

Weitgespannte Tragwerke aus der Sicht des Prüflingenieurs

an den Beispielen Neue Messe Karlsruhe / SAP Arena Mannheim / Messe Sinsheim

- Zustimmungen im Einzelfall, Warmbemessung, besondere Gemeinsamkeiten

Einleitung

Kommunale Veranstaltungsstätten haben Vorbildcharakter - auch für das Bauen, sind Baukultur schlechthin und eine große Herausforderung für alle am Bau Beteiligte. Der Werkstoff Holz hat sich gerade beim Bau von Sportanlagen und Messen seinen Platz hart erkämpft - und birgt gleichzeitig noch großes Potential in sich.

Bevor daher auf weit gespannte Tragwerke im Allgemeinen, und auf einzelne Aspekte der Messeneubauten in Karlsruhe und Sinsheim sowie der Arena Mannheim im Besonderen eingegangen wird, seien nochmals einige Vorteile des Werkstoffes Holz in Erinnerung gerufen:

Formgebung

Mit den heute zur Verfügung stehenden Schichthölzern und plattenförmigen Werkstoffen ist nahezu jede räumliche Krümmung balkenförmiger wie flächiger Holzelemente möglich.

Niedrige Folgekosten bei Umbau, Aufstockung oder Abbruch

Auch in diesem Punkt ist der Holzbau nahezu unschlagbar.

Große Nutzungsvervielfältigung

Nicht nur im Hinblick auf eine spätere Veräußerung oder neue Nutzer werden bauherrenseits zunehmend (nahezu) stützenfreie Konstruktionen gefordert.

Weitestgehende Vorfertigung

erhöht die Qualität,

sorgt für kurze Bauzeiten und einen entsprechenden Preisvorteil.

Geringe Transportkosten gegenüber Beton ,

Größere Tragfähigkeit bei gleichem Gewicht

Zum Betonieren 150 m weitgespannter Stahlbetonbögen werden diese häufig auf einer Holzbogenschalung errichtet, sprich "Holz trägt Beton" .

Montagevorteil = Preisvorteil ,

Geringe Planungs- und Bauzeit

Die reine Planungs- und Bauzeit der neuen Messehalle in Sinsheim betrug nur 7 Monate .

Anteile der Horizontalkräfte aus der Dachkonstruktion in Höhe der Traufe mittels Zugbändern oder Druckringen auszugleichen (Abb. 1, Abb. 2).

Abb. 1

Innenansicht Standardhalle
Neue Messe Karlsruhe

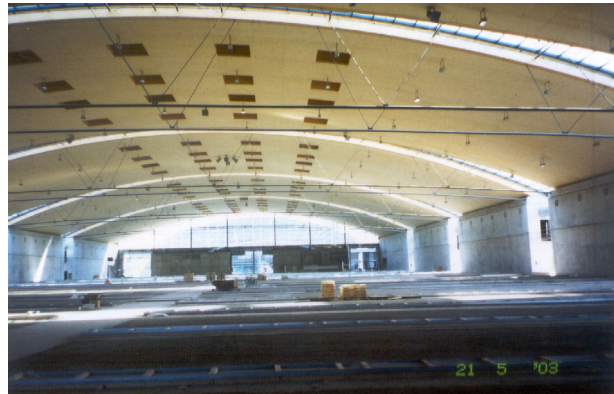
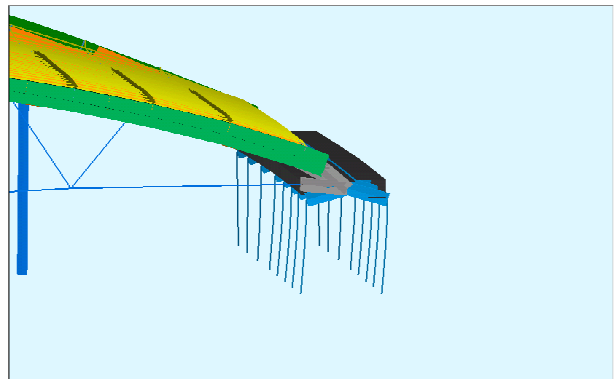


Abb. 2

"Schwimmende" Lagerung der Dächer
durch nachgiebige Unterkonstruktion



1.2 Lastansätze

Hölzerne Bauteile kommen insbesondere beim Dachtragwerk zum Einsatz. Hierzu können sowohl Bauprodukte nach der Bauproduktenrichtlinie (BRL), als auch neue Bauarten und neue Bauprodukte zum Einsatz kommen (Abs. 2).

Bei den Dächern von Sportarenen oder Messen selbst handelt es sich häufig um Tonnendächer. Die z.Zt. bauaufsichtlich eingeführte DIN 1055 Teil 4 enthält für diese Dachform keine speziellen Angaben - sehr wohl aber der EUROCODE 1 bzw. Schweizer und Kanadische Lastnormen. Hier sind rechtzeitige Absprachen mit dem Prüferingenieur sowie ggf. Windkanalversuche bzw. eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) erforderlich.

1.3 Aussteifung der Dachebene und Fugenkonzept

Aus der Erwärmung bzw. Abkühlung von Stahlbauteilen ergeben sich häufig Zwängungen in der Dachtragkonstruktion sowie zwischen dem Dach und den Lastabtragungskonstruktionen. Um die auftretenden Zwängungen zu minimieren, ist für das Dachtragwerk ein Fugenkonzept zu entwickeln. Dabei ist ggf. zwischen den verschiedenen Dachbereichen zu differenzieren.

2 Bauprodukte / Bauarten

Für gespannte Tragwerke können sowohl Bauprodukte nach der Bauproduktenrichtlinie (BRL), als auch neue Bauarten und neue Bauprodukte zum Einsatz kommen.

2.1 Bauprodukte nach BRL

- Massige Träger

Bei massigen Trägern ist die Anwendbarkeit der Regeln der Technik kritisch zu hinterfragen. Bekanntes Beispiel des letzten Jahrzehntes aus dem Ingenieur-Holzbrückenbau sind die blockverleimten Träger. Themen hierbei waren insbesondere die Verleimbarkeit der einzelnen BS-Holz-Träger (Stichwort Fugenfüllende Kleber) sowie das Quell- und Schwindverhalten des Blockes im Freien.

Derartige Konstruktionen kamen nunmehr, wenn auch in deutlich geringeren Abmessungen, bei der Neuen Messe Karlsruhe (im Folgenden mit NMK angeführt) sowie bei der SAP Arena Mannheim (SAP) zum Einsatz. Bei nicht als Eisstadion genutzten Bauwerken ist aber unter den Dachkonstruktionen im Sommer - trotz Be- und Entlüftung - mit Temperaturen von 50°C zu rechnen. Die Ausgleichsfeuchte des Holzes fällt dann unter die bei der Verleimung vorhandenen Feuchten ab. Dies zieht eine verstärkte Rissbildung nach sich.

Auch ist zu bedenken, dass die Schubtragfähigkeit von BS-Holz an wesentlich kleineren Proben geprüft wurde.

In Kombination kann dies bedeuten, dass hier ein Sicherheitsdefizit vorliegt und eventuelle Verstärkungsmaßnahmen durch innenliegend angeordnete stiftförmige Verbindungsmittel erforderlich sind.

- Veränderungen in der Bemessung

Weitgespannte Träger mit großen Einflussflächen werden von den Aufstellern hinsichtlich der Biegetragfähigkeit ausreichend bemessen. Durch den Einsatz von Hölzern höherer Güten (BS 16/18 statt BS 11/14), Furnierschichthölzer oder Kombinationen aus Hölzern verschiedenster Sortierklassen, lässt sich die Biegetragfähigkeit leicht vergrößern. Leicht vergessen wird dabei, dass nunmehr andere Trägerbereiche bemessungsrelevant werden können, z.B. die auflagenahen, auf Schub beanspruchten.

Aber auch die Kräfte sind i.d.R. eine Zehnerpotenz größer, als man es bei Dachtragwerken des üblichen Hochbaus gewohnt ist. Dies ist insbesondere bei Anschlüssen an Sekundärtragwerke oder nichttragende Bauteile zu berücksichtigen. Zudem ist die Verträglichkeit von Verdrehungen der Trägerenden im Bereich von Knotenanschlüssen zu beachten (Enddrehwinkel).

- Veränderungen in den Abbundtechniken

In /10/ und /11/ wurden am Beispiel der NMK je ein Beispiel genannt für die Anwendung herkömmlicher Abbundtechniken auf breite, blockverleimte Träger (Abb. 3) sowie auf neuartige Anschlussformen bzw. Knotendetails.

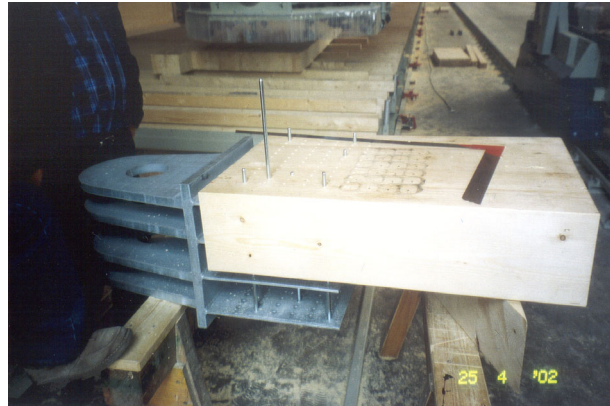


Abb. 3

Stabdübelanschluss

Blockverleimter Randträger

2.2 Neue Bauarten

Mit Schichthölzern können heutzutage sehr schlanke und in Kombination mit neuen Werkstoffen wie Glas architektonisch sehr ansprechende Bauwerke ausgeführt werden. Auch können diese, gerade auch in Ergänzung mit neuen Verbindungsmitteln, für hochbelastete, dynamisch beanspruchte Konstruktionen eingesetzt werden. Ferner ist es heutzutage möglich, Konstruktionen großer Robustheit als Massivkonstruktionen in Holz anstatt in Beton auszuführen.

Neue Querschnittsformen und neue Bauarten, wie z.B. Verbundbauweisen, können aber nicht ohne Weiteres nach den bauaufsichtlich eingeführten Regeln der Technik bemessen werden. So fehlt z.B. bei nachgiebig zusammengesetzten Querschnitten häufig das Wissen über die Grenzwerte der Verschiebungsmodulen (vgl. auch Abb. 4), über den Einfluss des Schwindens und Kriechens der beteiligten Werkstoffe unter- und zueinander (zeitlich versetztes rheologisches Verhalten), oder über die bauliche Durchbildung sowie Montage. So ist z.B. bei Pylonbrücken häufig zu beobachten, dass von dem Holzbauunternehmen die hölzernen Tragelemente bezüglich des baulichen Holzschutzes sehr sorgfältig ausgebildet wurden, jedoch bei den Stahlelementen kein ausreichendes Wissen über einen sinnvollen Korrosionsschutz vorliegt bzw. deren Ausführung nicht so geübt ist.

Als weiteres Beispiel seien T-Querschnitte genannt. Hier stellt sich die Frage nach der mitwirkenden Breite; insbesondere unter Einzellasten.

Abb. 4

Verstärktes Auflager Giebelträger
Standardhalle NMK
(Untersicht Ortgang)



2.3 Neue Bauprodukte

Sofern keine Regeln der Technik (i.d.R. DIN-Normen), als auch keine bauaufsichtliche Zulassung (BAZ) vorliegen, ist für das neue Bauprodukt eine Zustimmung im Einzelfall (ZiE) bei der Obersten Bauaufsicht des jeweiligen Bundeslandes zu beantragen. Dies ist häufig mit Versuchen an einer Anerkannten Materialprüfungsanstalt verbunden.

Der wirtschaftliche Einsatz der zur Zeit verfügbaren Werkstoffe in Abhängigkeit von den Beanspruchungen in einem Tragwerk führt zwangsläufig zu Verbundkonstruktionen.

Als Paradebeispiel für eine äußerst wirtschaftliche Holz-Stahl-Mischkonstruktion sei der stahlunterspannte Holzträger angeführt.

Abb. 18 zeigt eine Straßenbrücke für forstwirtschaftlichen Verkehr in der Schweiz mit einem Überbau in Holz-Beton-Verbundbauweise (vgl. /4/). Auch der Einfluss von Kriechen und Schwinden kann zwischenzeitlich rechnerisch gut erfasst werden (vgl. /7/).

Glas in Kombination mit Holz wird häufig für Fassaden eingesetzt; sei es in Pfosten-Riegel-Konstruktionen oder als structural glazing (Bemessungsvorschläge siehe /2/, /3/). Insbesondere bei der Verklebung von Verglasungen auf Holzunterkonstruktionen sind noch gewaltige Einsparpotentiale vorhanden.

Genauso wie Sand und Glas stellt Kunststoff ein Silika-Produkt dar. Der Einsatz hochwertiger z.B. Kohlenstoff- oder Glasfaserlamellen im Biege-Zug-Bereich kann zu einer enormen Tragfähigkeitssteigerung balkenförmiger Elemente beitragen (Bemessungsvorschläge siehe /1/). Auch werden im Stadionbau zunehmend leichte Membranverkleidungen eingesetzt - ein idealer Partner für hölzerne Unterkonstruktionen.

Zu guter Letzt sei noch auf das Holz-Recycling-Produkt 'Papier' verwiesen. Der Japanische Pavillon anlässlich der EXPO Hannover mit seinem wellenförmig geschwungenen Tonnengewölbe aus braunen Papierröhren mit weißen Recycling-Papier- und Gewebepapieren über einer Grundfläche von 3.600 m² hat gezeigt, was von diesem Produkt noch zu erwarten ist (vgl. /8/).

3 Montage

3.1 Faktor Zeit / Bauabläufe

Abb. 5

Luftaufnahme NMK Juni 2003



Bei Großbaustellen (Abb. 5) ist der Faktor Zeit die entscheidende Größe. Die Baumaßnahmen beginnen auf Grund langandauernder (Preis-)Verhandlungen häufig später als ursprünglich gedacht - die Fertigstellungstermine bleiben aber bestehen unter Androhung großer Regressforderungen auf Grund bereits terminierter Veranstaltungen.

Nach Meinung des Vortragenden ist die NMK ein Paradebeispiel dafür, dass sich der Aufwand zur Erarbeitung von Sondervorschlägen auszahlt.

Bei weit gespannten Dachtragwerken und somit in der Regel größeren Baumaßnahmen gewinnt der Witterungsschutz zunehmend an Bedeutung. Dies konnte insbesondere bei der SAP Arena beobachtet werden. Die Zeit z.B. bis zur Dacheindeckung kann mehrere Monate betragen. Ein Abdecken der bereits montierten Primärtragkonstruktion aus Holz ist daher sinnvoll. Zwingend erforderlich erscheint auf Grund vieler Schadensfälle, Hirnholz anstriche aufzubringen (Abb. 6).

Abb. 6

Knotenpunkt SAP-Arena Mannheim mit Rissbildungen vom Hirnholz her



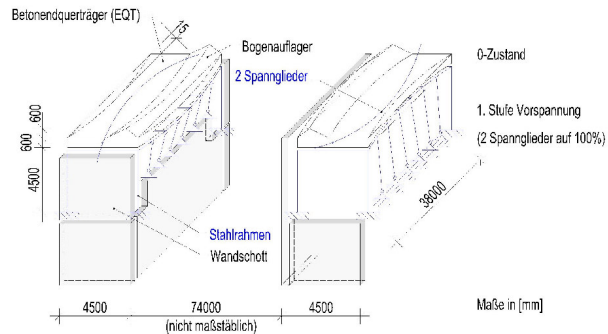
3.2 Ineinandergreifen verschiedener Gewerke

Allein schon die Namen der hier exemplarisch behandelten Bauwerke macht deutlich, dass es sich um Gebilde mit multifunktionalen Anforderungen handelt, die z.B. einen hohen Installationsgrad erfordern.

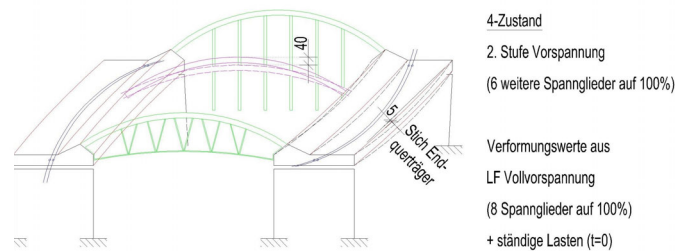
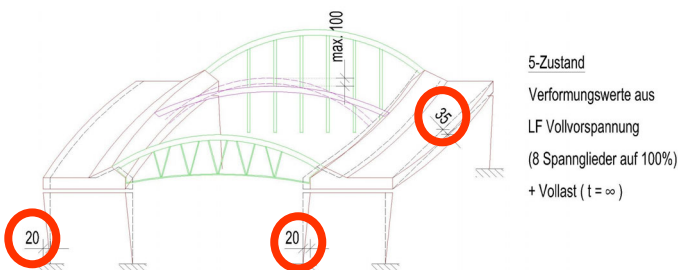
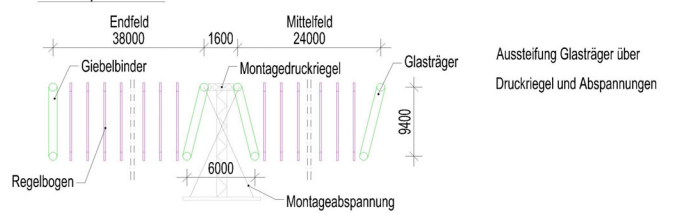
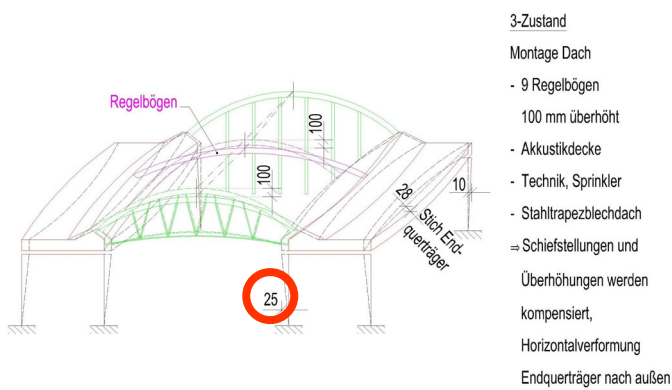
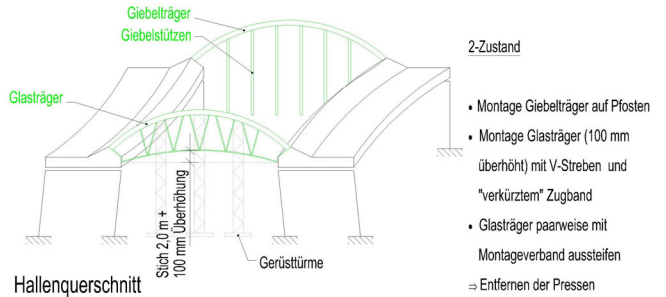
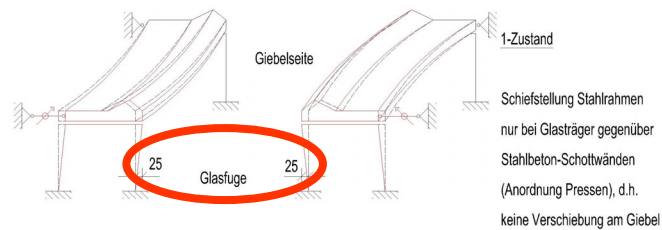
Das Ineinandergreifen verschiedenster Gewerke wurde in /11/ anhand der Auflagerung der Bogenbinder der Standardhallen der NMK erläutert. Die Lieferung hat jeweils "just in time" zu erfolgen (Abb. 7).

Abb. 7

Komplexität³ bei der NMK



Erläuterung
 — Ursprungszustand
 - - - verformter Zustand



3.3 Eingreifen Dritter

Dies bedeutet auch, dass den Bauleitungen oder dem SiGeKo erhöhte Verantwortungen und damit auch eine gewichtigere Rolle im Geflecht der am Bau Beteiligten zuwachsen.

3.4 (Neue) Montagetechniken

Hier ist insbesondere zu unterscheiden, ob die Montage mit oder ohne Hilfsunterstützungen auskommt.

Die Standardhallen der NMK (Abb. 8a) sind ein Beispiel für rechnerisch ebene Systeme. Hier waren keine Montageunterstützungen der einachsig lastabtragenden Bogenbinder erforderlich, da die Widerlager in Betonbauweise (hier: Endquerträger) die Standsicherheit und den entsprechenden Kraftschluss garantierten.

Das Lamellendach (in Anlehnung an die Zollinger Bauweise) bei der Mehrzweckhalle (dm-Arena, Abb. 8b) der NMK hingegen benötigte bereits planmäßig lastabtragende Zwischenunterstützungen, da - wie auch bei der Messe Friedrichshafen - in Längs- wie in Querrichtung quasi abschnittsweise montiert wurde. Die Unterstützungen mussten in der Höhe justierbar sein; weitere Maßnahmen waren nicht erforderlich.

Bei der SAP Arena /12/ hingegen handelte es sich um ein räumliches Dachtragwerk mit sogenannten Meridianen als Zugringe (analog Fassreifen eines großen Holzfasses). Um die in der statischen Berechnung zugrunde gelegten, klar definierten Ringzugkräfte auch zu erhalten, waren die Unterstützungen mittels Hubeinrichtungen und Kraftmessdosen zu versehen. An diesem Beispiel konnte bestätigt werden, dass die Durchbiegungen der 90 m weit gespannten Binder, allein infolge der Inhomogenität des Materiales, bis zu 10 cm betragen können. Bei den statischen Berechnungen ist hier i.d.R. der Lastfall "Bauzustand", und nicht der "Endzustand" maßgebend ! (Abb. 8c).



Abb. 8 Montage der Dachkonstruktionen
a) Bodenbinder (Balken) Standardhallen NMK
b) Lamellenkonstruktion Mehrzweckhalle NMK
c) Räumliche Konstruktion SAP-Arena Mannheim

Beim Rüstzeug selber sind dann z.B. schwere Lastsprieße aus dem Bereich des Brückenbaus oder Türme, und nicht mehr nur Hochbaustützen zu verwenden.

4 Räumliche Tragwirkungen

Auch bei augenscheinlich ebenen Gebilden entstehen durch z.B. die Dachformen räumliche Tragwirkungen. Als Beispiel seien hier die Dachscheiben der Standardhallen (NMK) oder die Nagelplattenkonstruktionen erwähnt - und dort insbesondere die Untersuchungen meines Vaters in den letzten Jahrzehnten im Bereich der Wind- und Aussteifungsverbände.



Abb. 9

Druckpendel Glasträger NMK

Zudem kann es durch unterschiedliche Lagerungen einzelner Binder (Abb. 9) zu räumlichen Tragwirkungen kommen. Bei den Endfeldern der dm-Arena der NMK (Moderne Zollinger-Bauweise) waren auf Grund der fortgeschrittenen Rohbauarbeiten keine baulichen Änderungen im Massivbau zur Aufnahme der größeren Horizontalkräfte mehr möglich. Um die horizontalen Kräfte aus dem Dachtragwerk dennoch aufnehmen zu können, wurden folgende Maßnahmen beschlossen (vgl. /11/):

1. Der Giebelbogen wird im Bauzustand abgesenkt. Dadurch entsteht eine Gegenneigung der Endfelder nach außen und eine Verringerung der Zwängungskräfte.
2. Die Koppelstäbe werden erst eingebaut, nachdem das Eigengewicht und die Verformungen daraus voll wirksam sind. Damit entfällt rechnerisch der Anteil aus dem Eigengewicht in den Zwängungskräften; die Horizontalkräfte aus der Kopplung werden weiter reduziert.
3. Im Einvernehmen mit allen Beteiligten wurden weniger konservative, aber plausible und realistische Kombinationen der Lastfälle Temperatur, Eigengewicht, Schnee und Nutzlasten festgelegt.

4. Im Hinblick auf eine größere Robustheit des Tragwerks werden die Stahlbeton-
endquerträger der fünf Felder untereinander durch ein vorgespanntes Zugband in
Hallenlängsrichtung gekoppelt.

Der Kraftverlauf wurden dann anhand von Verformungs- und Kraftmessungen kontrolliert.

5 Gebrauchstauglichkeit

Bei weit gespannten Tragwerken sind nicht nur die Kräfte, sondern auch die Verformungen häufig eine Zehnerpotenz größer, als man es bei Dachtragwerken des üblichen Hochbaus gewohnt ist. Zudem sind die i.d.R. filigrane Systeme schwingungsanfälliger (Abb. 10). So wurden z.B. bei der NMK Schwingungstilger gegen vertikale Schwingungsanfälligkeit infolge Wind eingebaut.

Abb. 10

Tacoma Bridge (USA) bei der Einweihung



Schwingungsanfällig sind insbesondere auch Decken unter Tanzsälen (Abb. 11) sowie die Tribünenanlagen (Abb. 12).

Abb. 11

Menscheninduzierte Schwingungen bei der Stadthalle Karlsruhe

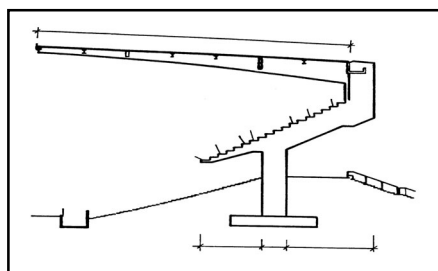


Abb. 12

Messungen Tribünenanlage Stadion Köln-Müngersdorf

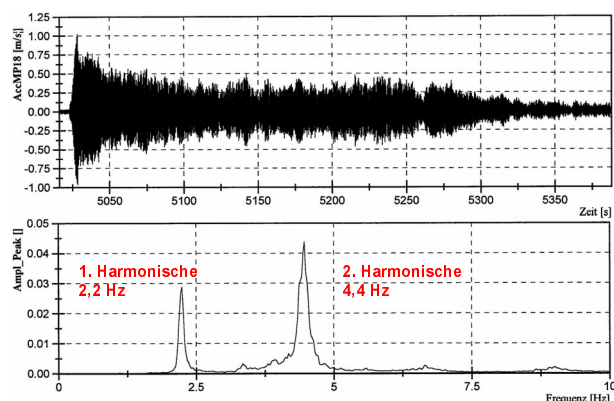


Abb. 13

Ergebnisse Wolfgang Petry mit "Wahnsinn"

Große Verformungen verursachen häufig Zusatzbeanspruchungen - nicht nur in horizontaler Richtung. Sie können bemessungsrelevant werden.

6 Gründung

Infolge der Nutzung liegen bei Arenen die Dachkonstruktionen häufig auf - im Vergleich zum Hochbau - mehrgeschossigen Unterkonstruktionen auf. Dabei kann es sich auch um hohe Stützenreihen im Bereich von Längsfassaden handeln. Kleine Nachgiebigkeiten im Baugrund können so zu großen Kopfverformungen der Stützen führen. Die Nachgiebigkeit des Baugrundes ist daher immer zu berücksichtigen; z.B. durch einen zur Verdrehsteifigkeit des Fußpunktanschlusses zu addierenden zweiten Term, den Baugrund betreffend.

Andererseits bietet der Holzbau die Chance, die Risiken sensibler Systeme im Rahmen von Sondervorschlägen zu minimieren und gleichzeitig zu wirtschaftlicheren Konstruktionen zu gelangen (Beispiel Neue Messe Stuttgart). Die Submission hat gezeigt, dass sich auch Hängedächer rein in Holzbauweise wirtschaftlich ausführen lassen. Dabei spielt das Thema **" Vom Balken zur Fläche "**

die zentrale Rolle. Im vorliegenden Fall konnten sowohl die Detailausbildungen, als auch die Montagetechniken wirtschaftlich gelöst werden (Abb. 14).

Die Spannbandbrücke über den Main-Donau-Kanal /4/ hat schon vor bald 2 Jahrzehnten gezeigt, dass der Ingenieurholzbau mit geeigneten Systemen in den Spannweitenbereich über 100 m vorstoßen kann.

Abb. 14

Querschnitt Tragwerk Neue Messe Stuttgart

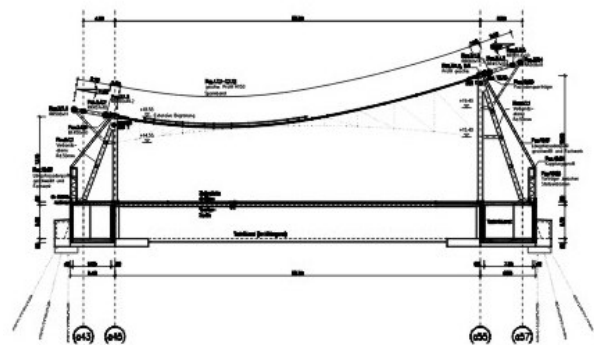
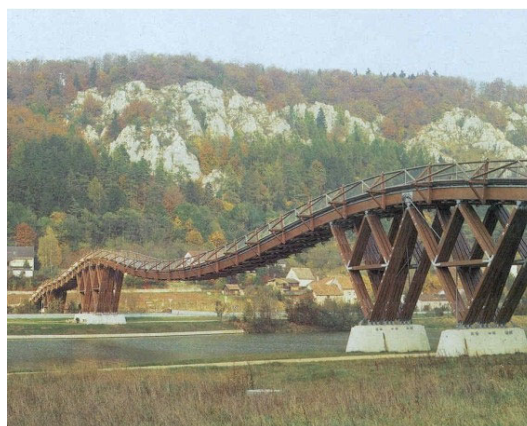


Abb. 15

Spannbandbrücke Essing



7 Brandschutzkonzepte

7.1 Industriebaurichtlinie

Weit gespannte Dachtragwerke für Sportstätten oder Messen erfüllen nicht mehr die Regelungen der Rechtsverordnungen zu den Landesbauordnungen, wie sie für übliche Hochbauten gelten. Eher ist hier schon die Muster-Industriebaurichtlinie anzuwenden. So können z.B. nach der Industriebaurichtlinie Brandschutzabschnitte von mehr als nur "35 oder 40 m", wie sie bei derartigen Bauwerken üblich sind, ausgeführt werden. Allerdings bedeutet dies zusätzliche Anforderungen an die Anzahl von Fluchtwegen, die Fluchtweglängen, wärme- und rauchabführende Anlagen (RWA's), Sprinklereinrichtungen, Feuerlöscher, Vorratsbehälter / Teiche, u.v.m. .

7.2 Einzelfallregelungen

Wenn dann im Rahmen eines Brandschutzkonzeptes die Anforderungen an die Bauteile festgelegt wurden, kann es darüber hinaus im Einzelfall sinnvoll sein, gesonderte Regelungen zu finden, um ein wirtschaftliches Bauen zu ermöglichen. Dies soll anhand der Messe Sinsheim erläutert werden (vgl. auch /9/, [Abb. 16](#)).



Abb. 16

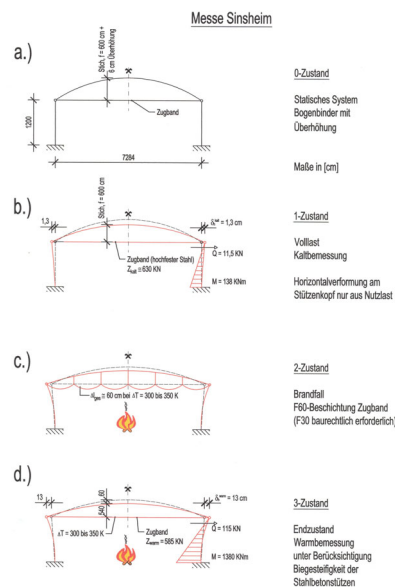
Innenansicht Halle IV Messe Sinsheim

Die neue Halle VI hat eine freie Stützweite von 73,40 m und eine Gesamtlänge von 140,00 m. Das Dachtragwerk bildet ein Tonnendach aus BS-Holz. Die lichte nutzbare Höhe beträgt 12,00 m bis zur Unterkante der waagerechten Zugbänder der Hauptbinder; die Firsthöhe 21,00 m.

Als Hallentragwerk wurde ein Dreigelenkbogenbinder mit waagerechtem Zugband gewählt. Die Binder sind gelenkig auf eingespannten Stahlbetonstützen angeschlossen und bilden so ein herkömmliches und einfaches Tragsystem. Die Hauptachsen stehen im Abstand von 10,00 m und sind über Einhängepfetten aus BS-Holz miteinander verbunden.

Abb. 17a) zeigt das statische System der Messehalle. Im Zuge der Lastaufbringung bzw. der äußeren Einwirkungen erzeugt der 73,4 m weit gespannte Dreigelenk-Bogenbinder einen Horizontalschub auf die Unterstützungskonstruktion. Zum Ausgleich der Horizontalkräfte aus den symmetrisch einwirkenden Lasten wurde daher eine hochfeste Unterspannung angeordnet. Unter Berücksichtigung der elastischen Dehnung der Unterspannung, der Steifigkeit der 12 m hoch auskragenden Stahlbetonstützen sowie der Nachgiebigkeit des Baugrundes stellt sich unter Volllast eine Verformung der Auflagerpunkte der Bogenbinder von beidseitig 1,3 cm nach außen ein (Abb. 17b)). Daraus resultiert eine Absenkung des Scheitelpunktes des Bogenbinders um 60 cm. Damit die Unterspannung immer ideal gerade zwischen den beiden Auflagerpunkten verläuft, wurden sowohl der Bogen überhöht hergestellt, als auch in den vertikalen Abhängungen (Holzpfosten) eine entsprechende Verschiebemöglichkeit vorgesehen. Letztere verringert auch die Einspannmomente der Hänger in die Bogenbinder in Folge möglicher Vorverformungen. Die Abhängungen waren erforderlich, um die Durchbiegung der Unterspannung infolge Eigengewicht zu minimieren. Unter ästhetischen Gesichtspunkten hätten diese auch mit einem geringeren Querschnitt und in einem anderen Material (Stahl) ausgeführt werden können. Im Hinblick auf die geforderte Feuerwiderstandsdauer wurden die Abhängungen jedoch als Quadrathölzer ausgebildet.

Abb. 17 Halle VI Messe Sinsheim
 a) Statisches System
 b) Kaltbemessung
 c) Brandfall
 d) Warmbemessung



Grundsätzlich ergeben sich entsprechend der Landesbauordnung (LBO) Baden-Württemberg und ihrer Rechtsvorschrift, der Versammlungsstättenverordnung, für große Hallenbauwerke erforderliche Feuerwiderstandsdauern von 30 Minuten für die Dachkonstruktion und 90 Minuten für die lastabtragenden Bauteile und Zwischendecken. Auf die Anordnung von Brandabschnitten (alle 40 m) im Halleninneren kann, u.a. bei Anordnung einer ausreichenden Anzahl von Fluchttüren in den Außenwänden, bei Abtrennung der Einbauten und bei flächendeckender Installation einer Sprinkleranlage, verzichtet werden.

Da letzteres aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus (Folgekosten) nicht gewollt war, musste die Holzdachkonstruktion doch der Anforderung F 30-B gemäß LBO genügen. Es wurde daher folgendes Brandschutzkonzept entwickelt:

Die relativ großen Holzquerschnitte der Hauptbinder und Pfetten ermöglichten mühelos eine Einstufung in die Feuerwiderstandsdauer F 30-B. Gleiches galt für die Stahlbetonstützen (F90). Die Aussteifung der Hallenkonstruktion wurde mit Diagonalen aus BS-Holz ausgeführt, für die nach der Warmbemessung keine wesentlichen Querschnittsvergrößerungen erforderlich wurden.

Im vorliegenden Fall musste dennoch mit Temperaturen gerechnet werden, die den hochfesten Stahl ins Fließen gebracht hätten. Es wurde daher eine F60-Beschichtung aufgebracht, die sowohl zu einer verlangsamten Erwärmung des Rundmaterials führt, als auch die Stahldehnungen wirkungsvoll begrenzt. Im vorliegenden Fall konnte durch eine Brandschutztechnische Beurteilung bestätigt werden, dass in den hochfesten Stahlzuggliedern dann mit Temperaturen von (nur) 300°C bis 350°C zu rechnen ist (Abb. 17c). Damit wird ein Fließen des Stahles während einer rechnerisch 30-minütigen Brandbeanspruchung nicht erreicht. Die elastische horizontale Ausdehnung der Unterspannung infolge dieser Erwärmung wird jedoch durch die Biegesteifigkeit der Stützen begrenzt; die Stützen übernehmen ab diesem Zeitpunkt die anfallenden horizontalen Auflagerkräfte. Die Kopfverformung der Stützen beträgt im Brandfall 13 cm beidseitig (vgl. Abb. 17d) und entspricht somit der 10-fachen Verformung aus der Kaltbemessung. Für die Stahlbetonstützen und ihre Gründung ergibt sich daher im Brandfall die 10-fache Biegebeanspruchung im Vergleich zur Kaltbemessung. Allerdings resultierte daraus bei Ansatz des im Brandfall einzuhaltenden geringeren Sicherheitsniveaus als auch der für die druckbeanspruchten Kragstützen erforderlichen Mindestbewehrung nach DIN 1045 keine erforderliche Vergrößerung der Beton- wie Stahlmengen für die Stütze.

Um im Brandfall die Rauchentwicklung im Publikumsbereich in Grenzen zu halten, wurden in der Dachfläche ausreichend RWA-Klappen eingebaut, die im alltäglichen Gebrauch auch zur Lüftung herangezogen werden können.

7.3 Resttragfähigkeit

Bei all den vorgenannten Überlegungen im Rahmen der Erstellung von Brandschutzkonzepten sowie von Einzelfallregelungen ist immer zu beachten, dass ausreichende Resttragfähigkeiten vorhanden sind. Diese können häufig durch Lastumlagerungen aktiviert werden.

8 Akquisition

8.1 Mischbauweisen

Da der Vortragende nicht nur als Prüflingenieur, sondern auch als Tragwerksplaner tätig ist, seien nachfolgend noch einige Anmerkungen zu Mischbauweisen gestattet (Abb. 18).



Abb. 18

Holz-Beton-Straßenbrücke
Innerferrera (CH) /4/

Ausschreibungen lassen häufig Sondervorschläge zu. Allerdings ist dann zu beobachten, dass, wenn z.B. für ein Stahlbetonbauunternehmen die Möglichkeit besteht, das gesamte Tragwerk in Stahlbeton auszuführen - und gleichzeitig ein Holzbauer bei diesem Unternehmen bezüglich einzelner Bauteile (z.B. Gründung) anfragt, dass dann der Stahlbetonbauer dies so anbietet, dass er die Gewinnmarge für das gesamte Tragwerk erhält, auch wenn z.B. aus politischen Gründen Mischbauweisen bevorzugt werden. Dies hat im Fall der Holz-Beton-Verbundbrücke Donaueschingen zu der in Abb. 19 dargestellten Kuriosität geführt.

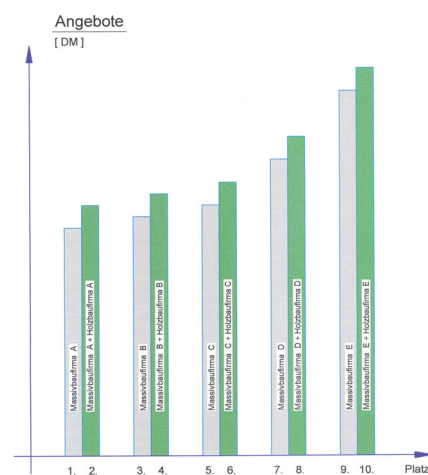


Abb. 19

Submissionsergebnis Straßenbrücke
Donaueschingen (schematisch)

Unter Umständen ist es daher sinnvoll, dass sich das Holzbauunternehmen den Preis des Konkurrenzproduktes durch ein Ingenieurbüro schätzen und in seine Kalkulation einfließen lässt. Im Auftragsfalle wird es dann genügend Baufirmen geben, welche dann die Teilleistung für den eingesetzten Preis auch ausführen werden.

8.2 Ganzheitliches Bauen

Zudem müssen sich Holzbauunternehmen daran gewöhnen, als Generalunternehmer (GU) bzw. Generalübernehmer (GÜ) tätig zu werden. Wenn man die Möglichkeit hat, als GU tätig zu werden, sollte man nicht aus lauter Angst eine Arbeitsgemeinschaft eingehen. Dem Vortragenden ist ein Fall bekannt, wo dann die Massivbaufirma insolvent ging und das Holzbauunternehmen weit größere Unannehmlichkeiten durch den insolventen Argepartner zu verkraften hatte, als wenn es selbst das Heft in der Hand gehabt hätte (was es seinerzeit auch hätte haben können).

Darüber hinaus sollten auch Holzbaufirmen darüber nachdenken, wie sie sich im Rahmen vom PPP-Projekten beteiligen können und möglichst frühzeitig in entsprechende Konsortien einklinken.

8.3 Sondervorschläge

Die Submission des bereits erwähnten Sondervorschlages zur Neuen Messe Stuttgart hat gezeigt, dass es trotz aller widrigen Umstände möglich ist, dem Holzbau eine Ausschreibung zugänglich zu machen.

Darüber hinaus ist es sinnvoll, vor bzw. zumindest unmittelbar nach der Beauftragung von Sondervorschlägen den Prüfindgenieur mit einzubeziehen.

8.4 Am Bau Beteiligte

Bei der Halle VI der Messe Sinsheim mit 10.500 m² Ausstellungsfläche war die enorm kurze Planungs- und Bauzeit die eigentliche Herausforderung für die am Bau Beteiligten. Anfang Februar 2002 wurden die Aufträge für die jeweiligen Gewerke und auch die Statik vergeben, Anfang März mit den Fundamentarbeiten begonnen und bereits am 24. September 2002 startete die erste Messe in der neuen Halle. Somit gab es eine reine Planungs- und Bauzeit von nur 7 Monaten.

Über diese rationelle und zeitlich kurze Bauausführung ergaben sich für den Bauherrn weitere Vorteile. So betragen die Kosten für den Rohbau der Halle ca. 4,2 Mio € entsprechend 400,-- €/m² Hallenfläche. Dies alles war möglich durch die gute Zusammenarbeit der am Bau Beteiligten.

Aus Sicht des Vortragenden ist es daher zu begrüßen, wenn ausführende Firmen möglichst frühzeitig auch den Prüfindgenieur in ihre Überlegungen mit einbinden. Es ist eine alte Binsenweisheit, dass je früher dies geschieht, je mehr unnötige Kosten in der Vorplanungsphase eingespart werden können.

8.5 Zukünftige Anforderungen

Öffentliche Einrichtungen werden zunehmend unter den Aspekten des Katastrophenschutzes bis hin zu terroristischen Anschlägen begutachtet /13/. Davon bleibt auch der Holzbau nicht unberührt, soll es nach wie vor auch überwiegend in Holzbauweise errichtete Bauwerke geben. Nach Meinung des Vortragenden sind gerade bei Sprengstoffanschlägen Holzbauten besonders geeignet, die Einwirkungen in Wärme zu dissipieren und Gefahr von Leib und Seele zu minimieren (Abb. 20).

Abb. 20

Versuche ICT Berghausen
mit FEM-Nachrechnungen



9 Zusammenfassung

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass der Werkstoff Holz gerade bei weit gespannten Dachtragwerken heutzutage auch wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Bei den großen öffentlichen Bauten der heutigen Tage handelt es sich um multifunktionale Neu- oder Umbauten, welche vielseitige Nutzung in den Bereichen Kommerz, Business, Sport, Kultur, Ausbildung und sogar Wohnen ermöglicht. Derartige Gebäude erhöhen nachhaltig den Mehrwert einer Region und stehen im öffentlichen Focus.

Der Ingenieurholzbau hat es geschafft, bei den Schulsportstätten und Messehallen Akzente zu setzen. Dies beweisen die Beispiele Nürnberg, Rostock, Friedrichshafen, Sinsheim, Karlsruhe, Rimini, San Giovanni Rotondo oder Mannheim oder Hamburg. Bei den Multifunktionsarenen für die Fußballweltmeisterschaft hingegen kam der Werkstoff Holz nicht zum Einsatz. Der Vortragende hat aber aufgezeigt, dass dies möglich gewesen wäre und bei zukünftigen Baumaßnahmen auch wirtschaftlich möglich ist.

Das Prinzip des Zerlegens und neu Zusammenfügens hat im Ingenieurholzbau eine Vielzahl linearer und flächiger Bauelemente mit definierten Eigenschaften hervorgebracht, so dass spezielle Anforderungen ihre eigene Lösung finden. Mit Schichthölzern verschiedenster Systeme lassen sich Spannweiten erreichen, die die 100-m-Marke längst überschritten haben.

Wo Querschnitte noch schlanker oder Spannweiten noch größer werden sollen, kombiniert man Holz mit Stahl, Kohle- oder Kunststofffasern sowie Textilien. Aufmerksamkeit bei der ingenieurmäßigen Weiterentwicklung der Verbundbauweisen mit Holz verdienen auch die innovativen Techniken. Qualitätsbezogene High-Tech-Sonderkonstruktionen sind in der modernen Architektur wichtige Komponenten, um das Image des Baustoffes Holz als eine konkurrenzfähige Alternative zu anderen Konstruktionsmaterialien zu verbessern. Der Holzbau wird dadurch differenzierter - das Holz einer der wichtigsten Einzelwerkstoffe. Die Luft- und Raumfahrt weist für Faserwerkstoffe eine große Zukunft aus.

Auch werden zukünftig Bauleistungen nicht nur nach gestalterischen und wirtschaftlichen Kriterien beurteilt, sondern zunehmend auch auf ökologische Verträglichkeit hin überprüft und daraus Bauentscheidungen abgeleitet. Bei der Gesamtbeurteilung erreicht Holz einen deutlichen Vorsprung gegenüber den übrigen Baustoffen. Für den natürlichen und wiederverwendbaren Rohstoff Holz sprechen, neben den fast unbegrenzten Gestaltungsmöglichkeiten, die Um- und Rückbaumöglichkeiten, die Entsorgung sowie die steigenden Energiekosten anderer Baustoffe. Die hohe Biegefestigkeit im Verhältnis zum Eigengewicht wirkt sich beim Baustoff Holz oftmals günstig aus. Holz hat bei richtiger Behandlung (insbesondere konstruktivem Holzschutz) eine hohe Lebensdauer; mehr als 400 Jahre alte Holzbrücken und mehrstöckige Fachwerkhäuser beweisen dies. Holz schafft ein angenehmes und gesundes Raumklima, ist beständig gegen viele Chemikalien, korrodiert nicht und versprödet kaum.

Der Holzbau war Ende des letzten Jahrhunderts in der Lage, im Hallenbau Akzente zu setzen – im 21. Jahrhundert sollten wir die über 100 m weit gespannten, großflächigen, leichten Konstruktionen ins Auge fassen!

- **Am Bau Beteiligte**

Bauherr	:	Messe Sinsheim GmbH , Sinsheim
Tragwerksplanung	:	Grossmann Bau GmbH & Co. KG, Rosenheim
Prüflingenieur	:	Dipl.-Ing. M. Gerold, Karlsruhe
Ausführung Holzbau	:	Grossmann Bau GmbH & Co. KG, Rosenheim
Montage Holzbau	:	Holzbau Müller GmbH, Blaustein-Dietingen

Bauherr	:	Karlsruher Messe- und Kongress GmbH
Architekten	:	Gerber Architekten, Dortmund
Tragwerksplanung	:	
a) Massivbau		Bollinger und Grohmann, Frankfurt
b) Ingenieurholzbau		Bollinger und Grohmann (Grundstatik), Firma WIEHAG Holzbau, Altheim (Ausführungsplanung)
Prüflingenieur	:	Dipl.-Ing. Matthias Gerold, Karlsruhe / Ostfildern
Ausführende Firmen	:	
a) Massivbau		Firma Moser, Freiburg
b) Ingenieurholzbau		Firma WIEHAG Holzbau, Altheim (A)
Bauleitung	:	ARGE ZSP / Weidlich, Stuttgart / Karlsruhe
Bauherr	:	Arena Mannheim Besitzgesellschaft mbH & Co. KG Dietmar Hopp Stiftung GmbH
Architekten	:	Hentrich Petschnigg + Partner KG, Düsseldorf
Generalunternehmer	:	HBM Stadien- und Sportstättenbau GmbH, Mannheim
Tragwerksplanung	:	
a) Massivbau		Ingenieurbüro Dr. Pelle, Dortmund
b) Ingenieurholzbau		Ingenieurbüro Bertsche, Prackebach Ingenieurbüro Schlecher, Albstadt-Ebingen Holzbau Amann GmbH, Weilheim-Bannholz
Prüflingenieur	:	Dr.-Ing. Hanns-Martin Bräuer, Mannheim Dipl.-Ing. Matthias Gerold, Karlsruhe (Begleitung Holzdach)
Ausführende Firmen	:	
a) Massivbau		Rekers Betonwerke GmbH, Spelle
b) Stahlbau		Stahlbau Queck, Düren
c) Ingenieurholzbau		Firma Amann, Weilheim-Bannholz
Bauleitung	:	Ing.Team Bau Projektmanagement, Baubüro Mannheim

10 Literatur

- /1/ ACKERMANN, G., ... , GEROLD, M.; u.a.; WÖRNER J.-D. 2002
Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen - Entwurf, Bemessung und Konstruktion.
In: Der Prüflingenieur 22/02, S. 9 – 10,
Empfehlungen und Beispielsammlung unter www.buev-ev.de
- /2/ BRAUN, H., BRÄUER, H.-M., GEROLD, M.; u.a.; WÖRNER J.-D. 2001
BÜV – Empfehlung für die Bemessung und Konstruktion von Glas im Bauwesen.
In: Der Prüflingenieur 18/01, S. 55 - 69
- /3/ BRAUN, H., BRÄUER, H.-M., GEROLD, M.; u.a.; WÖRNER J.-D. 1998
Checkliste für die bautechnische Prüfung von Glaskonstruktionen.
In: Der Prüflingenieur 10/98, S. 57 - 64
- /4/ GEROLD, M. 2001
Holzbrücken am Weg einschließlich Geschichte des Holzbrückenbaus unter
Berücksichtigung neuester Entwicklungen.
108 Seiten, Bruderverlag, Karlsruhe, ISBN 3-87104-126-2
- /5/ GEROLD, M. 2001
Nail Plates-structures - constructions and dimensioning.
In: Joints in Timber Structures, p. 101 - 109,
Proceedings PRO 22 of the International RILEM Symposium, Stuttgart,
S. Aicher, H.-W. Reinhardt (Hrsg.)
- /6/ GEROLD, M.; STEINMETZ, D. 2001
Anforderungen an Konstruktion und Bemessung von Nagelplattentragwerken aus der
Sicht des Prüflingenieurs.
Gemeinsamer Vortrag am 23.06.2001 anlässlich der VPI-Tagung, Freudenstadt
In: Tagungsbericht 30 Freudenstadt 2001
Landesvereinigung der Prüflingenieure für Baustatik Baden-Württemberg e.V. (Hrsg.)
- /7/ KUHLMANN, U.; GEROLD, M.; SCHÄNZLIN, J. 2001
Trag- und Verformungsverhalten von Brettstapel-Beton-Verbund.
In: Bauingenieur, H. 12, S. 281 - 288
- /8/ MILBRANDT, E.; GEROLD, M.; JAMNITZKY, J. 2000
Neuerungen im Ingenieurholzbau - Verbundwerkstoff Holz.
Seminarleiter: Dipl.-Ing. M. Gerold
Seminar Ingenieurakademie Baden-Württemberg
- /9/ POHLMANN, H.J.; GEROLD, M. 2002
Messehalle IV in Sinsheim.
In: Bauen mit Holz 104 (2002), H. 10, S. 12 - 15
- /10/ HOCHREINER, G.; GEROLD, M.; Di RISIO, T.; SPIEGELHALDER, U. 2003
Die Neue Messe Karlsruhe - Sondervorschläge und ihre Vorteile.
In: Bauen mit Holz 105 (2003), H. 6, S. 8 - 15, und H. 7, S. 9 bis 16, sowie
in: Charpente, menuiserie, parquets, H. 12, S. 10 - 14

- /11/ GEROLD, M.; HOCHREINER, G.; KASIC, S.; Di RISIO, T. 2004
Material- und gewerkeübergreifende Planung im Ingenieurholzbau
- Neue Messe Karlsruhe.
In: Bauingenieur 79 (2004), H. 10, S. 463 – 472
- /12/ MÜLL, W.; FRITZEN, K. 2005
Superlative: 90 m frei spannende Holz-Fachwerkbinder.
In: Bauen mit Holz, H. 2, S. 6 - 10
- /13/ DPÜ-Arbeitskreis Katastrophenschutz diskutiert die Ziele seiner künftigen Arbeit,
Matthias Gerold wurde zum Vorsitzenden gewählt.
In: Der Prüflingenieur 26/05, S. 13