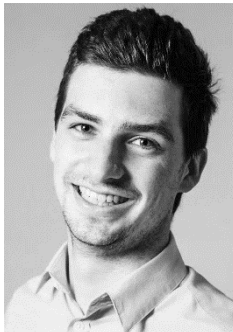


Green Gantry – Langzeitmonitoring einer Mautbrücke aus Holz

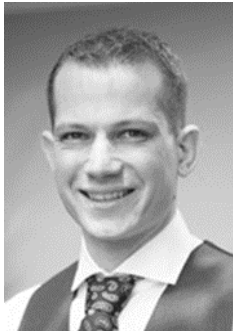
David Glasner
Institut für Holzbau und Holztechnologie,
Technische Universität Graz
Graz, Österreich



Katharina Rynesch
Kapsch TrafficCom AG
Wien, Österreich



Georg Flatscher
freiraum ZT gmbh,
Zivilingenieurbüro für das Bauwesen
Hartberg, Österreich



Georg Jeitler
Hasslacher Holding GmbH
Sachsenburg, Österreich



Andreas Ringhofer
Institut für Holzbau und Holztechnologie,
Technische Universität Graz
Graz, Österreich
freiraum ZT gmbh,
Zivilingenieurbüro für das Bauwesen
Hartberg, Österreich



Iris Kral
Denkstatt GmbH
Wien, Österreich



Green Gantry – Langzeitmonitoring einer Mautbrücke aus Holz

1. Einleitung und Motivation

Seit nunmehr 30 Jahren führt die kontinuierliche Forschung und Entwicklung der Holzbauprodukte Brettschichtholz (BSH) und Brettsperrholz (BSP) und der dafür notwendigen Verbindungstechnik zu einer Metamorphose des früher ein Nischendasein fristenden Holzbaus hin zur ökologischen und innovativen Bauweise der Zukunft. Einen wesentlichen Beitrag dazu haben die mitteleuropäische Holzindustrie als Weltmarkt- und Technologieführer und einige innovative, ausführende Holzbauunternehmen geleistet, welche die moderne Holzbaubauweise in die Welt hinausgetragen haben. Wie anhand von Hochhäusern, u.a. in Wien (AT), London (UK), Melbourne (AU), Singapur (SG) oder Vancouver (CA), Flughäfen in Wien (AT) oder Lapu-Lapu (PH) oder weitgespannten Dachkonstruktionen in Frankfurt (DE) oder Taiyuan (CN) eindrucksvoll aufgezeigt wird, scheinen dem Holzbau bisweilen keine Grenzen mehr gesetzt zu sein. Die internationale Reputation in Kombination mit der für die Realisierung dieser Projekte notwendigen Professionalisierung der Planung, Produktion und Logistik verleihen dem Holzbau nunmehr das notwendige Rüstzeug, in völlig unterschiedlichen Branchen eingesetzte, traditionelle – jedoch meist sehr energieintensive – Bauweisen mit Beton und/oder Baustahl, ökonomisch adäquat und ökologisch vorteilhaft zu substituieren.

Ein derartiges Beispiel im Bereich der Infrastruktur sind sogenannte Überkopfbridges (engl. Gantrys), i.d.R. Portalrahmen, die zur Erbringung von Information für Verkehrsteilnehmer (Schilderbrücken) oder zur Beschaffung von Information von Verkehrsteilnehmern (stationäre Mautsysteme) an Europas Autobahnen flächendeckend eingesetzt werden. Wie Abbildung 1 illustriert, weisen gegenwärtig übliche Ausführungen eine vergleichsweise große Variabilität bezüglich der Bauform, des Bauteiltyps und des statischen Systems (Vollwandträger, Fachwerke, biegesteife Rahmen, etc.) auf, während (ab Oberkante Fundamentsockel) insbesondere Baustahl der dominante Werkstoff für die Herstellung dieser Gantrys ist.

Die extremen Witterungsbedingungen, welche Überkopfbridges im Straßenverkehr je nach Standort ausgesetzt sind, in Kombination mit der Exposition durch chemisch aggressive Tausalze in den Wintermonaten bzw. die ermüdungswirksame Beanspruchung infolge Wind- und ggf. Verkehrsbelastung, vgl. [1], bedingt nicht nur einen vergleichsweise aufwändigen Korrosionsschutz mittels (Feuer-)Verzinkung sondern führt auch bei geringen, punktuellen Beschädigungen dieses bzw. einer Überlastung von Anschlüssen zufolge Materialermüdung zu einer wesentlichen Einschränkung der Dauerhaftigkeit der Stahlgantrys (vorgesehene Nutzungsdauer > 20 Jahre), was zu Überholungsintervallen von mitunter < 10 Jahren führt. Wie u.a. in [2] und [3] demonstriert, haben sich insbesondere bei starker Salzbelastung alternative Lösungen in Holzbaubauweise bereits in der Vergangenheit erfolgreich bewährt; die u.a. von [3] mittels Bausystem errichteten Streusalzsilos sind aus dem heutigen Straßenbild nicht mehr wegzudenken. Dieser Umstand verbunden mit der Intention, in Zeiten der globalen Erderwärmung vermehrt auf eine ressourcenschonende und CO₂-einsparende Bauweise in Holz als Substitut energieintensiver Baustoffe wie Stahl zu setzen, war Motivation, die wissenschaftliche Untersuchung der wesentlichen Grundlagen für eine zukünftige Herstellung von Mautbrücken in Holzbaubauweise zu initiieren und entscheidend voranzutreiben.

Das Hauptziel des FFG THINK.WOOD Projektes «GREEN_GANTRY» ist das Schaffen der technologischen Grundlagen für eine mittelfristige Markteinführung von Mautbrücken (bzw. Überkopfbridges im Allgemeinen) in innovativer und CO₂-einsparender Holzbaubauweise. Darüberhinausgehend soll die Akzeptanz in der Mobilitätsbranche für dieses neue Produkt «Holz-Gantry» anhand einer anschaulichen Demonstration einer Teststation geschaffen werden. Ein weiteres Ziel des Projektes ist die zu erwerbende Fähigkeit, die

Verhaltensweisen (a) ausgesuchter, leistungsfähiger Holzbauverbindungen bei ermüdungswirksamer Beanspruchung und (b) unverstärkter bzw. verstärkter Holzbauteile zufolge einer aufgrund der extremen Bewitterung resultierenden Holzfeuchtevariation adäquat beschreiben zu können. Auch im konstruktiven Holzschutz werden durch das Projekt signifikante Erkenntnisgewinne erwartet. Ferner sollen die im Zuge des Projektes bestimmten Effekte und verifizierten Ansätze für die ingenieurmäßige Anwendung aufbereitet werden, sowohl speziell für die statisch-konstruktive Bearbeitung von Überkopfbrücken im Straßenverkehr als auch für generelle Aufgabenstellungen des Holzbaus.



Abbildung 1: Bandbreite an unterschiedlichen Bauformen und Mautgantrys in unterschiedlichen Ländern

Der vorliegende Beitrag hat den Zweck, das FFG THINK.WOOD Projekt «GREEN_GANTRY» (06/2022 bis 05/2025) der breiten Fachöffentlichkeit vorzustellen. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf den Charakteristika einer Prototypenanlage in Holzbauweise gelegt, welche das Kernstück des Projektes darstellt und im Februar 2023 am Testgelände des ÖAMTC in Teesdorf (AT) in Betrieb genommen wurde.

Eine Zusammenfassung der statisch-konstruktiven Gestaltung dieser baulichen Anlage findet sich im folgenden Abschnitt 2, während die beiden Abschnitte 3 und 4 auf die wissenschaftlichen Aspekte des Förderprojektes eingehen.

2. Statisch konstruktive Beschreibung des Objekts

Im Rahmen einer Variantenstudie wurden unterschiedliche Tragkonzepte für die Mautbrücke in Holz skizziert und hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile diskutiert. Da diese Tragwerke tendenziell an vielbefahrenen Straßen (Autobahnen, Schnellstraßen, etc.) eingesetzt werden, mussten neben den statischen und ästhetischen Aspekten, insbesondere die Punkte «Montageaufwand» und «Dauerhaftigkeit» verstärkt berücksichtigt werden.

Schlussendlich ergab die gewählte Variante mit rund 6 m hohen A-Stützen (im Folgenden als Stiele bezeichnet) und einem aus der Ebene biegesteif angeschlossenen Querbalken (im Folgenden als Riegel bezeichnet) mit rund 15 m Spannweite den ausgewogensten Mix aus konstruktiver Einfachheit, gut zu lösendem konstruktivem Holzschutz und der angestrebten Ästhetik, siehe Abbildung 2.



Abbildung 2: Bild der im Februar 2023 in Betrieb genommenen Prototypenanlage

2.1. Konstruktiver Holzschutz

Die freie Bewitterung der Tragkonstruktion mit einer angestrebten Lebens- bzw. Nutzungsdauer von rund 20(+) Jahren in Kombination mit den eingeschränkten Möglichkeiten für Inspektion und Wartung, machten vertiefte Überlegungen zum konstruktiven Holzschutz unumgänglich.

Bei der Konstruktion wurde folglich darauf geachtet, die Kriterien für die Gebrauchsklasse 3.1 gem. ON B 3802-1 [4] (bzw. EN 335 [5]) einzuhalten und zudem die folgenden, in ON B 3802-2 [6] festgehaltenen «besonderen baulichen Maßnahmen» zu beachten:

- ausreichend Abstand zum umgebenen Boden,
- keine Holz-auf-Holz Kontaktflächen,
- waagrechte Bauteile mit oberseitiger Abdeckung ausführen, und
- das Hirnholz direkt bewitterter, senkrecht orientierter Bauteile schützen.

Bei konsequenter Einhaltung der genannten Punkte wäre gem. ON B 3802-2 [6] eine Einordnung der Bauteile in die Gebrauchsklasse 0 und damit der Einsatz von Hölzern aller Dauerhaftigkeitsklassen möglich. Aufgrund des geplanten Einsatzbereichs erscheint diese Betrachtungsweise jedoch zu progressiv, weswegen die Wahl auf einen Hybridquerschnitt mit einem tragenden Kern in Fichte (Dauerhaftigkeitsklasse 4) und einer außenliegenden,

3 cm starken Schutzschicht bzw. Verschalung in Lärche (Dauerhaftigkeitsklasse 3-4 und gemäß ON B 3802-1 [4] Tabelle 2 auch in Gebrauchsklasse 3.1 einsetzbar) fiel. Lediglich die Oberseite des Riegels wurde gemäß den genannten «besonderen baulichen Maßnahmen» mit einer vollflächig verklebten, mehrschichtigen Dachabdichtungsbahn aus Glasvlies auf Basis von PVC abgedichtet.

Die Lärchenschalung wurde auf drei unterschiedliche Arten am tragenden Fichtenkern befestigt: (i) direkt aufgeschraubt, (ii) direkt aufgeklebt und (iii) mit Hinterlüftung aufgeschraubt (nur lokal im Lagerbereich). Durch den Schutz des eigentlich tragenden Kerns bot dieses Vorgehen überdies die Möglichkeit bei der Bemessung die Nutzungsklasse 2 anzusetzen (gem. EN 335 [5] für Gebrauchsklassen 1 und 2 möglich), was insbesondere bei der Wahl der Verbindungstechnik erhebliche Vorteile bzw. Erleichterungen bot. Ob diese Betrachtung bei stark beanspruchten Konstruktionen wie Mautbrücken zulässig ist bzw. ob es relevante Unterschiede bei den eingesetzten Arten der Verschalung gibt, ist eine der Fragestellungen im laufenden Forschungsprojekt in Punkto konstruktiver Holzschutz.

2.2. Lastansätze

Als Grundlage für die Lastaufstellung dienten die Anforderungen aus der RVS 05.02.11 [7], welche in weiten Teilen auf die bekannte Eurocode 1 – Serie verweist und zusätzlich die folgenden spezifischen Anforderungen enthält:

- Für Wind ist die Geländekategorie II vorgegeben und parallel zum Riegel ist eine Windersatzlast (Ersatzfläche von 10 m²) anzunehmen. Zudem ist eine Exzentrizität der Windlast zu berücksichtigen.
- Die Nutzlasten für die Wartung werden mit 1,0 kN/m² oder einer ungünstig aufgestellten Punktlast von 3,0 kN festgelegt.
- Für einen Fahrzeuganprall wird in der RVS 05.02.11 [7] eine Ersatzlast von 100 kN in einer Höhe von 1,25 m über der Fahrbahnoberkante gefordert. Hier wurde festgelegt, dass die Fundamente bzw. Betonsockel so ausgeführt werden müssen, dass für die Holztragkonstruktion keine Anpralllasten zu berücksichtigen sind.

2.3. Bemessung

2.3.1. Bauteile

Die RVS 05.02.11 [7] enthält keine Hinweise zur Bemessung von Holzbauteilen, weswegen im Wesentlichen auf die Regelungen in ON B 1995-1-1 [8] zurückgegriffen wurde. Ausgenommen hiervon waren die im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit einzuhaltenden Verformungsgrenzen, welche in der RVS 05.02.11 [7] wie folgt angegeben sind:

- Stiele am Kopf (in Quer und Längsrichtung): $H_s/150$
- Riegel vertikal: $L_R/200$
- Riegel horizontal: $L_R/200$ (ohne Berücksichtigung der gleichzeitigen Stielverformung)
- Überhöhung: Die Durchbiegung des Riegels aus vertikalen Eigenlasten ist durch Überhöhung auszugleichen, wobei eine verbleibende Überhöhung von $L_R/500$ einzurechnen ist.

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) liegt die Auslastung des Riegels ($B \times H = 480 \times 520$ mm GL24h) unter 60% und jene der Stiele ($B \times H = 440 \times 240$ mm GL24h) unter 50%. Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) liegt die Auslastung für den Riegel bei rund 40% und jene der Stiele bei rund 85%. Ausschlaggebend für die Wahl der Bauteilquerschnitte waren schlussendlich die geometrischen Voraussetzungen für die gewählten Verbindungen.

2.3.2. Verbindungstechnik

Im Wesentlichen wurden zwei für die Tragkonstruktion relevante Leitdetails ausgearbeitet: (i) der Anschluss zwischen den Stielen und der Fundierung bzw. dem Betonsockel sowie (ii) der biegesteife Anschluss zwischen den Stielen und dem Riegel.

Der Übergang zwischen den Stielen und dem Betonsockel (vergl. Abbildung 3) erfolgt über ein «echtes» Stahlgelenk, welches neben der klar definierten, statischen Funktion auch eine rasche Montage ermöglicht. Die jeweiligen Stahlteile wurden über im Fundament eingegossene Gewindestangen (auch als «Schraubgrund» bezeichnet) bzw. in den Stielen eingeklebte Gewindestangen befestigt. Neben der hohen Leistungsfähigkeit, bietet diese Art der Verbindung den bestmöglichen konstruktiven Schutz für den tragenden Holzkern (Abdeckung des Hirnholzes, keine seitlichen Öffnungen).

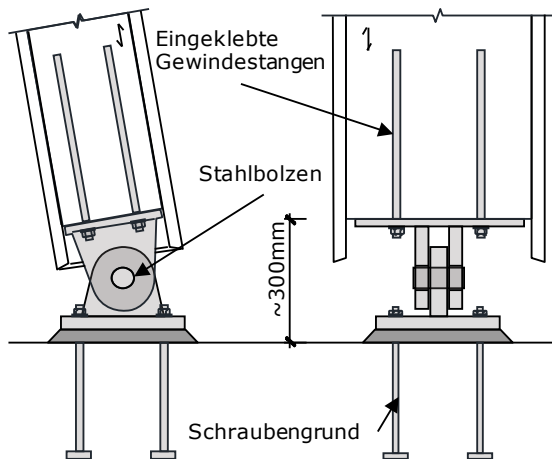


Abbildung 3: Fußpunkt

Der biegesteif auszuführende Übergang zwischen Stiel und Riegel (vgl. Abbildung 4) erfolgt ebenfalls über einen zweiteiligen Stahlknoten, wobei hier die Hauptbeanspruchung für die Verbindung aus dem zu übertragenden Stützmoment resultiert. Der Anschluss an die Stiele wurde dabei wiederum mittels eingeklebten Gewindestangen realisiert. Der Anschluss am Riegel erfolgte über Vollgewindeschrauben, welche aufgrund der wechselnden Momente sowohl für Zug- als auch Druckbeanspruchungen (Querdrukverstärkung) bemessen wurden. Die in Abbildung 4 ebenfalls ersichtliche Querdrukverstärkung ist der Ausklinkungssituation bei einem negativen Lagermoment geschuldet. Die auftretenden Schublasten werden über die seitlichen Schubknaggen in die Stützen übertragen.

Die relativ hohen Lagerbacken aus Stahl haben im wesentlichen vier Funktionen: (i) Abstandhalter um die Montage des Stahl-Stahlanschlusses zu ermöglichen (ii) leichtere Inspektion des Lagerbereichs (iii) Sicherstellung der in der Bemessung angesetzten Hebelverhältnisse und (iv) Minimierung der Kontaktfläche zwischen Riegel und Stahlteil.

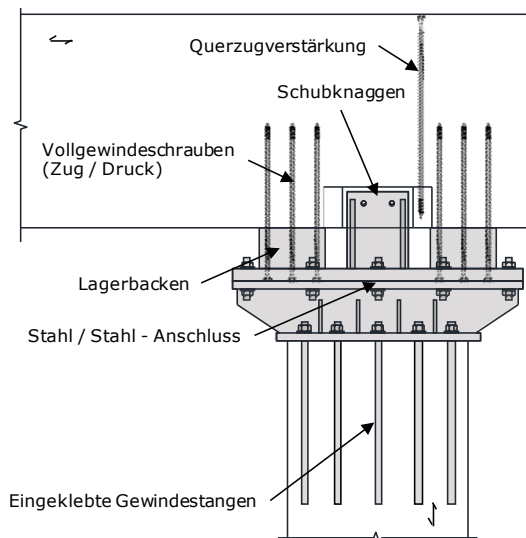


Abbildung 4: Biegesteifer Anschluss (Plandarstellung ohne konstruktiven Holzschutz)

Durch die gewählte Verbindungstechnik mit eingeklebten Gewindestangen und selbstbohrenden Holzbauschrauben, welche bereits im Werk vormontiert wurden, waren bauseits lediglich Stahlbauteile miteinander zu verbinden. Dadurch konnte die Montagezeit auf der Baustelle auf ein Minimum reduziert werden.

3. Wissenschaftliche Fragestellungen

3.1. Feuchteinduzierte Spannungen

Aufgrund der mit der Anwendung einhergehenden Exponiertheit der Gantry ist während der Nutzung mit erheblichen Holzfeuchtevariationen zu rechnen. Die durch diese Holzfeuchtevariationen auftretenden Quell- und Schwindverformungen führen durch die Anisotropie des Holzes und den i.d.R. nicht konstanten Holzfeuchteverlauf entlang des Querschnitts zu Zwangsspannungen (vgl. [9], [10]). Gerade in Bereichen in denen Verbindungs- oder Verstärkungsmittel, etwa in Form von selbstbohrenden Holzbauschrauben oder eingeklebten Gewindestangen, angeordnet werden, ist durch den sperrenden Effekt dieser mit erheblichen Zwängungen sowohl im Verbindungs- bzw. Verstärkungsmittel als auch im umgebenden Holz zu rechnen (vgl. [11]-[16]). Aber auch durch die in Verbindungsknoten häufig notwendigen Stahlblechen ist mit einer gewissen Verformungsbehinderung zu rechnen. Durch die in der Gantry verbaute Messtechnik bestehend aus der in Abschnitt 4 beschriebenen Kombination aus Holzfeuchte-, Dehnungs- und Kraftmessung, ist es möglich, eine umfassende Datenbasis zu schaffen. Diese dient in weiterer Folge der Validierung von analytischen Modellen zur Beschreibung der entstehenden Zwangbeanspruchungen, welche im Rahmen dieses Projektes erarbeitet werden.

3.2. Dynamische Beanspruchungen von Verbindungen

Ein weiterer Themenblock befasst sich mit der Beschreibung des Verhaltens der Gantry-Konstruktion bei ermüdungswirksamer Beanspruchung, wobei sowohl die Einwirkungsseite (Ursprung der ermüdungswirksamen Beanspruchung) als auch die Widerstandsseite (insb. Tragfähigkeit der Anschlüsse) berücksichtigt werden. Auf der Seite der Einwirkung dient die Arbeit von Lengauer [1] aufgrund des zeitlichen und regionalen Bezugs als profunde Basis für die Bestimmung der Ursachen der ermüdungswirksamen Beanspruchung. Nachdem die GREEN_GANTRY und wahrscheinlich auch folgende Gantrys in Holzbauweise eine vom dort beschriebenen Stand abweichende Geometrie aufweisen, werden die von Lengauer [1] getroffenen Rückschlüsse für Stahlgantrys momentan für die gegebene Geometrie verifiziert und angepasst.

Auf der Seite des Widerstandes ist eine relativ große gegenwärtig vorhandene Wissenslücke im Bereich der hochleistungsfähigen Verbindungstechnik mit selbstbohrenden Holzbauschrauben oder eingeklebten Gewindestangen festzustellen. Im Projekt GREEN_GANTRY wird versucht, diese Wissenslücke mittels der Durchführung umfangreicher experimenteller Untersuchungen von dauerschwingbeanspruchten Verbindungen zumindest für die Anschlussknoten der Gantry-Konstruktion zu schließen. Gegenwärtig wird ein größeres experimentelles Programm, bestehend aus Dauerschwingversuchen von Stahlblech-Holz-Schraubenverbindungen mit dem Ziel einer Quantifizierung des entsprechenden Kerbfalles im Bautechnikzentrum der TU Graz umgesetzt. Weitere Untersuchungen zum Einfluss geometrischer und mechanischer Schraubenparameter auf die Performance bei ermüdungswirksamer Beanspruchung sind in Vorbereitung.

3.3. Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment)

Befasst man sich mit aktueller internationaler Literatur zum Thema Produktökobilanz einer Gantry, ist zu erkennen, dass sehr wenig Information hierzu vorhanden ist. Life cycle assessment (LCA) wird sehr häufig angewendet für die Bewertung der Umweltauswirkungen von Gebäuden, selten jedoch für Brücken oder brückenartige Konstruktionen. Meist werden dabei Holzkonstruktionen mit anderen Alternativen verglichen, wobei häufig die Holzkonstruktion das bessere Ergebnis liefert (vgl. [17]). Gantrykonstruktionen im Bereich des Straßenverkehrs haben aufgrund ihrer Menge einen signifikanten Einfluss auf Energie- und Materialverbrauch. Derzeit stehen jedoch die technischen, ökonomischen und sicherheitsbezogenen Aspekte im Vordergrund, während Umweltaspekte selten in die Entscheidungsfindung miteinbezogen werden [18]. Die Durchführung von LCA Studien im Bereich Materialtransport hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen, jedoch ist wenig Literatur zum Thema Güterumschlagetechnik vorhanden. Lediglich eine vergleichende LCA über konventionelle und elektrische Containerbrücken (Rubber Tired Gantry-Krane) konnte gefunden werden [19]. Da keine Daten aus früheren Studien herangezogen werden

können, muss eine Primär-Datenerhebung durchgeführt werden. Die zu untersuchenden Wirkungskategorien sind das Treibhausgaspotenzial, Eutrophierungs-, Versauerungspotenzial und der kumulierte Energieaufwand. Diese Erhebung dient als Eingangsbasis für die erstmalige Anwendung einer LCA für derartige Gantry-Konstruktionen, welche gegenwärtig erstellt wird.

4. Verwendete Messtechnik der Prototypenanlage

Um die Dauerhaftigkeit der Konstruktion sicherzustellen, besonders aber um die in Abschnitt 3 beschriebenen Forschungsthemen zu behandeln, wurde die Konstruktion mit einer umfassenden Messtechnik ausgestattet. Konkret befinden sich vorrangig im Rahmeneck, sowie in einem Stiel insgesamt 11 Holzfeuchtemesspunkte, 12 Dehnmessstreifen (DMS) zur Holzdehnungsmessung, 10 selbstbohrende Holzbaumessschrauben, 6 Kraftmessungen an eingeklebten Gewindestangen und 4 Messpunkte zur Kraftmessung in den Knotenblechen. Eine Übersicht ist in Abbildung 5 ersichtlich.

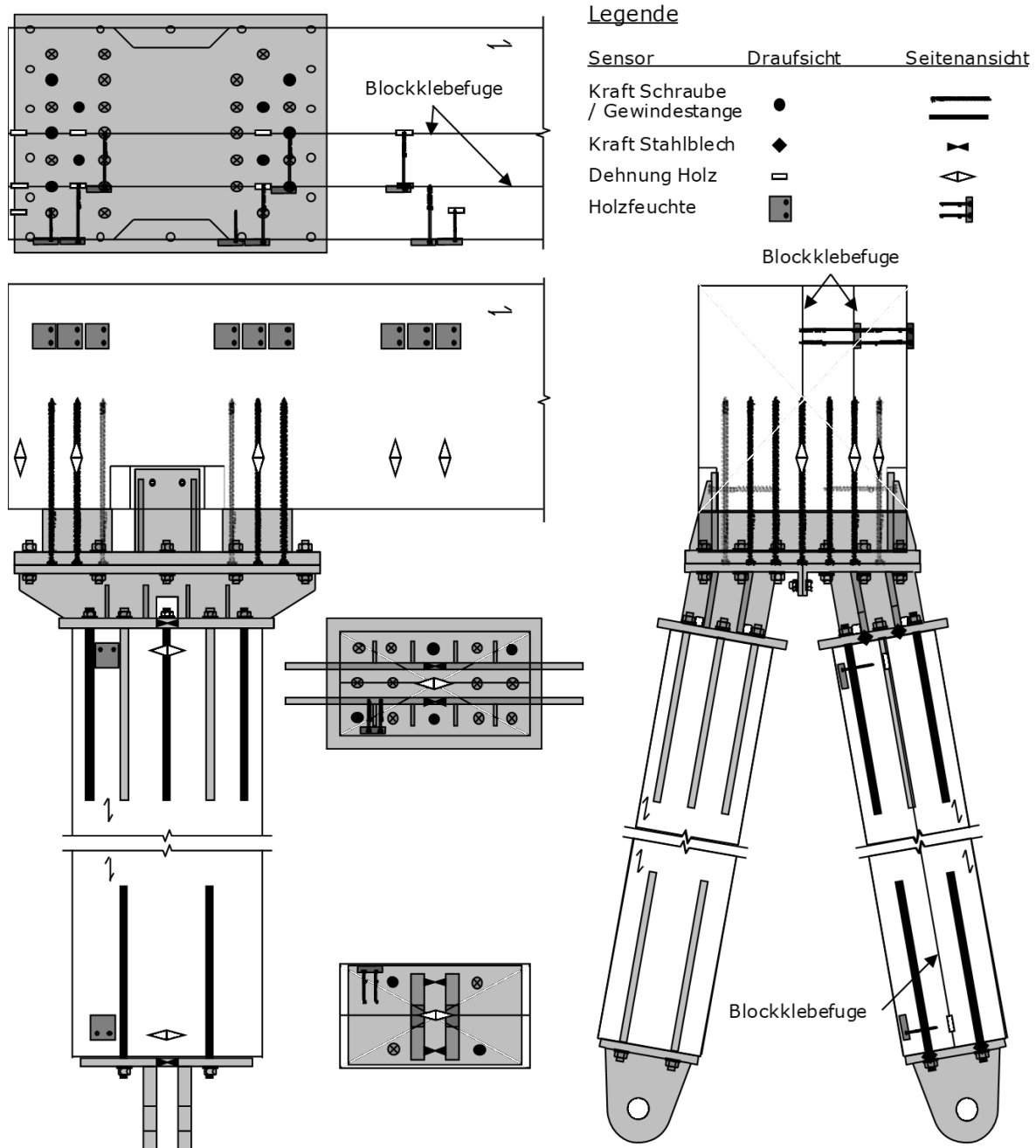


Abbildung 5: Übersicht Messpunkte

4.1. Dehnmessstreifen auf Holz

Zur Messung der entstehenden Quell- und Schwindverformungen im Holz wurden DMS am Holz appliziert, siehe Abbildung 6-a). Da die DMS im Querschnittsinneren angeordnet werden sollten, wurde der Hauptträger aus drei Teilquerschnitten und die Stütze aus 2 Teilquerschnitten gefertigt. Diese wurden daraufhin blockverklebt wobei die DMS selbst in den Blockklebefugen angebracht wurden (Abbildung 6-b)). Die Ausnehmungen für die Kabelführung, die DMS selbst sowie Brückenergänzungen, zur Kompensation der Leitungswiderstände, wurden im Abbund ausgefräst.

Die Anordnung erfolgte an folgenden neuralgischen Punkten im Hauptträger: in Hirnholz-nähe, im Bereich des Schraubenanschlusses und im ungestörten Bereich im Trägerinneren. Weiters wurde im Stiel im Bereich der eingeklebten Gewindestangen eine Dehnungsmessung appliziert.

4.2. Messschrauben

Zur Messung der entstehenden Schraubenkräfte wurden sogenannte Bolzen-DMS in einigen Schrauben der Verbindung angeordnet (Abbildung 6-c)). Diese wurden nach der Applizierung des Bolzen-DMS kalibriert. Dadurch ist es möglich, Rückschlüsse auf die axialen Kräfte in der Schraubenverbindung zu ziehen.

Die Bolzen-DMS befinden sich in einer zentrischen Bohrung unterhalb des Schraubenkopfes. Da einige Schrauben als Querdruckverstärkung dienen, konnten die Anschlusslitzen nicht gerade aus dem Schraubenkopf geführt werden, sondern seitlich mittels Schlitzfräsung. Eine punktverschweißte Unterlegscheibe diente als Fixierpunkt für den Steckverbinder, mit welchem nach dem Einschrauben das Kabel verbunden wurde. Für die Kabelführung war außerdem eine aufwändige Fräsung im Anschlussblech des Riegels notwendig, welche in Abbildung 6-d) ersichtlich ist.

4.3. Gewindestangen

Ähnlich wie bei den Messschrauben wurden auch einige eingeklebte Gewindestangen im Stiel mit Bolzen-DMS zur Messung der axialen Kräfte verwendet. Diese wurden sowohl im Rahmeneckbereich als auch im Bereich des Fußpunkts angeordnet. Anders als bei den Messschrauben war hier die Litzenführung um einiges einfacher; sie konnten gerade aus dem Querschnitt geführt werden und wurden nach dem Anbringen der Stahlbleche mittels Steckverbinder verkabelt (Abbildung 6-e).

4.4. Kraftmessung an Stahlblechen

Obwohl eine Dehnungsmessung mittels DMS auf Holz möglich ist, kann aufgrund der stark streuenden und von der Holzfeuchte abhängigen Steifigkeitsparameter nicht, wie beispielsweise bei Stahl, auf die vorhandenen Spannungen rückgeschlossen werden. Deshalb wurde an den Knotenblechen des Stiels jeweils an zwei Messpunkten DMS-Rosetten verklebt. Durch diese werden die Kräfte in den jeweiligen Blechen aufgezeichnet, wodurch die im benachbarten Holz vorhandenen Kräfte abgeschätzt werden sollen.

4.5. Holzfeuchtemessung

Zur Holzfeuchtemessung wurden Tron Humidity Sensoren (THS) der Firma tagtron gmbh verwendet (Abbildung 6-f). Das System basiert auf der elektrischen Widerstandsmessung, wobei als Messelektroden selbstbohrende Holzbauschrauben verwendet werden, welche entlang des Gewindes mit einem Schrumpfschlauch isoliert sind. Dadurch wird der elektrische Widerstand nur im Bereich der Spitze gemessen. Weiterer Bestandteil jedes Messpunkts ist eine Platine, auf welcher Sensoren zur Messung von Temperatur und relativer Luftfeuchte angeordnet sind.

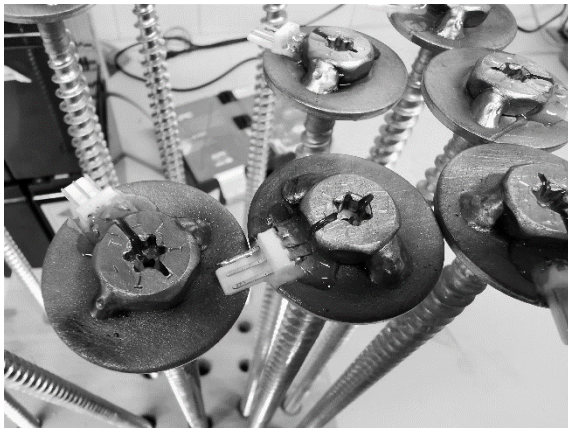
Die Messtiefen der Holzfeuchtesensoren wurden dabei auf jene der Dehnungssensoren und Messschrauben abgestimmt. Dadurch lassen sich Rückschlüsse auf den Holzfeuchtegradienten sowohl entlang des Querschnitts, als auch entlang der Trägerachse ziehen. Die Positionierung der Messpunkte wurde dabei auf die Lage der DMS und Kraftmessschrauben abgestimmt.



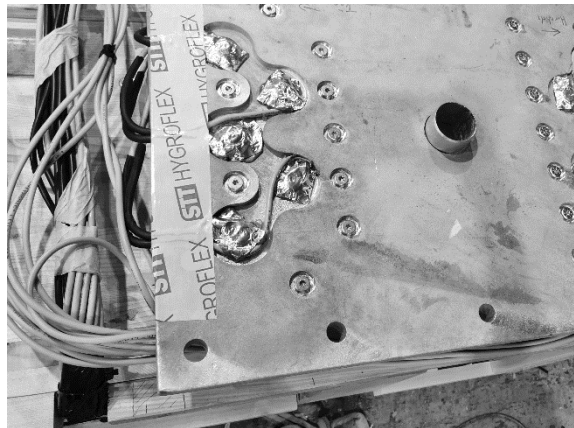
a) Applizierte Dehnmessstreifen auf Holz



b) Blockverklebung des Riegels



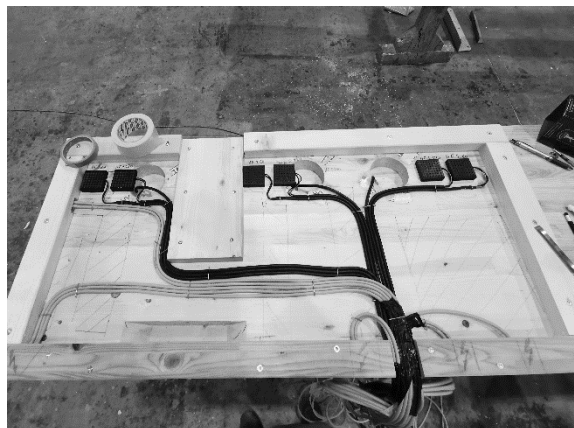
c) Schrauben zur Kraftmessung



d) Verschraubte Anschlussplatte



e) Gewindestangen zur Kraftmessung



f) Holzfeuchtemessung und Kabelführung

Abbildung 6: Detailsichten der verbauten Messtechnik

4.6. Resümee aus dem laufenden Messbetrieb

Nach bisher rund 6 Monaten Messbetrieb lässt sich ein sehr positives Zwischenfazit ziehen: Die Messsensorik funktioniert größtenteils einwandfrei und wurde auch bereits, neben der laufenden Aufzeichnung der Klimabelastungen, im Arbeitspaket der ermüdungswirksamen Beanspruchungen eingesetzt. So erfolgte erst kürzlich eine Versuchsreihe an LKW-Durchfahrten mit dem Ziel, die auf die Verbindungen wirkende, ermüdungswirksame Beanspruchung zufolge des laufenden Verkehrs abzuschätzen. In Zukunft soll hier noch eine Synchronisation mit einer ebenfalls auf der Gantry installierten Wetterstation erfolgen, um die dynamische Beanspruchung bei Starkwindereignissen zu bestimmen. Etwas gegen die Erwartungen entwickelt sich die Holzfeuchte; nach dem Einbau mit rund 12 % Holzfeuchte ist ein leichter Trend zur Austrocknung erkennbar. Dies deckt sich

jedoch mit den beobachteten Dehnungen im Holz, welche eine Schwindverformung des Querschnitts implizieren.

Abseits der primären Forschungsfragen des Projekts wird auch die Entwicklung der in den Verbindungsmitteln vorhandenen Vorspannkraft beobachtet. Sehr erfreulich zeigt sich hier, nach einem anfänglichen Abfall in den ersten Tagen nach Applikation, eine weitestgehende Konstanz.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Durch den Bau der ersten Gantry-Anlage in Holzbauweise soll das enorme Potential des Baustoffs Holz im Sinne einer vielseitigen Anwendbarkeit aufgezeigt werden. Durch eine wohlüberlegte konstruktive Ausbildung sollen so auch in exponierten Umgebungen die herkömmlichen Bauweisen in Beton oder Stahl durch leistungsfähige und dauerhafte Holzkonstruktionen substituiert werden können.

Durch die umfassende messtechnische Ausstattung der Gantry werden wertvolle Daten erwartet, mit denen die vorhandenen Wissenslücken im Bereich der feuchteinduzierten Spannungen und der dynamischen Beanspruchung von Verbindungen auch für andere Tragwerke geschlossen werden sollen. Auch der Ausgestaltung des konstruktiven Holzschutzes wurde durch eine Variantenstudie ebendieser besondere Aufmerksamkeit geschenkt, wodurch Vor- und Nachteile in Dauerhaftigkeit und Wartung offenbart werden sollen. Für die großflächige Anwendung von Holzgantrys im Straßenbetrieb sollen die Erkenntnisse aus der laufenden LCA den ökologischen Vorteil des Baustoffs Holz gegenüber der bisher zur Anwendung kommenden Bauweise in Stahl quantifizierbar machen. Langfristig soll so durch die Symbolwirkung eines exponierten (und funktionierenden) Holztragwerks das Bewusstsein über die vielseitige Anwendbarkeit von Holz in der Gesellschaft noch weiter verankert werden.

6. Danksagung

Die Grundlagen des vorliegenden Beitrags wurden hauptsächlich im Rahmen des Forschungsprojektes FFG THINK.WOOD «GREEN_GANTRY» (No. 43511322) erarbeitet. Dieses Projekt wird aus Mitteln des Waldfonds, einer Initiative des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft gefördert und im Rahmen des Programms Think.Wood der Österreichischen Holzinitiative durchgeführt. Diese Unterstützung wird dankend erwähnt.

7. Quellenverzeichnis

- [1] Lengauer, Markus: Schwingungsreduktion von Überkopfkonstruktionen, Bericht zum FFG-Projekt, Graz, 2014.
- [2] Schimpf, Markus: Einklebte Gewindestangen in der Praxis – Neubau Hochregallager der Salinen AG in Ebensee, Beitrag im Rahmen der 6. GraHFT'07, Graz, 2007, Seiten J-1 bis J14.
- [3] Referenzen der Firma Obermayr Holzkonstruktionen GmbH: Alpensilo. From <https://www.obermayr.at/alpensilo/referenzen/alpensilo> | Zugriff am 20.10.2023
- [4] ON B 3802-1:2015 – Holzschutz im Bauwesen | Teil 1: Allgemeines
- [5] EN 335:2013 – Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Gebrauchsklassen: Definitionen, Anwendung bei Vollholz und Holzprodukten
- [6] ON B 3802-1:2015 – Holzschutz im Bauwesen | Teil 2: Baulicher Schutz des Holzes
- [7] RVS 05.02.11 Anforderungen und Aufstellung (August 2019)
- [8] ON B 1995-1-1:2019 – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau
- [9] Angst-Nicollier, Vanessa: Moisture Induced Stresses in Glulam, Dissertation, NTNU Trond-heim, 2012.

- [10] Franke, Bettina; Franke, Steffen; Schiere, Marcus; Müller, Andreas: Moisture content and moisture-induced stresses of large glulam members: laboratory tests, in-situ measurements and modelling, *Wood Material Science & Engineering* 14 (2019), 243-252.
- [11] Angst, Vanessa; Malo, Kjell Arne: Effect of self-tapping screws on moisture induced stresses in glulam, *Engineering Structures* 45 (2012), 299-306.
- [12] Dietsch, Philipp: Effect of reinforcement on shrinkage stresses in timber members, *Construction and Building Materials* 150 (2017), 903-915.
- [13] Dietsch, Philipp: Einsatz und Berechnung von Schubverstärkungen für Brettschicht-holzbauteile, Dissertation, TU München, 2012.
- [14] Dietsch, Philipp; Kreuzinger, Heinrich; Winter, Stefan: Effects of changes in moisture content in reinforced glulam beams, in: *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering WCTE 2014*, Quebec, Canada.
- [15] Glasner, David: Zum Quelldruckverhalten von geschraubten Holz-Stahlblech-Verbindungen unter Berücksichtigung einer Schraubenvorspannung, Masterarbeit, TU Graz, 2020.
- [16] Wallner, Bernhard: Versuchstechnische Evaluierung feuchtinduzierter Kräfte in Brettschichtholz verursacht durch das Einbringen von Schraubstangen, Masterarbeit, TU Graz, 2012.
- [17] Peñaloza, D.: Life cycle assessment of small road bridges: Implications from using biobased building materials. Conference: *Sustainable Built Environment: Strategies, Stakeholders, Success factors*. Hamburg. Volume SBE2016.
- [18] Du, G.: Life cycle assessment of bridges, model development and case studies. Doctoral Thesis. Department of Civil and Architectural Engineering, KTH Royal Institute of Technology, 2015.
- [19] Vujičić, A., Zrnić, N., Jerman B.: Ports Sustainability: A life cycle assessment of Zero Emission Cargo Handling Equipment. *Journal of Mechanical Engineering* 59(2013)9, 547-555.