

Wiley Industry Days

WIN DAYS

7.-9. Juni 2021

www.WileyIndustryDays.com

Bauen 2021 - Werden Sie mit uns Teil der WINDays

Virtuelle Show mit Konferenz, Ausstellung und Networking für Architektur und Bauingenieurwesen, Automatisierung, Machine Vision, Photonics, Healthcare und Sicherheit.

- **Virtuelle Ernst & Sohn Ausstellungshalle** mit Auditorium für Architektur und Bauingenieurwesen
- **Fokus auf Ihr Networking** - Ihre Kommunikation - Ihren Vertrieb
- **3 Leistungspakete bieten Ihnen optimale Repräsentationsmöglichkeiten**, inkl. direkter Kommunikation mit den Messteilnehmern per Video- und Textchat u. v. m.



STANDBUCHUNGEN

Wenden Sie sich jetzt an unsere Experten!

Fred Doischer - Fred.Doischer@Wiley.com
Tel. +49 (0)172-3999-853

Sigrid Elgner - Sigrid.Elgner@Wiley.com
Tel. +49 (0)30-47031-254



**JETZT KOSTENFREI ALS
BESUCHER REGISTRIEREN!**
WWW.WILEYINDUSTRYDAYS.COM

Harald Kloft
 Klaus Fäth
 Viktor Wilhelm

Entwerfen von leichten Dachtragwerken aus Glas und Stahl

Die Leichtigkeit von Dachtragwerken wird nicht durch Minimierung der Masse erzielt. Auch die Verwendung der Werkstoffe Glas und Stahl ist per se noch kein Garant für die filigrane Erscheinung einer Konstruktion. Der Entwurf von leichten Dachtragwerken aus Glas und Stahl gestaltet sich vielmehr als Optimierungsaufgabe von intelligenter Verteilung der Masse und gezielter Nutzung der Leistungsfähigkeit der beiden Werkstoffe. Wesentlicher Aspekt ist die Abstimmung des Tragwerksentwurfes auf die architektonische Entwurfsidee und die örtlichen Randbedingungen. Dies erfordert von Beginn an eine enge Zusammenarbeit von Architekt und Ingenieur.

In dem Beitrag werden die Entwurfsprozesse von drei leichten Dachtragwerken aus Stahl und Glas vorgestellt und die Rolle des entwerfenden Ingenieurs diskutiert. Die Tragwerke wurden von *Klaus Fäth* und *Harald Kloft*, als Inhaber des Ingenieurbüros *osd – office for structural design*, Frankfurt/M., in Zusammenarbeit mit *Viktor Wilhelm*, Stuttgart, geplant.

Designing lightweight roof structures of glass and steel. *Lightness of roof structures does not mean to minimize the building mass. As well, the use of glass and steel will not guarantee a sophisticated appearance of a construction. Designing a lightweight, transparent structure is much more a task of optimization by intelligent arrangement of the building mass and by the defined use of the materials glass and steel. An essential aspect is the structural design in relation to the architectural idea and the urban context. All together, this needs a close cooperation of architect and engineer from the very beginning of a design process.*

In the following three lightweight roof structures are presented and the role of the engineers will be discussed. All projects are designed by Klaus Fäth and Harald Kloft, the principals of the Frankfurt based engineering practice osd – office for structural design in close cooperation with Viktor Wilhelm from Stuttgart.

1 Prolog: Das Tragwerk als Entwurfsaufgabe

Ein Tragwerk zu planen ist vor allem eine Entwurfsaufgabe. Häufig wird das Leistungsbild der Tragwerksplanung mit der statischen Berechnung gleichgesetzt und der tragwerksplanende Ingenieur auch als „Statiker“ bezeichnet, wodurch der kreative Anteil des Ingenieurs – insbesondere der entwerfende Anteil – aus dem Blickfeld gerät. Dabei entscheidet gerade die frühzeitige Einbindung eines Tragwerksplaners in die konzeptionellen Entwurfsphasen über die gestalterische Qualität wie auch die Wirtschaftlichkeit von Bauwerken. Andererseits darf das Entwerfen von Tragwerken

auch nicht als kreativer Alleingang der Ingenieure missverstanden werden. Nicht das Tragwerk steht im Vordergrund, sondern die Architektur, denn eine hohe architektonische Qualität ist immer auch das Ergebnis guter Ingenieurplanung. Der Tragwerksentwurf kann somit als „integrierter Entwurf“ bezeichnet werden, der zwar eine eigenständige Planungsleistung darstellt, aber nicht unabhängig von einem architektonischen Entwurf erbracht werden kann. Ziel dieses integrierten Entwurfsansatzes ist es, für die jeweilige Architektur und Bauaufgabe das angemessene Tragwerk zu entwickeln.

Bei Ingenieurbauwerken haben Tragkonstruktionen oft einen höheren Anteil an der architektonischen

Qualität als bei Hochbauten. Funktional reduziert auf das Wesentliche wie den Witterungsschutz ist gerade bei leichten Überdachungen mit transparenter Eindeckung das Tragwerk primäres Element der Gestaltung. Für den entwerfenden Ingenieur bedeutet dies, dass der Tragwerksentwurf in seiner Konsequenz bis zum Ende des Prozesses, also bis hin zum Detail und der konstruktiven Fügung, gedacht werden muss. Ein weiterer, entscheidender Entwurfsaspekt für die Wahl von Material und Konstruktionsart sind die örtlichen Gegebenheiten im urbanen oder städtischen Kontext. Beispielsweise sind die Überdachungen der Regiotram-Haltestelle im Kasseler Hauptbahnhof (Bild 1) und die Überdachung der Odenwaldbahn-Haltestelle TU Lichtwiese in Darmstadt (Bild 2) formal durchaus ähnlich. Beide Tragstrukturen sind aus rautenförmigen Stabelementen zu Gitterschalen zusammengesetzt worden, aber die Wirkung hinsichtlich Materialität und gestalterischer Einbindung im örtlichen Kontext könnte kaum unterschiedlicher



*Bild 1. Holzgitterschale am Kasseler Hauptbahnhof (Foto: osd – Ingenieure)
 Fig. 1. Wooden lattice shell structure at Kassel main station*



Bild 2. Transparente Überdachung als Glas-/Stahlkonstruktion der Odenwaldbahn-Haltestelle in Darmstadt (Foto: Dieter Leistner)

Fig. 2. Transparent roof structure as glass/steel construction at Odenwald-train station in Darmstadt



Bild 3. Fließender Übergang von der Horizontalen in die Vertikale durch die Wahl eines Zylinderausschnittes für die auskragende Dachkonstruktion der Odenwaldbahn-Haltestelle (Foto: osd – Ingenieure)

Fig. 3. Floating transition from horizontal to vertical by choosing a section of a cylindrical shape for the cantilevering roof structure of the Odenwald-train station

sein: Während sich das Holzlamelldach im Kasseler Hauptbahnhof behaupten muss, nimmt sich die Überdachung am Waldrand von Darmstadt als leichte Stahl-Glaskonstruktion zurück und lässt den Blick frei hindurch zu den Bäumen gleiten.

2 Odenwaldbahn-Haltestopp TU Lichtwiese, Darmstadt

Die Überdachung der Odenwaldbahn-Haltestelle TU Lichtwiese befindet sich auf einem Bahndamm direkt über einer gemauerten Bogenbrücke am Waldrand von Darmstadt. Durch die überhöhte Lage ist der Haltepunkt von der Ferne aus gut sichtbar. Entwurfsziel war es, die Überdachung und die Wegeführung so in die Landschaft zu integrieren, dass einerseits eine signifikante Fernwirkung gegeben ist, andererseits aber keine Barriere am Übergang vom Universitätsgelände zum Wald entsteht. Und für die wartenden Fahrgäste sollte die Überdachung eine Geborgenheit in dieser offenen Landschaftssituation schaffen.

Pahl + Weber-Pahl Architekten und osd – Ingenieure entwickelten eine filigrane Stahl-Glaskonstruktion, die durch ihre zylindrische Grundform den Bahnsteig mit der Geste einer geöffneten Hand umgreift [1] und so die gewünschte Geborgenheit allein schon durch die Form erzeugt.

Die Leichtigkeit der Überdachung wird durch die gezielte Abstimmung von Materialität, Konstruktionswahl und konstruktiver Durchbildung erreicht. Aber auch der fließende Übergang von der horizontalen Dachfläche in die vertikale Rückwand durch die Wahl eines Zylinderausschnittes und die dem Momentenverlauf angepasste Flachstahlkonstruktion prägen die filigrane Erscheinung der Dachkonstruktion (Bild 3).

Statisch gesehen, handelt es sich bei der entworfenen Konstruktion um eine auskragende, gekrümmte Gitterschale. Die rautenförmige Struktur wird von einzelnen Stahllamellen gebildet, die biegesteif durch Schweißnähte miteinander verbunden sind. Die Aussteifung der Gitterschale erfolgt über die Rahmenwirkung der Rautenelemente. In den Kreuzungspunkten werden jeweils vier Lamellen (Flachstähle mit konstanter Dicke) miteinander verschweißt. Um eine volle Verschweißung der Lamellen zu gewährleisten, werden die einzelnen Stäbe um eine gemeinsame „Faltlinie“ geknickt. Als Konsequenz werden die Flachstähle zur Kragarmspitze hin um die Längsachse zunehmend verdreht, wodurch die Rechteckprofile auch um die schwache Achse beansprucht werden. Weil das Biegemoment jedoch zur Spitze hin abnimmt, konnten die Profildicken beibehalten werden,

während die Profilhöhe kontinuierlich abnimmt (Bild 4).

Die Glaseindeckung (VSG aus TVG) ist im Unterschied zu der diagonal verlaufenden Tragstruktur horizontal und vertikal gegliedert. Die Scheibengrößen sind auf die Primärkonstruktion abgestimmt und die Glashalter in den polygonalen Knickpunkten der Stahllamellen angeordnet (Bild 5). Die Glasscheiben werden zwängungsfrei in den Klemmhaltern gelagert und überspannen entlang der Leitlinie der zylindrischen Mantelfläche jeweils drei Rauten. Durch die schindelförmige Überlappung der Scheiben wird eine sehr ein-



Bild 4. Stahlgitterschale an den Momentenverlauf angepasst und mit biegesteifen Schweißknoten verbunden (Foto: Dieter Leistner)

Fig. 4. Lattice steel structure formally adapted to the bending moment and connected with welded joints



Bild 5. In den polygonalen Knickpunkten der Stahllamellen angeschweißte Glashalter aus Edelstahl (Foto: osd-Ingenieure)

Fig. 5. Fixing brackets for the glass panels welded on the steel gills

fache und wirksame Wasserabführung gewährleistet (Bild 6).

3 Überdachung Torturm der Kaiserpfalz, Gelnhausen

Bei der Kaiserpfalz in Gelnhausen, auch Barbarossaburg genannt, handelt es sich um eine denkmalgeschützte Ruine, die im 13. Jahrhundert von dem Stauferkaiser *Friedrich I. Barbarossa* erbaut wurde. Im Rahmen eines Gutachterverfahrens wurden drei Architekturbüros eingeladen, eine Überdachung für den Torturm zu entwerfen und zudem eine neue Treppenanlage mit Besucherplattform in den Turm zu integrieren. Die Architekten Pahl + Weber-Pahl [1] schlugen vor, die Besucherplattform auf einem Vorsprung unterhalb der Mauerkrone aufzulagern und die Treppenanlage von der Plattform freitragend abzuhängen. Das Schutzdach sollte unabhängig von der Treppenanlage als flaches Glasdach auf der Mauerkrone aufgelegt werden (Bild 7).

Im Rahmen der Entwurfsplanung entwickelten Architekten und Ingenieure verschiedene Varianten für die leichte Überspannung des Torturms. Eine Lösung sah vor, das Dachtragwerk aus Biegeträgern herzustellen. Die Verteilung der Biegeelemente über



Bild 6. Natürliche Entwässerung durch schindelförmig überlappende Glasscheiben (Foto: osd - Ingenieure)

Fig. 6. Natural drainage by overlapping glass panels

die Dachfläche wurde in Abhängigkeit der Stützenabstände sowie der Wirtschaftlichkeit der Scheibenabmessungen getroffen. Da die maximalen Momente bei dieser Lösung in Feldmitte vorliegen, führte dies zwangsläufig auch zu einer Materialkonzentration mittig über der Besucherplattform. Eine andere Lösung zielte auf eine Minimierung der konstruktiven Elemente über der Plattform, um die Sicht in den freien Himmel möglichst wenig zu be-

einträchtigen. Architekten und Ingenieure entwickelten ein Dachtragwerk aus einem liegenden, umlaufenden Rahmen, in den eine ebene, vorgespannte Seilnetzkonstruktion aus Edelstahl integriert wird. Mit dieser Variante gelang es, die Materialkonzentration über die Mauerkrone der Turmruine zu verlagern und die Fläche über der Plattform weitgehend frei von konstruktiven Elementen zu halten (Bild 8). Die mit der erforderlichen



Bild 7. Physisches Modell der filigranen Überdachung für den Torturm der Kaiserpfalz in Gelnhausen (Foto: Pahl + Weber-Pahl)

Fig. 7. Physical Model of the lightweight roof structure for the Kaiserpfalz Tower in Gelnhausen

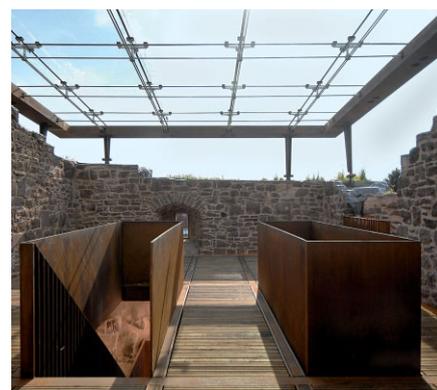


Bild 8. Vorgespannte Seilnetzkonstruktion mit umlaufendem, biegesteifen Randträger als horizontaler Abschluss des Turmmauerwerks (Foto: Dieter Leistner)

Fig. 8. Prestressed cable-net structure with circular rigid frame as horizontal closure of the masonry walls

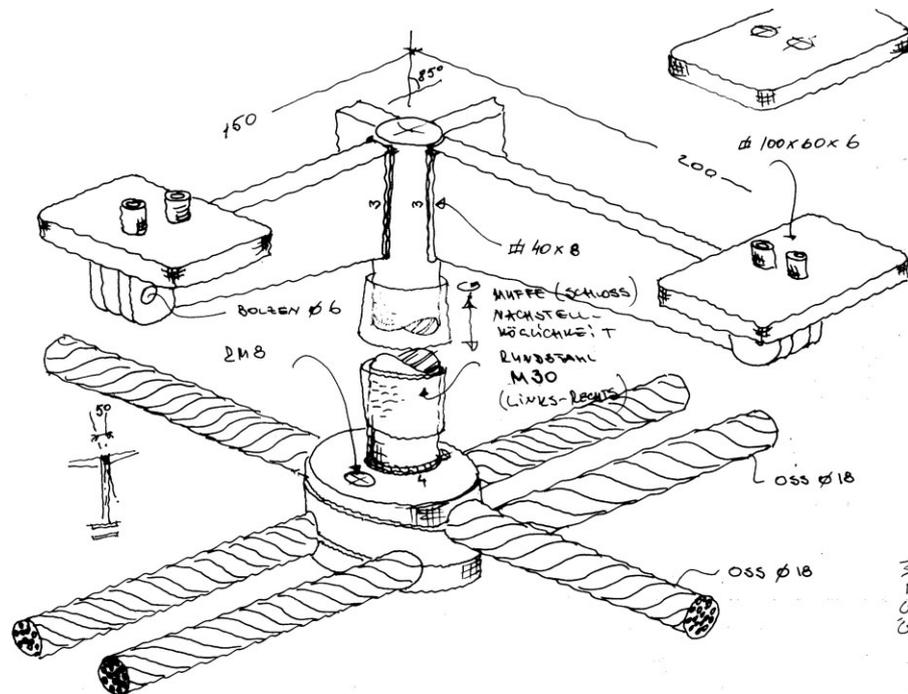


Bild 9. Entwurfsskizze des Glashalters (Viktor Wilhelm)
 Fig. 9. Design sketch for the glass brackets

Biegesteifigkeit einhergehenden Querschnittsabmessungen des umlaufenden Kastenprofils wirken jedoch nicht überdimensioniert, ganz im Gegenteil: Der prägnante Rahmen aus Cortenstahl bindet optisch die Ruinenmauern zusammen und schafft formal einen horizontalen Abschluss für den Torturm.

Durch die ungleichen Längenverhältnisse waren in den beiden Spannrichtungen unterschiedliche Seilkräfte vorhanden. Anstelle der Wahl verschiedener Seilquerschnitte wurden in

kurzer Richtung offene Spiralseile und orthogonal dazu Zwillingsseile gespannt. Die Halterungen für die Glasscheiben wurden in den Seilkreuzungspunkten positioniert. Die Scheiben stützen sich auf das Seilnetz mittels speziell entwickelten Spiderpfosten ab (Bild 9). Die Eindeckung erfolgt über eine rahmenlose Glashaut aus Verbundsicherheitsgläsern. Die Scheibengrößen folgen dem Raster des Seilnetzes und sind in den Fugen über Klemmhalter mit den Spiderpfosten verbunden (Bild 10).

4 Überdachung der Eingangshalle des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik, Potsdam/Golm

Im Zuge der Erweiterung des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik in Potsdam/Golm wurde eine großzügige, transparente Eingangshalle realisiert, welche das vorhandene Ensemble aus drei u-förmig angeordneten Baukörpern miteinander verbindet (Bild 11).

Die Entwurfsidee von Ermel Horinek Weber ASPLAN Architekten sah für den Atriumsbau eine auf den bestehenden Außenwänden aufgeständerte Dachkonstruktion vor, die den Charakter einer scharfkantigen, kristallinen Gebäudehülle vermittelt. Intention war es, eine transparente Hülle zu schaffen, die keine formale Aufteilung in Dach- oder Fassadenkonstruktion vorsieht. Die ingenieurtechnische Umsetzung folgte dieser Idee durch den Entwurf eines Konstruktionsprinzips, das sowohl für die Schließung der vertikalen Flächen wie auch für die horizontale Eindeckung verwendet werden konnte und welches Glasplatten als gestaltprägendes Konstruktionsmaterial verwendet (Bild 12). Wesentliches Merkmal dieser Konstruktionsidee ist es, die unterschiedlichen Beanspruchungen als liegendes oder stehendes Flächentragwerk lediglich durch die Dimensionierung der Glasscheiben – sozusagen „nicht sichtbar“ – zu berücksichtigen. Da die Wahl einer Verglasung in erster Linie mit der Lagerungsart der Scheiben verbunden

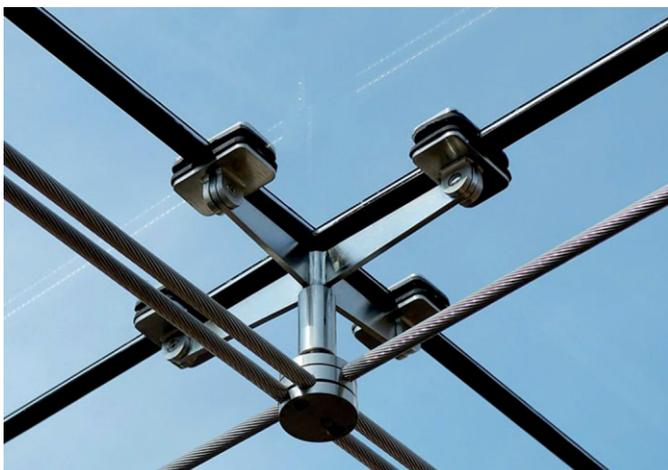


Bild 10. Detail der Fügung von Glasscheiben und Seilnetz (Foto: Dieter Leistner)
 Fig. 10. Detail of the jointing system for the glass panels on the cable net structure



Bild 11. Außenansicht der transparenten Eingangshalle des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik in Potsdam/Golm (Foto: Ermel Horinek Weber ASPLAN Architekten)
 Fig. 11. Outer view to the transparent entrance hall of the Max-Planck Institute for Gravitation in Potsdam/Golm



Bild 12. Innenansicht der transparenten Eingangshalle des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik in Potsdam/Golm (Foto: Ermel Horinek Weber ASPLAN Architekten)

Fig. 12. Inner view to the transparent entrance hall of the Max-Planck Institute for Gravitation in Potsdam/Golm

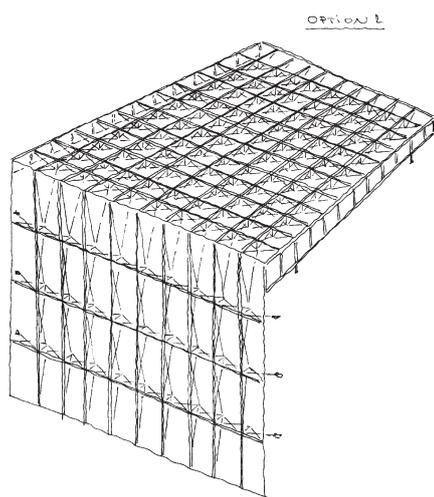


Bild 13. Skizze des Tragwerksentwurfs (Viktor Wilhelm)

Fig. 13. Design sketch of the structural system



Bild 14. Detail der Anschlussstechnik des Zugstabsystems (Foto: osd - Ingenieure)

Fig. 14. Detail of the tension bar system

ist, beeinflusst dies die Kosten der Konstruktion entscheidend, wurde eine liniengelagerte Verglasung gewählt.

Auch auf die Unterkonstruktion wurde die Entwurfsidee übertragen und eine einheitliche, homogene Unterkonstruktion entwickelt, welche auf die unterschiedlichen Beanspruchungen im Vertikal- und Horizontalbereich der Hülle angepasst werden konnte (Bild 13).

Zunächst wurde ein einfach unterspannter Trägerrost in Erwägung

gezogen. Die Tatsache jedoch, dass im Vertikalbereich der Hülle eine vorzeichen-wechselnde Beanspruchung durch die Windlast entsteht – ebenso wie bei der biegesteifen Eckausbildung im Bereich der Traufe – führte dazu, dass eine zweite gegenläufige Unterspannung des Trägerrostes eingeführt werden musste. Für die gewählte Unterspannung wurde ein Zugstabsystem mit entsprechender Anschlussstechnik gewählt (Bild 14). Guss- bzw. Fräsattel kamen weder aus terminlichen noch aus Kostengründen in Frage. Die Wechselanordnung von Zwillingen- und Einzelstäben erfolgte entsprechend den statischen Beanspruchungen (Bild 15). Insgesamt ist dadurch eine ruhige, zurücktretende Hülle entstanden.

5 Resümee: Zur Rolle des entwerfenden Ingenieurs

Die vorgestellten Projekte zeigen, dass hohe gestalterische Qualität das Ergebnis einer gemeinsamen Motivation von Architekten und Ingenieuren in einem „interaktiven Planungsprozess“ ist. Entwerfende Ingenieure sollten sich in die konzeptionellen Ideen der Architekten hinein denken können und werkstoffübergreifendes Denken mitbringen. Ein Missverständnis ist der häufig in diesem Zusammenhang gebrauchte Begriff des „Ingenieurarchitekten“ oder die Umschreibung der Tätigkeit des entwerfenden Ingenieurs mit Archineering oder ähnlichen Kunstworten. Sensi-



Bild 15. Zugstabsystem für die Unterspannung in der Montage (Foto: osd-Ingenieure)

Fig. 15. Tension bar system during assembling

bilität für den architektonischen Entwurf ist nicht gleichbedeutend mit der Fähigkeit zum architektonischen Entwerfen. Das weiße Blatt am Anfang eines Planungsprozesses zu füllen, ist nicht das Metier des Bauingenieurs, aber sobald ein Architekt einen Strich gezeichnet hat, kann ein entwerfender Ingenieur seine Kreativität einbringen, und der interaktive Planungsprozess startet. *Peter Rice* hat hierzu in seinem lesenswerten Buch „An Engineer Imagines“ folgende Formulierung gewählt: “To call an engineer an ‘architect engineer’ because he comes up with unusual or origin solutions is essentially to misunderstand the role of the engineer in our society” [2]. Zum Unterschied von Architekten und Ingenieuren schreibt *Rice*: “I would distinguish the difference between the engineer and the architect by saying the architect’s response is primarily creative

whereas the engineer’s is essentially inventive” [2].

Unserem Verständnis nach sind beide, Architekt und Ingenieur, sowohl „Creative“ als auch „Inventive“, vielleicht können die Unterschiede wie folgt interpretiert werden: Die Kreativität des Architekten ist mehr subjektiv geleitet, während die Kreativität des Ingenieurs eher objektiven Kriterien folgt. Das ist auch der eigentliche Grund, warum beide – Architekt und Ingenieur – zwar gemeinsam an einem Projekt arbeiten können, aber dennoch ganz unterschiedlich ihren Anteil zum Gelingen beitragen. Dieses Verständnis des entwerfenden Ingenieurs erlaubt es uns, mit ganz verschiedenen Architekten zusammenzuarbeiten. Die architektonische Stilrichtung ist dabei für die Motivation des entwerfenden Ingenieurs nicht ausschlaggebend und entscheidet nicht über ein gutes

oder weniger gutes Tragwerk. Maßgebend ist vielmehr die Offenheit und Bereitschaft aller Planungsbeteiligten zum integralen Planungsprozess mit dem gemeinsamen Ziel, gute Architektur zu schaffen.

Literatur

- [1] Structure in Mind – Die Architektur von Burhardt Pahl + Monika Weber-Pahl. Berlin: Jovis Verlag 2009.
- [2] *Rice, P.*: An Engineer Imagines. ellipsis London, 1994.

Autoren dieses Beitrages:

Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft, office@o-s-d.com
Prof. Dipl.-Ing. Klaus Fäth, office@o-s-d.com
osd – office for structural design
Gutleutstraße 96
60329 Frankfurt a. M.

Dr.-Ing. Viktor Wilhelm, vw@wilhelm-ing.de
Wilhelm + Partner
Auf dem Haigst 7a
70597 Stuttgart