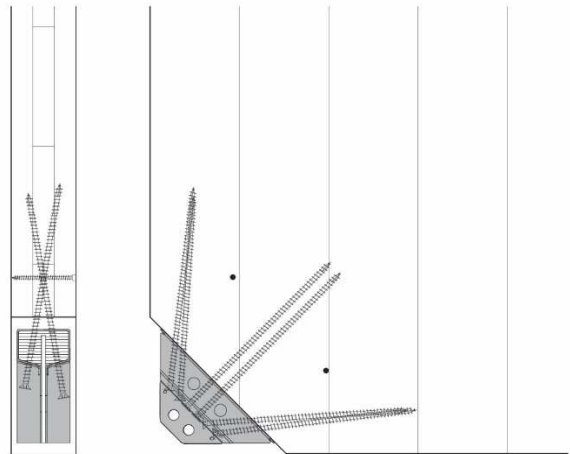
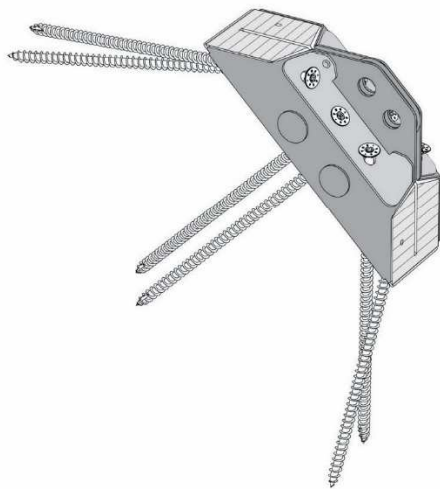


X-ONE VERBINDUNG EXPERIMENTELLE ANALYSE

MECHANISCHES VERHALTEN UND BESTÄNDIGE DOMÄNE

ENTWICKLUNG EINES INNOVATIVEN RECHENMODELLS FÜR HOLZBAUTEN MIT
HILFE DES X-RAD SYSTEMS



Das Originaldokument ist auf Italienisch... Die Versionen in anderen Sprachen wurden aus dem ursprünglichen Dokument übersetzt

10/2015

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	4
2. BESCHREIBUNG DER VERBINDUNG	5
2.1. ELEMENTARE BAUTEILE	5
2.1.1. Äußeres Gehäuse.....	7
2.1.2. LVL Einsatz.....	8
2.1.3. Innere Versteifungsplatte	8
2.1.4. Ø12 Durchsteckschrauben.....	8
2.1.5. VGS Vollgewindeschrauben.....	9
2.2. MATERIALEIGENSCHAFTEN.....	10
2.2.1. LVL Furnierschichtholz (Laminated veneer lumber).....	10
2.2.2. Stahl	10
3. INPUTDATEN	11
3.1. AN DER TU GRAZ DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE.....	11
3.1.1. Gleichmäßige Versuche längs Y.....	12
3.1.2. Gleichmäßige längs X Versuche.....	13
3.2. IM CNR-IVALSA ZENTRUM (SAN MICHELE A.A.) DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE	14
3.2.1. Zyklische Versuche längs y.....	15
3.2.2. Zyklische Versuche längs y	16
3.3. AN DER UNIVERSITÄT TRIENT DURCHGEFÜHRTE VERSUCHE	17
3.3.1. Versuche mit einzelnen Platten	17
3.3.2. Versuche mit Verbundplatten	19
3.4. FEM ANALYSEN	20
3.4.1. Analysefälle	21
3.4.2. Wichtigste Ergebnisse	22
4. STUDIE DER VERSCHIEDENEN BEANSPRUCHUNGSVERHÄLTNISSE.....	26
4.1. KOORDINATENSYSTEME UND DEFINITIONEN	26
4.2. ZUSAMMENFASSUNG DER ZUR ZEIT VERFÜGBAREN EXPERIMENTELLEN DATEN.....	28
4.3. BRUCHMODALITÄTEN DER VERBINDUNG.....	28
4.3.1. Scherkraft-Zugkraft ($\alpha=0^\circ$)	31
4.3.2. Zugkraft bei 45° ($\alpha=45^\circ$)	31
4.3.3. Zugkraft ($\alpha=90^\circ$).....	32
4.3.4. Scheren bei 45° ($\alpha=135^\circ$ oder $\alpha=315^\circ$).....	32
4.3.5. Scheren-Druck ($\alpha=180^\circ$).....	32
4.3.6. Druck bei 45° ($\alpha=225^\circ$)	33
4.3.7. Druck ($\alpha=270^\circ$)	33
4.4. BRUCHBERECHNUNG	33
4.4.1. Scheren - Zugkraft ($\alpha=0^\circ$).....	33
4.4.2. Zugkraft bei 45° ($\alpha=45^\circ$)	34
4.4.3. Zugkraft ($\alpha=90^\circ$).....	36
4.4.4. Scheren bei 45° ($\alpha=135^\circ$ oder $\alpha=315^\circ$).....	36
4.4.5. Scheren-Druck ($\alpha=180^\circ$).....	37
4.4.6. Druck bei 45° ($\alpha=225^\circ$)	38

4.4.7.	Druck ($\alpha=270^\circ$)	38
5.	DEFINITION EINES FESTIGKEITSKRITERIUMS.....	39
5.1.	KONSTRUKTION DER BRUCHDOMÄNE.....	39
5.1.1.	<i>Auf experimentelle Festigkeiten aufgebaute Domäne</i>	<i>39</i>
5.1.2.	<i>Auf die Festigkeiten aus FEM Modellierung aufgebaute Domäne</i>	<i>41</i>
5.1.3.	<i>Vergleich experimentelle Daten - FEM Modellierungen.....</i>	<i>42</i>
5.1.4.	<i>Auf Festigkeit aus Bruchberechnung aufgebaute Domäne</i>	<i>43</i>
5.1.5.	<i>Vergleiche experimentelle Daten-Bruchberechnung</i>	<i>44</i>
5.1.6.	<i>Grafische Auswertung der Domäne.....</i>	<i>46</i>
5.2.	BRUCHDOMÄNE FÜR DEN ENTWICKLER	46
5.2.1.	<i>Verwendungsbereich der Verbindung</i>	<i>48</i>
5.2.2.	<i>Charakteristische Bruchdomäne</i>	<i>49</i>
5.2.3.	<i>Bruchdomäne des Projekts.....</i>	<i>51</i>
5.3.	PROJEKTVORGABEN DER EUROPÄISCHEN TECHNISCHEN GENEHMIGUNG (ETA- 15/0632)	52
5.3.1.	<i>Splittingerscheinungen.....</i>	<i>53</i>

1. EINLEITUNG

Der vorliegende technische Bericht wurde von der Firma Rotho Blaas s.r.l. mit der Absicht verfasst, die strukturellen Aspekte des neuen Verbindungssystems namens "X-ONE" zu vertiefen. Aufgrund der innovativen Beschaffenheit der Verbindung wurde eine Reihe von Laborversuchen durchgeführt, welche durch Analysen mit finiten Elementen bekräftigt wurden. Diese Labortests dienten als Ausgangspunkte für die vorliegende Ausarbeitung. Diese enthält eine Reihe von analytischen Betrachtungen und Formulierungen, welche für die Definition eines Prüfkriteriums für die Verbindung von Nutzen sind. Der vorliegende Bericht enthält ein Prüfkriterium des X-RAD Systems beschränkt auf das X-ONE Element und auf die VGS Vollgewindeschrauben, welche dieses mit der CLT Platte verbinden. Die anderen Systembauteile wie die äußeren X-PLATE Platten sind nicht in der der vorliegenden Ausarbeitung enthalten

Der vorliegende Bericht soll dem Entwickler der Struktur einen theoretischen Leitfaden für die Prüfung der Verbindung liefern und kann auf keinen Fall ohne Genehmigung der Firma Rotho Blaas für andere Zwecke verwendet werden. Wie auch in der Europäischen technischen Genehmigung (ETA) ersichtlich ist, muss die Planung von X-RAD Verbindungen unter der Verantwortung eines Ingenieurs mit Erfahrung mit Holzbauten (ETA 15/0632 §2.2 *Design of connections with X-RAD connectors is carried out under the responsibility of an engineer experienced in timber structures*) erfolgen.

In **Kapitel 2** werden die Verbindung und das Material beschrieben, aus denen diese besteht

In **Kapitel 3** werden kurz die wichtigsten verfügbaren Daten wie Ergebnisse der Laborprüfungen und FEM Simulationen beschrieben.

Kapitel 4 enthält eine Studie der verschiedenen Belastungsverhältnisse, denen die Verbindung ausgesetzt sein kann. Die verschiedenen Überlegungen basieren sowohl auf den experimentellen Daten wie auf den analytischen Schemen.

Kapitel 5 enthält die Ausarbeitung eines Festigkeitskriteriums für die analytische Prüfung der Verbindung wobei die Werte der belastenden Kräfte bekannt sind. Das Festigkeitskriterium wurde von den analytischen Berechnungen ausgehend ausgearbeitet, welche von den verfügbaren experimentellen Versuchen bekräftigt und mit den Ergebnissen aus den FEM Modellierungen abgeglichen werden.

2. BESCHREIBUNG DER VERBINDUNG

Der Verbinder X-ONE besteht aus einem äußeren Stahlgehäuse (1) mit einem LVL Holzeinsatz und einer inneren Platte (2), die beide mit zwei Ø12 Durchsteckschrauben mit an das äußere Gehäuse angeschlossen sind. Die innere Platte und das äußere Gehäuse sind zur Ausbildung des X-RAD Systems mit zwei Durchsteckschrauben Ø16 an äußere X-PLATE Platten angeschlossen. Die Verbindung mit der CLT Platte wird durch 6 mit unterschiedlichen Neigungen eingesetzten VGS Vollgewindeschrauben gesichert.

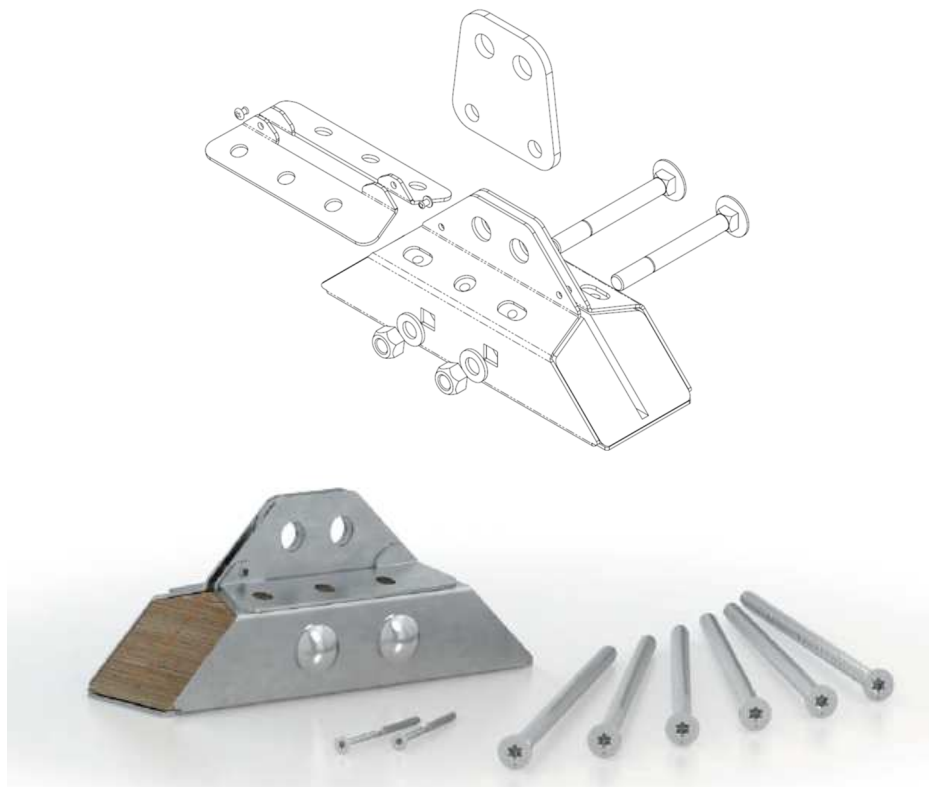


Abbildung 1: Auseinandergezogene Darstellung der Verbindung

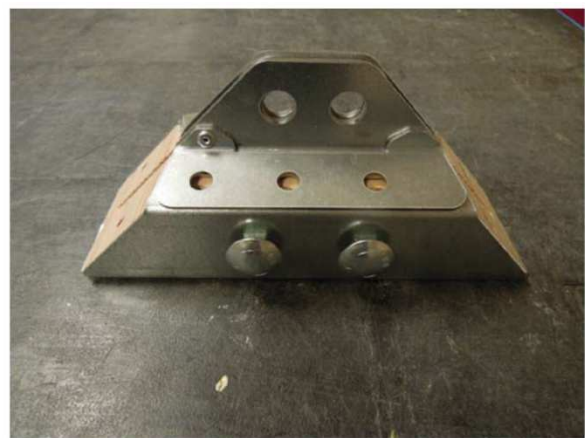
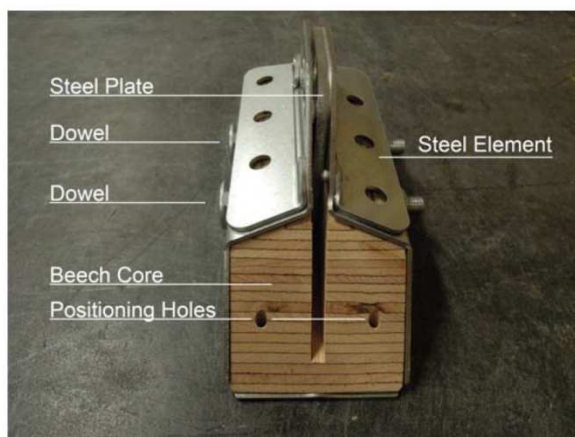
2.1. Elementare Bauteile

Wie gesagt, setzt sich das das Verbindungssystem X-RAD aus drei Grundbauteilen zusammen und zwar:

1. **X-ONE:** ist ein vormontiertes Element, das sich aus folgenden Systemen zusammensetzt:
 - ein äußeres Gehäuse bestehend aus einem gebogenen Blech, das den LVL Einsatz umhüllt, welcher hauptsächlich an den Verbindungsdurchsteckschrauben zur äußere Platte belastet wird;
 - ein LVL Einsatz, der durch rechtwinkligen Druck an der Faser und durch Stauchen der inneren Durchsteckschrauben belastet wird;

- eine innere Platte, welche mittels der beiden äußeren Durchsteckschrauben an die äußere Platte und an das Metallgehäuse angeschlossen ist;
 - 2 innere Durchsteckschrauben Ø12, welche die innere Platte mit dem LVL Einsatz verbinden und eine Scherverbindung Holz-Stahl-Holz herstellen.
2. **6 VGS** Vollgewindeschrauben mit Axial- und Scherbelastung, welche die Holz-Holz Verbindung zwischen den CLT Platten und dem LVL Einsatz des X-ONE herstellen.
 3. **Äußere X-PLATE Platten** : Stahlplatten, welche die Verbindung des X-ONE an den Boden oder die gegenseitige Verbindung X-ONE/X-ONE gestatten; es gibt eine Reihe von Platten, welche für Befriedigung der verschiedensten geometrischen Konfigurationen ausgelegt sind. Die äußeren Platten sind mit 2 Durchsteckschrauben Ø16 mit X-ONE verbunden.

Nachstehend sind einige Bauteile abgebildet.



Steel Plate = Stahlplatte

Dowel = Dübel

Beech Core = Kern aus Buchenholz

Positioning Holes = Positionierlöcher

Steel Element = Stahlelement

Abbildung 2: Zwei Ansichten von 'X-ONE



Abbildung 3: Bauteile des X-RAD Systems

2.1.1. Äußeres Gehäuse

Dieses besteht aus einem gebogenen Stahlblech DX51D oder einem gleichwertigen Blech mit folgenden geometrischen Eigenschaften.

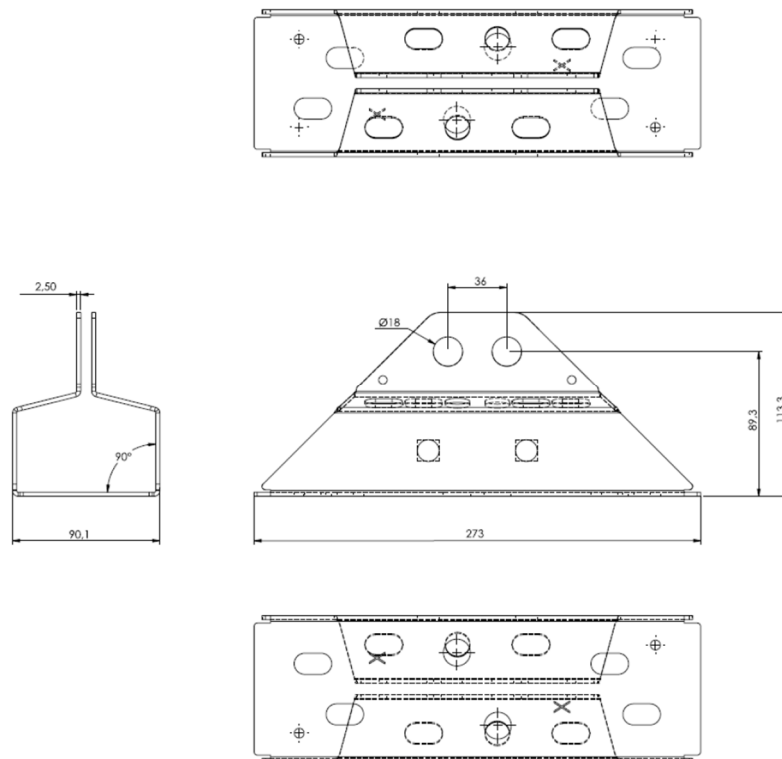
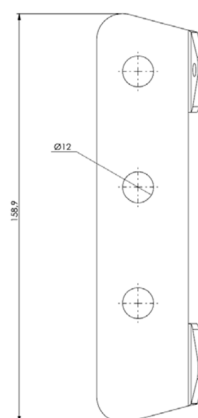


Abbildung 4: Äußeres Stahlgehäuse

Es ist ein zusätzliches Blech vorhanden, welches im Einschlagbereich der Vollgewindeschrauben positioniert wird. Zweck des Blechs ist die Verstärkung der Platte, um zu verhindern, dass die Schraubenköpfe die Metallplatte durch Stanzen durchdringen.

Steel cover



Steel cover = Stahlabdeckung

Abbildung 5: Zusätzliches Blech für das äußere Gehäuse

2.1.2. LVL Einsatz

Ein wie das äußere Gehäuse geformtes Element aus LVL Holz, das im Inneren des Gehäuses eingesetzt ist. Der Einsatz ist zur Aufnahme der inneren Platte in der Mitte ausgefräst und zur Aufnahme der $\varnothing 12$ Durchsteckschraube vorgelocht. Es sind auch 6 vorgefertigte Löcher zum einsetzen der VGS Vollgewindeschrauben sowie weitere 2 vorgefertigte Löcher für die Positionierung der HBS Montageschrauben vorhanden.

2.1.3. Innere Versteifungsplatte

Diese besteht aus einer DX51D Stahlplatte oder einer gleichwertigen Platte mit folgenden geometrischen Merkmalen.

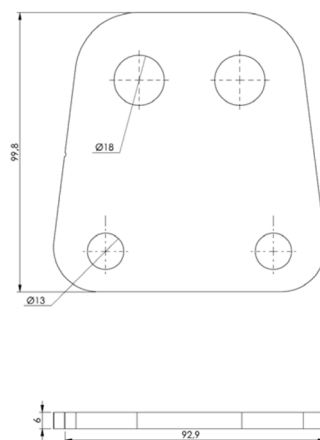


Abbildung 6: Innere Platte

2.1.4. $\varnothing 12$ Durchsteckschrauben

Die $\varnothing 12$ Durchsteckschrauben, welche das äußere Gehäuse, den LVL Einsatz und die äußere Platte verbinden, weisen folgende geometrische und mechanische Merkmale auf.

Bolt 8.8 M12x110 mm	
Tensile strength	$\geq 600 \text{ N/mm}^2$
E-Modulus	210 000 N/mm ²
Head diameter d_k	30.65 mm
Head height k	6.95 mm
Nominal diameter d	12 mm
Length l	110 mm
Threaded length b	30 mm
Pitch	1.75 mm

Legende

Tensile strength= Zugkraftkraft

E-Modulus = E-Modul

Head diameter Kopfdurchmesser d_k =

Head height k = Kopfhöhe

Nominal diameter d = Nenndurchmesser

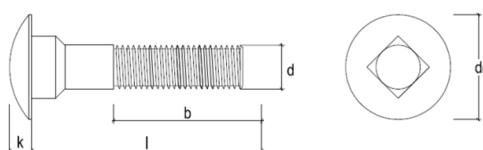
Length l = Länge

Threaded length = Gewindelänge

Pitch = Teilung

Bolt = Durchsteckschraube

Bolt



Special nut	
Thread diameter d	M12
Head dimension sw	24 mm
Head thickness t	5 mm
Height h	15 mm
Outer diameter D	18 mm

Legende::

Thread diameter d= Gewindedurchmesser d

Head dimension sw = Kopfdimension sw

Head thickness t= Kopfstärke t

Height h = Höhe

Outer diameter D= äußerer Durchmesser D

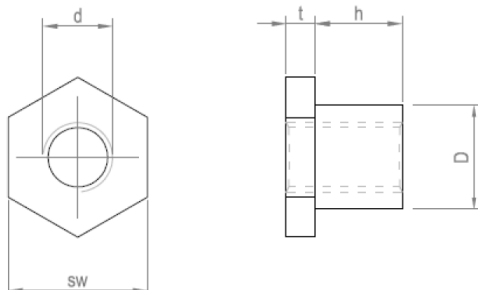
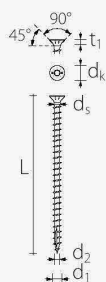


Abbildung 7: Merkmale der Durchsteckschrauben Ø12

2.1.5. VGS Vollgewindeschrauben

In der Verbindung weist 6 VGS Vollgewindeschrauben auf, für welche nachstehend einige Merkmale aufgeführt werden.

GEOMETRIE UND MECHANISCHE EIGENSCHAFTEN



VERBINDER VGS

Neendurchmesser	d ₁ [mm]	9	11
Kopfdurchmesser	d ₁ [mm]	16,00	19,30
Kerndurchmesser	d ₂ [mm]	5,90	6,60
Schaftdurchmesser	d ₃ [mm]	6,50	7,70
Kopfstärke	t ₁ [mm]	6,50	8,20
Vorbohrdurchmesser*	d ₄ [mm]	5,0	6,0
Charakteristisches Fließmoment	M _{y,k} [Nmm]	27244,1	45905,4
Charakteristischer Parameter Ausziehwerkstand	f _{ax,k} [N/mm ²]	11,7	11,7
Charakteristische Zugfestigkeit	f _{ten,k} [kN]	25,4	38,0
Charakteristische Fließgrenze	f _{y,k} [N/mm ²]	1000	1000

(*) Bei Verbindern mit einem Ø11 ≥ 400 mm muss vorgebohrt werden.

Wie wir anschließend sehen werden, erfolgt bei Zugkraftbelastung der Bruch des Schraubenschafts, weil

- die Einsattztiefe der Schraube im CLT ausreicht , um die gesamte Festigkeit des unter Zugkraft stehenden Schafts abzurufen;
- das äußere Gehäuse und die Verstärkungsplatte aus Metall verhalten sich wie eine "Unterlegscheibe" und verteilen die Last über eine größere Fläche und führen durch Zugkraft zum Bruch der Schraube

Die charakteristische Zugkraftfestigkeit der Ø11 VGS Schraube beträgt:

$$f_{tens,k} = 38,0 \text{ kN}$$

Bei Druckbelastungen entspricht der Festigkeitsmechanismus dem des Schraubengewindes. In diesem Fall kommen uns die beim CNR-IVALSA durchgeführten Prüfungen zu Hilfe, welche eine durchschnittliche Abzugsfestigkeit des Gewindes im LVL von:

$$f_{comp,k} = 35,0 kN \text{ ergeben}$$

2.2. Materialeigenschaften

2.2.1. LVL Furnierschichtholz (Laminated veneer lumber)

Der Holzeinsatz im Inneren des Metallgehäuses besteht aus Mikrofurnierschichtholz (LVL) mit einer charakteristischen Dichte von $\rho_k \geq 680 \text{ kg/m}^3$

2.2.2. Stahl

Es sind folgende Stahlplatten vorhanden:

- ein äußeres Gehäuse aus 2,5 mm starkem gebogenem Blech;
- eine 6 mm starke innere Platte.

Die beiden Platten sind in Übereinstimmung mit EN10346 aus DX51D Stahl oder gleichwertigem Stahl.

Der DX51D Stahl wird in Übereinstimmung mit folgenden Normen hergestellt:

- EN 10346:2009 - Flache Stahlerzeugnisse mit Beschichtung durch stufenloses Warmeintauchen - Technische Lieferbedingungen
- EN 10143:2006 - Dünnes Blech und Bandstahl mit Beschichtung durch stufenloses Warmeintauchen - Zulässige Abweichungen bei Abmessung und Form.

Die mechanischen Mindestmerkmale des Stahls werden folglich von UNI EN 10346:2009 in Tabelle 6 geliefert :

Table 6 — Mechanical properties (transverse direction) of low carbon steels for cold forming

Designation			Yield strength	Tensile strength	Elongation	Plastic strain ratio	Strain hardening exponent
			R_e^a	R_m	A_{80}^b	r_{90}	n_{90}
Steel grade		Symbols for the types of available coatings	MPa	MPa	%	min.	min.
Steel name	Steel number						
DX51D	1.0226	+Z,+ZF,+ZA,+AZ,+AS	—	270 to 500	22	—	—

Abbildung 8: Auszug aus EN 10346:2009

Zur Definition der in der Berechnungsphase zu verwendenden Festigkeiten werden aus Sicherheitsgründen die Festigkeiten von S275 (EN 10025) Stahl berücksichtigt, welche jedenfalls niedriger sind als die tatsächlichen Festigkeiten, die sich aus den an Stahlblech durchgeführten experimentellen Versuchen ergeben:

$$R_{u,k} = 410 MPa$$

$$R_{y,k} = 275 MPa$$

3. INPUTDATEN

Es folgt eine kurze Beschreibung der Inputdaten, die zur Erstellung der vorliegenden technischen Ausarbeitung verwendet wurden.

Die experimentellen Untersuchungen wurden in drei verschiedenen Forschungszentren durchgeführt:

- *Lignum Test Center* der Universität Graz (TU-GRAZ).
- *Institut für die Verwertung von Holz und Baumarten* in San Michele A.A. (CNR-IVALSA).
- *Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften und Mechanik der Universität Trient.*

Im Lignum Test Center der Universität Graz wurden gleichmäßige Versuche in Übereinstimmung mit der Norm EN 26891:1991 durchgeführt. Zweck der Versuche ist, für die Ausarbeitung der Europäischen Technischen Genehmigung (ETA 15/0632) nützliche Kennwerte zu liefern.

Im Einvernehmen mit der TU-GRAZ wurde in Übereinstimmung mit der Norm EN 12512:2006 im CNR-IVALSA eine Reihe von zyklischen Versuchen durchgeführt.

Zweck dieser Versuche ist die Ermittlung des Duktilitätsniveaus der Verbindung und deren Verhalten in Erdbebengebieten. Diese Informationen sind ebenfalls in dem ETA Bezugsdokument enthalten.

Die an der Universität Trient durchgeführten Versuche verfolgen den Zweck, ein komplexes System Wand-Verbindung zu testen, um das Gesamtverhalten des Systems zu untersuchen.

Die Laborversuche wurden durch eine Reihe von FEM Analysen an der Verbindung ergänzt.

3.1. An der TU Graz durchgeführte Versuche

Im Lignum Test Center der Universität Graz wurden in Übereinstimmung mit der EN 26891 gleichmäßige Versuche sowohl in Zugkraftkonfiguration wie in Scherkonfiguration durchgeführt. Nachstehend sind die wichtigsten Ergebnisse für die beiden Zugkraft- und Scherbelastungen aufgeführt.

Die Versuche wurden längs der beiden Hauptrichtungen x und y durchgeführt.

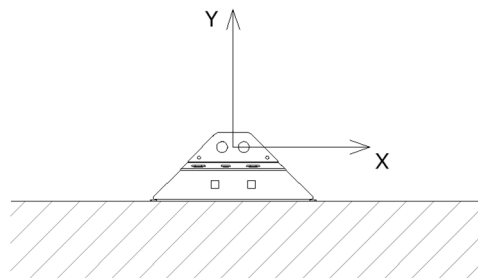


Abbildung 9: Örtliches Bezugssystem von X-RAD

3.1.1. Gleichmäßige Versuche längs Y

Es folgt eine schematische Abbildung des Versuchssetups .

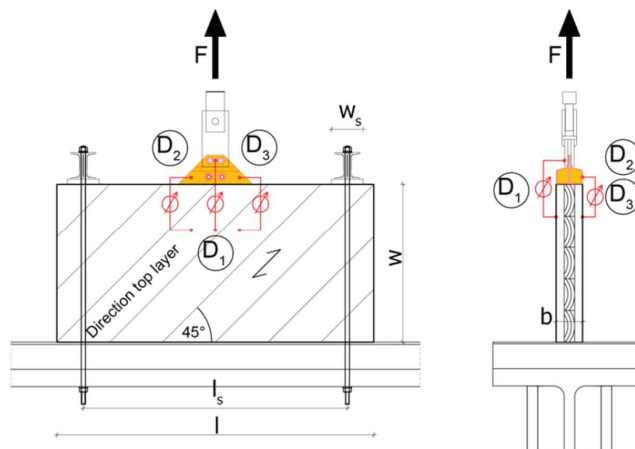


Abbildung 10 : Längs y Versuchsschema

Legende:

Direction top layer = Richtung der Oberschicht

Der Prüfbericht liefert die charakteristischen Steifigkeits- und Festigkeitswerte der Verbindung in beiden Konfigurationen.

In der nachfolgenden Abbildung sind die Kraft-Verschiebungskurven für die längs y Versuche dargestellt.

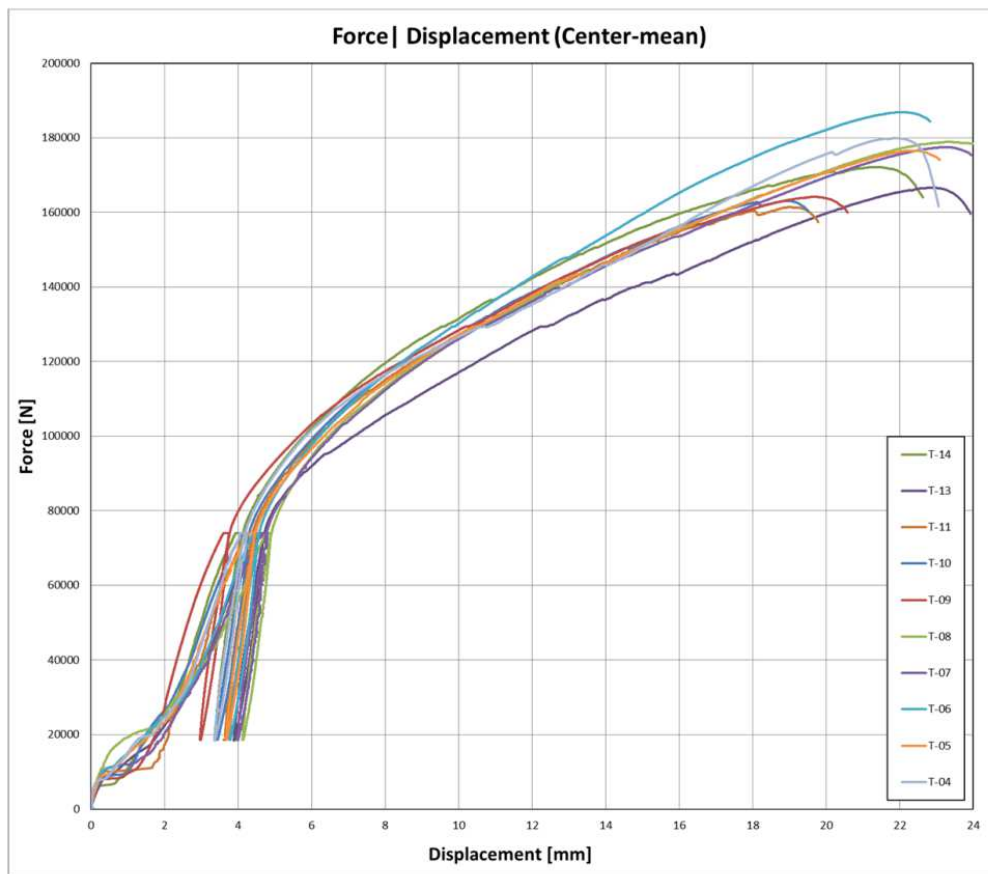


Abbildung 11: Kurven Kraftverschiebung bei den längs Y Versuchen

Legende:

Force | Displacement (Center Man) = Kraftverschiebung (Mittel- Durchschnittswert)

Force = Kraft

Displacement (mm)= Verschiebung

3.1.2. Gleichmäßige längs X Versuche

Es wird ein schematische Bild des Versuchssetups gezeigt.

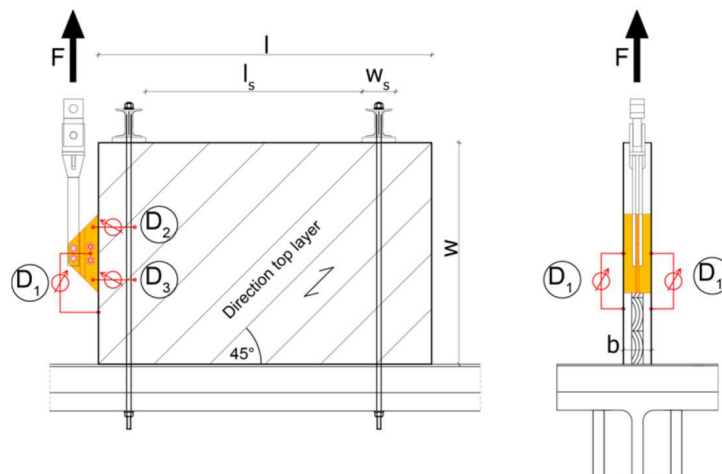


Abbildung 12 : Längs X Versuchsschema

Legende: Direction top layer =Richtung Oberschicht

Der Versuchsbericht liefert die charakteristischen Steifigkeits- und Festigkeitswerte der Verbindung. In der nachstehenden Abbildung sind die Kraft-Verschiebungskurven für die längs x Versuche dargestellt.

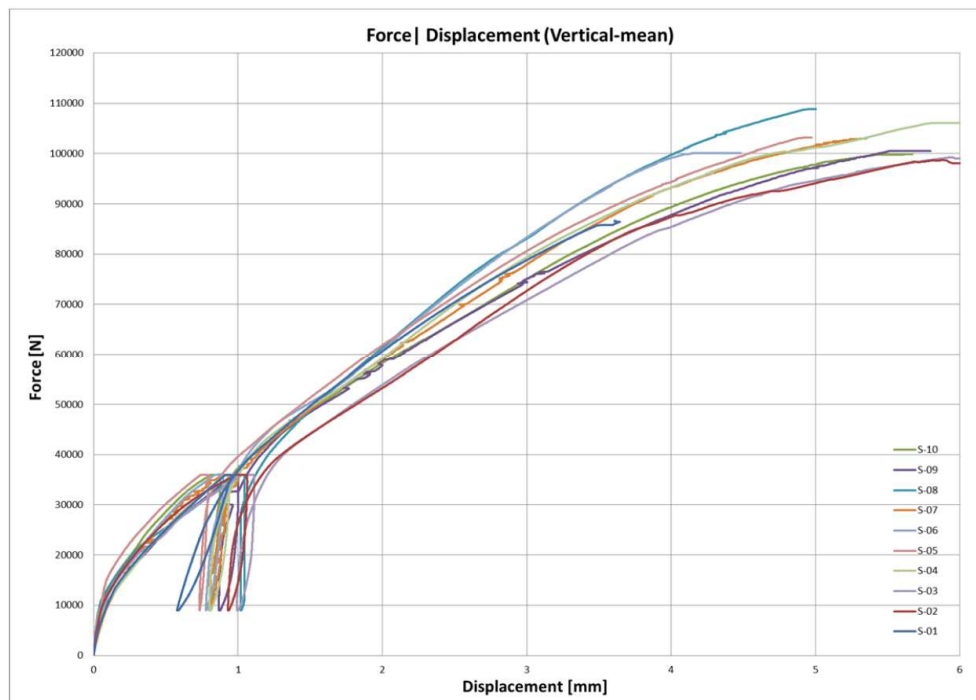


Abbildung 13 8: Kraftverschiebungskurven bei den längs x Versuchen

Legende:

Force Displacement = Kraftverschiebung (senkrecht-mittel)

Force = Kraft

Displacement = Verschiebung

3.2. Im CNR-IVALSA ZENTRUM (San Michele A.A.) durchgeführte Versuche

In den Labors des CNR-IVALSA Zentrums von di San Michele All'Adige wurden folgende Versuche durchgeführt:

- **Abzugsversuche an Vollgewindeschrauben:** die Versuche verfolgten das Ziel, die verschiedenen in unterschiedliche Hartholzarten eingesetzten Typen von VGS Vollgewindeschrauben zu testen, um die für die Verwendung im Inneren der Verbindung am besten geeignete Kombination Schraube-Holz zu ermitteln und somit die für das mechanische Verhalten optimale Holzart zu kennzeichnen.
- **Gleichmäßige und zyklische Versuche an der X-ONE Verbindung:** diese Versuche wurden in verschiedenen Entwicklungsphasen des Systems (vom Prototyp bis zur endgültigen

Ausführung) durchgeführt, um Geometrien und mechanisches Verhalten zu optimieren. Die zyklischen Versuche längs x und längs y wurden in Übereinstimmung mit der Vorschrift EN 12512 durchgeführt.

3.2.1. Zyklische Versuche längs y

Es folgt eine Darstellung der Versuchsgeometrie.

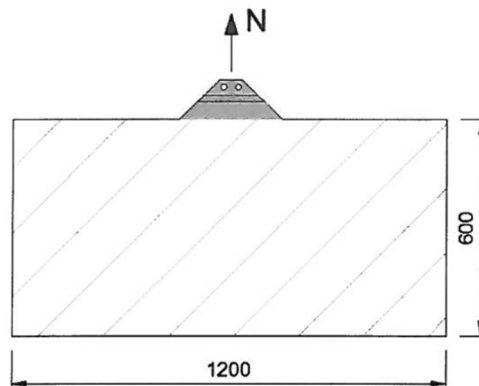


Abbildung 14 : Prüfschema längs Y

Der Versuchsbericht liefert Festigkeiten, Verschiebungen und Duktilität.

Abbildung 15 : Die interessantesten Ergebnisse der längs y Versuche

Als Beispiel wird eine Kurve Kraft-Verschiebung dargestellt.

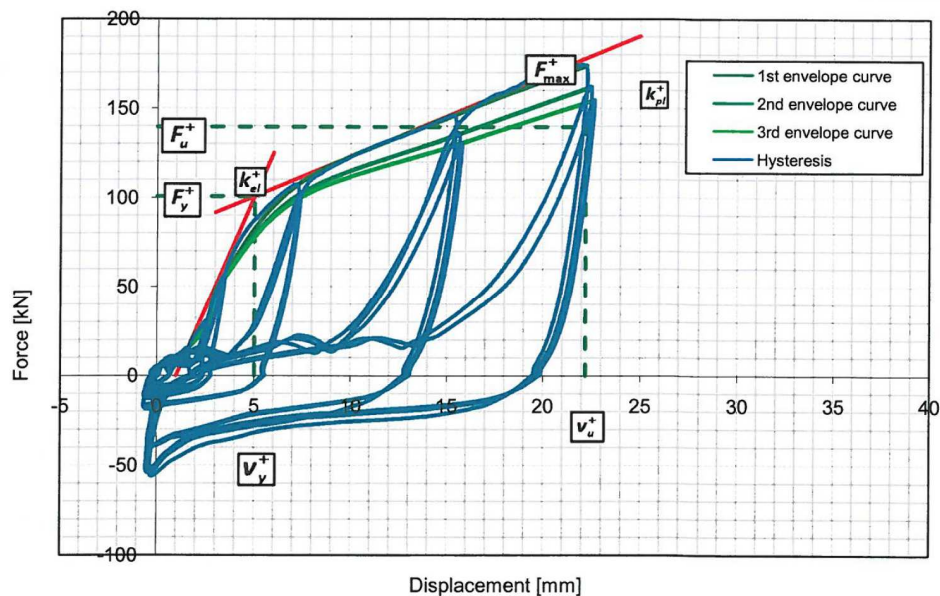


Abbildung 16: Diagramm Kraftverschiebung für einen der längs y Versuche

Legende:

envelope curve = Hüllkurve

hysteresis = Hysterese

Force = Kraft

Displacement = Verschiebung

3.2.2. Zyklische Versuche längs y

Es folgt eine Darstellung der Versuchsgeometrie.

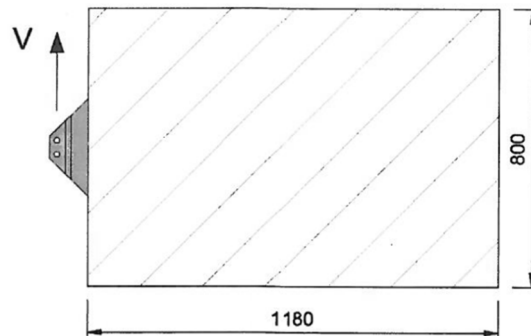


Abbildung 17: Längs x Versuchsschema

Der Versuchsbericht liefert Festigkeiten, Verschiebungen und Duktilität.

Als Beispiel wird eine Kurve Kraft-Verschiebung dargestellt.

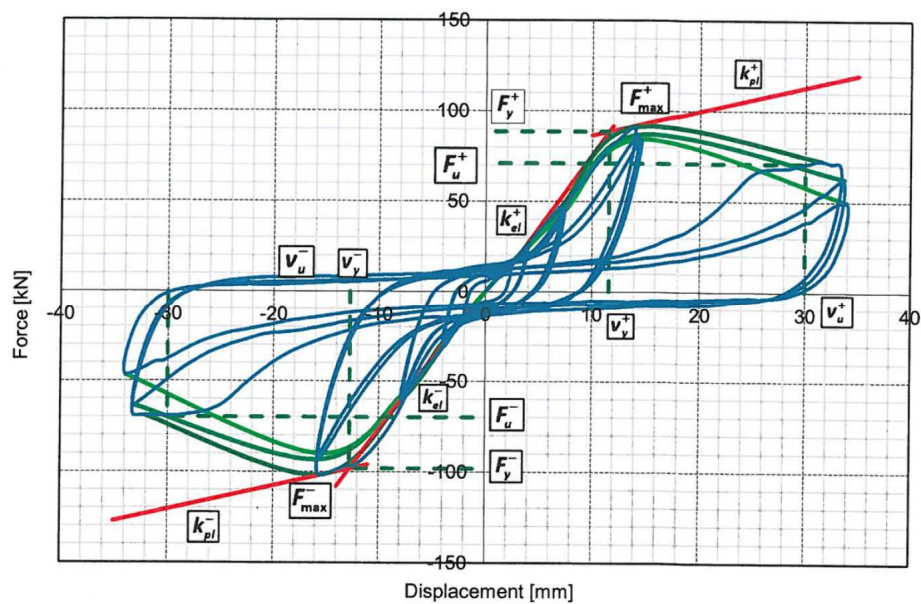


Abbildung 18: Kräfteverschiebungsdiagramm für einen längs x Versuch:

Legende:

Displacement = Verschiebung

Force = Kraft

3.3. An der Universität Trient durchgeführte Versuche

An der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften und Mechanik der Universität Trient wurden drei Versuche an zwei aus CLT Wänden bestehenden und mit dem X-RAD System verbundenen Proben durchgeführt. Die Tests bezogen sich auf 2 unterschiedliche Konfigurationen. Die erste besteht aus einer an den Ecken mit zwei X-RAD Bauteilen ausgestatteten CLT Wand; die zweite Konfiguration setzt sich aus vier CLT Bauteilen zusammen, die an den vier Ecken mit X-RAD Verbindungen verbunden sind.

3.3.1. Versuche mit einzelnen Platten

Es wird eine Abbildung des Versuchsset-up gezeigt, in welchem die 250 cm x 250 cm messende Wand mit X-RAD am Boden befestigt ist und am Gipfel d mittels einer Öldruckwinde eine Verschiebung vorgenommen wurde. Die senkrechte Last von 20 kN/m² an der Wand wurde mit einem Hebelsystem aufgebracht. In dieser Konfiguration wurden an der Probe zwei Versuche durchgeführt: ein gleichmäßiger und ein zyklischer Versuch.

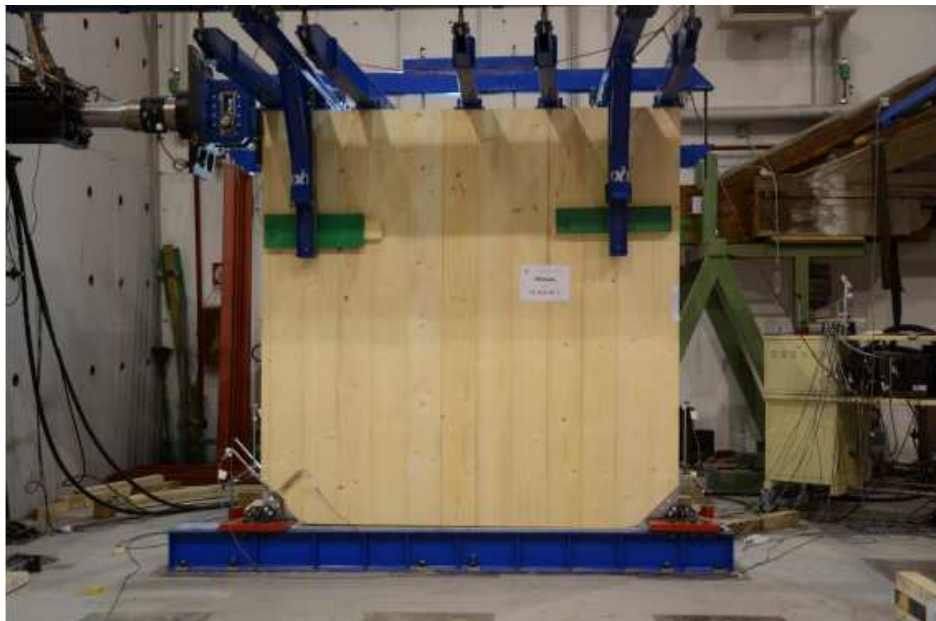


Abbildung 19: Versuchssetup für eine einzelne Platte

Es werden die Diagramme Kraft-Verschiebung an der Winde gezeigt.

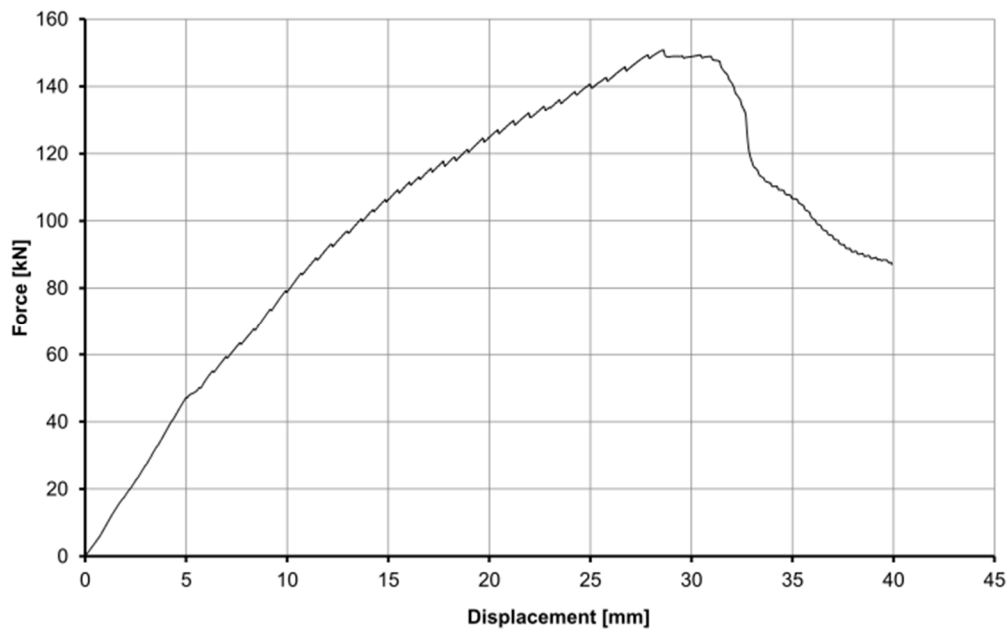


Abbildung 20: Diagramm Kräfteverschiebung für den gleichmäßigen Versuch

Legende:

Force = Kraft

Displacement = Verschiebung

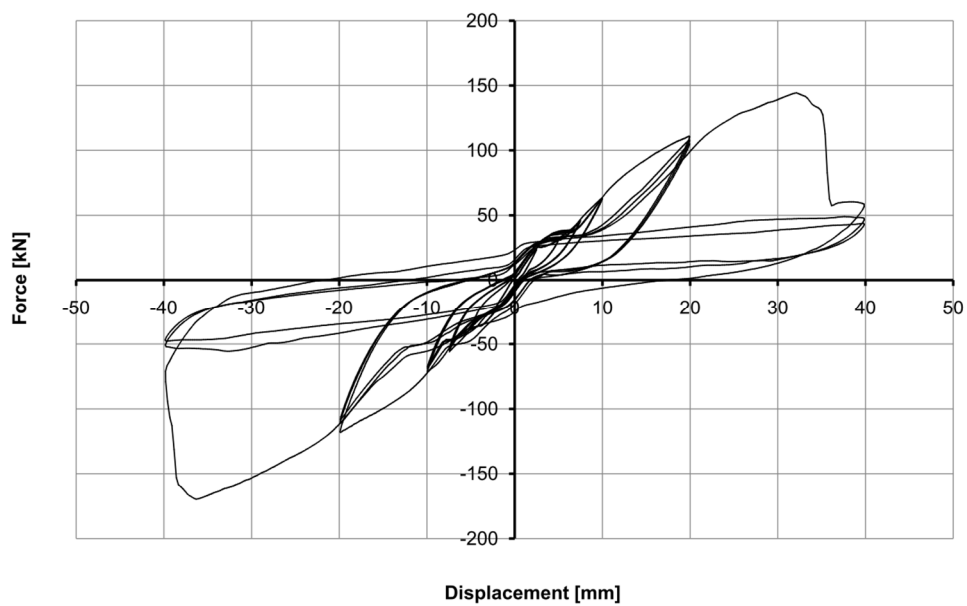


Abbildung 21: Kräfteverschiebungsdiagramm für den zyklischen Versuch

Legende:

Force = Kraft

Displacement = Verschiebung

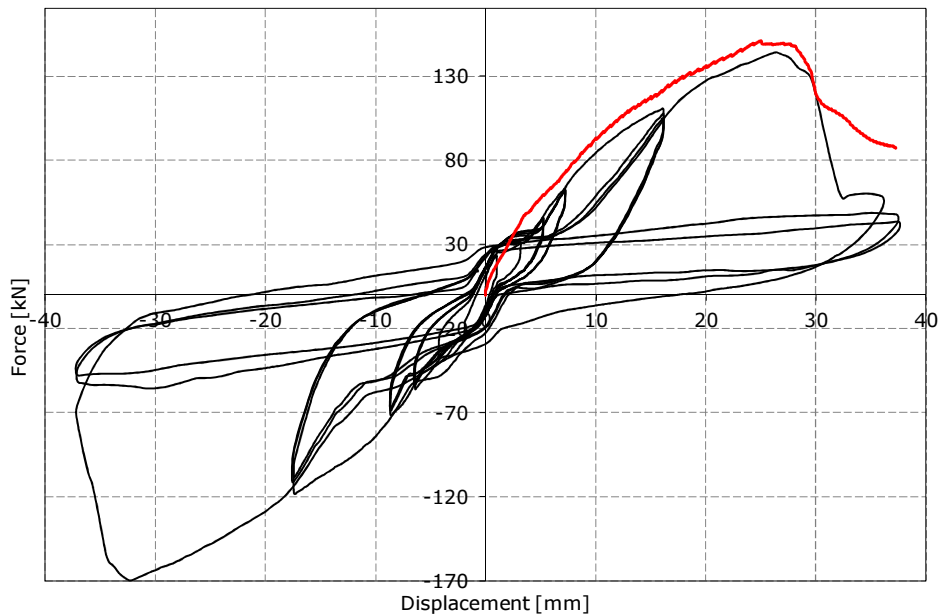


Abbildung 22 Überlagerung der Kräfteverschiebungsdiagramme

Legende:

Force = Kraft

Displacement = Verschiebung

3.3.2. Versuche mit Verbundplatten

Es wird eine Abbildung des Versuchssetups gezeigt, in welchem die Wand in vier jeweils 125 cm x 125 cm messende Platten unterteilt wurde, welche wechselseitig mit X-RAD Verbindungen verbunden sind. Wie bei den vorherigen Versuchen erfolgte die Verschiebung mit Hilfe einer Öldruckwinde. Die senkrechte Last von 20 kN/m² wurde mit einem Hebelsystem an der Wand aufgebracht, welches in der Lage ist, die senkrechte Last während des Versuchs konstant zu halten. In dieser Konfiguration wurde ein zyklischer Versuch an der Probe durchgeführt.

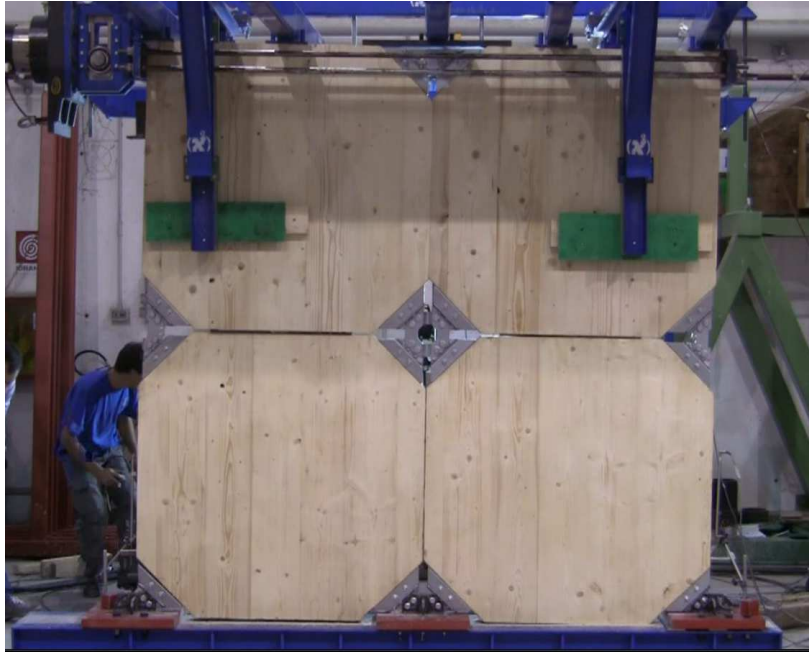


Abbildung 23: Versuchssetup für eine 4-teilige Platte

3.4. FEM Analysen

Zum besseren Verständnis der verschiedenen inneren Mechanismen, welche das gesamte Verhalten der Verbindung beeinflussen und um Informationen über das Verhalten der Verbindung zu gewinnen, welche Verschiebungen in verschiedenen Richtungen ausgesetzt ist, wurde an der Verbindung eine Reihe von FEM Simulationen durchgeführt.

Das FEM Modell wurde anhand der im CNR-IVALSA Zentrum in den beiden Richtungen X und Y durchgeführten Versuchen geeicht. Es wird eine Abbildung des FEM Modells gezeigt.

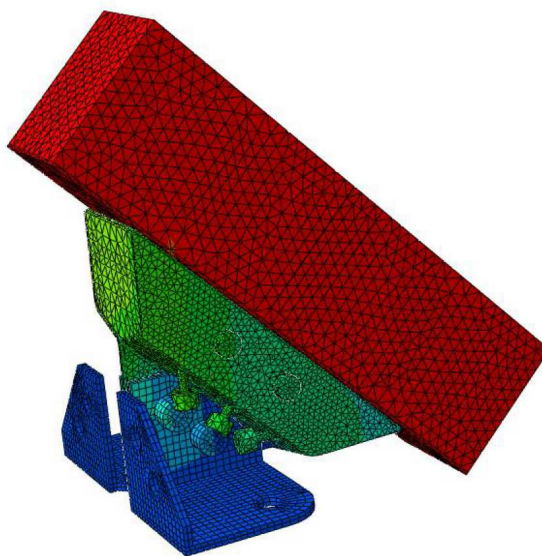


Abbildung 24: Ansicht des FEM Modells

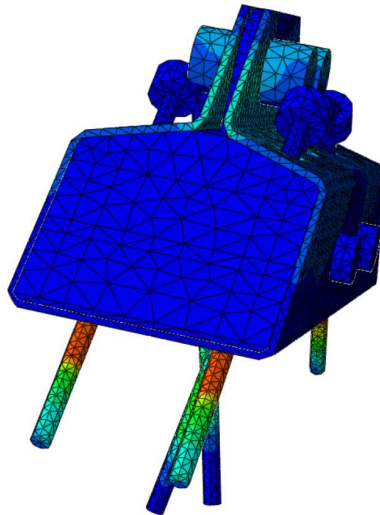


Abbildung 25: Ansicht des FEM Modells

3.4.1. Analysefälle

Es wurden 11 Simulationen durchgeführt und zwar eine jede in einer anderen Aufbringrichtung der Verschiebung. Es wurden folglich 11 push-over Analysen unter Aufbringen einer Verschiebung längs der in der Abbildung dargestellten Richtungen durchgeführt.

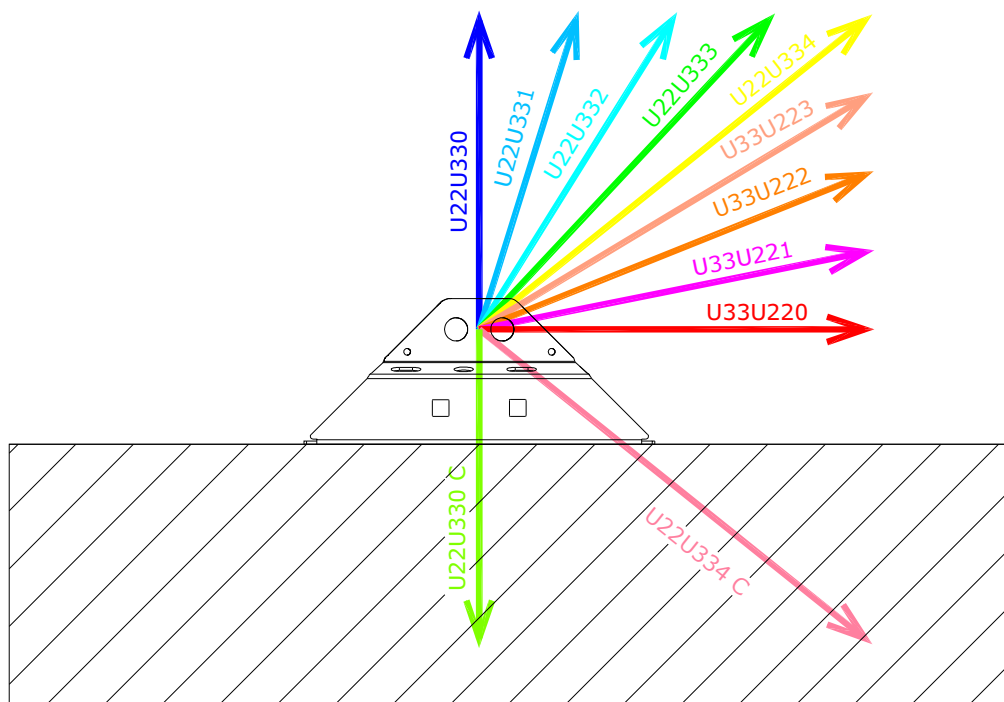
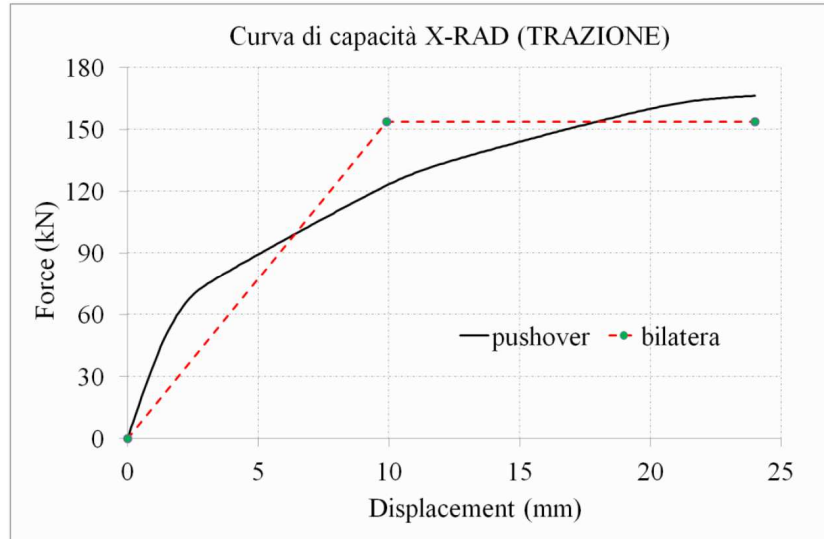


Abbildung 26: Auf das FEM Modell angewandte Verschiebungsvektoren

3.4.2. Wichtigste Ergebnisse

Für jede Simulation wurde, wie nachstehend gezeigt, ein Kräfteverschiebungsdiagramm (Kapazitätskurve) geplottet. Die Kapazitätskurven wurden dann mit Hilfe von bilinearen Diagrammen linearisiert.



Legende:

Curva di capacità X-RAD (TRAZIONE) = X- RAD Kapazitätskurve (ZUGKRAFT)

Force (kN) = Kraft

Pushover = Pushover

Bilatera= bilineares Diagramm

Displacement (mm) = Verschiebung

Abbildung 27: Beispiel einer Kapazitätskurve mit entsprechender Linearisierung

Die nachstehende Tabelle zeigt für jede Analyse:

- F_{max} , entspricht der aus der Kapazitätskurve gewonnenen maximalen Festigkeit;
- u_{max} , entspricht der maximalen Verschiebung der Kapazitätskurve;
- F_y , entspricht der Fließverschiebung des bilinearen Diagramms;
- u_y , entspricht der Fließverschiebung der bilinearen Diagramms;
- k_y , entspricht der elastischen Steifigkeit des bilinearen Diagramms;
- D entspricht der Duktilität des bilinearen Diagramms.

PARAMETRI DELLE BILATERE							
	Prova numerica	F_{max}	u_{max}	F_y	u_y	k_y	D
		kN	mm	kN	mm	kN/mm	-
Prev. Trazione	U22U330	166,22	24,00	153,62	9,91	15,50	2,42
	U22U331	161,66	25,14	153,62	10,68	14,38	2,35
	U22U332	151,71	28,30	153,62	12,81	11,99	2,21
	U22U333	136,23	32,89	126,14	9,55	13,21	3,44
	U22U334	126,18	38,42	117,54	9,43	12,46	4,07
Prev. Taglio	U33U223	118,78	30,02	109,27	8,75	12,49	3,43
	U33U222	116,90	32,31	108,50	9,90	10,96	3,26
	U33U221	110,92	30,59	103,06	9,62	10,71	3,18
	U33U220	104,99	30,00	99,47	10,09	9,86	2,97
Prev. Compr.	U22U334 C	233,63	38,42	209,75	6,24	33,62	-
	U22U330 C	247,26	24,00	225,85	5,24	43,08	-

Legende:

Parametri delle bilatere = Kennwerte der bilinearen Diagramme

Prova numerica = numerischer Versuch

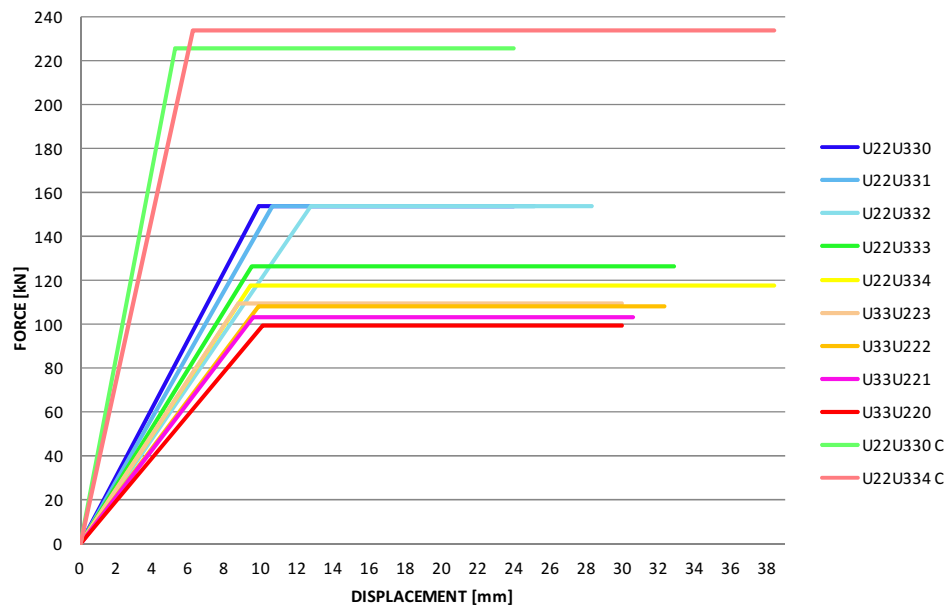
Prev. Trazione = erwartete Zugkraft

Prev. taglio = erwarteter Scherwert

Prev. compr. = erwarteter Druck

Abbildung 28: Kennwerte der bilinearen Diagramme

Die nachstehende Abbildung zeigt die verschiedenen bilinearen Diagramme mit den dazugehörigen Kennwerten.



Legende:

Force = Kraft

Displacement = Verschiebung

Abbildung 29: Bilineare Diagramme

Aus den FEM Modellen ergeben sich die maximalen Festigkeitswerte der beiden Belastungsbauteile; die nachstehende Tabelle zeigt die entsprechenden Werte.

	Fx [kN]	Fy [kN]
U22U330	0,00	166,22
U22U331	13,19	161,43
U22U332	29,93	149,79
U22U333	51,52	126,24
U22U334	80,86	97,02
U33U223	90,24	77,24
U33U222	99,83	60,83
U33U221	103,92	38,76
U33U220	104,99	0,00
U22U334 C	110,55	-205,82
U22U330 C	0,00	-247,26

Abbildung 30: Hochrechnung der maximalen Festigkeiten auf x-y Ebene

In der Abbildung ist das x-y Bezugssystem dargestellt.

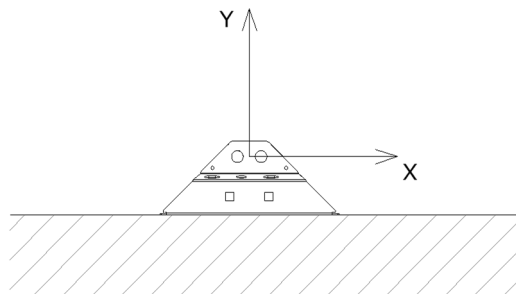


Abbildung 31: Örtliches X-RAD Bezugssystem

Hier war es möglich die repräsentativen Punkte der verschiedenen Simulationen auf x-y Ebene grafisch darzustellen.

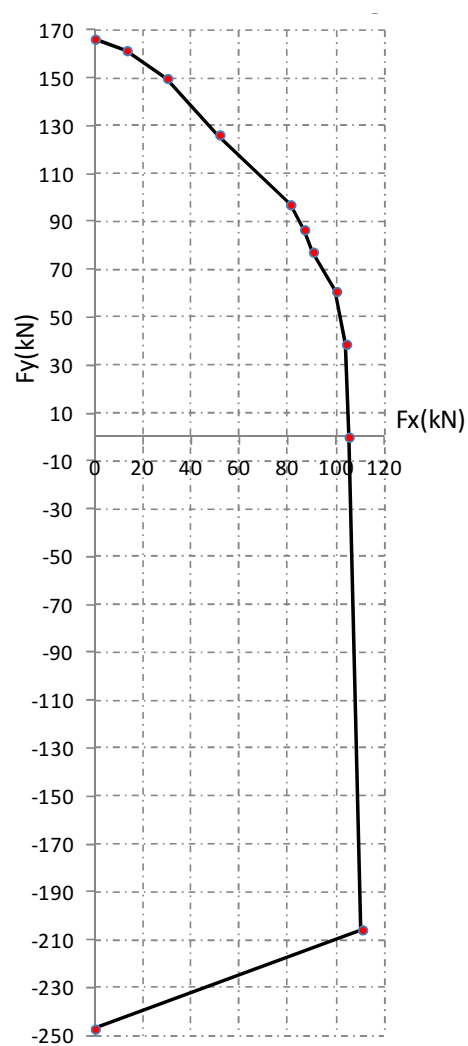


Abbildung 32: Aus den FEM Simulationen gewonnene Scheren-Zugkraft Interaktionsdomäne

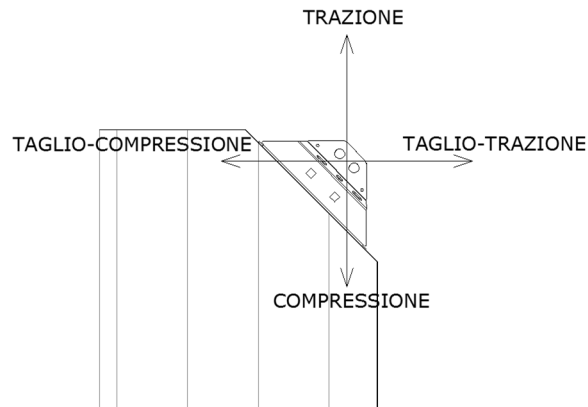
4. STUDIE DER VERSCHIEDENEN BEANSPRUCHUNGSVERHÄLTNISSE

Ausgehend von den aus den Laborversuchen und den FEM Analysen gewonnenen Ergebnissen wird eine Studie des Verhaltens der Verbindung in den verschiedenen Beanspruchungszuständen gezeigt.

4.1. Koordinatensysteme und Definitionen

Im Rahmen dieser Abhandlung wird ein konventionelles Bezugssystem angewandt, in welchem die Beanspruchungen auf X-RAD wie folgt bestimmt werden:

- ZUGKRAFT: ist eine längs der positiven Z Achse senkrecht verlaufende Kraft, die dazu neigt, die Vollgewindeschrauben unter Druck zu setzen.
- DRUCK: ist eine längs der negativen Z Achse senkrecht verlaufende Kraft, die dazu neigt, die Vollgewindeschrauben unter Druck zu setzen.
- SCHERWERT-ZUGKRAFT: ist eine längs der positiven X Achse verlaufende waagrechte Kraft, die dazu neigt, die Vollgewindeschrauben unter Druck zu setzen.
- SCHERWERT-DRUCK: ist eine längs der negativen X Achse verlaufende waagrechte Kraft, die dazu neigt, die Vollgewindeschrauben unter Druck zu setzen.



Legende:

Trazione = Zugkraft

Taglio - Compressione = Scheren - Druck

taglio-trazione = Scheren - Zugkraft

Compressione = Druck

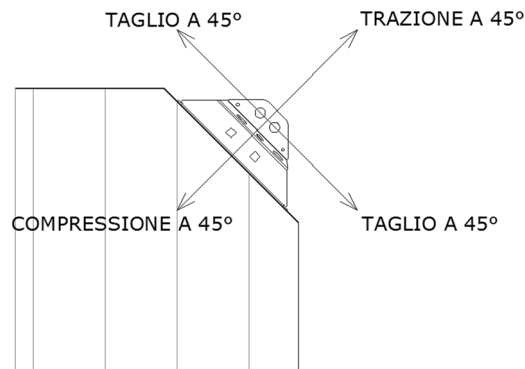
Abbildung 33: Beanspruchungen von X-RAD im Bezugssystem der CLT Wand

In Anbetracht der Systemsymmetrie können folgende Beobachtungen angestellt werden:

- Für PX-RAD entspricht die Beanspruchung durch Zugkraft der Beanspruchung durch Scheren-Zugkraft.

- Für X-RAD entspricht die Beanspruchung durch Druck der Beanspruchung durch Scheren-Druck.

Außer den soeben gesehenen vier Beanspruchungen müssen weitere vier wie folgt bezeichnete Beanspruchungen bestimmt werden.



Legende:

Taglio a 45° = Scheren bei 45°

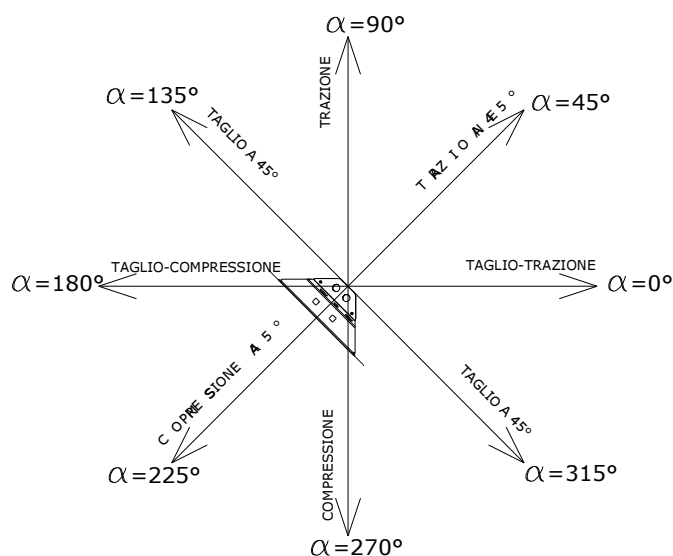
Trazione a 45° = Zugkraft bei 45°

Compressione a 45° = Druck bei 45°

Abbildung 34: X-RAD Beanspruchungen im Bezugssystem der CLT Wand

Es wird hervorgehoben, dass die Scherbeanspruchungen bei 45° sowie die Beanspruchungen durch Zugkraft bei 45° jeweils den im Labor getesteten Richtungen X und Y entsprechen.

In dem Bezugssystem der CLT Wand weisen die soeben betrachteten acht Beanspruchungen folgende Neigungswinkel auf, wenn man von der X Achse ausgehend die Winkel in entgegengesetzter Uhrzeigerrichtung misst.



Legende:

Trazione = Zugkraft

Trazione a 45° = Zugkraft bei 45°

Taglio - Trazione = Scheren-Zugkraft

Taglio a 45° = Scheren bei 45°

Compressione = Druck

Compressione a 45° = Druck bei 45°

Taglio - Compressione = Scheren-Druck

Abbildung 35: X-RAD Beanspruchungen im Bezugssystem der CLT Wand

4.2. Zusammenfassung der zur Zeit verfügbaren experimentellen Daten

Wie aus den vorhergehenden Kapiteln hervorgeht, wurden an der einzelnen Verbindung zahlreiche Versuche durchgeführt; daher werden die signifikantesten Ergebnisse wie folgt zusammengefasst:

Beanspruchung	Winkel	Anmerkungen	F _k [kN]	F _{min} [kN]	F _{mean} [kN]	F _{max} [kN]	K _{s,mean} [kN/mm]
Zugkraft	0°	Gleichmäßig	-	119,0	129,0	143,1	11,8
Zugkraft bei 45°	45°	Gleichmäßig	141,0	140,6	151,7	160,4	21,0
		Zyklisch	-	162,5	171,2	180,0	23,6
Reine Zugkraft	90°	Gleichmäßig	-	119,0	122,0	127,5	11,8
Scherwert a 45°	135°	Gleichmäßig	97,0	101,0	107,5	114,9	33,0
		Zyklisch	-	101,9**	108,9**	126,1**	9,0**
Scherwert-Druck	180°	Gleichmäßig	-	168,9	185,9	199,4	13,4
Druck bei 45°	225°	Gemischt ***	.	207,7	254,1	289,7	23,0
Reiner Druck	270°	Gleichmäßig	-	168,9	181,3	199,4	13,4
Scherwert bei 45°	315	Gleichmäßig	97	101,0	107,5	114,9	33,2
		Zyklisch	-	101,9**	108,9**	126,1**	9,0**

Abbildung 36: Zusammenfassung der an der Verbindung durchgeführten Versuche

* Die Druckversuche bei 45° wurden bei Erreichen der Höchstbelastung der Öldruckwinde abgebrochen; der Verlauf des Versuchs auf Kraft-Druckverschiebungsebene ist bis zu diesem Punkt fast linear. Dies lässt vermuten, dass die tatsächliche Festigkeit der Verbindung sehr viel höher ist als die durch die Versuche ermittelten Werte.

4.3. Bruchmodalitäten der Verbindung

Wie wir gesehen haben, setzt sich das X-RAD Verbindungssystem aus einer Vielfalt von Grundbauteilen zusammen, wie:

- 6 mittig und durch Scheren belastete VGS Vollgewindeschrauben, welche die Holz-Holz Verbindung zwischen CLT und dem LVL Kern von X-ONE herstellen;
- ein durch orthogonalen Druck an der Faser und durch Stauchen der inneren Durchsteckschrauben beanspruchter LVL Einsatz ;
- 2 innere Durchsteckschrauben, welche die Platte innerhalb des LVL Einsatzes verbinden und eine Scherverbindung Holz-Stahl-Holz herstellen;

- ein äußeres Metallgehäuse, welches den LVL Einsatz umhüllt , der hauptsächlich durch Stauchen an den Durchsteckschrauben zur Verbindung an die äußere Platte beansprucht wird;
- eine Innenplatte, welche mittels 2 äußeren Durchsteckschrauben mit der Außenplatte und dem Metallgehäuse verbunden ist;
- 2 äußere Durchsteckschrauben, welche die Verbindung zwischen der äußeren Platte, der inneren Platte sowie mit dem gebogenen Blech herstellen;
- eine Serie äußerer X-PLATE Platten, welche die Fixierung am Boden oder die wechselseitigen Fixierungen zwischen Verbindungen gestattet. Die äußeren Platten sind nicht Gegenstand dieser Studie.

Nachstehend werden einige Abbildungen der Bauteile gezeigt.

Legende:

Steel plate =Stahlplatte

Dowel = Dübel

Steelement = Stahlelement

Beech Core =Buchenkern

Positioning Holes = Positionierlöcher

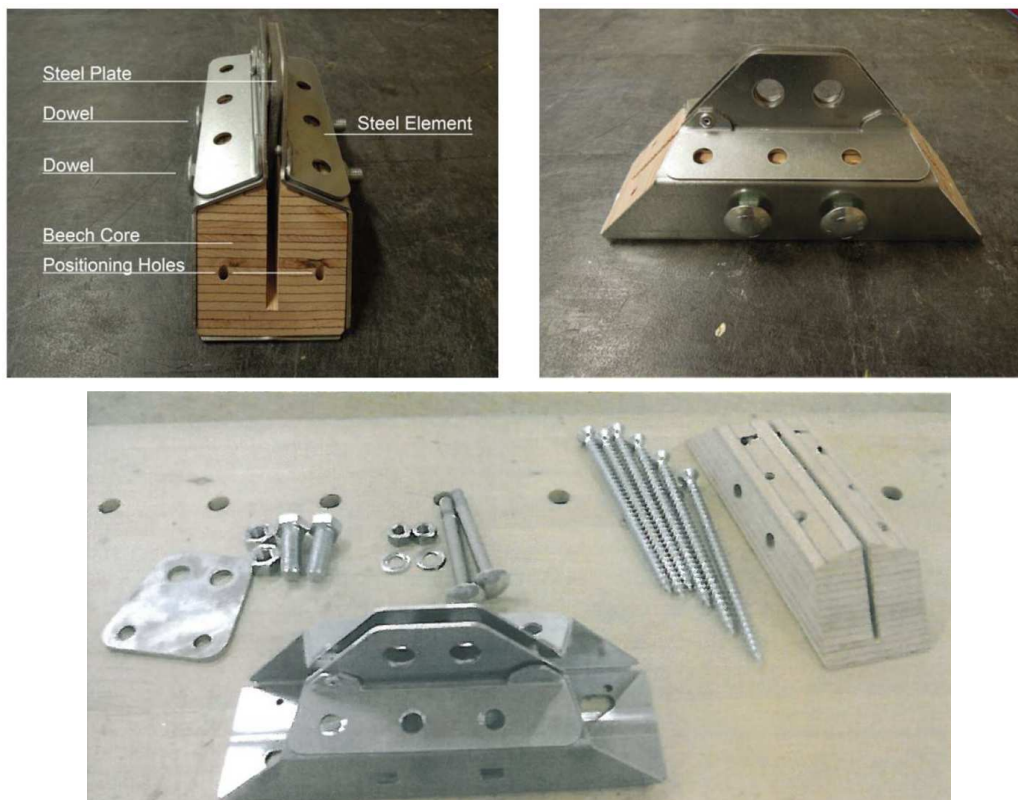


Abbildung 37: Bauteile des X-RAD Systems

Wenn man die verschiedenen festen Mechanismen untersucht, ergeben sich mindestens drei elementare Verbindungen:

- Holz-Holz Verbindung mittels Vollgewindeschrauben. Diese Verbindung kann ihrerseits mit verschiedenen Bruchmodalitäten zusammenbrechen, wie:
 - a) Scherbruch der Schrauben;
 - b) Bruch infolge von Abziehen des Schraubengewindes aus der CLT Platte;
 - c) Bruch infolge von Abziehen des Schraubengewindes aus dem LVL Einsatz
- verschraubte Verbindung Holz-Stahl-Holz zwischen der inneren Platte und LVL. Diese Verbindung kann ihrerseits mit verschiedenen Bruchmodalitäten zusammenbrechen, wie
 - a) holzseitiger Bruch der Scherverbindung Durchsteckschraube-LVL;
 - b) Bruch der Platte aufgrund von Stauchen an den Durchsteckschrauben;
- verschraubte Stahl-Stahl Verbindung . Diese Verbindung kann ihrerseits mit verschiedenen Bruchmodalitäten zusammenbrechen, wie:
 - c) Bruch aufgrund von Stauchen der Durchsteckschrauben;
 - d) Bruch aufgrund von "block-tearing".

Die Prototypisierungsphase der Verbindung hat es jedoch gestattet, einigen Bruchmodalitäten eine Überfestigkeit zu verleihen, um die möglichen Brüche genau auf einige Punkte zu konzentrieren, wie:

- Schneiden der Schrauben in der Holz-Holz Verbindung mittels Vollgewindeschrauben;
- "block tearing" des Metallgehäuses und der Innenplatte in der Verbindung Metallgehäuse + innere Platte/äußere Platte.

Es ist wichtig, die Bruchmodalität der einer allgemeinen Beanspruchung ausgesetzten Verbindung festzulegen, denn der Entwickler wird den geeigneten Sicherheitskoeffizienten definieren müssen . Die Laborversuche bestätigen die vorstehenden Überlegungen, denn der Bruch erfolgt mit den in den nachfolgenden Abschnitten aufgeführten Modalitäten. Zum besseren Verständnis wird eine Abbildung mit Definition der verschiedenen Beanspruchungen gezeigt.

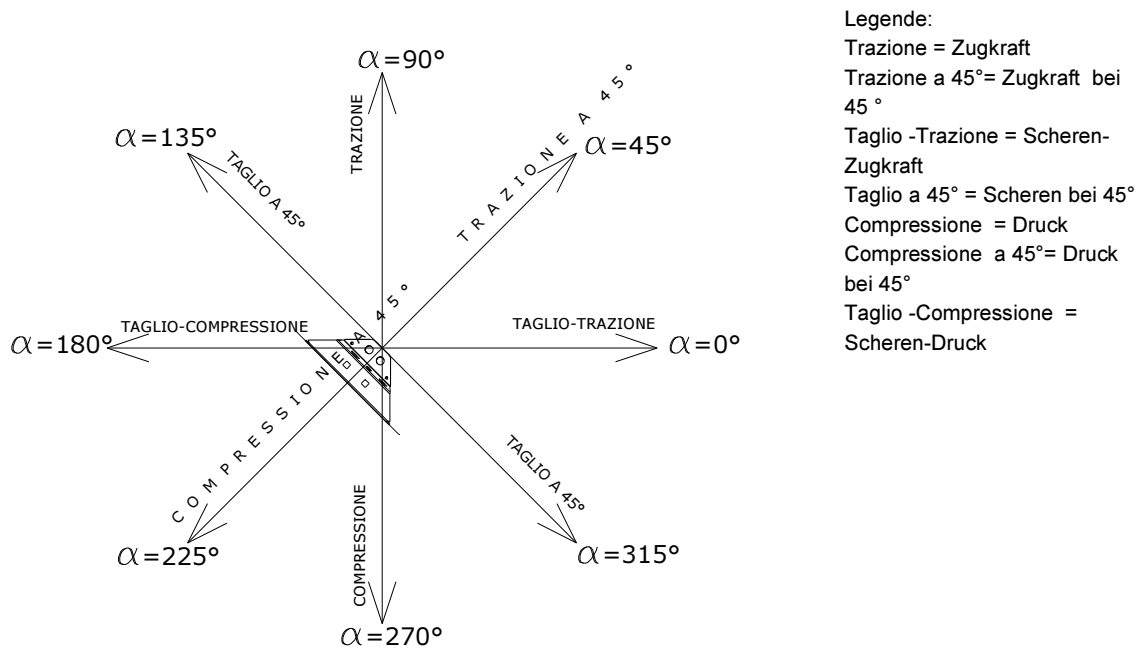


Abbildung 38: X-RAD Beanspruchungen im Bezugssystem der CLT Wand

4.3.1. Scherkraft-Zugkraft ($\alpha=0^\circ$)

Der Bruch erfolgt durch Zugkraft (Schneiden) der VGS Schrauben, der Bruchmechanismus greift folglich stahlseitig.

4.3.2. Zugkraft bei 45° ($\alpha=45^\circ$)

Der Bruch erfolgt durch block-tearing der Platten auf die $\varnothing 16$ Durchsteckschrauben. Insbesondere ergibt sich der gleichzeitige Bruch der inneren Platte und des Metallgehäuses. Der Bruch betrifft folglich stahlseitig einen beständigen Mechanismus.



Abbildung 49: Bruch durch block-tearing an den $\varnothing 16$ Durchsteckschrauben

4.3.3. Zugkraft ($\alpha=90^\circ$)

Die Konfiguration entspricht der Scher-Zugkraft Beanspruchung ($\alpha=0^\circ$). Es gelten folglich die vorstehenden Überlegungen mit stahlseitigem Bruch an den Schrauben.

4.3.4. Scheren bei 45° ($\alpha=135^\circ$ oder $\alpha=315^\circ$)

Der Bruch erfolgt durch die Zugkraft der einer Axialwirkung ausgesetzten Schrauben. Der Bruchmechanismus befindet sich demnach stahlseitig.

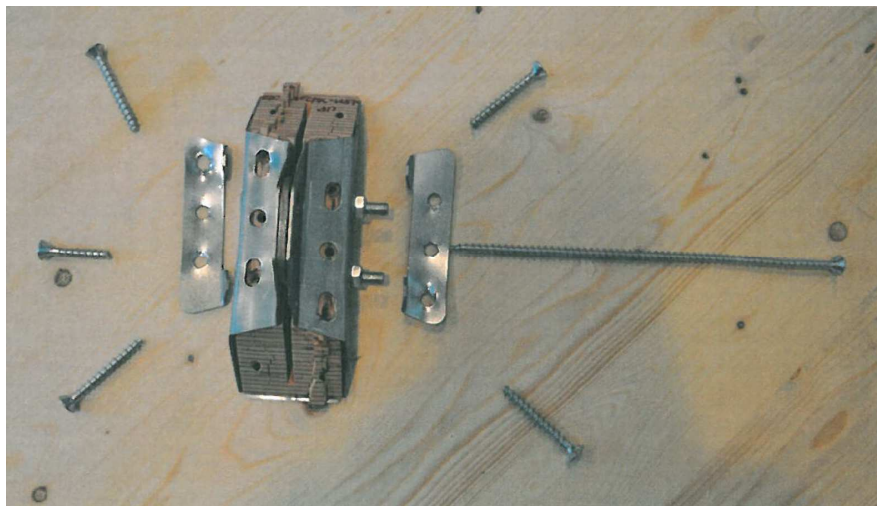


Abbildung 40: Durch Scheren bei 45° herbeigeführter Bruch von X-RAD - das Schneiden der Schrauben beachten.

4.3.5. Scheren-Druck ($\alpha=180^\circ$)

In diesem Fall erfolgt der Bruch mit Mechanismen, welche sich von Versuch zu Versuch ändern können:

- Bruch durch Zugkraft an den gespannten Schrauben (folglich mit stahlseitigem Schneidemechanismus) ;
- Bruch infolge von Abziehen des Schraubengewindes (folglich mit holzseitigem Mechanismus).
- Bruch infolge von Abziehen eines Holzkeils mit Splittingwirkung an der CLT Platte (folglich mit holzseitigem Mechanismus).

Aus Sicherheitsgründen wird daher angenommen, dass diese Versuche unter Einsatz des entsprechenden Sicherheitskoeffizienten einen holzseitigen Bruch aufweisen.

4.3.6. Druck bei 45° ($\alpha=225^\circ$)

Der Bruch erfolgt durch Druck des Holzes mit eventuellem Bruch durch Abziehen des Gewindes im LVL. Der Bruchmechanismus liegt folglich holzseitig.

4.3.7. Druck ($\alpha=270^\circ$)

Die Konfiguration stimmt mit der Beanspruchung durch Scheren-Druck ($\alpha=180^\circ$) überein. Es gelten also bei holzseitigem Bruch die vorstehenden Erwägungen.

4.4. Bruchberechnung

Zur zusätzlichen Erweiterung der Untersuchung des mechanischen Verhaltens der Verbindung wurde eine analytische Berechnung angestellt und zwar ausgehend von den experimentellen Analysen und mit analytischer Rückwärtskonstruktion der in Übereinstimmung mit vereinfachten statischen Schemen erhaltenen Ergebnisse. Die Berechnung erfolgte in Übereinstimmung mit dem statischen Lehrsatz der Grenzwertanalyse, die eine Unterschätzung (also aus Sicherheitsgründen) der Bruchbelastung der Verbindung gestattet. Nach dem statischen Lehrsatz kommt es nicht zum Zusammenbruch der Struktur unter einem Lastensystem, in welchem:

- im Gleichgewicht mit den Lasten eine Menge von inneren Wirkungen vorhanden ist.
- sich diese inneren Wirkungen innerhalb des Zulässigkeitsbereichs befinden, das heißt, dass sie mit der Festigkeit der Strukturelemente kompatibel sind.

Die Ermittlung der zu untersuchenden Gleichgewichtskonfiguration kann ausgehend von der Beobachtung der experimentellen Bruchmodalitäten erfolgen, so dass an der experimentellen Bruchmodalität eine gezielte Bruchberechnung durchgeführt werden kann.

Wie wir bereits gesehen haben, betreffen die Bruchmechanismen die VGS Schrauben oder die Stahlplatten mit block-tearing Mechanismen.

Nachstehend werden die in den verschiedenen Belastungskonfigurationen angenommenen Grenzschemen ¹ aufgeführt.

4.4.1. Scheren - Zugkraft ($\alpha=0^\circ$)

Bei Beobachtung der zum Bruch geführten Proben, wird eine Bruch der Schrauben festgestellt. Das für die Berechnung des Bruchs angenommene Grenzschemata ist in der Abbildung dargestellt.

¹ Die angenommenen Grenzschemen mögen in einigen Fällen gewagt erscheinen, verfolgen aber den alleinigen Zweck des Versuchs einer analytischen Rechtfertigung des in der experimentellen Phase hervorgehobenen mechanischen Verhaltens.

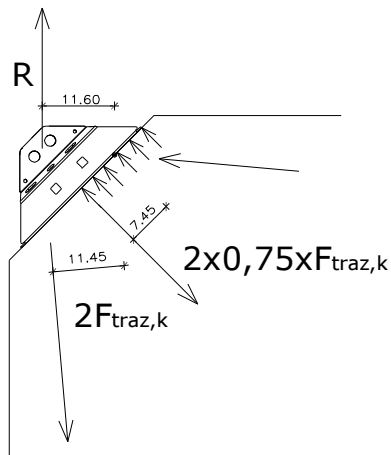


Abbildung 41: Grenzscheema für Scheren-Zugkraft

$$R_{u,k} = 111,6 \text{ kN}$$

Legende:

traz = Zugkraft

4.4.2. Zugkraft bei 45° ($\alpha=45^\circ$)

Bei Beobachtung der zum Bruch geführten Proben, ergeben sich zwei mögliche Bruchmodalitäten, eine schraubenseitige mit Schneiden eines VGS Schraubenpaars sowie eine stahlseitige mit Bruch aufgrund von "block tearing" der Platten, welche mit den beiden Ø16 Durchsteckschrauben zusammengefügt sind.

STAHLSEITIGER BRUCH

Das für die Berechnung des Bruchs verwendete Grenzscheema ist in der Abbildung dargestellt.

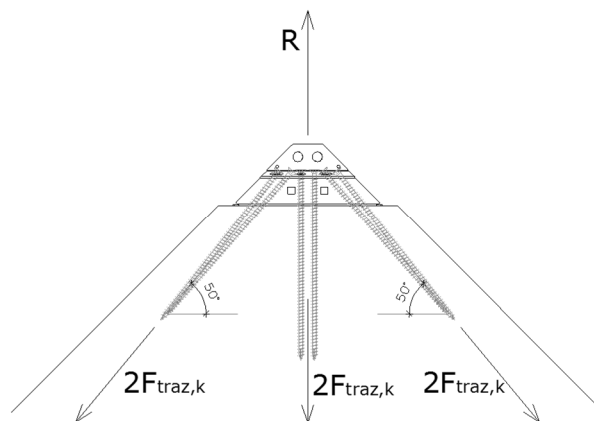


Abbildung 42: Grenzscheema für die Zugkraft bei 45°

Legende:

traz = Zugkraft

Es gibt ein ungefähr zur Richtung der äußeren Kraft paralleles Schraubenpaar, während sich die beiden anderen Schraubenpaare ungefähr bei 50° zur äußeren Kraft befinden. Beim Bruch werden in der Annahme einer vollkommenen Plastizität die 3 Schraubenpaare durch die Höchstlast beansprucht und zwar mit:

$$R_{u,k} = 192,4 \text{ kN}$$

STAHLSEITIGER BRUCH

Der Bruch erfolgt durch einen dem "block tearing" ähnlichen Mechanismus, für welchen auf Punkt 3.10.2 der UNI EN 1993-1-1 (Eurocode 3) verwiesen wird. Das für die Prüfung verwendete Schema ist in der Abbildung dargestellt.

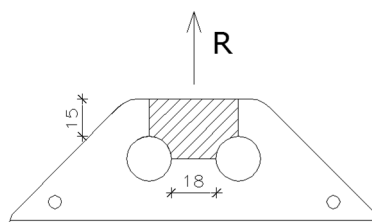


Abbildung 43 Block tearing

Bei Anwendung der passenden Koeffizienten beträgt die charakteristische Festigkeit folglich

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{410 \times 198}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{275 \times 330}{\gamma_{M0}} = \frac{81,18}{\gamma_{M2}} + \frac{852,39}{\gamma_{M0}}$$

VERBINDUNGSFESTIGKEIT

Von den soeben betrachteten Festigkeiten ist die Verbindungsfestigkeit die niedrigste. Wenn man die Sicherheitskoeffizienten $\gamma_{M0}=1,05$ und $\gamma_{M2}=1,25$ berücksichtigt, welche sowohl im Ministerialerlass 14-01-2008 wie auch in UNI EN 1995-1-1 behandelt werden, ergibt sich folgende Projektfestigkeit:

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{81,18}{1,25} + \frac{52,39}{1,05} = 114,8 \text{ kN}$$

Für den holzseitigen Bruch ergibt sich folgende Projektfestigkeit:

$$R_{u,d} = \frac{R_{u,k}}{\gamma_M} = \frac{192,4}{1,25} = 153,9 \text{ kN}$$

Wie man sieht, ist die Projektfestigkeit stahlseitig geringer als holzseitig.

4.4.3. Zugkraft ($\alpha=90^\circ$)

Die geometrische Konfiguration und damit die Festigkeit stimmt genau mit der für Scheren-Zugkraft ermittelten Festigkeit überein. Der Festigkeitswert beträgt folglich:

$$R_{u,k} = 111,6 \text{ kN}$$

4.4.4. Scheren bei 45° ($\alpha=135^\circ$ oder $\alpha=315^\circ$)

Wenn man die zum Bruch geführten Proben betrachtet, ergibt sich, dass der Bruch an den Schrauben erfolgt. Es wird jedenfalls auch für die Stahlseite der beständige Mechanismus dargestellt.

SCHRAUBENSEITIGER BRUCH

Nachstehend ist das angewandte Grenzschemata abgebildet.

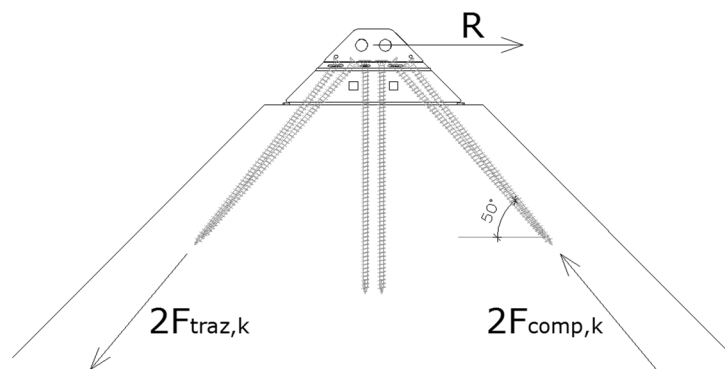


Abbildung 44: Schergrenzschemata bei 45°

Legende: traz = Zugkraft
comp = Druck

Es wird angenommen, dass die linken Schrauben unter Zugkraft, die rechten unter Druck und die mittleren unter Scherkraft arbeiten. Aus Sicherheitsgründen wird die Scherfestigkeit der mittleren Schrauben völlig vernachlässigt, u.a. auch weil die Annahme vernünftig ist, dass die Scherfestigkeit dieser Schrauben bei sehr viel stärkeren Verschiebungen auftritt als die mit der Zugkraftfestigkeit kompatiblen Verschiebungen der restlichen 4 Schrauben. Die äußere Beanspruchungskraft bei Bruch ergibt sich durch Hochrechnung der 4 mittigen Kräfte an den Schrauben.

$$R_{u,k} = 93,9 \text{ kN}$$

STAHLSEITIGER BRUCH

Der Bruch erfolgt durch eine Art von "block tearing" Mechanismus, für welchen auf Punkt 3.10.2 der UNI EN 1993-1-1 (Eurocode 3) verwiesen wird.

In der Abbildung wird das für die Prüfung verwendete Schema dargestellt.

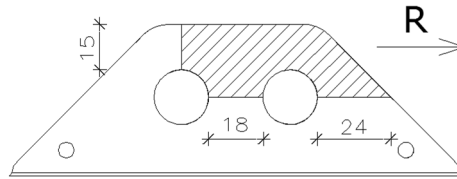


Abbildung 45: Gegen Block-tearing beständiger Mechanismus

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \times 410 \times 165}{\gamma_{M2}} + \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{275 \times 462}{\gamma_{M0}} = \frac{33,82}{\gamma_{M2}} + \frac{73,35}{\gamma_{M0}}$$

VERBINDUNGSFESTIGKEIT

4.4.5. Scheren-Druck ($\alpha=180^\circ$)

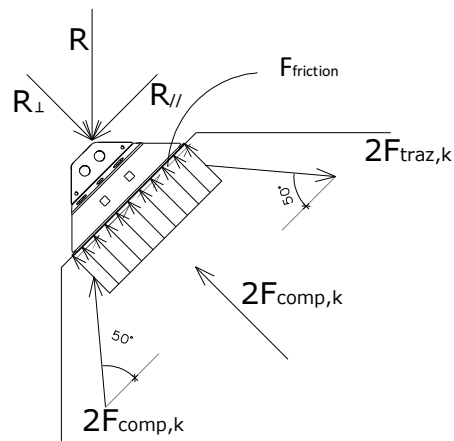


Abbildung 9: Grenzschea für Scheren-Druck

Legende:

Friction = Reibung

Traz = Zugkraft

Comp = Druck

Die **Gesamtfestigkeit beträgt:**

$$R_{u,k} = 165,9 \text{ kN}$$

4.4.6. Druck bei 45° ($\alpha=225^\circ$)

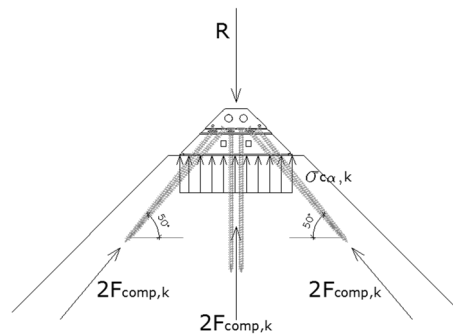


Abbildung 10: Grenzschaema für den Druck bei 45°

Legende:

Comp = Druck

Die Gesamtfestigkeit beträgt

$$R_{u,k} = 279,6 \text{ kN}$$

4.4.7. Druck ($\alpha=270^\circ$)

Die geometrische Konfiguration und folglich die Festigkeit stimmt genau mit der für Scheren-Druck ermittelten Konfiguration überein. Die Festigkeit beträgt folglich:

$$R_{u,k} = 165,9 \text{ kN}$$

5. DEFINITION EINES FESTIGKEITSKRITERIUMS

In Kapitel 4 wurde die Festigkeit der Verbindung in den 8 interessantesten geometrischen Konfigurationen berechnet, welche 8 Neigungen der beanspruchenden Kraft entsprechen. Zweck des nachstehenden Kapitels ist die Erarbeitung eines Festigkeitskriteriums, welches die Abdeckung des gesamten Spektrums von 360° gestattet:

5.1. Konstruktion der Bruchdomäne

Die Interaktionsdomäne oder Bruchdomäne ist eine ebene Figur, in welcher alle inneren Punkte Lastzustände darstellen, welche die Verbindung tragen kann. Es kann bewiesen werden, dass die Grenzdomäne stets eine konvexe, geschlossene und begrenzte Figur ist. In anderen Worten, die geschlossene Figur, welche die Domäne begrenzt, ist eine Druckgrenze jenseits welcher die Festigkeit der Verbindung überschritten wird, während die darin enthaltenen Punkte mit der Festigkeit kompatibel sind.

In den nachstehenden Abschnitten werden unter Einsatz drei verschiedener Methoden drei Bruchdomänen konstruiert:

- experimentelle Festigkeiten;
- Festigkeiten aus FEM Modellierung;
- Festigkeiten aus analytischer Berechnung.

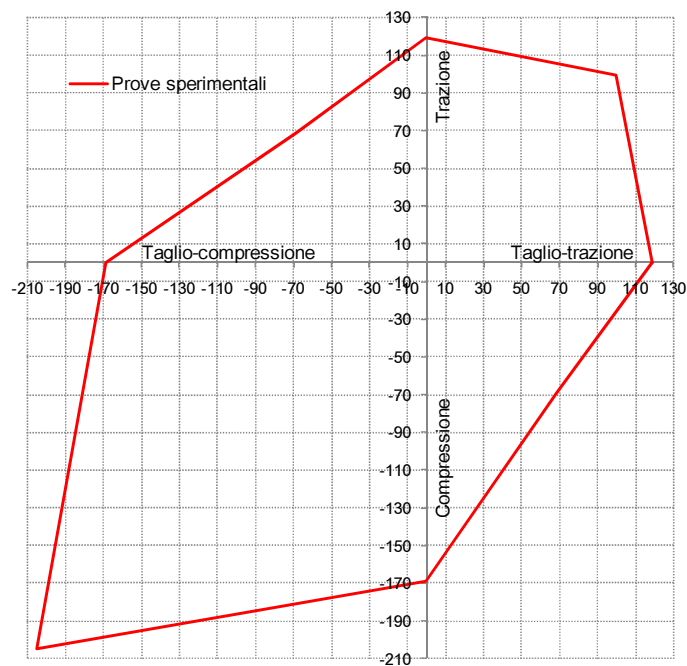
5.1.1. Auf experimentelle Festigkeiten aufgebaute Domäne

Die in Abbildung 45 dargestellten experimentellen Festigkeiten können auf X-Z Ebene wie wir in der Abbildung 44 gesehen haben dargestellt werden. Auf der Basis dieser punktuellen Werte kann ein Diagramm konstruiert werden indem man die verschiedenen Punkte miteinander verbindet. Wenn man die so dargestellten Punkte verbindet, erhält man eine Interaktionsdomäne Scherwert-Zugkraft (oder Druck), welche die Bruchgrenze der Verbindung darstellt. Eine derartige Wahl wird durch die in den nachfolgenden Absätzen angestellten Überlegungen bekräftigt.

Koordinaten der Punkte der experimentellen Bruchdomäne				
Beanspruchung von X-Rad	Winkel	R [kN]	Koordinaten	
			V [kN]	N [kN]
Scheren-Zugkraft	0°	119,0	119,0	0,0
Zugkraft bei 45°	45°	141,0	99,7	99,7
reine Zugkraft	90°	119,0	0,0	119,0
Scheren bei 45°	135°	97,0	-68,6	68,6
Scheren-Druck	180°	168,9	-168,9	0,0
Druck bei 45°	225°	289,7	-204,8	-204,8
reiner Druck	270°	168,9	0,0	-168,9
Scherwert bei 45°	315°	97,0	68,6	-68,6
Scherwert-Zugkraft	360°	119,0	119,0	0,0

Abbildung 48: Experimentelle Festigkeiten der Verbindung

Das Diagramm ist in der Abbildung dargestellt.



Legende:

Prove sperimentali = Experimentelle Versuche

Trazione = Zugkraft

Taglio -compressione = Scheren-Druck

Taglio-trazione = Scheren-Zugkraft

Compressione = Druck

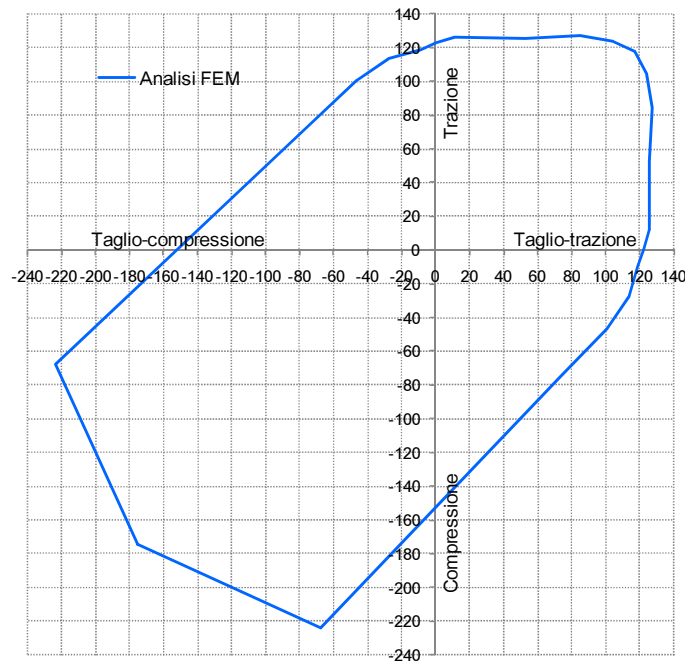
Abbildung 49: Experimentelle Bruchdomäne

Die so ermittelte Bruchdomäne kann zur Durchführung einer Prüfung der Verbindung eingesetzt werden. Durch Darstellung des Identifikationspunkts der Beanspruchung in diesem Diagramm kann eine grafische Prüfung der Verbindung durchgeführt werden

Denn wenn der charakteristische Punkt der Beanspruchung innerhalb der Bruchdomäne liegt, ist die Festigkeitsprüfung erfüllt, die Prüfung nicht erfüllt ist, wenn der charakteristische Punkt außerhalb der Domäne liegt.

5.1.2. Auf die Festigkeiten aus FEM Modellierung aufgebaute Domäne

In Abbildung 37 wurde auf X-Y Ebene ein Diagramm mit den Festigkeiten aus FEM Modellierung dargestellt. Bei Drehen und Spiegeln dieses Diagramms ergibt sich eine Interaktionsdomäne.



Legende:

Analisi FEM = FEM Analyse

Trazione = Zugkraft

Taglio - compressione = Scheren-Druck

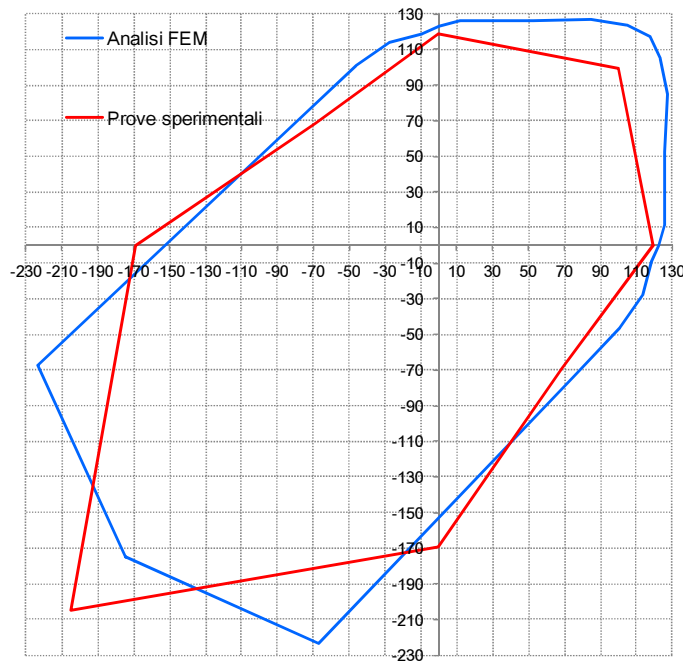
Taglio - trazione = Scheren-Zugkraft

Compressione = Druck

Abbildung 50: Bruchdomäne aus FEM Analyse

5.1.3. Vergleich experimentelle Daten - FEM Modellierungen

Bei Überlagerung der beiden Domänen können einige Betrachtungen angestellt werden.



Legende:

Analisi FEM = FEM Analyse

Prove sperimentali = experimentelle Versuche

Abbildung 51: Überlagerung der beiden Domänen

Die FEM Modellierungen gestatteten bei einer nur schwer im Labor reproduzierbaren Neigung die Durchführung von virtuellen Versuchen am X-RAD. Zweck dieser Versuche war folglich das Intrapolieren der experimentellen Ergebnisse zur Rekonstruktion des Interaktionsdiagramms in den nicht durch diese experimentellen Versuche abgedeckten Bereichen.

Bei Betrachtung der Überlagerung der Diagramme ist ersichtlich, dass in diesem Teil der Ebene (rechts oben) das von den experimentellen Versuchen ausgehende konstruierte Diagramm stets innerhalb des von den FEM Analysen abgeleiteten Diagramms liegt. Dies bedeutet, dass der zwischen einem experimentellen Wert und dem anschließenden Wert angenommene lineare Verlauf die Sicherheit begünstigt.

In dem Quadranten links unten in der Domäne ist eine gewisse Abweichung zwischen dem Verlauf der beiden grafischen Darstellungen zu beobachten. Daraus ergeben sich folgende Betrachtungen:

- Die Beanspruchung bei 225° (Druck bei 45°) zeigt die Übertragung der Kraft sowohl durch Druck der Vollgewindeschrauben innerhalb der CLT Platte wie auch durch direkten Kontakt der X-ONE Basis mit der Oberfläche der CLT Platte. Die getreue Modellierung dieser beiden parallel arbeitenden Übertragungsmechanismen ist kompliziert.
- Die Beanspruchungen bei 180° und bei 270° (Scherwert-Zugkraft und Druck) sehen die Übertragung eines Teils der Scherkraft X-RAD/CLT durch eine Reibungskraft vor. Diese

Reibungskraft wurde nicht mit Unterschätzung der Beanspruchung der Verbindung modelliert.

Wenn man berücksichtigt, dass eine der beiden FEM Analysen bei einem Winkel von 197° (und zur Symmetrie bei 253°) durchgeführt wurde, kann eine Betrachtung angestellt werden. Diese Analyse zeigt qualitativ gesehen, dass zwischen den Winkeln 180° und 225° (und für Symmetrie zwischen 225° und 270°) der lineare Verlauf, welcher zur Interpolation der experimentellen Daten verwendet wurde, stark die Sicherheit begünstigt. In diesen Bereichen ist das aus FEM Analyse gewonnene Diagramm sehr viel "breiter" als das experimentelle Diagramm.

Aufgrund der vorstehenden Ausführungen kann behauptet werden, dass die Entscheidung, die experimentellen Ergebnisse mit einem linearen Verlauf zwischen der einen und der anderen Prüfung zu interpolieren, die Sicherheit begünstigt.

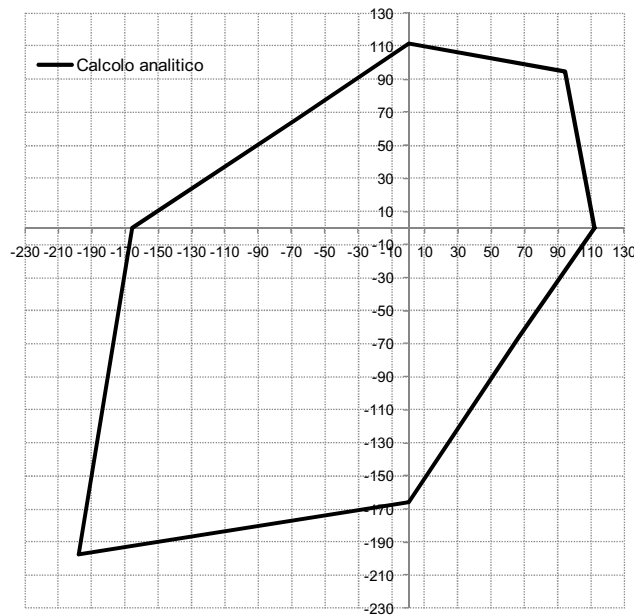
5.1.4. Auf Festigkeit aus Bruchberechnung aufgebaute Domäne

Es folgt eine Tabelle mit der Zusammenfassung der mit in den vorstehenden Abschnitten errechneten analytischen Schemen.

Beanspruchung von X-Rad	Winkel	R [kN]	Koordinaten	
			V [kN]	N [kN]
Scherwert-Zugkraft	0°	111,6	111,6	0,0
Zugkraft bei 45°	45°	133,6	94,4	94,4
reine Zugkraft	90°	111,6	0,0	111,6
Scherwert bei 45°	135°	93,9	-66,4	66,4
Scherwert-Druck	180°	165,9	-165,9	0,0
Druck bei 45°	225°	279,6	-197,7	-197,7
reiner Druck	270°	165,9	0,0	-165,9
Scherwert bei 45°	315°	93,9	66,4	-66,4
Scherwert-Zugkraft	360°	111,6	111,6	0,0

Abbildung 52: Analytische Festigkeiten der Verbindung

In der Abbildung ist die ermittelte Bruchdomäne dargestellt.



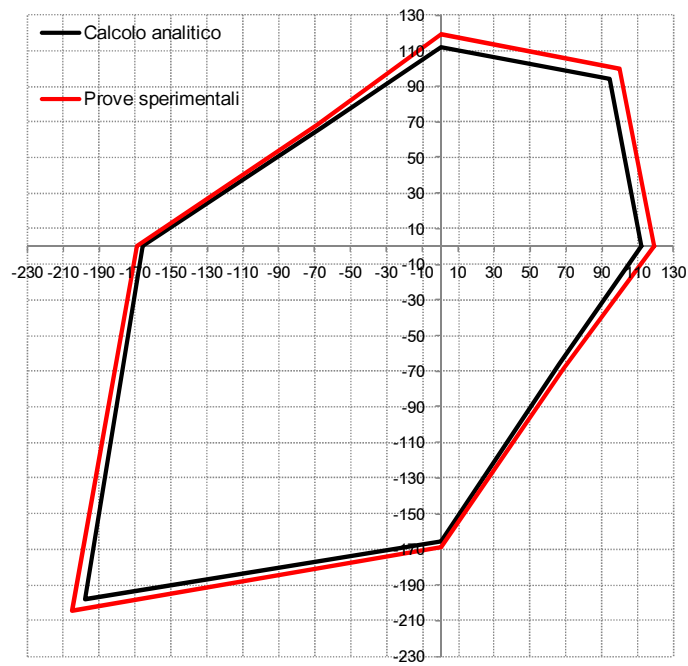
Legende:

Calcolo analitico = analytische Berechnung

Abbildung 53: Interaktionsdomäne aus der analytischen Berechnung

5.1.5. Vergleiche experimentelle Daten-Bruchberechnung

Es wird eine Überlagerung der Domäne des experimentellen Bruchs und der aus der Bruchberechnung hervorgegangene Domäne vorgenommen. Wie man sieht, begünstigt die Domäne aus der analytischen Berechnung auf alle Fälle die Sicherheit.



Legende:

Calcolo analitico = Analytische Berechnung

Prove sperimentali = experimentelle Versuche

Abbildung 54: Überlagerung von experimenteller Domäne und analytisch berechneter Domäne

5.1.6. Grafische Auswertung der Domäne

In der nachstehenden Abbildung ist die Domäne der charakteristischen Beanspruchung dargestellt, welche mit einer Darstellung der X-RAD Verbindung überlagert ist. Wenn wir die Abbildung beobachten, verstehen wir besser, welchen Beanspruchungen die verschiedenen Punkte auf der Domäne entsprechen. In der Abbildung sind exemplifikatorisch die Vektoren dargestellt, welche zwei Beanspruchungszuständen entsprechen.

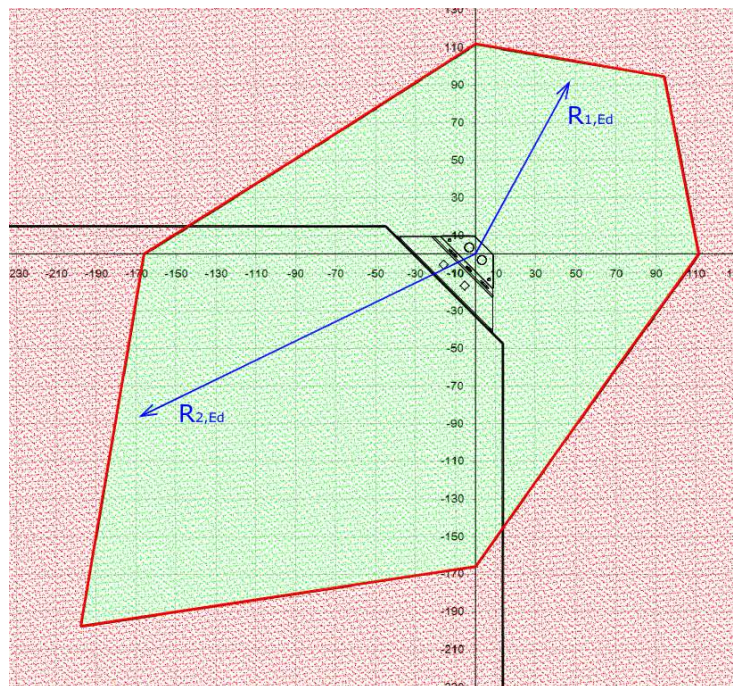


Abbildung 55: Grafische Auswertung der Domäne

5.2. Bruchdomäne für den Entwickler

Ausgehend von der charakteristischen Bruchdomäne der Verbindung muss der Entwickler eine Bruchdomäne für das Projekt festlegen, um die Festigkeitsversuche im äußersten Grenzzustand durchzuführen. Der Übergang von den charakteristischen Festigkeiten zu den Projektfestigkeiten ist unterschiedlich je nachdem ob der Bruch eine Holzverbindung (wie zum Beispiel eine Holz-Holz Verbindung mit Vollgewindeschrauben) oder eine Stahlverbindung (wie zum Beispiel eine Durchsteckschraubenverbindung zwischen zwei Stahlplatten oder Trennbruch einer Schraube) betrifft. Der Übergang von den charakteristischen Festigkeiten zu den Projektfestigkeiten erfolgt auf nachstehende Weise:

- **HOLZSEITIG:** in diesem Fall kommen die in Kapitel 4.4.6 des Ministerialerlasses 14-01-2008 (Technische Vorschriften für Ingenieurbauten) oder die in Kapitel 2.4.1 von UNI EN 1995-1-1 (Eurocode 5) vorgesehenen Formulierungen zur Anwendung:

$$R_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M}$$

wobei:

$\gamma_M = 1,5$ in Ministerialerlass 14-01-2008;

$\gamma_M = 1,3$ in EN 1995-1-1 sowie EN 1998-1-1 im Fall von nicht dissipativem strukturellem Verhalten (ductility class L);

$\gamma_M = 1,0$ in EN 1995-1-1 sowie EN 1998-1-1, im Fall von dissipativem strukturellem Verhalten (ductility class M/H).

In den nachstehenden, der europäischen Vorschrift entnommenen Abbildungen wird der für die Holzverbindungen zu verwendende richtige Sicherheitskoeffizient näher erläutert.

8.6 Sicherheitsprüfungen

1. (1)P Die Festigkeitswerte des Holzmaterials müssen in Übereinstimmung mit EN 1995-1-1-2004 unter Berücksichtigung der k_{mod} Werte für die unmittelbaren Lasten ermittelt werden.
2. (2)P Für die Prüfung im äußersten Grenzzustand von Strukturen, welche in Übereinstimmung mit dem Konzept des nicht dissipativen (Duktilitätsklasse L) Verhaltens von Strukturen entworfen wurden, kommen die partiellen Sicherheitskoeffizienten γ_M für die Merkmale des verwendeten Materials für die in EN 1995-1-1 angegebenen Kombinationen von Grundlasten zur Anwendung.
3. (3)P Für die Prüfung in dem äußersten Grenzzustand von Strukturen, welche in Übereinstimmung mit dem Konzept des dissipativen (Duktilitätsklasse L) Verhaltens von Strukturen entworfen wurden, kommen die partiellen Sicherheitskoeffizienten γ_M für die Merkmale des verwendeten Materials in Bezug auf die in EN 1995-1-1 angegebenen Kombinationen zufälliger Lasten zur Anwendung.

Abbildung 58: AusZugkraft aus UNI EN 1998-1-1

Übersicht 2.3

Für die Eigenschaften und die Festigkeiten der Materiale empfohlenen γ_M Teilkoeffizienten

Grundlegende Kombinationen	
Legno massiccio = Massivholz	1,3
Legno lamellare incollato = verklebtes Schichtholz	1,25
LVL, compensato, OSB = LVL, Sperrholz, OSB	1,2
Pannelli di particelle = Teilchenplatten	1,3
Pannelli di fibre, alta densità = Faserplatten, hohe Dichte	1,3
Pannelli di fibre, media densità = Faserplatten, mittlere Dichte	1,3
Pannelli di fibre, MDF = Faserplatten, MDF	1,3
Pannelli di fibre, bassa densità = Faserplatten, niedrige Dichte	1,3
Connessioni = Verbindungen	1,3
Mezzi di unione a piastra metallica punzonata = Verbindungsmittel aus lochgestanzten Metallplatten	1,25
Combinazioni accidentali = zufällige Kombinationen	1,0

Abbildung 57: Auszug aus UNI EN 1995-1-1

STAHLSEITIGER BRUCH : in diesem Fall kommen die in Kapitel 4.2.8.1.1 des Ministerialerlasses 14-01-2008 (Technische Vorschriften für Ingenieurbauten) oder in Kapitel 2.2 von UNI EN 1993-1-8 (Eurocode 3) enthaltenen Formulierungen zur Anwendung, welche die Verwendung der selben Sicherheitskoeffizienten vorsehen:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

in diesem Fall wird in Funktion der Art des Bruchs ein unterschiedlicher Sicherheitskoeffizient eingesetzt:

$\gamma_M = \gamma_{M0} = 1,05$ bruchbezogen für die Festigkeit der gespannten Querschnitte;

$\gamma_M = \gamma_{M2} = 1,25$ für die Festigkeit der Querschnitte im allgemeinen.

Es folgt eine Tabelle mit den experimentellen Bruchmodalitäten in den verschiedenen Beanspruchungskonfigurationen.

Bruchmodalitäten				
Beanspruchung von X - RAD	Winkel	Bruch	γ_M	k_{mod}
Scherwert - Zugkraft	0°	stahlseitige Zugkraft der Schrauben	$\gamma_{M2}=1,25$	-
Zugkraft bei 45°	45°	Block tearing an der inneren Platte an den Löchern $\varnothing 16$	$\gamma_{M0}=1,05$; $\gamma_{M2}=1,25$	-
reine Zugkraft	90°	stahlseitige Zugkraft an den Schrauben	$\gamma_{M2}=1,25$	-
Scherwert bei 45°	135°	stahlseitige Zugkraft an den Schrauben	$\gamma_{M2}=1,25$	-
Scherwert - Druck	180°	holzseitiger Bruch - Abziehen des Schraubengewindes	$\gamma_{M,holz} = 1,5$ (1,3 nach EC5)	1,0
Druck bei 45°	225°	(holzseitiger) Bruch aufgrund von Druck	$\gamma_{M,holz} = 1,5$ (1,3 nach EC5)	1,0
reiner Druck	270°	(holzseitiger Bruch) - Abziehen des Schraubengewindes	$\gamma_{M,holz} = 1,5$ (1,3 nach EC5)	1,0
Scherwert bei 45°	315°	(stahlseitige) Zugkraft	$\gamma_{M2}=1,25$	-
Scherwert - Zugkraft	360°	(stahlseitige) Zugkraft	$\gamma_{M2}=1,25$	-

Abbildung 58: Bruchmodalitäten der Verbindung

5.2.1. Verwendungsbereich der Verbindung

Die Verbindung mittels X-ONE dient zum Anschluss zwischen CLT Wänden, um bei Erdbeben oder Sturm (augenblickliche Dauerklasse) ein Umkippen oder ein Gleiten zu verhindern. Die senkrechten statischen Kräfte werden meist direkt durch den Kontakt Wand-Wand übertragen, ohne dabei die Verbindung zu beanspruchen. Die Verwendung von X-ONE bei Vorliegen von Lasten von kurzer, mittlerer oder anhaltender Dauer ($k_{mod} < 1$) fordert vom Entwickler eine Aufwertung der Projektdomäne, da sich die Festigkeitshierarchie verändern könnte. In solchen Fällen können aus

unter Anwendung der geeigneten k_{mod} und γ_M Koeffizienten alle Projektfestigkeiten wie holzseitige Festigkeiten behandelt werden.

Es liegen gegenwärtig keine experimentellen Daten von kurzfristig, mittelfristig oder dauerhaft aufgetragenen Lasten vor, da UNI EN 26891:1991 die Durchführung von "fast momentanen" Prüfungen vorschreibt.

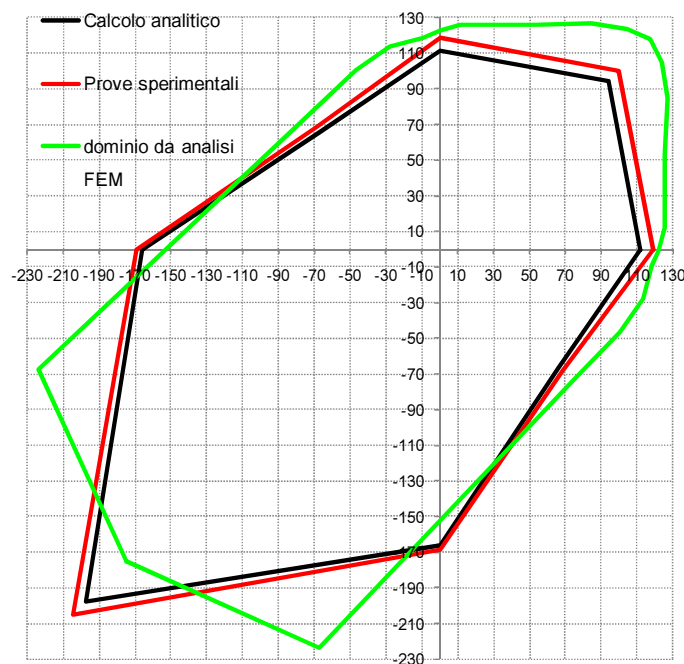
Die in diesem Abschnitt angestellten Betrachtungen beziehen sich auf den Einsatz von X-RAD für Lasten von momentaner Dauer; falls X-RAD auch bei Vorliegen von Klassen von kurzer, mittlerer oder permanenter Dauer ($k_{mod} < 1$ verwendet werden sollte, obliegt dem Entwickler die Schätzung des zu verwendenden γ_M e k_{mod} Koeffizienten.

5.2.2. Charakteristische Bruchdomäne

In den vorstehenden Abschnitten wurden 3 Bruchdomänen vorgestellt:

- eine auf experimentelle Versuche basierende;
- eine auf die FEM Analysen basierende;
- eine auf analytische Schemen basierende.

Es werden die 3 Domänen vorgestellt.



Legende:

Calcolo analitico = analytische Berechnung

Prove sperimentali = experimentelle Prüfungen

Dominio da analisi FEM = Domäne aus FEM Analyse

Abbildung 59: Überlagerung der drei Domänen

Die so erhaltene charakteristische Bruchdomäne ist daher folgende:

Beanspruchung von X-Rad	Winkel	R _k [kN]	Koordinaten	
			V _k [kN]	N _k [kN]
Scheren-Zugkraft	0°	111,6	111,6	0,0
Zugkraft bei 45°	45°	141,0	99,7	99,7
reine Zugkraft	90°	111,6	0,0	111,6
Scheren bei 45°	135°	97,0	-68,6	68,6
Scheren-Druck	180°	165,9	-165,9	0,0
Druck bei 45°	225°	279,6	-197,7	-197,7
reiner Druck	270°	165,9	0,0	-165,9
Scheren bei 45° °	315°	97,0	68,6	-68,6
Scheren-Zugkraft	360°	111,6	111,6	0,0

Abbildung 60: Charakteristische Bruchdomäne

Die sich daraus ergebende Bruchdomäne ist in der Abbildung dargestellt.

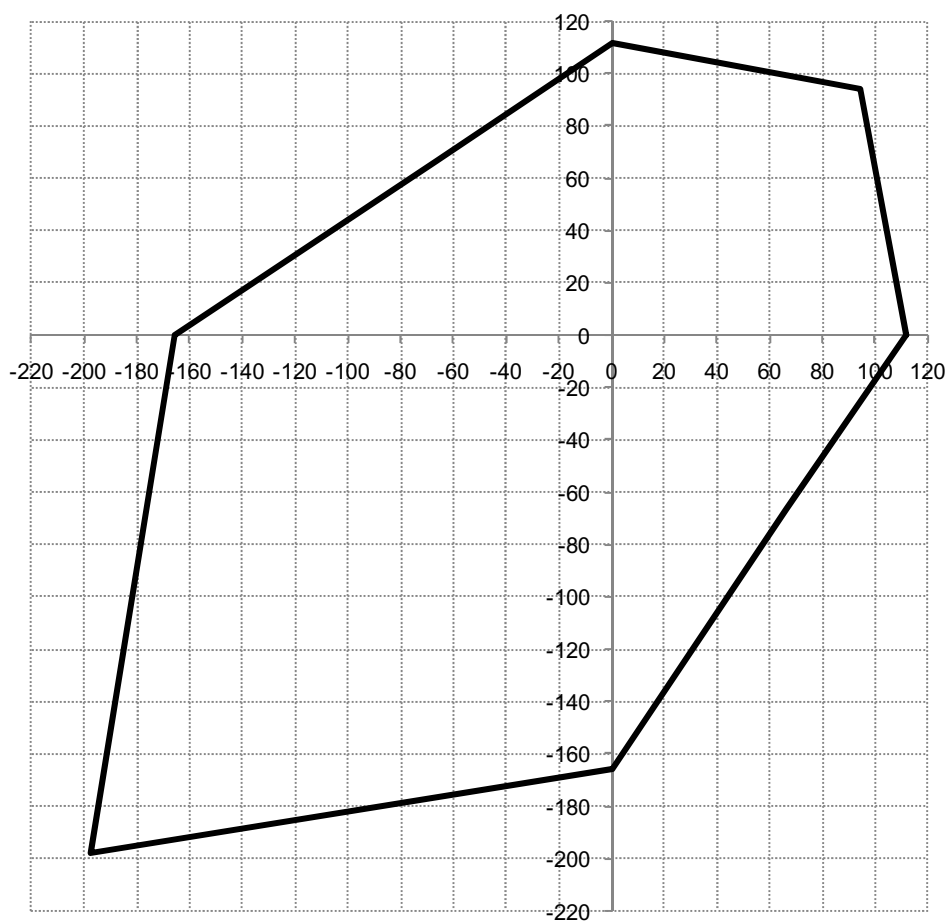


Abbildung 61: Charakteristische Bruchdomäne

5.2.3. Bruchdomäne des Projekts

Auf der Grundlage der vorstehend dargestellten charakteristischen Domäne und unter Verwendung der vorstehenden Sicherheitscodes kann folgende Festigkeitsdomäne errechnet werden. Anschliessend folgt die Berechnung in Übereinstimmung mit den italienischen Vorschriften (Ministerialerlass 14-01-2008) sowie mit den europäischen Bestimmungen (EN 1995-1-1).

Bruchdomäne des Projekts - Ministerialerlass 14-01-2008						
Beanspruchung an X-Rad	Winkel	γ_M	k_{mod}	R_d [kN]	Koordinaten	
					V_d [kN]	N_d [kN]
Scheren-Zugkraft	0°	1,25	-	89,3	89,3	0,0
Zugkraft bei 45°	45°	1,25*	-	112,8	79,8	79,8
reine Zugkraft	90°	1,25	-	89,3	0,0	89,3
Scheren bei 45°	135°	1,25	-	77,6	-54,9	54,9
Scheren-Druck	180°	1,50	1,0	110,6	-110,6	0,0
Druck bei 45°	225°	1,50	1,0	186,4	-131,8	-131,8
reiner Druck	270°	1,50	1,0	110,6	0,0	-110,6
Druck bei 45°	315°	1,25	-	77,6	54,9	-54,9
Scheren-Zugkraft	360°	1,25	-	89,3	89,3	0,0

Abbildung 62: Projektfestigkeiten - Ministerialerlass 14-01-2008

Bruchdomäne des Projekts - EN 1995-1-1 + EN 1998-1-1						
Beanspruchung von X-Rad	Winkel	γ_M	k_{mod}	R [kN]	Koordinaten	
					V [kN]	N [kN]
Scheren-Zugkraft	0°	1,25	-	89,3	89,3	0,0
Zugkraft bei 45°	45°	1,25*	-	112,8	79,8	79,8
reine Zugkraft	90°	1,25	-	89,3	0,0	89,3
Scheren bei 45°	135°	1,25	-	77,6	-54,9	54,9
Scheren-Druck	180°	1,30**	1,1	140,4	-140,4	0,0
Druck bei 45°	225°	1,30**	1,1	236,6	-167,3	-167,3
reiner Druck	270°	1,30**	1,1	140,4	0,0	-140,4
Scheren bei 45°	315°	1,25	-	77,6	54,9	-54,9
Scheren-Zugkraft	360°	1,25	-	89,3	89,3	0,0

Abbildung 63: Projektfestigkeiten - EN 1995-1-1

* für den stahlseitigen Beständigkeitsmechanismus (block tearing) müssten beide Sicherheitskoeffizienten verwendet werden. Nach Berücksichtigung der auf experimentellen Versuchen beruhende ETA Festigkeit ist es nicht möglich, die block tearing Festigkeit der beiden grundlegenden Bauteile (Scheren und Zugkraft) zu unterteilen. Aus diesem Grund benutzt man aus Sicherheitsgründen einen einzigen Sicherheitskoeffizienten von γ_{M2} . N.B. Wenn die Festigkeit der Verbindung holzseitig gewesen wäre, hätte man im Fall von Rückgriff auf die europäischen Vorschrift einen Koeffizienten von $\gamma_M=1,00$ verwenden können, da die von ETA erklärte Duktilitätsklasse der Zugkraft bei 45° eine M Klasse ist.

** EN 1998-1-1 gestattet bei Holzverbindungen für die zufälligen Kombinationen die Verwendung des Koeffizienten $\gamma_M=1,00$ nur dann, wenn die Duktilitätsklasse der Verbindung M oder H wäre. Für die Duktilitätsklassen L muss hingegen für die statischen Kombinationen der Koeffizient $\gamma_M=1,30$ verwendet

werden. Für die Winkel 180° , 225° und 270° liefert ETA keine Duktilitätsklasse und daher wird aus Sicherheitsgründen eine Duktilitätsklasse L mit dem Koeffizienten $\gamma_M=1,30$ angenommen. Dagegen liefert die italienische Norm keinen Hinweis auf eine Diversifikation des Koeffizienten γ_M in Funktion der Duktilitätsklasse und folglich wird $\gamma_M=1,50$ angenommen.

In der nachstehenden grafischen Darstellung werden zusammen mit der charakteristischen Domäne die beiden Projektdomänen gezeigt. Daraus ist klar der Unterschied zwischen den Projektdomänen bei Beanspruchungen mit Winkeln von 180° , 225° und 270° ersichtlich, für welche der Bruch holzseitig stattfindet. In diesem Fall gehen die italienischen und die europäischen Bestimmungen zwei unterschiedliche Wege.

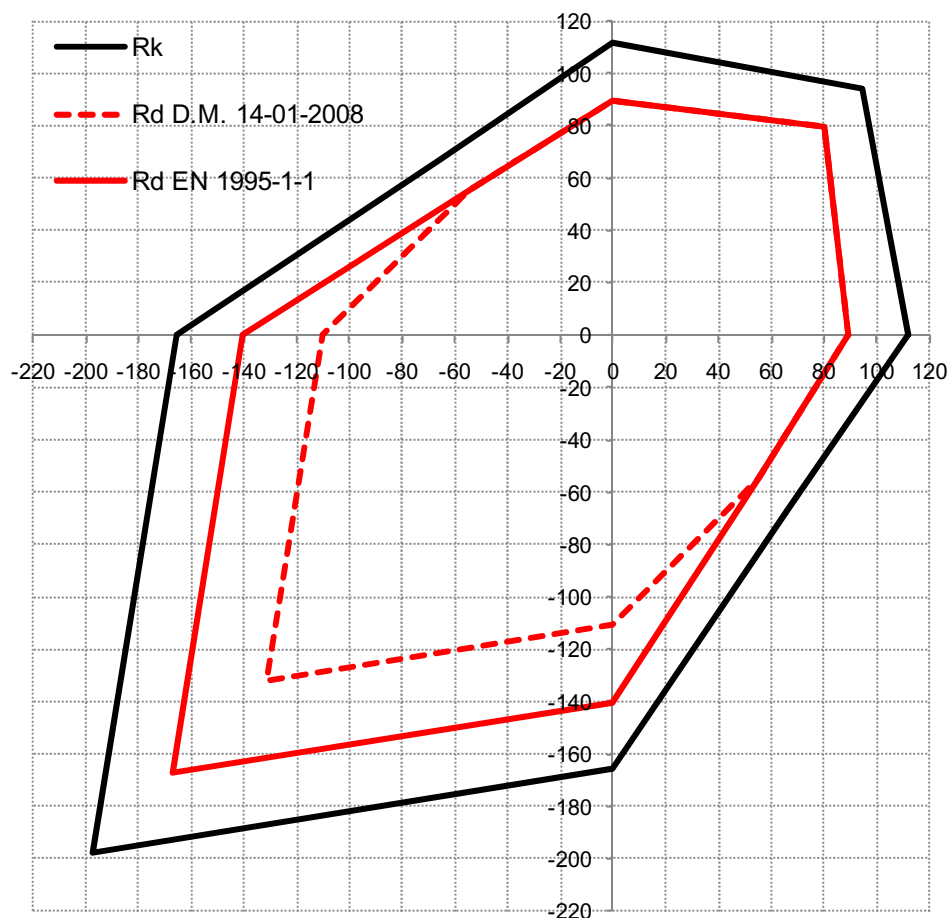


Abbildung 64: Projektdomänen

5.3. Projektvorgaben der europäischen technischen Genehmigung (ETA- 15/0632)

Die im Entstehen befindliche Europäische Technische Vorschrift (ETA) liefert einige Indikationen über die vorgesehene Verwendung der Verbindung:

- X-RAD kann für Verbindungen zwischen CLT Bauteilen verwendet werden.

- X-RAD kann statischen, fast statischen oder seismischen Wirkungen ausgesetzt sein.
- X-RAD kann in Übereinstimmung mit EN 1995-1-1 für die Betriebsklassen 1 oder 2 verwendet werden.

In Bezug auf die Planung der Verbindung sieht ETA folgendes vor:

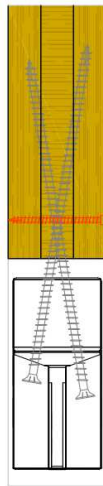
1. Die Planung von X-RAD Verbindungen muss unter der Verantwortung eines Ingenieurs mit Erfahrung in Holzbauten durchgeführt werden.
2. Die Planung der Bauten muss den Schutz der Verbindungen sichern, um in Übereinstimmung mit EN 1995-1-1 die Betriebsklassen 1 oder 2 beizubehalten.
3. Die X-RAD Verbindungen müssen korrekt installiert werden.
4. In Übereinstimmung mit EN 1995-1-1 muss kontrolliert werden, dass keine splitting Erscheinungen auftreten.

5.3.1. Splittingerscheinungen

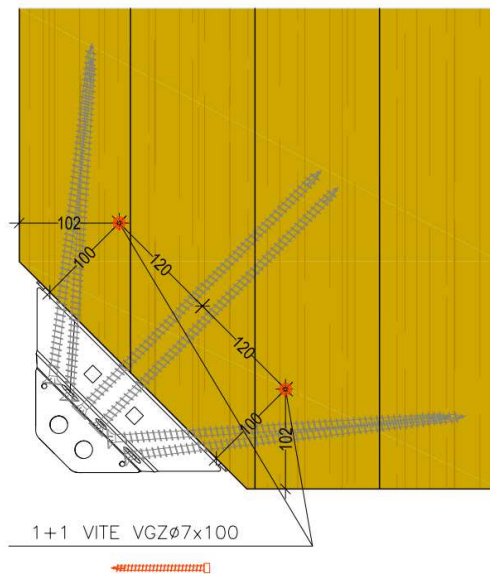
Letztere Vorschrift verdient eine Vertiefung. Im Verlauf der Prüfungen und insbesondere in der Nähe des Bruchs der Proben traten mehr oder weniger ausgeprägte Splittingerscheinungen auf. Diese Erscheinungen führten zuweilen bei Abziehen eines Holzkeils zum Öffnen der CLT Platte an dem am meisten durch Zugkraft beanspruchten Schraubenpaar. Die aus den Prüfungen hervorgegangenen Festigkeiten wurden folglich bei Auftreten von Splitting ermittelt. Trotzdem schreibt ETA zur Vermeidung eines möglichen Auftretens dieser Erscheinungen besondere Achtsamkeit vor.

Aus diesem Grund wird vorgeschrieben, dass falls die Verbindung entworfen wird, um deren Leistungen in Hinblick auf die Festigkeit bestmöglich zu nutzen, in lotrechter Richtung zur Plattenachse Schrauben (z.B. Vollgewindeschrauben VGZ Ø7) eingesetzt werden müssen, damit diese "genäht" werden, um bei einem möglichen Auftreten von Rissen eine Verstärkung zu bieten. Eine solche Vorsichtsmaßnahme führt zur Verschiebung der Grenzfestigkeit nach oben wobei die Verbindung durch die Zugkraft der Schraube zerbricht, sodass die Festigkeit voll ausgenutzt wird. Es wird ein grafisches Schema mit der Lage der Verstärkungsschrauben dargestellt.

SEZIONE VERTICALE



VISTA LATERALE



Legende:

Sezione verticale = senkrechter Schnitt

Vista laterale = seitliche Ansicht

1+1 -VITE VGZØ7X100 = 1+ 1 SCHRAUBE VGZØ7X100

Abbildung 65: Verstärkungsschrauben zur Verhinderung von Splitting

Das Originaldokument ist auf Italienisch... Die Versionen in anderen Sprachen wurden aus dem ursprünglichen Dokument übersetzt