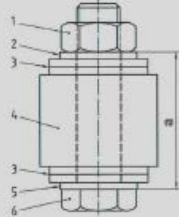
# Aanbrengen van voorspanbouten

## NEN-EN 1090-2

Tabel H.1 — Maximale waarden voor  $e_M$  bij de moment-hoekmethode

Aantal proeven	3	4	5	6
$e_M = (M_{max} - M_{min})/M_m$	0,25	0,30	0,35	0,40

Vereiste voorwaarden beproevingsgereedschap:  
 onzekerheid in de geijkte boutkrachtmeter  $\pm 6\%$ , terugkerende fout  $\pm 3\%$ ,  
 nauwkeurigheid in de geijkte momentsleutel  $\pm 4\%$ , terugkerende fout  $\pm 2\%$

<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Moer</li> <li>2 Sluistring onder moer, indien moer wordt verdraaid tijdens het aanspannen</li> <li>3 Vulling(en)</li> <li>4 Boutkrachtmeter</li> <li>5 Afgeschuinde sluistring of vulling</li> <li>6 Boutkop</li> </ol> <p>a Klemlengte</p>						
<p>Noch het vaste deel noch de sluistring onder het draaiende deel, mag tijdens de beproeving verdraaien.</p>						
<p>Opmerkingen betreffende de uitvoering van de proeven (speciale beproevingsomstandigheden en – methoden, zoals het verdraaien van de boutkop. Maar ook indien van toepassing bijzondere weersomstandigheden, vorst, regen)</p>						
<p>De proef moet worden beëindigd wanneer aan één van de volgende voorwaarden is voldaan:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- de boutkracht overschrijdt <math>1,1 F_{p,c}</math> (10% overschrijding waarde NEN-EN 1090-2 tabel 19)</li> <li>- bezwijken van de bout</li> </ul>						
Test	1	2	3	4	5	6
$F_i$ (kracht)	185 kn	188 kn	204 kn	206 kn		
$M_i$ (moment)	690 nm	690 nm	690 nm	690 nm		
$M_m =$ gemiddelde $M_i$			192,3 kn	195,75 kn		
$e_M = (M_{max} - M_{min})/M_m$			0,098	0,107		
Maximale waarde $e_M$			0,25	0,30	0,35	0,40
Toe te passen M voor uitvoering (moment)						
<p>Opgesteld door: C.Pols                  Datum: 19-12-2016</p> <p>Gecontroleerd door:                  Datum:</p>						

# Kwaliteitsniveau fabricage

NEN-EN 1090-2

NEN-EN 1990

Tabel 25 — Keuring van het aanspannen bij de momentmethode

Uitvoeringsklasse	Bij het begin van het aanspannen	Na aanspannen
EXC2	— Vaststellen van plaatsen van montageseries van bouten	Keuring van de tweede stap van aanspannen
EXC3 en EXC4	— Vaststellen van plaatsen van montageseries van bouten  — Controleren van de boutaanspanprocedure voor elke boutgroep	Keuring van de tweede stap van aanspannen
OPMERKING Voor de definitie van montageseries van bouten, zie EN 14399-1.		

Tabel B1 — Definitie van gevolgklassen

Gevolgklasse CC	Omschrijving	Voorbeelden van gebouwen en civieltechnische werken
CC3	<b>Grote</b> gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of <b>zeer grote</b> economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Tribunes, openbare gebouwen waarbij de gevolgen van het bezwijken groot zijn (bijv. een concertzaal)
CC2	<b>Middelmatige</b> gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, <b>aanzienlijke</b> economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Woon- en kantoorgebouwen, openbare gebouwen waar de gevolgen van bezwijken beperkt zijn (bijv. een kantoorgebouw)
CC1	<b>Geringe</b> gevolgen ten aanzien van het verlies van mensenlevens, of <b>kleine</b> of <b>verwaarloosbare</b> economische gevolgen, sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.	Gebouwen voor de landbouw waar mensen normaal niet verblijven (bijv. opslagschuren, tuinbouwkassen)

Tabel B.3 — Aanbevolen matrix voor de bepaling van de uitvoeringsklassen

Gevolgklasse		CC1		CC2		CC3	
Gebruikscategorieën		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Productie-categorieën	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC3 <sup>a</sup>
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 <sup>a</sup>	EXC4
<sup>a</sup> EXC4 behoort van toepassing te zijn bij speciale constructies of constructies met extreme gevolgen bij constructief bezwijken zoals vereist in nationale regelgeving.							

# Kwaliteitsniveau fabricage

NEN-EN 1090-2

NEN-EN 1990

Tabel B.1 — Voorgestelde criteria voor de gebruikscategorieën

Categorieën	Criteria
SC1	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Constructies en onderdelen ontworpen en berekend voor quasistatische belasting (voorbeeld: gebouwen)</li> <li>— Constructies en onderdelen waarvan de verbindingen zijn ontworpen en berekend voor aardbevingsbelastingen in gebieden met lage aardbevingsactiviteit en in DCL*</li> <li>— Constructies en onderdelen ontworpen en berekend voor vermoeiingsbelastingen door kranen (klasse <math>S_0</math>)**</li> </ul>
SC2	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Constructies en onderdelen ontworpen en berekend voor vermoeiingsbelastingen volgens EN 1993 (voorbeelden: wegverkeers- en spoorwegbruggen, kranen (klasse <math>S_1</math> tot en met <math>S_9</math>)**, constructies gevoelig voor door wind, publiek of draaiende machines veroorzaakte trillingen)</li> <li>— Constructies en onderdelen waarvan de verbindingen zijn ontworpen en berekend voor aardbevingsbelastingen in gebieden met gemiddelde of hoge aardbevingsactiviteit en in DCM* en DCH*</li> </ul>
<p>* DCL, DCM, DCH: ductiliteitsklasse volgens EN 1998-1.            ** Belasting van vermoeiingsbelasting door kranen, zie EN 1991-3 en EN 13001-1.</p>	

Tabel B.2 — Voorgestelde criteria voor de productie categorieën

Categorieën	Criteria
PC1	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Niet-gelaste onderdelen gefabriceerd van producten van alle staalsoorten</li> <li>— Gelaste onderdelen gefabriceerd van producten van staalsoorten onder S355</li> </ul>
PC2	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Gelaste onderdelen gefabriceerd van producten van staalsoorten S355 en hoger</li> <li>— Onderdelen die fundamenteel zijn voor de constructieve samenhang en op de bouwplaats door middel van lassen zijn samengesteld</li> <li>— Onderdelen die met behulp van warmtebehandeling worden gefabriceerd of een warmtebehandeling ondergaan tijdens de fabricage</li> <li>— Onderdelen of vakwerkliggers uit ronde buizen die een profilering aan de uiteinden vereisen</li> </ul>

# Mogelijke oorzaak boutbreuk

Praktijk laat zien vrijwel altijd een combinatie van ..., bijv.:

- Wanproducten op de markt als het gaat om 10.9 bouten  
(vaak worden partijen afgekeurd bij proeftesten)
- Achteruitgang van sterkte eigenschappen door thermisch verzinken
- Onjuist aanbrengen voorspanbouten waardoor spanningswisseling in de bout zelf komt
- Onjuist ontwerp agv onvoldoende rekcapaciteit in relatie tot benodigde herverdeling
- Onjuist doorvertalen van belastingen (wind, dynamica, ...)
- Onjuiste modellering (theoretische spanningswisseling mbt vermoeiing)



# Achterhalen van de oorzaak boutbreuk

Sterke eigenschappen van de bout (spanning – rek diagram)

- Voorafgaand thermisch verzinken
- Na thermisch verzinken

Metallurgisch onderzoek breukvlak

- Brosse breuk
- Statisch (plastisch) bezwijken
- Bezwijken op vermoeiing
- Aantasting door corrosie