

## Steckverbindungen

Konstruieren und bauen mit  
Steckanschlüssen aus Metall



## Konstruieren und bauen mit Steckanschlüssen aus Metall

Eine Übersicht und Hilfestellung im Umgang mit alternativen Verbindungsmitteln mit:

- geschichtlichem Überblick
- tabellarischer Auflistung aktueller Steckanschlüsse
- statischen Ansprüchen an die Verbindungen
- Entwurfsansätzen zu Neuentwicklungen alternativer Steckanschlüsse
- Vergleich konventioneller Anschlüsse zu Steckknotenverbindungen
- Entscheidungskriterien zur richtigen Verbindungsart

**Bernd Heukelbach:**

Konstruieren und bauen mit  
Steckanschlüssen aus Metall

Dissertation Universität Dortmund 1998  
An der Fakultät - Architektur - der Universität Dortmund  
zur Erlangung des Doktorgrades der Architektur

Tag der Prüfung : 19.12.2000

Vorsitzender der Prüfungskommission  
Prof. Dr. -Ing. Horst Georg Schäfer

1. Gutachter  
Prof. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Dr.-Ing. E.h. Dipl.-Ing. Stefan Polonyi'

2. Gutachter  
Prof. Dipl.-Ing. Helge Bofinger

Beisitzer  
Prof. Dipl.- Ing. Gunter Standke

© 2001      Dipl. -Ing. Bernd Heukelbach  
                  Saalestr. 13  
                  D. 45136 Essen - Bergerhausen

Printed in Germany.  
Druck: Heimbuch Reprografie, Essen

# Konstruieren und bauen mit Steckanschlüssen aus Metall

## Gliederung

### **1 Einleitung**

- 1.1 Aufgabenstruktur / Untersuchungskriterien
- 1.2 Anlaß und Grundlage der Untersuchung

### **2 Entwicklungsgeschichte**

- 2.1 Geschichtlicher Rückblick auf Bauten und Konstruktionen mit Steckverbindungen

### **3 Definitionen / Erläuterungen**

- 3.1 Alternative -Verbindungssysteme / Steckanschlüsse
- 3.2 „Modulare Tragwerke und Bauten“

### **4 Voraussetzungen**

- 4.1 Ansprüche an konventionelle Verbindungen und Steckanschlüsse
- 4.2 Anspruch an Werkstoffe für Steckanschlüsse

## **5 Auflistung der Steckverbindungen nach ihren statischen Funktionen**

5.1 Steckanschlüsse im zweidimensionalen Stabwerk

5.1.1 Steckverbindungen in Längsstößen mit Zug - und Druckbeanspruchung

5.1.2 Steckverbindungen mit Biegung mit Längskraft

5.2 Steckverbindungen in räumlichen Stab- und Flächentragwerken

5.3 Steckverbindungen für Anschlüsse zwischen Stütze und Träger

5.3.1 Eckverbindungen für Hallentragwerke

5.3.2 Steckverbindungen im Geschossbau

5.3.3 Steckanschlüsse für Verbundkonstruktionen

5.4 Steck- und Keilverbindungen für fliegende Bauten

## **6 Statische Systeme, Versuche und Berechnungen**

6.1 Einfluß der Konstruktion auf die Statik, die statischen Systeme und Berechnungsverfahren

6.2 Geschichtlicher Überblick zu Verbindungsmitteln, den statischen Wirkungen und den Berechnungsverfahren

6.3 Heutige Berechnungsverfahren und individuelle Lösungen

6.4 Methoden des statischen Nachweises

- 7 Korrosionsschutz und Oberflächenbehandlungen mit statischer Wirkung**
  - 7.1 Oberflächenbehandlung unter dem Gesichtspunkt von Korrosionsschutz und statischer Haftung
  - 7.2 Oberflächenausbildung der Steckanschlüsse unter dem Gesichtspunkt der statischen Kraffteinleitung
- 8 Übersicht von aktuellen Steckanschlüssen (Beispiele patentierter Stecksysteme)**
- 9 Vergleich zwischen Stecksystemen und konventionellen Verbindungen**
  - 9.1 Einfluß der Konstruktionsart auf Montagekosten und Montagebedingungen
  - 9.2 Vorgaben und Bedingungen zu Lösungen individueller Entwürfe und Bauten
  - 9.3 Vorteile beim Einsatz gesteckter Konstruktionen im Vergleich zu konventioneller Bauweise
- 10 Schlußfolgerung**
- 11 Literaturnachweis**
- 12 Abbildungsnachweis**

# Konstruieren und bauen mit Steckanschlüssen aus Metall

## 1. Einleitung

Das Ziel dieser Ausarbeitung ist es, Alternativen zu den bisher gebräuchlichen Anschlüssen im Hochbau aufzuzeigen und die Auswahl des richtigen Verbindungssystems zu erleichtern. Die Ausarbeitung soll Planungs- und Entscheidungshilfe für den Umgang und die Entwicklung von Steckanschlüssen geben, so dass sie so selbstverständlich wie Schraubanschlüsse genutzt werden können.

Steckverbindungen sind alternative Verbindungsmittel zu herkömmlichen Anschlüssen im Hochbau, die auftretende statische Kräfte wie Zug, Druck, Biegung und Torsion in den Verbindungspunkten kraftschlüssig übertragen können. Als Steckanschlüsse werden dieser Ausarbeitung Verbindungen untersucht, die auftretende Kräfte durch:

- Formschluß von ineinandergreifenden Teilelementen
- Ineinanderhängen von Verbindungshaken / Öse
- Ineinanderschieben von Passelementen (Schwalbenschwanzverbindung)
- Ineinanderstecken von unterschiedlich großen Einzelementen (Rohrverlängerungen)
- Einklinken von Verbindungsteilen durch Federkraft/Scharnier (Gerüst- Tribünenbau)
- Verkeilen von Tragwerksteilen über Spannring / Keil

(Gerüstkonstruktionen/Verbindungsschellen)  
übertragen.

Schrauben oder Bolzen dienen bei den untersuchten Verbindungen nur als Sicherung gegen Verschieben und übertragen keine Verbindungskräfte. Reine Bolzenverbindungen wie Zugankerverbindungen mit Auge und Bolzen sind im eigentlichen Sinne keine Steckanschlüsse und werden in dieser Ausarbeitung nicht untersucht.

## 1.1 Aufgabenstruktur / Untersuchungskriterien

Im täglichen Gebrauch werden Steckanschlüsse als Standardverbindungen selbstverständlich eingesetzt. Wir kennen sie unter anderem als Verschlüsse an Taschen, im Möbelbau als kraftübertragende Verzahnungen und Montageverbindungen / Bettenbeschläge, als Druckknöpfe an Textilien. Im Holzbau sind Einhänge- oder Steckverbindungen mit statischer Kraftübertragung wie zum Beispiel die Schwalbenschwanzverbindung oder Verzahnungen üblich. Im Hochbau, explizit im Stahlbau werden Verbindungen zwischen Stahlprofilen mit Schrauben und Kopfplatten oder als Schweißanschlüsse erstellt. Diese Verbindungen sind typisiert und als Anschlußstandards in entsprechenden Tabellenwerken abgelegt. Eine Verkürzung der Montagezeiten ist nur durch den Einsatz von alternativen Verbindungen zu erreichen.

Die vorliegende Ausarbeitung soll Entwurfsideen zu Tragwerken mit alternativen Verbindungen, statische Systemüberlegungen zu Kräftefluss und Materialwahl geben und die Montagebedingungen auf den Baustellen mit Produktionsvorlauf analysieren und Empfehlungen für die Anwendungsmöglichkeiten alternativer Verbindungssysteme beschreiben.

Ein geschichtlicher Rückblick auf alternative Verbindungssysteme soll Parallelen zu heutigen Konstruktionen und zu neuen Verbindungsarten aufzeigen.

Darüber hinaus werden herkömmliche Anschlüsse und neue Steckverbindungen gegenübergestellt, Vor- und Nachteile abgewogen und Auswirkungen auf die Tragsysteme dargestellt. Diese Untersuchung schließt eine Bewertung über den praktischen Einsatz zu Werkstattfertigung und Montagezeit im Hochbau ein.

Untersucht werden Montageanschlüsse, die mit ihrer Formgebung durch ineinandergreifende Körper kraftübertragend wirken. Diese Anschlüsse sind weder geschweißt, noch übertragen sie die auftretenden Kräfte durch Schraub- oder Bolzenschaft. Schrauben haben untergeordnete statische Funktionen.

Die Herstellungsverfahren und die damit verbundenen Materialeigenschaften der Anschlüsse werden beschrieben und die Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt.

Der Vergleich zwischen unterschiedlichen Hochbautragwerken soll den Einfluß und den möglichen Einsatz von Steckverbindungen auf die Montageart und die Demontagedauer belegen. Deutlich wird das Ziel die Einzelnachweise alternativer Verbindungselemente durch Typenstatiken zu ersetzen.

Aus dem Vergleich von zwei Entwurfsansätzen zur Konzeptionsfindung eines Tragwerks mit Steckverbindungen sollen Empfehlungen für einen sinnvollen Einsatz dieser alternativen Verbindungsmittel abgeleitet werden.

## 1.2 Anlaß und Grundlage der Untersuchung

Durch den weltweiten Anstieg der Lohnkosten und den damit verbundenen Preisdruck auf die Bauindustrie, ist eine Verringerung der Montage- und Produktionszeiten aus Wettbewerbsgründen unbedingt notwendig.

Zur Zeit versuchen die Baufirmen durch den Einsatz von Montagearbeitern aus Billiglohnländern die Baukosten zu reduzieren. Eine weitere Reduktion der Baukosten erfolgt durch die Verwendung von industriell gefertigten Walzprofilen als Grundmaterial. Dieses Baumaterial wird nach heutigem Standard mit geschraubten oder geschweißten Anschlussverbindungen zu Tragkonstruktionen, wie zum Beispiel Rahmen und räumlichen Stabwerken zusammengefügt. Viele dieser Verbindungssysteme und Verbindungsknoten sind typisierte Standardanschlüsse. Durch diese Montageart verringert sich der Zeitaufwand für die Planung und den statischen Nachweis dieser Konstruktionen. Dieser Zeitvorteil hat aber keinen Einfluss auf die Werkstattfertigung und Baustellenmontage.

Bisher wurde dieser zeitliche Ansatz und das Verhältnis zwischen Werkstattfertigung und Montageaufwand nicht ausreichend untersucht. Man versuchte, über die Automatisierung (Säge- und Bohrstraßen, Schweissautomaten) in der Produktion, durch die Vorfertigung von möglichst großen Tragwerksteilen und den Einsatz von Großkränen bei der Montage, die Produktions- und Montagezeiten zu verringern.

Eine zusätzliche Reduktion der Montagezeiten kann durch die Verwendung von alternativen Verbindungssystemen erzielt werden. Sie sollten international anerkannt sein. Die Aufgabe ist es diese alternativen Anschlussmethoden zu entwickeln, zu typisieren, zu publizieren und anzuwenden.

Die Untersuchung zeigt, dass neben den verschiedenen Konstruktionsarten die Montagezeiten vor allem durch den Korrosionsschutz als ausschlaggebender Faktor bestimmt wird. Daraus ist abzuleiten, daß die Entscheidung zu dieser oder jener Verbindungsart nicht allein durch Montage- oder Fertigungsüberlegungen bestimmt werden kann, sondern übergreifend alle Faktoren in die Bewertung einbezogen werden müssen.

Unter Punkt 5 „Steckanschlüsse in unterschiedlichen Tragwerken mit ihren statischen Funktionen“ werden im folgenden in verschiedenen Konstruktionen alternative Steckanschlüsse auf ihre Einsetzbarkeit analysiert und bewertet. Diese Zusammenstellung soll die Auswahl des geeigneten Verbindungssystems für das gewählte Tragwerk erleichtern.

## 2 Entwicklungsgeschichte

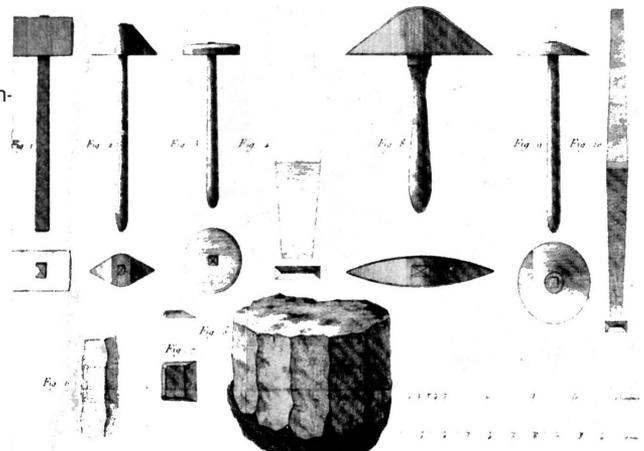
### 2.1 Geschichtlicher Rückblick auf Bauten und Konstruktionen mit Steckverbindungen

Steckverbindungen sind die ältesten Verbindungsarten der Menschheit. Eingesetzt wurde diese Verbindungstechnik, wie Ausgrabungsfunde belegen, schon ca. 3000 v.Chr. Sie diente dem Zusammenfügen von unterschiedlichen Materialien zur Herstellung von Geräten, Handwerkszeug für den täglichen Bedarf sowie im Haus und Schiffsbau. Vor allem im Holzbau wurde diese Technik eingesetzt und weiterentwickelt.

Die Abbildungen zeigen Arbeitsgeräte, die wie unsere heutigen Schlaghämmer gearbeitet sind. In einen steinernen Kopf mit einem durchgehenden Bohrloch wird ein Holzstiel eingesetzt. Durch Aufspalten mit einem kleinen Keil wird der Stiel im Bohrloch verklemmt, die Kraftübertragung erfolgt durch Vorspannung und Reibung.

13

Abb. 1:  
Arbeitsgeräte zur Feuerstein-  
bearbeitung ca. 3000 v.Chr.  
[34]



Ab ca. 100 n. Chr. erstellten die Griechen ihre Bauten aus möglichst wenigen, großen Natursteinblöcken. Die Oberflächen dieser Blöcke wurden zur Vergrößerung der Kontaktflächen zu den übrigen Bauteilen plangeschliffen. Es entstanden nur haarfeine Fugen zwischen den Natursteinelementen. Die Einzelbauteile wurden in der Horizontalen durch Klammern aus Holz oder Metall verbunden. Diese Klammern wurden in Vertiefungen der zu befestigenden Steinblöcke gesteckt und vergossen. Sie sorgten für eine zug- und verschiebungsfeste Verbindung.

14

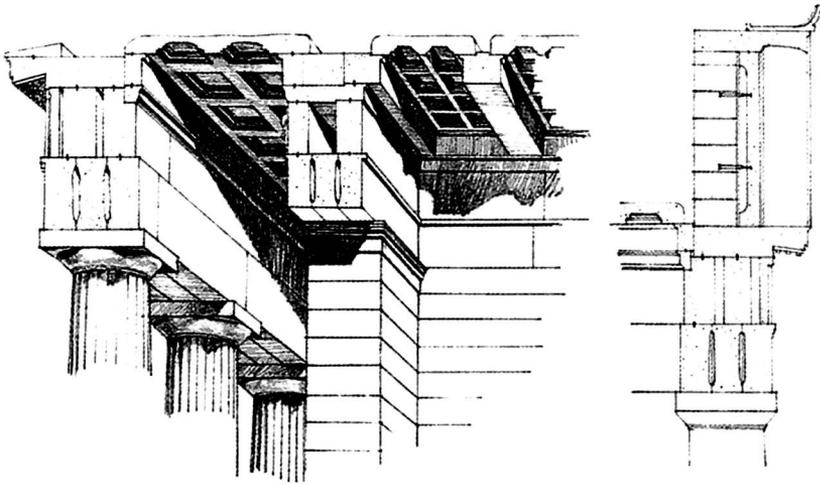


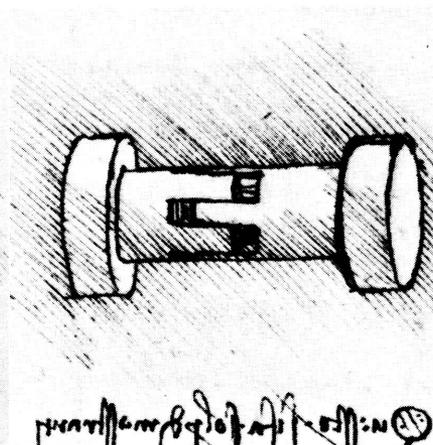
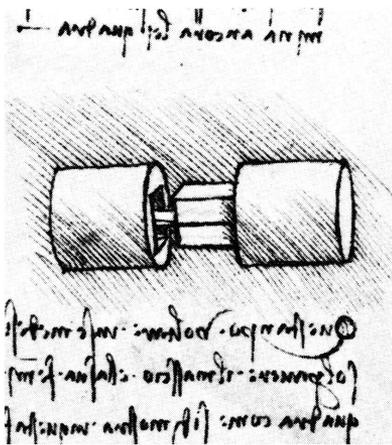
Abb. 2:  
Parthenon Athen  
Decken / Balkenkonstruktion  
ca. 447 n.Chr. [7]

Besonders im Holzbau hat man sich schon vor mehreren hundert Jahren einfacher Steckverbindungen bedient. Leonardo da Vinci entwickelte im 15. Jahrhundert ein Verfahren, Holzstücke kraftschlüssig miteinander zu verbinden. Leonardo da Vinci beschrieb diese Verbindung so: „das ist ein Verfahren, ein Holzstückchen in ein anderes zu schieben, so daß man es nie aus seiner Höhlung ziehen kann“. [17]

Es handelt sich hier um eine Steckverbindung, die aus zwei Konstruktionsteilen besteht, einem Element mit Bohrung und Dorn und einem zweiten in Stabform das durch das feste Zusammenfügen der beiden Elemente gespreizt wird und sich in der Bohrföhrung verkeilt. Die Steckverbindung ist unlösbar und kann Druck- und Zugkräfte weiterleiten.

Abb.3:

Zeichnung Leonardos aus Codex Madrid 1 „das ist das Verfahren, ein Holzstück in ein anderes zu schieben, so daß man es nie aus seiner Höhlung ziehen kann“ [17]



Die weiteren Konstruktionszeichnungen Leonardos zeigen Steckverbindungen ähnlicher Konstruktion, die aber durch eine zusätzliche Verzahnung oder eine rechteckige Ausbildung des Stabkopfes neben Zug- und Druckkräften außerdem Torsionskräfte übertragen können.

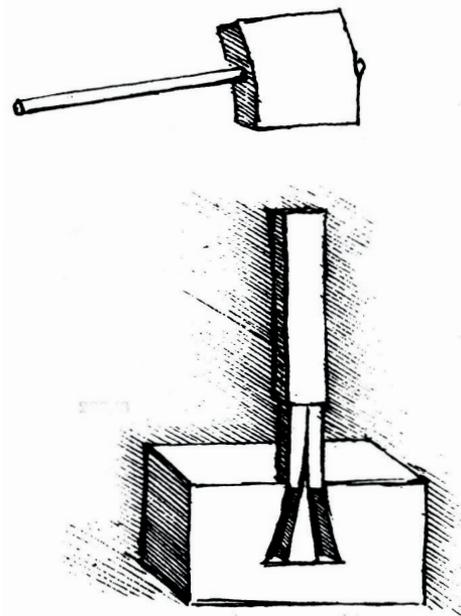
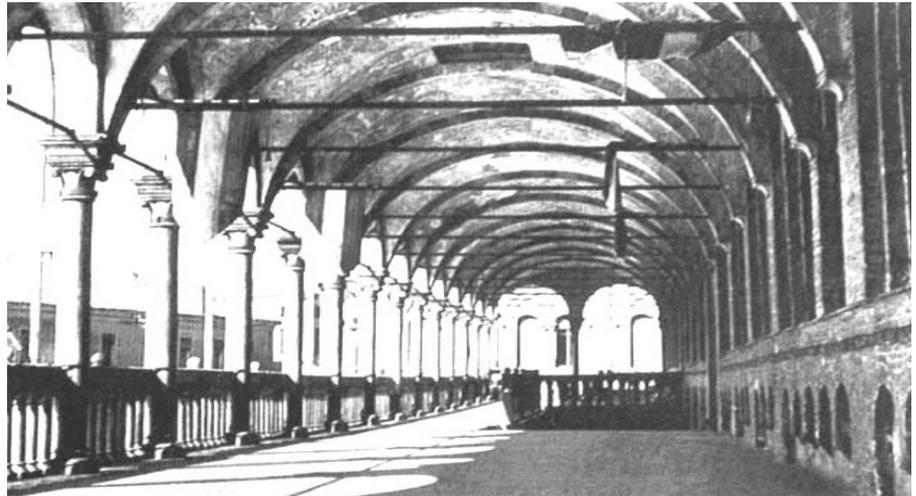
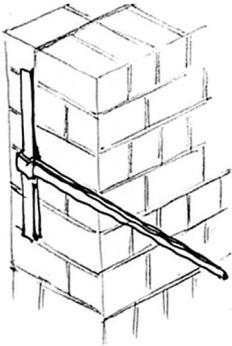


Abb.4:  
Zeichnung Leonardos / Codex  
Madrid 1 Verbindung von  
Holzstücken [7]

Diese Erfindungen Leonardos von ca. 1492 / 1497 sind direkte Vorläufer zu vielen maschinenbautechnischen Verbindungen so zum Beispiel der Kurbelwelle mit Gelenkübertragung. Abzuleiten sind aber auch aus dieser Verbindung die Standardverbindungen für Rohrelemente von C. Wachsmann. (Siehe Abb. 20)

Zur Aufnahme des Bogenschubes von Mauerwerksbögen wurden Stahlbänder unterhalb des Bogens zwischen die Stützpfeiler eingebaut. Die Stahlbänder hatten an ihren Enden geschmiedete Ösen, die durch Einstecken von Ankern im Außenbereich der massiven Mauern gesichert wurden. [7]

Abb.5:  
Zugbandausbildung im  
Mauerwerksbogen  
Padua Palazzo della Ragione,  
Umgang Obergeschoß [7]



Ebenfalls aus diesem Grund wurden in der Hagia Sophia, die im Jahre 532 / 558 n. Chr. in Konstantinopel errichtet wurde, nachträglich vermutlich um 1300 n. Chr. zur Unterstützung der Tragwirkung der Bögen in der unteren Säulengalerie Stahlzugbänder eingebaut, nachdem sich durch den schlechten Boden Absenkungen und Schiefstellungen der Stützen eingestellt hatten. Vorausgegangen waren der Absturz von 13 von 40 Kuppelrippen infolge eines Erdbebens.

Diese Stahlzugbänder wurden im Kapitellpunkt der Säulen eingezogen und waren mit geschmiedeten Ösen und Haken untereinander verbunden. Die Kräfte wurden bis in die Außenwände geführt und dort in das massive Mauerwerk abgeleitet, das diese Kräfte aufnehmen konnte. [31]

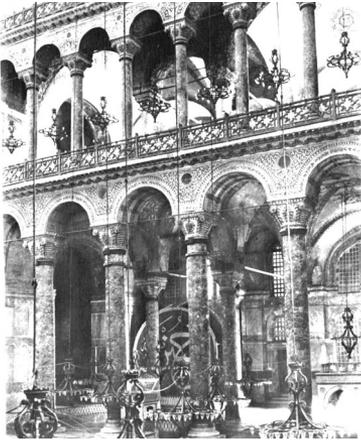
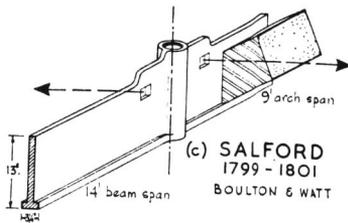


Abb.6:  
Nachträglich eingezogene  
Zugstäbe aus Stahl  
Hagia Sophia in Konstantino-  
pel [31]

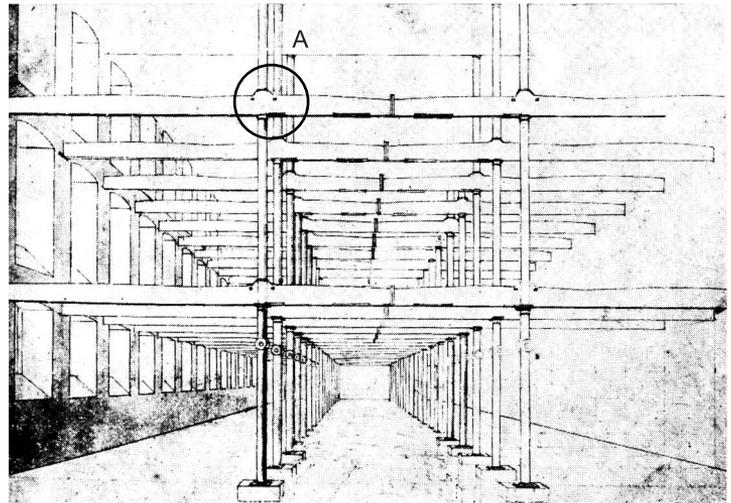
Nach dem Bauprinzip von Charles Bage (1752-1822) erstellten J. Watt, M. Boulton und G. Lee für die Twist Mill in Salford 1788-1801 einen gusseisernen Skelettbau. Die Konstruktion bestand aus gusseisernen Trägern mit 4,27 m Länge. Sie waren als T- Profile konstruiert und hatten in der Trägermitte eine eingesetzte Rohrhülse, in die Stützen von oben und unten eingesteckt wurden. Die Stützen hatten, damit sie nicht durch die Rohrhülse rutschten eine verstärkte Kopfausbildung mit Auflagerkranz, auf die sich die Binderrohrhülsen auflegten. Diese Rohrsteckverbindung zwischen Stütze und Träger konnte neben den Normalkräften auch Biegemomente aufnehmen, die das Tragwerk in Querrichtung aussteiften.

Die Verbindung der gusseisernen Träger untereinander erfolgte in Rahmenmitte, dem Momentennullpunkt über eine gelenkige Schraubverbindung mit Kopfplattenstößen. Das statische System folgt dem einer kinematischen Kette aus Dreifeldträgern mit Übertragung von Quer- und Längskräften. Auf diesen gusseisernen Trägern wurden die Geschosdecken in Form einer Kappen- decke aus Ziegeln aufgelagert. Der Hohlraum des kreuzförmigen Querschnitts der Stütze wurde zur Durchleitung von Dampf als Zentralheizung genutzt.[2]



Detailpunkt

Abb.7:  
Gusseisernes Skelett/ Detail-  
punkt des Rohrsteckknotens  
Stütze/ Träger Twist Mill in  
Salford/Manchester von  
Boulton, Watt, Lee [2]



Die bisher aufgeführten Beispiele zeigen Steckverbindungen im Zusammenspiel mit konventioneller Bautechnik, zumeist Mauerwerk. Der von Sir Joseph Paxton 1851 geplante Kristallpalast für die Weltausstellung in London ist das erste Beispiel für ein filigranes Stahl- und Glasragwerk als Steckverbindungs-konstruktion. Die Entwicklung des Kristallpalastes hat seine Ursprünge im Bau zahlreicher Gewächskonstruktionen von Sir Joseph Paxton. Mit diesen Bauten sammelte Paxton Erfahrung in der Planung, der Produktion und dem Aufbau der Gusseisenkonstruktionen. Er kannte das Gussverfahren und die statischen Eigenschaften des Materials. Die Gewächshauskonstruktionen mußten wie der Glaspalast in kurzer Zeit errichtet werden. Aus diesem Grunde wurden von ihm die Konstruktionen als Baukastensystem mit möglichst vielen gleichen standardisierten gusseisernen Einzel-elementen vofabriziert. Der Vorteil dieser Konstruktionsart lag in einer schnellen und sicheren Montage, Verwechselungen von Bauteilen wurden ausgeschlossen. [6]

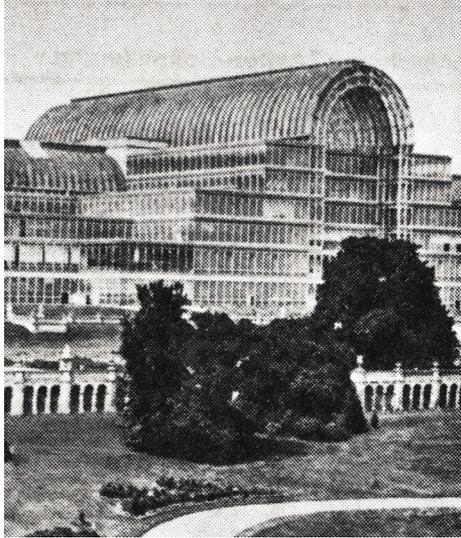


Abb.8:  
Glaspalast von 1851 zur Lon-  
doner Weltausstellung [6]

Durch diese Konstruktionsmethode, der Verwendung von standardisierten Bauelementen und einer exakten und detaillierten Vorplanung betrug die Bauzeit des Glaspalastes weniger als 4 Monate. Die Konstruktion bestand aus einer geringen Anzahl von unterschiedlichen Träger- und Stütztypen. Zur Vereinfachung und Beschleunigung der Montage wurden Steckverbindungen aus Gusseisen an den Verbindungsstellen zwischen den Stützensegmenten und den Bauteilen Stütze und Träger eingesetzt.

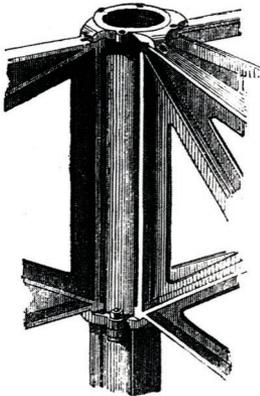
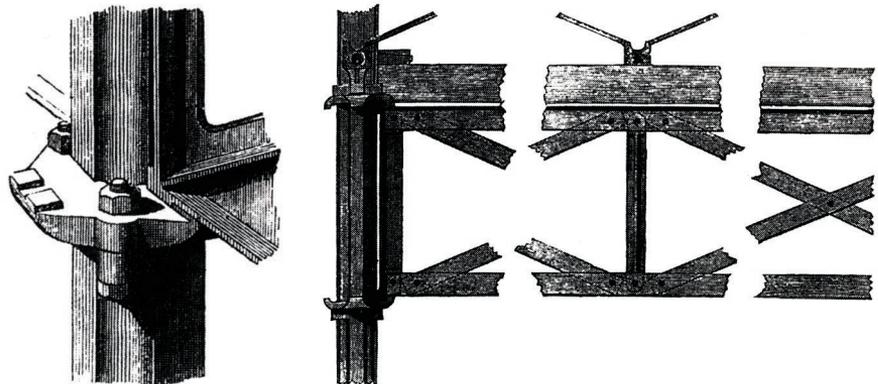


Abb.9:  
Verbindung Ringkonstruktion  
der Stützen / Nasenver-  
stärkungen an Ober- und  
Untergurt der Träger beim  
Glaspalast London [6]

Diese Steckverbindung bestand aus einem oberen- und unteren Ringteil, der jeweils an einem Stützenende bzw. Stützenkopf angeschraubt war. Die Gussfachwerkträger hatten an ihren Enden jeweils an Ober- und Untergurt Nasenverstärkungen, die in die Klauen dieser Ringkonstruktion durch die Verschraubung der Stützenteile fest eingeklemmt wurden. Durch das kraftschlüssige Zusammenspannen der beiden Ringe an den Stützenenden entstand eine Rahmenkonstruktion zwischen Stützen und Gussträgern, die alle Normalkräfte, Querkräfte und Biegemomente übertrug. Der Gussträger mußte an seinen Endköpfen über die Gußnasen sowohl Druck- als auch Zugkräfte übertragen.



Diese Konstruktion hatte außerdem den statischen Vorteil, daß 4 Träger in X und Y Achsrichtung an einer Stütze mit gleichen Verbindungselementen angeschlossen werden konnten und Rahmenkräfte in Längs- und Querrichtung übertragen. Die auftretenden Druckkräfte wurden durch die kraftschlüssige Verbindung in die Stützen abgeleitet. Durch die modulare Konstruktionsart und die kraftschlüssige einfach zu montierende aber auch demontierbare Verbindung war es möglich, das gesamte Tragwerk 1854 nach Sydenham zu versetzen. Hier brannte am 30. November 1936 der Glaspalast vollständig ab.

22

Abb.10:  
Ausbildungen der Zwischenlager Glaspalast London [6]

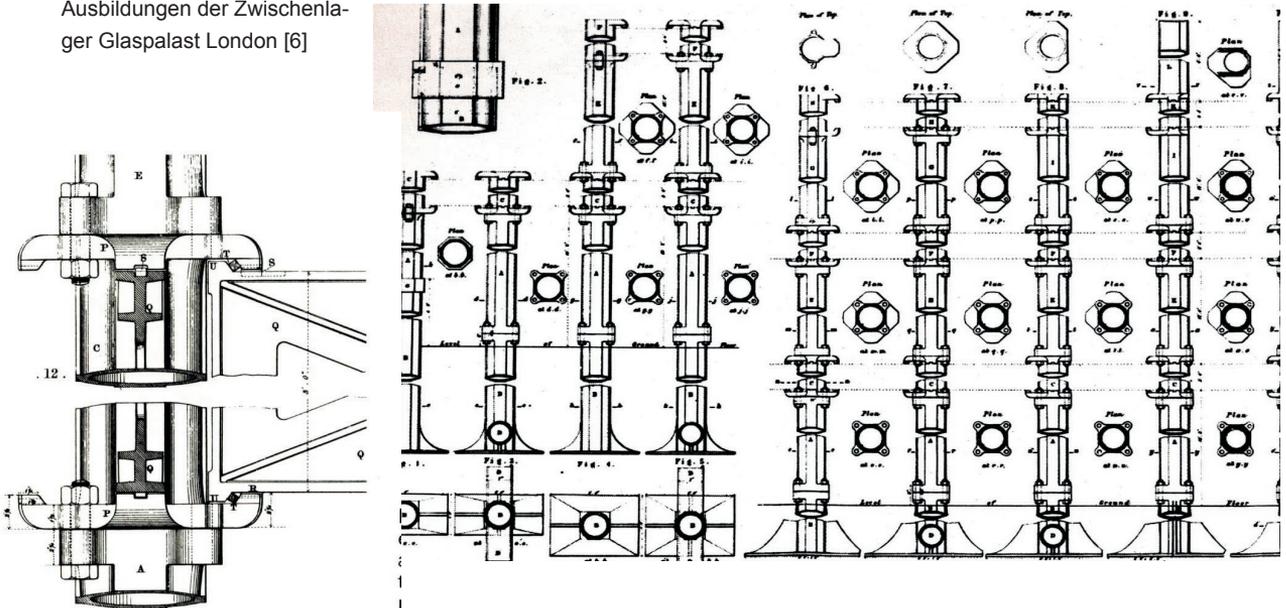
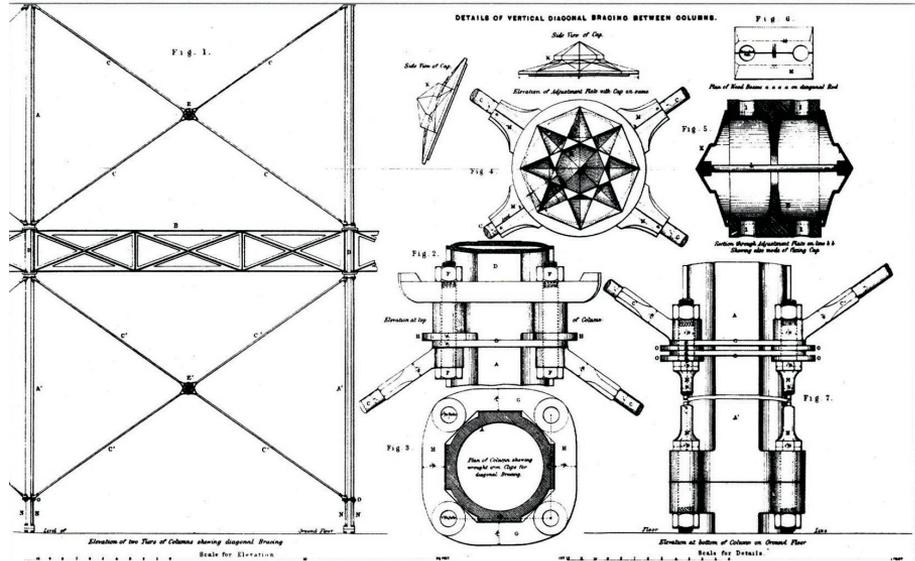


Abb.11:  
 Glaspalast London Rahmen-  
 konstruktion mit vertikaler  
 Verspannung zwischen den  
 Säulen [6]



Das Materialgefüge des verwendeten Gußeisens war nicht homogen, die Streuung groß und die Zugfestigkeit gering. Das Material konnte deshalb nur Druckkräfte aufnehmen. Es mußten zusätzliche Aussteifungen aus Schmiedestahl zur Aufnahme von Zugkräften eingezogen werden, ein zu jener Zeit sehr teures Material. Erst mit der Entwicklung von Stahlguss, vergleichbar mit Schmiedestahl der ebenfalls eine geringe Streuung besitzt, konnte die Zugfestigkeit in Gusskonstruktionen erhöht werden.

Dieser Entwicklung folgte man mit zusammengesetzten Trägern. Gussmaterialien wurden im Obergurt zur Aufnahme von Druckkräften oder als Druckstab eingesetzt, der Untergurt dagegen wurde zur Aufnahme von Zugkräften aus Schmiedeeisen später aus Stahlguss gefertigt. Teilweise wurden Gussfachwerkträger, die Druckkräfte ohne Schwierigkeiten aufnehmen können, mit Zugstäben aus Eisen im Untergurt oder als Unterspannung verstärkt.

**Warum gerieten Steckverbindungen aus Gusseisen, die Mitte des 19. Jahrhunderts mit Selbstverständlichkeit eingesetzt wurden, in Vergessenheit ?**

Steckanschlüsse wurden zur Vereinfachung der Montage als Verbindung zwischen Stützen und Trägern wie zum Beispiel bei der 1788 - 1801 erbauten Twist Mill eingesetzt. Schraub- oder Nietanschlüsse waren technischen und aus Materialgründen noch nicht kraftschlüssig möglich. Der Einsatz von gusseisernen Steckverbindungen für den Bau des Kristallpalastes London (1851) lag an der Planungsvorgabe, das Bauwerk in kurzer Zeit als filligrane Stahl und Glas Konstruktion zu errichten.

Schon beim 5 Jahre später erstellten Münchener Kristallpalast wurde die Weiterentwicklung der Guss- und Schmiedestahlträger genutzt, man setzte als Verbindungsmittel hauptsächlich Schrauben ein. Gusseiserne Steckanschlüsse wurden wegen des aufwendigen Herstellungsverfahrens, des spröden Materialgefüges und der geringen Zugfestigkeit der Gusseisenelemente nicht eingesetzt. Bei der Verwendung von Gussknoten und gusseisernen Trägern mußte jedes Bauteil einzeln auf Tragfähigkeit und Materialkonsistenz vor dem Einbau geprüft werden.

Mit dem Gusseisen verschwanden auch die Steckverbindungen. Durch die Einführung der statischen Nachweispflicht war es schwierig, die Tragfähigkeit dieser Steckknoten rechnerisch nachzuweisen. [5]

Abb. 12:  
Münchener Kristallpalast  
Ansicht von Südosten [Volker  
Hütsch Der Münchner Glas-  
palast 1854 - 1931] [5]



Weiterentwicklungen in Produktion und Technik veränderten in den letzten 100 Jahren die Konstruktionen und ihre Verbindungen. Konstruktionen aus Schmiedestahl waren, da sie filigraner und mit weniger Material zu erstellen waren, im Gegensatz zum Gusseisen erheblich leichter und in ihrem metallischen Gefüge homogener. Die Weiterentwicklung von industriellen Verfahren zur Herstellung von Schmiedestahl führte zur Preisreduktionen.

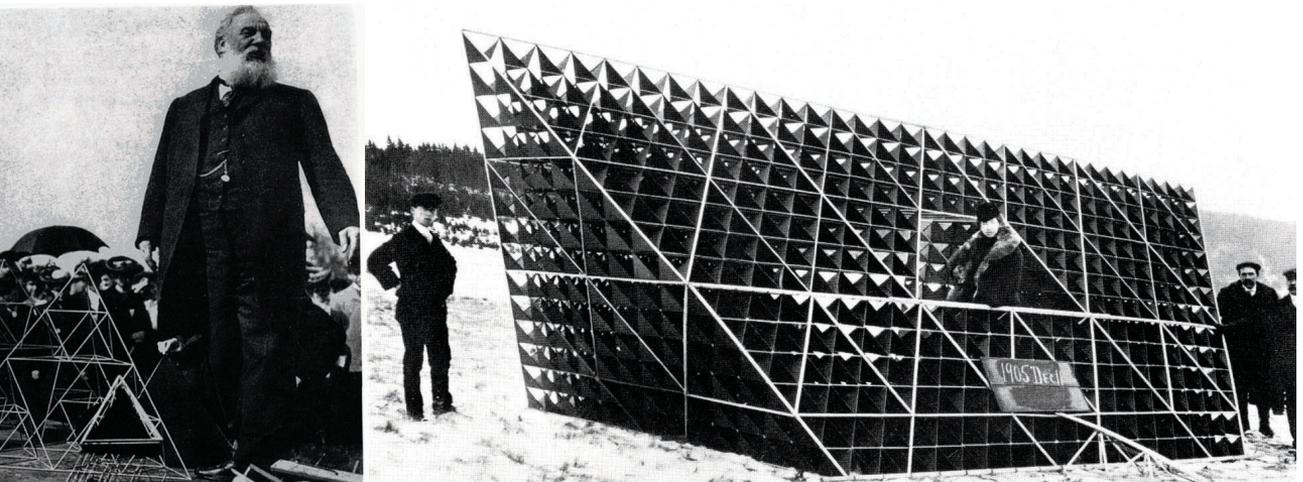
Mit der Weiterentwicklung von schweren Walzstraßen gelang es Anfang des 19. Jh., aus glühenden Stahlbrammen über mehrere Walzvorgänge Stahl in vielfältiger Profilierung herzustellen. Damit löste der zähere Walz- und Schmiedestahl den spröden Gussstahl ab. Komplexere Konstruktionen wie zum Beispiel Fachwerkbinder wurden aus Flach- und Profilstählen zusammengesetzt und mit Nieten untereinander verbunden.

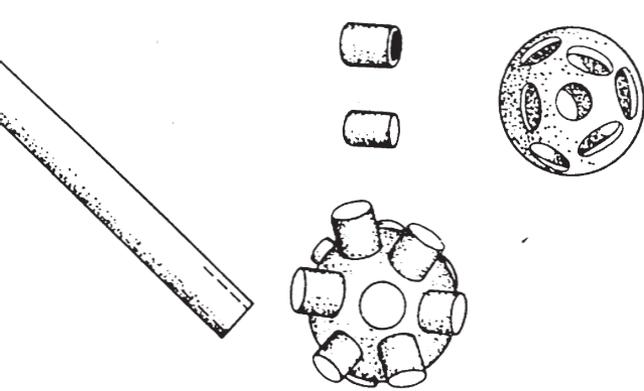
Zuerst setzte man auf der Baustelle rohe Schrauben als Verbindungselement von Tragwerksteilen zum Beispiel zwischen Stützen und Fachwerkträgern ein. Die zur Kraftübertragung eingesetzten Rohschrauben wurden in Bohrlöcher der zu verbindenden Bauteile eingesetzt, die größer als der Schraubendurchmesser waren und Bewegungen der Bauteile ermöglichten. Nach Erfindung der HV-Schrauben wurden diese als Ersatz zur Nietmontage verwandt. Im Brückenbau wurden bis nach dem 2. Weltkrieg Niete als Verbindungsmittel eingesetzt. Erst ab 1960 verschwanden die Niete als Verbindungsmittel.

Steckverbindungen des 20. Jahrhunderts fanden sich hauptsächlich in Konstruktionen, an die der Anspruch einer schnellen Montage und Demontage gestellt wurde.

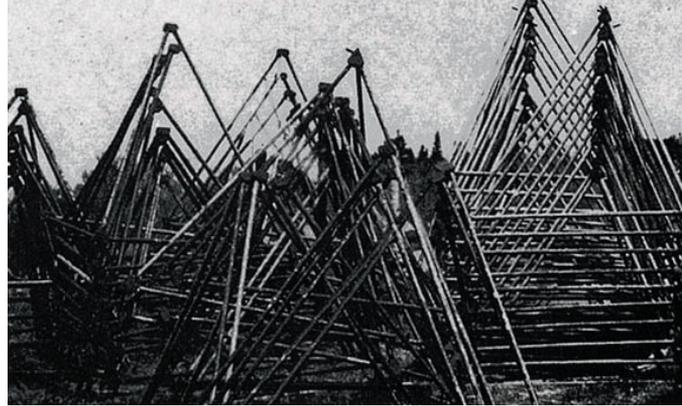
Anfang des 20. Jahrhunderts entwickelte der amerikanische Konstrukteur und Erfinder Alexander Graham Bell (3.3.1847 -1.8.1922) Flugdrachen mit räumlich aufgelösten Stahlrohrkonstruktionen, die aus gleichen Segmenten zusammengesteckt und mit Leinwand überzogen wurden. Seine Konstruktionen mußten transportabel, leicht und möglichst schnell zu montieren sein. Die Bauteile seiner Drachenkonstruktionen wurden so entwickelt, dass sie möglichst alle identisch und damit verwechslungssicher und wiederverwendbar waren. Es entstanden aus standardisierten Profilrohren, die über Steckknoten miteinander verbunden wurden, drei-dimensionale Tetraederkonstruktionen. Diese Steckknoten bestanden aus einem runden Knotenpunkt, an dem Rohrhülsen punktsymmetrisch verteilt angeschweißt waren. Verbindungsrohre, die in diese Rohrhülsen eingesteckt wurden, verbanden diese Knotenpunkte zu einem räumlichen Tragwerk. Die über diese Rohrkonstruktion gespannten Flächen aus Segeltuch sicherten die Steckverbindung durch Druck. [14]

Abb.13:Drachenkonstruktion von Dr. Alexander Graham Bell mit tetraedischen Zellen von 1902 [14]





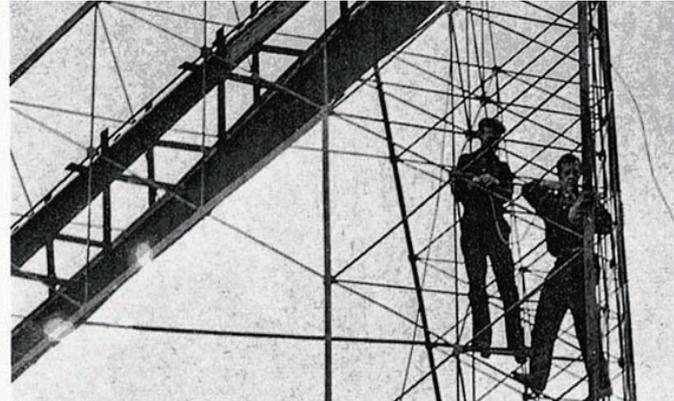
1



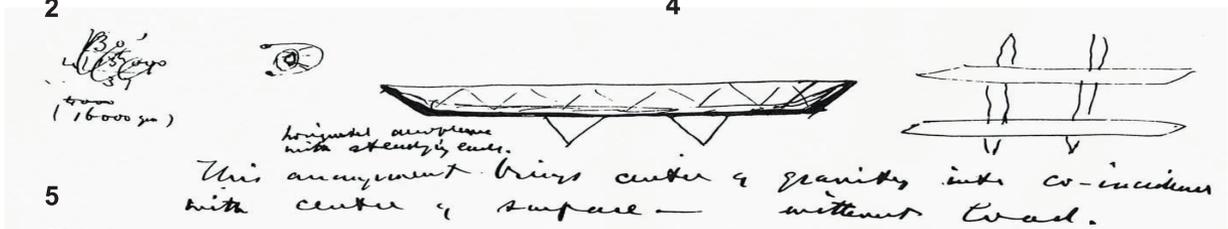
3



2



4



5

Abb.14:

1 räuml. Standardknotenpunkt zur Stabverbindung der Flugdrachenkonstruktionen [24]

2 - 4 Aufbau der Drachenkonstruktionen als aufgelöste räumliche

Stahlrohrkonstruktionen mit universellem Knotenpunkt

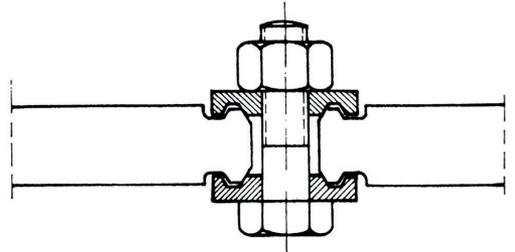
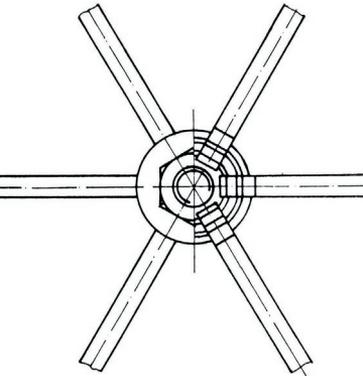
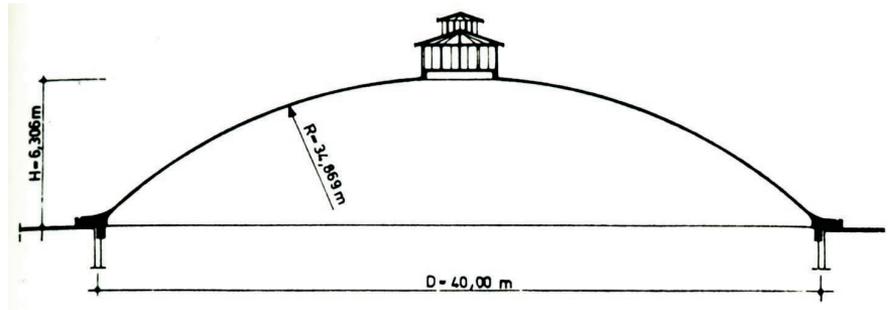
5 Skizzen A.G. Bell Konstruktionsidee zu aufgelösten räumlichen Konstruktionen [29]

1923 entwickelte der Ingenieur Bauerfeld für die Firma Schott aus Jena ein Flächentragwerk als Stabwerkskuppelkonstruktion. Gebogene Stäbe wurden über einen Klemmknoten miteinander verbunden. Die Einzelstäbe waren an den Endpunkten verjüngt und mit einer Nase versehen. 6 Stabenden mit dieser Ausbildung wurden über einen zweiteiligen Klemmkranz mit Sicherungsschraube an einem Kreuzungspunkt festgeklemmt. Diese Klemmverbindung mit Schraubensicherung wirkte biegesteif. Es entstand ein Netzwerk aus Stäben, ein Flächentragwerk in Rautenform, das komplett, nachdem eine Unterschalung angehängt worden war, in 1 m breiten Ringen torkretiert wurde. Der statische Nachweis der Knicksicherheit (beulen) für diese Schalenkonstruktion wurde nach Angaben von Dyckerhoff und Widmann durch einen Modellversuch mit einer Blechschale festgestellt. [32]

28

Abb.15:

1 Konstruktions Schnitt zur Stabwerkskuppel für die Fa. Schott Jena (Bauerfeld, Dischinger, Dyckerhoff u. Widmann) 2 Knotendetail Längs und Querschnitt [32]



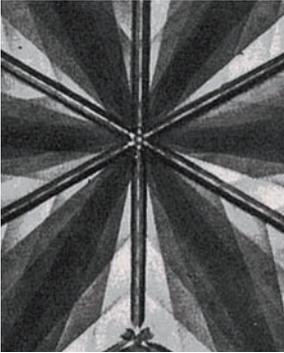
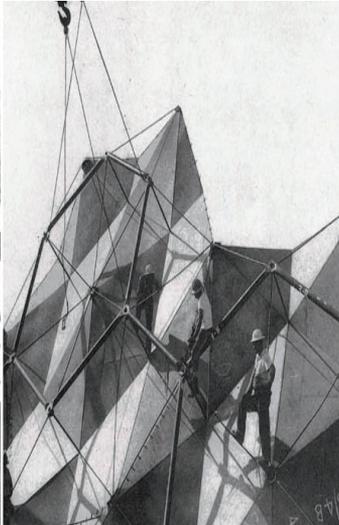
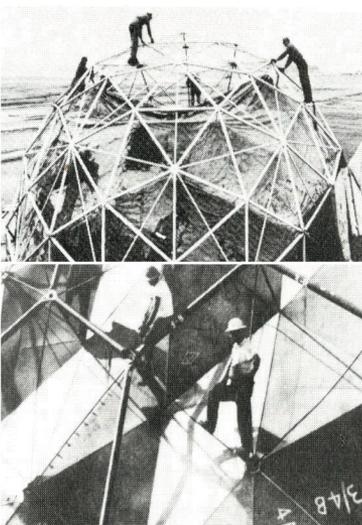


Abb. 16:  
Detailanschuß und Aufbau  
der „geodätischen“ Kuppel  
von R. Buckminster Fuller  
1954 [13]

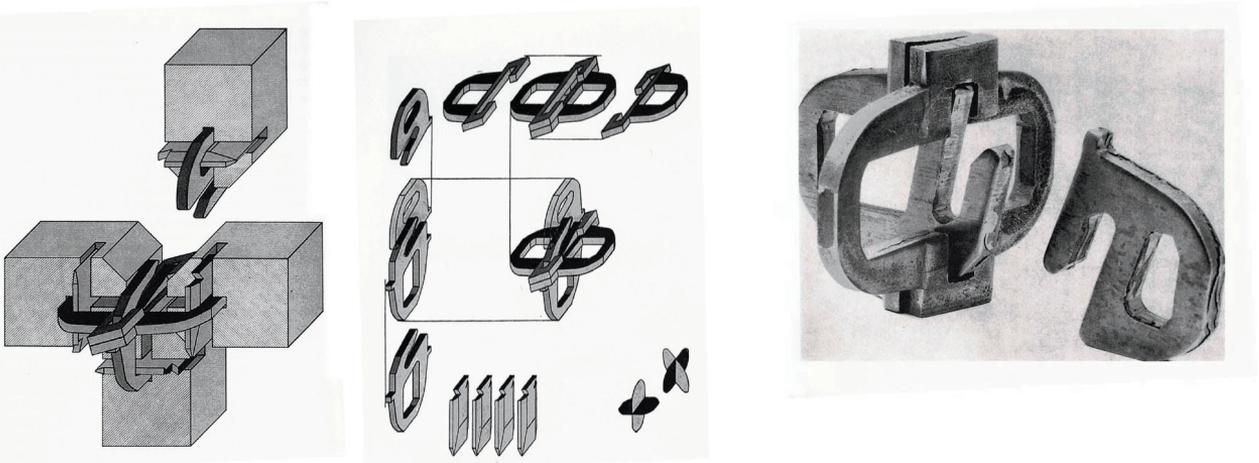
Buckminster Fuller, ein amerikanischer Ingenieur (21.7.1895 -1.7.1983), konstruierte 1954 für die US-Marine eine von ihm als „geodätische Kuppel“ bezeichnetes Tragwerk (geodätisch: Geodäsie ist die Vermessungskunde über Form und Größe der Erde). Sie bestand aus einem Kuppeltragwerk aus Stäben mit zwei sich überlagernden und miteinander verbundenen Polyedersystemen. Die räumliche Halbkugel des Stabtragwerks hatte einen Durchmesser von 11 m. Die Stabwerke wurden aus identischen gleichlangen Rohren, die über Steckknoten miteinander verbunden wurden, erstellt. Diese Steckknoten bestanden aus 2 Knotenblechen, zwischen denen 5 Rohrstücke als Steckhülsen eingeschweißt waren. In diese Steckhülsen wurden die Rohre des Tragwerks eingesteckt und durch die Bogenform und die nach innen eingespannte Zelthülle gegen das Auseinanderschieben gesichert. Aus Gewichtsgründen wurden Stäbe und Knotenbleche aus Aluminium eingesetzt. Die Vorteile dieser Konstruktion lagen im geringen Gewicht, einem günstigen Materialpreis und einer schnellen und exakten Montage. In 135 Minuten war die gesamte Kuppel gerichtet. Die Konstruktion war demontabel. [13]



In den 40er Jahren dieses Jahrhunderts entwickelte der deutsche Architekt Konrad Wachsmann unterschiedliche Konstruktionen mit alternativen Verbindungen. Drei dieser Tragwerke haben Steckverbindungen. Konrad Wachsmann versuchte aus theoretischen Überlegungen zu verbindende Teile zu vereinheitlichen. Ungelernte Arbeiter sollten in kurzer Zeit Tragkonstruktionen verwechslungssicher errichten können. Alle Bauelemente sollten durch automatische Massenproduktion hergestellt werden.

K. Wachsmann entwickelte das „General Panel System“, ein Möbelbausystem, das aus standardisierten Rahmenprofilen besteht, an denen über Metallverschlüsse im axialen Raster Wandmodule anschliessen. Das Verbindungselement besteht aus vier Hakenelementen, die über je einen Keil in dem Baumodul fest-gesetzt werden. Diese Anschlüsse können sowohl horizontale als auch vertikale Kräfte übertragen, sie ermöglichen außerdem räumliche kraftschlüssige Verbindungen. Dieses universelle Bausystem für Trennwände wurde nie in Serie produziert, unter anderem wegen der Komplexität dieses Anschlusses. [29]

Abb.17:  
„General Panel System“ Standardteile Metallanschlüsse der Bauplatten / Keile zur Befestigung in den Schlitzen der Holzrahmen / ihre Position nach dem Zusammenbau K. Wachsmann [29]



Das Bausystem „Mobilar Struktur“, ein Konstruktionssystem für den Hallenbau, wurde im Auftrag der Atlas Aircraft Corporation ebenfalls von K. Wachsmann entwickelt. Als aufgelöstes Stabtragwerk mit „universellem Verbindungspunkt“ mit einer Hauptausrichtung sollte es die größtmögliche Flexibilität garantieren. Dieses zweidimensionale Verbindungssystem besteht aus zwei exzentrisch zur Achse eines Profilrohrs angesetzten Augenplatten mit unterschiedlicher Materialstärke. Durch die Augen der angeschweißten Platten wird als gelenkige Verbindung des Knotenpunktes ein Steckdorn geschoben. Durch die exzentrische Anordnung der Augenplatten zum nächsten Rohr mit seinen Anschweißplatten in umgekehrter Position gleichen sich die Kräfte aus.

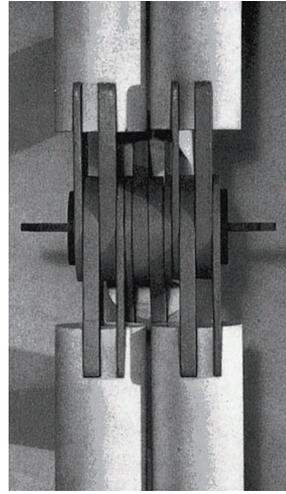
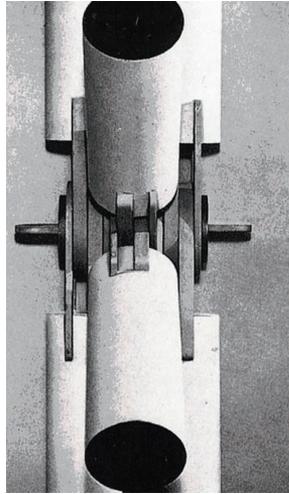
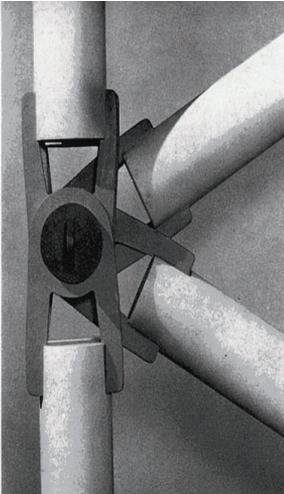
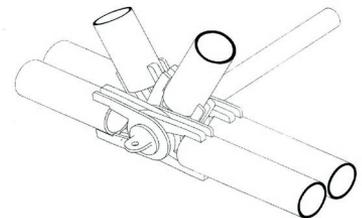


Abb.18  
Modell vom „Mobilar Struktur“  
Knoten 1 von oben, 2 von der  
Seite 3 von unten 4 Isometrie  
Systemknoten K. Wachsmann  
[29]



Über diese Gelenkausbildung sind beliebige Kombinationen und Winkel zweidimensional möglich. Auch dieses Bausystem war für Großserien konzipiert. Es erfüllte aber nicht die praktischen und statischen Ansprüche an die geforderten Tragfähigkeiten im Bau, die je nach Position im Tragwerk verschieden sind. Eine Verwendung von gleichdimensionierten Profilrohren entspricht nicht den auftretenden Kräften im Tragwerk.

Ein weiteres Konstruktionssystem für Hallen entwickelte Konrad Wachsmann unter Transportgesichtspunkten aus möglichst gleichen, optimierten und handlichen Knotenelementen. Es entstand ein aufgelöstes Tragwerk, zerlegt in kurze Stäbe und Verbindungselemente mit Steckknoten. Im Steckknotenpunkt können bis zu 20 Stäbe räumlich anschließen. Die Anpassungsfähigkeit an geometrische Systeme ist unbegrenzt, alle Winkel sind dreidimensional möglich.

Der Knoten besteht aus drei Standardelementen: dem Anschlussstück an dem bis zu 3 Rohre angesetzt werden können, einem Fixierteil, das am Hauptrohr zur Positionierung des Knotens angeschweißt wird und dem Verbindungsteil einer Gliederkette, die das Hauptrohr im Bereich des Fixierteils umgibt.

Durch Einfügen der Anschlußteile mit den angeschweißten Rohren in die aus drei Einzelementen bestehende Gliederkette, die an den Fixierpunkten des Hauptrohres eingehängt wird, entsteht ein dreidimensionaler Knotenpunkt. Druck-, Zug-, und Torsionskräfte können übertragen werden. [29]

Abb.19:

Anschlußteile des Konstruktionssystems für Hallen/ 1 Anschweißteil Rohrdiagonalen, 2 Kettenglieder/ 3 Fixier-  
teil K. Wachsmann [29]

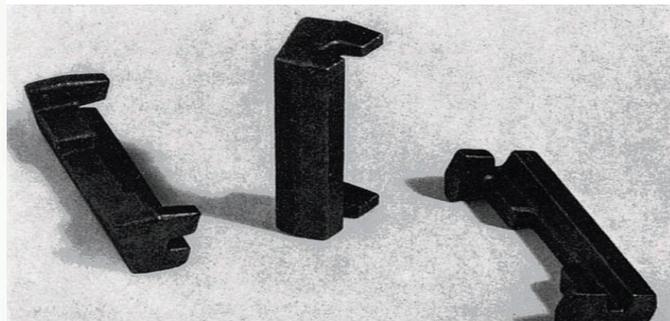
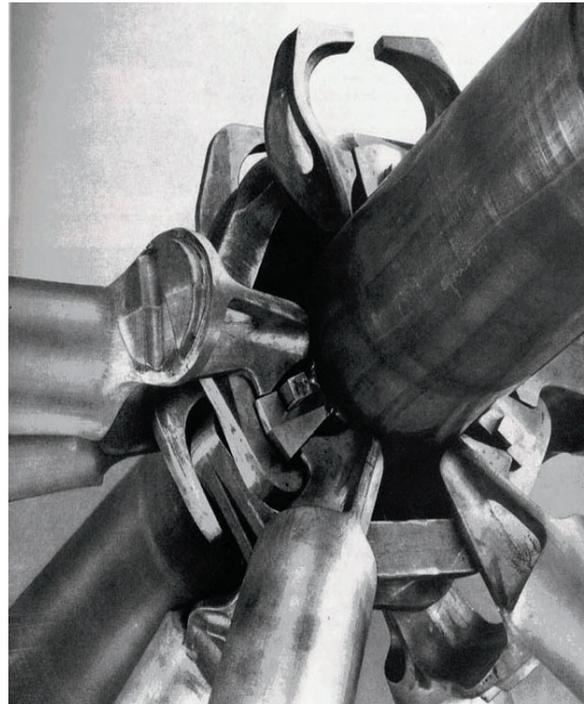
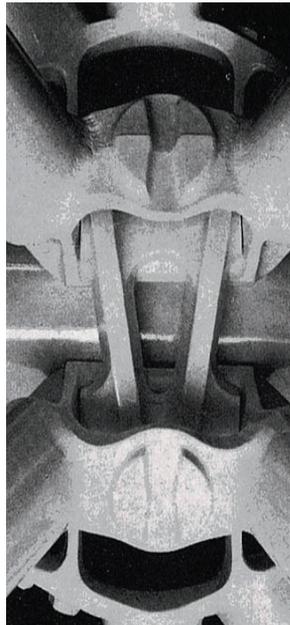
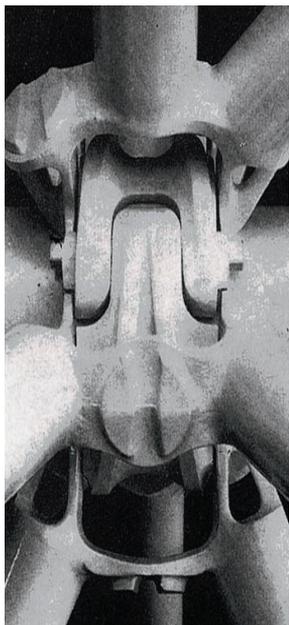


Abb.20:

Knotenpunkt mit Verbindungs-  
keil 1 von oben 2 von unten  
3 angeschw. Elemente an  
Tragrohr und Diagonalen K.  
Wachsmann [29]



Der in Abb. 20 dargestellte Steckknoten ist für den Einsatz in Hochbauprojekten zu aufwendig, da er aus zu vielen Einzelelementen besteht. Ein wichtiges Kriterium für einen in der Praxis verwendbaren und guten Steckanschluß ist eine geringe Anzahl von Einzelelementen, die möglichst vormontiert oder fest mit den Tragwerksteilen verbunden sind um einen unkomplizierten Montageablauf zu gewährleisten. (siehe Punkt 8.1) Ein von K. Wachsmann konstruiertes und in der Baupraxis einsetzbares Einzelelement zur Verbindung von Standardrohrelementen ermöglicht unbegrenzte Rohrlängen. Diese Verbindung besteht aus drei Teilen: den beiden pufferartigen Elementen, die an die zu verbindenden Rohrenden geschweißt werden und über ihre glatten Kontaktflächen Druckkräfte übertragen und die zweiseitige Rohrschelle, die über diese angeschweißten Systemelemente gelegt wird und die auftretenden Zugkräfte in die Rohre überträgt. Die zweiseitige Rohrschelle wird durch eine Schraube zusammengehalten und gesichert. In Anlehnung an dieses Verbindungselement entstand die unter Punkt 5.1.1 beschriebene Steckverbindung für die Bahnhöfe Bochum.

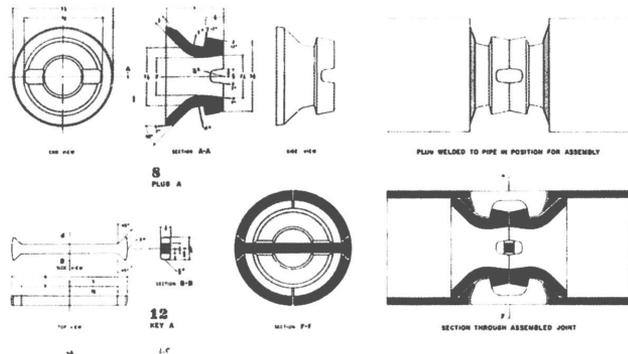
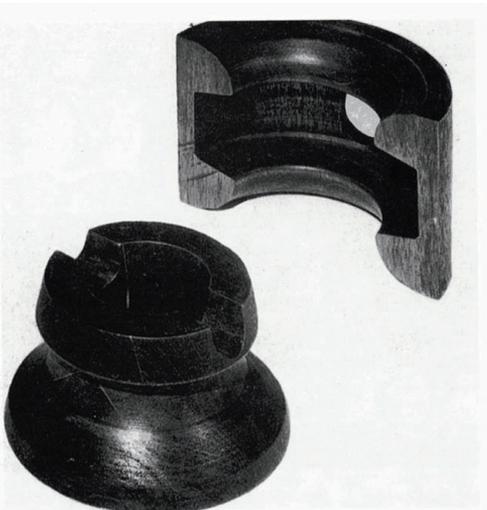


Abb.21:  
Rohrverbindung die den Zusammenbau von unbegrenzten Rohrlängen ermöglicht C. Wachsmann 1 Ansicht 2 Schnitt 3 Foto [Wachsmann „Wendepunkt im Bauen“ [29]

Die von G. Bell und K. Wachsmann entwickelten und untersuchten Verbindungssysteme hatten ausschließlich experimentellen Charakter, für theoretische Aufgaben wurden neue innovative Lösungen gefunden. Es gibt keine direkten Entsprechungen zu erstellten Konstruktionen oder Industrieprodukten aus diesen Überlegungen. Weiterentwicklungen und neue Ansätze zu alternativen Verbindungen können nur aus solchen theoretischen Untersuchungen entstehen. Klemmknoten, die denen von G. Bell ähneln, werden heute als Verbindungselemente bei Tribünen und Gerüstkonstruktionen eingesetzt.

**Man erinnert sich wieder an die Steckkonstruktionen des 19. Jahrhunderts, vor allem an die Konstruktion des Glaspalastes von Sir Joseph Paxton.**

### **3 Definitionen und Erläuterungen**

#### **3.1 Alternative Verbindungssysteme / Steckanschlüsse**

Steckanschlüsse sind Montageverbindungen die durch einfaches Ineinanderstecken, Einhängen oder Aufsetzen gleiche und unterschiedliche Tragwerkselemente wie z.B. Stütze / Binder oder Bindersegmente verbinden. Betrachtet werden sollen Steckverbindungen in denen Schrauben nur der Sicherung des Anschlusses dienen. Die untersuchten Steckanschlüsse übertragen die einwirkenden Kräfte direkt, kraftschlüssig in die entsprechenden Stöße oder Tragwerkselemente. Steckanschlüsse sollten einfach zu montieren darüber hinaus demontabel und wieder verwendbar sein.

Tragwerkskonstruktionen mit Steckanschlüssen sollten modular, aus möglichst gleichen Teilen bestehen. Die Anschlüsse dieser Baumodule können identisch ausgebildet werden, so dass bei der Baustellenmontage eine Verwechslung der Verbindungsknoten und Bauteile ausgeschlossen ist. Die Verbindung sollte durch die Form der Verbindungsteile zur Reduktion der Montagezeiten selbstjustierend sein, d.h. beim Aufstecken der beiden Steckanschlüsse sollten sich diese selbständig durch das Eigengewicht ineinander schieben und justieren.

Die Wahl der richtigen Steckanschlüsse ist von der Montageart, den Montagebedingungen und der Lage im Tragwerk und der zu verbindenden Tragwerksteile abhängig.

Durch Anforderungen aus der Architektur an komplexere anspruchsvolle Konstruktionen, aus Montagebedingungen und -zwängen und vermehrt durch das Erwirken von Wettbewerbsvorteilen zur Kostenreduzierung aus Verkürzung der Montagezeiten werden neue Konstruktionen mit alternativen Verbindungen und Montagearten gesucht.

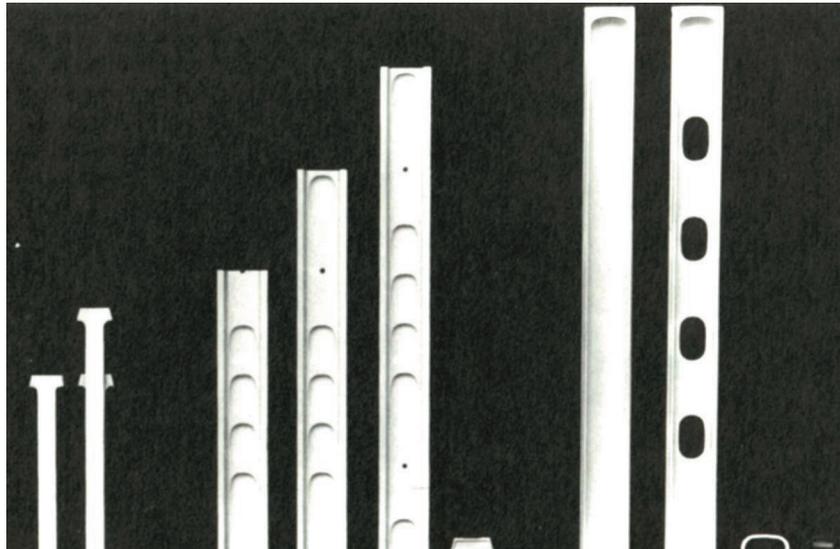
### 3.2 Modulare Tragwerke und Bauten

Für den Einsatz von Steckanschlüssen als Verbindungsmittel in Konstruktionen zwischen tragenden Teilen eignen sich bevorzugt modulare Tragwerke mit elementierten Bauteilen .

Dies sind Bauwerke, die einem Grundmodul und gleichem Raster folgen und aus möglichst gleichen Elementen bestehen. Gleiche Stützenabstände, Rahmen oder Deckenspannweiten führen zu immer wiederkehrenden gleichen Konstruktionsteilen, Anschlüssen und Montagestößen im Tragwerk. Modulare Baukastensysteme werden im Industriebau eingesetzt. Im Stahlbetonbau werden Stützen, Träger, Unterzüge selbst Fundamente als Bausystem vorgefertigt und auf der Baustelle zu kompletten Tragwerken zusammengefügt. Besonders deutlich ist dieser Konstruktionsansatz bei Fassaden und Baugerüsten. Elementierte Bauteile wie Stützen, Vertikalrahmen, Überbrückungsträger Belagtafeln und Einhängeleitern bilden mit Diagonalverstrebrungen ein stabiles Baukastensystem mit großer Flexibilität und immer gleichen Anschlüssen, mit fest definierten Anschlusswinkeln der Bauteile. [9] [22]

37

Abb.22:  
Modulares Baukastensystem/  
Stützen, Unterzüge, Träger[2]



Die modulare Struktur des in Abb. 23 gezeigten Industriegebäudes und des Tragwerkes findet sich in allen Ausbaugewerken und der technischen Gebäudeausrüstung wieder. Konstruktions- und Ausbauraster sind aufeinander abgestimmt und überlagern sich.

Das Grundraster eines Bauwerks orientiert sich im Industriebau am Montageablauf einer Produktion. Es führt zu einer klaren Tragkonstruktion mit gleichen Anschlüssen der elementierten Bauteile und damit zu einer Vereinfachung der Baumontage. Die industrielle Vorfertigung der Bauteile führt zu erheblichen Kostenreduzierungen. [4]

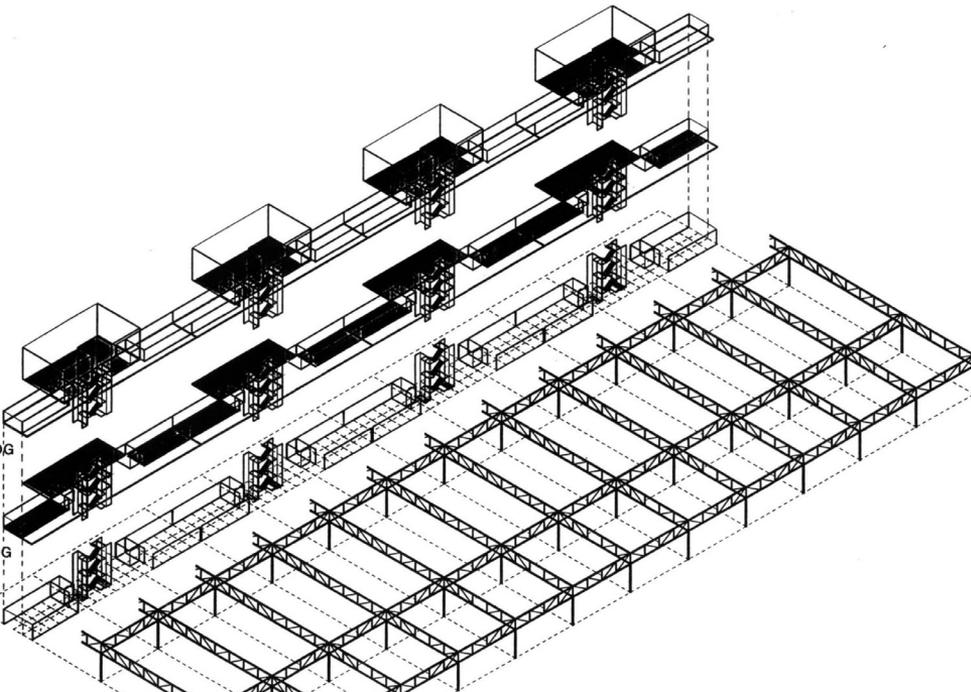


Abb.23:  
Baustuktur der modularen  
Fabrik Konzeptplanung für das  
neue Montagewerk KHD in  
Köln [22]

## 4 Voraussetzungen

### 4.1 Ansprüche an konventionelle Verbindungen und Steckanschlüsse

Jede Verbindung muß folgende allgemeine Bedingungen erfüllen:

- Steckanschlüsse müssen verbindungssicher sein d.h. die auftretenden Kräfte müssen sicher direkt von Bauteil zu Bauteil übertragen werden
- Steckanschlüsse sollten zur Reduktion der Montagezeit selbstjustierend sein und Bauleranzen ausgleichen können
- Steckanschlüsse sollten zur Verringerung des Montageaufwandes aus möglichst wenigen Verbindungsteilen bestehen und deshalb in Werkstattvorfertigung direkt mit den Tragwerksteilen verschweißt werden
- Steckknoten sollten zur Vereinfachung der Baustellenmontage außerhalb der Tragwerksknoten liegen
- das eingesetzte Material der Verbindung sollte die gleiche Festigkeit wie die übrige Konstruktion haben
- zur Vereinfachung der Konstruktion sollten in den Montagestößen gleiche Steckverbindungen eingesetzt werden
- aus Korrosionsschutzgründen sollte möglichst ein direkter Kontakt zwischen den kraftübertragenden Flächen bestehen
- Steckanschlüsse sollten industrielle Serienprodukte mit Typenstatik werden

## 4.2 Anspruch an Werkstoffe für Steckverbindungen

Für die Herstellung von Steckanschlüssen eignen sich u.a. Materialien, die im Gussverfahren hergestellt werden können. Hierzu zählen Grauguss, Sphäroguss, Hartguss, Temperguss und Stahlguss.

Allen Gusseisensorten liegen unterschiedliche Materialeigenschaften und Materialstrukturen mit speziellen Herstellungsverfahren zugrunde. Nach den statischen Anforderungen an das Material kann die richtige Gussorte ausgewählt werden. Durch das angewandte Herstellungsverfahren und die Mischung und die Wahl der Zuschläge wird die Festigkeit des Gusswerkstoffes eingestellt. [23] [10]

Alte Steckknoten wie z. B. beim Glaspalast von Paxton von 1851 wurden aus Hartguss, dem damals gängigen Gussmaterial hergestellt. Zur Zeit werden hauptsächlich die Materialien Sphäroguss oder Stahlguss für Verbindungselemente eingesetzt. Steckverbindungen aus diesen Materialien sind schweißbar d.h. sie können kraftschlüssig direkt an die zu verbindenden Bauteile in der Werkstattfertigung angeschweißt werden.

Steckverbindungen können aber auch als Drehteile aus Vollstahl (St 52, St 37 oder Edelstahl) als Einzelstücke oder auch als Schweiss- und Schmiedeteil gefertigt werden. Bei Kleinserien kann diese aufwendigere Herstellungsart preiswerter als der Formenguss sein. [20]

Die industrielle Serienproduktion von Systemanschlüssen und Bauteilverbindungen im Gussverfahren führt zu finanziellen und zeitlichen Vorteilen. Alle Teile sind durch Abgießen in Formen identisch und sehr genau und damit erheblich billiger als spanend bearbeitete Maschinendrehteile in Einzelproduktion.

## **Die Materialeigenschaften der aufgeführten Gussorten sind:**

- **Grauguss**

ist ein Eisenguss mit meist mehr als 2 % Kohlenstoffgehalt. Dieses Material hat eine geringe Zugfestigkeit und ist spröde, weil der Kohlenstoff als lamellares Grafit im Gefüge enthalten ist. Das Material wirkt schwingungsdämpfend. Diese Gussorte kann nicht geschweißt werden.

- **Sphäroguss**

ist Grauguss, der mit Magnesium behandelt wurde. Das Grafit wird in Form von molekularen Kugeln ausgeschieden, es entsteht schmiedbarer Sphäroguss, der bedingt schweißbar ist.

- **Hartguss**

ist Grauguss, der durch Manganzusatz zur Schmelze und zum schnelleren Abkühlen gebracht wird. Der Kohlenstoff scheidet sich als Zementit aus. Der Hartguss ist härter als der Sphäroguss, hat eine größere Verschleißfestigkeit und bessere Festigkeitseigenschaften als Grauguss und ist nicht schweißbar.

- **Temperguss**

ist Hartguss der durch langsames Kühlen (tempern) behandelt wird. Der Kohlenstoff wird dabei als glockenförmige Temperkohle ausgeschieden. Dieses Material zeichnet sich durch große Zähigkeit (stahlähnlich), gute Gusseigenschaften (wie Grauguss), Schweißbarkeit und gute Zerspanbarkeit aus.

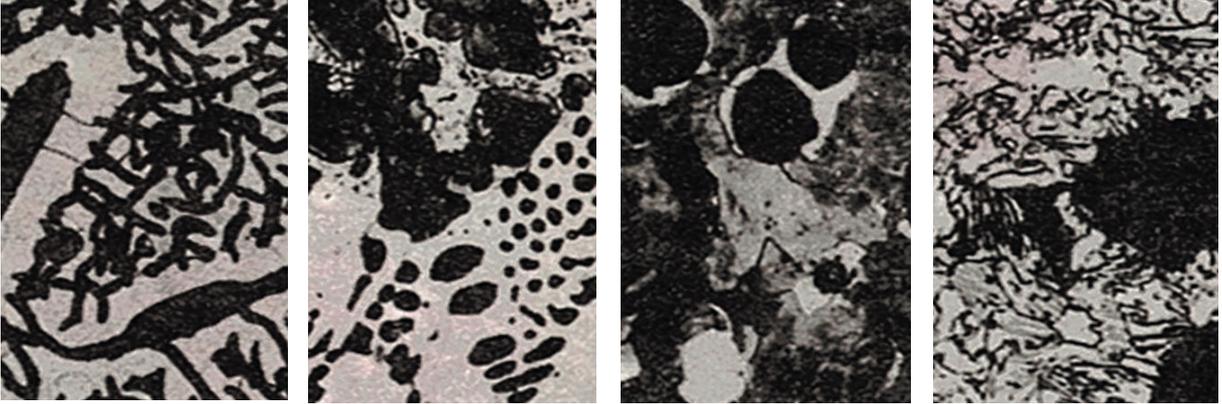


Abb.24:  
 Mikroskopische Aufnahme der Gefügeausbildung verschiedener Gusseisensorten (150 fach vergrößert) 1 Gusseisen / Grauguss mit Lamellengraphit, 2 Sphäroguss, 3 Hartguss, 4 weißer Temperguss (zu sehen sind die Grafitgefüge im Guss; je geringer der Kohlenstoffanteil um so höher ist die Festigkeit) [23]

42

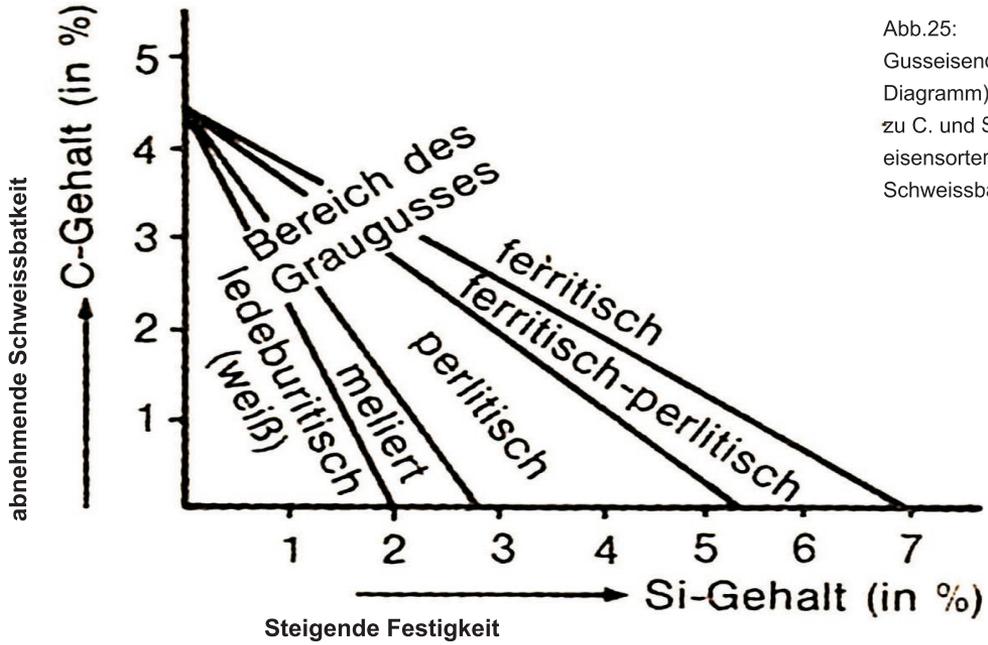


Abb.25:  
 Gusseisendiagramm (Maurer Diagramm) für 30mm Proben zu C. und Si Gehalt der Gusseisensorten mit Festigkeit und Schweißbarkeit [23]

- **Stahlguss**

Stahlguss (9520 MN5) hat eine erheblich höhere Festigkeit als alle vorher aufgeführten Gussorten (DIN 18800/90). Unterschieden wird zwischen Stahlguss im Normaleinsatz und hochlegiertem Edelstahlguss. Beide Gussorten sind gut mit Walzstahl und Stahl der Güte ST 52 verschweißbar. Edelstahlguss wird wegen seiner hochwertigeren Legierungsanteile nur bei Konstruktionen, die Korrosions- und Säurebeständigkeit erfordern eingesetzt. Durch Wärmebehandlung (Vergütung) der Materialien lässt sich die Proportionalitätsgrenze bis auf mindestens  $360 \text{ N/mm}^2$  erhöhen (DIN 17182/85). Die Oberfläche der Gussteile ist durch den schwierigen Gießvorgang (hohe Gusstemperatur) rauher als die anderer Werkstoffe. Die Herstellkosten der Stahlgussverbindungen sind zwar erheblich höher als die anderer Gussorten, aber vertretbar, soweit es sich bei Steckverbindungen um hochbeanspruchte Formteile handelt.

43

Abb.26 :  
Gieß- und Kühlstrecke für  
Gußteile Firma Tweer [27]



- **spanbearbeitete Anschlüsse**

Steckverbindungen können nicht nur als Gussystemteil produziert werden, es ist möglich diese Verbindungsteile als Stahl-drehteile aus Vollmaterial zu fertigen. Nach statischer Anforderung wird Vollmaterial als St 37 oder St 52 vorgeschrieben. Teilweise werden auch nichtrostende Edelstähle wie V4A oder V8A für diese Verbindungen gewählt. [10] Verbindungselemente mit besonders hoher Beanspruchung werden aus Schmiedestahl getrieben und können aus verschiedenen Teilen zusammengeschweißt werden.

44

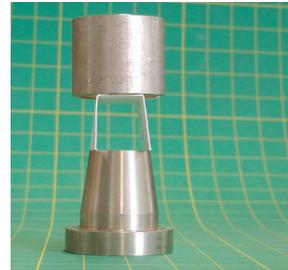


Abb.27:  
Steckknoten Stadtbahnhof  
Unii Bochum als Stahldrehteil  
aus V2A [19]



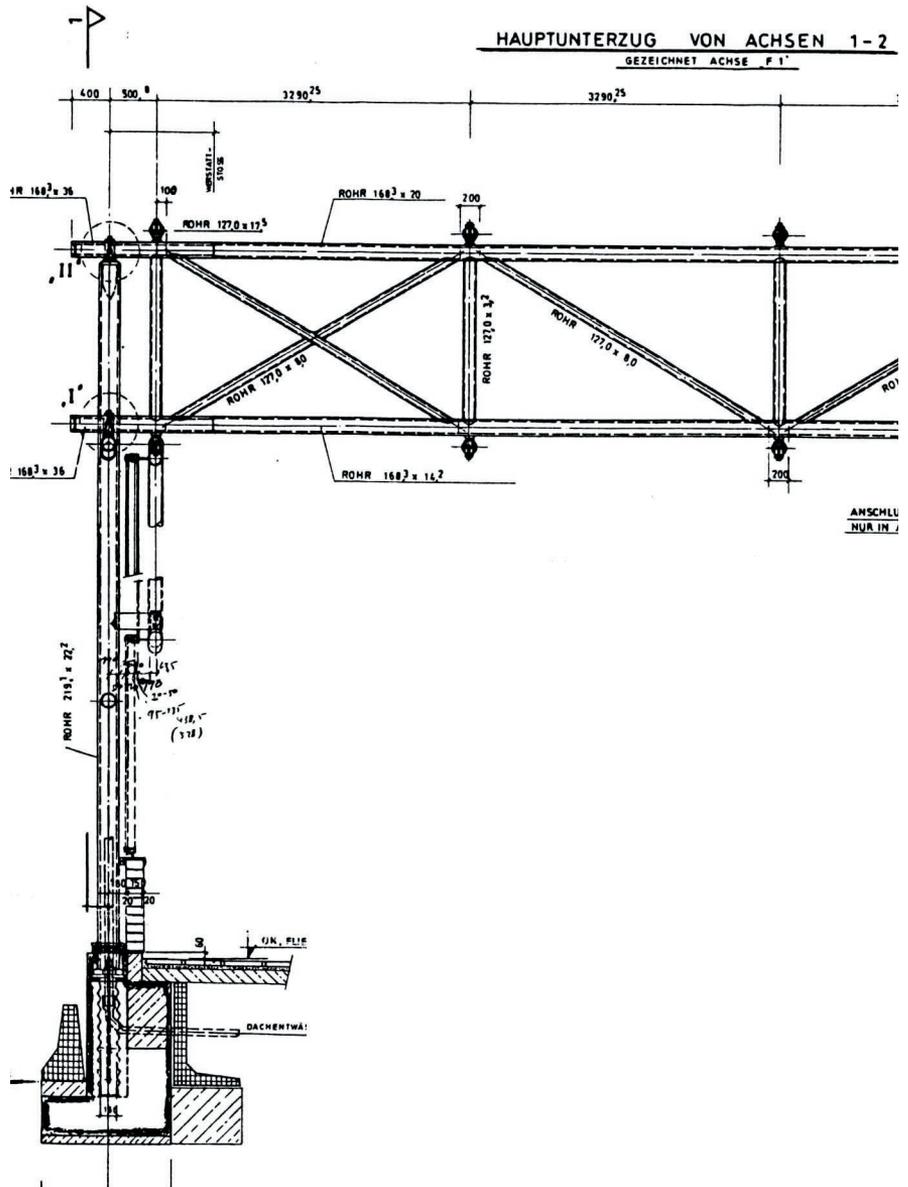
Die Maschinendrehteile werden auf CNC- gesteuerten Drehbänken sehr exakt gefertigt, sind aber im Vergleich zu Gußteilen durch die Einzelfertigung teurer. Diese Genauigkeit des maschinengefertigten Anschlusselements ist, im Gegensatz zum Maschinenbau, für den Hochbau nicht unbedingt erforderlich. [16]

## **5 Auflistung der Steckverbindungen nach ihren statischen Funktionen**

### **5.1 Steckanschlüsse im zweidimensionalen Stabwerk**

Alternative Steck- und Keilverbindungen müssen die gleichen statischen Ansprüche erfüllen wie alle konventionellen Anschlußarten (Schrauben, Nieten, Schweißen). Bei der Verwendung von Steckanschlüssen wird versucht, die Zahl der Verbindungselemente zu reduzieren und trotzdem alle Kräfte zu übertragen. Eine zusätzliche Kraftkomponente, die Sicherung der Konstruktion gegen Sog und Druck (Ausheben und Ausklinken der Verbindung) ist bei diesen alternativen Anschlüssen zu beachten. Die Sicherung des Anschlusses erfolgt meist durch eine Schraube oder einen Bolzen.

Die Steckverbindungen im Stabwerk lassen sich je nach Anordnung im Tragwerk in zug-, druck-, biege- und wechselbeanspruchte Verbindungen unterteilen. Steckverbindungen sollten im Tragwerk so angeordnet werden, das sie leicht zugänglich sind und nicht von mehreren unterschiedlichen Kräften beansprucht werden, d.h. eine Anordnung im Stabwerk als Montagestoß des Zug- oder des Druckstabs. [1] [12]



46 Abb.28:  
Stahlrahmenkonstruktion  
Bahnhöfe Bochum  
Steckknotenanschlüsse im  
zweidimensionalen Trägerk  
[19]

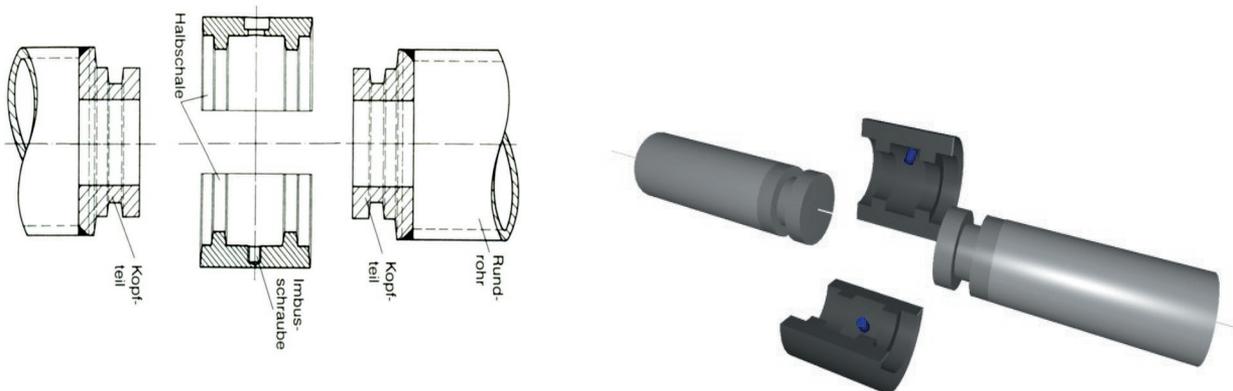
## 5.1.1 Steckverbindungen in Längsstößen mit Zug- und Druckbeanspruchung

### Rohrsteckverbindung im Fachwerkträger

Stahlgusssteckverbindung für überlange Fachwerkträger

Diese Rohrsteckverbindung kann in Stabwerken (Fachwerkträgern) als zug- und druckbeanspruchter Anschluss ausgeführt werden. Die Steckverbindung liegt im Untergurt bzw. Obergurt des Fachwerkträgers im Feldpunkt zwischen den anschließenden Diagonalen als kraftübertragender Montagestoß. Mit dieser Rohrverbindung können überlange Fachwerkträger für den Versand oder zum Verzinken in transportable Trägerteile aufgeteilt und auf der Baustelle in kurzer Zeit zusammen gesteckt werden. Die Anschlüsse dieses Steckknotens bestehen aus pufferähnlichen Elementen aus Gussstahl, die an die jeweiligen Rohrenden angeschweißt wurden. Eine zweiteilige Rohrschale verbindet die Gusselemente mit ihren radialen Aufkantungen als Kontaktfläche und überträgt die Zugkräfte.

Abb.29:  
Rohrsteckverbindung im  
Stabwerk Prof. St. Polonyi´ B.  
Heukelbach [19]



### Längsstoß eines Rohrfachwerkbinders

Stahlfrästeil für Rohrverbindungen Bahnhöfe Bochum

Diese Steckverbindung kann Zug- und Druckkräfte übertragen. Sie wird im Fachwerkträger in Ober- und Untergurt angeordnet. Der Steckknoten ist als Stahlfrästeil aus Edelstahl gefertigt und besteht aus an den Rohrenden angeschweißten Rohrsegmenten mit radial eingefrästen Nuten. Die Verbindung dieser beiden Rohrenden erfolgt über 2 halbrunde Hülsenteile als Drehteile, die passgenau auf die vorherbeschriebenen Nuten gesetzt werden und diese umklammern. Das Auseinanderklappen der beiden Dreiteilhälften wird durch eine durchgehende Zylinderschraube verhindert, die über Drehmoment vorgespannt ist und die beiden Verbindungselemente zusammen presst. Diese Verbindung kann auch Biegung übertragen.

48

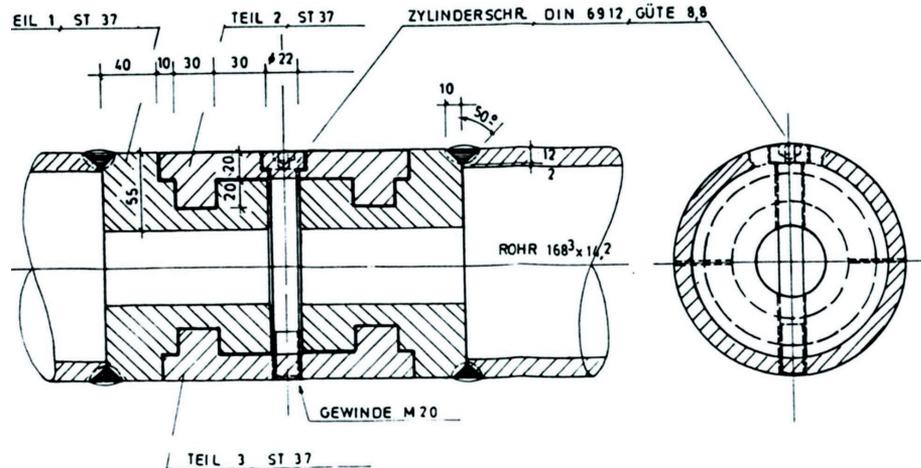


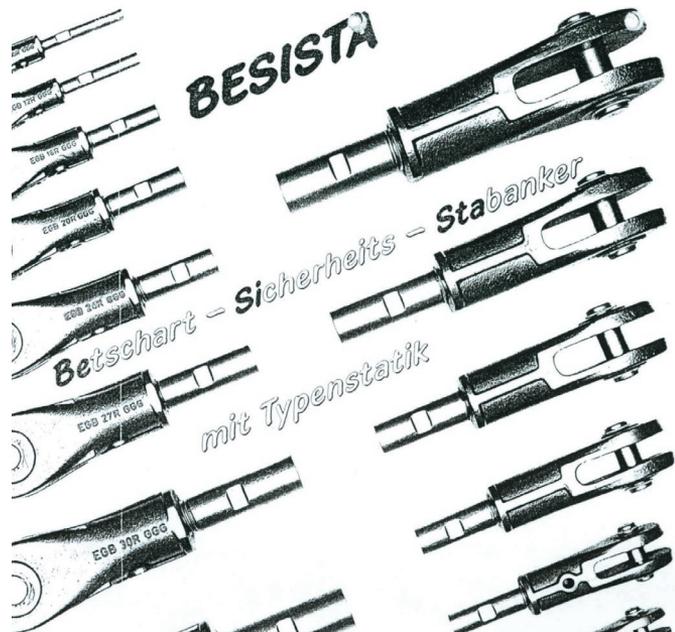
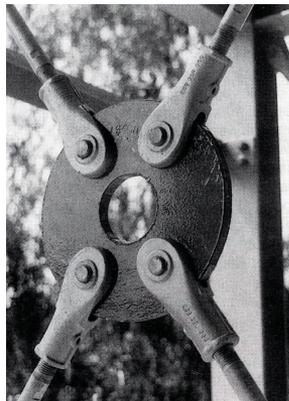
Abb.30:  
Steckverbindung von Rohren  
in der Zugzone des Stabwerks  
der Bahnhöfe Bochum [19]

## Ankerverbindungen zum Anschluß von Zugstäben Stahlgussankerverbindung mit Typenstatik

Diese Verbindung ist eine Augen- / Steckbolzenverbindung und überträgt Zugkräfte, beim Anschluss von Stangen und Rohren können auch Druckkräfte übertragen werden. Anwendungsbereich dieses Bauteils ist die Unterspannung eines Binders mit Anschlüssen an die Druckstäbe und den Untergurt des Binder wie z.B. beim Polonceau´ Binder. Die Konstruktion besteht aus augenförmigen Anker mit Mittelbohrung, durch die ein Bolzen als Steckverbindung geschoben wird. Diese Anker haben im Schaft ein Innengewinde das auf das Außengewinde der Zugstäbe gedreht wird und zusätzlich zur Vorspannung der Zugstäbe genutzt werden kann. Das Material dieser Verbindung ist Stahlguss. Für dieses Verbindungssystem gibt es mehrere Systemanbieter die für jeden Zugstabquerschnitt den passenden Anker mit Typenstatik anbieten.

49

Abb.31:  
Stabankerverbindungen mit  
Steckbolzen [39]

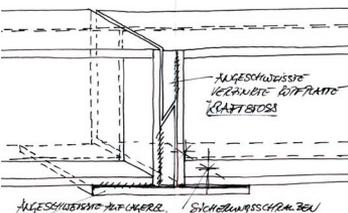
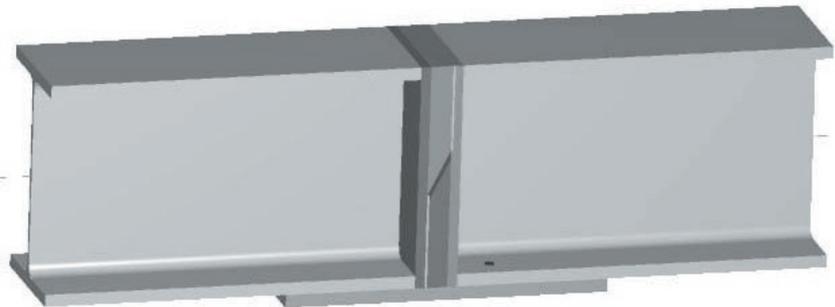


## Verzahnter Montagestoß im Fachwerkuntergurt Gefräste Profilsteelverbindung

Der zugbeanspruchte Untergurt eines überlangen Fachwerkträgers kann in händelbare Segmente durch einen verzahnten Montagestoß zerlegt werden. Dieser Anschluss ist dem ausgeschragten Blattstoß aus dem Holzbau nachempfunden. An beiden zu verbindenden Untergurtprofilen des Fachwerkbinders werden jeweils gefräste Kopfplatten aus St 52 mit einer gegenläufigen Verzahnung in Werkstattfertigung angeschweißt. Durch das Einhängen dieser beiden Trägerenden über die Kopfplatten entsteht eine zugfeste Verbindung der Untergurtsegmente. Die Sicherung dieser Verbindung gegen Ausheben erfolgt mit einer am Trägerflansch angeschweißten Stahlplatte, die über zwei Schrauben ein Ausheben verhindert.

50

Abb.32:  
Montagestoß im Untergurt  
eines Walzprofilträgers mit  
Zugkraftübertragung [Prof. St.  
Polonyi / B. Heukelbach]



## Pylonkopfausbildung

Edelstahlgussformteil mit Rundstahlösen / Einhängeverbindung

Einhängekonstruktionen mit reiner Zugkraftübertragung findet man an Pylonköpfen abgespannter Konstruktionen. Bei diesen Tragwerken übernehmen die Zugstäbe die Anhängelast des Baukörpers und leiten sie in den Pylon radial ein. An dem Pylonkopf werden die Zugstäbe radial eingehängt. Eine Sicherung gegen Ausheben (Sog) ist meist wegen der hohen Vorspannung durch das Eigengewicht der angehängten Konstruktion nicht erforderlich.

Prof. A. P. Betschart entwarf die beiden folgenden Pylonkopfkonstruktionen aus Stahlguss zur reinen Zugkraftübertragung. Der Pylonkopf wurde für eine Schirmkonstruktion mit den Architekten PFP Fahr Schleich und Reindl München für die Manufaktur Rosenthal in „Kronach“ entwickelt und besteht aus einem einzelnen Formteil aus Edelstahlguss mit 12 Haken. 12 Zugstäbe, an die ovale Augen angeschmiedet sind, werden in die 12 Haken des Pylonkopfes eingehängt. Die Zugstäbe tragen die Kräfte aus der Dachkonstruktion von 12 Radialträgern in den Pylon ab.

51

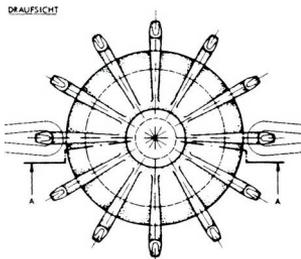
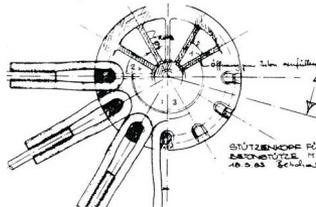
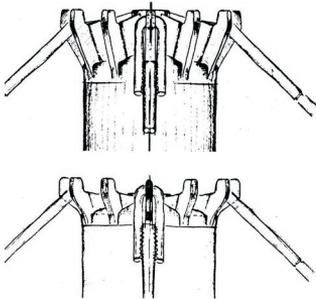
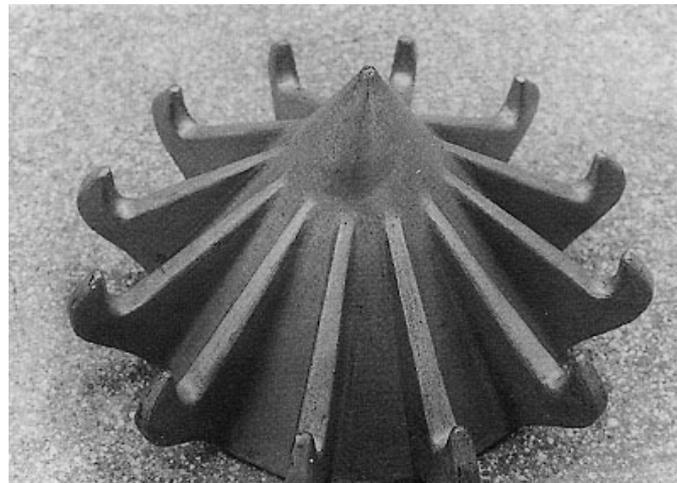


Abb. 33:  
Pylonkopf als Gussformteil  
mit Rundstahlösen [10] [45]



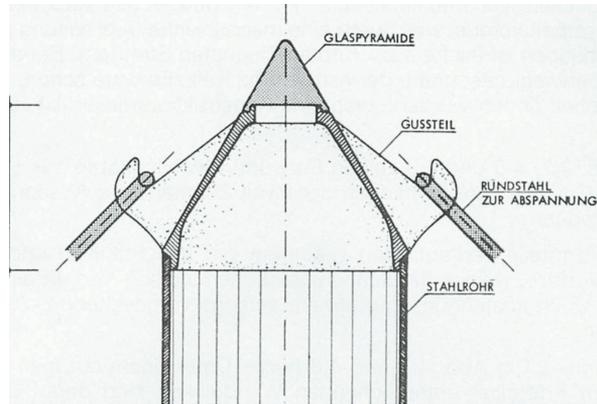


Abb. 34:  
Pylonkopf als Gussformteil  
mit Rundstahlösen [10] [45]

### Pylonkopf als Gussformteil mit konischen Ankerköpfen

Aus der vorherbeschriebenen Konstruktion entwickelte A. B. Betschart einen Pylonkopf aus Stahlguss mit konischen Ankerköpfen. Er besteht aus 12 Anker mit Zugstäben, die sich formschlüssig in die konische Ausformung der Pylonkopfes einhängen lassen. Die Anker sind mit Innengewinde auf die Außengewinde der Zugstäbe gedreht und lassen sich so nachspannen. Wenn alle Anker am Pylonkopf eingehängt sind, ist ein selbständiges Lösen unmöglich.

52

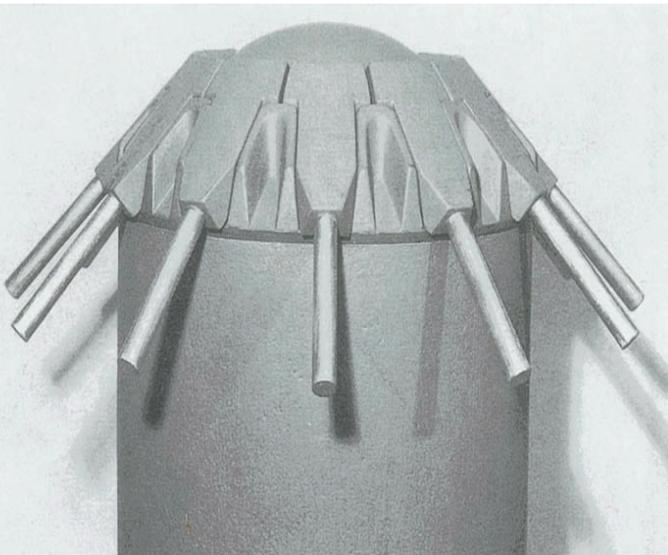
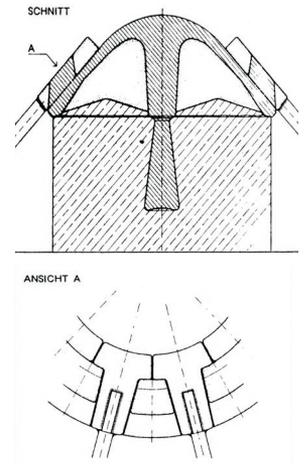


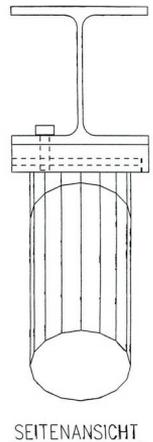
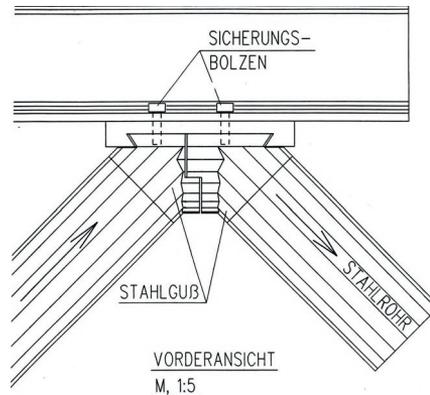
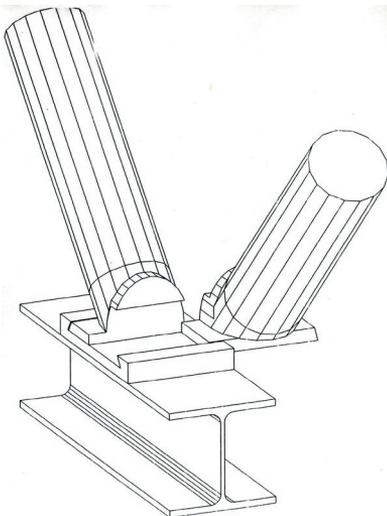
Abb.35:  
Pylonkopf als Gussformteil  
mit konisch geformtem Anker-  
kopf der Zugstäbe zur Zug-  
kraft-übertragung [10]



## Einschubverbindung für hohe Fachwerkträger Stahlgussystemteil als Einschubverbindung

Diese Verbindungsart wird genutzt, um hohe Fachwerkträger für den Strassentransport in transportable Elemente zu zerlegen. Die Verbindung garantiert als einfache Steckverbindung eine exakte und schnelle Montage auf der Baustelle. Sie besteht aus einem so genannten Schuh aus Stahlguss der fest mit dem Obergurt und dem Untergurt des Fachwerkbinders verschweißt wird. An die Diagonalen des Fachwerkträgers, zumeist aus Rundrohr- und Quadrathohlprofilen, werden Stahlgusseinschubelemente angeschweißt. Auf der Baustelle werden in Bodenmontage die Systembauteile des Modulbaukastens Obergurt und Untergurt ausgelegt und die Diagonalen in die Stahlgusschuhe eingeschoben. Es entsteht ein homogener Träger der als Ganzes gerichtetet wird. Diese Einschubverbindung nimmt außer normalen Druckkräften auch wechselnde Beanspruchungen auf. Die Sicherung gegen Verschieben der Fachwerkdiagonalen erfolgt über Bolzen.[8]

Abb. 36:  
Steck- und Einschubverbindung von Druck- bzw. Zugdiagonalen eines Fachwerkbinders [40]



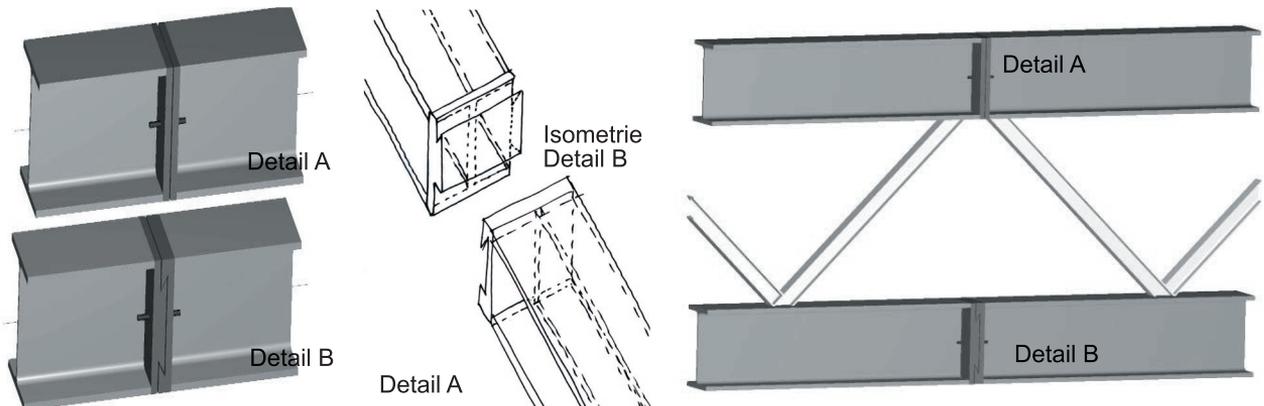
## Einschubverbindungen für überlange Fachwerkbinder Stahlgußsystemteil als Einschubverbindung

Fachwerkbinder können mit dieser Einschubverbindung für den Straßen-transport und kleine transportable Einheiten zerlegt werden. Die Steckverbindung wird in Ober- und Untergurt des Fachwerkbinders und nicht in den Diagonalen angeordnet, so daß eine Montage des Binders auf der Baustelle in Bodenmontage schnell und exakt erfolgen kann.

Die Steckverbindung besteht im Obergurt zur Aufnahme der Druckkräfte aus einer Stahlgußplatte, auf der ein Bolzen aufgesetzt ist. Dieser Bolzen greift in das Kopfplattenstück des zu verbindenden Trägerteils ein und fixiert die Verbindung gegen Verschieben. Die Steckverbindung des Untergurts muß die Zugkräfte des Trägers aufnehmen. Sie besteht aus zwei Stahlgußplatten, die wie bei einer Schwalbenschwanzverzahnung über Verzahnung ineinander geschoben werden. Die an dieser Verzahnung auftretenden Kerbkräfte müssen statisch berücksichtigt werden, auch hier sichert ein Dorn die Verbindung gegen Verschieben.

Abb.37:  
Montagestoß für überlange  
Fachwerkbinder  
[Entwicklung Prof. St. Polonyi /  
B.Heukelbach]

54

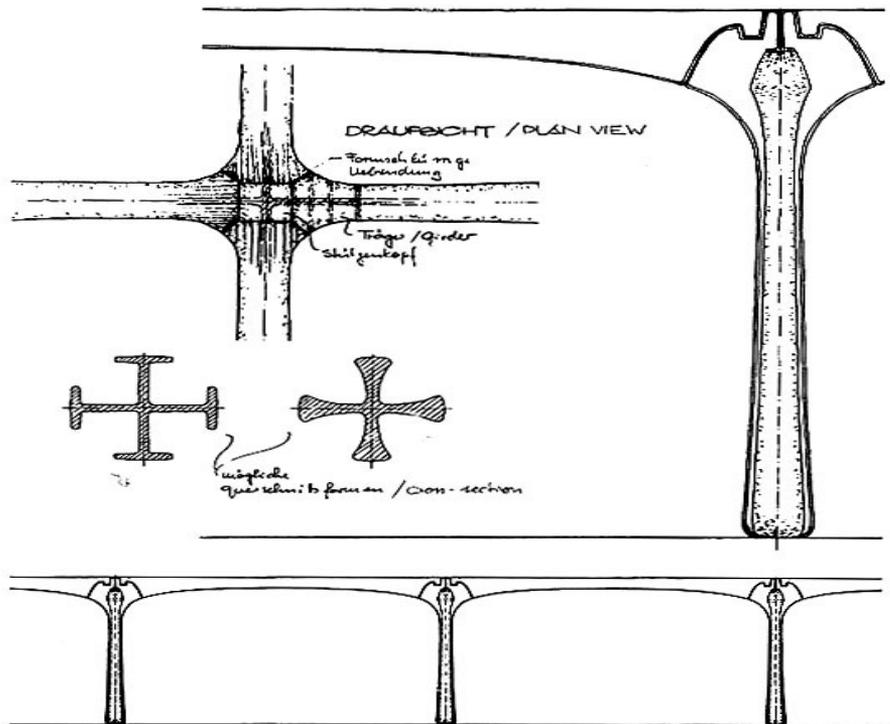


## Einhängebinder

Gussformstück als Binder und Stütze

Das folgende Tragwerk ist eine Gussformteilkonstruktion mit Biegestoß. In einen als konischen Kopf ausgebildete Kreuzstütze wird formschlüssig der Gussstahlbinder in eine Verzahnung eingehängt. Mit dieser Gussverbindung als Formteil entfallen jegliche Einzelemente eines herkömmlichen Anschlusses. Stütze und Binder bilden durch die Formgebung das Anschlussdetail. Die Konstruktion ist statisch eine Rahmenecke mit Biegestoß. Diese Konstruktion wurde von A. P. Betschart als Studie entwickelt, in der gießtechnische Vorgänge im Vordergrund standen. Das Formteil soll aus Stahlguss erstellt werden.

Abb.38:  
Stütze / Träger als  
Gussformteil mit Verzahnung  
als Biegestoß [10]



## Gelenkige Kugelsteckverbindung

Kugel aus Gusseisenkugelgrafit

Eine gelenkige Verbindung zwischen Stütze und Träger, mit reiner Druckkraftübertragung kann mit einer in Kreuzrippen gefaßten Kugel ausgeführt werden. Für diese Konstruktion sind keine zusätzlichen Anschlussteile oder Sicherungen erforderlich. Die Kreuzrippen sind als Gussfertigteile an Stütze und Träger angeschweißt. Diese Verbindung könnte auch durch einen Stift oder Dorn als Verbindungselement erfolgen. Entwickelt wurde diese Verbindung von A. P. Betschart für den Neubau der Fachhochschule Biberach. Das Material dieser Verbindung ist Gusseisen mit einem Zusatz aus Kugelgrafit. Die zeichnerische Darstellung einer gelenkig gelagerten Stütze ist eine Vorstudie für das Projekt.

56

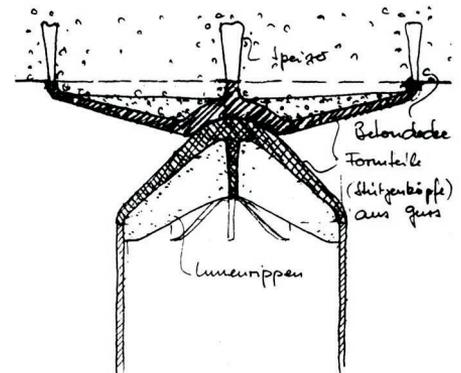
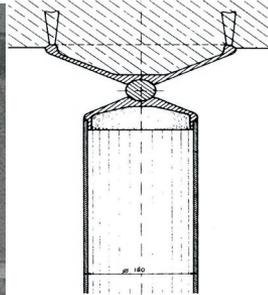
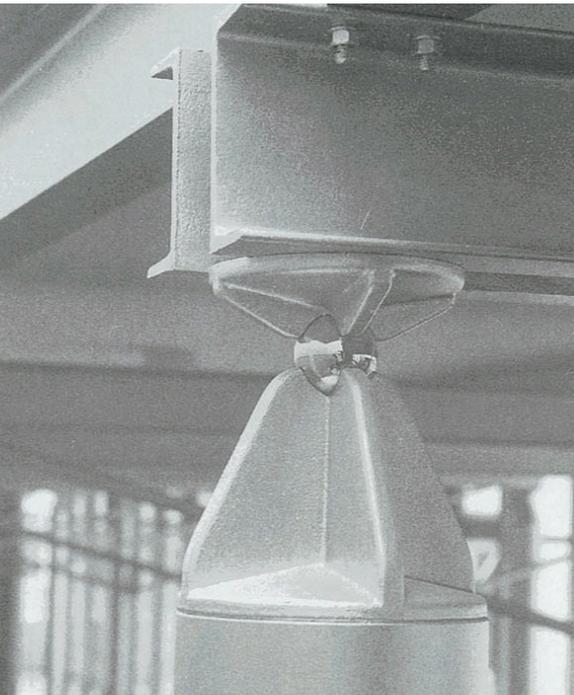


Abb.39:

Anschluss mit gelenkiger Lagerung / Kugel in Kreuzrippen Studie Stützenkopf für gelenkig gelagerte Stützen



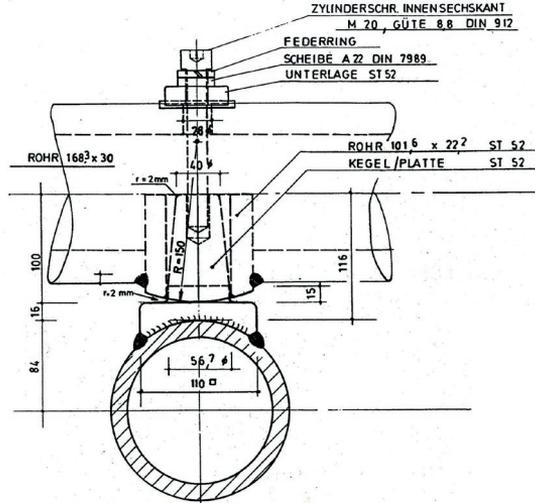
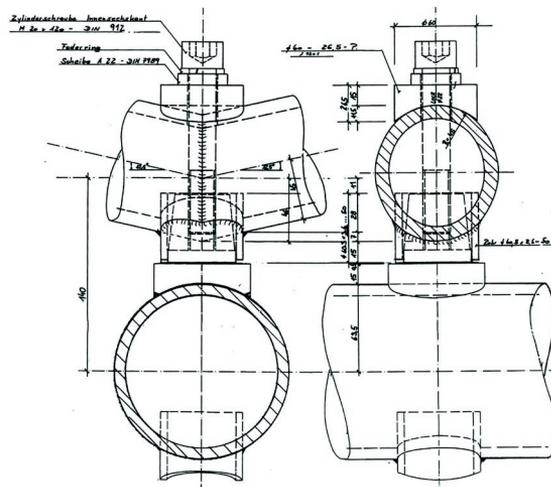


Abb.41:  
Steckverbindung  
untergehängerter Anschluß  
Pfette / Binder Untergurt  
Bahnhöfe Bochum [19]

Die Steckverbindung besteht aus einer Rohrhülse aus V2A, die in das Tragrohr der Pfetten jeweils an den Enden eingeschweißt ist. An den Fachwerkbindern ist das Gegenstück der Steckverbindung, ein kegelförmiges Edelstahlteil mit Auflagerkranz an Ober- und Untergurt angeschweißt. Dieser Steckknoten ist durch die konische Form des Kegelstücks selbstjustierend. Beim Aufsetzen der Rohrhülse schiebt sich diese durch die Auflast der Pfetten automatisch auf und zentriert den Sitz. Diese Steckverbindung war aus Stahlgusselementen geplant, wurde aber aus Kostengründen als Stahldrehteil aus V2A gefertigt.

Abb.42:  
Steckverbindung aufgesteckter  
Anschluß Pfette / Binder  
Untergurt Bahnhöfe Bochum  
[19]



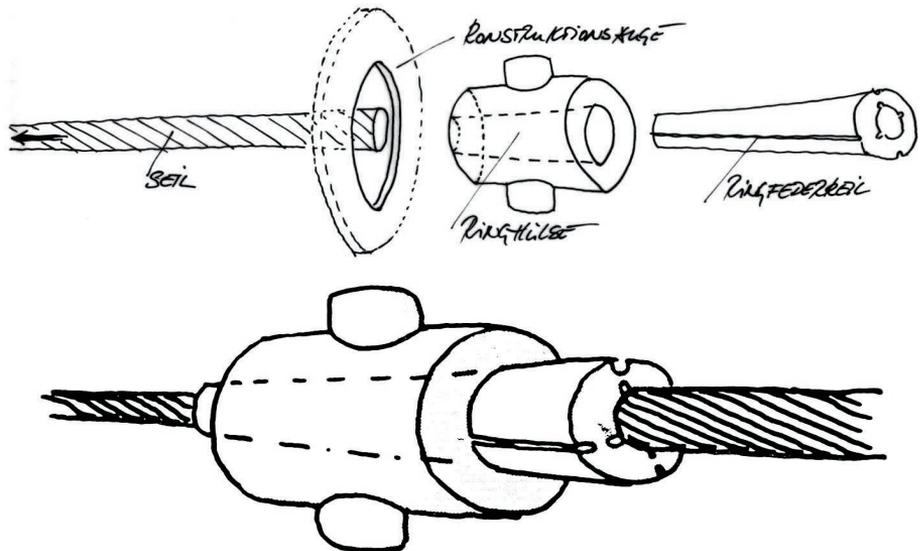
## Seilverbindung mit Zugkraftübertragung

### Keilsteckverbindung aus Stahl

Zur Befestigung von Hängekonstruktionen an Seilen wurde von Frei Otto eine Keilsteckverbindung mit Ringfederkeil entwickelt. Die Konstruktion besteht aus einer Rohrhülse mit Einhängedornen außen und einem kegelförmigen Zuschnitt im Innern. Dieses Element wird auf das Seil an die Stelle geschoben an der die angreifende Kraft in das Seil eingeleitet werden soll. Die Sicherung und Kraftübertragung zum Seil erfolgt über einen Ringfederkeil, der zum Seil hin aus einem weicherem Stahl / Blei als die Rohrhülse besteht. Dieser Keil wird von unten in die kegelige Ringhülse geschoben und eingeschlagen. Die durch das Anhängen der Verbindung an die Konstruktion auftretenden Zugkräfte schieben den Ringfederkeil fest in die konische Hülse und pressen ihn auf das Zugseil. Diese Verbindung kann wieder gelöst und an jeder beliebigen Seilstelle angesetzt werden. [8]

59

Abb. 43:  
Konische Keilverbindung zum  
Abklemmen des Seils im  
Strang [8]



## 5.1.2 Steckverbindungen mit Biegung mit Längskraft

Biegung mit Längskraft ist eine zusammengesetzte Beanspruchung, die als Normalkraft über einen Hebelarm auf eine Verbindung einwirkt. Es entstehen Normalkräfte und Biegemomente im Verbindungselement, dem Steckknoten.

### **Torsionsfeste biegesteife Steckverbindung zwischen Rohrstücken**

Rohrsteckverbindung aus Gussstahl

Von Prof. St. Polonyi´ und Prof. R. Wörzberger wurde eine Steckverbindung entwickelt, die aus zwei Stahlguss- Halbschalen besteht. Die beiden gleichen Halbschalen werden aufgrund der Konizität der Verbindungsteile um  $180^\circ$  zueinander verdreht an die zu verbindenden Tragwerksteile angeschweißt, die Sicherung erfolgt durch eine Schraube. Die Konstruktion zeichnet sich dadurch aus, daß sie aus 2 identischen Teilen besteht und keine zusätzlichen Rohrhülsen zum Zusammenspannen benötigt. Diese Verbindungsart nimmt durch gegeneinander unverschiebliche Verzahnungen neben den auftretenden Längskräften auch Torsionskräfte auf. Sie wird im Tragwerk zumeist in Ober- und Untergurt eines Rohrbinders eingesetzt.

60

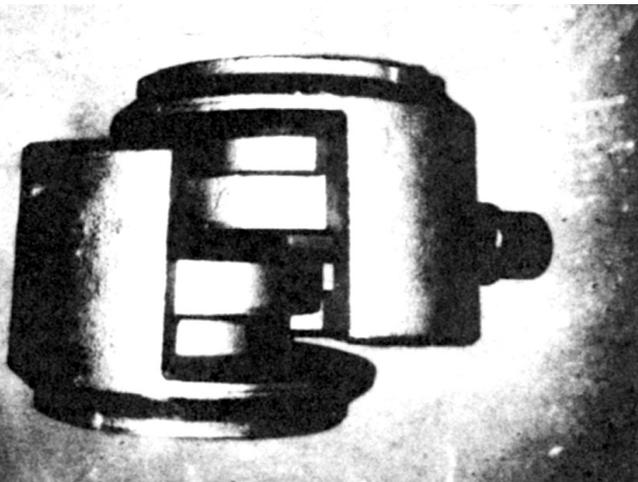


Abb.44:  
Gusssteckknoten aus zwei Halbschalen zur zug- und torsionsfesten Verbindung von Rohrstücken [27]

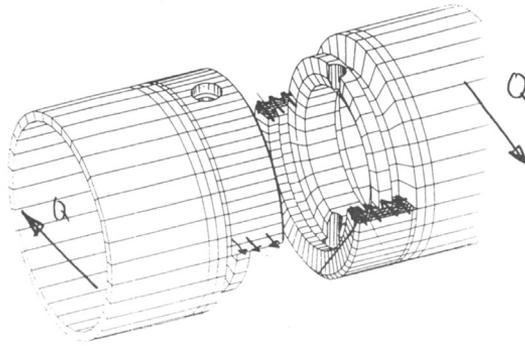


Abb. 45:  
Stahlguss Steckverbindung  
für Rohre Prof. Polonyi /  
R. Wörzberger [27]

Im Gegensatz zu den von K. Wachsmann entwickelten Rohrverbindungen (siehe Punkt 2.1) zum Zusammenbau von unbegrenzten Rohrlängen übernimmt die Ausbildung dieser Steckverbindung Beanspruchung aus Biegung mit Längskraft (siehe 5.3.1). Es gibt keine zus. Verbindungsteile als die an die Tragrohre geschweißten Steckknoten. Der Zusammenbau der Konstruktion wird dadurch präzise und die Montagezeit verkürzt. Beim Einsatz dieses Steckknotens in räumlichen Stabwerken sollte er neben den Hauptknotenpunkten platziert werden. Vorgefertigte Tragwerkssegmente können mit dieser Verbindung in Baustellenmontage schnell und exakt zu Grosstragwerken zusammengesetzt werden.

61

Abb.46:  
Steckknoten in zusammenge-  
setzten Tragwerkssegmenten  
[27]



## Rohsteckkonstruktion aus Aluminium

### Möbelsteckknoten Jean Prouvé

1948 entwickelte Jean Prouvé eine Steckverbindung aus Stahlrohr für sein Möbelbausystem, einer Vitrine mit dem Namen „Compas“. Sie besteht aus Rohrhülsen mit Nasenausnehmungen, die im oberen Teil an die beiden Seitenteile der Vitrine angeschweißt sind. In diese Rohrhülsen wird ein Trägerrohr geschoben, das mit je 2 Dornen an den Rohrenden in die Ausnehmungen der Rohrhülsen eingreift und durch Drehen des Trägerrohrs hinter den Nasenausnehmungen einrastet. Diese einfache Rohrsteckkonstruktion ermöglicht einen platzsparenden Transport und einen schnellen und exakten Aufbau des Möbels.

62

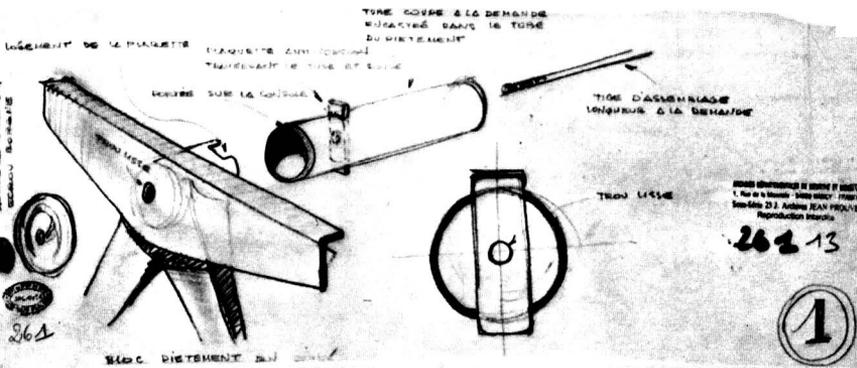


Abb.47:  
Möbelsystem „Compas“ von  
1948 Jean Prouvé [16]

## 5.2 Steckverbindungen in räumlichen Stab und Flächentragwerken

Räumliche Stab und Flächentragwerke können mit folgenden Anschlüssen ausgeführt werden :

Schraubanschluß axial

Schraubanschluß lateral

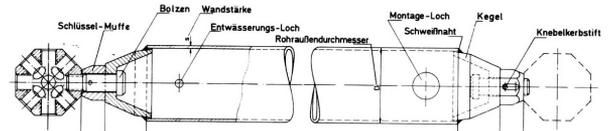
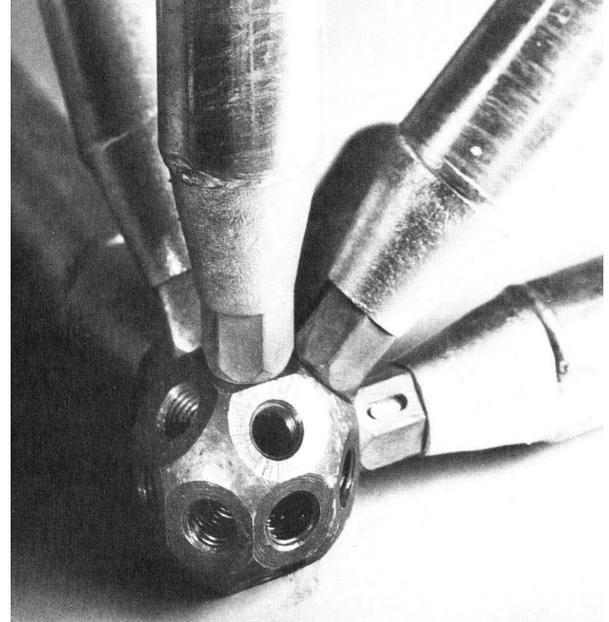
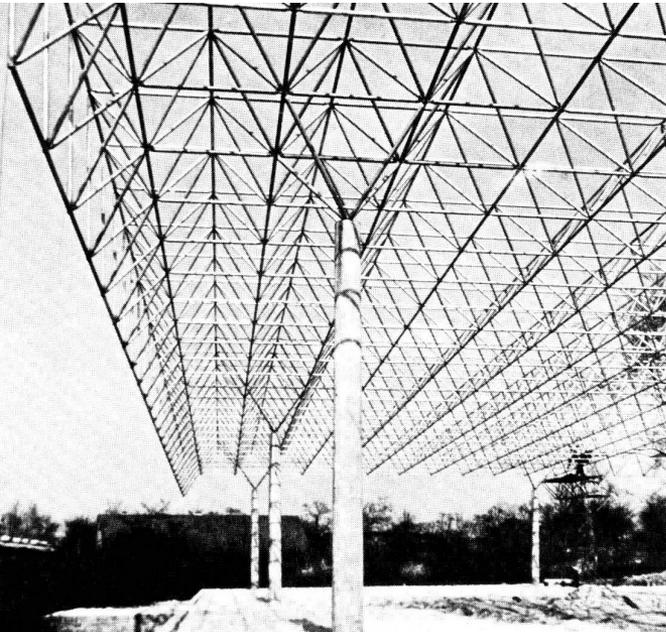
Klemm-, Steck- und Keilverbindung

### **Axiale Schraubverbindungen**

Axiale Schraubverbindungen sind durch die Verwendung einer Schraube statisch ein Quasigelenk. Sie sind für einachsige Stabwerksschalen ungünstig, es besteht Beulgefahr. Durch den Einsatz von zwei Schrauben senkrecht zur Schalenebenen, kann diese Beulgefahr verhindert und die Verbindungsanschlüsse in einer Achse (Schalenebene) biegesteif werden.

Ein Beispiel für axiale Schraubanschlüsse ist das Mero Raumtragwerk. In diesem Raumtragwerk sind axiale Schrauben zwischen den Tragwerksstäben und den polygonen Verbindungsknoten angeordnet. Das Mero - System wird durch Eindrehen des Verbindungsstabgewindes in den mit Gewinde versehenen polygonen Kugelknoten verschraubt. Für die Messe Leipzig mußte das Merotragsystem für eine Tragwerksschale verändert werden. Die Verbindungsrohre mußten über seitliche Montageöffnungen miteinander verschrauben werden. Ein Korrosionsschutz auf der Außenfläche der Rohrkonstruktion war aufgrund der seitlichen Bohrung nicht ausreichend, das Rohrinne war ungeschützt. Die Tragwerkssegmente mußte deshalb komplett verzinkt werden. Schraubanschlüsse eines Raumtragwerkes wie Mero erfordern einen hohen Montageaufwand. Dieser könnte durch die Verwendung von Steckanschlüssen erheblich verringert und vereinfacht werden, eine Verzinkung wäre nicht notwendig gewesen.

Abb.48:  
Raumfachwerk Systemknoten  
und Stäbe der Firma Mero [18]

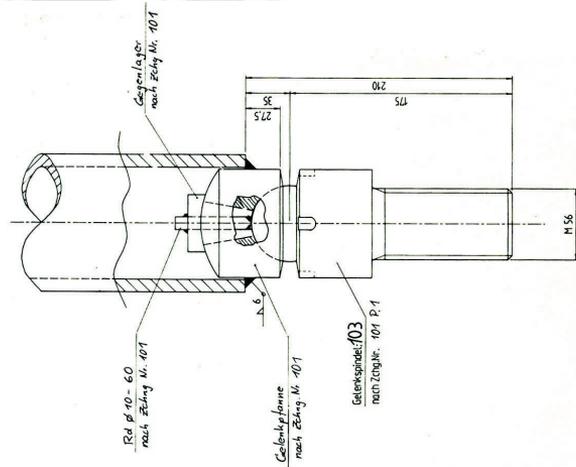


Steckanschlüsse in räumlichen Tragwerken können sowohl biegesteif als auch gelenkig ausgebildet werden. Ausschlaggebend hierfür ist die Größe der Kontaktfläche der Steckknotenelemente untereinander und der Querschnitt der anschließenden Profile. Die anschließend aufgeführten Verbindungsknoten sind biegesteif konzipiert, können aber auch gelenkig ausgebildet werden.

## Rohrsteckknoten Firma Glasbau Seele Maschinendrehteil aus Stahl

Die Firma Glasbau Seele hat ein modulares Baukastensystem für ein filigranes, verglastes Dachtragwerk mit einem gelenkigen Steckelement zur Verbindung von vorgefertigten Tragwerksmodulelementen entwickelt. Es besteht aus einem Kugelgelenk mit angesetztem Gewindeteil zum Längenausgleich und zur Vorspannung der Tragwerksseile. Die modularen Grundelemente bestehen aus 3 Stahlrohren in X, Y und Z Richtung und werden durch Stahlgussknoten untereinander in der Rohrmitte verbunden. Seilverspannungen, als orthogonale Seilscharen an Ober- und Untergurt bilden ein Biegetragwerk als Stabwerksrost. Durch die Vorspannung der Seile kann die Konstruktion Druckkräfte aufnehmen, zusätzlich wird die Steifigkeit des Tragsystems erhöht. [25]

Abb. 49:  
Montage des Rohrsteckknotens der Firma Glasbau Seele für ein leichtes Rohrtragwerk mit punktgelagerten Glasscheiben [25]



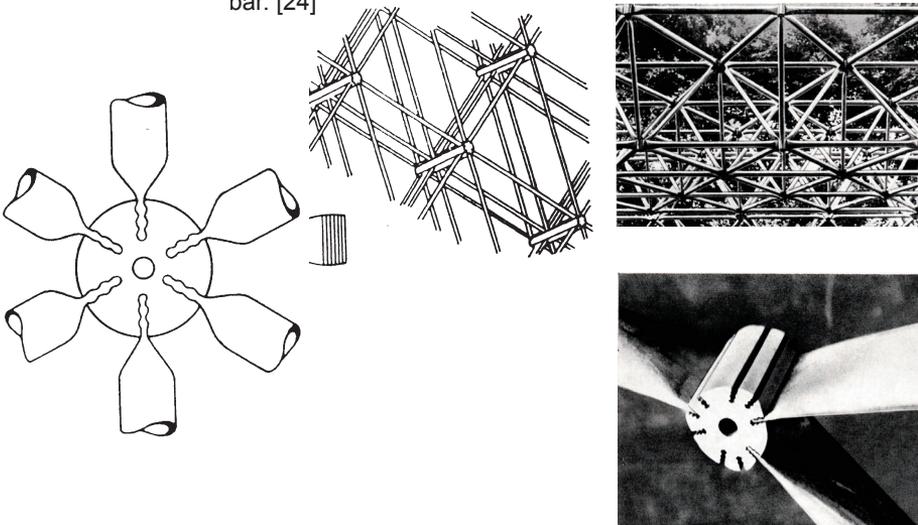
## Raumtragwerk Triodetic

Typisiertes Aluminiumstecksystem

Ein in Großserien produzierbares Aluminium Stecksystem für räumliche Stabwerke ist das „Triodetic System“. Der Erfinder und Hersteller des Tragsystems ist die Firma Fentiman a. Sons Ltd aus Kanada. Dieser Knoten besteht aus einem in Strangguss hergestellten und in Scheiben geschnittenen runden Mittelstück mit Schlitzten und Verzahnungen. In dieses werden die Aluminiumstäbe des Tragsystems mit einer automatischen Press- und Schneidebank eingepresst, zuvor wurden die Rohre an den Enden zusammengedrückt. Die Kraftübertragung erfolgt durch Verzahnung. Diese Konstruktion ist nur aus Aluminium herstellbar, da die weicheren Aluminiumstäbe in das härtere Stranggussmittelstück eingepresst werden.

Die entstandene Verbindung ist senkrecht zur Schale biegesteif, undgelenkig zur Schalenebene. Beliebige Winkel im Kopfbereich der Rohrprofile sind möglich. Diese Konstruktion ist für unterschiedliche Raumfachwerke und Stabwerksroste einsetzbar. [24]

Abb.50:  
Raumtragwerk  
Triodetic System [24]



## DBA Steckknoten

Typisierter Klemmknoten als Stahldrehteil

Das Institut für Industriebau der DBA hat für Stabwerksnetze mit einlagigen Knotenkonstruktionen einen zusammensteckbaren Knoten entwickelt. Er besteht aus gezogenen und nachgedrehten Kopfstücken aus Stahl, die an die Stäbe des Tragwerks angeschweißt sind. Die Kopfstücke sind konisch geformt und können als Gussfertigteile hergestellt werden. Zwei kaltfließgedrehte Deckel, mit ebenfalls konischem Zuschnitt fassen die Kopfstücke von oben und unten ein. Gesichert wird dieser Verbindungspunkt mit einer durchgehenden Schraube. Das Verschweißen der Stäbe mit den Kopfstücken ist automatisiert. Bis zu 8 Stäbe mit Kopfstücken können an diesem Knoten zusammengefasst werden, der Winkelzuschnitt der Tragwerksstäbe zu den Kopfstücken ist beliebig, freie geometrische Formen sind möglich. Diese Verbindung ist senkrecht zur Schale biegesteif und gelenkig in Schalenebene [24]

67

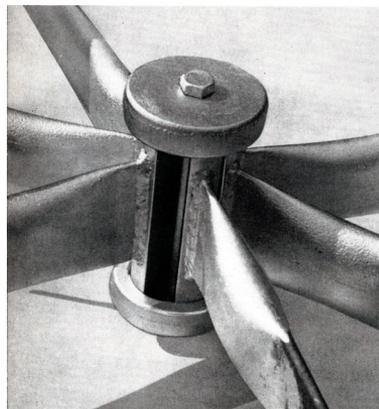
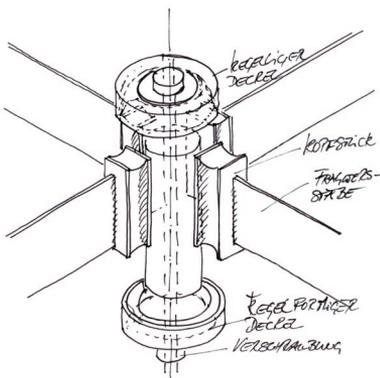
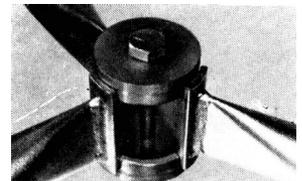


Abb.51:  
Verbindungssystem für  
Raumfachwerke des Institutes  
für Industriebau [24] [Zeich-  
nung B. Heukelbach]



## Klemmknoten Überdachung Hauptbahnhof Köln

### Stahlgussfertigteile für eine Stabwerkschale

Für den Entwurf „Vorhallen des Hauptbahnhofs Köln“ der Architekten Busmann und Haberer entwickelte das Büro IPP Prof. Polonyi eine Stabwerksschale aus Stahlfachwerkbögen. Die Tragwerkskonstruktion ist aus ganzen und halben Kreuzgewölben zusammengesetzt. Für die Verbindung der Tragwerksteile von maximal 4 Halbrahmen und 4 Firstpfetten entwickelte das Büro IPP Prof. Polonyi aus Montagegründen einen Typenknoten. Dieses Verbindungselement liegt an den Stützenköpfen und besteht aus Rohrschellen mit Deckelplatte, Bodenplatte und Schraubverbindung. Zwischen diese Platten mit konischem Zuschnitt werden die vier Obergurte der Halbrahmen, an die speziell geformte Stirnbleche angeschweißt sind, zusammen mit vier Diagonalen der Rahmen in beliebiger Winkelstellung zusammengespant. Im First der Kreuzgewölbe werden die Rahmen über Stirnbleche zusammengeführt und mit konischen Klemmtellern und einer einzigen Schraube verbunden. Über diese Steck-Klemmverbindung können Toleranzen durch Futterbleche zwischen Stirnplatte und Rohrstück ausgeglichen werden.

68

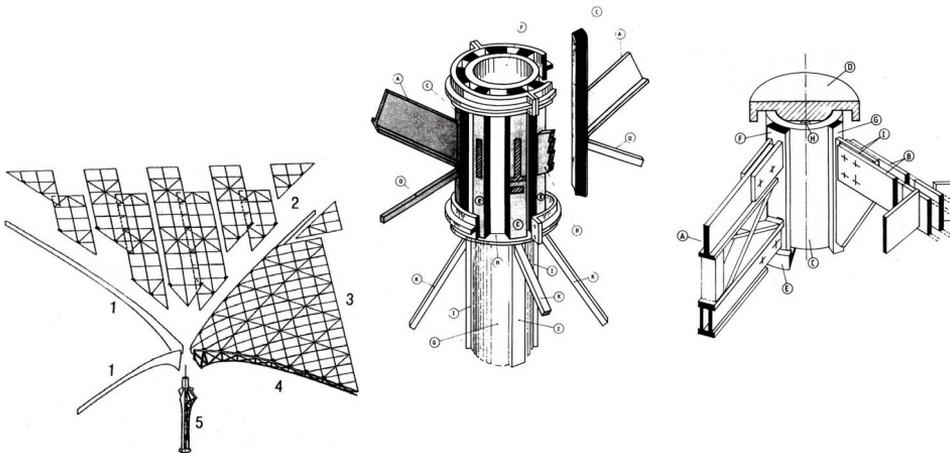


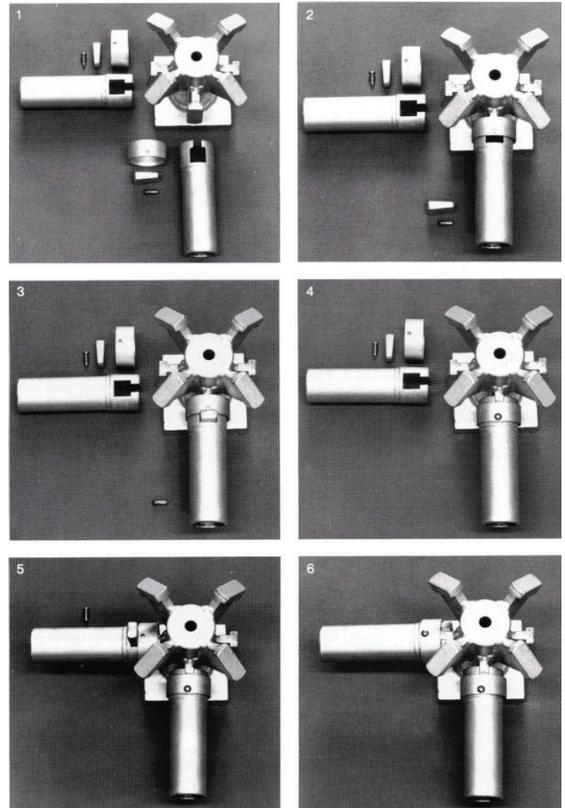
Abb. 52:  
 Klemmknoten Anschlußdetail  
 Stützenkopf Hauptbahnhof  
 Köln 1 Stütze, 2 ringförmige  
 Verbindungsschelle,  
 3 Halbrahmen  
 4 Spanten Anschlußdetail  
 5 Rohrstück, 6 Deckelplatten,  
 7 Halbrahmen, 8 Firstpfette,  
 9 Schraubverbindung [44]

## KEBA Stahlbausystem

### Keilsteckknoten als Stahlfrästeil

Als biegesteife Keilsteckverbindung für Raumfachwerke hat die Firma Ago Bau (A. Georg AG) aus Neuwied das Baukastensystem KEBA entwickelt. Dieser Stahlknoten aus ST 52 besteht aus vier Teilen: der Keilbacke, die an den Stabenden des Tragwerks mit HV- Naht angeschweißt ist, dem Zentrums-knoten aus bis zu 12 Keillaschen und den kraftschlüssigen Elementen Keil und Käfigring.

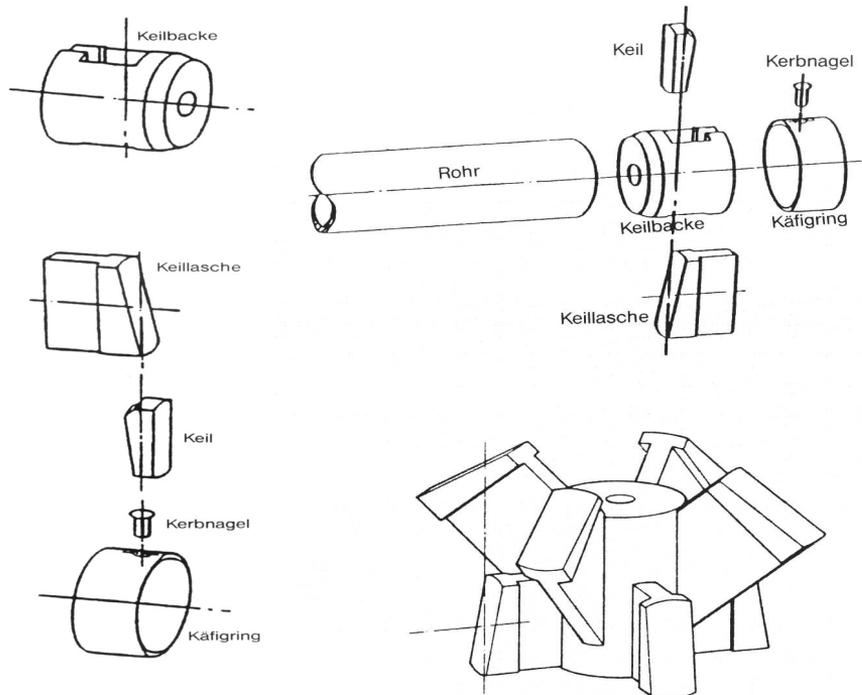
Abb. 53:  
Verbindungssystem für  
Raumfachwerke KEBA der  
Firma AGO Bau [26]



Die Montage sieht wie folgt aus: der Tragwerksstab mit vorher aufgeschobenem Käfigring wird von oben in eine Keillasche des Zentralknotens gesetzt. Die zwei zum Anpressen erforderlichen Keile werden gesetzt. Zur Sicherung und Zentrierung des Stabes wird der Käfigring auf die Anschweißlasche geschoben. Mit Kerbnägeln wird der Käfigring gegen Verschieben gesichert. Die Keillaschen übertragen die Zugkräfte, die Keile die Druckkräfte mit Toleranzausgleich. Die Knoten sind als Keilsteckknoten demontabel.

Tragwerke mit dieser Knotenverbindung können, wegen der Vielzahl der Einzelstücke nur von Fachleuten mit entsprechendem Zeitaufwand für Werkstattfertigung und Baustellenmontage erstellt werden. [26]

Abb.54:  
 Verbindungssystem für  
 Raumfachwerke System  
 KEBA der Firma AGO Bau  
 [26]



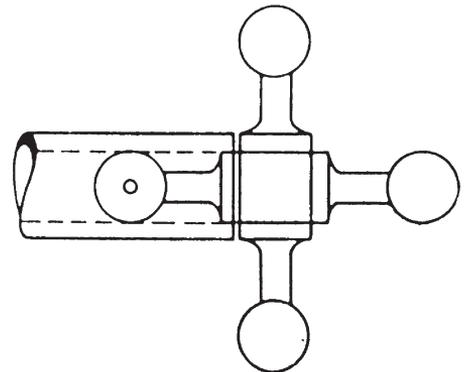
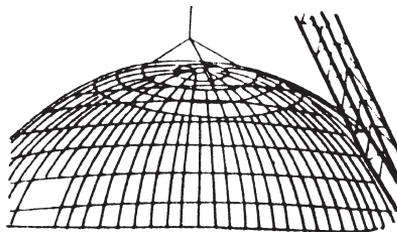
## Abstracta System

Systemtragwerk mit Stahlguss- Knoten

Das „Abstracta System“ ist ein Steckknotensystem für einlagige Flächentragwerke. Es besteht aus einem kreuzförmigen Knotenpunkt mit Kugelenden, auf die Rohre aufgepreßt werden. Diese Steckkonstruktion ist biegesteif, Diagonalstäbe sind für dieses Tragwerk nicht notwendig.

Die Kraftübertragung erfolgt durch Reibung, die durch Einpressen des Kugelkopfes in das Trägerrohr erzeugt wird. Die Rohrhülse am Zentralpunkt erzeugt in Verbindung mit der Kugel über den Verbindungshals zum Steckknotenmittelstück eine Einspannung und damit Biegesteifigkeit. Mit diesem Tragsystem können Kuppelkonstruktionen bis zu einem Durchmesser von 17 m ausgeführt werden. Das Material des Verbindungsknotens ist Stahlguss, das der Trägerrohre Aluminium. Mit dieser Steckverbindung werden Druckkräfte übertragen, Zugkräfte werden über Seilverspannungen aufgenommen. Hersteller dieses Tragwerks mit Systemstatik ist die Firma Abstracta Construction Ltd aus Großbritannien [24]

Abb.55:  
Raumtragwerk Abstracta System Knotenpunkt als Knotenkreuz mit Kugelenden zur Konstruktion eines biegesteifen Anschlusses [24]



## 5.3 Steckverbindungen für Anschlüsse zwischen Stütze und Träger

### 5.3.1 Eckverbindungen für Hallentragwerke

Bei Hallentragwerken kann der Anschluss Stütze an Binder gelenkig oder biegesteif ausgebildet werden, je nach dem gewählten statischen System.

Gelenkig angeschlossene Hallenstützen an Binder werden nur am Obergurt des Binders mit der Stütze verbunden. Die Hallenstützen müssen zur Aussteifung des Systems eingespannt sein. Bei unterspannten Bindern genügt eine einfache Steckverbindung zwischen Stützenkopf und Binder für den Obergurtanschluß

#### Gelenkige Steckverbindung in Hallentragwerken

Stahlgussystemteil für Hallenrahmen

Diese Verbindung liegt zwischen Stütze und Binder, sie überträgt nur Zug- und Druckkräfte aber keine Biegung. Der Abtrag der H- Kräfte wird durch die eingespannten Stützen übernommen. Die Steckverbindung besteht aus einer in die Kopfplatte des Stützenprofils geschweißten konischen Rohrhülse und aus einem am Binder angeschweißten massiven Stahlzylinderelement. Bei der Montage wird der Stahlzylinder in die Rohrhülse eingesetzt und gegen Ausheben durch eine Stellschraube gesichert. Die Verbindung zentriert sich durch die Trichterform selbst.

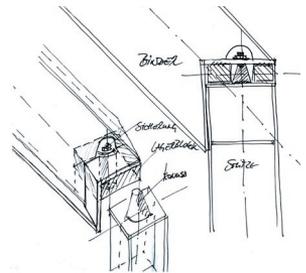
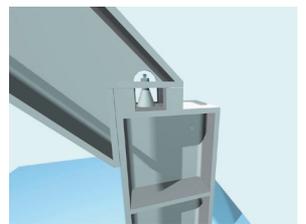
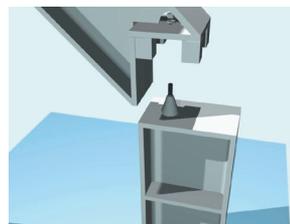


Abb.56:

Einfache Steckverbindung für Hallenrahmen mit bertragung von Druck- und Zugkräften [Systemknoten B.Heukelbach]



Bei ausreichender Binderauflast kann auf die Sicherung verzichtet werden. Dieses einfache Zusammenstecken ermöglicht eine präzise Vor- und Demontage. Falls an dieser Verbindung nur vertikale Kräfte auftreten, kann statt der Zug und Einsteckhülse ein gelenkiger Kugelan-schluß, wie unter Punkt 4.1 beschrieben, ausgeführt werden. (Diese Konstruktion muss immer auch im Bauzustand überdrückt werden. [15])

### **Gelenkiger Anschluß für Fachwerkbinder im Hallenbau** geschweißte Stahlsteckverbindung

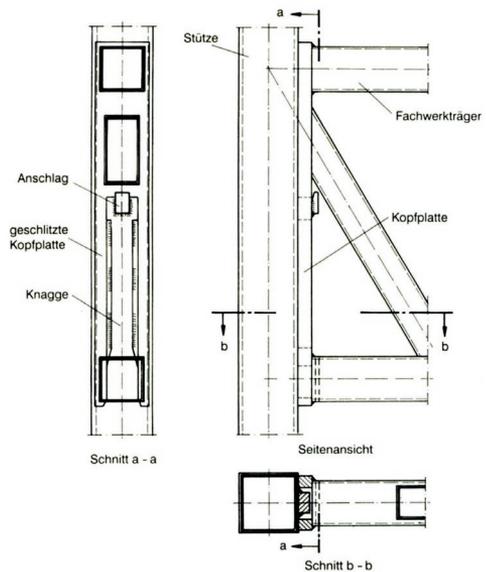
Diese Steckverbindung wurde durch die Firma E. Rüter aus Dortmund für den Bau einer Turnhalle einer Dortmunder Schule entwickelt. Sie wurde zur Verringerung der Montagezeit eingesetzt. Die Konstruktion sieht wie folgt aus:

An einer konventionell geschweißten Fachwerkbinderkonstruktion wurde in der Werkstatt stirnseitig eine Kopfplatte mit Schwalbenschwanzschlitz angeschweißt. Die Stahlbetonstütze des Tragwerks erhielt eine entsprechend als Gegenstück ausgebildete Knagge mit Vertikalanschlag. Bei der Montage schiebt sich der Fachwerkträger mit seiner schwalbenschwanzartigen Kopfplatte klammerartig in das Knaggenauflager bis auf den Anschlag. Durch die konische Form der Knagge ist der Träger gegen seitliches Kippen und Verdrehen gesichert. Das gesamte Tragwerk des Schulanbaus bestand aus 40 gleichen Fachwerkträgern, die mit diesem Steckknoten an 50 identischen Stahlstützen in kurzer Bauzeit montiert wurden. Durch die identischen Tragwerksteile war eine Verwechslung beim Zusammenbau unmöglich.

Abb.57:  
Fachwerkbinder Steckverbindung gelenkiger Anschluss an Betonstütze mit Stahleinbauteilen für Schulneubau [46]



Abb. 58:  
Steckverbindung für  
Hohlprofilfachwerkbinde  
statisch gelenkig [46]



### Biegesteife Rahmenecken

In Verbindungen zwischen Fachwerkbindern und Stützen sind Eckverbindungen sowohl zum Obergurt als auch zum Untergurt notwendig, um sowohl die Druck als auch die Zugkräfte des Fachwerkbinders in die Stütze zu übertragen und eine biege-steife Ecke auszubilden.

Bei allen Konstruktionsarten unterscheidet man zwei Systeme:

- Verbindungen zwischen Fachwerkbindern und Stützen
- Verbindungen zwischen Vollwandbindern aus Doppel T oder Kastenprofilen und Stützen

Beim biegesteifen Anschluss eines Binders an eine Stütze kann die Zugkraft des Obergurtes über eine Nasenkonstruktion erfolgen, wobei am Obergurt des Trägers in die beiden Elemente ineinanderhaken oder sich verkeilen. Die Druckkräfte des Trägeruntergurtes werden über eine Druckplatte auf die Stütze übertragen. (siehe Abb. 61+ 66)

## Biegesteifer Fachwerkrahmen Bahnhöfe Bochum

### Edelstahlsteckknoten als Maschinendrehteil

Für das Tragwerk der Bahnsteigüberdachung an der Universitätsstraße in Bochum wurde ein biegesteifer Steckknoten entwickelt bei dem sich Stabwerksachsen nicht schneiden. Die Fachwerkkonstruktion besteht aus einer A-Bock-Stütze und Fachwerkbindern, die über selbstjustierende Steckanschlüsse verbunden sind. An jeder A-Bockstütze sind je zwei kegelförmige Konen am Stützenkopf und am Querholm angeschweißt. In die Rohre der anzuschließenden Binder, jeweils an Ober und Untergurt, sind passgenaue Edelstahlrohrhülsen eingeschweißt. [19]

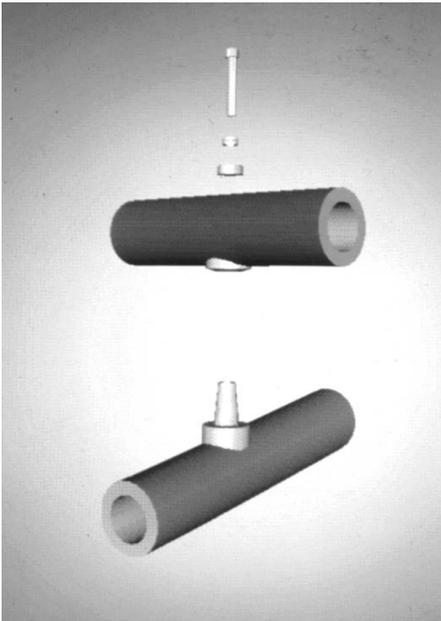
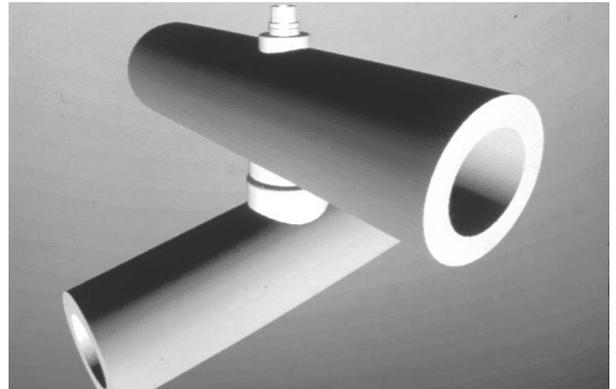


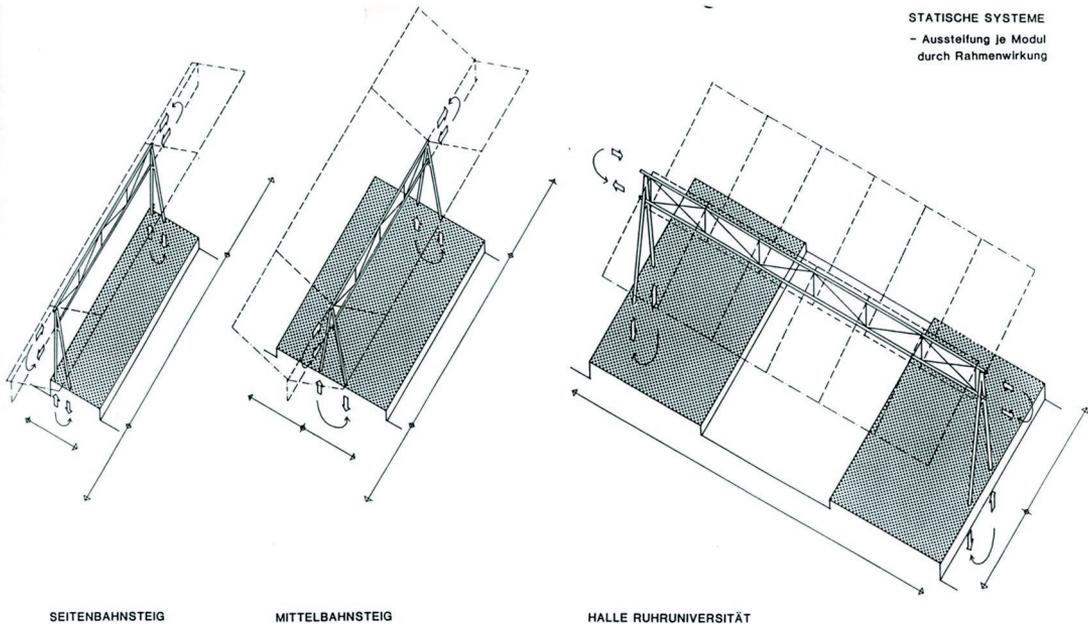
Abb.59:  
Steckknotenverbindung für  
die Bahnhöfe Bochum Explosionszeichnung und als montierte Verbindung [19]



Bei der Montage schiebt sich die Rohrhülse durch die Auflast des Binders automatisch auf die konische Form des Kegelstücks und zentriert ihren Sitz. Abschließend wird dieser Steckknoten mit einer Schraube gegen Ausheben gesichert. Da jede Stütze mit zwei Steckknoten besetzt ist, entsteht auf jeder Seite des Rahmens eine biegesteife Verbindung und insgesamt ein biegesteifer Zweigelenrahmen.

Abb.60:  
Tragwerksrahmen und Steckknoten der Bahnhöfe Bochum [19]

76



Neben individuellen Tragwerken und deren Verbindungen werden industriell vorgefertigte Konstruktionen mit Typenstatiken als Einhängkonstruktionen zwischen Stütze und Träger von Stahlbaufirmen als Systemtragwerk angeboten.

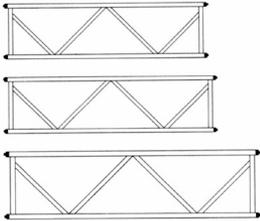


Abb.61:  
Verbindungsdetail / Tellerhalterung des Hallentragwerks  
Delta Firma Rüter Stahlbau  
aus Dortmund [46]

### DELTA Bausystem Systemtragwerk mit Stahlklemmknoten

Eines dieser Systemtragwerke mit Steckverbindungen stellt die Firma Stahlbau Rüter aus Dortmund her. Es besteht aus einem Trägerrost als Systemtragwerk, entwickelt aus gleich hohen Fachwerkbindern, die auf einer Tragwerksebene zusammengesetzt werden. Die Verbindungen zwischen Ober und Untergurten der Fachwerkbinder erfolgt durch an die Trägerenden angesetzte hammerförmige Stahlgusszapfen die zur kraftschlüssigen Verbindung zwischen zwei Knotenteller gesteckt werden. Die Sicherung dieser Verbindung erfolgt mit einer Schraube, die durch diese Platten gesteckt wird und die Zapfen der Fachwerkbinder zwischen die Verbindungsteller preßt. Das Tragwerk wird auf dem Boden vormontiert und in Großsegmenten gerichtet.

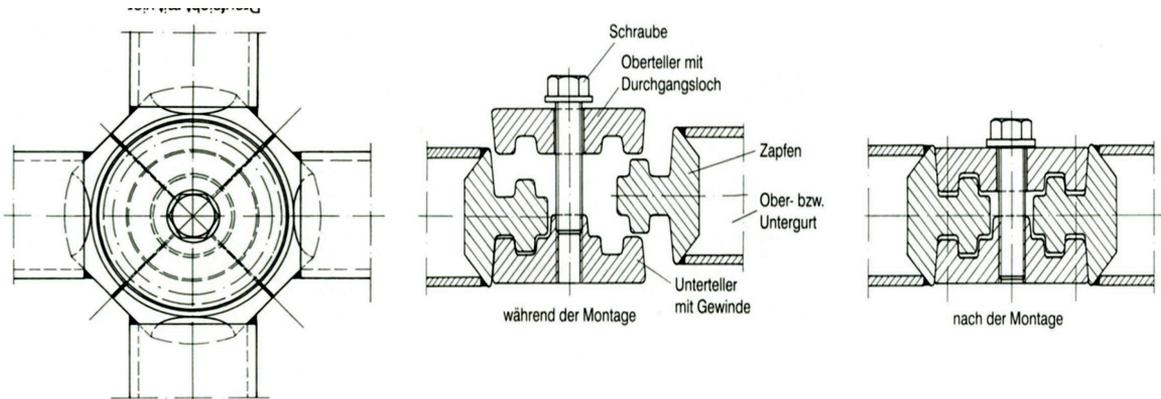
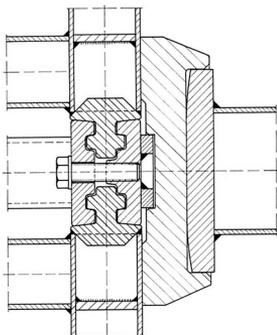


Abb.62:  
Bodenvormontage des Hallen-  
tragwerks Delta Firma Rüter  
[46]



Abb. 63:  
Montage Hallentragwerks  
Delta Firma Rüter in Gross-  
segmenten für die Müllsor-  
tieranlage Iserlohn mit 25 m  
Spannweite [46]



## Flächentragwerk Derek Walker

Flächentragsystem mit Gusshaken

Ähnliche Systemverbindungen für Industriehallen entwickelte 1971 der Architekt Derek Walker mit seiner Planungsgruppe. Über einem quadratischen Hallenraster hat D. Walker ein Flächentragwerk entworfen. Im Kreuzungspunkt der Fachwerkträger (dem Trägerrost) und den Stützen weist das Tragwerk eine gesteckte biegesteife Verbindungen als sogenannte Einhängesteckverbindung auf.

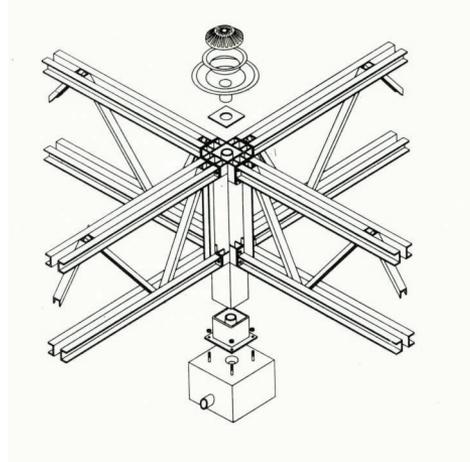


Abb.64:  
Verbindungsdetail zum Hal-  
lentragwerk des Architekten  
Derek Walker für Industrie-  
hallen [2]

Diese Steckverbindungen bestehen aus zwei Elementen, den Gusshaken, die am Fachwerkbinder angeschweißt sind und den Einhängetaschen mit Verstärkungsblechen für Ober und Untergurt des Binders im Kopfbereich der Stütze. Zur Sicherung der Konstruktion sind Schrauben angeordnet, die ein Ausheben durch Sog verhindern. Die Verbindung ist kraftschlüssig und biegesteif und bei Bedarf demontabel. [30]



Abb.65:  
Hallentragwerk von Derek  
Walker für Industriehallen  
[2]

### Einhängehakenbeschläge für Hallenrahmen

Ausgefräste Stahlplatten mit Stahlgusshaken

Diese Steckverbindung wird zwischen Vollwandbindern und Stützen als biegesteife Verbindung für Hallenrahmen ausgeführt. Sie orientiert sich an den sogenannten Betten- und Einhängeschlüssen aus dem Möbelbau. Diese Einhängerverbindung besteht aus einer Kopfplatte mit Gußhaken, die an die Binderenden angeschweißt sind. In die Stützen sind Schlitze gefräst, in die die Gußhaken eingeschoben werden. Durch die Auflast des Binders schieben sich die Haken durch ihren konischen Zuschnitt in die Stützenschlitze und pressen die Kopfplatte des Binders fest auf die Stütze. Durch den Einsatz von mindestens zwei Haken übereinander überträgt diese Verbindung die Rahmenkräfte in den Stützenstiel / biegesteife Rahmenecke. Diese Konstruktion ist demontabel und einfach und exakt in schneller Montage zu errichten. [3]

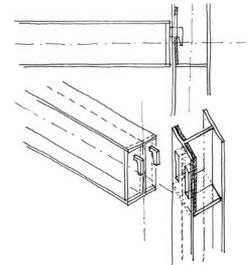
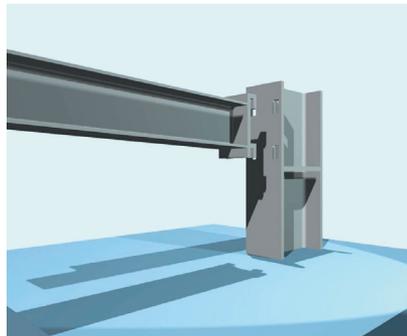
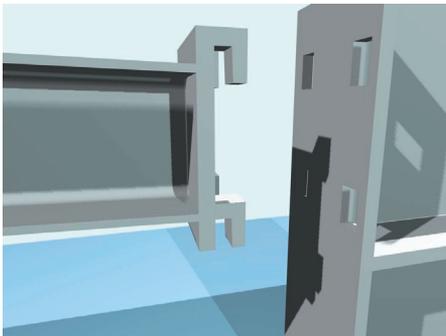


Abb.66:  
Biegesteifer Anschluß für Hal-  
lenrahmen mit Gusshaken/  
Einhängekonstruktion [Zeich-  
nung und Entwicklung B. Heu-  
kelbach]



## 5.3.2 Steckverbindungen im Geschossbau

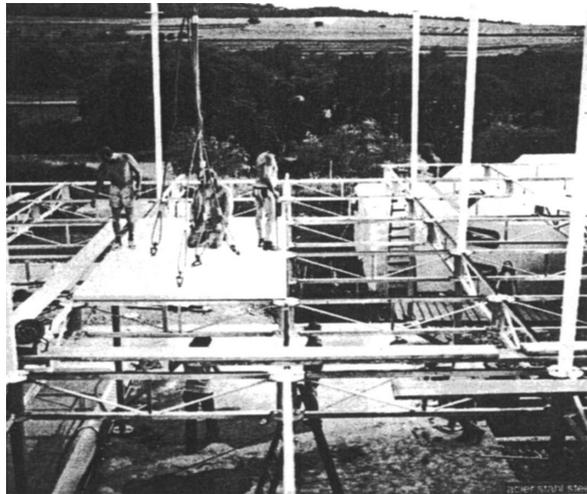
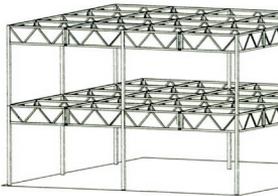
### Klemmknoten im Geschossrahmen

Stahlklemmknoten mit Typenstatik

Die Firma Stahlbau Rüter hat ein Klemmknotensystem für den Geschossbau entwickelt, das in seiner statischen und konzeptionellen Form an das Tragsystem des Londoner Glaspalastes angelehnt ist. Es besteht aus seriell vorgefertigten Tragwerksmodulen als Standardbauteilen mit typisierten Steckknoten als Geschossrahmenkonstruktion.

Abb.67:

Fachwerkträgerrost  
Geschossdeckenplatten mit /  
Scheibenwirkung zur horizontalen Aussteifung [30]



Alle Stützen haben einen einheitlichen Kopfanschluß, aus Stahlplatten mit Aussparungen in der Höhe des Ober- und Untergurts des anschließenden Fachwerkbinders. Die Fachwerkbinder haben an ihren Enden Nasen oder Hakenverstärkungen die in diese Stahlplatten eingesetzt werden. Sie bilden einen biegesteifen, kraftschlüssigen Anschluss.

Zwei achteckige Stahlplatten spannen mit einer durchgehenden Schraubverbindung Ober- und Untergurt der anschließenden Fachwerkbinder zusammen und sichern diese Einhängekonstruktion gegen Ausheben. Diese Steckverbindung wirkt als Keilklemmknoten. Eine Typenstatik für dieses System ist beantragt. [30]

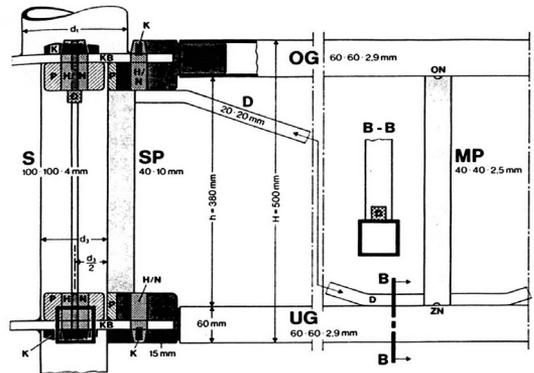
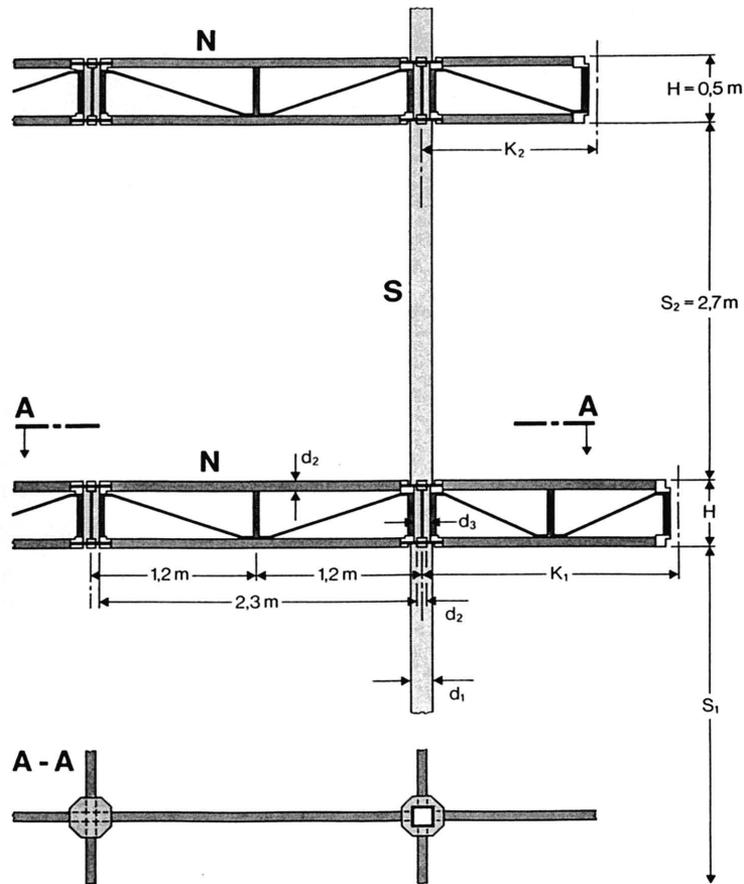


Abb.68:  
1 Keilsteckverbindung An-  
schluß Stütze an Fachwerk-  
binder, 2 Ausschnitt feuerver-  
zinktes Stahltragwerk mit Keil-  
steckknoten [30]

Mit diesem System ist auch die Montage im freien Vorbau nur mit einer leichten Sicherung aus diagonalen Seilen möglich. Zur Aussteifung der Geschosskonstruktion werden Betonfertigteileplatten in die Obergurte der Stahlfachwerkbinder eingelegt, die eine schubsteife Verbindung über Scheibenwirkung im Verbund herstellen.

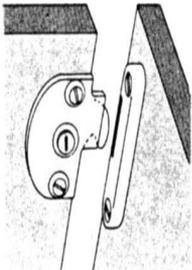
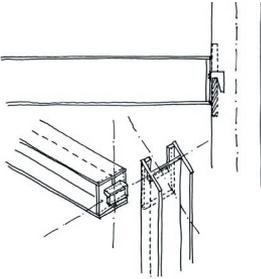


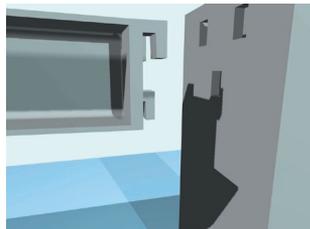
Abb.69:  
gelenkige  
Einhängeverbindung Träger /  
Stütze B. Heukelbach  
Möbelverbindungen Betten-  
beschlag [9]

### Gelenkige Einhängkonstruktion im Geschossbau

#### Stahlgußhaken mit gefrästen Kopfplatten

Diese Steckverbindung ist für gelenkige Verbindung in Geschossbaukonstruktionen aus Profilstahl konzipiert. Die Keilsteckverbindungen in Form von sogenannten Bettenbeschlägen sind aus dem Möbelbau entlehnt und werden dort zur starren Verbindung von Holzplatten über Eck verwendet.

Bei dieser Konstruktion sind an den Bindern Kopfplatten mit konischen Hacken aus Stahlguß angeschweißt, in den eingespannten Stahlbetonstützen sind Stahlkästen mit Schlitzen und Kopfplattenverstärkungen zum Einhängen der Binder eingegossen. Die Verbindung der beiden Bordteile erfolgt über das Verkeilen der Hacken in den ausgefrästen Schlitzen der Stahlbetonstützen und durch das Anpressen der Kopfplatten an die Stahlbetonstütze. Diese Verbindung ist gelenkig und kann für Geschosskonstruktionen auch im Stahlverbundbau eingesetzt werden.



## Gelenkige Verbindung zwischen Binder und Stütze im Geschoßbau

geschweisstes Stahlprofil als Steckknoten

Für die schnelle und exakte Montage des Parkhauses Spielbank Dortmund Hohensyburg entwickelte die Firma Stahlbau Rüter eine gelenkige Steckknotenverbindung für den Geschoßbau. Sie besteht aus Stahlplatten als Knaggen, die an die Flansche der eingespannten Stützen eingeschweißt sind. Das Gegenstück, eine Kopfplatte mit Schwalbenschwanzverzinkung, wird an die jeweiligen Trägerköpfe angeschweißt. Zusätzlich sind zwei seitliche Anschlagplatten im oberen Teil der Trägerköpfe angesetzt, die ein Verschieben des Trägers zur Stütze hin verhindern. Die Träger mit ihren Kopfplatten und der Schwalbenschwanzverzinkung werden senkrecht in die ausgefräste Nut der Knagge eingesetzt. Durch die beiden Anschlagplatten ist der Träger unverschieblich mit der Stütze verbunden. Ein Ausheben der Konstruktion wird durch die Auflast der Deckenkonstruktion verhindert.

84



Abb. 71:  
Gelenkige Verbindung  
Steckverbindung Parkhaus  
Spielbank Hohensyburg [46]

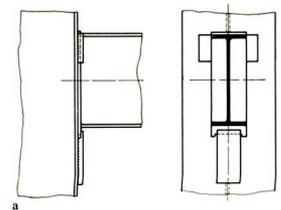
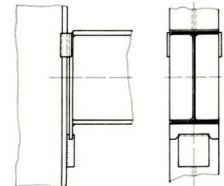


Abb. 70:  
Einhängeverbindung  
Träger /Stütze [46]



## Biegesteife Rahmenecke Stahlblechhakenkonstruktion

Für den Geschoßbau der Brauerei Berlin entwickelte die Stahlbaufirma Rüter ein biegesteifes Träger / Steck Verbindungssystem (TSVSystempatent). Bei dem Tragsystem werden die Kopfplatten in Konsolbleche der Hauptträger eingehakt. Die konisch geformten Kopfplatten werden mit Lasertechnik aus Stahlblechen ausgebrannt und auf die Trägerköpfe der Nebenträger geschweißt. Die Konsolbleche werden ebenfalls aus Stahlblech ausgebrannt und zwischen die Trägerflansche der Hauptträger geschweißt. Sowohl die Kopfbleche als auch die Konsolbleche dieser Konstruktion werden so ausgebrannt, daß hakenförmige Ausnehmungen entstehen. Die Ausnehmungen haben abgeschrägte Ecken, so daß sich beim Zusammenstecken der Kopfplatten des Nebenträgers in die Konsolplatte des Hauptträgers die Konstruktion selbst justiert. Durch Verzahnung ist diese Verbindung biegesteif. Nach Aussage von Stahlbau Rüter konnte mit dieser Konstruktion die Kosten für Fertigung und Montage um 1/3 reduziert werden.

85

Abb. 72:  
Biegesteife Trägersteckver-  
bindung Konstruktionsdetail  
[46]

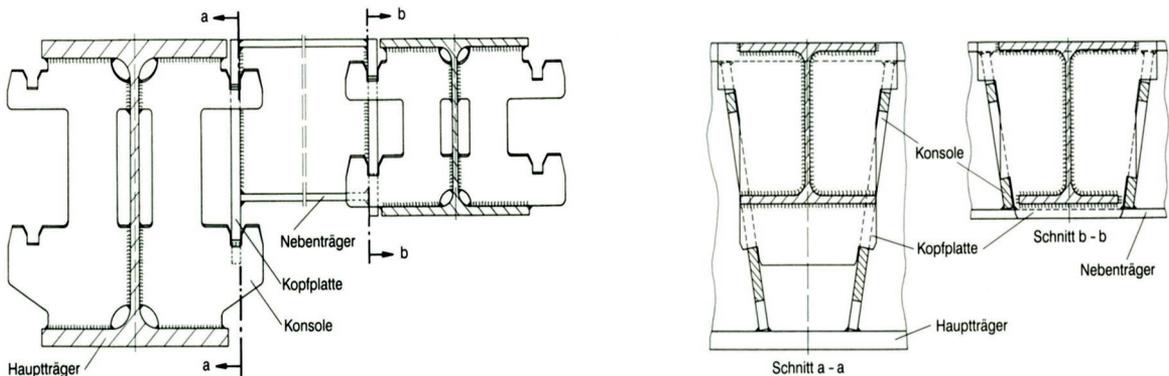
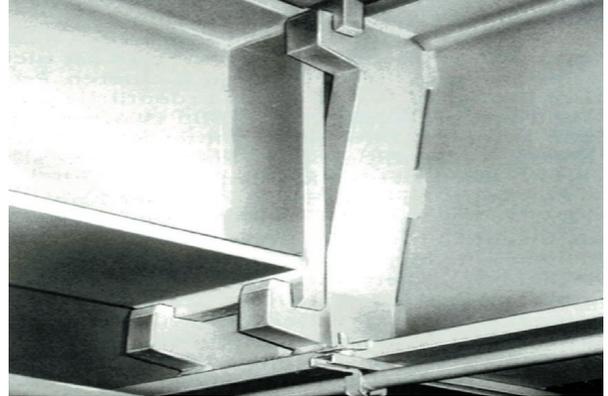


Abb. 73:  
Biegesteife  
Trägersteckverbindung  
Brauerei Berlin [46]

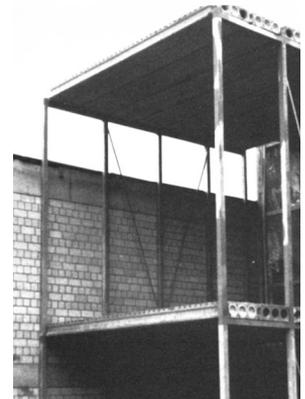
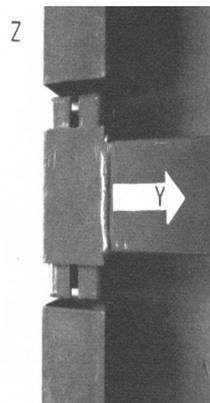
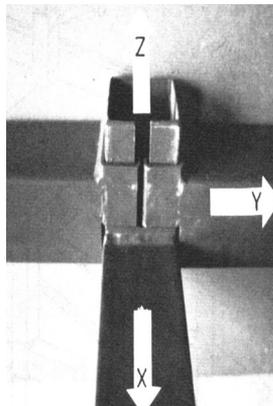


### Geschossbaukonstruktion Firma Mero Steckverbindung für Geschossbauten aus Profilstahl

Die Firma Mero (M. Mengerlinghausen) entwickelte ein Tragwerk für Geschossbauten als Schnellbaugerippe aus Stahlhohlprofilen. Das Tragwerk ist als modulare Tragkonstruktion für typisierte Bauwerke mit Steckknoten entwickelt. Das System besteht aus Horizontalriegeln mit angeschweißten Steckverbindungsblasen die in X, Y und Z Richtung ineinandergreifen, den senkrechten Stützen, die auf diese Elemente aufgesteckt werden und den Aussteifungsdiagonalen. Mit diesem Tragsystem und seiner einfachen Steckverbindung sind Geschoßkonstruktionen als Skelettbau schnell und exakt ohne großen Montageaufwand zu erstellen. [18]

86

Abb.74:  
Verbindungsstoß Schnellbaugerippe für Geschosßbauten FirmaMero, Stoß von zwei horizontalen Riegeln an einer Stütze, Verbindung eines Endriegels mit vertikalem Stützenstoß [18]



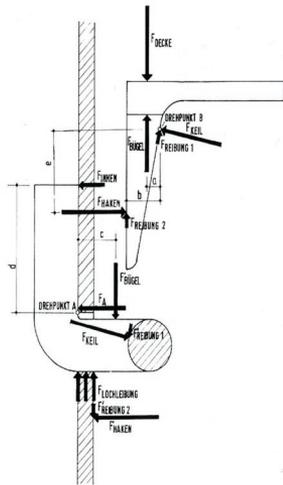


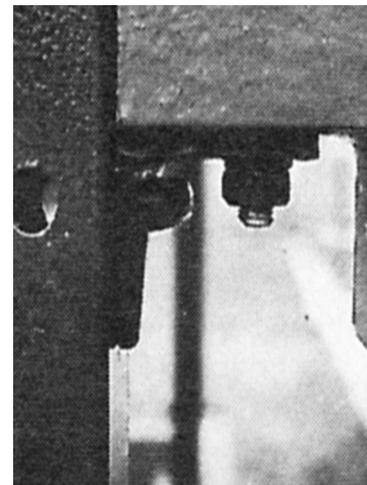
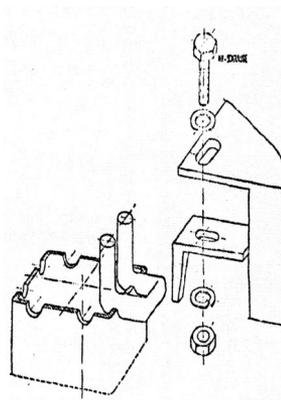
Abb.75:  
Stahlkonstruktion der „Elementierten Skelettkonstruktion in Stahl“ M. Michel, H. Renftle Stuttgart [42]

## Modulare Skelettkonstruktion für Geschossbauten Einhängeverbindung aus Stahlwinkeln mit Bügeln

Die Studenten M. Michel und H. Renftle entwickelten eine 1976 mit dem Förderpreis des Deutschen Stahlbaues ausgezeichnete Stahlskelettkonstruktion mit Steckverbindungen aus Stahlhaken und Stahlbügeln.

Es handelt sich um eine Forschungsentwicklung mit dem Ziel, vorgefertigte, elementierte und modulare Skelettkonstruktionen kompakt mit LKW in Entwicklungsstaaten zu transportieren und dort mit wenigen Hilfskräften zu montieren. Der mittlerweile patentierte Steckknoten besteht aus einem Stahlwinkel der in eine Öse aus Rundstahl eingehängt wird und sich durch seine Keilform festsetzt. Der Winkel ist an den Stützen des Tragwerks angeschweißt, die Rundösen an den Stahlplattenebenen. Zwischen Stützen und Stahllebenen entsteht eine druck- und zugfeste Verbindung, die mit Seilaukreuzungen zusätzlich versteift wird.

87



## Rohrstabwerkssystem RRV

### Stahlguss Rohrknotten

Das Rohrstabwerk der Firma Rüter besteht aus Stahlhohlprofilstäben und Rohrknotten aus Stahlguss, die mit einer Keilklemmverbindung miteinander verbunden werden. Die Hohlprofilstäbe, mit quadratischem Querschnitt, werden verzinkt, auf Fixmaße gesägt und ohne weitere Bearbeitung auf die Baustelle geliefert. Die Rohrknotten mit ihren bis zu 5 Anschlagstücken bzw. Aufsteckmöglichkeiten, sind an jedem Anschlag oder Aufsteckpunkt mit einer Keilklemmverbindung ausgerüstet. Diese Keilklemmverbindung besteht aus einem Anzugskonus, der mit 4 übereck angeordneten Keilen die über das Anschlussstück gesteckten Quadratstäbe verklemt.

Das Anziehen des Anzugskonus erfolgt über die sechste freie Seite des Knotenwürfels (bei 5 Anschlußstücken). Durch das Anziehen des Konus werden die 4 übereck angeordneten Keile aus dem Anschlussstück gegen den aufgesteckten Quadratstab gedrückt. Die Keilsteckverbindung ist eine biegesteife kraftschlüssige Knotenverbindung. Die Knotenwürfel sind Stahlgussserienteile, die in hohen Stückzahlen kostengünstig sind. Diese Konstruktion wurde von Stahlbau Rüter unter anderem für die Pausenhofüberdachung des Schulzentrums in Schwelm eingesetzt.

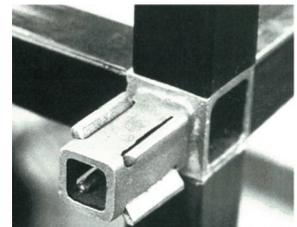
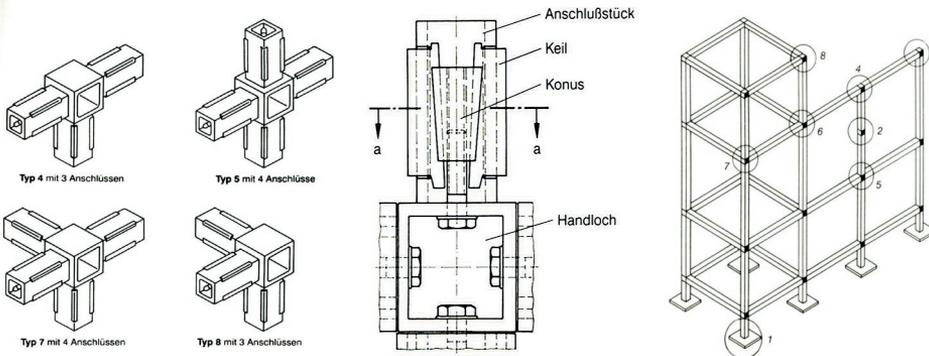


Abb.76:  
Rohrstabwerk System RRV  
Systemdetail und Musterknoten [46]

## Schnellbausystem KSV

Keilsteckverbindungssystem aus gekantetem Profilstahl

Stahlbau Rüter entwickelte das vorbeschriebene System weiter und es entstand eine Keilsteckverbindung als Schnellbausystem. Es wird eingesetzt, um preiswert Wandkonstruktionen und Mehrzweckgerüste einfach und kostensparend zu montieren, eine Demontage ist mit diesem System sehr einfach möglich. Aus diesem System wurde unter anderem eine Ofenschutzhalle für einen Druckereineubau in Belgien erstellt.

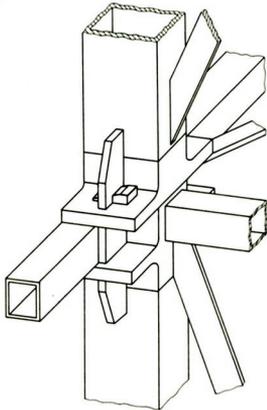
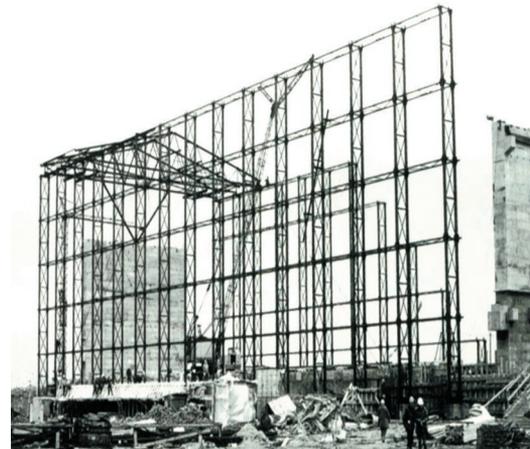
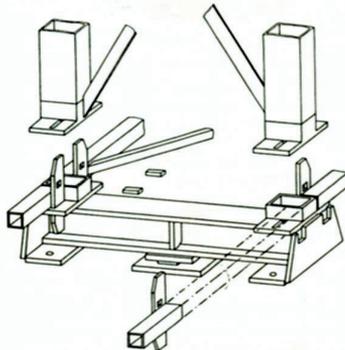


Abb. 77:  
Fügetechnik KSV Keil -  
Steckverbindung [46]

Abb. 78:  
Wandkonstruktion Ofen-  
schutzhalle KSV Verbin-  
dung [46]



### 5.3.3 Steckanschlüsse für Verbundkonstruktionen

Steckverbindungen sind auch in Verbundkonstruktionen (Profilstahl mit Kammerbeton als Brandschutz) mit biegesteifen Rahmenecken einsetzbar. Diese Montageverbindung kann wie in Abb. 66 beschrieben als Hakensteckknoten ausgeführt sein. Diese Steckknoten sind mit Kopfplatte an die Vollwandbinder angeschweißt. Im Stützenbereich sind Platten angesetzt, die Aussparungen für die Haken erhalten. Die Aussteifung der Verbindung erfolgt nach dem Einhängen der Haken des Steckknotens über Einkeilen und Anpressen der Andruckplatten. Inwieweit die entstandene Verbindung den Brandschutzanforderungen der Träger genügt, müssen Tests über das Brandverhalten zeigen. Zu erwarten ist aber, daß durch die hohe Anpresskraft und den Kammerbeton von Stütze und Binder die Feuerwiderstandsdauer F90 erreicht wird.

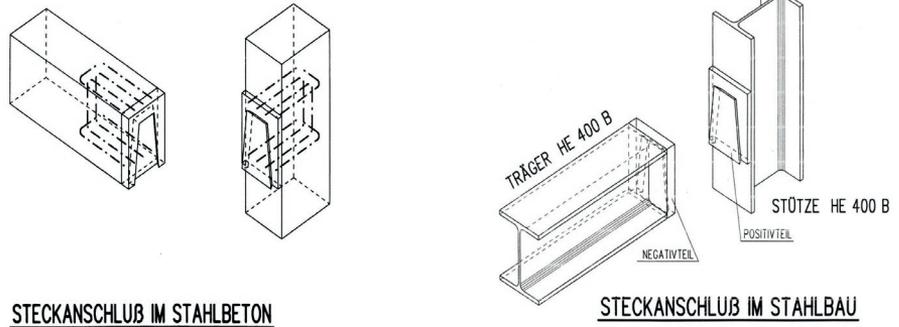
#### **Biegesteifer Steckanschluss im Geschossbau** Stahlgusssteckschuh als Systemverbindung

Das Büro IPP, Professor Polonyi', beschäftigt sich seit langem mit der Entwicklung von einfachen Steckverbindungen, die als Standardanschlußsystem im Hochbau eingesetzt werden können. Die in Abb.79 gezeigten Stahlgusssteckelemente, eine Entwicklung aus dem Ingenieurbüro IPP, bilden eine biegesteife Rahmenecke im Stahlverbund und Stahlbetonbau aus. Diese Verbindung läßt eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten in Verbindung mit Stahlbeton erwarten.

Sie ist wie folgt aufgebaut: Im Stahlverbundbau werden an die Querträger der Konstruktion konische Kopfplatten mit Steg auf Abstand angeschweißt. Das passende Gegenstück wird mit der durchlaufenden Stütze verschweißt. Durch das Einschieben des Trägers von oben in das konisch gefräste Kopfplattenstück entsteht durch Verkeilen und Anpressen eine biegesteife Verbindung. Diese Einschubverbindung ist als Stahlgussfertigteil mit Typenstatik entwickelt.

Diese Verbindung ist im Stahl und im Betonbau einsetzbar. Die Durchlaufwirkung kann durch ein über dem Träger im Stützenbereich angeordnetes Zugband aktiviert werden. Der Steckknoten wird im Stahlbetonbau mit Verdübelung oder als angeschweißtes Stahlgusselement an die Bewehrungen angeschlossen und vor dem Betonieren mit in die Schalung eingelegt.

Abb.79:  
Biegesteifer Anschluss für  
Geschossbauten mit Ein-  
hängebeslag Haupt-/ Ne-  
benträger im Stahl und  
Stahlbetonbau F 90 [40]



### **Gelenkiger Steckanschluss im Verbundbau** Ausgefräster Kopfplattenstoß aus Stahl

Als gelenkiger Anschluß im Verbundbau kann eine Einhängeverbindung mit konischen Kopfplatten eingesetzt werden. Diese Verbindung wird an die Flansche der Stahlstützen und an die Kopfplatten der Binder angeschweißt. Sie kann aber auch als Verbindung zwischen Quer- und Längsträgern eingesetzt werden. Der Einhängeknoten besteht aus zwei gleichen Kopfplattenstücken mit einer leichten ausgefrästen Phase. Beim Ineinandersetzen greifen die Kopfplatten gegeneinander in diese ausgefräste Nut. Es entsteht ein Quasigelenk wie bei einem Gerberträger. Die Auflast der Betondecke reicht zur Sicherung dieses Anschlusses.



Abb.80:  
Einhängeknoten / konische  
Kopfplatte in einer Verbund-  
konstruktion [20]

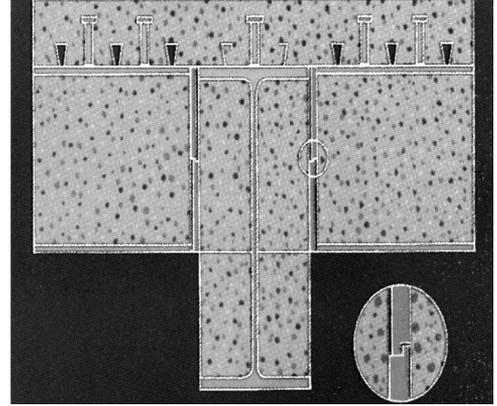


Abb.81:  
Einhängeknoten / konische  
Kopfplatte in einer Verbund-  
konstruktion [20]

92

Zur Aktivierung der Durchlaufwirkung der Träger im Anschluss an die durchgehenden Stützen können zusätzliche Zugbänder in der aufliegenden Betondecke angeordnet werden. Beim Einsatz einer Stahlverbunddecke kann diese als Zugband die Durchlaufwirkung erfüllen und dadurch den Trägerquerschnitt verringern. [11]

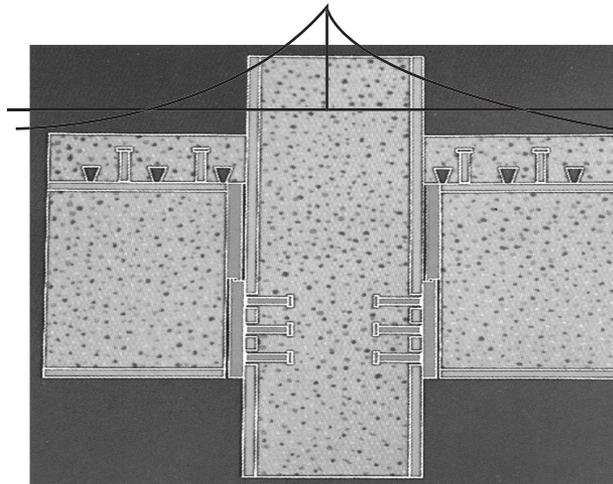
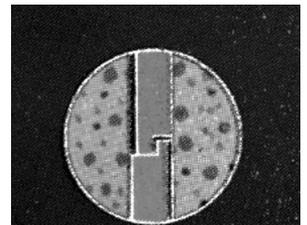


Abb. 82:  
Durchlaufwirkung  
Trägerverbund/ aufgehende  
Stütze [20]



## 5.4 Steck- und Keilverbindungen für fliegende Bauten

Als alternative Verbindungssysteme für Gerüste und Tribünenkonstruktionen in sogenannten fliegenden Bauten oder in als Bauhilfsmittel eingestuft Konstruktionen werden selbstverständlich und ohne Zulassungsschwierigkeiten Steck- und Keilverbindungen eingesetzt. Sie sind für diese Konstruktionen zwingend, da die Montage und Demontage in kurzer Zeit gewährleistet werden muß. Meist werden Einhängesysteme mit Keilsicherung verwandt. Gerüstkonstruktionen sind so konzipiert, daß die modularen Einzelelemente wie Stützen, Träger, Bohlen und Geländerdiagonalen mit einfachen Handgriffen zusammengesteckt werden und die Konstruktion dadurch sehr schnell Stabilität und Festigkeit erhält.

### **Gerüstsystem Alssco**

Keisteckknoten aus Stahl

93

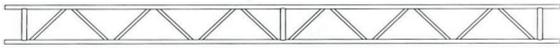
Das abgebildete Gerüstbausystem besteht aus einem Keilsteckknoten als Verbindung zwischen senkrechten Stützrohrleitern und kraftschlüssig anschließenden Rohrdiagonalen. Die Gerüstklemmknoten sind an die Rohrdiagonalen angeschweißt und bestehen aus einer über ein Scharnier aufklappbaren Rohrschelle mit angeschweißter Öse. Diese Rohrschelle wird, nachdem sie um ein Stützrohr gelegt ist, mit einem Keil der durch die Öse im Verbindungsstoß geschlagen wird, angepresst.

Sogenannte „Fallstecker“, die in Bohrungen eingesteckt werden, sichern Bohlen und Träger gegen Ausheben. Die entstehenden Klemmkräfte steifen das Gerüstbausystem über Reibung diagonal aus. Die Gerüstbohlen des Systems werden auf die horizontalen Stäbe der Stützrohrleitern mit Hakenverbindungen aufgesteckt.

Abb.83:  
 Bau Gerüstsystem Alssco  
 GmbH Keilsteckknoten zur  
 Verbindung der Diagonalaus-  
 steifungen [41]

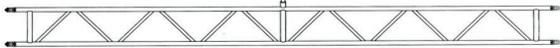
**Gitterträger-Stahl**

Rohr  $\varnothing$  48,3 x 3,2 mm, feuerverzinkt;  
 für Überbrückungen innerhalb und  
 außerhalb des Rasters



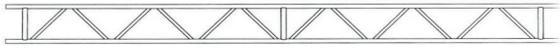
**Quadro-Überbrückungsträger Stahl**

Rohr  $\varnothing$  48,3 x 3,2 mm, feuerverzinkt;  
 Weiterbau im normalen Rastermaß  
 möglich



**Gitterträger-Alu**

Rohr  $\varnothing$  48,3 x 4,0 mm ; für Überbrückungen  
 innerhalb und außerhalb des Rasters



**Gitterträgerverbinder**

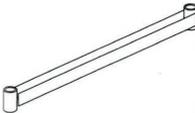
feuerverzinkt; zur Verlängerung der  
 Gitterträger,  $\varnothing$  38 mm  
 incl. 4 Verbindungsschrauben



Verbindungsschraube M 12 x 70 mit Mutter

**Anfangsquerriegel aus Stahl,**

feuerverzinkt; Riegel dient zum Einbau  
 der Grundbeläge des Leiterganges in  
 der untersten Gerüstlage



**Querriegel aus Stahl,**

feuerverzinkt; U-Profil mit angeschweißten  
 Halbkupplungen,  
 Riegel dient zur Belagaufnahme beim  
 Überbrückungsträger und zur Einrichtung  
 von Zwischenstandhöhen innerhalb der  
 Vertikalrahmen



**Querriegel für Gitterträger,**

feuerverzinkt; bei größeren Überbrückungen  
 $\geq$  5,14 m,  
 Riegel dient zur Belagaufnahme und zum  
 Weiterbau des Gerüsts im Rastermaß auf  
 Gitterträgern

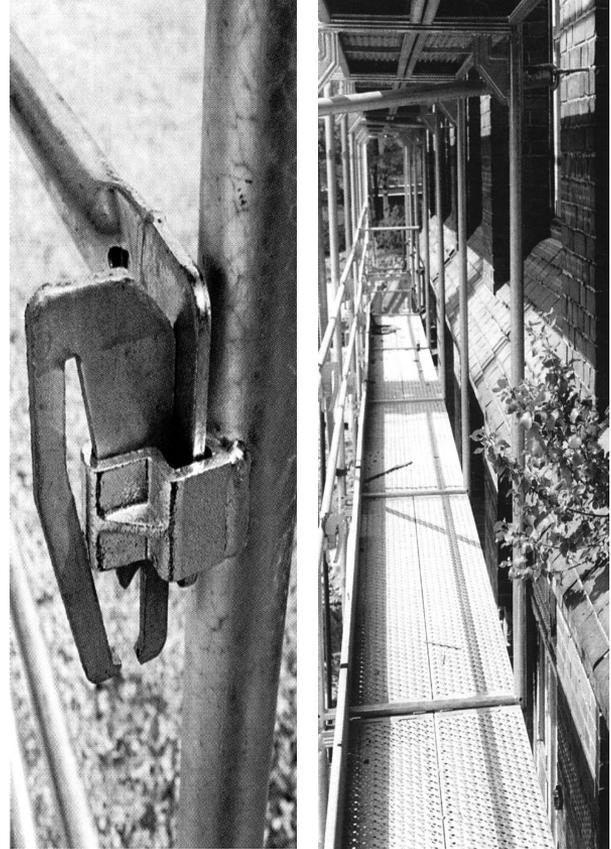


Abb.84:  
 Programmübersicht der mo-  
 dularen Bauteile des  
 Gerüstsystems Alssco GmbH  
 [41]

Tribünen und Fahrgeschäftkonstruktionen (Fliegende Bauten) müssen neben den statischen Funktionen einer Gerüstkonstruktion zusätzliche Sicherheiten für Publikumsnutzung wie zum Beispiel dynamische Lasten bieten, gleichzeitig aber die Vorteile einer schnellen und sicheren Montage und Demontage gewährleisten.

Realisiert werden die konstruktiven Ansprüche zumeist durch Einhängkonstruktionen mit Federsicherung und zusätzlichen Steckbolzen. Über die Einhängkonstruktionen werden die Normalkräfte, Druck, Zug und Torsionskräfte übertragen. Zusätzliche dynamische Beanspruchungen stellen besondere Anforderungen an das Material und die Ausführung der Verbindung, die über zusätzliche Steckbolzen gesichert werden müssen.

Abb.85:  
Einhängeverbindung  
Tribürendachkonstruktion im  
Zeltbau [20]



## Einhängeverbindung im Zeltbau

Stahleinhängelaschen für Seile

Meist werden zur Verlängerung von Stützen und Trägern Steckhülsen zur Verbindung verwandt, die mit Seilen auf Zug gesichert werden. Die abgebildeten Details ermöglichen ein schnelles Einhängen der vorgefertigten Hauptseile während des Aufbaus der Zeltkonstruktion am Pylon oder Mast des Tragwerks. Erst wenn alle Seilverbindungen eingehängt sind werden die Fußseile bzw. Stützseile gespannt, im Zeltbau kann dieses Vorspannen mit Handzügen erfolgen.

Die abgebildete Seilabspannung wurde für eine Pylonkonstruktion mit Gewebedach für den Duisburger Hafen in Zusammenarbeit mit der Firma Ceno Bau entwickelt.

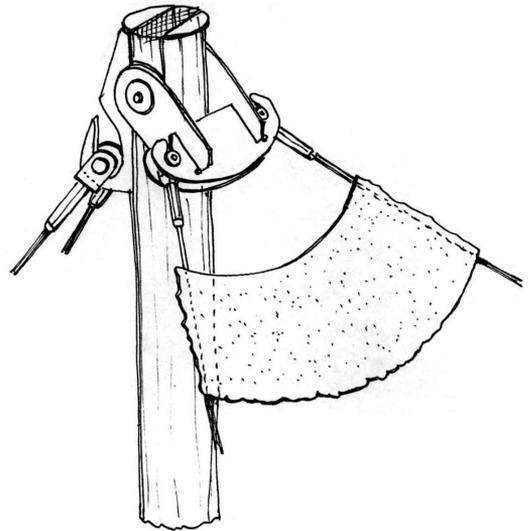
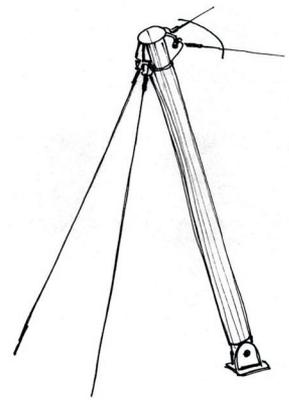


Abb.86:  
Seileinhängung am Träger-  
mast [Entwicklung B. Heukel-  
bach / Ceno Bau ]

## **6 Statische Systeme, Versuche und Berechnungen**

### **6.1 Einfluß der Konstruktion auf die Statik, die statischen Systeme und Berechnungsverfahren**

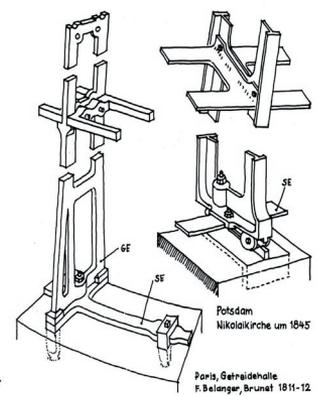
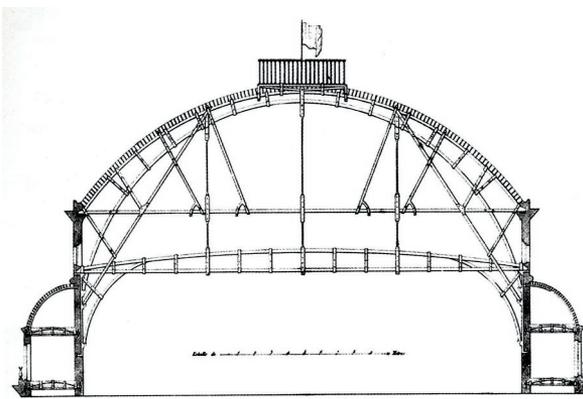
Das Konstruieren und damit auch der Konstruktions- und Statikgedanke entwickelte sich baugeschichtlich sehr langsam. In steter Kontinuität wurden Konstruktionen über Jahrhunderte gebaut und systematisch verbessert. Die sogenannten alten Baumeister lernten durch ihre Erfahrung und die Weitergabe ihres Wissens. Sie hatten fundierte Kenntnisse über den Baugrund und die Baumaterialien. Sie wußten aus Erfahrung, wieviel Lasten sie den Materialien zumuten konnten.

**Die Konstruktion gab die Aufgabenstellung für die Statik vor: Die Konstruktion war die gebaute Statik.**

Diesem konstruktiven Grundgedanken folgten im Anfang des 19. Jahrhunderts Stabtragwerke aus Holz und Eisen. Die ersten Fachwerkbinder und Bogenbinder entstanden aus Holz ohne komplizierte Berechnungsverfahren. Die Erfahrungen die man aus diesen Konstruktionen zog, wurden nach Verbesserung der Schmiede- und Gusstechnik auf Fachwerke und Konstruktionen aus Gusseisen übertragen. Das gemeinsame Merkmal dieser Konstruktionen ist, daß sie aus einzelnen, gusseisernen Stücken durch einfache Verbindungselemente zusammengesetzt wurden. [3]

Der Darmstädter Architekt Georg Moller veröffentlichte 1832 „Beiträge zur Lehre von den Constructionen“. Aufgrund seiner Erläuterungen konnten Konstruktionen mit dem Prinzip, das Tragwerksgefüge möglichst filigran und schlank auszubilden und Verbindungsknoten netzförmig anzuschließen, ausgeführt werden. Dieser Konstruktionsgedanke führte zu einer Optimierung und Ausmagerung der Tragwerke, es entstanden erste räumliche Stahlfachwerke. [7]

Abb.87:  
Aufgelöstes Stabtragwerk mit  
Segmentbogen und Zugband  
/ Dach Théâtre français von  
1786 mit 24 m Spannweite [7]



**Die Entwurfsidee war die Vorgabe. Konstruktionen wurden als ein zusammenhängendes Tragwerk betrachtet. Der statische Nachweis folgte dem Entwurf.**

98

Durch die Zerlegung der Tragwerke in Einzelelemente wie Stützen und Balken mit ihren Anschlüssen an Stützen und Wände, war es möglich, die Einzelkräfte, wie Druck, Zug, Schub und Sog, Biegemomente und Drehmomente zu bestimmen. Nach der Einführung des statischen Nachweiszwanges wurden Konstruktionen und Tragwerke nach bekannten statischen Grundmodellen entworfen. Dadurch war der rechnerische statische Nachweis gewährleistet.

**Nunmehr bestimmte der statische Nachweis die Konstruktions- und Entwurfsidee und schränkte sie ein. Die Statik gab die Vorgaben an die Konstruktion.**

Die Konstruktionsidee führt zu statischen Nachweisen und Berechnungsmethoden. Durch Rückbesinnung auf filigrane Tragwerke und räumliche Entwurfsansätze zu Konstruktionen werden unterschiedliche statische Nachweisverfahren erforderlich (siehe Punkt 6.3).

**Heute ist der Entwurfsprozeß konstruktionsbestimmend.**

## 6.2 Geschichtlicher Überblick zu Verbindungsmitteln, der statischen Wirkung und den Berechnungsverfahren

Tragwerke und ihre Nachweise gliedern sich in vier unterschiedliche Konstruktionsarten, die jeweils durch die Entwicklung der Nachweisverfahren bestimmt sind.

- Konstruktionen ohne Rechenansatz aus konstruktiven Überlegungen.
- Konstruktionen bis Ende des vergangenen Jahrhunderts mit ersten, meist grafischen Nachweisen und Belastungsversuchen.
- Konstruktionen mit vorgegebenen Statikansätzen nach DIN, Nachweise mit zweidimensionalen Rechenansätzen (Einführung der Statik als Nachweispflicht).
- Konstruktionen, für die individuelle Berechnungsmethoden entwickelt werden, Nachweise mit dreidimensionalen Rechenansätzen.

Durch heutige Berechnungsverfahren, die unter Pkt. 6.3 weiter untersucht werden, entsteht ein neuer Entwurfsansatz, der Unterstützung durch neue Berechnungsmethoden der EDV-Technik erhält.

Für historische Gusseisenkonstruktionen mit einfachen Verbindungselementen zwischen den meist modularen Tragwerkelementen waren keine rechnerischen Nachweise erforderlich, die Standsicherheit wurde über Druckversuche nachgewiesen. Berechnungsverfahren jener Zeit waren meist grafische Verfahren zum Beispiel der Ritter- oder Cremonaplan zur Ermittlung der unterschiedlichen statischen Kräfte. (Glaspalast London 1851)

Beispielhaft für die Berechnungs und Konstruktionsart ist der Londoner Glaspalast von 1851. Bei diesem Bau wurden modulare Einzelelemente aus Gusseisen über einfache Verbindungselemente angeschlossen. Wegen des unterschiedlich ausfallenden kristallinen Molekulargefüges des Gusseisens wurden alle Gussträger und deren Verbindungsknoten durch eine Spezialmaschine auf ihre Stabilität geprüft. Die Gitterträger mußten nach Entlastung wieder in ihre ursprüngliche Form zurückspringen. [2]

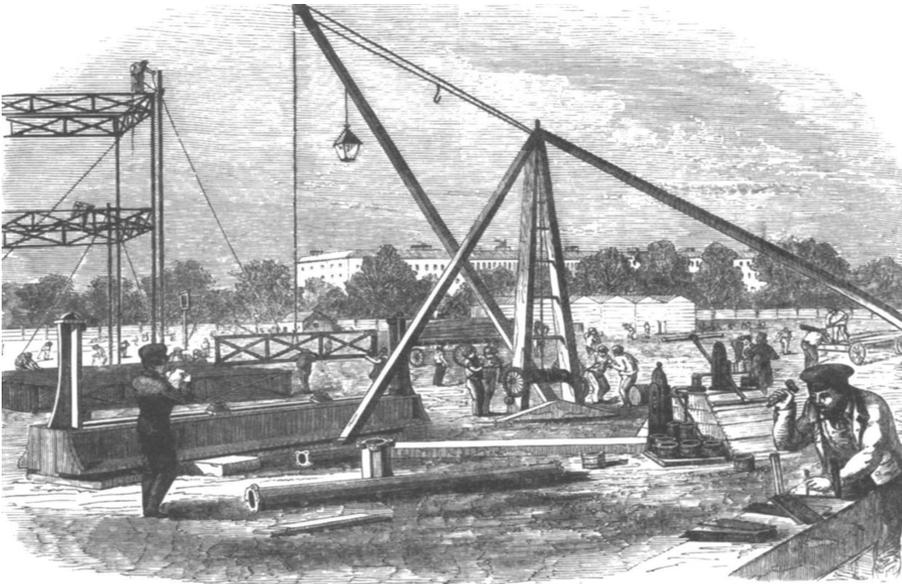


Abb.88:  
Prüfvorgang der Binder des  
Glaspalastes London von  
Paxton [6]

Alle Gusskonstruktionen jener Zeit folgten dem Entwurfsgedanken, möglichst viele gleiche Teile zu verwenden, so dass für jedes Bauteil nur eine Teilprüfung stattfinden mußte. Die Konstruktionen waren meist statisch unbestimmt und die statischen Zusammenhänge mit konventionellen Verfahren nicht räumlich zu berechnen.

Durch die Erfahrung, die man mit den Gusswerkstoffen machte, war es möglich, gleichmäßige Materialgefüge und statisch ausgereifte Konstruktionen zu erstellen. Nach der Einführung der statischen Nachweispflicht waren diese Konstruktionen rechnerisch nach DIN nicht nachweisbar. Kompliziertere filigrane Trägerkonstruktionen wie Polonceau- Binder und unterspannte Träger gerieten in Vergessenheit. (statisch unbestimmte Systeme). Man brauchte, um die Konstruktion statisch berechnen zu können, einfache statische Systeme mit Verbindungen deren Kräftefluß zweidimensional nachprüfbar war. ~~Vordrill~~  
1860 wurden Konstruktionen ausschließlich aus gewalzten Blechen und Profilstählen erstellt. Als Verbindungsmittel wurden Niete und Schrauben eingesetzt.

Der Anspruch eines direkten kraftschlüssigen Kontaktes über Lochleibungsdruck mit statischen Nachweisverfahren (Nietbildern in Tabellenwerken) ließ sich mit den damals zur Verfügung stehenden Mitteln durch Niet und Schraubverbindungen realisieren. Die Kräfte wurden durch Anpressen der zu verbindenden Teile und das Ausfüllen der Nietbohrung übertragen. Man entschied sich für das kostengünstigere Nieten. Diese Verbindungsart konnte nur mit hohem Arbeitsaufwand (geringe Lohnkosten aber geringer Materialeinsatz) auf der Baustelle hergestellt werden. Zusätzlich mussten Platten und Knotenbleche zwischen den einzelnen Tragwerksteilen wie Ober- und Untergurt und Diagonalverbänden eines Fachwerkträgers eingesetzt werden, um ausreichende kraftübertreffende Flächen für den Einsatz der Niete mit entsprechendem Lochabstand zu erzielen. Die Verarbeitung und die Arbeitsvorbereitung für Nietverbindungen erforderte einen zeitintensiven, manuellen Einsatz. Die Rohniete wurden über einer Gasflamme bis zum Rotglühen erhitzt, dann mit einer Nietzange in ein Bohrloch der Konstruktion eingesetzt und mit Bolzen oder Niethammer gestulbt. (Döpper gegenhalten) Durch den Nietvorgang, konnten bei schlechtem Sitz durch die Stauchung im Bohrloch und das verwendete Nietmaterial Haarrisse in den Niete entstehen. Deshalb war immer eine größere Anzahl von Niete als rechnerisch nachgewiesen erforderlich.

Abb.89:  
Erhitzen der Niete und  
anschließendes Einschließen  
der Niete beim Bau des  
Empire State Buildings [35]



Die Kraftübertragung einer Nietverbindung entsteht durch das Zusammenziehen der Kontaktflächen beim Abkühlvorgang der Niete. Wichtig ist hier der richtige Nietabstand. Schrauben wurden in dieser Zeit zu Reduktion des Montageaufwandes nur an Montagestößen eingesetzt. Sie hatten erheblich höhere Herstellkosten als Niete. Bei Beanspruchung der Verbindung auf Zug konnten Niete nicht eingesetzt werden, hier übernahmen Schrauben die Kraftübertragung. Die statische Belastungsgrenze dieser Verbindung war das Abscherversagen der Niete.

Nach Erfindung des Lichtbogenschweißverfahrens „Slavianoff Verfahren“ war es ab ca. 1920 möglich, Konstruktionen zu größeren Tragwerkssegmenten zusammenschweißen und nur noch wenige Verbindungen und Montagestöße mußten mit Niete oder Schrauben kraftschlüssig verbunden werden. Die Kraftübertragung erfolgte durch Reibung. Die Verbindungssicherheit wurde durch Schrauben mit weniger Montageaufwand und weniger Material realisiert. (weniger Bohrlöcher/geringere Anzahl Schrauben). Das Tragwerk bestand aus werkstattgeschweißten Segmenten, die an Montagestößen zusammenschraubt wurden. Schrauben sind zwar in der Herstellung durch die Gewindengenauigkeit zwischen Mutter und Schraube komplizierter, die konstante Materialbeschaffenheit garantiert aber eine gleichmäßige Festigkeit, die es zulässt, jede Schraube rechnerisch gleich zu belasten, und die Sicherheitsfaktoren zu reduzieren.

Der statische Nachweis von Schraubverbindungen wurde über Versuche, unter Berücksichtigung der Aufnahme von Zugkräften ermittelt und in Tabellen bzw. Schraubbildern für biegesteife und gelenkige Verbindungen abhängig von der Anzahl der eingesetzten Schrauben festgelegt.

4.1.7.4. Regelanschlüsse von schmalen und mittelbreiten I-Trägern nach DIN 1025 Bl. 1 u. Bl. 5 (I-Reihe u. IPE-Reihe)

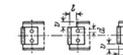
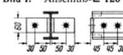
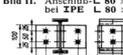
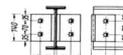
Anschluß $\Sigma$ 	Träger	Abmessungen für die Ausklinkung		Schraubenslänge $s$ in mm (Loch- $\varnothing$ in mm)	L-Ge- wicht einschl. Schrau- ben u. Scheiben, jedoch ohne die für die abstehen- den Schenkel kg	Tragfähigkeit $A$ in Tonnen ohne   mit Berücksichtigung des Anschlußbiege- momentes Lastfall				Grenztülllänge $l_g$ in m unter Berücksich- tigung des Anschluß- biegemomentes bei $W_x$ u. $(W_{x,0})$ $\sigma_{zul}$ bei Lastfall $H=1400$ *) $H=1600$ $HZ=1000$ $HZ=1800$			
		$v$	$l$			$H$   $HZ$   $H$   $HZ$	$\sigma_{zul}$	$\sigma_{zul}$	$W_x$	$W_x$	$W_x$	$W_x$	
Bild I. Anschluß-L 120 x 80 x 8 	I 120	30	40	M 12 x 45 (13)	1,64	2,94	3,30	0,73	0,83	4,24	3,72	4,77	4,19
	IPE 120	30	50	M 12 x 45 (13)	1,64	2,53	2,85	0,63	0,71	4,76	4,25	5,35	4,77
Bild II. Anschluß-L 80 x 8 bei IPE L 80 x 8 	I 140	20	50	M 12 x 45 (13)	2,11	3,28	3,69	1,47	1,65	3,18	2,72	3,57	3,06
	I 160	30	50	M 12 x 45 (13)	2,11	3,63	4,08	1,62	1,83	3,09	3,57	4,62	4,03
	IPE 140	20	60	M 12 x 45 (13)	1,88	2,71	3,05	1,21	1,36	3,64	3,19	4,09	3,58
	IPE 160	30	60	M 12 x 45 (13)	1,88	2,88	3,24	1,29	1,45	4,61	4,18	5,41	4,70
Bild III. Anschluß-L 100 x 10 bei IPE L 100 x 8 	I 180	20	60	M 16 x 55	4,59	5,30	5,96	2,67	3,00	3,43	2,99	3,86	3,36
	I 200	30	60	M 16 x 55	4,59	5,78	6,48	2,90	3,27	3,19	3,08	4,72	4,13
	I 220	40	60	M 16 x 55	4,59	6,22	7,00	3,13	3,53	5,04	4,48	5,68	5,05
	I 240	50	60	M 16 x 55	4,59	6,68	7,52	3,37	3,79	5,56	5,18	6,72	5,83
	IPE 180	20	80	M 16 x 50	3,76	4,07	4,58	2,05	2,31	4,05	3,60	4,56	4,06
	IPE 200	30	80	M 16 x 50	3,76	4,30	4,84	2,17	2,44	4,59	4,56	5,72	5,13
IPE 220	40	80	M 16 x 50	3,76	4,53	5,10	2,28	2,57	5,28	5,48	7,07	6,18	

Abb.90:

Tabelle über allgemeine Regelanschlüsse zwischen Trägern und Stützen als Schraubverbindungen [15]

Tragwerke wurden in einfache Elemente zerlegt, so dass bekannte zweidimensionale statische Grundmodelle für den rechnerischen Nachweis herangezogen werden konnten. Aus diesem Grund achteten die Ingenieure darauf, dass ihre Konstruktionen statisch bestimmt waren und durch zweidimensionale Rechenoperationen nachgewiesen werden konnten. Konstruktionen, die statisch unbestimmt waren, wurden möglichst vermieden. Gleichmäßig belastete Träger wurden nach dem größten Biegemoment (in der Mitte des Balkens) bemessen, alle übrigen Bauteile waren damit überdimensioniert. Mit der Entwicklung der Schweißtechnik und dem Einsatz von geschweißten Bindern und Stützen reduzierte sich der Einsatz der Schrauben auf Montage- und Verbindungsstöße. Verfahren zur Berechnung von Statisch unbestimmten Systemen sind schon lange bekannt, aber aufwändig und langwierig.

Es entstanden Passschrauben und Kopfplattenstöße, deren statische Werte über Versuche ermittelt wurden und aus Tabellen in die Berechnung der Konstruktionen einfließen.[7] [3]

An Stirnplattenstößen, als Verbindung von 2 Bauteilen mit Rohschrauben entsteht keine Reibung. Laschenstöße bei Trägern haben beim Einsatz von Rohschrauben ein Lochspiel von 1 mm, nur bei Querkräften entsteht Reibung, die durch die Lochleibung aufgenommen wird. Paßschrauben dagegen übertragen durch den exakten Sitz in den Bohrungen der Verbindung Reibung über die Lochleibung. Bei konventionellen Schraubverbindungen sind die Verbindungselemente durch Konterung der Mutter (selbstsichernd) oder in der Nietverbindung durch Stulbung des Niets gegen Ausheben bzw. lockern gesichert.

Dies gilt auch für abhebende Kräfte. Durch den Einsatz von HV-Schrauben sind diese Anschlüsse über Drehmoment (Vorspannung der Schraubverbindung durch Anziehen der Schrauben) einstellbar, auch wenn durch die Reibung der Schrauben keine wirkliche Vorspannung erzielt wird. Die Bewegungen des Tragwerks können sehr genau festgelegt werden. HV-Schrauben mit ihrer hohen Zugkraft und Kopfplattenstöße als Druckkraftübertragung sind vergleichbar mit einfachen vorgefertigten Anschlüssen.

Nach dem neuen Konstruktionsprinzip, „**fogt die Statik dem Entwurf.**“ Für komplexe Systeme, zumeist für Schalentragwerke, wurde mit Modellversuchen die Standsicherheit nachgewiesen. Inzwischen lässt sich der Statische Nachweis auch von hochgradig statisch unbestimmten Systemen mit Hilfe von FEM Programmen erbringen.

**Finite Elemente Methode**

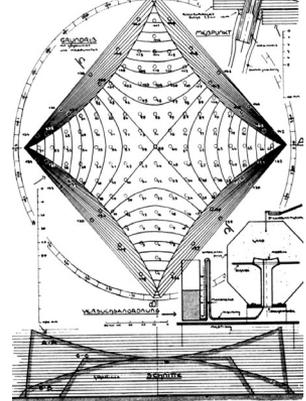
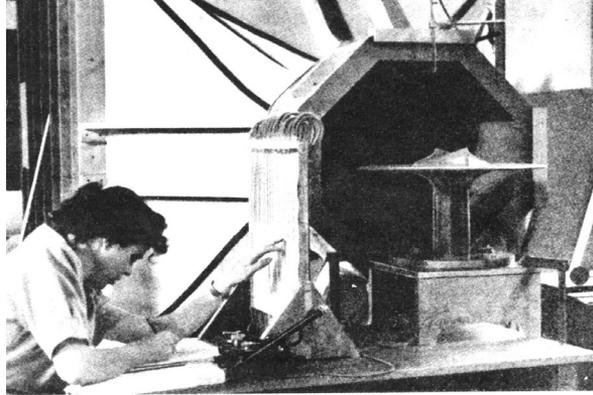
### 6.3 Heutige Berechnungsverfahren und individuelle Lösungen

Durch die Weiterentwicklung der EDV- Technik ist es heute ohne Probleme möglich, statisch unbestimmte Systeme und deren Momentenverläufe sowohl zweidimensional als auch räumlich in Verbindung mit anderen Tragwerkselementen statisch zu berechnen und zu optimieren. Steckknotenverbindungen und andere, statisch kompliziertere Anschlüsse können durch EDV-Technik simuliert und der Kräfteverlauf kann dargestellt und berechnet werden. Es ist nicht mehr notwendig, wie bei der Konstruktion des Glaspalastes London, durch spezielle Druckmaschinen jeden Träger und dessen Anschlüsse auf Tragfähigkeit zu prüfen. [1]

Unabhängig davon, werden aber auch jetzt noch Modellversuche bei komplizierteren Bauformen oder komplexeren Tragwerken durchgeführt. Hierzu zählen Windkanal- und Strömungsversuche, die wiederum über optische Systeme in die EDV eingelesen und rechnerisch weiterbearbeitet werden können. Zug - und Druckversuche sind bei der Zulassung neuer alternativer Verbindungen in Materialprüfungsämtern weiterhin notwendig um Systemzulassungen und Typenstatiken zu erstellen.

Richtungweisend für neue Verbindungsmittel ist die Automobilindustrie und die Maschinenbautechnik, deren Entwicklungen, Nachweisverfahren und Erfahrungswerte direkt für die Bautechnik einzusetzen sind.

Abb. 91:  
Windkanalversuch mit Modell  
Anblasrichtung  $90^\circ$  Staurohr  
Staudruckanzeige durch Ver-  
änderung des Flüssigkeits-  
standes [8]

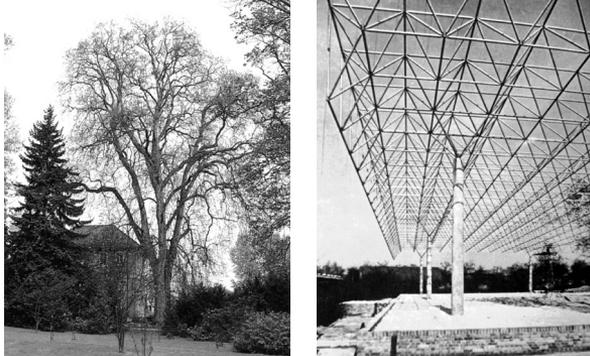


Seit Einführung der EDV- Technik als Hilfsmittel für statische Berechnungen ist es über frei käufliche Rechenprogramme möglich, in kurzer Zeit Fachwerkträger mit allen Knotenelementen und Diagonalen als zweidimensionale Systeme entmaterialisiert zu berechnen. Konstruktionen, wie räumliche Fachwerke, wurden aus mathematischen / statischen Gründen zur Vereinfachung der Berechnung mit gelenkigen Knotenpunkten versehen. Dieser Ansatz ist nach physikalischen Überlegungen nicht immer richtig. In der Natur sind die Verzweigungen und Äste eines Baumes biegesteif angeschlossen. Durch diese statischen Vorgaben wird oft nur in eingefahrenen Systemen geplant und gerechnet. Leider werden auch heute noch Konstruktionen zweidimensional bearbeitet und berechnet, obwohl sie räumlich wirken. Räumliche Berechnung optimieren das statische System und wirken kostenreduzierend auf Materialeinsatz und Montagezeit. Durch die Weiterentwicklung der EDV-Systeme und die Anforderung aus der Architektur werden vermehrt wieder statisch komplexere unbestimmte Systeme eingesetzt und räumlich berechnet.

### **Die Entwurfsidee bestimmt den statischen Nachweis.**

Ein optimales Tragwerk / Bauwerk ist in enger Zusammenarbeit von Entwerfern mit Tragwerksplanern in früher Projektphase zu erreichen, bei dem Gestaltung und Tragwerk einander bedingen.

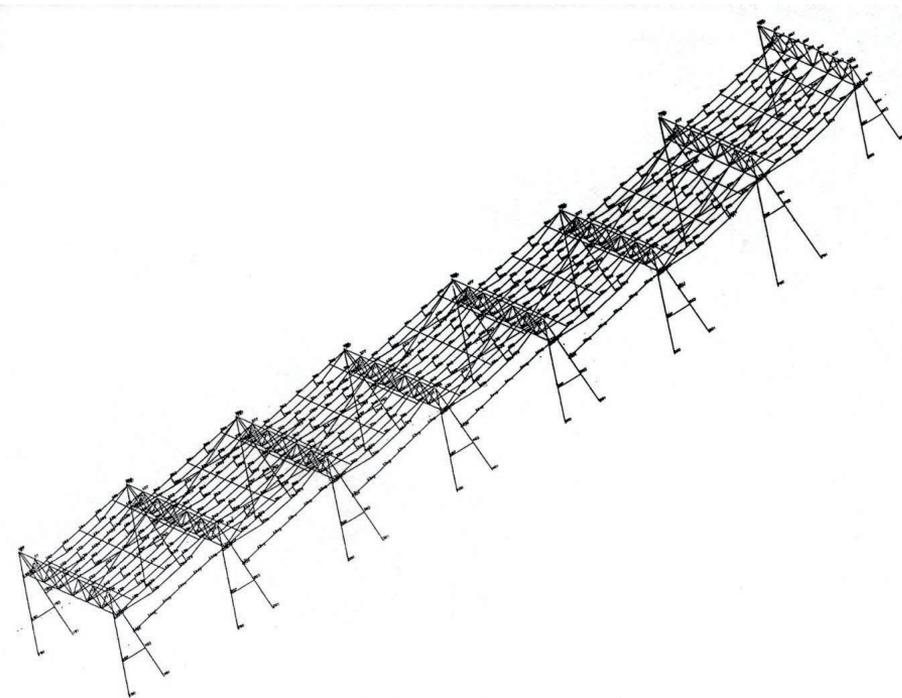
Abb.92:  
Baum mit biegesteif ange-  
schlossenen Ästen / Raum-  
tragwerk der Firma Mero [18]



Konstruktionen, die vielfach statisch unbestimmt waren und früher wegen des hohen Berechnungsaufwandes vermieden wurden, sind heute ohne weiteres statisch nachweisbar und damit realisierbar. Ein Computer hat aber im Gegensatz zum menschlichen Entscheidungsvermögen nicht die Fähigkeit, unpassende Varianten oder Konstruktionen auszuschließen und für den bestimmten Fall von allen Kriterien die richtige herauszufinden, diese Aufgabe bleibt bei dem kreativen und anspruchsvollen Planer .

107

Abb.93:  
Computerauszug „Finite Ele-  
mentmethode“ Darstellung der  
Stabwerkskräfte für das  
Tragwerk Bahnhöfe Bochum  
[Computerzeichnung/ Berech-  
nung Büro Prof. Polonyi´  
Eigenentwicklung EDV System  
BASTA zur räumlichen Berech-  
nung]



## 6.4 Methoden des statischen Nachweises

Um Tragwerke zu optimieren und komplizierte Tragwerke und statische Zusammenhänge zu erfassen, wurden unterschiedliche Rechenprogramme erarbeitet, die über Knotenkräfte Tragkonstruktionen räumlich berechnen. Für diese Berechnungsart muß das Tragwerk komplett mit allen Eckpunkten als Koordinaten in das Rechensystem eingegeben werden. Durch Eingabe von verschiedenen Lastfällen wird die Kraftweiterleitung in die einzelnen Knotenpunkte und deren Verformung untersucht, danach werden die auftretenden Kräfte bestimmt, nach denen die Konstruktion ausgelegt wird. [1]

Durch die Verbindung von FEM- Rechenprogrammen und CAD Zeichenprogrammen ist es möglich, diese Tragwerke auch optisch mit allen Knoten und Stäben als Koordinaten einzugeben und die Verformung bei unterschiedlichen Lastfällen, einschließlich der Lastfälle aus Temperaturdifferenzen, sichtbar zu machen. Über die Ausgabewerte der einzelnen Stabkräfte und Knotenkräfte kann man jeden einzelnen Stab und Knotenpunkt dimensionieren. Berechnungen von räumlichen Tragwerken sind nur computergestützt möglich. Das Berechnungsverfahren ist die „finite Elementmethode“ nach der Elastizitätstheorie. Plastische Konstruktionsverformungen können berücksichtigt werden.

Trotz dieser sehr weit entwickelten Berechnungsverfahren gibt es Tragwerke, deren statische Eigenschaften und Standfestigkeit über Modellversuche nachgewiesen werden müssen. Bei statisch komplizierten Tragwerken und Anschlüssen ist es demnach heute, trotz weiterentwickelter Berechnungsverfahren mit EDV-Einsatz ratsam, Einzelnachweise als Bauteilversuche mit Originalbauteilen, wie schon zu Zeiten der ersten Steckverbindungen (Glaspalast London / München) zu führen. (In erster Linie bei nicht genormten Baustoffen, z.B.Glas) Aus diesen Einzelnachweisen können Typenstatiken entstehen, wie sie bereits für einige Gussverbindungen existieren. [8]

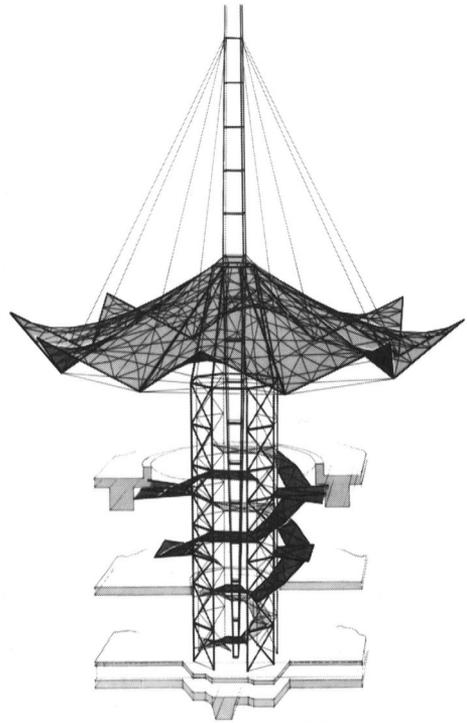
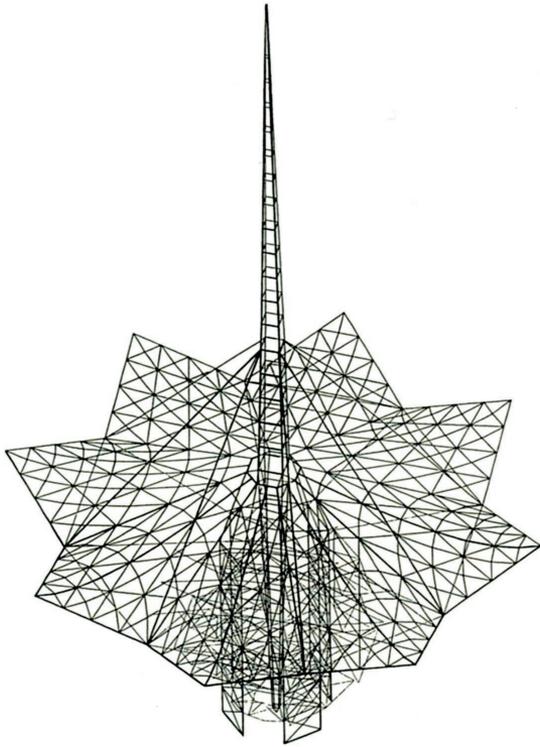


Abb.94:

CAD Darstellung der Stabführung des Tragwerks U.Bahn Bahnsteig Dortmund Reinoldstraße [32]

## **7 Korrosionsschutz und Oberflächenbehandlung mit statischer Wirkung**

### **7.1 Oberflächenbehandlung unter dem Gesichtspunkt von Korrosionsschutz und statischer Haftung**

Die Oberflächenbehandlung muß auf das eingesetzte Material und den gewählten Steckanschluß abgestimmt sein. Oberflächenbehandlungen gegen Korrosion können Lackierungen mit entsprechenden Grundierungen, Verzinkungen und Eloxate sein. Wenn die gesamte Konstruktion aus Stahlguss oder Edelstahl erstellt wird entfällt eine Oberflächenbehandlung als Witterungsschutz.

Der Korrosionsschutz der Kontaktflächen einer Nietverbindung entsteht durch das Zusammenziehen der Kontaktbleche beim Abkühlungsvorgang der Nieten.

HV- Schrauben pressen die zu verbindenden Bauteile aufeinander, Anstriche als Korrosionsschutz zwischen den Bauteilen sind nicht nötig.

Beim Einsatz von Oberflächenbehandlungen aus verschiedenen Grundierungs- und Lackschichten werden meist die Teile fix und fertig behandelt auf die Baustelle transportiert und zusammengesetzt, wobei durch die Montage geringe Nachbehandlungen erforderlich werden. Diese Oberflächenbehandlung erfüllt sowohl die Ansprüche an den Korrosionsschutz als auch die Ansprüche an die Oberfläche oder Farbgebung.

Der Aufbau der Lackschichten kann aus einer Grundierung mit Chlor- Kautschuk und Oberflächenbeschichtungen mit Grundierung und 2 Lackschichten bestehen. Die Anschlußstücke bleiben meist auf den direkten Kontaktflächen (Steckknoteninneren) unbehandelt, nur die Oberflächen, die direkt der Witterung ausgesetzt sind, werden nach dem Einbau nachträglich korrosionsgeschützt.

Bei Verzinkungen der gesamten Konstruktionen werden die passgenauen Innenseiten der Steckanschlüsse durch Verklebungen geschützt, so daß in diesen Teilen keine Verzinkung aufgetragen wird. Im Zinkbad werden nur die Außenflächen der Stecknoten geschützt. Falls die Haftung zwischen den Kontaktflächen erhöht werden soll, gibt es die Möglichkeit, über das Aufrauhnen der Oberflächen durch Beizen oder durch kontaktverstärkende Anstriche die Reibung und dadurch die Kraftübertragung zwischen den Steckanschlussteilen zu vergrößern.

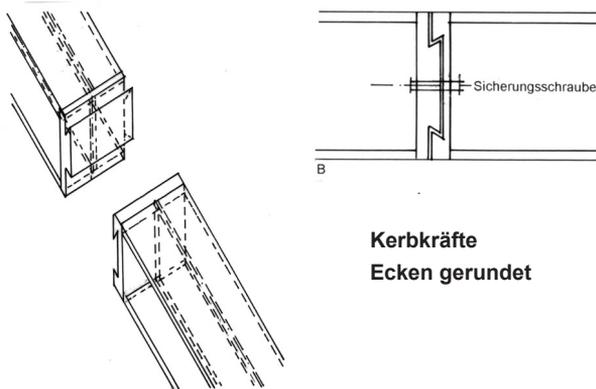
Durch den Einsatz von Edelstahl als Stecknotenmaterial kann in diesen Bereichen auf den Korrosionsschutz verzichtet werden.

## 7.2 Oberflächenausbildung der Steckanschlüsse unter dem Gesichtspunkt der statischen Kräfteinleitung

Steckanschlüsse sollten statisch und rechnerisch nachweisbar sein und diese Nachweise sollten auf Grundlage der DIN-Normen erfolgen. Eine Zulassung mit rechnerischem Nachweis auf Grundlage von DIN-Normen ist die einfachste und schnellste Zulassungsart. Neben dieser gibt es eine Zustimmung und Zulassung im Einzelfall, die separat beantragt werden muß und die neben rechnerischen Nachweisen auch Versuche und Modellstatiken beinhalten kann. Dieser Prozeß kann je nach Prüfungsaufwand für den Bauablauf terminrelevant und damit entscheidend für die Anschlußart werden.

112

Abb.95:  
Kerbkräfte im Schwalbenschwanzanschluss Fachwerkbinder/ Streben siehe Abb.:80  
[Entwicklung Prof. Polonyi / B. Heukelbach]



Für die Einschubsteckverbindung im Geschossbau Abb.79 / 80 mit Ausbildung einer Verzinkung ist die Aufnahme der Kerbkräfte nachzuweisen. Der Nachweis muß in diesem Fall nicht nur rechnerisch sondern zusätzlich über einen mechanischen Versuch erfolgen. Nachweise im Einzelfall lohnen sich nur beim Einsatz des Verbindungsteils in größeren Stückzahlen als Serienteil. Der Aufwand für Versuche, Nachweise, und Zulassung ist kostenintensiv.

Bei statisch bestimmten Systemen darf zwischen den einzelnen Steckelementen und dem Bindungselement kein Spiel sein, d.h. es muß eine direkte Kraftübertragung erfolgen, da sonst ein rechnerischer Nachweis nicht zu erbringen ist.

Abb.96:

Rohr mit Innenrohr eingesteckt in ein zweites zur Druckkraftübertragung, das Innenrohr kann auch ein Bolzen sein.

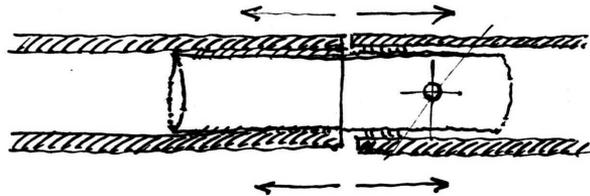
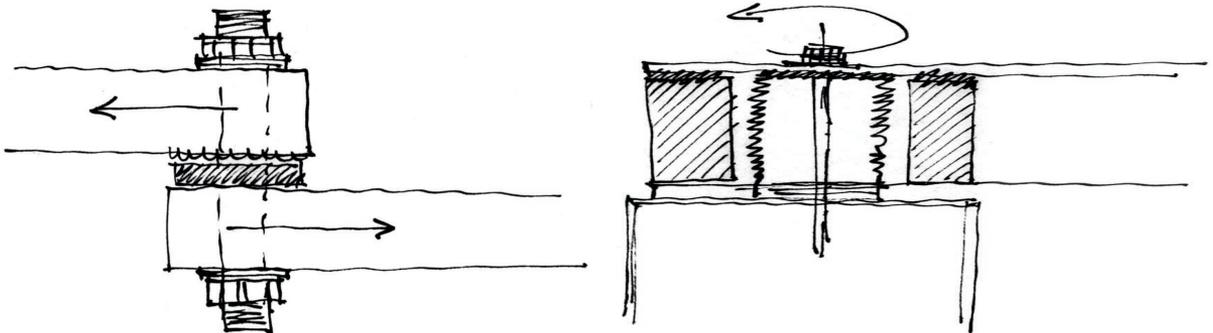


Abb.97:

Verstärkung der Reibung zwischen Kontaktflächen im Kranzbereich einer Steckverbindung und zwischen durch Bolzen/ HV verbundenen Bauteilen durch Oberflächenvergrößerung

Zur Verstärkung der Haftreibung bzw. Druckkraftübertragung zwischen den Kontaktflächen zweier Bauteile können die Oberflächen der Steckknotenteile z. B. durch Hobeln oder Aufrauhnen behandelt werden. Dies führt einer Oberflächenvergrößerung und steigert die Übertragung über Reibungskräfte.



Zusätzlich muß rechnerisch nachgewiesen werden, welche Kräfte auf einen Verbindungsstift oder Steckbolzen einwirken müssen, damit er nicht durch die Bewegung der Konstruktion aus seiner Verankerung rutscht. Auch dieser statische Nachweis ist abhängig von der Oberflächenbehandlung der Steckknotenenteile. Beim Einsatz eines konischen Bolzens als Verankerungselement in einer Stahlplatte muß die erforderliche Reibung und der notwendige Winkelzuschnitt des Bolzens ausgerechnet werden, damit er sich nicht durch Bewegungen der Stahlplatte aus seiner Verankerung löst.

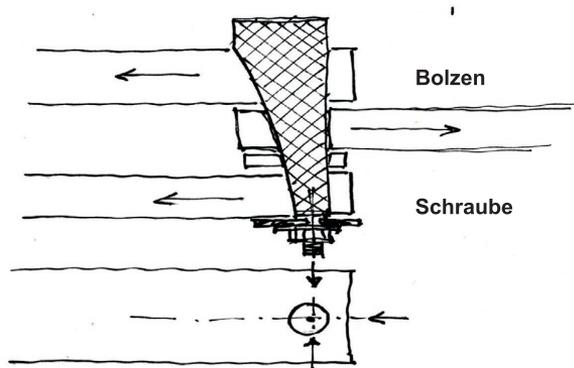
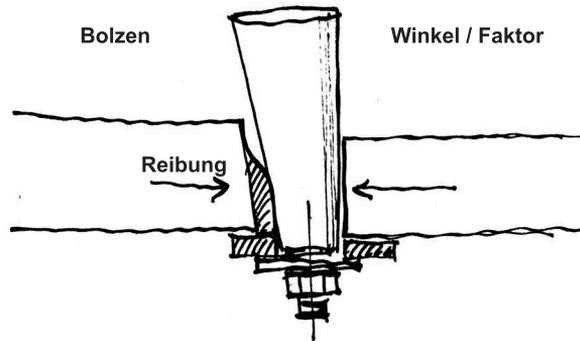


Abb.98:  
Kraftübertragung in konische Bolzen- Steckverbindung mit Schraubensicherung (Fahrradpedalsicherung) zwischen Bauteilelementen mit Zugkraftbeanspruchung .

Ein Niet / eine Schraube ist die einfachste Steckverbindung. Es ist nachzuweisen welche Schraubkraft / Reibung zwischen Verbindungselement und Kontaktflächen und zu verbindenden Bauteilen / Tragwerkselementen entsteht. Die Bohrung in den zu verbindenden Elementen müssen auf Zug- und Druckbeanspruchung bemessen werden. Das verbindende Element muß diese Kräfte aufnehmen und wird auf Abscherung beansprucht. Entscheidend in diesem Fall ist ebenfalls die Oberflächenbeschaffenheit der zu verbindenden Elementplatten, die Reibung zwischen diesen und die Druckkraft des verbindenden Elements Niete oder Schraube. Entscheidend ist hierbei immer wieder die Behandlung der Kontaktflächen.

Die Verbindungselemente Niet, Bolzen und Schraube sind geschichtlich die ersten Steckverbindungen in Tragwerkskonstruktionen. Ihre Kraftübertragung erfolgt, besonders bei der Nietverbindung durch Reibung, deren Einflußgrößen durch die Oberflächenbeschaffenheit (Stauchung der erhitzten Stahlniete) und der Lochreibung der verbundenen Stahlteile bestimmt wird. Für die Kraftübertragung ist der Winkel zwischen dem Verbindungs- und dem zu verbindenden Element und die Oberflächenbeschaffenheit entscheidend. Der aus diesen Bedingungen zu errechnende Faktor bestimmt die Festigkeit und damit die zu übertragende Kraft.

Abb.99:  
Kraftübertragung durch Reibung Zwischen Bolzen und Verbindungsteil [Zeichnung B. Heukelbach]



Beim Einsatz von Bolzen werden folgende Ansätze gemacht:

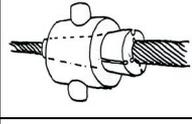
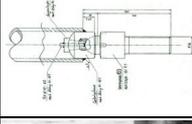
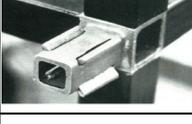
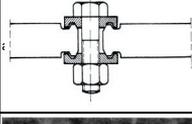
0,9 Eigenwinkel oder Faktor

1,5 Faktor mit dem der Bolzen durch Bewegungen rausgedrückt wird oder sich herausarbeitet.

## 8 Übersicht von aktuellen Steckanschlüssen (Beispiele patentierter Stecksysteme)

NR	Bezeichnung	Darstellung des Knotens	Entw. / Herst.	Material				Montageart				übertragene Kräfte				Tragwerk R /räumlich G/gerichtet	Einsatz			
				Stahlguß	Hartguß	Stahldrehteil	Stahl gekantet gefräst	verkeilet	eingehängt	gesteckt	geklemmt	Druckkräfte	Zugkräfte	Torsion	Biegemomente		Hallentragwerke	Geschoßbauten	Stabwerk	Knotenpunkt
1	Zuggurtverbindung		Stahlbau Rührer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>												
2	Untergurtverbindung		Prof. Polonyi	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>													
3	Montagestuss Zug		Prof. Polonyi / Heuke	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>													
4	Pylonkopf Zugösen		A. P. Betschart	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>													
5	Pylonkopf Konisch		A.P. Betschart	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>													
6	Gußformteil		A.P. Betschart	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>													
7	gelenkige Kugellegern		A.P. Betschart	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>													

# Übersicht von aktuellen Steckanschlüssen (Beispiele patentierter Stecksysteme)

NR	Bezeichnung	Darstellung des Knotens	Entw. / Herst.	Material	Montageart	übertragene Kräfte	Tragwerk R /räumlich G /gerichtet	Einsatz
8	Selbstzugverbindung		Frei Otto	Stahlguß Hartguß Stahlrohrtteil Stahl gekantet gefräst	verkettet eingehängt gesteckt geklemmt	Druckkräfte Zugkräfte Torsion Biegemomente	G	Rahmenecke
9	Rohrsteckknoten		Glasbau Seele				R	
10	Gerüstklammernknoten		Gerüstbau Alisaco				G	
11	Einhandverbindung		Heukebach / Ceno				R	
12	RRV System		Stahlbau Rütler				G	
13	Stabwerkskuppel		Dischinger				R	
14	TriodeticRaumtragw.		Firma Feritnan				R	





## 9 Vergleich zwischen Stecksystemen und konventionellen Verbindungen

Baugeschichtlich wurden im Anfang des 19. Jahrhunderts Stecksystem - Konstruktionen dort eingesetzt, wo exakte Konstruktionen, meist aus Stahl, Schmiedeeisen, oder Gusseisen, in kurzer Zeit errichtet werden mussten; wie z.B. die Glaspaläste London und München.

Die Planungsvorgabe, die Konstruktionen nach der Montage ohne Einsatz von Neuteilen zu demontieren und wieder neu zu errichten, kann mit Steckverbindungen realisiert werden

Die Montage der Bahnhöfe Bochum mußte bei laufendem Bahnbetrieb und in den Nachtstunden erfolgen. Aus diesem Grund wurde das Tragwerk in elementierten Großteilen wie A-Bockstütze, Binder und Pfetten angeliefert. Die Bauteile wurden auf den beiden Bahnsteigen, der einzigen Fläche für die Baustelleneinrichtung ausgelegt und mit zwei seitlich aufgestellten Kränen montiert. Durch die Steckknoten waren nur wenige Montagebewegungen für den Zusammenbau des Tragwerks notwendig. Die Verbindung justierte sich selbst und es entstand sofort ein biegesteifer Rahmen. Die Montagezeit jedes Rahmens betrug 3 Stunden.

Abb.100:  
Steckanschlußmontage Bahnhof Universität in Bochum [19]

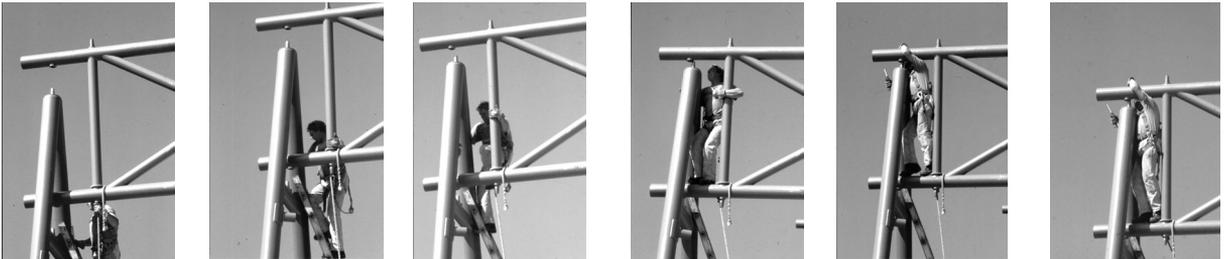
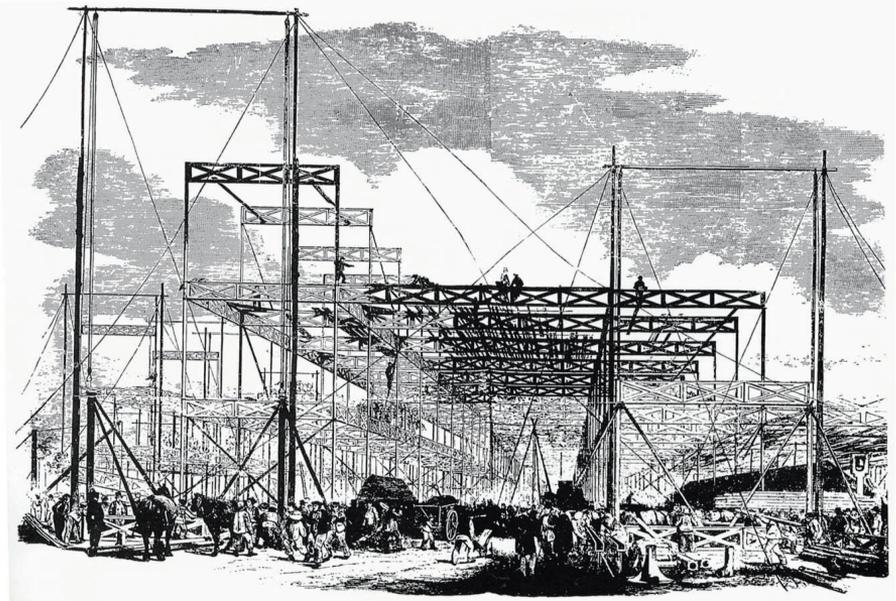


Abb.101:  
Montage des Glaspalastes in  
London [6]



121

Abb.102:  
Montage Stadtbahnhof Uni  
Bochum (Fotograf Raven-  
stein) [19]



Heutige Konstruktionen folgen dem Beispiel des Glaspalastes aus London, unter der Vorgabe einer schnellen und sicheren Montage sowie bei erschwerten Montagebedingungen. So zum Beispiel die Montage der Bahnhofsüberdachung des Hauptbahnhofes Köln die nur in den Nachtstunden mit vorgefertigten Großelementen als Kreuzgewölbe bei laufendem Bahnbetrieb erfolgen konnte. Diese Elemente wurden von einer seitlich angelegten Montagefläche außerhalb des Bahnhofs per Kran an den Standort gehoben. Einsteckknoten verbinden diese Großelemente an den Stützelementen (siehe Abb. 52)

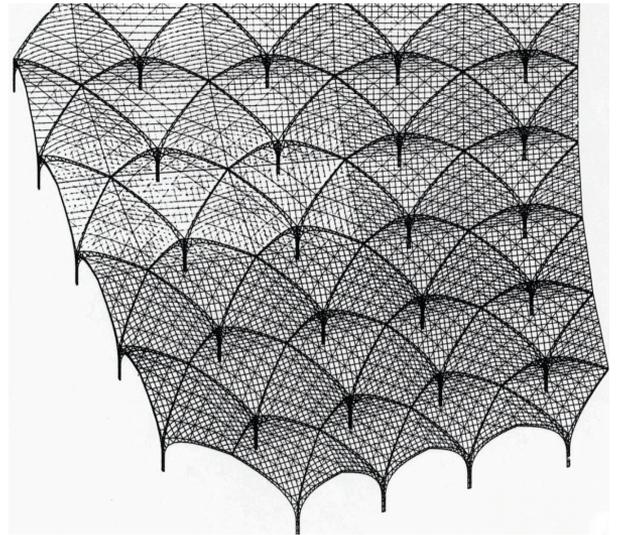
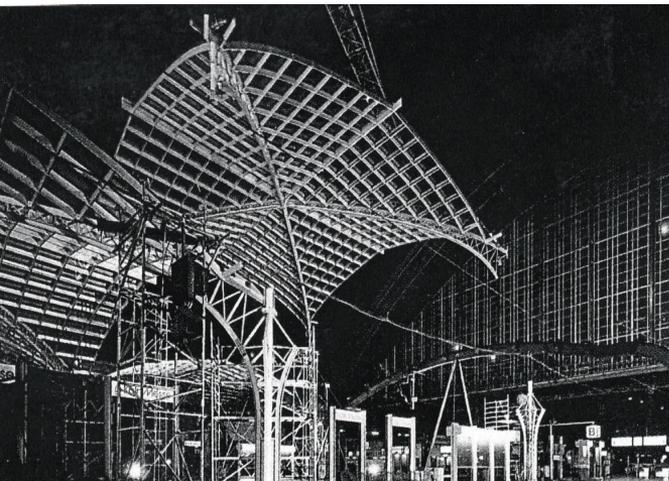


Abb.103:  
Tragsystem Bahnhofsüberdachung Hauptbahnhof Köln  
Architektur Haberer und Busmann mit Prof. St. Polonyi´ [1]

Abb. 104:  
Bahnhofsüberdachung  
Hauptbahnhof Köln Architek-  
tur Haberer und Busmann mit  
Prof. St. Polonyi´ [1]

## 9.1 Einfluß der Konstruktionsart auf Montagekosten und Montagebedingungen

Durch den Wettbewerb der Planungs- und Baufirmen untereinander sind Montagezeiten und die damit verbundene Montagekosten ein entscheidender Faktor, Wettbewerbsvorteile zu erzielen. Durch komplexe Montagebedingungen, so z.B. bei laufendem Bahnbetrieb außerhalb der Betriebszeiten, werden innovative Konstruktionen und alternative Verbindungssysteme erforderlich. Zur Reduzierung von Montagekosten und -zeiten werden Skelettbauten aus Fertigteilen, als Systemkonstruktionen von verschiedenen Firmen angeboten.

Stahlbetonkonstruktionen werden schon seit langem als modulare Systembauwerke aus Fertigelementen, wie  $\pi$ -Platten oder Filigrandecken mit Fertigteilstützen, -unterzügen und Fundamenten zusammengesetzt. Diese Montage ist im Verhältnis zu herkömmlichen Ortbetonkonstruktionen exakter, es entfallen Ausbaurkosten und die Bauzeit ist erheblich kürzer und witterungsunabhängiger.

Diese Bauart hat durch geringere Montagezeiten Preisvorteile gegenüber konventionellen Bauten. Die Fertigungskosten werden durch wieder verwendbare Schalungselemente reduziert. Die gleiche Entwicklung ist im Stahlbau zu erkennen. Immer häufiger werden vorgefertigte Systemhallen aus elementierten Bauteilen erstellt. Der Zeit- und Preisvorteil dieser Konstruktionen liegt bisher hauptsächlich in der Arbeitsvorbereitung.

Eine weitere Verringerung der Baukosten kann nur durch die Reduzierung der Montage erreicht werden. Diese sind durch die Verkürzung der Montagezeiten und durch die Vereinfachung der Verbindungen der Bauteile möglich. Neben den Systemtragwerken sind einfache Steckverbindungsknoten mit Systemstatik erforderlich.

Ein Außenanstrich eines Tragwerks kostet ca. 65 % einer Verzinkung der gesamten Konstruktion, zumal das Tragwerk meist zusätzlich farbbehandelt wird. Durch die steigenden Anforderungen an den Korrosionsschutz ist beim Einsatz von Hohlprofilen die Verbindungsart zwischen den Bauteilen ausschlaggebend. Bei der Verwendung von Hohlprofilen mit Steckanschlüssen können die Profile luftdicht zugeschweißt werden, so dass ein Korrosionsschutz wie z.B. eine Verzinkung nur außen notwendig ist. Da die Verbindungselemente außen auf die Profile aufgeschweißt sind, Korrosion kann im Innern der Profile nicht auftreten. Dieser Konstruktions- und Fertigungsvorteil ist kostenreduzierend.

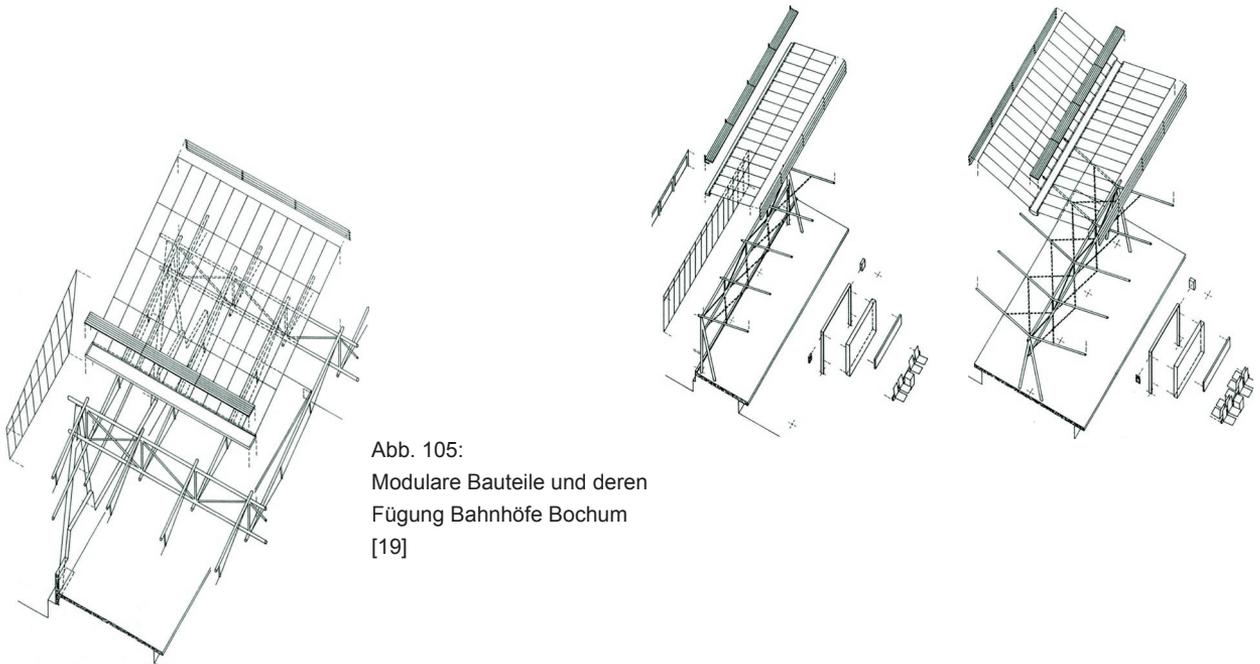


Abb. 105:  
Modulare Bauteile und deren  
Fügung Bahnhöfe Bochum  
[19]

## 9.2 Vorgaben und Bedingungen zu Lösungen individueller Entwürfe und Bauten

Zum Entwurf individueller Tragwerke mit Steckknoten gibt es zwei Entwurfsansätze, die als Empfehlung den Planungsablauf beschreiben.

**A:** Konzeption eines Tragwerks schon im Entwurf als Steckverbindungssystem abgestimmt auf die Architektur und die Montage.

**B:** Nach Entwurf des Bauwerks ist zu prüfen welches Verbindungssystem zu der Konstruktion und den Montagebedingungen paßt.

Beide Entwurfsansätze haben das Ziel, eine Konstruktion zu planen und zu erstellen, die die Anforderung an Funktion und die Montage erfüllt. Eine Steckverbindung entsteht nicht aus Zufall. Sie muß in das statische Konstruktionssystem passen. Sie sollte so selbstverständlich wie alle übrigen Verbindungsarten angewandt werden.

Die Baukosten sind heute konstruktionsentscheidend und entwerfsbestimmend. Da die Montagekosten den überwiegenden Anteil der Baukosten ausmachen, müssen diese reduziert und die Baustellenmontage verbessert und beschleunigt werden. Dies kann vor allem durch den Einsatz von bereits zugelassenen Steckverbindungssystemen mit Typenstatik erreicht werden.

Ein ganzheitlicher Entwurf eines Bauwerkes muss unter Berücksichtigung des Tragsystems, der Funktion, der Architektur, der Gestalt und der Montagevorgaben erfolgen. Das bewusste Vorgehen nach diesen Planungsschritten führt zu einer flexiblen, schlüssigen und funktionalen Architektur, die allen Ansprüchen an Ausbau und Montage gerecht wird.

Durch den Einsatz von Steckkonstruktionen wird die Montageverbindung der Tragwerkssteile im Verhältniss zu einer konventionellen Verbindung einfacher. Die Montagezeit wird bei einer detaillierten und strukturierten Planung nach den beiden ausgeführten Entwurfsansätzen reduziert.

Durch die Planungssystematik des **Entwurfsansatzes A** sind mit rechtzeitigem, integriertem Planen und Entwerfen von Tragwerken und Gebäuden serielle und bereits verwendete Steckknoten einsetzbar.

Der **Entwurfsansatz B** geht davon aus, dass für ein Bauwerk, das nach architektonischen, gestalterischen und funktionalen Aspekten entworfen wurde, ein Tragwerk zu konstruieren ist, das unter Berücksichtigung von Montagezwängen und Grundstücks- und Umfeldbedingungen zu dem architektonischen Konzept passt. Diese Tragwerke erfordern individuelle statische Lösungen. Meist müssen individuelle Steckverbindungen für diese Konstruktion entwickelt werden. Für diese Bauwerke gelten die gleichen Montage- und Ausbavorteile.

## **Beim Vorgehen nach Entwurfsansatz A sind folgende Punkte zu berücksichtigen**

### **Architektur**

- welches architektonische Konzept wird verfolgt
- sollen die Anschlüsse als Gestaltungsmerkmal sichtbar bleiben / Anschlussart
- welcher Anspruch wird an die Oberfläche der Konstruktion und die Anschlüsse gestellt (soll z.B. die Oberfläche der Konstruktion vor der Montage den Endanstrich erhalten)

### **Funktion / Anforderungen**

- erfüllt das Tragwerk die Funktion
- sind nachträgliche Erweiterungen geplant
- sind nachträgliche Umbauten zu erwarten
- ist spätere Demontage oder Umsetzen geplant oder nicht auszuschließen

### **statisches System**

- passt das Tragwerk zur Architektur
- welches statische System wurde gewählt
- ist das statische System durchgängig ausgebildet
- sind alle Tragwerkselemente und Anschlüsse gleich ausgebildet

### **Verbindungselement**

- welche statischen /dynamischen Kräfte sind zu erwarten
- treten an den Verbindungspunkten die gleichen statischen und dynamischen Kräfte auf
- sind die Verbindungselemente / -knoten gleich
- sind die Knoten als Gussserienteile zu fertigen

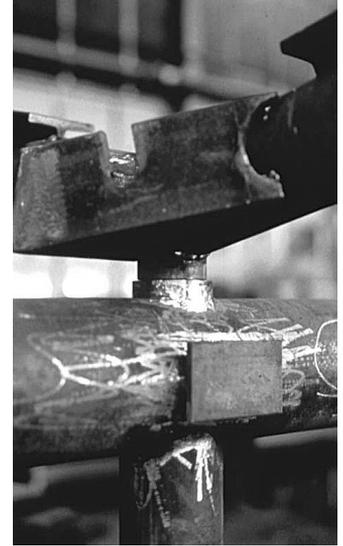
### **Montage und Montagebedingungen**

- wie sieht der Montageablauf aus
- welche Baustellenbedingungen bestehen (Montagefläche, Kranstellung )
- welche Auflagen sind zu berücksichtigen
- sind die Anschlüsse selbstjustierend  
sind zus.Verbindungselemente notwendig

### **Ausbau**

- welcher Ausbau ist geplant
- welche Genauigkeit erfordern die Folgegewerke
- bleibt das komplette Tragwerk im Ausbau sichtbar

Abb.106:  
Montage der Steckverbin-  
dung Bahnhof Universität  
Bochum [Fotos Ravenstein]



### 9.3 Vorteile beim Einsatz gesteckter Konstruktionen im Vergleich zu konventionellen Verbindungen

Abb.107:

Zeitvergleich gesteckter- zu geschraubter Verbindung [Erstellt in Zusammenarbeit mit der Stahlbaufirma Niemann und Hoffmann H. Feil und B. Heukelbach]

Beide Verbindungsarten sind grundsätzlich technisch ausgereift und für alle Bauvorhaben einsetzbar. Die Wahl der Verbindung hängt weitgehend von den jeweiligen individuellen Anforderungen aus der Architektur, örtlichen Bedingungen der Baustelle, Zeitvorgaben und Zwängen bei der Montage und eventuell vorhersehbaren Demontage ab. Es sollen daher bei jedem Bauvorhaben die trotz etwas höheren Fertigungskosten zweifelsfrei bestehenden Vorteile der Steckknotenverbindungen in den folgenden Projektablaufschritten untersucht und abgewogen werden:

Ablaufschritte	BAT	BAT	Bhf Bo	Bhf Bo	Lindenberg	Lindenberg	mitl. Wert	mitl. Wert
	Zeitanteile gesteckte Konstruktion	Zeitanteile geschraubte Konstruktion						
1 Planung	2,5	2	2,5	2	2	2	2	2
2 Statik	1,5	1	2,5	2	2	1	2	1
3 Aufmass	1	1	1,5	1	1	1	1	1
4 Werkstattfertigung 1 Platten brennen	1	1	1	1	1	1	1	1
5 Werkstattfertigung 2 Platten + Verb.	1	1	1,5	1	1	1	1	1
6 Werkstattfertigung 3 anschw. Platten	1,5	1	2	1	1,5	1	2	1
7 Korrosionsschutz	2	2	3	2	2	2	2	2
8 Passversuche	1	0	1	0	1	0	1	0
9 Baustelleneinrichtung	2	3	1	1	1	1	1	2
10 Materialzusammenstellung	0,5	1,5	0	1,5	0,5	1,5	0	2
11 Materialanlieferung	1	1,5	1	1,5	1	1	1	1
12 Anriss	1	1	1	1	1	1	1	1
13 Vormontage	1	1	1	1	1	1	1	1
14 Kranaufwand	1	2	1	1,5	1	1,5	1	2
15 Richten / Einhängen / Verschrauben	3	5	3	6	3	5	3	5
16 Ausrichten / Fixieren / verguss	1	2	1	1,5	1	2	1	2
17 Nachbessern	1	1	1	1,5	1	1	1	1
18 Genauigkeit Ausbau	1	1	1	1	1	1,5	1	1
	24	28	26	27,5	23	25,5	24	27

## **Gesteckte Konstruktionen**

### **Planung und Werkstattfertigung**

Voraussetzung ist eine exakte, detaillierte Planung und Fertigung mit geringen Maßtoleranzen zum Teil sind Passversuche und Vormontagen erforderlich. Durch Schweißen und Verzinken entstandene Verformungen müssen vor der Montage gerichtet werden.

### **Korrosionsschutz**

Bei der Verwendung von an den Enden geschlossenen Hohlprofilen ist eine Verzinkung nicht notwendig. Der Korrosionsschutz ist durch eine Außengrundierung gewährleistet, Nässe kann in die Profile nicht eindringen; der Profilhohlkörper korrodiert im Innern nur solange, bis der Sauerstoff verbraucht ist. Die Steckverbindungen sind an die Profile geschweißt, Bohrlöcher für die Befestigung mit Schrauben oder Bolzen sind nicht erforderlich.

### **Statik**

Die Entwicklung neuer Anschlußsysteme erfordert andere statische Denkansätze und Nachweise. Es gibt bereits Steckanschlüsse mit Typenstatiken, die für zahlreiche Konstruktionen einsetzbar sind. Aus der Tabelle des Absatzes 8 können Steckverbindungen wie Regelanschlüsse ausgewählt werden.

### **Montage**

Die meisten Steckanschlüsse sind selbstjustierend, das heißt, dass nach dem Ineinanderstecken oder Einheben der Tragwerksteile in ihre Verbindungsknoten eine kraftübertragende Verbindung besteht und zeitaufwendiges Einsetzen von Verbindungsmitteln entfällt. Die Konstruktionen sind deshalb schnell zu montieren. Es sind nur wenige Montagebewegungen erforderlich. Sie können vor der Montage endbeschichtet mit Korrosionsschutz und Deckanstrichen auf die Baustelle transportiert werden. Die Standzeiten sind gering, es entstehen niedrigere Montagekosten. Durch geringe Bautoleranzen gesteckter Konstruktionen ist der Ausgleichsaufwand für Folgewerke gering.

## **Geschraubte Konstruktionen**

### **Planung und Werkstattfertigung**

Bei diesen Konstruktionen bestehen Ausgleichsmöglichkeiten für Fertigungstoleranzen durch die Anlage von Langlöchern bzw. den Einsatz von Ausgleichplatten und Unterlegkeilen.

Verformungen werden zum Teil auf der Baustelle nachgerichtet (siehe auch Montage).

### **Korrosionsschutz**

Hohlprofile müssen innen und aussen korrosionsschutz geschützt werden, da nicht zu gewährleisten ist, dass die Montage und Bohrlöcher nach dem Einsatz der Verbindungsmittel, wie Schrauben und Bolzen wieder feuchtigkeitsdicht verschlossen werden können.

### **Statik**

In dem statischen Nachweisverfahren dieser Konstruktionen sind die erforderlichen Schrauben der Montagestöße nachzuweisen. Typenstatiken der Anschlüsse existieren nicht.

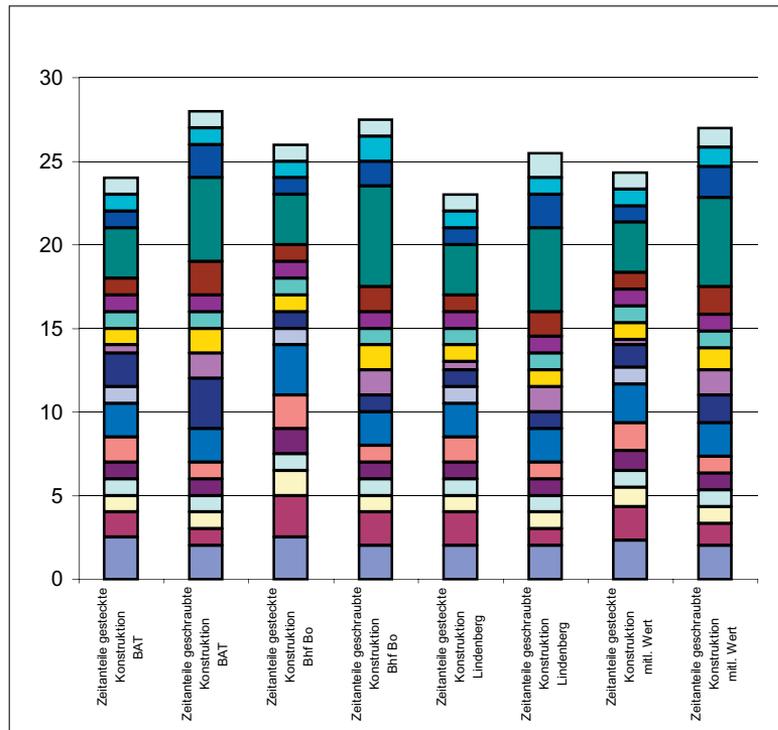
Aus Tabellen können Regelanschlüsse für geschraubte Konstruktionen ausgewählt werden.

### **Montage**

Die Konstruktionen haben durch viele Montagebewegungen, zahlreiche Schraubverbindungen und einen grösseren Richtaufwand höhere Montagekosten als gesteckte Konstruktionen. Die Tragwerksoberfläche wird stark beansprucht.

Die Stahlteile erhalten deshalb vor der Montage lediglich Korrosionsschutz und erste Grundanstriche, erst nach der Montage und dem Richten wird der Deckanstrich aufgebracht.

Abb. 108:  
 Zeitvergleich gesteckter zu  
 geschraubten Verbindungen  
 [Erstellt in Zusammenarbeit  
 mit der Stahlbaufirma Nie-  
 mann und Hoffmann H. Feil  
 und B. Heukelbach]



## Ergebnis

Die gesteckten Konstruktionen haben nach den aus 4 im Vergleich angesetzten Konstruktionen mit ihren ermittelten Zeitannteilen erhebliche Montagevorteile. Dies liegt einerseits in der geringen Zahl der notwendigen Verbindungsmittel und der großen Anzahl von gleichen Tragwerksteilen und der damit verbundenen Unverwechselbarkeit der Bauteile. Dies führt zu einer Beschleunigung der Montage.

**Die entscheidenden Vorteile von gesteckten- zu geschraubten Konstruktionen sind :**

- geringerer Montageaufwand
- geringere Vorhaltekosten für Gerüste und Kräne
- geringerer Montageplatzbedarf  
(Montage direkt vom Transportgerät)
- geringerer Einsatz von Montagehilfen
- geringerer Verbindungsaufwand durch selbstjustierende Steckknoten
- schnellere Montage
- geringe Anzahl von Verbindungsmitteln
- Unverwechselbarkeit der Bauteile
- exakte Konstruktion, kein Nacharbeiten erforderlich
- durch wenige Montagebewegungen geringere Zerstörung der Konstruktionsoberfläche und der Beschichtung
- geringerer Ausgleichsaufwand für Folgegewerke exakterer und schneller Ausbau
- Nacharbeiten sind nicht erforderlich
- Demontage oder Versetzen ist möglich
- Korrosionsschutz im Innern der Hohlprofilen nicht erforderlich

## 10 **Schlußfolgerung:**

Höherer Planungs und Fertigungsaufwand mit den damit verbundenen Kosten werden durch eine schnellere Baustellenmontage wieder ausgeglichen. Montagestunden auf Baustellen haben einen höheren Kostenansatz als die der Werkstattfertigung. Gesteckte Konstruktionen werden gegenüber geschraubten Konstruktionen preiswerter erstellt, wenn Steckknoten als Fertigteilelemente mit Typenstatiken zu erwerben sind.

Bei der Planung neuer Projekte sollten Vergleiche zwischen unterschiedlichen Konstruktions- und Verbindungssystemen angestellt werden. Die Auswertungen über Montagebedingungen und Montagezeitvorteile sind wettbewerbsbestimmend. Die ausgeführten Bahnhofsbauwerke für die Stadtbahn in Bochum zeigen wie effizient und architektonisch anspruchsvoll Steckanschlüsse eingesetzt werden können.

Die Montagezeit für das Hauptbauwerk Bahnhof Universität wurde von ca. 3 Wochen Stahlbaumontage auf die Hälfte der Zeit reduziert. Dieser Montagekostenvorteil kann zwar nicht bei jeder Konstruktion erreicht werden, ist aber wie die Zeitvergleichstabelle zwischen gesteckter und geschraubter Konstruktionen zeigt, entscheidend. Im Vergleich von Werksvorfertigung zu Montagezeiten liegen die anteiligen Lohnkosten der Montage höher als die Stundensätze in der Produktion.

Die Weiterentwicklung von Verbindungselementen in Tragkonstruktionen steht in Verbindung zur Entwicklung neuer Materialien und deren statischen Eigenschaften., (Gussträger mit Nietverbindungen oder Walzträger mit Schrauben). Die jeweiligen Verbindungen entstanden und entstehen aus neuen Ansprüchen an Konstruktion, sichere Montage und Weiterentwicklung von Materialien meist aus dem Maschinenbau.

Die heutigen Ansprüche fordern Entwicklungen zur Verringerung der Montagezeiten, Verminderung der Anschlußpunkte und Anschlussteile, statische Maximalauslastung der Baustoffe, Verwendung von hochwertigen Materialien im Tragwerk und in den Verbindungen.

Durch die Weiterentwicklung der EDV- Rechensysteme sind statische Nachweise für Konstruktionen in jedem Knotenpunkt räumlich zu erstellen. Die statisch erforderlichen Materialeigenschaften können aus einer Vielzahl von Werkstoffen ausgewählt werden. Eine Weiterentwicklung der Schraubverbindung zu Konstruktionsanschlüssen als „Gesteckte Verbindungen“ sind zur Verringerung der Baukosten dringend erforderlich.

## 11 Literaturnachweis

- [1] Walochnik ,W., Reyer E, Kleinschmidt E, :  
Bauwerksplanung  
Rolf Müller 1990, ISBN 3- 481-00264-5
- [2] Ackermann, K. :  
Industriebau  
Institut für Entwerfen und Konstruieren  
Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart 1984  
ISBN 3-421-02828-1
- [3] Polonyi', S. :  
Mit zaghafter Konsequenz  
Viewegverlag ISBN 3- 528-08781-1
- [4] Polonyi', S. :  
Über das Tektonische in der Baukunst  
Viewegverlag ISBN 3- 528-08862-1
- [5] Hütsch, V. :  
Der Münchner Glaspalast 1854 - 1931  
Ernst und Sohn 1985 ISBN 3- 433-02026-4
- [6] Friemert, C. :  
Die gläserne Arche Kristallpalast 1841 - 1854  
Prestelverlag 1984 ISBN 3- 7913-0675-8
- [7] Graefe, R. :  
Zur Geschichte des Konstruierens  
Deutsche Verlagsanstalt  
1989 ISBN 3- 421-02958
- [8] Otto, F. :  
Das hängende Dach 1954  
Bauweltverlag ISBN 3- 364-00198-7

- [9] Möhler, K., Meickl, G. :  
Holzbau Atlas 1978  
Institut für Internationale Architektur  
Dokumentation München
- [10] Schmiedel, Kh. u. 11 Mitautoren :  
Bauen mit Stahl  
expert Verlag  
ISBN 3-8169-0952-3
- [11] Bauberatung Stahl :  
neue Wege im Stahl- und Verbundbau 1./91  
Verbundstützen die wirtschaftliche Alternative  
Bauberatung Stahl  
Breite Straße 69 Düsseldorf
- [12] Schulitz, H. C. :  
Industriearchitektur in Europa  
Quadroverlag 1986 ISBN 3- 924037-05-1
- [13] Vogt, A. M. , :  
Architektur 1940 - 1980  
Ullsteinverlag 1980 ISBN 3- 549-05821-7
- [14] Pelham, D. :  
Buch der Drachen 1976  
Dumont Verlag Köln ISBN
- [15] Stahl im Hochbau :  
13. Auflage  
Verlag Stahleisen MBH, Düsseldorf
- [16] Geest, u. van Delft, J. :  
Jean Prouvé Möbel  
Taschen 1991 ISBN 3- 8228-9751-5

- [17] Reti, L.. :  
Leonardo Forscher - Künstler - Magier  
Lexikographisches Institut 1990
- [18] Mengringhaus, M. :  
Komposition im Raum  
ISBN 3-570-01625-0
- [19] Reichardt, J. -. Heukelbach, B. :  
Glasforum 3.94 Stadtbahn U 35 in Bochum  
Karl Hoffman Verlag
- [20] Stahl und Form, :  
Beratungsstelle Stahlverwendung  
Eislaufhalle Olympiapark München Centre National  
d'Art et de Culture Georges Pomidou  
Meiler Druck und Verlag 1980/1983
- [21] Building with British Steel No. 2 :  
Buckway Printing England 1992
- [22] Reichardt, J. - Heukelbach, B. :  
Stahlbau 3 März 1994  
Entwurfsplanung einer Montagefabrik  
für Dieselmotoren KHD  
Ernst und Sohn 1994 ISSN 0038-9145
- [23] Meyers großes Taschenlexikon 24. Bände :  
3.1 Taschenbuchverlag  
ISBN 3-411-02909-
- [24] Rühle, H. -Kühn, E. -Weißbach, K. -Zeidler, D. :  
Räumliche Dachtragwerke  
Konstruktion und Ausführung  
Verlagsges. Rudolf Müller Köln Braunfels  
ISBN

- [25] Glasbau Seele GmbH :  
Der Gläserne Himmel  
Veröffentlichung 1995 der Firma  
8906 Gersterhofen
- [26] KEBA Stahlbausystem / Raumfachwerk :  
Werksheft vom 1.1.1995  
AGO Arn. Georg AG 56506 Neuwied
- [27] Tweer Gießerunternehmen :  
Werksheft 1995  
Reinhart Tweer GmbH 33689 Bielefeld
- [28] Böllhoff Verschlüsse :  
Werksheft 1995, Böllhoff
- [29] Wachsmann, K. :  
Wendepunkt im Bauen  
Deutsche Verlagsanstalt  
ISBN 3-421-02945-9
- [30] Huster, F. - Idelberger, :  
Stecksystem aus nur drei Bauteilen  
Artikel in acier stahl steel 2/1978  
C.B.L.I.A. 31.10-32.3
- [31] Byzanz / Mango, C. :  
Weltgeschichte der Architektur  
Deutsche Verlagsanstalt / 1986  
ISBN 3-421 02856-7
- [32] Müller, R.:  
Arcus 18  
Architektur und Wissenschaft  
zum Werk von Felix Candela  
ISBN 3-481-00489-3

[33] Staba Verbindungssysteme :

Bauteilkatalog  
Zugankersysteme

[34] Troitzsch, - Weber, :

Die Technik von den Anfängen  
bis zur Gegenwart  
Westermann Braunschweig  
ISBN 3-14-509012-7

[35] Hine, L. W. :

Men at work  
Dover Publications New York 10014

[36] Koncz,

Handbuch der Fertigteilbauweise  
Rud. Bechthold & Comp. Wiesbaden  
ISBN 3-7625-0416-4

[37] Himmel, E. - Luykx, D. :

Bridges  
1989 Abrams New York  
ISBN 0-8109-1239-2

[38] Programmillustrierte des Circus Roncali :

Programm 1990 / Köln

Programmillustrierte des Circus K. Althoff :

Programm 1972

[39] Benisch und Partner :

1952- 1992  
Verlag Gerd Hadje Stuttgart  
ISBN 3-7757-0371-3

- [40] IPP Polonyi', S. :  
Archiv und Forschung  
Hohenzollernring / Goldsteinstrasse  
Köln
- [41] Assco Fassadengerüste GmbH Steigers :  
Niederlande Postbus 28 3454 pp  
De MeernHolland
- [42] Werner, F. Seidel, J. :  
Der Eisenbau  
Verlag für Bauwesen / Berlin - München  
ISBN 3-345-00466-6
- (44) Wachsmann, K. :  
Vom Sinn des Details zum  
Gesamtwerk von Konrad Wachsmann  
Arcus 3 / 1988 ISBN 3 - 481-00501-6
- (45) Betschart, A.P. :  
Neue Gusskonstruktionen in der Architektur  
Veröffentlichung des Entwicklungsinstitutes  
für Gießerei - und Bautechnik Stuttgart  
G.Ad. Stehn s Verlag und Buchhandlung  
ISBN 3-87779-038-0
- (46) Rüter, E. :  
Bauen mit Stahl  
Kreative Lösungen praktisch umgesetzt  
Springer Verlag Berlin ISBN 3-540-61543-1
- (47) Polonyi', S. :  
Bauwelt 1961 Heft 29  
Konstruktionsspiele  
Bertelsmann Verlag GmbH Berlin

## 12 Abbildungsnachweis

### 2 Entwicklungsgeschichte

- Abb.1: Arbeitsgeräte zur Feuersteinbearbeitung ca. 3000 v.Chr.  
[Troitzsch, Weber „die Technik von den Anfängen bis zur Gegenwart“] [34]
- Abb.2: Parthenon Athen Decken / Balkenkonstruktion ca. 447 n. Chr.  
(nach Heid) [Graefe „zur Geschichte des Konstruierens“] [7]
- Abb.3: Zeichnung Leonardos Codex Madrid 1 „das ist das Verfahren ein Holzstück in ein anderes zu schieben, so daß man es nie aus seiner Höhlung ziehen kann“  
[Reti Leonardo Forscher-Künstler-Magier“] [17]
- Abb.4: Zeichnung Leonardos aus Codex Madrid 1 Verbindung von Holzstückchen [Reti Leonardo Forscher-Künstler-Magier“] [17]
- Abb.5: Zugbandausbildung im Mauerwerksbogen Padua Palazzo della Ragione, Umgang Obergeschoß  
[Graefe „zur Geschichte des Konstruierens“] [7]
- Abb.6: Nachträglich eingezogenen Zugstäbe in der Hagia Sophia in Konstantinopel [Mango „Weltgeschichte der Architektur“ Byzanz] [31]
- Abb.7: Gusseisernes Skelett Detailpunkt des Rohrsteckknotens Stütze/Träger Twist Mill in Salford bei Manchester von Boulton, Watt und Lee [Ackermann „Industriebau“] [2]
- Abb.8: Glaspalastes 1851 zur Londoner Weltausstellung  
[Friedment „die gläserne Arche Kristallpalast 1841-1854“] [6]
- Abb.9: Verbindung Ringkonstruktion der Stützen / Nasenverstärkungen an Ober- und Untergurt der Träger [Friedment „die gläserne Arche Kristallpalast 1841-1854“] [6]

- Abb. 10: Ausbildungen der Zwischenlager Glaspalast London  
[Friedment „die gläserne Arche Kristallpalast 1841-1854“] [6]
- Abb. 11: Glaspalast London Rahmenkonstruktion eines mit vertikaler Ver-  
spannung zwischen den Säulen [Friedment „die gläserne Arche  
Kristallpalast 1841-1854“] [6]
- Abb. 12: Münchner Kristallpalast von Südosten  
[Volker Hütsch Der Münchner Glaspalast 1854 - 1931] [5]
- Abb. 13: Drachenkonstruktion von Dr. Alexander Graham Bell mit tetrae-  
dischen Zellen 1902 [Pelham „Buch der Drachen“] [14]
- Abb. 14: 1 räumlicher Standardknotenpunkt zur Stabverbindung der Flug  
drachenkonstruktionen [Rühle „Räumliche Tragwerke“] [24]  
2 - 4 Aufbau der Drachenkonstruktionen als aufgelöste räumliche  
Stahlrohrkonstruktionen mit universellem Knotenpunkt  
5 Skizzen A. G. Bell Konstruktionsidee zu aufgelösten räumlichen  
Konstruktionen [Wachsmann „Wendepunkt im Bauen“] [29]
- Abb. 15: 1 Konstruktionsschnitt zur Stabwerkskuppel für die Fa. Schott  
Jena (Bauersfeld, Dischinger, Dyckerhoff u. Widmann)  
2 Knotendetail Längs und Querschnitt [Müller „Architektur und  
Wissenschaft zum Werk von Felix Candela“] [32]
- Abb. 16: Detailanschluss / Aufbau der „geodätischen Kuppel“ von  
R. Buckminster Fuller 1954 [Vogt „Architektur 1940 - 1980“] [13]
- Abb. 17: „General Panel System“ Standardteile Metallanschlüsse der  
Bauplatten / die Keile zur Befestigung in den Schlitzen  
der Holzrahmen und ihre Position nach dem Zusammenbau C.  
Wachsmann [Wachsmann „Wendepunkt im Bauen“] [29]

- Abb.18: Mobilar Struktur“ 1 Knoten von oben, 2 von der Seite und 3 unten und 4 Isometrie Systemknoten C. Wachsmann [Wachsmann „Wendepunkt im Bauen] [29]
- Abb.19: Anschlußteile des Konstruktionssystems für Hallen 1 Anschweißteil für Rohrdiagonalen, 2 Kettenglieder / 3 Fixierteil [Wachsmann „Wendepunkt im Bauen] [29]
- Abb.20: Knotenpunkt mit Verbindungskeil 1 von oben 2 von unten 3 angeschw. Element an Tragrohr und Diagonalen C. Wachsmann [Wachsmann“Wendepunkt im Bauen] [29]
- Abb.21: Rohrverbindung die den Zusammenbau von unbegrenzten Rohrlängen ermöglicht C. Wachsmann 1 Ansicht 2 Schnitt 3 Foto [Wachmann „Wendepunkt im Bauen] [29]

### 3 Definitionen / Erläuterungen

- Abb.22: Modulares Baukastensystem / Stützen, Unterzüge, Träger [Prof. Akkermann „Industriebau“] [2]
- Abb 23 Baustruktur der modularen Fabrik Konzeptplanung für das neue Montagewerk KHD in Köln [Reichardt Heukelbach Stahlbau3 1994 Entwurfsplanung Montagefabrik für Dieselmotoren] [22]

### 4 Voraussetzungen

- Abb.24: Mikroskopische Aufnahme Gefügeausbildung verschiedener Guss-eisensorten (150 fach vergrößert) 1 Gusseisen / Grauguss mit Lamellengraphit, 2 Sphäroguss, 3 Hartguss, 4 weißer Temperguß (zu sehen sind die Grafitgefüge im Guß je geringer der Kohlenstoffanteil ist um so höher ist die Festigkeit) [Meyers großes Taschenlexikon] [23]
- Abb.25: Gußeisendiagramm (Maurer - Diagramm) für 30 mm Proben zu C. - und Si- Gehalt der Gußeisensorten mit Festigkeit und Schweißbarkeit [Meyers großes Taschenlexikon] [23]

Abb.26: Gieß und Kühlstrecke für Gußteile [Firma Tweer  
Gießunternehmen „Werkheft 1995“] [27]

Abb.27: Steckknoten Bahnhöfe Bochum als Stahldrehteil aus V2A  
[Reichardt, Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U 35“] [19]

## **5 Auflistung der Steckverbindungen nach ihrer statischen Funktion**

Abb.28: Stahlrahmnekonstruktion Bahnhöfe Bochum Lage der Steck-  
knotenanschlüsse im zweidimensionalen Tragwerk [Reichardt,  
Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U35 in Bochum“] [19]

Abb.29: Rohrsteckverbindungen im Stabwerk [Polonyi´, Reichardt,  
Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U35 in Bochum“] [19]

Abb.30: Steckverbindung von Rohren in der Zugzone des Stabwerks der  
Bahnhöfe Bochum [Polonyi´, Reichardt, Heukelbach Glasforum  
3.94 „Stadtbahn U35 in Bochum“] [19]

Abb.31 Stabankerverbindungen mit Steckbolzenverbindung  
[Staba Ankerverbindungen] [39]

Abb.32: Montagestoss im Untergurt eines Walzprofilträgers mit  
Zugkraftübertragung [Prof. St. Polonyi´ / B. Heukelbach]

Abb.33: Pylonkopf als Gußformteil mit Rundstahlösen zur Zugkraft-  
übertragung [Schmiedel „Bauen mit Stahl“] [10] [45]

Abb.34: Studie Pylonkopf als Gußformteil mit konisch geformten  
Einhängeköpfen der Zugstäbe zur Zugkraftübertragung [Schmie-  
del „Bauen mit Stahl“] [10] [A.P. Betschart „Neue Gußkonstruktionen  
in der Architektur“] [45]

Abb. 35: Pylonkopf als Gußformteil mit konischen Eihängeköpfen der Zug-  
stäbe [Schmiedel „Bauen mit Stahl“] [10]

- Abb.36: Steck- Einschubverbindung von Druck- bzw. Zugdiagonalen eines Fachwerkbinders [IPP Prof. Polonyi´ ] [40]
- Abb. 37: Montagestoß für überlange Fachwerkbinders [Entwicklung Prof. St. Polonyi´ / B. Heukelbach] [40]
- Abb. 38 Stütze und Träger als Gussformteil mit Verzahnung als Biegestoß [Schmiedel „Bauen mit Stahl“] {10}
- Abb.39: Anschluß mit gelenkiger Lagerung / Kugel in Kreuzrippe gefaßt [Schmiedel „Bauen mit Stahl“] [10]
- Abb 40: Steckverbindung Anschluß Stütze / Binder Obergurt Bahnhöfe Bochum [Reichardt, Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U35 Bochum“] [19]
- Abb. 41 Steckverbindung untergehängter Anschluß Pfette / Binder Untergurt Bahnhöfe Bochum [Reichardt, Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U35 in Bochum“] [19]
- Abb.42: Steckverbindung aufgesteckter Anschluß Pfette / Binder Untergurt Bahnhöfe Bochum [Reichardt, Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U35 in Bochum“] [19]
- Abb.43: konische Keilverbindung als Ringfederkeil in Hülse zum Abklemmen eines Seils mitten im Strang [Otto „das Hängende Dach“] [8]
- Abb.44: Gusssteckknoten aus zwei Halbschalen zur zug- und torsionsfesten Verbindung von Rohrstücken [Entwicklung Prof. Polonyi Produktion Firma Tweer Foto Tweer] [27]
- Abb.45: Stahlguss Steckverbindung für Rohre Prof. Polonyi´ [Entwicklung Prof. Polonyi´, / R. Wörzberger Produktion FirmaTweer] [27]
- Abb.46: Steckknoten in zusammengesetzte Tragwerksegmente [Entwicklung Prof. Polonyi´, / R. Wörzberger Produktion Firma Tweer] [27]

- Abb.47: Möbelsystem Compas“ von 1948, Jean Prouve`  
[Geest Jean Prouve` Möbel] [16]
- Abb.48: Raumfachwerk Systemknoten und Stäbe der Firma Mero [Meringhaus „Komposition im Raum“] [18]
- Abb.49: Montage des Rohrsteckknotens der Firma Glasbau Seele für ein leichtes Rohrtragwerk mit punktgelagerten Glasscheiben [Glasbau Seele „der gläserne Himmel“] [25]
- Abb.50: Raumtragwerk Triodetic - System Tragwerksausschnitt und Detail [Rühle „räumliche Dachtragwerke Konstruktion /Ausführung“] [24]
- Abb.51: Verbindungssystem für Raumfachwerke des Institutes für Industriebau [Rühle „räumliche Dachtragwerke Konstruktion und Ausführung“] [24] Zeichnung Systemknoten B. Heukelbach
- Abb. 52: Klemmknoten Anschlußdetail Stützenkopf Hauptbahnhof Köln  
1 Stütze, 2 ringförmige Verbindungsschelle, 3 Halbrahmen,  
4 Spanten Anschlussdetail im / 5 Rohrstück, 6 Deckelplatten,  
7 Halbrahmen, 8 Firstpfette, 9 Schraubverbindung [44]
- Abb..53: Verbindungssystem für Raumfachwerke der Firma AGO - Bau [KEBA Stahlbausystem / Raumfachwerk Werkheft 1.1.1995] [26]
- Abb. 54: Verbindungssystem für Raumfachwerke der Firma AGO - Bau [KEBA Stahlbausystem / Raumfachwerk Werkheft 1.1.1995] [26]
- Abb.55: Raumtragwerks Abstracta Systems Knotenpunkt als Knotenkreuz mit Kugelenden zur Konstruktion eines biegesteifen Anschlusses [Rühle „räumliche Dachtragwerke Konstruktion /Ausführung“] [24]
- Abb.56: Einfache Steckverbindung für Hallenrahmen mit Übertragung von Druck-, Zugkräften [Systemkonstruktion B. Heukelbach]

- Abb.57: Fachwerkbinder - Steckverbindung gelenkig an Betonstütze mit Stahleinbauten für Schulneubau [Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb. 58: Steckverbindung für Hohlprofil - Fachwerkbinder statisch gelenkig [Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.59: Steckknotenverbindung für die Bahnhöfe Bochum Explosionszeichnung und als montierte Verbindung [Reichardt , Heukelbach Glasforum 3.94 „ Stadtbahn U 35 Bochum“ ] [19]
- Abb.60: Tragwerksrahmen und Steckknoten Bahnhöfe Bochum [Reichardt, Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U35 Bochum“] [19]
- Abb.61: Verbindungsdetail / Tellerhalterung des Hallen tragwerks Delta Firma Rüther Stahlbau Dortmund [Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.62: Bodenvormontage des Hallentragwerks Delta Firma Rüther [Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.63: Montage des Hallentragwerks Delta Firma Rüther in Grosssegmenten für die Müllsortieranlage Iserlohn mit 25 m Spannweite [Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.64: Verbindungsdetail zum Hallentragwerk des Architekten Derek Walker für Industriehallen [Prof. Ackermann „Industriebau“ Institut für Entwerfen und Konstruieren] [2]
- Abb.65: Hallentragwerk Derek Walker für Industriehallen [Prof. Ackermann „Industriebau“ Institut für Entwerfen und Konstruieren] [2]
- Abb.66: Biegesteifer Anschluß für Hallenrahmen mit Gußhaken / Einhängelkonstruktion [Zeichnung und Entwicklung B. Heukelbach]
- Abb.67: Fachwerkträgerrostes mit Geschossdeckenplatten/ Scheibenwirkung zur horizontalen Aussteifung [Huster, Idelberger „Stecksystem aus nur drei Bauteilen“] [30]

- Abb.68: 1 Keilsteckverbindung Anschluß Stütze an den Fachwerkbinder  
2 Ausschnitt des feuerverzinkten Stahltragwerks mit Keilsteckknoten [Huster, Idelberger „Stecksystem aus nur drei Bauteilen“] [30]
- Abb.69: gelenkige Einhängeverbindung Träger / Stütze [B. Heukelbach ] /  
Möbelverbindungen Bettenbeschlag [Möller „Holzbauatlas „] [9]
- Abb.70: Einhängeverbindung Träger / Stütze [Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.71: Gelenkige Steckverbindung Parkhaus Dortmund Hohensyburg  
[Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.72: Biegesteife Trägersteckverbindung Systemzeichnung [Rüter  
Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.73: Biegesteife Trägersteckverbindung Brauerei Berlin [Rüter Bauen  
mit Stahl] [46]
- Abb.74: Verbindungsstoß Schnellbaugerippe für Geschoßbauten der  
Firma Mero , Stoß von zwei horizontalen Riegeln mit einer Stütze  
und Verbindung eines End- Riegels mit vertikalem Stützenstoß  
[Mengeringhausen „Komposition im Raum“] [18]
- Abb.75: Stahlkonstruktion der „Elementierten Skelettkonstruktion in Stahl“  
M. Michel, H. Renftle Stuttgart [Dokumentation Förderpreis des  
Deutschen Stahlbaues] [42]
- Abb.76: Rohrstabwerk System RRV Systemdetail und Musterknoten  
[Rüter Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.77: Fügetechnik KSV Keil - Steck- Verbindung  
[Rüte Bauen mit Stahl] [46]
- Abb.78: Wandkonstruktion Ofenschutzhalle KSV Verbindung  
[Rüter Bauen mit Stahl] [46]

Abb 79: Biegesteifer Anschluss für Geschossbauten mit Einhängebeschlag für Haupt- und Nebenträger Stahlverbund /Stahlbetonbau F 90 Feuerwiderstandsdauer [Entwicklung IPP Prof. Polonyi'] [40]

Abb.80: Einhängeknoten mit angesetzten konischen Kopfplatten in einer Verbundkonstruktion [Stahl und Form Beratungsstelle „Neue Wege im Stahlverbundbau“] [20]

Abb.81: Einhängeknoten mit angesetzten konischen Kopfplatten in einer Verbundkonstruktion [Stahl und Form Beratungsstelle „Neue Wege im Stahlverbundbau“] [20]

Abb. 82: Durchlaufwirkung im Trägerverbund / aufgehende Stütze [Stahl + Form Beratungsstelle „Neue Wege im Stahlverbundbau“] [20]

Abb.83: Bau - Gerüstsystem Alssco GMBH Keilsteckknoten zur Verbindung der Diagonalaussteifungen [ Gerüstbau Alssco 1996] [41]

Abb.84: Programmübersicht der modularen Bauteile des Gerüstsystems Alssco GMBH [Prospekt Gerüstbau Alssco 1996] [41]

Abb.85: Einhängemechanismus einer Tribünenkonstruktion im Zeltbau [Stahl und Form] [20]

Abb.86: Seileinhängungen am Trägermast  
[Entwicklung Ceno-Bau/ B. Heukelbach]

## **6 Statische Systeme , Versuche und Berechnungen**

Abb. 87: Aufgelöstes Stabtragwerk mit Segmentbogen mit Zugband / Dach über dem Théâtre français von 1786 mit 24m Spannweite [Graefe „zur Geschichte des Konstruierens“] [7]

Abb.88: Prüfungsgang für die Binder des Glaspalastes London von Paxton [Friedment „die gläserne Arche“] [6]

- Abb. 89: Erhitzen der Nieten und anschließendes Einschließen der Nieten beim Bau des Empire State Buildings [Hine „Men at Work“] [35]
- Abb.90: Tabelle über allgemeine Regelanschlüsse zwischen Trägern/ Stützen Schraubverbindungen [Stahl im Hochbau 13. Auflage] [15]
- Abb.91: Windkanalversuch mit Modell bei einer Anblasrichtung von 90° mit Staurohr zur Anzeige des Staudrucks durch Veränderung des Flüssigkeitsstandes, ca 20 Meßstellen sind erforderlich [Frei Otto „das hängende Dach“] [8]
- Abb.92: Baum mit biegesteif angeschlossenen Ästen / Raumtragwerk der Firma Mero [Meringhaus „Komposition im Raum“] [18]
- Abb.93: Computerauszug „Finite Elementmethode“ Darstellung der Stabwerkskräfte für das Tragwerk Bahnhöfe Bochum [Computerzeichnung und Berechnung Büro Prof. Polonyi´ mit selbst entwickeltem EDV System BASTA zur räumlichen Berechnung]
- Abb.94: CAD Darstellung der Stabführung des Tragwerks U.Bahn- Bahnsteig Dortmund Reinoldistraße Tragwerksplanung Prof. Polonyi´ / Architektur `Walter von Lom [Müller Arcus 18 ] [32]

## **7 Korrosionsschutz und Oberflächenbehandlungen mit stat. Wirkung**

- Abb. 95: Kerbkräfte im Schwalbenschwanz-Anschluß Fachwerkbinder/ Streben [ Entwicklung Prof. St. Polonyi´ / B. Heukelbach ]
- Abb.:96: Rohr mit Innenrohr eingesteckt in ein zweites zur Druckkraft übertragung, das Innenrohr kann auch ein Bolzen sein [Zeichnung / B. Heukelbach ]
- Abb.:97: Verstärkung der Reibung zwischen Kontaktflächen im Kranzbereich einer Steckverbindung durch Oberflächenvergrößerung [Zeichnung / B. Heukelbach ]

Abb.:98: Kraftübertragung in konische Bolzen-Steckverbindung mit Schraubensicherung (Fahrradpedalsicherung) zwischen Bauteilelementen mit Zugkraftbeanspruchung [Zeichnung / B. Heukelbach ]

Abb.:99: Kraftübertragung durch Reibung zwischen Bolzen und Verbindungsteil [Zeichnung / B. Heukelbach ]

## **9 Vergleich zwischen Steckanschlüssen und konvent. Anschlüssen**

Abb.100: Steckanschlussmontage Bahnhof Universität in Bochum [Reichardt/Heukelbach Glasforum 3.94 Stadtb.U 35 Bochum] [19]

Abb.101: Montage des Glaspalastes in London [Friedment „die gläserne Arche Kristallpalast 1841 - 1854] [6]

Abb. 102: Montage Stadtbahnhofs Universität Bochum (Foto Ravenstein) [Reichardt Heukelbach Glasforum 3.94 „Stadtbahn U 35] [19]

Abb.103: Tragsystem Bahnhofsüberdachung Hbf Köln Architektur Haberer / Busmann mit Prof. St. Polonyi [Walochnik Bauwerksplanung] [1]

Abb.104: Bahnhofsüberdachung Hauptbahnhof Köln Architektur Haberer / Busmann mit Prof. St. Polonyi [Walochnik Bauwerksplanung] [1]

Abb. 105: Modulare Bauteile und Fügung der Bahnhöfe Bochum [Reichardt Heukelbach Glasforum 3.94 Stadtbahn U 35 Bochum] [19]

Abb.106: Zusammenfügen der Steckverbindung Bahnhof Universität Bochum [Fotos Ravenstein]

Abb.107: Tabelle Zeitvergleich Gesteckter- zu Geschraubten Verbindungen [Niemann +Hoffmann H. Feil / B. Heukelbach ]

Abb.108: Diagramm Zeitvergleich Gesteckte- zu Geschraubten Verbindungen [ Niemann + Hoffmann H. Feil / B. Heukelbach ]

Einen herzlichen Dank

... meinem Doktor Vater  
Herrn Prof. Dr. h.c. Dr.-Ing. E.H. Dipl.-Ing. Stefan Polónyi  
für die Überlassung des Themas, die hilfreiche Unterstützung,  
die kreativen und anregenden Gespräche und die Ausdauer

... Herrn Prof. Dipl.-Ing. Helge Bofinger  
für die freundliche Übernahme des Korreferates

.... meinem Vater  
für die tatkräftige Unterstützung

