

Marchel Kaspers



**ONDERZOEK NAAR DE TECHNISCHE
OORZAKEN VAN HET GEDEELTELIJK
BEZWIJKEN VAN DE DAKCONSTRUCTIE VAN
HET AFAS STADION TE ALKMAAR**

1



De Groot LPMW Lasinstituut

Het Lasinstituut is een van de grootste lasopleidingscentra van Nederland.

We bieden alle standaard NIL lasopleidingen, certificeringen en kaderopleidingen op elk gewenst niveau, overdag en in de avonden . Ook voor gespecialiseerde maatwerktrainingen.

Vestiging Middelburg
Arnesteinweg 63,
4338 PD Middelburg

Vestiging Breda (Hoofdkantoor)
Weidehek 24
4824 AS Breda

TCR Rotterdam
RDM-kade 59
3089 JR Rotterdam

Locatie Utrecht
Riga 3
2993 LW Barendrecht

Vestiging Sliedrecht
Industrieweg 47a
3361HJ Sliedrecht

Vestiging Barendrecht
Riga 3, 2993 LW
Barendrecht



IPS lastechniek
Deckersgoedweg 2
5975 RR Sevenum



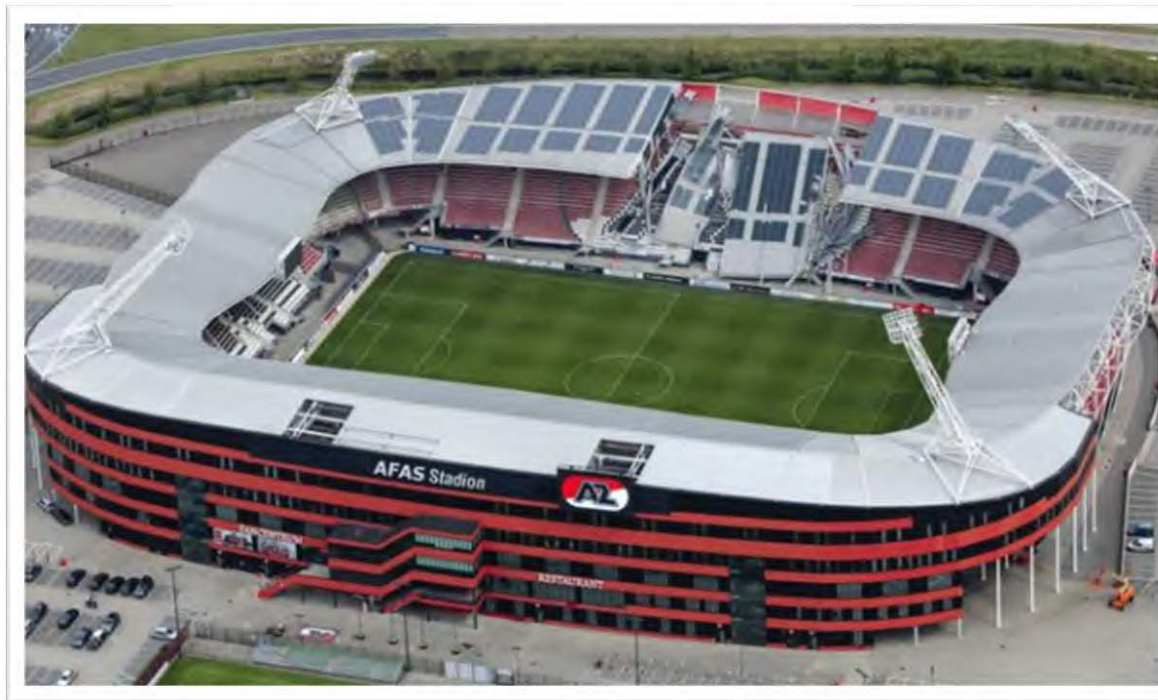


**De Groot LPMW Lasinstituut heeft zitting in de
NEN normcommissie 341008 (Lassen)**



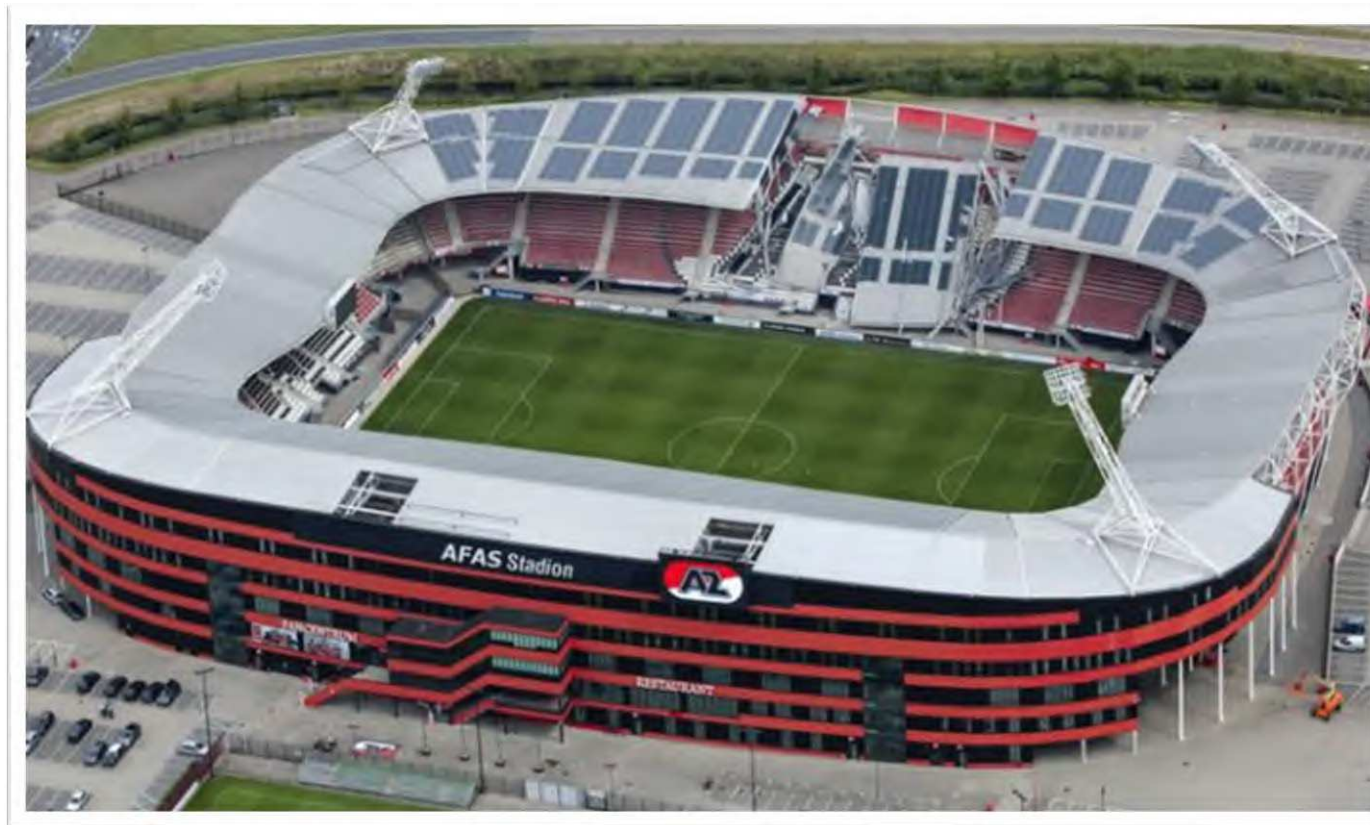
**ONDERZOEK NAAR DE TECHNISCHE
OORZAKEN VAN HET GEDEELTELIJK
BEZWIJKEN VAN DE DAKCONSTRUCTIE VAN
HET AFAS STADION TE ALKMAAR**



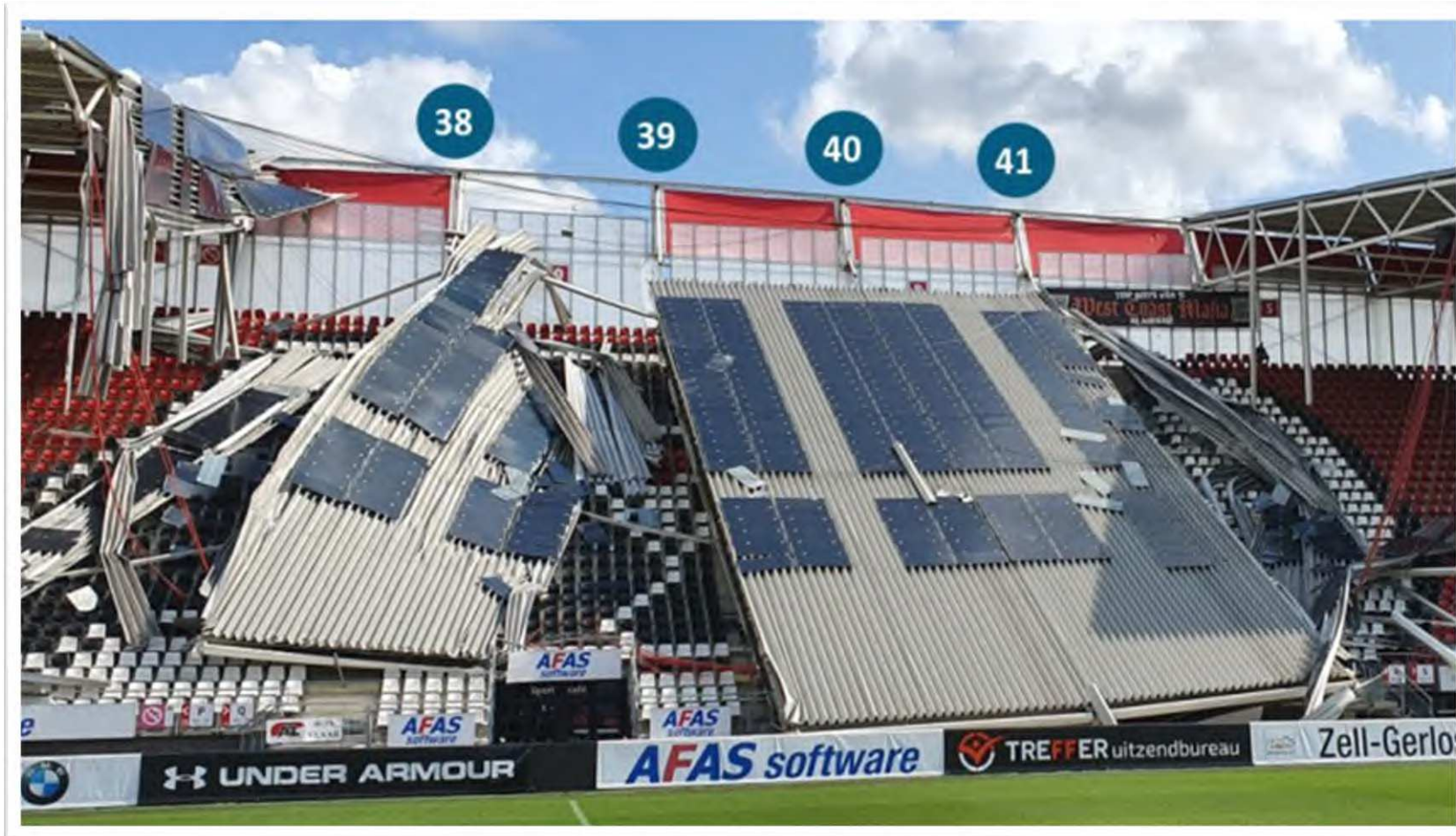


Op 10 augustus 2019 stortte het stadionsdak boven de Molenaartribune gedeeltelijk in van het AFAS Stadion .

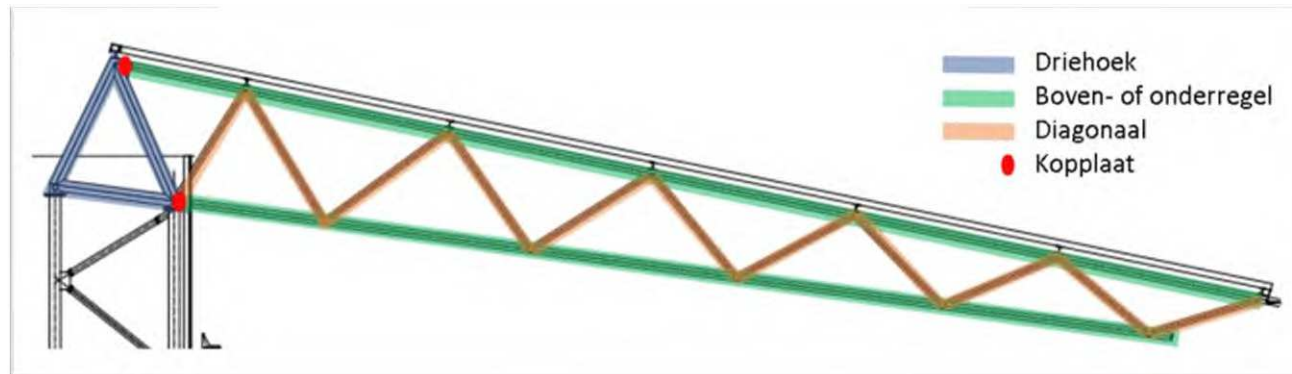
Dit gebeurde bij harde tot stormachtige wind met een windkracht 8 Bft,



In 2006 werkte men nog niet met de eisen volgens EN 1090-2 Toen het stadion werd bebouwd wat het bouwbesluit van toepassing



Schade na de instorting inclusief de nummers van stramienlijnen

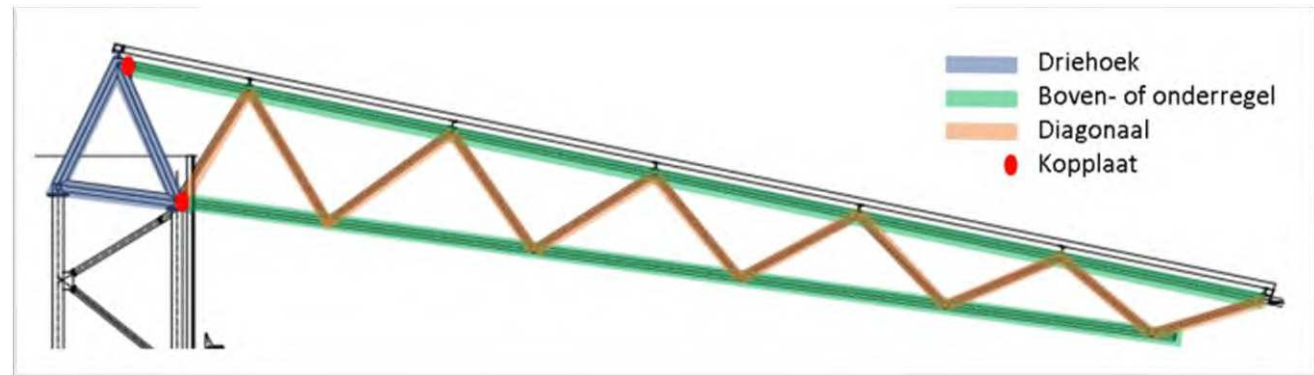
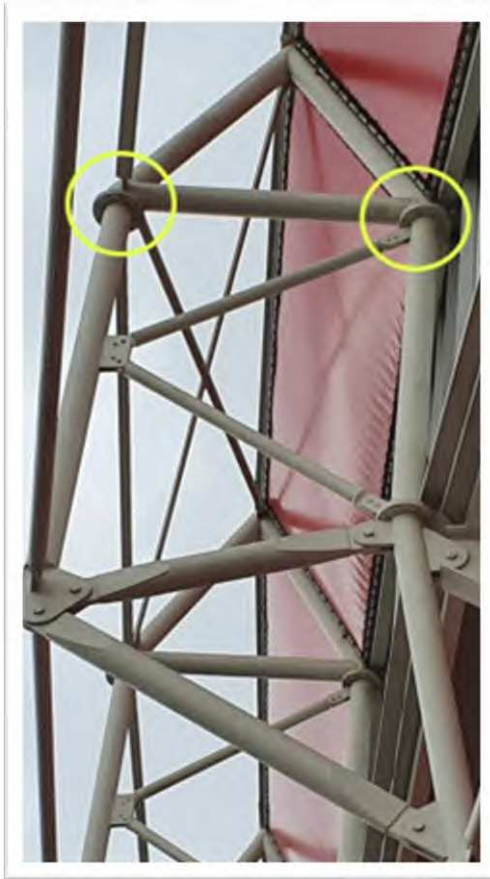


De vakwerkligger bestaat uit een boven- en onderregel met daartussen diagonalen en een driehoek die de krachtsoverdracht verzorgt naar de vakwerkkolom.

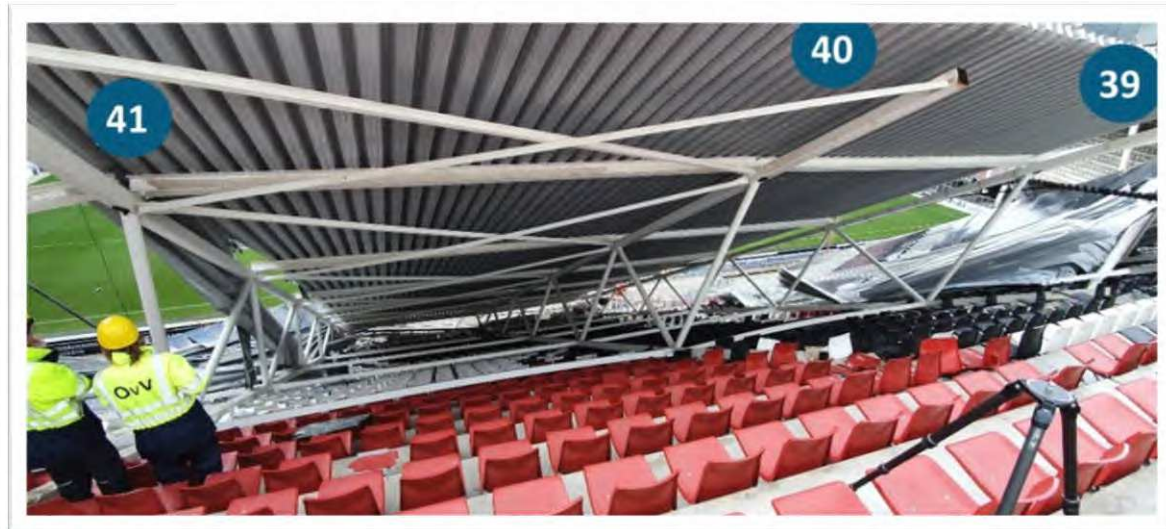
De driehoek bestaat uit ronde buisprofielen net als de diagonalen.

De boven- en onderregel bestaan uit vierkante kokerprofielen.

De aansluiting tussen de driehoek en de boven- en onderregel is gerealiseerd met een kopplaat, een schetsplaat en één of meerdere verstijver. Alle verbindingen in de vakwerkligger zijn gelast.

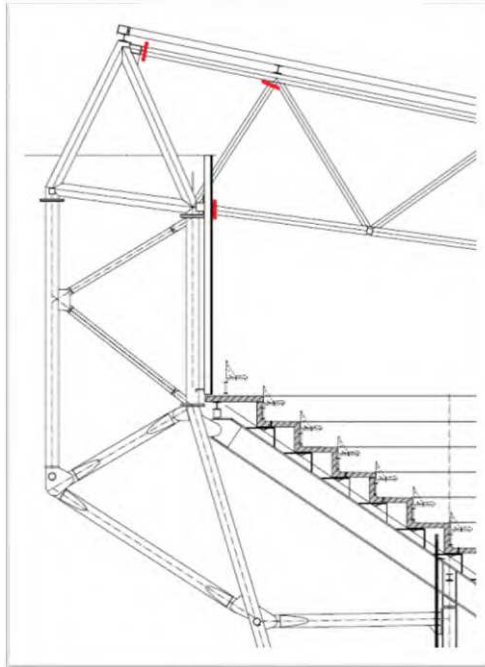


Boutverbinding die de vakwerkligger verbindt met de vakwerkkolom. Foto genomen vanaf buitenzijde stadion.



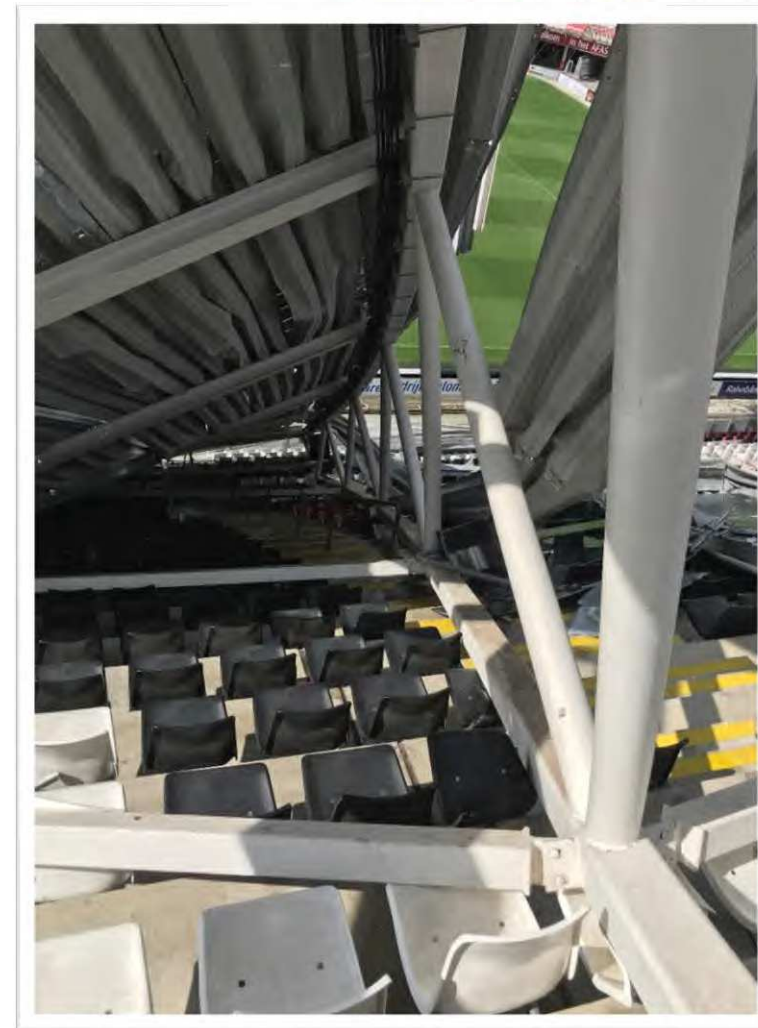
Vakwerkliggers 39 t/m 41 gezien vanaf de bovenzijde van de tribune

Vakwerkliggers 39 en 41 zijn vrijwel intact



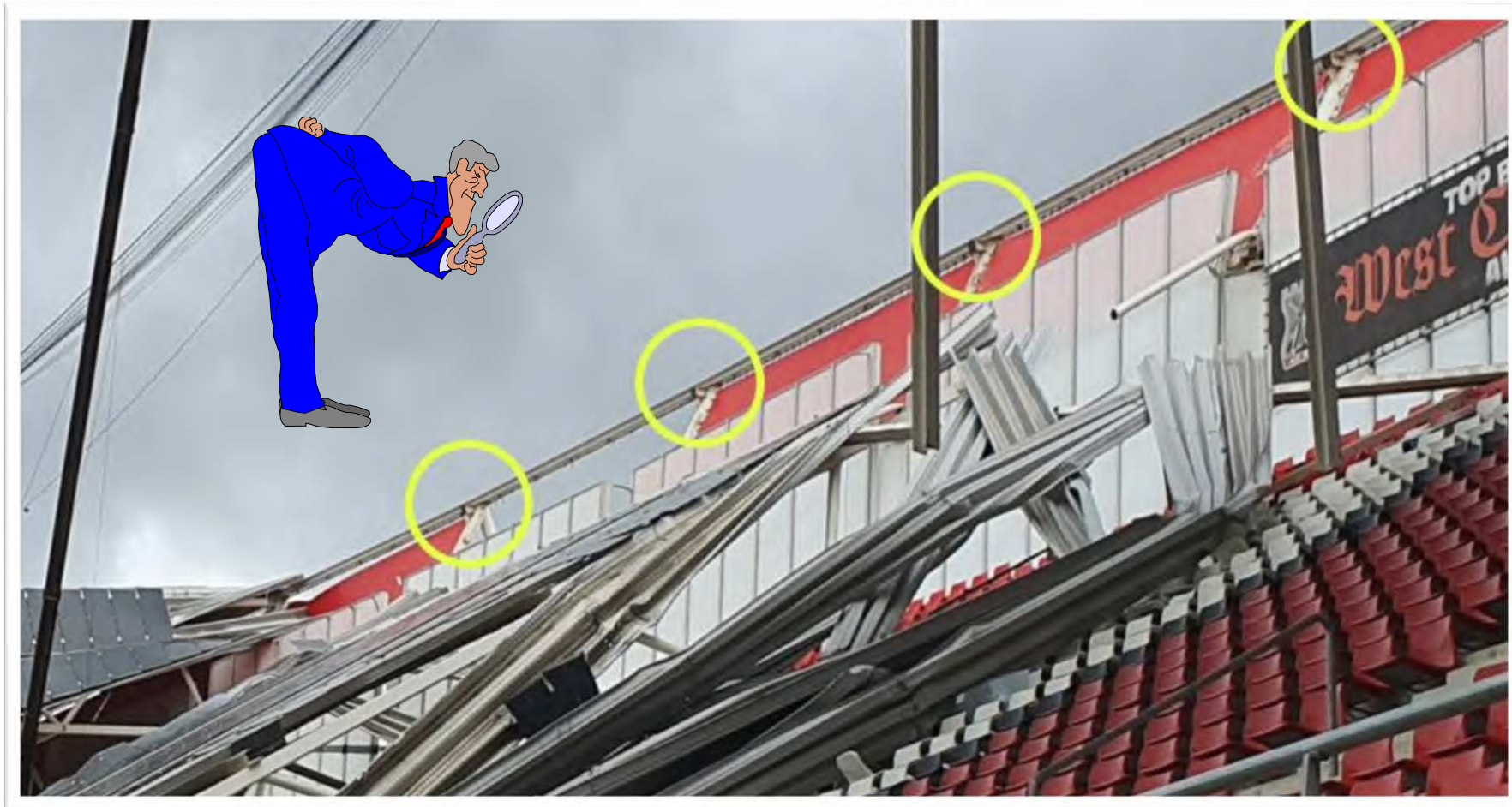
Positie van breukvlakken in de vakwerkliggers

Bij alle vier de ingestorte vakwerkliggers zijn op dezelfde posities **breukvlakken aangetroffen**. Breukvlakken zijn aangetroffen bij de aansluiting van de boven- en onderregels op de kopplaten en bij de aansluiting van bepaalde diagonalen op de bovenregels.



Vervorming uit het vlak van vakwerkligger 38

Breukvlakken in de vakwerkliggers



Breukvlakken in de vakwerkliggers bij aansluiting van de bovenregels op de kopplaten



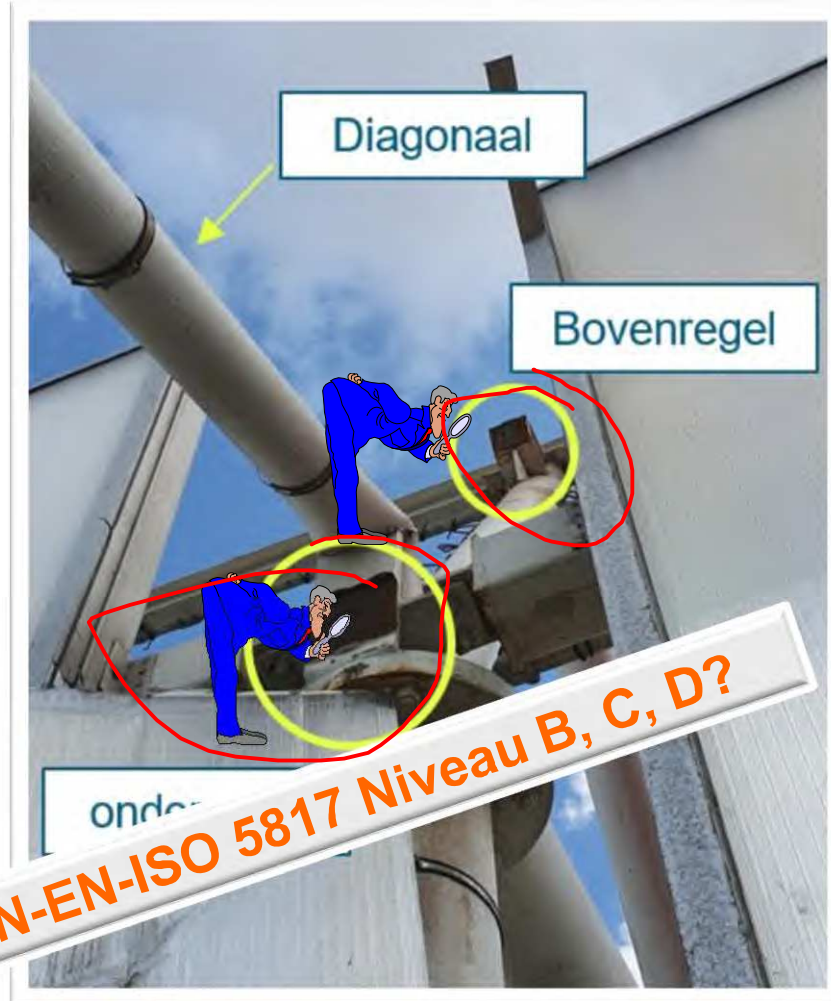
Breukvlakken in de vakwerkliggers



**Breukvlakken bij de aansluiting van diagonalen op de bovenregels
(de diagonalen zijn bij de instorting naar beneden gebogen)**



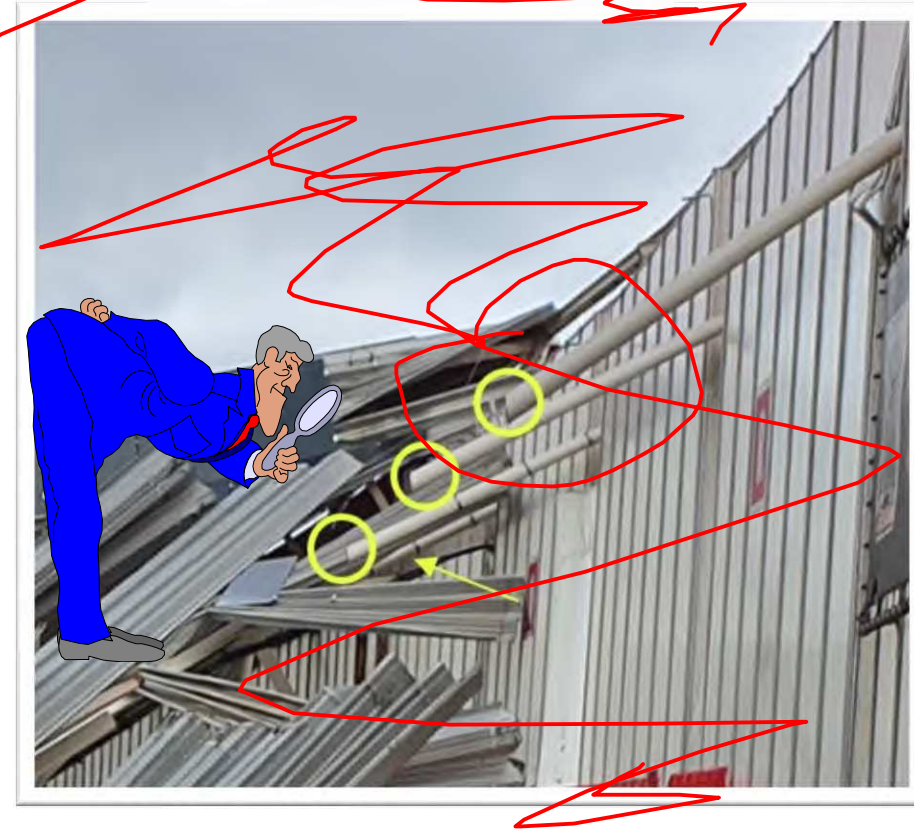
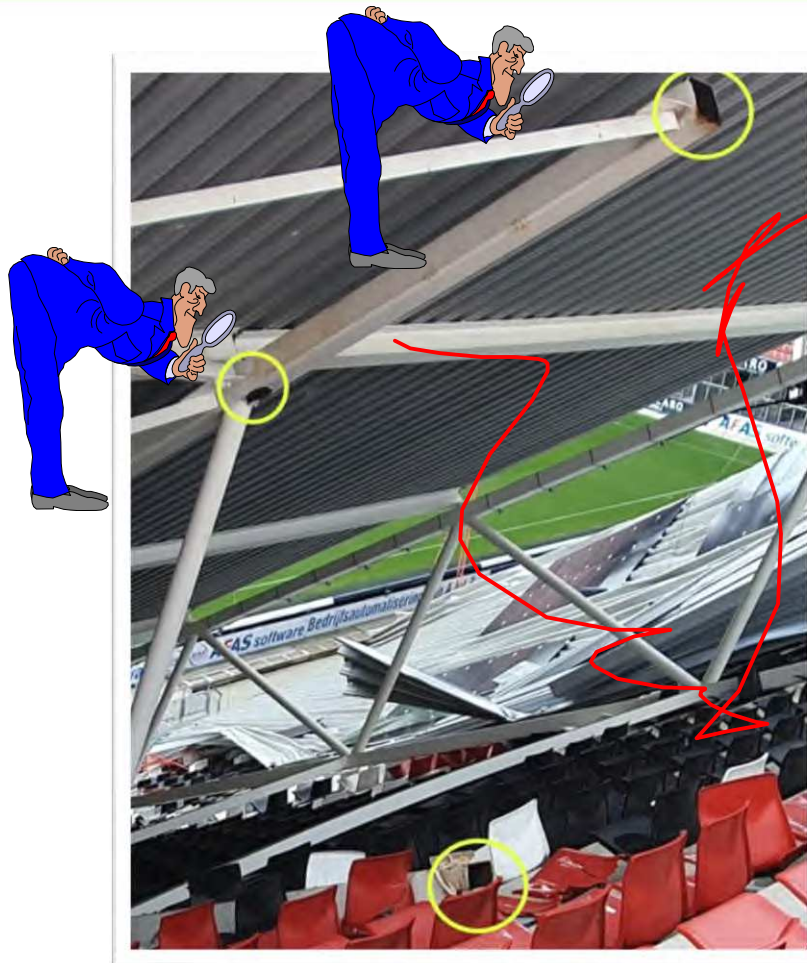
Breukvlakken



Breukvlakken bij de aansluiting van de boven- en onderregel op de kopplaten bij vakwerkligger 39



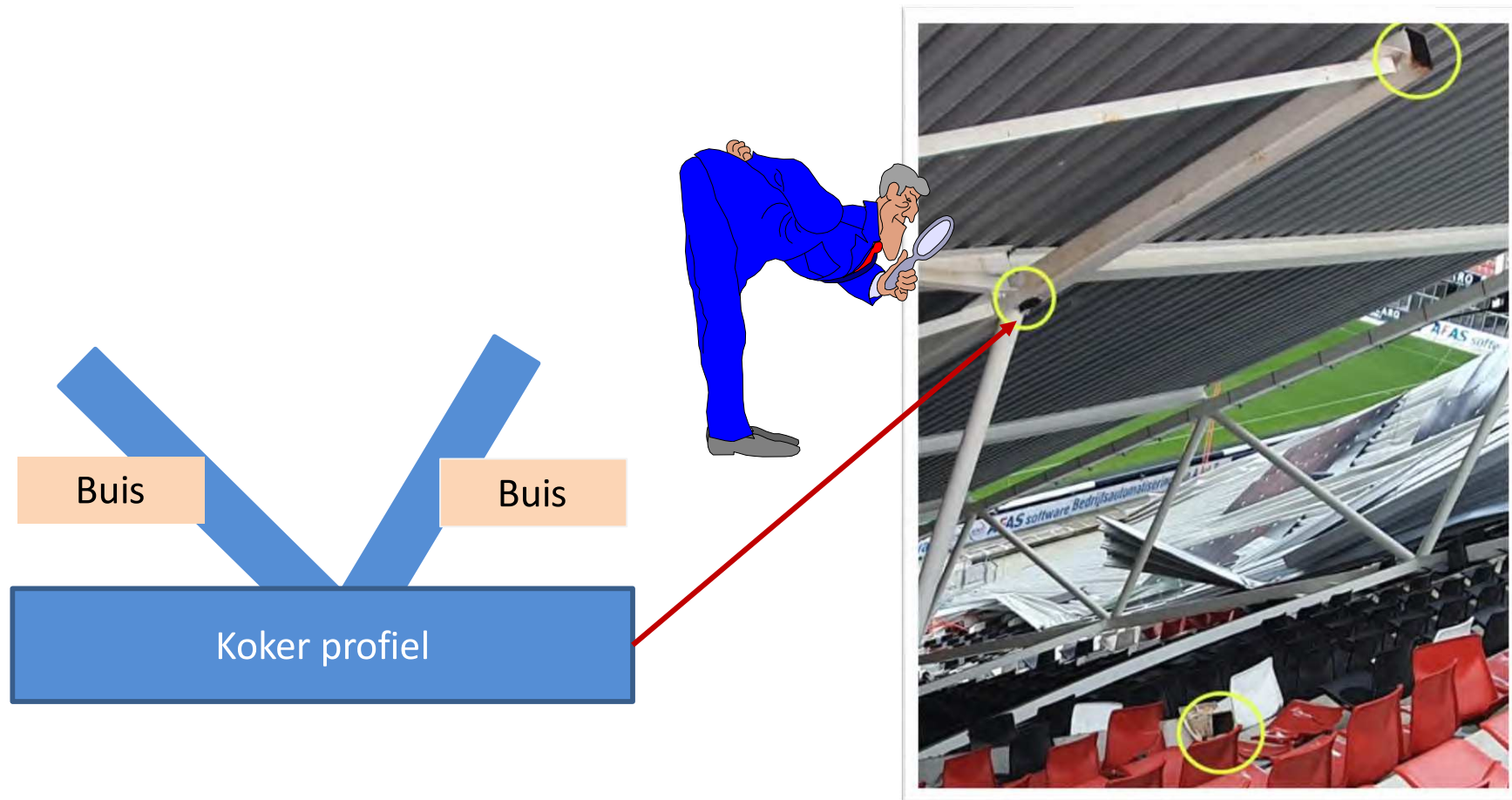
Breukvlakken in de vakwerkliggers



**Breukvlakken bij de aansluiting van diagonalen op de bovenregels
(de diagonalen zijn bij de instorting naar beneden gebogen)**



Breukvlakken in de vakwerkliggers



**Breukvlakken bij de aansluiting van diagonalen op de bovenregels
(de diagonalen zijn bij de instorting naar beneden gebogen)**



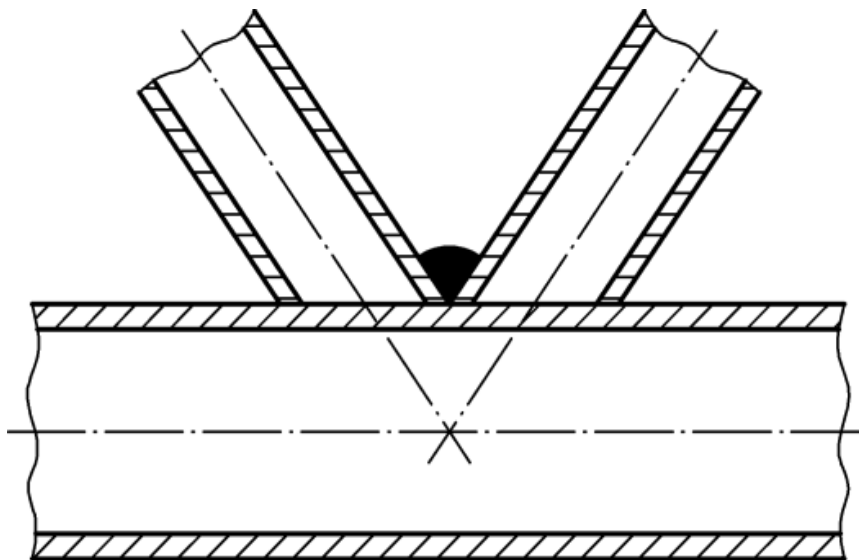
EN-1090-2:2018 Punt E4

Samenbouwen voor het lassen

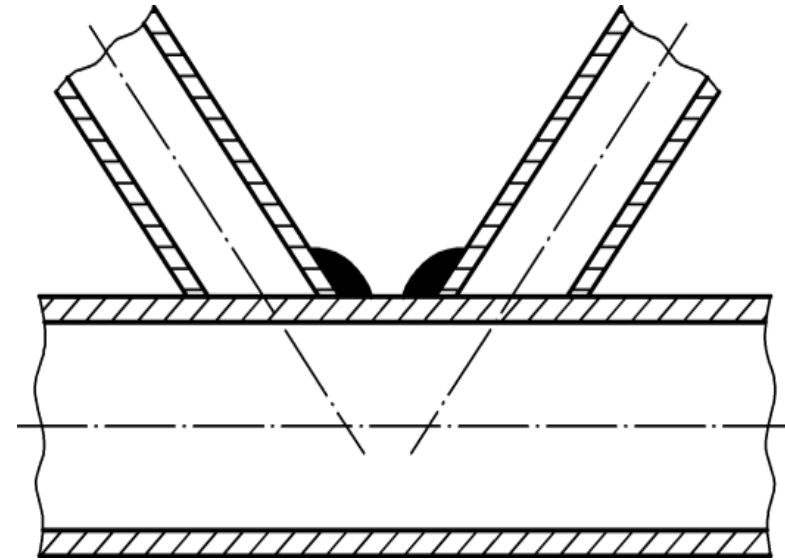


DE GROOT LPMW
LASINSTITUUT
OPLEIDEN | ONTWIKKELEN | CERTIFICEREN

Even terug naar EN-1090-2:2018



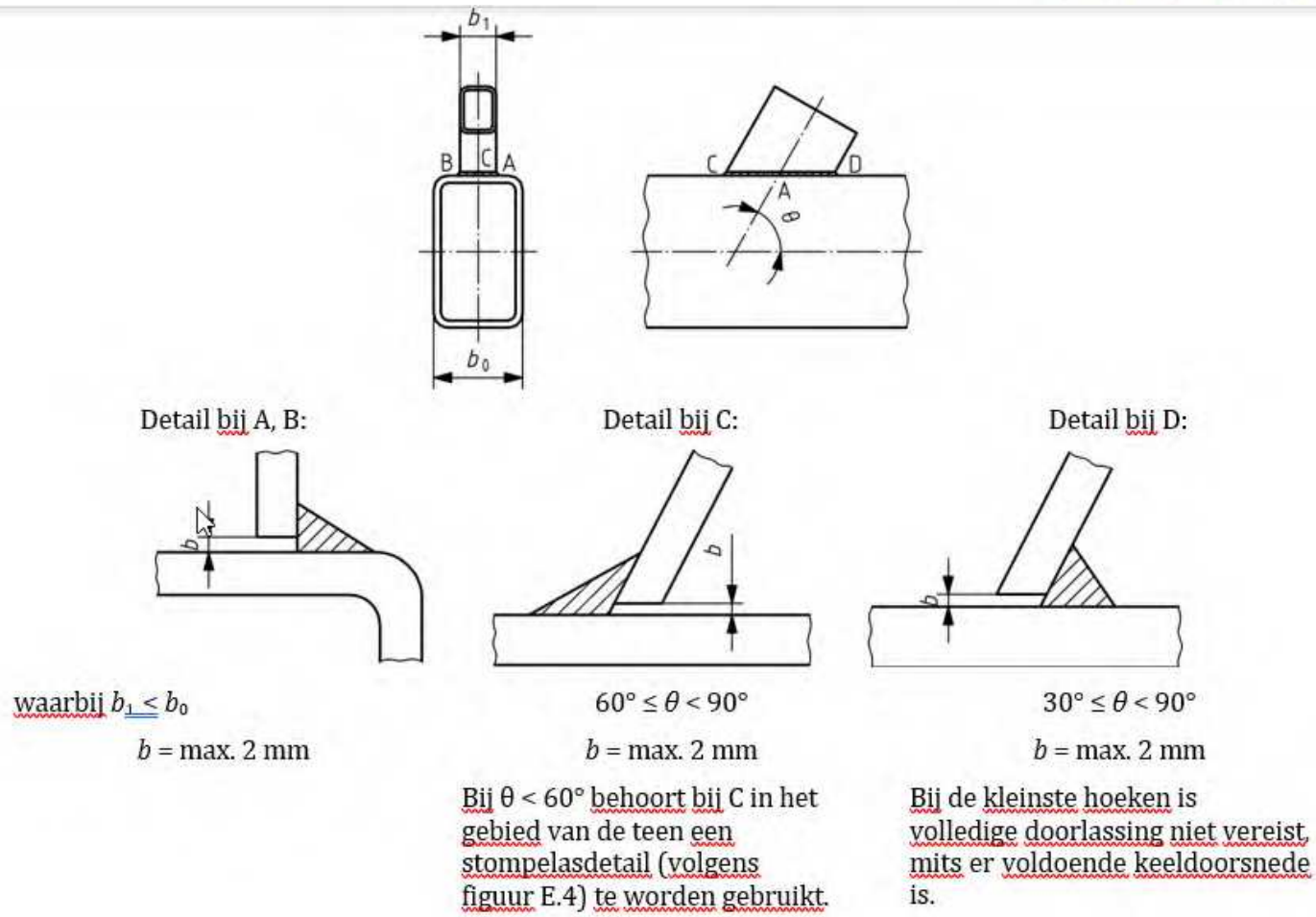
Vrijliggende onderdelen maar
overlappende lassen
**DETAIL DAT BEHOORT TE WORDEN
VERMEDEN**



Vrijliggende onderdelen
Niet-overlappende lassen
VOORKEURSDetail

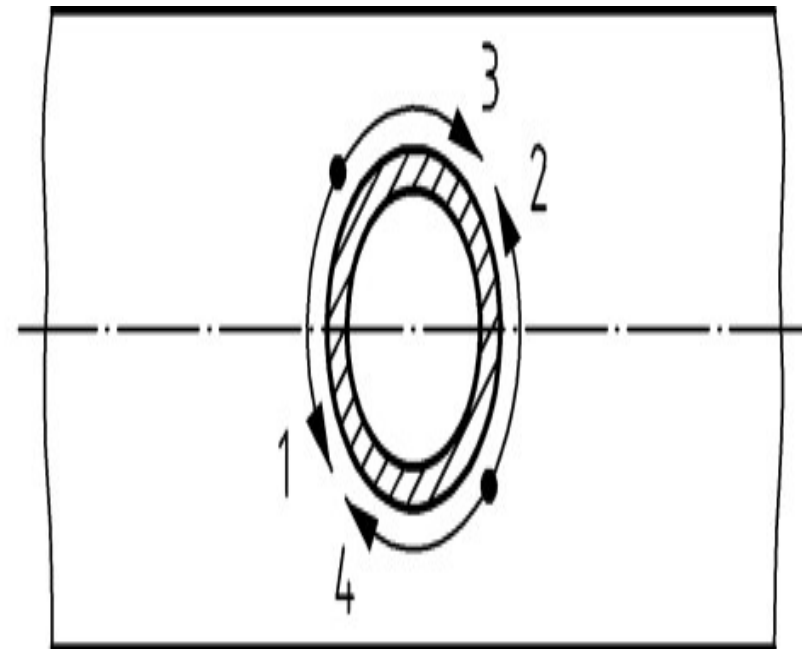
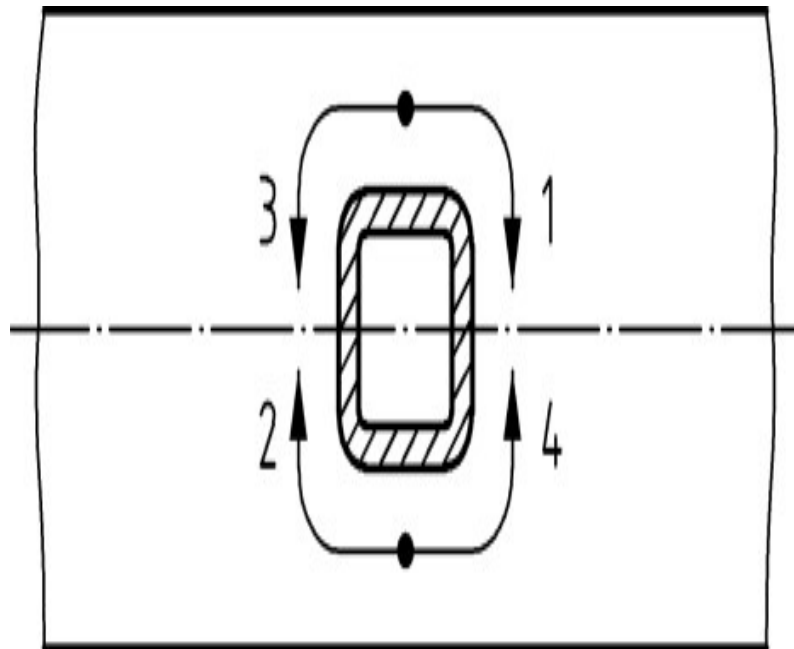


Gelaste knooppunten in buisconstructies



EN 1090-2 Figuur E.5 — Lasnaadvoorbewerking en samenbouwen –
Hoeklassen in verbindingen tussen verband- en randstaven van vierkante en rechthoekige buizen



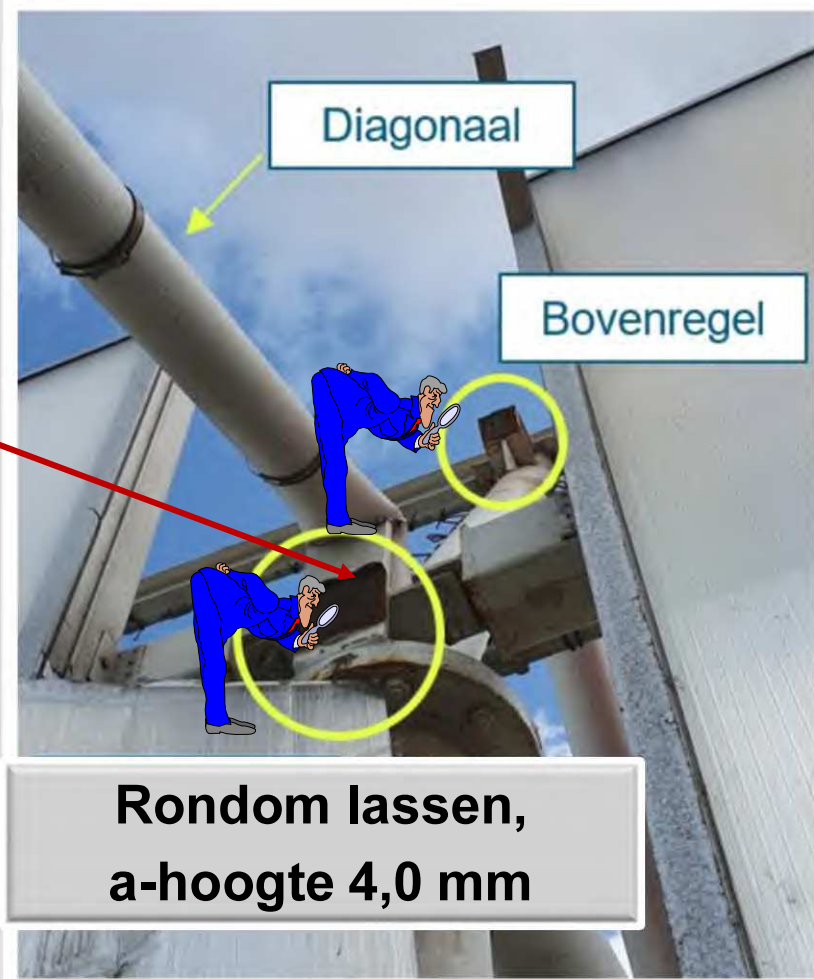


Start-stopposities en lasvolgorde

Breukvlakken



Random lassen, a-hoogte 4,0 mm

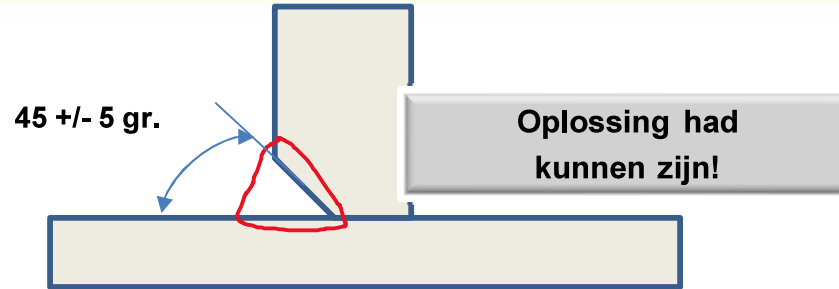


Random lassen,
a-hoogte 4,0 mm

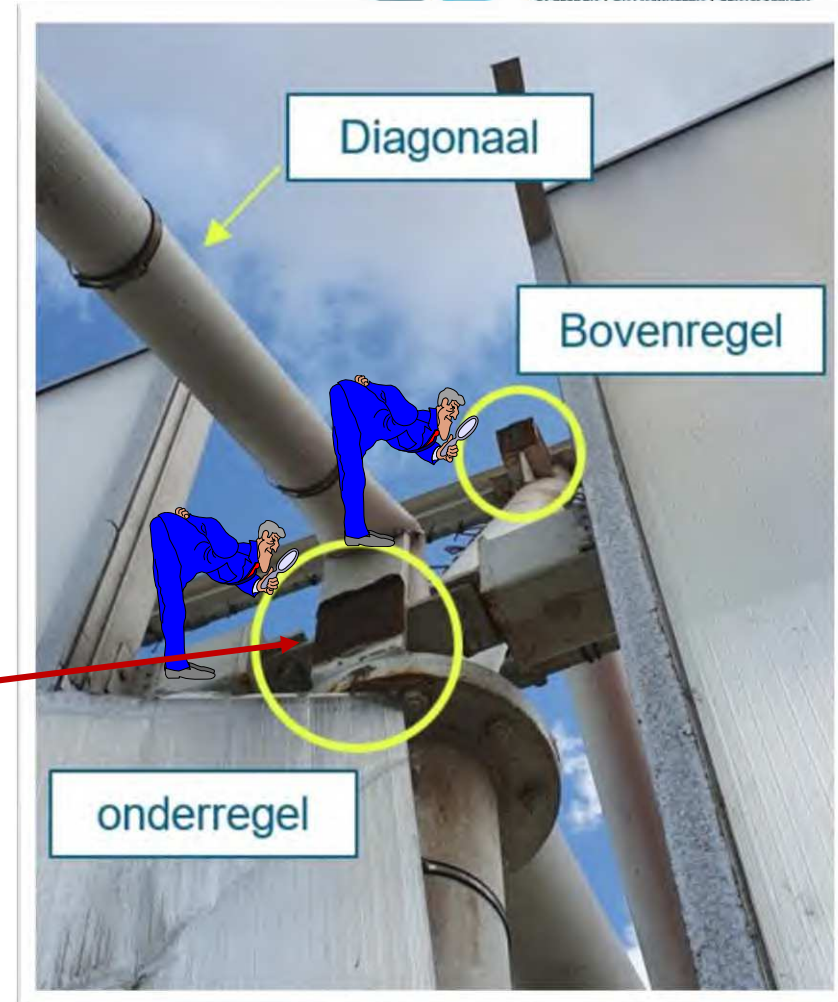
Breukvlakken bij de aansluiting van de boven- en onderregel op de kopplaten bij vakwerkligger 39



Breukvlakken



Random lassen, a-hoogte 4,0 mm



Breukvlakken bij de aansluiting van de boven- en onderregel op de kopplaten bij vakwerkligger 39



Vakwerkligger 39



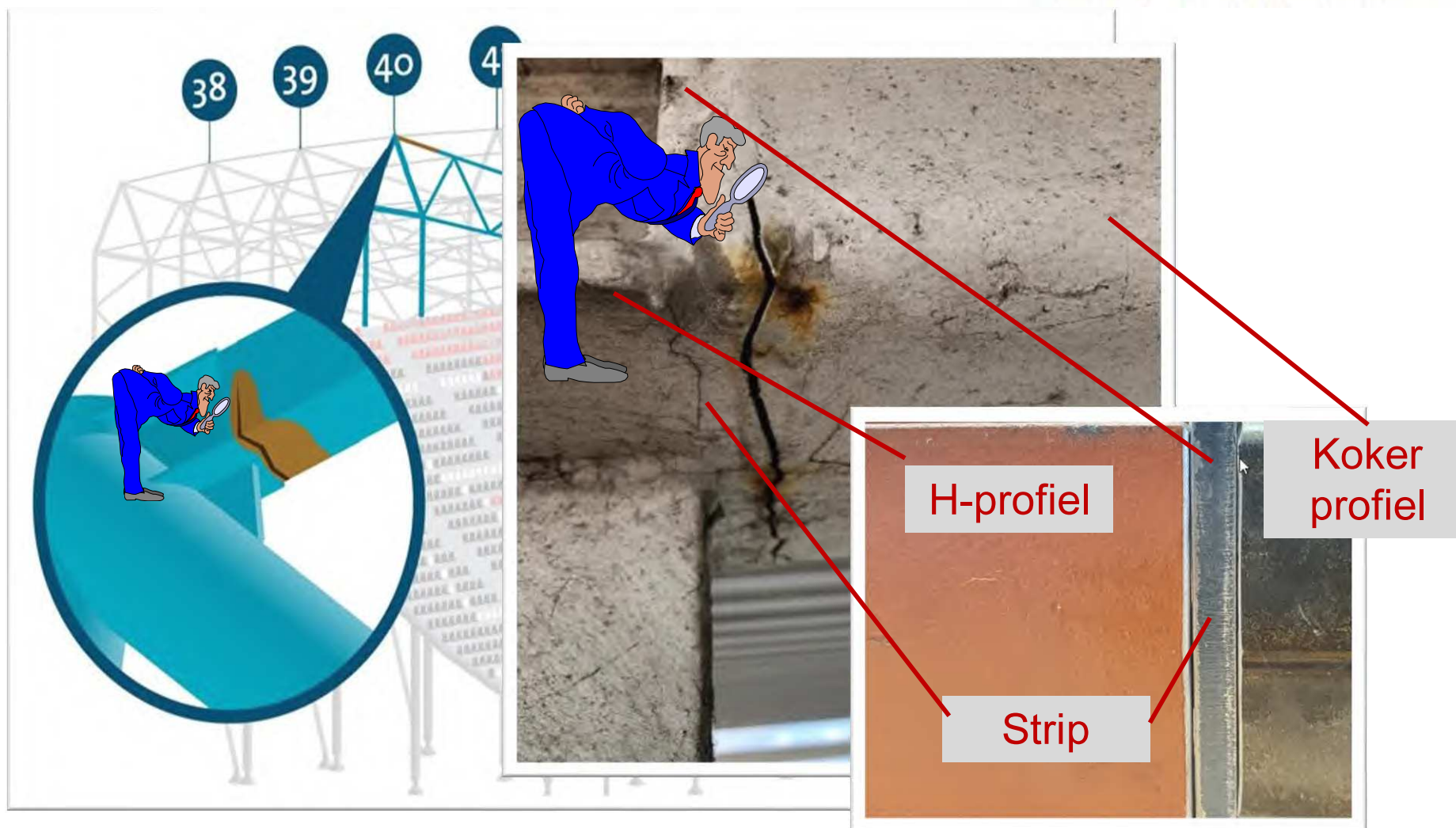
NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



**corrosie aan de binnenzijde van de onderregel van vakwerkligger 39,
rechts: corrosie bij de kopplaat van de onderregel van vakwerkligger 41**



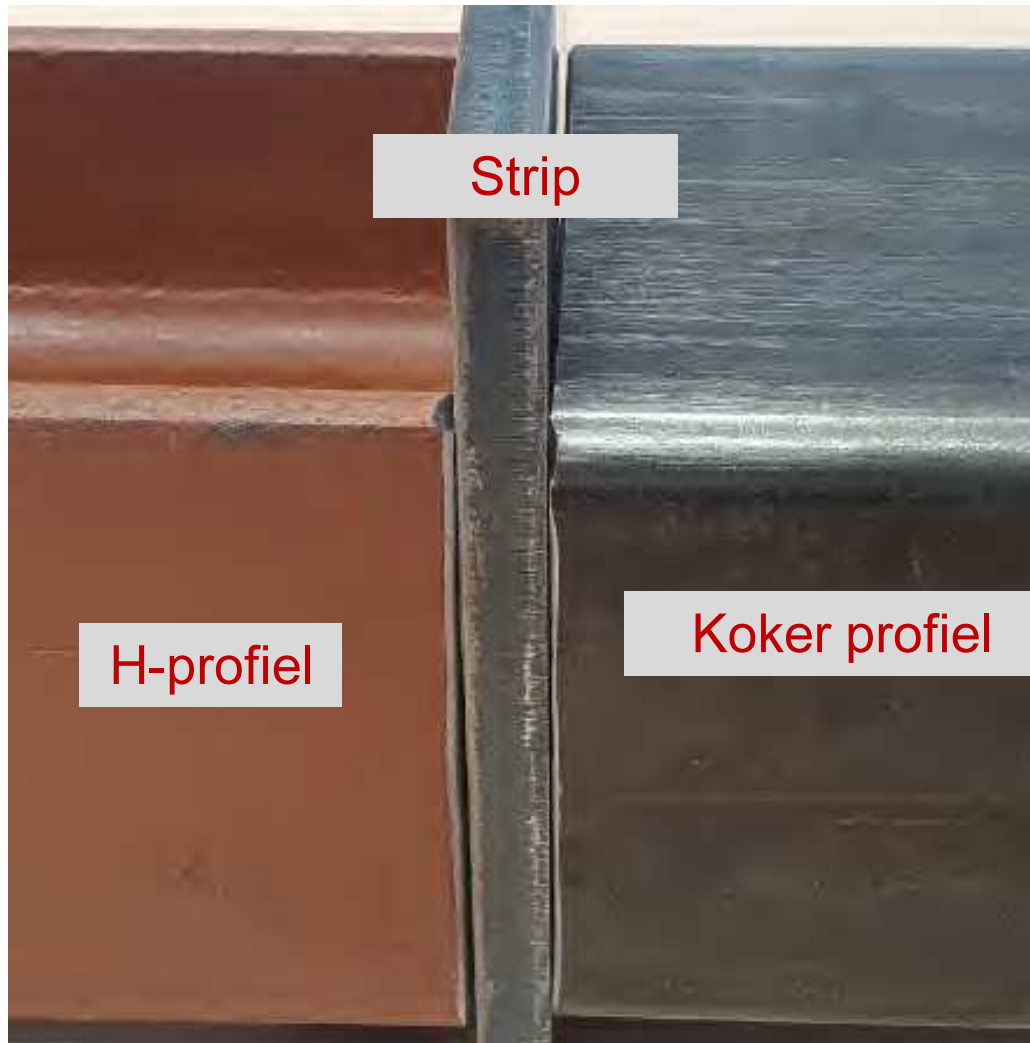
Vakwerkligger 40



Impressie van de scheur in de bovenverbinding van vakwerkligger 40



Vakwerkligger 40

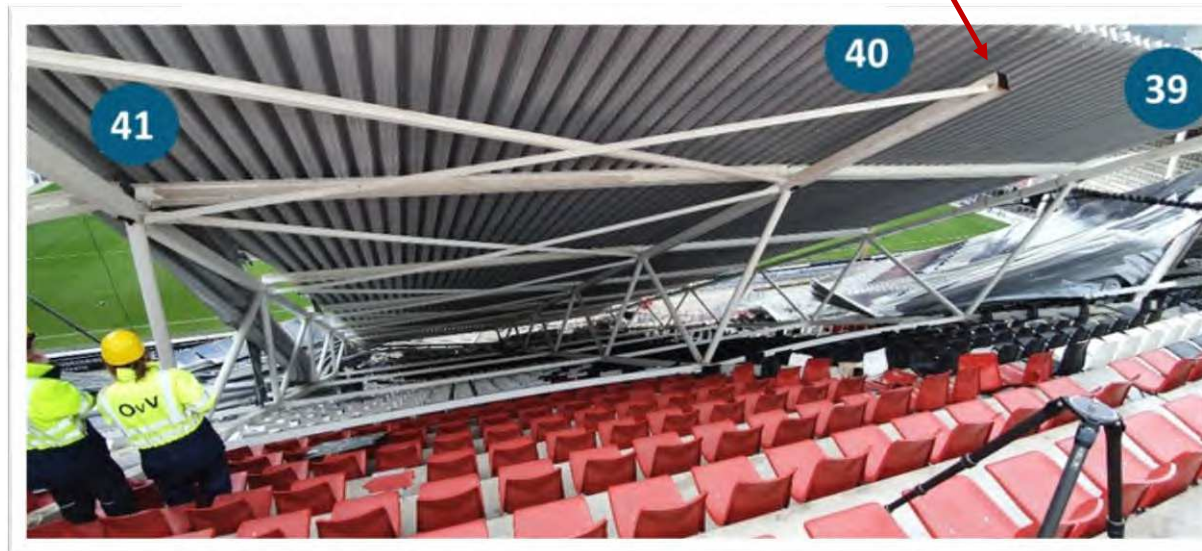
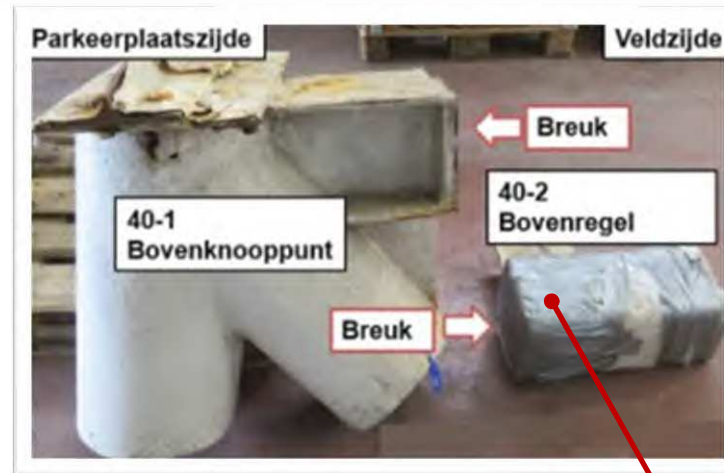


- Scheur in las
- 43 – 1/2 – C

Impressie bovenverbinding van vakwerkligger 40



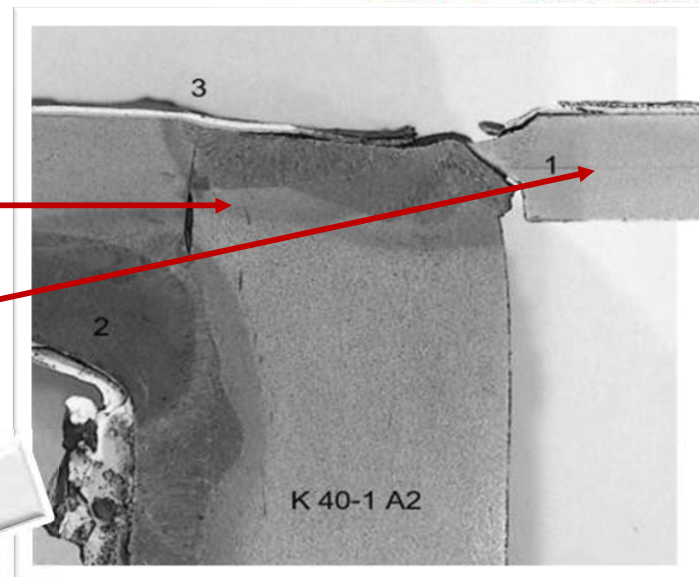
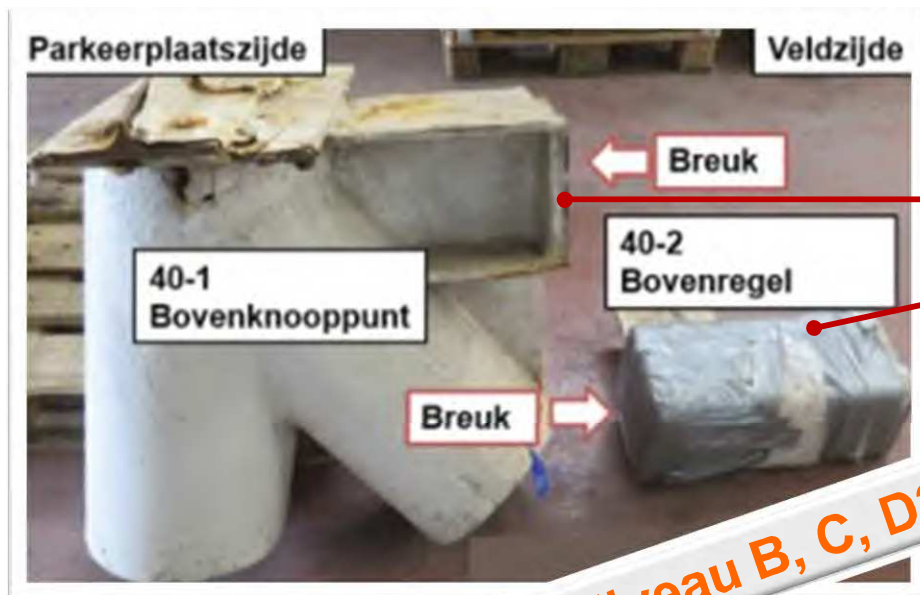
Vakwerkligger 40



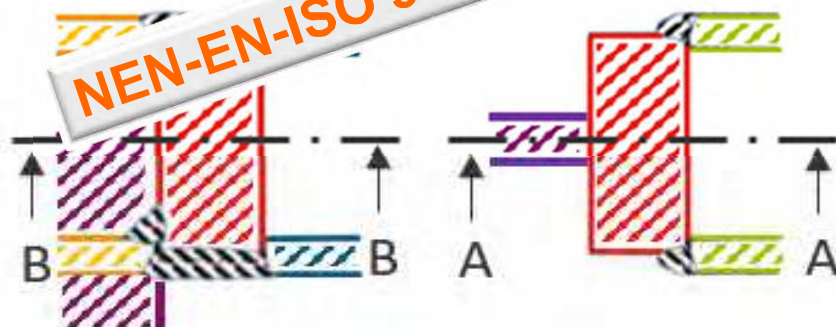
Onderzoek constructieonderdelen van vakwerkligger 40



Vakwerkligger 40



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



- Rood: Kopplaat
- Blauw: Zijdes A en C van regel
- Groen: Zijdes B en D van regel
- Oranje: Boven- en onderflens knooppunt
- Paars: Lijf knooppunt

Onderzoek constructieonderdelen van vakwerkligger 40



Niet-destructief onderzoek



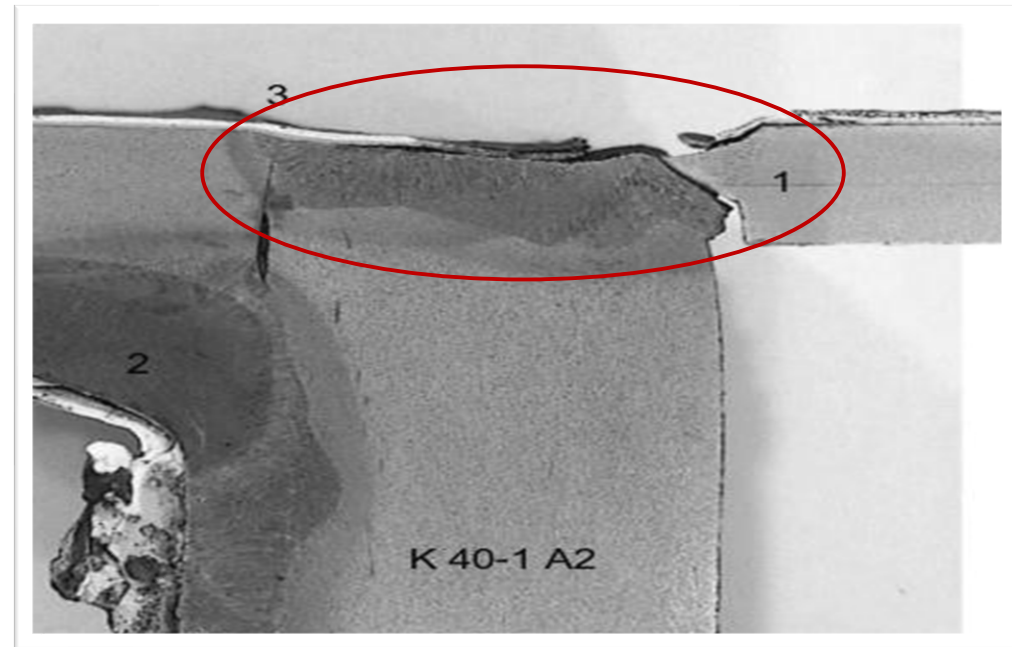
NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



Lassen volgens WPS.....



Niet-destructief onderzoek



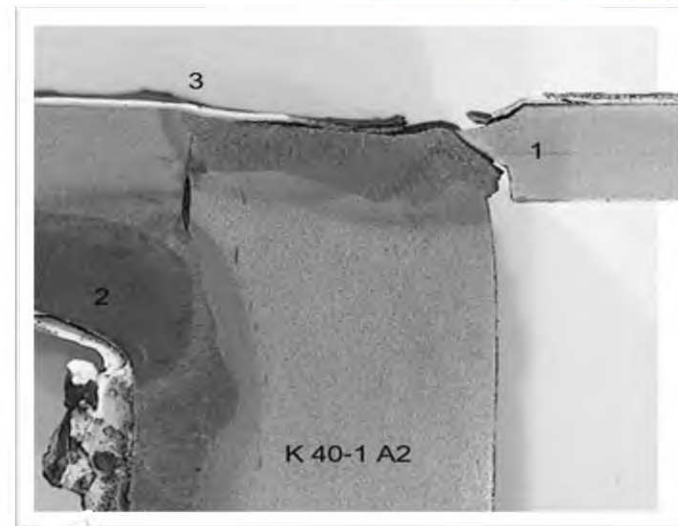
Lassen volgens WPS.....



Vakwerkligger 40



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



Constructieonderdelen van vakwerkligger 40



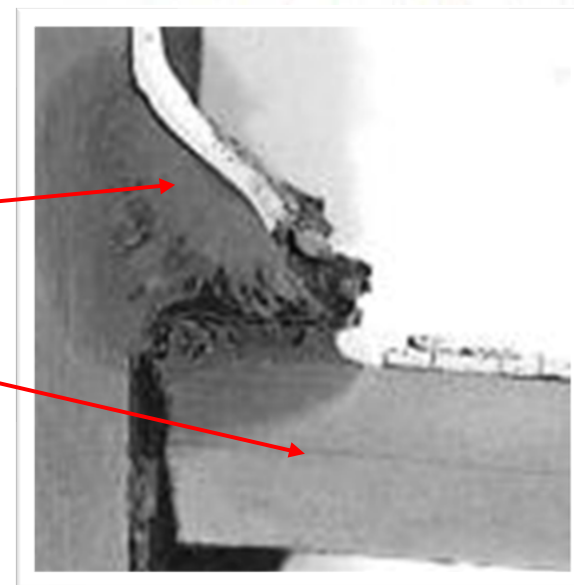
Fotomontages van macro's van lassen



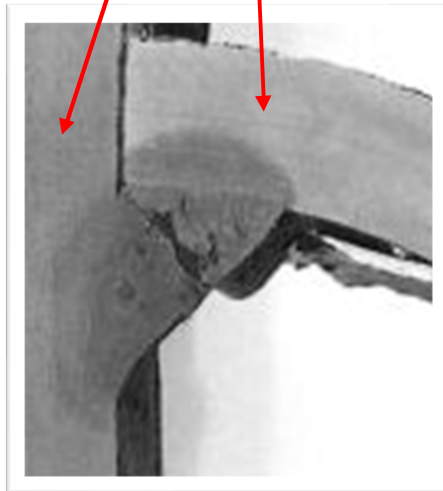
De montage van las 40-1/2-C laat zien dat er op deze positie geen las meer aanwezig was en dat de kopplaat en de regel door corrosie zijn aangetast.



Fotomontages van macro's van lassen



40-3: Onderknooppunt



40-4: Onderregel

NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



Keelhoogte (a)



De keelhoogte (a) van de beschouwde hoeklassen in het macroscopisch onderzoek is **gemiddeld 7,5 mm** (min. 5,63 mm en max. 10,06 mm). De kleinste lasdoorsnede (a) van de overige lassen in het macroscopisch onderzoek is gemiddeld 3,7 mm (min. 1,68 en max 7,44. mm). De gegeven waarden betreffen de geometrie van de lassen ter plekke van de macro's.



Schade aan verbinding kopplaat-regel



De belangrijkste resultaten uit het onderzoek van INTRON ten aanzien van de schade aan de verbinding kopplaat-regel zijn:

De bovenregel is volledig van de kopplaat losgescheurd.

De kopplaat is vervormd en is op één of meerdere hoeken ook van het bovenknooppunt losgescheurd.



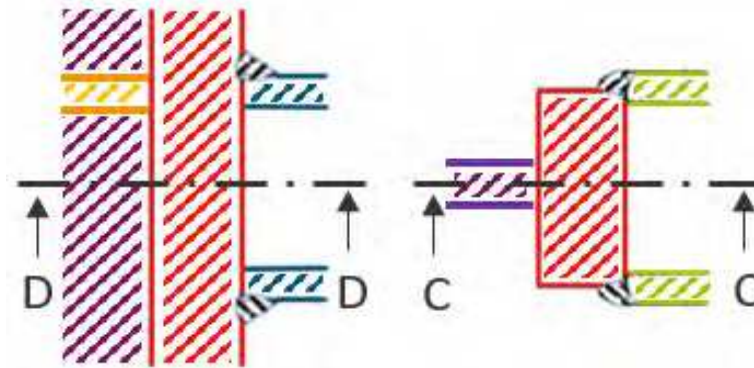
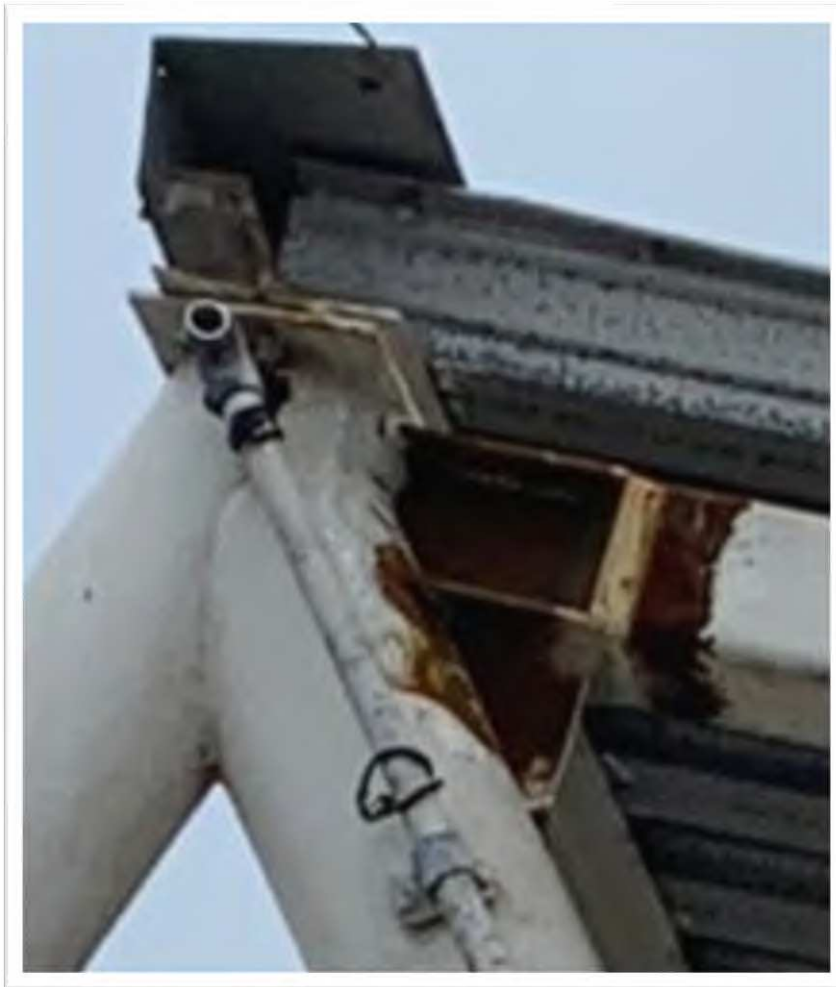
Vakwerkligger 42



**Vakwerkligger 42, links: 42-1 en 42-2, rechts: 42-3 en 42-4.
De coating is voor niet-destructief onderzoek gedeeltelijk verwijderd.
Dit verklaart de corrosie.**



Vakwerkligger 42



Rood: Kopplaat

Blauw: Zijdes A en C van regel

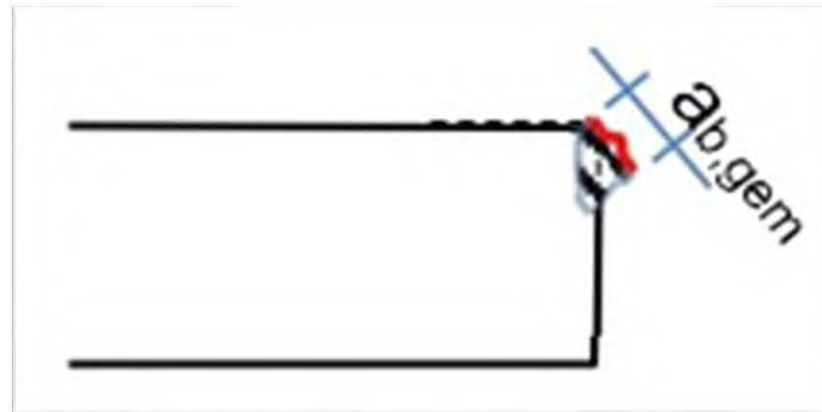
Groen: Zijdes B en D van regel

Oranje: Verstijver

Paars: Schetsplaat

Constructieonderdelen van vakwerkligger 42





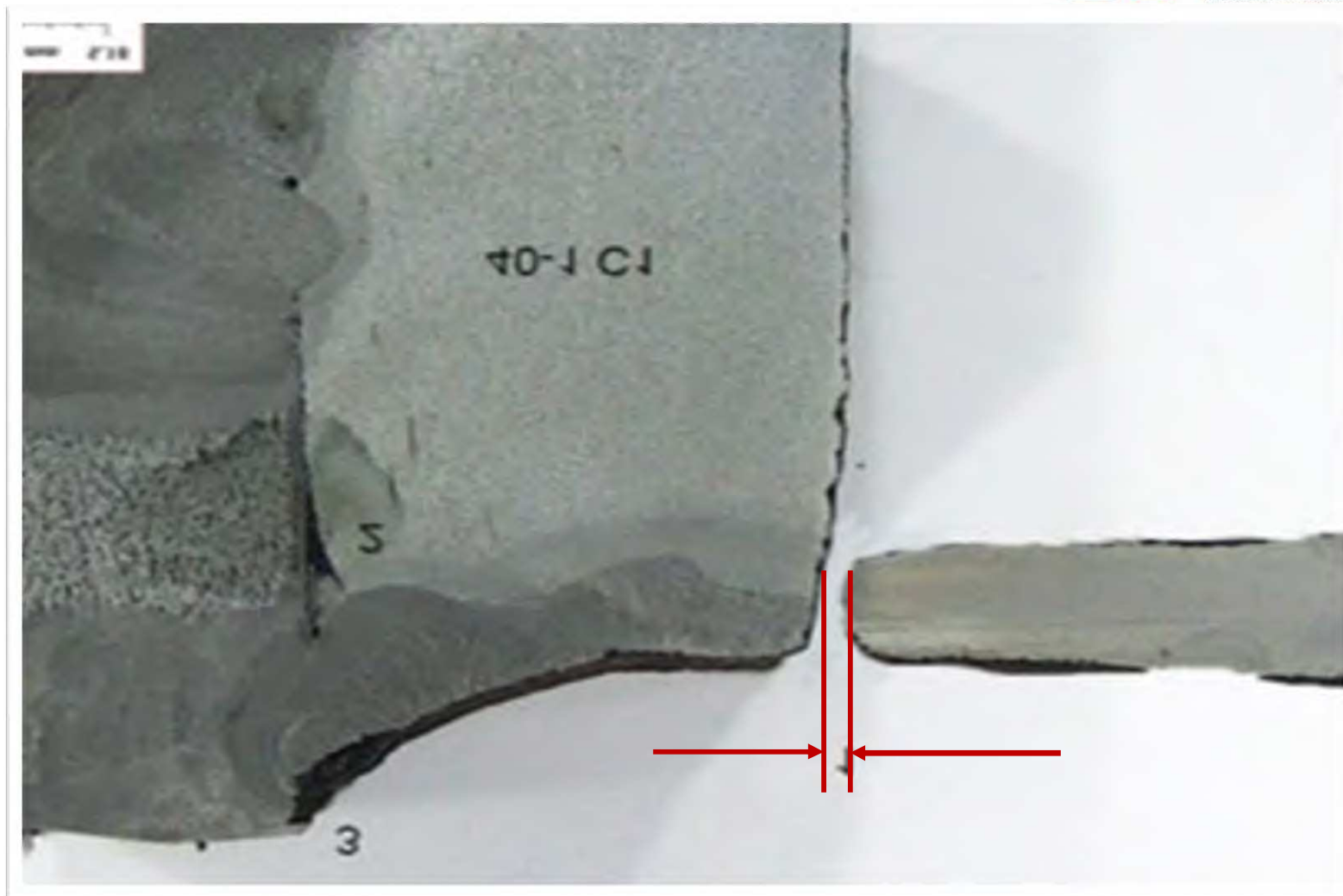
Figuur 1:
Definitie van de gemiddelde scheurbreedte per las (ab,gem)

De geconstateerde breuken in de las zijn in alle gevallen lengtescheuren in de las. Tabel 1 geeft een inschatting van de gemiddelde scheurbreedte per las op basis van het visuele onderzoek, zie Figuur 1.

Schade aan verbinding kopplaat-regel



Schade aan verbinding kopplaat-regel



scheurbreedte per las 0 tot 11



Schade aan verbinding kopplaat-regel



Verbinding Zijde	38-1/2	39-1/2	40-1/2	41-1/2	38-3/4	39-3/4	40-3/4	41-3/4
A	3-4	4-5	4,5-7	5	8	9	5	9
B	7	6,5	0-5	3,5	3-5	3-4	4	4-6
C	3	6	0-2	2-4	6,5	9	7	6,5
D	7-11	2	0-4,5	4-5	4-7	7	4,5	6

Tabel 1: Gemiddelde scheurbreedte per las (ab,gem) in mm (range) op basis van het visuele onderzoek



De verbindingen zijn bezweken door een geweldsbreuk in de las, door **onvoldoende hechting tussen las en moedermateriaal** of door een geweldsbreuk in het moedermateriaal.

Alleen bij verbinding 40- 1/2 zou corrosie bij de breuk een rol kunnen spelen. Er zijn geen signalen dat vermoeiing een rol speelt bij het ontstaan van de breuken. Bij een visuele inspectie is het specifieke patroon van vermoeiing nergens waargenomen.

Bij lassen 40 - 1/2 - B t/m D is het breukvlak gecorrodeerd. Hierdoor kan het eventueel aanwezige vermoeiingspatroon niet meer waargenomen worden.range) op basis van het visuele onderzoek

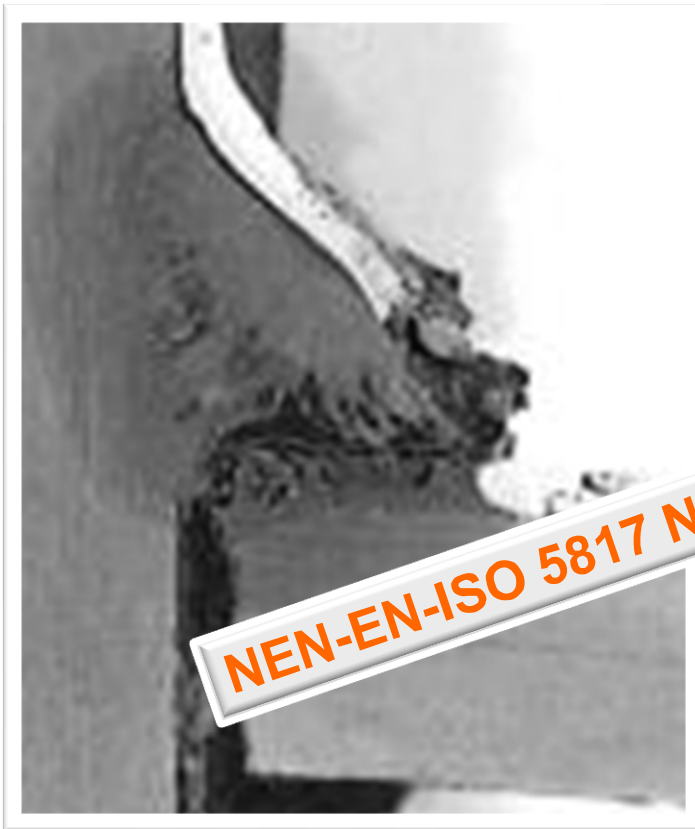
Schade aan verbinding kopplaat-regel



Verbinding 40-1/2 zou corrosie bij de breuk een rol kunnen spelen. Er zijn geen signalen dat vermoeiing een rol speelt bij het ontstaan van de breuken. Bij een visuele inspectie is het specifieke patroon van vermoeiing nergens waargenomen.

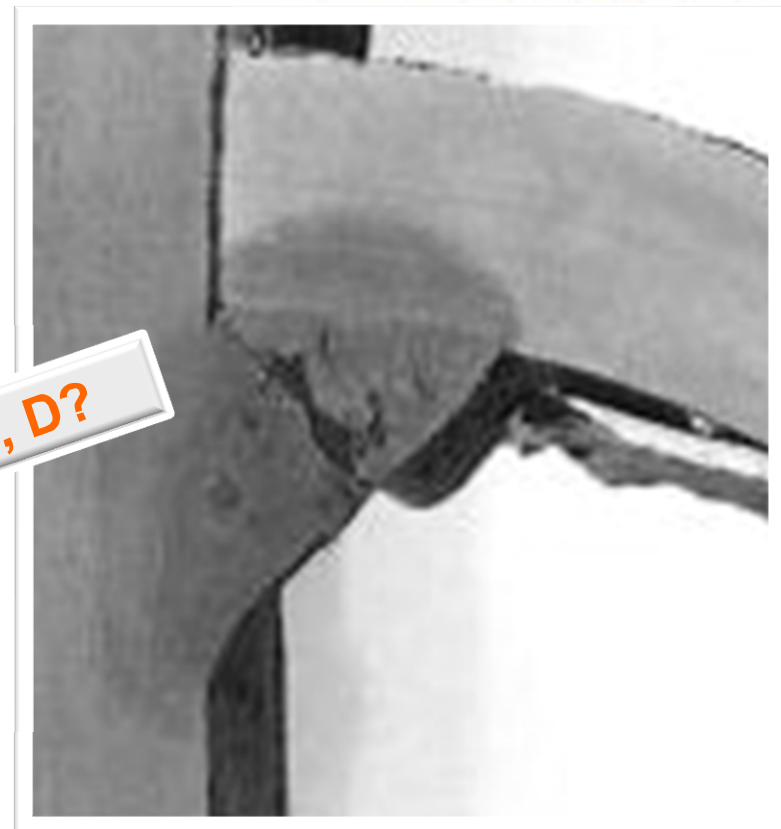


Schade aan verbinding kopplaat-regel



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?

Verbinding 40-3



Verbinding 40-4

Bij verbinding 40-3/4 vindt aan 2 zijden breuk door aanwezige gasporiën plaats.



De kopplaten verschillen in afmetingen maar zijn in alle gevallen kleiner dan de buitenafmetingen van de regels (koker 180 x 180 mm).

De kopplaten zijn niet altijd centrisch op de regels gelast. De regel steekt ongeveer 4 mm voor de kopplaat uit, dit varieert echter sterk, tussen de 2 en 8 mm.

De kopplaten en kokerwanden zijn niet voorbereid. Er is niet vastgesteld of er een warmtebehandeling is toegepast. Door onvoldoende voorverwarmen ontstaat een warmte behandelde zone met te harde eigenschappen. De hardheid was niet te hoog.

De kopplaten verschillen in afmetingen maar zijn in alle gevallen kleiner dan de buitenafmetingen van de regels (koker 180 x 180 mm).

De kopplaten zijn niet altijd centrisch op de regels gelast. De regel steekt ongeveer 4 mm voor de kopplaat uit, dit varieert echter sterk, tussen de 2 en 8 mm.



Moedermateriaal:

- De vakwerkliggers zijn niet verzinkt;
- Uit de beoordeling van de treksterkte van de onderdelen van Vakwerkligger 39 volgt dat het aannemelijk is dat staalsoort S355 bij deze vakwerkligger is toegepast, behalve voor kopplaat 39-1;
- Voor deze kopplaat is waarschijnlijk een lagere kwaliteit toegepast;
- Het lijkt erop dat er staalplaten van verschillende herkomst zijn gebruikt voor de kopplaten van de boven- en onderregels.

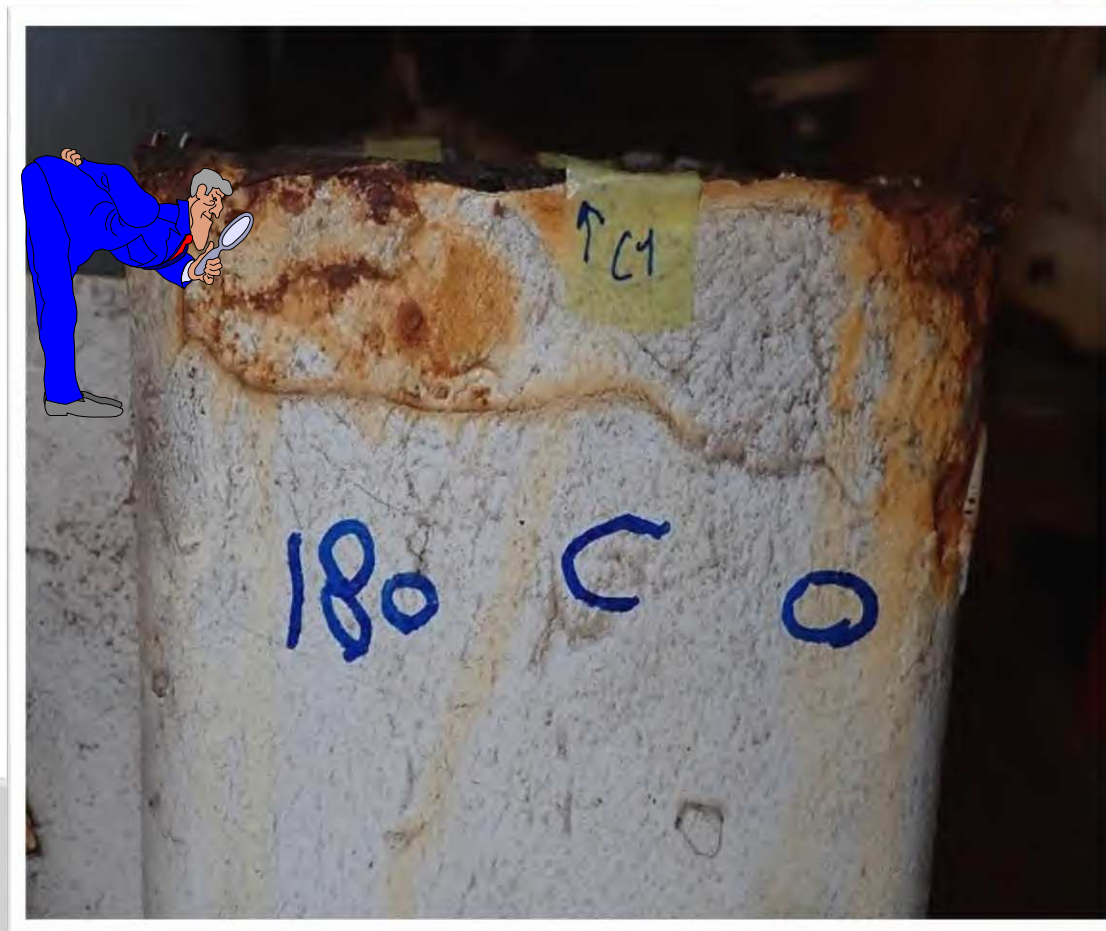
Hardheid:

- De hardheden van het basismateriaal, de warmte-beïnvloede zone en de las voldoen ruim aan de eis voor staal met een vloeigrens lager dan 360 N/mm².
- Normaliter wordt er steeds een lichte toename gemeten als achtereenvolgens de hardheid van het basismateriaal, de warmte-beïnvloede zone en de las wordt bepaald. Dit standaardbeeld wordt bij enkele lassen niet gevonden.

Coating:

- De coating bestaat uit 2 of soms 3 lagen met een totale dikte die meestal groter is dan 1 mm (min. 0,5 mm).
- De staat van de coating is plaatselijk slecht. Onder de coating is plaatselijk corrosie zichtbaar. De coating is plaatselijk verdwenen of vertoont scheuren. Op sommige plekken is de coating al langere tijd afwezig en is er sprake van putcorrosie. Op diverse locaties is de verdwenen coating overschilderd.

Coating



Coating:

De coating bestaat uit 2 of soms 3 lagen met een totale dikte die meestal groter is dan 1 mm (min. 0,5 mm).



- Al voor het moment van bezwijken was er een breuk aanwezig in lassen 40 – 1/2 – C en delen van B en D. **Deze breuk is uiterlijk enkele jaren na oplevering opgetreden.** Overige breuken zijn tijdens de instorting ontstaan.
- Er zijn **lasdefecten aangetroffen in de vorm van gasporiën.**
- **Het specifieke patroon van vermoeiing is bij een visuele inspectie nergens waargenomen.**
- In de lassen van vakwerkligger 40 zijn sporen van putcorrosie gevonden.



Niet-destructief onderzoek:

- Bij **geen enkele vakwerklijger voldoen de lasverbindingen** aan de acceptatiecriteria van **kwaliteitsniveau B volgens NEN-EN-ISO 5817:2014;**
- Bij slechts 6 van de 31 onderzochte vakwerklijgers voldoen de lassen bij verbinding 1/2 óf verbinding 3/4 aan de acceptatiecriteria.



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



Lassen volgens WPS.....



Niet-destructief onderzoek:

Bij verbinding 1/2 bevatten 6

van de 31 vakwerkliggers

scheuren, zie bijvoorbeeld

Figuur 4-19. Bij verbinding 3/4

bevatten 2 van de 31

vakwerkliggers scheuren.



➤ **Scheur in las 43 – 1/2 – C**

Niet-destructief onderzoek



**Het ontbreken van lassen bij
respectievelijk vakwerkliggers 46, 47 en 50.**



Niet-destructief onderzoek:

- De variatie in de geometrie van de lassen groot is;
- De dimensies van de **hoeklassen kleiner zijn dan aangegeven op tekening;**
- Er vaak sprake is van niet acceptabele poriën aan de oppervlakte van de las.





Uit het magnetisch onderzoek volgt dat:

- **Weinig lassen voldoen aan de acceptatiecriteria van kwaliteitsniveau 2X van NEN-EN-ISO 23278:2015;**
- **De lassen in de verbinding 1/2 minder vaak voldoen dan de lassen in de verbinding 3/4;**
- **De lassen aan de zijdes A en C vaker voldoen dan de lassen aan de zijdes B en D.**



De belangrijkste conclusies uit het niet-destructief onderzoek zijn:

- De lassen bevatten veel lasfouten;
- Een aantal lassen zijn gescheurd;
- Enkele lassen ontbreken;
- De minimale waarde van de doorlassing is erg klein (2 mm);
- De minimale waarde van de wanddikte soms erg laag is (5,7 mm).





Voornaamste technische oorzaak van het falen van de verbinding is **dat de lassen te dun zijn uitgevoerd**, aldus het onderzoeksrapport van Royal HaskoningDHV. Daarnaast speelt in belangrijke mate mee dat de bewuste verbinding al vóór de storm van 10 augustus is verzwakt.

Kort na de oplevering, tijdens een nog zwaardere storm in januari 2007, is in de verbinding van de bovenregel al een scheur ontstaan (door de te dunne lassen).



De scheur heeft geleid tot plaatselijke corrosie en laagcyclische vermoeiing. De laagcyclische vermoeiing heeft de capaciteit van de knoop verder teruggebracht.



Volgens het ingenieursbureau hadden de scheur en de corrosie opgemerkt kunnen worden bij visuele inspecties.



Ondeugdelijk ontwerp:

Een secundaire oorzaak van het incident is het **ondeugdelijk ontwerp** van de verbinding. Al meteen na openbaarmaking van de technische tekeningen en andere ontwerpdocumenten door de gemeente Alkmaar merkten diverse constructeurs een merkwaardig verbindingdetail op, waarbij het kokerprofiel van de bovenregel van de vakwerkligger via een 'gekunsteld' H-profiel aansloot op het ronde buisprofiel van de vakwerkkolom.





Ook RoyalHaskoning DHV stelt vast dat het detailontwerp niet correct is. Dat heeft op zichzelf al geresulteerd in zo'n 20% reductie van de capaciteit van de verbinding.



VRAGEN?



EN1090-2:2018



INSPECTIE EN BEPROEVING

VOOR HET LASSEN

&

OMVANG VAN DE KEURING





Routinekeuring en –beproeving:

Alle lassen dienen over de gehele lengte visueel te worden gekeurd.

Indien oppervlakte-scheuren worden ontdekt, moet beproeven van het oppervlak van de gekeurde las door middel van penetrante beproeving of magnetisch onderzoek worden uitgevoerd.



Visueel lasinspectie (VT), volgens NEN-EN-ISO 5817



DE GROOT LPMW
LASINSTITUUT
OPLEIDEN | ONTWIKKELEN | CERTIFICEREN



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



Visueel lasinspectie (VT), volgens NEN-EN-ISO 5817



DE GROOT LPMW
LASINSTITUUT

OPLEIDEN | ONTWIKKELEN | CERTIFICEREN



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



Visueel lasinspectie (VT), volgens EN-ISO 5817



DE GROOT LPMW
LASINSTITUUT

OPLEIDEN | ONTWIKKELEN | CERTIFICEREN

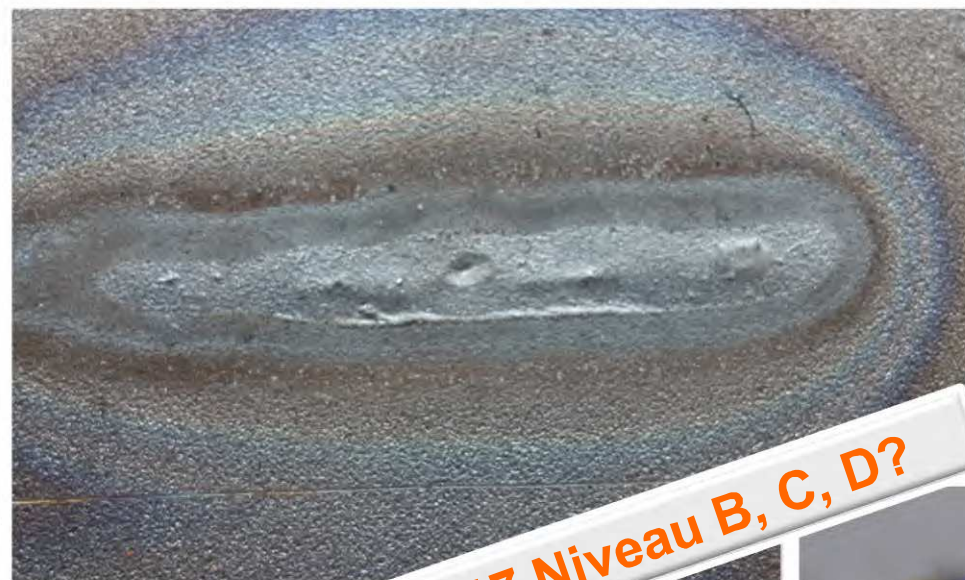


Visueel lasinspectie (VT), volgens NEN-EN-ISO 5817



DE GROOT LPMW
LASINSTITUUT

OPLEIDEN | ONTWIKKELEN | CERTIFICEREN



NEN-EN-ISO 5817 Niveau B, C, D?



(C) De Groot LPMW Lasinstituut

Dia nr.: 69





EN 1090-2: Par. 12.4.2.2

Tenzij anders gespecificeerd is geen aanvullend **Niet Destructief Onderzoek (NDO)** vereist voor **EXC1**-lassen.

Bij **EXC2**-, **EXC3**- en **EXC4**-lassen is de omvang van het aanvullende **NDO** onderzoek zoals hierna gespecificeerd.

De omvang van het **NDO** onderzoek omvat zowel beproeving van het **oppervlak** als van **inwendige onvolkomenheden** indien van toepassing.



12.4.2.3, EN 1090-2, Routinekeuring en -beproeving



Alle lassen moeten over hun gehele lengte visueel worden gecontroleerd volgens EN-ISO 5817.

Indien oppervlakte onvolkomenheden zijn ontdekt, dient het oppervlak van de gekeurde las door middel van penetrante beproeving of magnetisch onderzoek worden uitgevoerd.

EN-ISO 5817:

- Lassen;
- Smeltlasverbindingen in staal, nikkel, titanium en hun legeringen;
- Kwaliteitsniveaus voor onvolkomenheden.





Tenzij anders gespecificeerd, moeten bij EXC1, EXC2 en EXC3 de aanvaardingscriteria voor lasonvolkomenheden als onderstaand zijn, onder verwijzing naar EN ISO 5817:2014, behalve voor ‘slecht aangevloeide las’ (505) en ‘microbindingsfout’ (401), die niet hoeven te worden beschouwd. Eventuele extra gespecificeerde eisen aan de lasgeometrie en het lasprofiel moeten worden beschouwd:

EXC1 kwaliteitsniveau D, behalve kwaliteitsniveau C voor ‘onvoldoende keeldoorsnede’ (5213);

EXC2 kwaliteitsniveau C, behalve kwaliteitsniveau D voor ‘overbloezing’ (506), ‘ontsteekplaats’ (601) en ‘eindkrater’ (2025) en kwaliteitsniveau B voor ‘onvoldoende keelhoogte’ (5213);

EXC3 kwaliteitsniveau B.



EN 1090-2: Par. 12.4.2.2

De visuele keuring moet na het voltooiën van het lassen in een gebied worden uitgevoerd, voordat eventueel een andere NDO-keuring wordt uitgevoerd.

Visuele keuring moet omvatten:

- De aanwezigheid en plaats van alle lassen;
- Keuring van de lassen in overeenstemming met **EN-ISO 17637**;
- Ontsteekplaatsen en gebieden met lasspetters

EN-ISO 17637

Niet-destructief onderzoek van lassen

Visueel onderzoek van gesmeltlaste verbindingen

EN 1090-2: Par. 12.4.2.6

De volgende NDO-methoden moeten in overeenstemming met de algemene principes gegeven in EN 17635 en met de specifieke eisen van de norm voor iedere methode worden uitgevoerd:

- **Penetrante beproeving (PT) volgens EN-ISO 3452-1;**
- **Magnetisch onderzoek (MT) volgens EN 17638;**
- **Ultrasone beproeving (UT) volgens 17640, EN 23279, EN ISO 13588;**
- **Radiografische beproeving (RT) volgens EN 17636.**

Het toepassingsgebied van de NDT-methoden is in de van toepassing zijnde normen beschreven



EN 1090-2: Par. 12.4.2.5

Voor **EXC2, EXC3 en EXC4** moeten lasreparaties worden uitgevoerd in overeenstemming met gekwalificeerde lasmethode kwalificaties(WPQR's) en de goedgekeurde lasmethodebeschrijvingen (WPSén).

Gecorrigeerde lassen moeten worden gecontroleerd en moeten voldoen aan de eisen voor de originele lassen.



VRAGEN?





Auteursrecht voorbehouden

Behoudens uitzondering door de wet gesteld mag zonder schriftelijke toestemming van De Groot LPMW Lasinstituut niets uit deze presentatie worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van fotokopie, microfilm, opslag in computerbestanden of anderszins, hetgeen ook van toepassing is op gehele of gedeeltelijke bewerking





Let op!

De data in deze presentatie dient slechts voor begripsvorming.

Op geen enkele wijze kunnen hier rechten aan worden ontleend.

Voor actuele informatie, correcte weergave en juiste interpretatie dienen de betreffende normen te worden gehanteerd.”



Voor vragen

Marchel Kaspers

(C) M. Kaspers

m.kaspers@lasinstituut.nl

