

System 180 GmbH

Ernst-Augustin-Straße 3
12489 Berlin

Dipl.-Ing (Arch) Andreas Stadler,
Geschäftsführer
stadler@system180.com

Alexander Prickel, Christopher Spruch
Technische Leitung
spruch@system180.com

mit

Prof. Jürg Steiner, Architekt BDA
Heerstraße 97, 14055 Berlin
juerg@steiner.archi

erstellt Dezember 2017
Erstveröffentlichung: 15. Januar 2018
Ergänzungen Seiten 11 und 32,
3. September 2018
Zusätzliche Seiten 38 und 39, 9. November
2018
Ergänzende Seiten 40 bis 48, 20. November
2018
Komprimierung 22. November 2018
Änderungen Seiten 5, 33 und 34,
11. Februar 2019
Ergebnisse der Versuchsreihe vom 11. Februar
2020 eingefügt am 11. Februar 2021
Korrekturen 7. Mai 2021

Broschüre: steiner.archi

System 180

**Zusammenstellung
für die Erlangung einer
bauaufsichtlichen Zulassung**

Inhaltsverzeichnis

Seite 3	Konzeption zur Erlangung einer Zulassung
Seite 7	Historische Entwicklungsmomente
Seite 10	Gutachterliche Stellungnahme Prof. Dr.-Ing. Scheer
Seite 20	Komponenten und Herleitung
Seite 22	Die Elemente des <i>System 180</i>
Seite 24	Versuchsreihe verschiedener Rohrenden und -konfigurationen vom 28. August 1990
Seite 29	Gutachterliche Stellungnahme zur Lochleibungstragfähigkeit der genoppten Stammenden der Rohrfachwerkträger nach Bauweise <i>System 180</i> vom 26. Januar 1995
Seite 36	Untersuchungen zum Lochleibungstragvermögen der Knotenverbindung des Fachwerkträger- <i>Systems 180</i> vom 26. Januar 1995
Seite 47	Brief an das Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig vom 7. Dezember 1994 mit Dokumentation des Eigenversuchs der Rahmenwirkung um die Schraubenachse
Seite 48	Eigenversuch zur Noppenwirkung bei Geländern
Seite 52	Großbauwerke
Seite 54	Visionen
Seite 56	Vorschläge für Prüfkörper in vielen möglichen Konfigurationen vom 1. Juni 2001
Seite 58	Brücke aus <i>System 180</i>
Seite 60	Statisches System für Prüfkörper
Seite 62	Versuchsreihe bei der SLV Berlin mit ausgesuchten Prüfkörpern
Seite 76	Fazit



System 180

Konzeption für die Erlangung einer bauaufsichtlichen Zulassung

Vorbemerkung

Das *System 180* ist ein modulares Bausystem aus Stahlrohren. Seine Besonderheit besteht darin, dass es sich sowohl im Ingenieurbau als auch beim Innenausbau oder für Möbel verwenden lässt: Geodätische Strukturen, Messestände, Dächer, Treppen, Arbeitswelten, Regale, Tische, Betten ... – alles entsteht mit *System 180* nach gleichen Grundprinzipien und mit übersichtlichen Bestandteilen. Konstruktionen aus *System 180* können beliebig oft demontiert, umgebaut und neu konfiguriert werden, ohne dass ihre Stabilität oder Hochwertigkeit darunter leiden würden. Obwohl aus Einzelstäben zusammengefügt, benötigt das *System 180* keinen eigentlichen Knoten – alle Stabenden vereinigen sich zu einer Einheit.

Systemkomponenten

Das *System 180* setzt sich aus fünf aufeinander angepassten Bauelementen zusammen:

Gerade

Rohr mit zwei flachgepressten Enden. In den quadratischen Platten der Rohrenden befinden sich jeweils eine Bohrung mit einem Randabstand vom doppelten Bohrungsdurchmesser und vier Noppen, deren Außenwölbung in die Innenwölbung formschlüssig passt. Die Gerade ist der Grundstab des Systems.

Mutternstab (Pfosten)

Rohr mit gleichem Durchmesser wie die Gerade. In den Rohrenden sind metrische Gewindestücke eingepresst, bei größeren Durchmesser eingeschweißt. Der Mutternstab wird ausschließlich



▲ Abbildung Umschlagseite: Vorbau vor der Großen Orangerie des Schlosses Charlottenburg, Berlin, 2001.

◀ ▲ Vorbau vor der Großen Orangerie des Schlosses Charlottenburg, Berlin, 2001.

◀ ◀ Gaststättenerweiterung auf Gut Sarnow, Schorfheide (Brandenburg), 1994.
Foto: Idris Kolodziej

◀ Vordach vor dem Museum am Ostwall, Dortmund, 1994.

für die Übertragung von Druckkräften eingesetzt. Bei einzelnen geometrischen Konfigurationen können anstelle von Mutterstäben Muttern eingesetzt werden.

Diagonale

Bei vielen Konstruktionen aus *System 180* werden Diagonalen benötigt, die Konstruktionen parallel zur Schraubenachse versteifen. Die Diagonalen werden im Prinzip aus Geraden hergestellt, indem die Rohrenden entsprechend der räumlichen Konfiguration abgelenkt werden.

Schraube

Zur Anwendung kommen metrische Schrauben, verzinkt oder Edelstahl, mit der Festigkeitsklasse mindestens 8.8.

Noppenscheibe

Zur Fixierung der äußeren Stabenden (Untergescheibe) und zur geometrischen Abstimmung zwischen Geraden und Diagonalen sind Noppenscheiben einzusetzen, deren Materialstärke der doppelten Rohrwandung entspricht und deren Bohrung und Noppen mit den anderen Stäben übereinstimmt.

Bisherige Praxis

Das *System 180* wurde 1981 vom Architekten Prof. Jürg Steiner als Prototyp gebaut. 1989 wurde die Grundkonfiguration als Patent beantragt und 1991 die gleichnamige Firma gegründet (siehe auch: Jürg Steiner *Bauwelten*, Berlin 2010).

Seitdem wurde das *System 180* für Konstruktionen im In- und Ausland eingesetzt. Für genehmigungspflichtige Vorhaben wurden statische Berechnungen erstellt und geprüft (Referenzen siehe Broschüre: *System 180 – Systemtecture*, Berlin 2011).

Die von *System 180* praktizierte Kaltverformung aus warmgewalzten und aus kaltgezogenen Rohren sowohl in Stahl als auch in Edelstahl entspricht den geltenden Normen, vor allem der DIN EN 1090.

Unterstützend wurden hierzu 2008 von der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV Berlin-Brandenburg, Prüfbericht Nr. 12338, Oberflächenrissprüfungen und Mikroschliffe an gepressten Rohrenden durchgeführt. Die Oberflächenrissprüfung erfüllt die Bewertungsgruppe B nach DIN EN ISO 5817, in den Mikroschliffen wurden keine Rissanzeigen festgestellt. Die EN 1090 wird beim Einkauf und der Konfektionierung der Rohre beachtet.

Die statische Berechnung von Bauwerken erfolgt bisher nach Eurocode 3 „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“. Diese Norm regelt auch die Bemessung von Rohren und deren Verbindungen und ist grundsätzlich auch auf das *System 180* anwendbar. Eine spezifische Besonderheit des *System 180*, nämlich die formschlüssige Noppenverbindung an den Enden der einzelnen Bauglieder in zwei Achsen, wurde bei den statischen Berechnungen bisher nicht berücksichtigt. **Deren Auswirkungen auf die Festigkeit von Konstruktionen aus System 180 sollen im Rahmen des Zulassungsverfahrens bestätigt und durch die Zulassung bei Tragwerksberechnungen erfassbar werden.**

Optimierung zukünftiger Nachweise

Grundsätzlich sind es zwei Gesichtspunkte die aus Sicht der Antragstellerin eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung sinnvoll erscheinen lassen:

1. Tragwerksplanern und Konstrukteuren soll eine einfache Handhabe zur Verfügung stehen, die hilft, ein möglichst leichtes Bauwerk auf Basis verlässlicher Parameter zu entwerfen.

2. Durch die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ist die Verwendung von *System 180* auf breiter Basis zu vermitteln.

Das am 6. Mai 2015 beantragte Verfahren für eine allgemeine bauaufsichtlichen Zulassung des *System 180* soll rechnerisch vereinfacht werden.

a) Nachweis von Geraden und Mutterstäben

Aufgrund der formschlüssigen Noppenverbindung kann eine gegenüber der reinen Schraubverbindung deutlich höhere Normalkraft übertragen werden. Hierzu wurden in der Vergangenheit diverse erfolgreiche experimentelle Versuche durchgeführt, die bisher nicht in die statischen Berechnungen eingegangen sind. Die Versuche beim Institut für Stahlbau der TU Braunschweig vom 28. August 1990 (Seiten 24 ff) und vom 26. Januar 1995 (Seiten 36 ff) legen nahe, dass die Glieder, in denen ausschließlich Normalkräfte auftreten, entweder auf Zug oder auf Knicken nachzuweisen sind und ein Nachweis der Lastüberleitung im Knoten nicht notwendig sein dürfte. Da die Verbindungen mehr



als die doppelte Normalkraft bis zum Versagen weiterleiten können und die Mutternstäbe (Pfosten) meist auf Druckkräfte nachzuweisen sind, bleiben letztlich nur die Diagonalen und deren Kraftwirkung auf die eigenen Rohrenden und den Knoten als zu untersuchende Größe. Fazit: Der Nachweis der ausreichenden Festigkeit der Kraftübertragung von Geraden und Mutternstäben im Knoten wird als nachgewiesen vorausgesetzt und wird nicht weiter experimentell betrachtet.

b) Nachweis von Diagonalen

Die Einflüsse von Diagonalen auf die Knotenverbindung sind nach Auffassung der Antragstellerin nur versuchsweise zu ermitteln. Diese Versuchsreihe befasst sich mit erfahrungsgemäß vielfach wiederkehrenden Konfigurationen bei ebenen Fachwerken mit Ober- und Untergurt aus Geraden, Diagonalen und Pfosten (Mutterstäben). Sie dient auch zur Ermittlung von möglichen Abweichungen der Tragfestigkeit bei unterschiedlichen Exzentrizitäten im Knoten. Hierbei werden bei typischen Konfigurationen die Stäbe mit unterschiedlichen geometrischen Anordnungen aufeinander geschichtet und dokumentiert, welche Moment- und Krafteinflüsse bei welcher Belastung zum Versagen führen. Heranzuziehen sind die Skizzen auf Seite 57.

c) Nachweis einer bedingten Rahmenwirkung

Die Systemrohre sind je nach Konfiguration in zwei Achsen gelenkig gelagert und werden durch geometrische Anordnung – meist mithilfe von Diagonalen – versteift. In der dritten Achse (Drehung um die Schraubenachse) kann durch die formschlüssige Noppenverbindung der Rohre im Verbund mit der Schraube zusätzlich ein Biegemoment übertragen und daher die Stäbe im Knoten als bedingt eingespannt angenommen werden. Über die experimentelle Ermittlung der maximalen Biegesteifigkeit um die Schraubenachse soll der Nachweis erbracht werden, dass dadurch eine Rahmenwirkung in der dritten Achse besteht und im Allgemeinen auf eine Aussteifung (Windverband) verzichtet werden kann. Langjährige Praxis im Regalbau ist als erbrachte Bestätigung der Annahme heranzuziehen. Erkenntnisse von Eigenversuchen vom 29. November 1994 sind auf Seiten 48 ff angefügt.

Prüfkonzept

Es sollen zu den Zielen b) und c) bei der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt SLV Berlin-Brandenburg folgende Versuche durchgeführt werden:

Versuchsreihe zu b) zur Ermittlung der Kraftübertragung im Knoten bei einlagigen, ebenen Fachwerkträgern nach Skizzen Seite 56 und 57.

Versuch zu c) zur Momentenübertragung im Knoten: Es wird ein Fachwerk aus einer *System 180*-Konstruktion so hergestellt, dass die Schrauben, im Gegensatz zur üblichen vertikalen Anordnung, horizontal liegen und zwei Rahmen ohne Diagonalen entstehen (Seite 56). Durch Vergleichsrechnung sind Momente im Versuch ermittelbar, die im Knoten um die Schraubenachse aufgenommen werden können.

Für alle verwendeten Rohrtypen werden Werkzeugnisse vorgelegt.

Die Versuche in der jeweils gleichen Knotenkonfiguration werden zweifach bis zum Versagen ausgeführt.

Rohrtypen

In einer ersten Phase zur Erlangung einer bauaufsichtlichen Zulassung wird vorgeschlagen, nur das Rohr 28x1,5 heranzuziehen, da mit diesem Typ bisher die tiefendsten Voruntersuchungen vorliegen.

Bisher verwendet wurden folgende Rohrabmessungen und -qualitäten:

Stahl S235 20x1 sowie Edelstahl S275 20x1, Stahl S235 28x1,5 sowie Edelstahl S275 28x1,5, Stahl S235 48,3x2 und 48,3x3,6 sowie Edelstahl S275 48,3x2 und 48,3x3,2, Stahl S235 60,3x2 und 60,3x3,6 sowie Edelstahl S275 60,3x2 und 60,3x3,2

Die Ergebnisse der hier vorgeschlagenen Testserie sollten später auf größere Durchmesser extrapoliert werden.

◀ Treppenzylinder im Showroom der Firma *System 180 GmbH*, 25. Juni 2016

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

URKUNDE über die Erteilung des Patents Nr. 39 02 342

IPC: F16S 3/08

Bezeichnung:
Räumliches Bausystem

Patentinhaber:
Steiner, Jürg, 10623 Berlin, DE

Erfinder:
gleich Inhaber

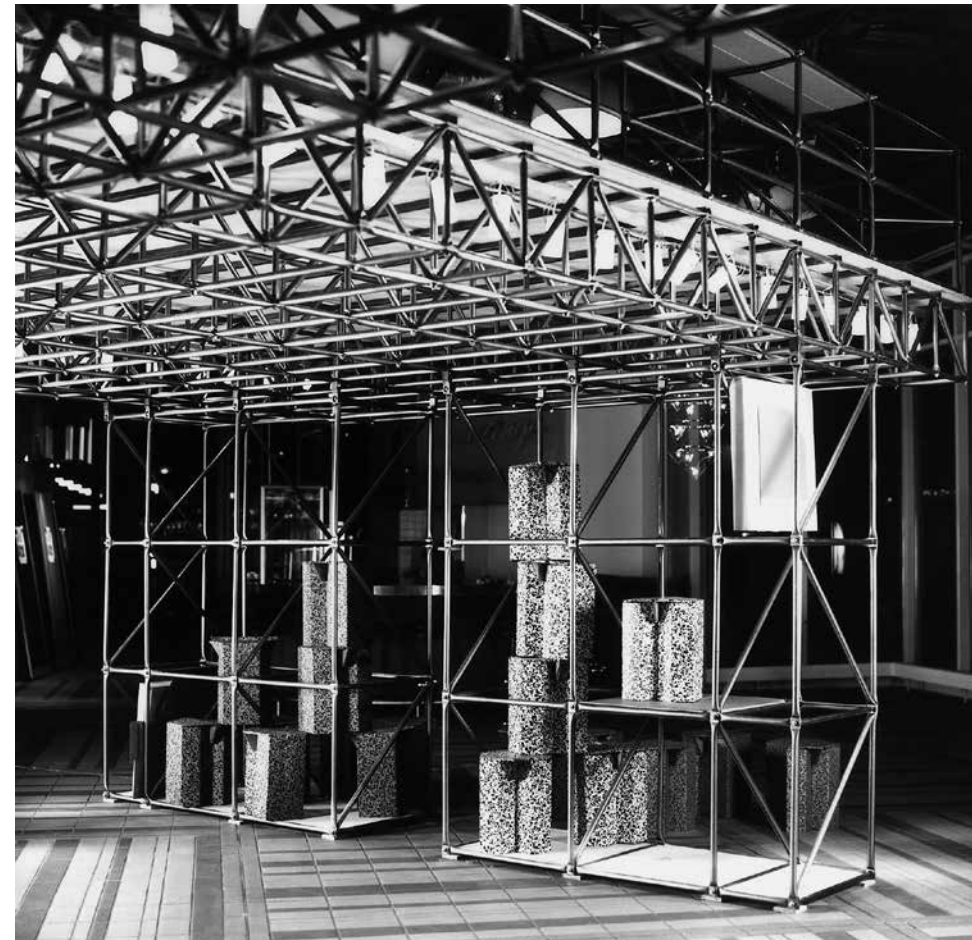
Tag der Anmeldung: 24.01.1989

München, den 07.01.1999



Der Präsident des Deutschen Patent- und Markenamts

Dipl.-Ing. Norbert Haugg



Historische Entwicklungsmomente

Möbelmesse Köln 1989

Andreas Brandolini entwarf den Gemeinschaftsstand der Berliner Zimmer Design Agentur aus *System 180*. Jürg Steiner realisierte den Entwurf. Für das System wurde der Schraubenstab entwickelt, der Vorfahre des noch heute üblichen Mutterstabs. Dieser Pfosten verfügte bei dem Messestand an jedem Ende über eine herausstehende Schraube M 12. Er war bei der zweiten Ebene senkrecht und bei den Unterstützungsgestellen waagrecht angeordnet. Dadurch konnten viele Stahlfachwerke über Kreuz zu einem Trägerrost verbunden werden. Die obere Ausstellungsebene wurde seitlich durch Regale begrenzt. Eine gerade und eine gewendelte Treppe führten auf die zweite Ebene.

Es war dies das erste Bauwerk, bei dem alle Elemente wie Wände, Decken, Treppen, Geländer aus *System 180* waren. Kurz vor Fertigstellung gelang es trotz des immensen Arbeitsanfalls, ein Patent für das *System 180* in der neuartigen Konfiguration anzumelden.

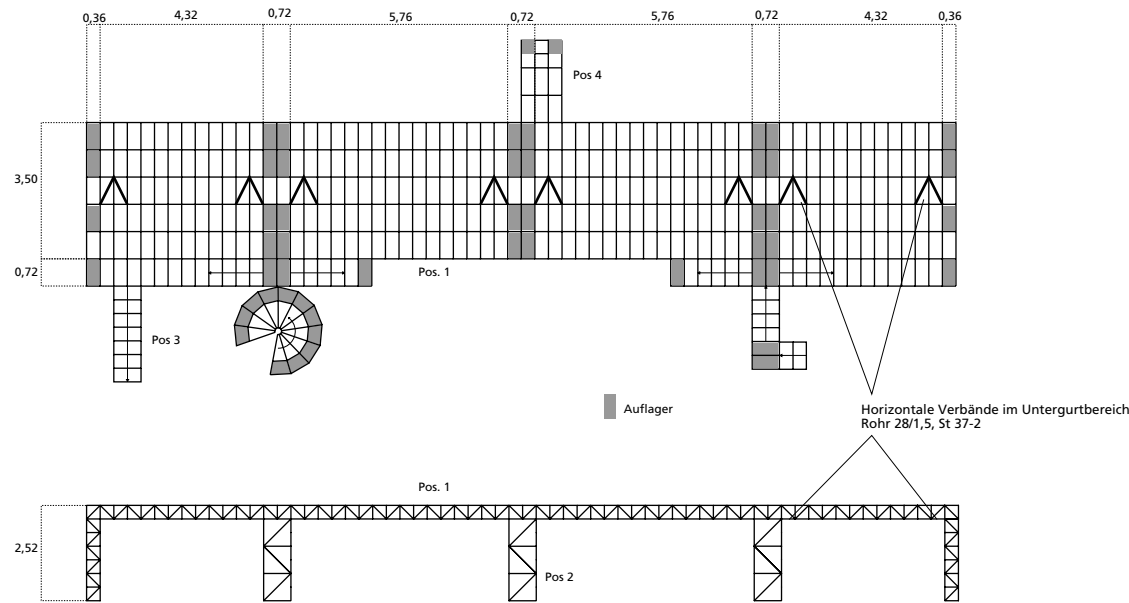
◀ ◀ Patenterteilung vom 7. Januar 1999.

◀ Internationale Möbelmesse Köln 1989, Gemeinschaftsstand der Berliner Zimmer Design-Agentur. Fotos: Idris Kolodziej



Werbeagentur von Mannstein **Hackhausen 15, Solingen**

Coordt von Mannstein entdeckte auf der Kölner Möbelmesse den Stand der Berliner Zimmer Design Agentur und kaufte ihn noch während der Messe für seine großartige Werbeagentur in Solingen. Dass er dadurch den Fortbestand des Berliner Zimmers und wohl auch der Museums-technik GmbH sicherte, erfuhren wir viele Jahre später. Dank ihrer modularen Bauweise konnte die Konstruktion den neuen Gegebenheiten angepasst und zu einer zweiten Ebene im Ateliergebäude der Werbeagentur von Mannstein, Solingen, umgeplant werden. Die 5 m breite und 25 m lange Konstruktion wird alle 5 m von einer regalartigen, nutzbaren Unterstützung getragen. Die Umwehrungen auf der zweiten Ebene sind als tischhohe Regale ausgeführt. Die Ebene kann über drei Treppen erreicht werden. Nach Fertigstellung verlangte die Bauaufsicht die Vorlage einer »bauaufsichtlichen Zulassung« des Systems, oder ersatzweise die Beibringung einer »Zustimmung im Einzelfall«.



Werbeagentur von Mannstein, Solingen.

▲ ▲ 2. Ebene im Atelierhaus, Zustand 2008.

▲ Grundriss und Schnitt der 2. Ebenen, 10. Oktober 1990, ursprünglich im Maßstab 1:100, hier abgebildet im Maßstab 1:200.

► Foto der Werbeagentur von Mannstein, vor 1999.

Hackhausen 15 5650 Solingen 11
 Einbau einer 2. Ebene im Atelier
 Bauherr
 von Mannstein Werbeagentur GmbH
 Hackhausen 15 5650 Solingen 11
 Entwurf
 Büro Steiner
 Bleibtreustr. 10 1000 Berlin 12
 Grundriss und Schnitt M 1 : 100
 Lage der Windverbände
 Berlin, 10.10.90 J. St.



Gutachtliche Stellungnahme

zur Erteilung einer bauaufsichtlichen Zustimmung im Einzelfall
für die Ausführung
einer Fachwerkkonstruktion für den Einbau einer zweiten Ebene im
Ateliergebäude der von Mannstein Werbeagentur GmbH, Solingen

Auftraggeber: J. Steiner
Museums- und Ausstellungsgestaltung,
Bleibtreustraße 10
1000 Berlin 12

Diese gutachtliche Stellungnahme umfaßt 9 Seiten und 1 Anlage

Diese gutachtliche Stellungnahme bezieht sich ausschließlich auf
das genannte Bauvorhaben. Der Inhalt oder Teile des Inhaltes
dürfen nicht ohne meine Zustimmung auf andere Bauvorhaben über-
tragen werden.

1 Veranlassung

Im Ateliergebäude der von Mannstein Werbeagentur, Solingen soll
eine zweite Ebene unter Verwendung von Fachwerkträgern des
Systems "Steiner" eingebaut werden. Dieses Fachwerkssystem ist
durch die Verwendung von an den Enden abgeplatteten Gurt- und
Diagonalrohren gekennzeichnet, die ohne Knotenbleche oder Knoten-
stücke direkt mit einer in die Pfosten eingeschraubten Schraube
untereinander verbunden sind.

Der Nachweis der Standsicherheit kann nicht nach den allgemein
anerkannten Regeln der Baukunst erbracht werden, da die Bauart
neuartig ist. Es wird daher eine Zustimmung durch die Oberste
Bauaufsichtsbehörde erforderlich.

Diese gutachtliche Stellungnahme soll als Unterlage für die Ent-
scheidung über die bauaufsichtliche Zustimmung im Einzelfall
helfen, anstehende Fragen zu klären.

2 Unterlagen

Folgende Unterlagen liegen vor:

- 2.1 Statische Berechnung von J. Steiner für Einbau einer zweiten
Ebene in das Atelier der von Mannstein Werbeagentur, Solin-
gen, vom 20.08.1989, Seiten 1 bis 29.
- 2.2 Informationsschrift über System Steiner, Beschreibung, Anwen-
dungsbeispiele vom 13.08.1989 Seite 1 bis 16
- 2.3 Zeichnung über System Steiner, Ergänzung mit Diagonalen 24 x
1,5 vom 1.10.1989
- 2.4 Mein Schreiben vom 21.09.1989 zur Klärung von Fragen des
Nachweises der Brauchbarkeit
- 2.5 Eigene statische Berechnung Versuchsträger, Durchlaufträger
über zwei Felder
- 2.6 Bericht 8214 des Instituts für Stahlbau der TU Braunschweig,
November 1989

3 Beschreibung der Konstruktion

Die Deckenkonstruktion für die zweite Ebene im Ateliergebäude ist
in Bild 1 dargestellt. Sie überspannt eine rechteckige Grundflä-
che mit einer Länge von 23,04 m und einer Breite von 4,22 m, wobei
eine Aussparung von 7,92 m x 0,72 m und zusätzlich 3 Anbauten
sowie ein Treppenturm vorgesehen sind. Die Tragkonstruktion der
Decke besteht aus 8 durchlaufenden Fachwerkträgern System "Stei-
ner", die auf Unterstützungen gelagert sind, die ebenfalls aus
dem System "Steiner" aufgebaut sind. 6 Fachwerkträger sind
23,04 m und 2 Fachwerkträger sind 7,56 m lang.

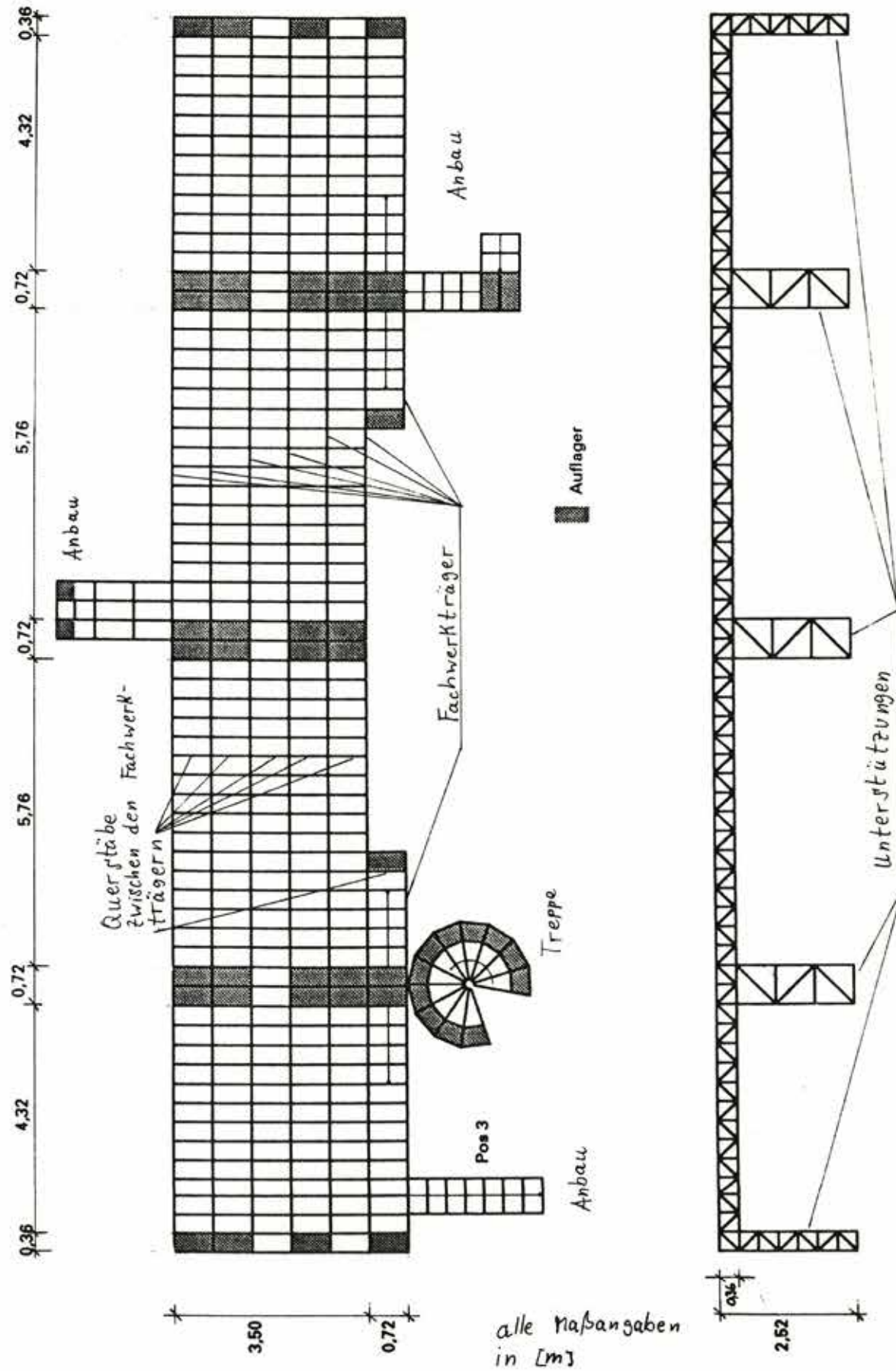
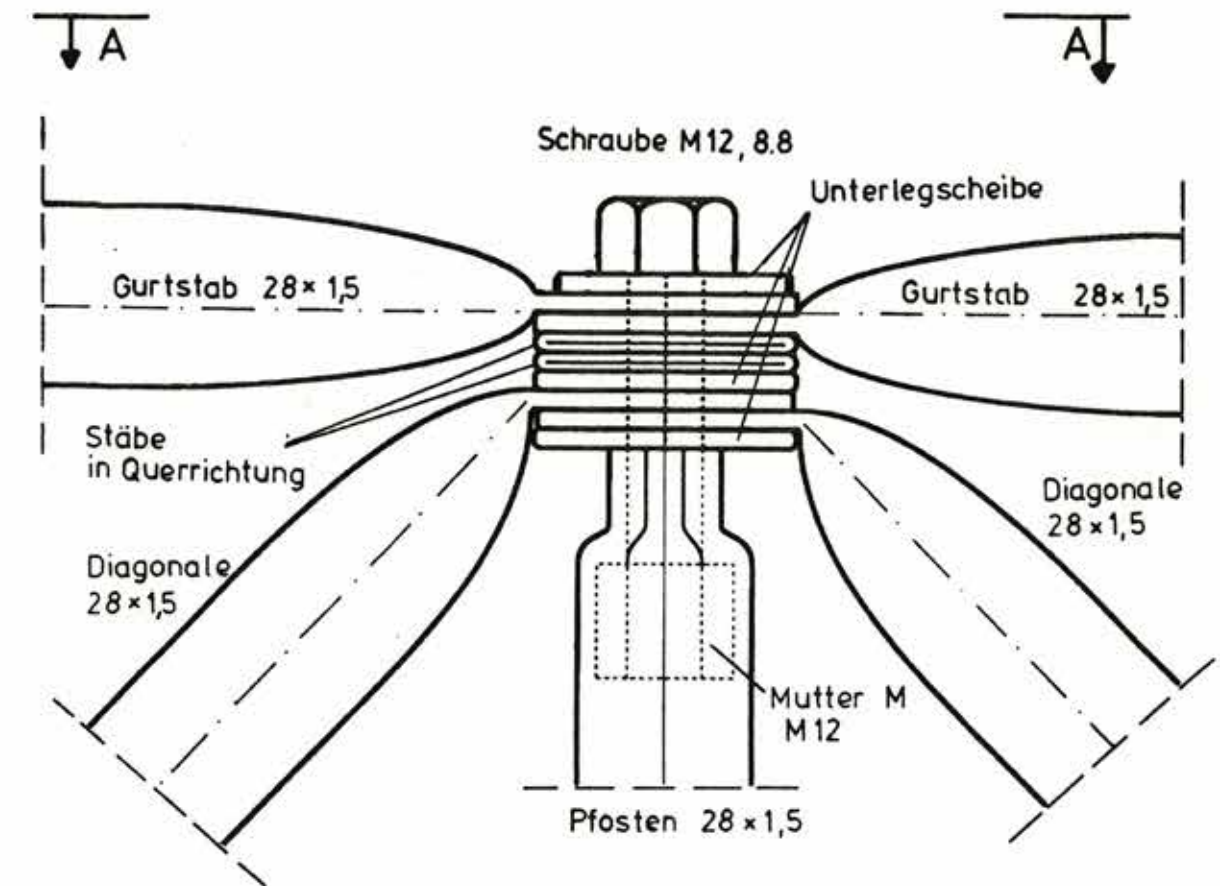


Bild 1 Deckenkonstruktion mit Unterstützungen



Schnitt B-B durch einen oberen Knoten in Querrichtung
M 1:1

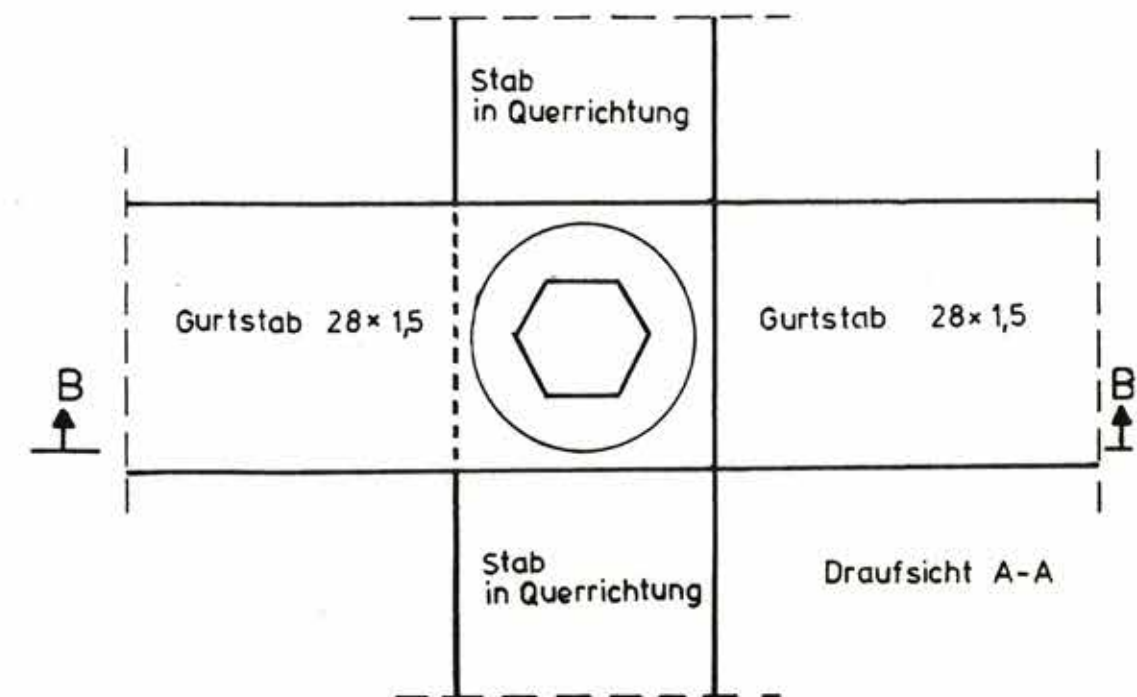


Bild 2 Knoten System "Steiner" für Bauvorhaben Solingen

Die Fachwerkträger System "Steiner" bestehen aus Ober- und Untergurt, steigenden und fallenden Diagonalen mit Pfosten in jedem Knoten (Bild 2). Eine genaue Beschreibung des Systems ist in den Unterlagen 2.2 und 2.6 enthalten.

Zwischen den Obergurtnoten und zwischen den Untergurtnoten der Fachwerkträger sind rechtwinklig zur jeweiligen Gurtachse quer zur Fachwerkebene verlaufende horizontale an den Enden abgeplattete Stäbe angeordnet, die die 8 Fachwerkträger untereinander verbinden.

Die Fachwerkstäbe für Ober- und Untergurt und Diagonalen sind geschweißte maßgewalzte Präzisionsstahlrohre 28 x 1,5 aus St 37-2 (DIN 2394). An den Stabenden sind die Rohre abgeplattet und mit einer Bohrung $\varnothing$ 12,5 mm versehen.

Die Fachwerkstäbe für Pfosten sind geschweißte maßgewalzte Präzisionsstahlrohre 28 x 1,5 aus St 37-2 (DIN 2394), an deren beiden Enden Muttern M12 eingepreßt sind.

Die Stäbe werden mit Schrauben M12 mit metrischem Gewinde nach DIN 13 der Festigkeitsklasse 8.8 (DIN 267) untereinander verbunden.

Die Fachwerkknoten sind gemäß Zeichnung in Unterlage 2.1 konstruktiv so ausgebildet, daß ein Versatz von ca. 6 mm zwischen der Systemlinie im Gurt (= Schwerlinie der Gurtstäbe) und dem Schnittpunkt der Schwerlinien der Diagonalenstäbe entsteht. In den Knoten werden 3 mm dicke Unterlegscheiben verwendet (siehe auch Bild 2).

Bei der Montage werden die Schrauben mit einem Drehmoment von 80 Nm vorgespannt.

Die Belastung des Tragwerkes bedingt, daß die Stäbe vorwiegend normalkraftbeansprucht sind. Außer dem Eigengewicht wirken keine Querlasten auf die Stäbe. Für die Lagerung der durchlaufenden Fachwerkträger in den Untergurtnoten muß vorausgesetzt werden, daß durch Lagerknoten keine Zwängungen oder außermittigen Kräfte eingeleitet werden.

4 Neuartigkeit der Konstruktion

Die Neuartigkeit der Konstruktion besteht in der Ausbildung der Pfosten. An deren Enden sind Muttern eingepreßt, in die Schrauben M 12 eingeschraubt werden.

Im Knotenbereich abgeplattete Gurt- und Diagonalstäbe werden auch beim WAKO-Raumfachwerk verwendet.

5 Gutachtliche Stellungnahme

5.1 Fragen, Eingrenzung

Folgende Fragen wurden von Seiten des Prüfsingenieurs und meinerseits gestellt und nachstehend beantwortet:

- Ist eine ausreichende Tragfähigkeit eines Fachwerkknotens gegeben, an dem zwei Gurtstäbe, zwei Diagonalen und ein Pfosten angeschlossen sind;
- Ist gegebenenfalls eine andere als die durch den Abstand der Knotenpunkte untereinander (Systemmaß 360 mm) gegebene Knicklänge der Fachwerkstäbe anzusetzen?
Bei der Beantwortung wird unterstellt,
- daß die für das zu beurteilende Tragwerk angegebenen maximalen Stabkräfte in einem Knoten nach Anlage 1, die ich aus Unterlage 2.1 entnehme, zutreffend sind,
- daß die zulässige Stabkraft (Zug und Druck) für Gurtstäbe (Knicklänge 360 mm) und Diagonalen (Knicklänge $360 \cdot \sqrt{2} = 509$ mm) durch die zulässige Lochleibungsspannung von 280 N/mm^2 bestimmt wird und 10,08 beträgt.

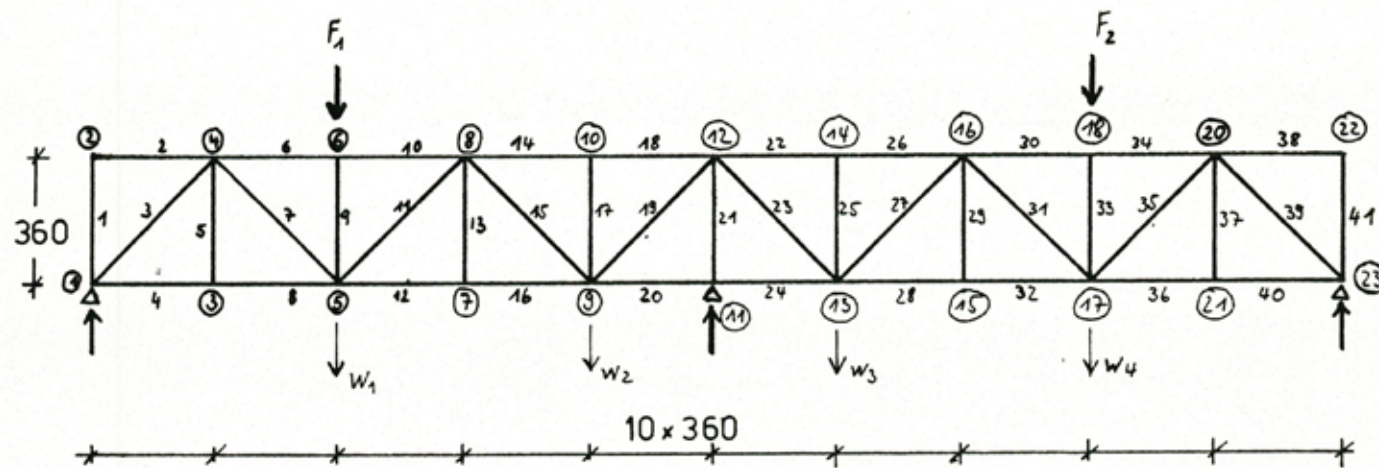
Die Frage der Gesamtstabilität der in diesem Bauvorhaben eingesetzten Fachwerkträger (Ausweichen aus der Fachwerkebene) wird in dieser gutachtlichen Stellungnahme nicht behandelt und als gesichert vorausgesetzt. Falls kein genauer Nachweis geführt wird, ist daher jeder Knoten im Druckbereich gegen Ausweichen aus der Fachwerkebene zu halten.

5.2 Tragfähigkeit von Knoten und Fachwerkstäben

Die Frage nach Tragfähigkeit von Knoten und Fachwerkstäben kann theoretisch nur mit voraussichtlich hohem Aufwand beantwortet werden. Daher wurde vorgeschlagen, einen über 2 Felder durchlaufenden Versuchsträger im Laborversuch zu belasten. Mit diesem Versuch soll die Annahme der Festlegung der zulässigen Stabkraft bestätigt werden.

Der Versuchsträger wurde so gestaltet (Trägerlänge) und belastet, daß neben dem Mittelaufleger in je einem Knoten etwa gleich große Kräfte in den Zugdiagonalen und dem Druckuntergurt auftreten. So sollte die Beanspruchung der Verbindung im Knoten besonders groß sein, einschließlich des Einflusses der Exzentrizität infolge Versatz von System- und Schwerlinien. Diesem Vorgehen wurde sowohl vom Auftraggeber als auch vom Prüfsingenieur zugestimmt.

Als Versuchsträger wurde das in Bild 3 dargestellte statische System gewählt.



Knoten ① bis ②③
Stäbe 1 bis 41

Einzellasten F_1, F_2
Knotenverschiebungen w_1 bis w_4

Bild 3 Versuchsträger

Als Stabkräfte ergeben sich nach Unterlage 2.5 unter der Einheitslast $F_1 = F_2 = 1$ kN ohne Berücksichtigung des Eigengewichts

- für die Untergurtstäbe 20,24 - 0,653 kN (Druck),
- für die Untergurtstäbe 16,28 + 0,408 kN (Zug) und
- für die Diagonalen 19,23 + 0,75 kN (Zug).

Die Knotenbeanspruchung im Versuch infolge oben genannter Stabkräfte ist somit ungünstiger (Anlage 1) als die nach statischer Berechnung Unterlage 2.1.

Auf Veranlassung des Auftraggebers wurden für den Versuchsträger als Diagonalen Rohre 24 x 1,5 eingesetzt, so daß in den Knoten im Gegensatz zu den im Bauwerk verwendeten Rohren 28 x 1,5 nur ein Versatz von ca. 2 mm zwischen System- und Schwerlinien auftritt (Unterlage 2.6). Die Diagonalen 24 x 1,5 haben die gleich zulässige Stabkraft von 10,08 kN wie die Stäbe 28 x 1,5.

Im Versuch wurde die 1,5fache zulässige Stabkraft in den Diagonalen 19 und 23 3mal ohne nennenswerte Verformungen erreicht. Beim anschließenden Traglastversuch wurden in den Diagonalen 19 und 23 die 2fache und in den Untergurtstäben die 1,74fache zulässige Stabkraft ohne Versagen im Knoten erreicht. Das Versagen des Versuchsträgers ging von den an den Lasteinleitungen und am Mittelaufleger befindlichen hoch beanspruchten Pfosten aus. Diese Stäbe konnten aus herstellungstechnischen Gründen nicht für den Versuch verstärkt werden. Mit verstärkten Pfosten wäre voraussichtlich eine höhere Traglast erreicht worden. Die abgeplatteten Stabenden der in den Knoten 9 und 13 untereinander verbundenen Stäbe (Gurt und Diagonalen) zeigten keine Schäden oder Verformungen.

Schlußfolgerung

Aufgrund der Versuchsergebnisse kann festgestellt werden, daß für das zur Rede stehende Tragwerk gegen eine zulässige Stabkraft zul $S = 10,08$ kN für die Stäbe (Gurt, Diagonale) keine Bedenken bestehen.

Bezüglich des Einflusses der Exzentrizität im Fachwerkknoten konnte keine Aussage aufgrund der Versuchsergebnisse getroffen werden, da die Ausmitte der im Versuch getesteten Fachwerkknoten nur ca. 2 mm betrug.

Gegen die vorgesehene Verwendung der Fachwerkträger im Bauwerk bestehen keine Bedenken, wenn die Diagonalen 28 x 1,5 durch Rohre 24 x 1,5 ersetzt werden oder die Ausmitte durch Zwischenlegen von Distanzstücken im Knoten (Unterlegscheibe o.ä.) auf ca 2 mm oder weniger reduziert wird.

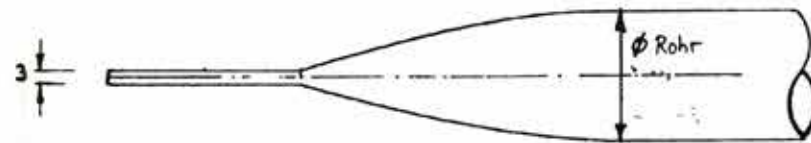
5.3 Knicklänge der Fachwerkstäbe

Aufgrund der Versuchsergebnisse hat sich kein Anhaltspunkt ergeben, als Knicklänge mehr als den Abstand der Schnittpunkte der Systemlinien in den Knoten anzusetzen.

6 Auflagen für die Bauausführung

6.1 Herstellung der Stäbe

Die abgeplatteten Stabenden sind mit den Maßen nach Bild 4 herzustellen.



Rohr $\varnothing 28 \times 1,5$
 $b = 42 \text{ mm}$ $a = 21 \text{ mm}$

Rohr $\varnothing 24 \times 1,5$
 $b = 36 \text{ mm}$ $a = 17 \text{ mm}$

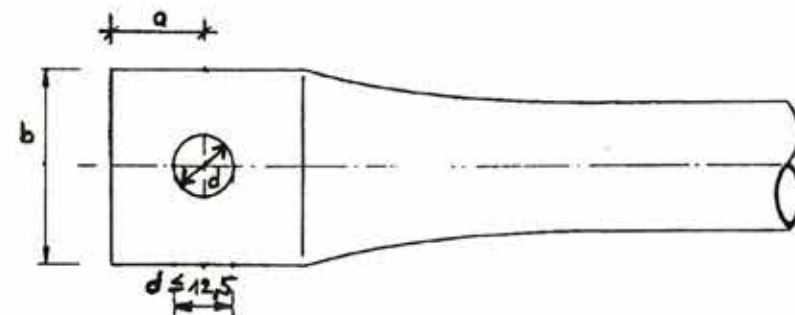


Bild 4 Maße Stabenden

Der Abstand der Bohrungen an beiden Stabenden darf nicht mehr als 1 mm von den Sollwerten abweichen, damit keine größeren Zwängungen infolge Maßabweichungen der Konstruktion entstehen. Bei der Herstellung der abgeplatteten Stabenden ist sorgfältig darauf zu achten, daß keine Risse entstehen.

6.2 Montage

Die Schrauben M 12 sind mit einem Anziehmoment von 80 kN anzuziehen. Bei der Montage ist darauf zu achten, daß die Stäbe nicht unter Zwang eingebaut werden.

7 Zusammenfassung

Unter den beschriebenen Voraussetzungen, bei Beachtung der Bedingungen und Forderungen dieser gutachtlichen Stellungnahme und Beachtung der Auflagen für die Bauausführung bestehen bei ordnungsgemäßer Ausführung keine Bedenken gegen die Standsicherheit.

Braunschweig, 17.11.1989


 Prof. Dr.-Ing. J. Scheer


 Dr.-Ing. K. Plumeyer
 (Sachbearbeiter)

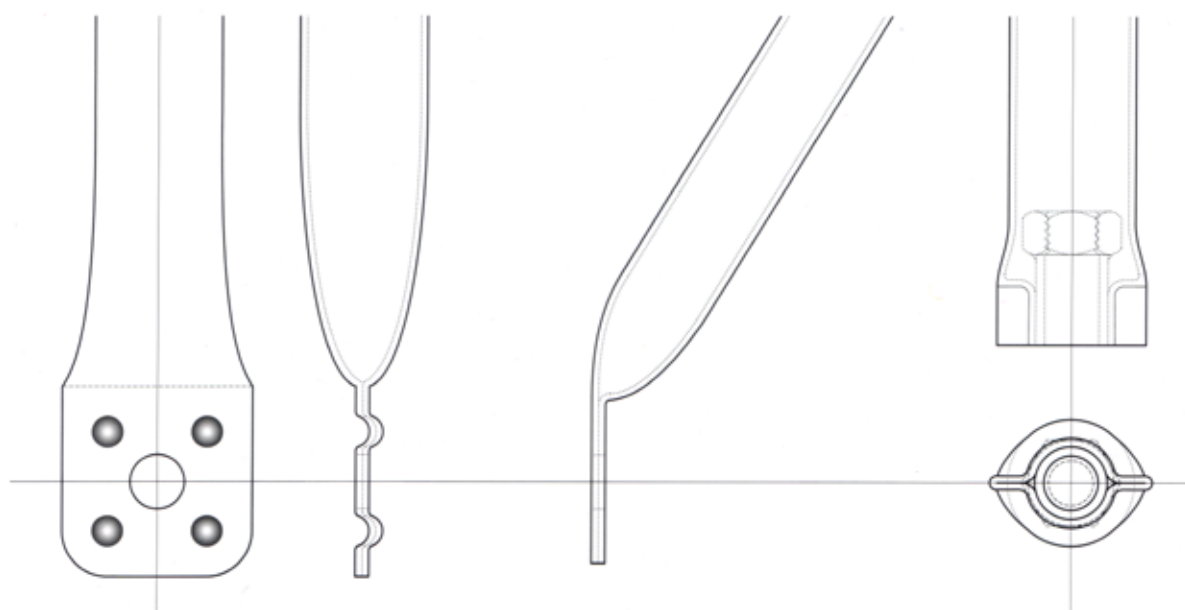
Anlage 1 zur gutachtlichen Stellungnahme vom 17.11.89

Maximale Stabkräfte in einem Knoten

Entnommen aus statischer Berechnung von J. Steiner für Einbau einer zweiten Ebene in das Atelier der von Mannstein Werbeagentur, Solingen, vom 20.08.1989.

Stabkräfte im Mittelfeld eines Durchlaufträgers Untergurtnoten D' und R'

Knoten D'	Stab Nr. Knoten R'	Stab	Kraft- wirkung	Stabkraft kN
4	64	Untergurt	Druck	10,0
8	60	Untergurt	Druck	1,4
3	63	Diagonale	Zug	6,5
7	59	Diagonale	Druck	5,7
5	61	Pfosten	Druck	0,6



Beim Innenausbau hat sich das Bausystem im Raster 180 mm x 180 mm mit vier standardisierten Stäben bewährt:

- Typ G Grundstab, mit geraden, flachen Enden in x- und y-Richtung
- Typ D Diagonalstab, mit flachen Enden, die im erforderlichen Winkel abgebogen sind
- Typ M Mutternstab, mit einer eingepressten Mutter in beiden Rohrenden
- Typ K Kombistab, mit einer eingepressten Mutter auf der einen und flachem Ende auf der anderen Seite

Die Hauptbelastungsrichtung sollte mit Grundstäben (Typ G), die Nebenbelastungsrichtung mit den übrigen Stäben besetzt sein.

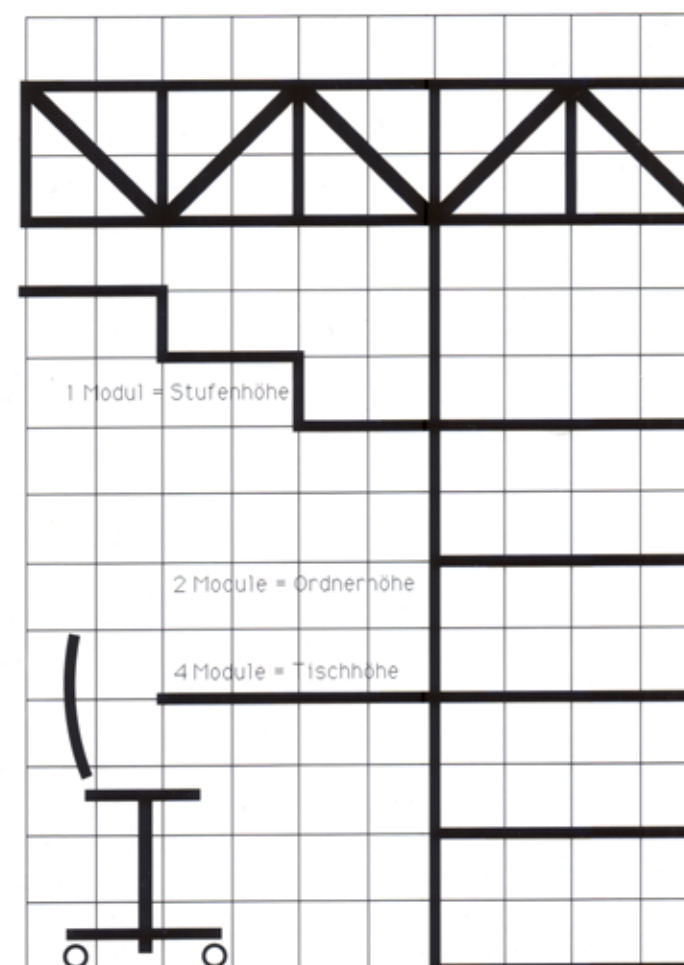
Werden die Schrauben mit einem Drehmoment von 40 Nm angezogen, entsteht ein Knoten, der in einer Richtung bedingt biegesteif ist.

Das **SYSTEM 180** ist vielseitig einsetzbar, von kleinteiligen Objekten, z.B. Tische, Regale und Sitzmöbel bis hin zu komplizierten Tragwerken, z.B. Innenausbauten, Decken und Gerüste. Die Stäbe sind aufgrund der Systematisierung für unterschiedliche Produkte verwendbar. Unabhängig davon ist es möglich, Stäbe herzustellen, die Objekte in einer angepassten Form realisieren.

Die **SYSTEM 180** Stahlrohrentwicklungs- und Vertriebsgesellschaft beschäftigt sich vorrangig mit der Planung und Realisierung von Projekten aus Stahlrohr und vertreibt darüber hinaus in Serie gefertigte Systemlösungen für den Möbelbereich.

▲ Komponenten des System 180 nach Fertigstellung der Vorserien, 1990.

► Herleitung des Namens, Abmessungen der Komponenten, 1990.

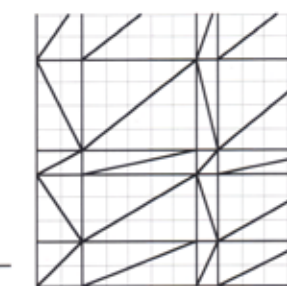


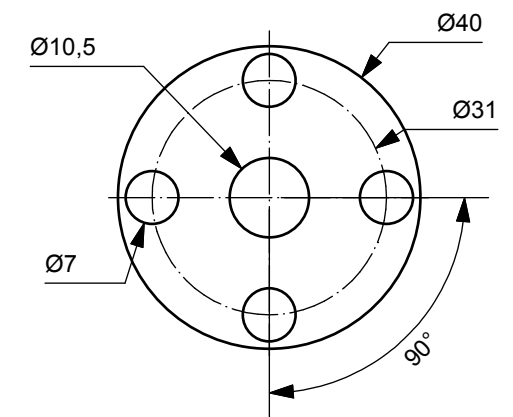
Das **SYSTEM 180** ist konzipiert als einfaches, leicht handhabbares, anpassungsfähiges Baukastensystem aus Stahlrohr. Das System basiert auf dem Grundmodul 180 x 180 mm.

Dadurch wird es besonders im Innenausbau allen Funktionen gerecht (1 Modul = Treppenstufenhöhe, 2 Module = Ordnerhöhe, 4 Module = Tischhöhe, 5 Module = Handlaufhöhe etc.). Das **SYSTEM 180** wird aus geschweißten, Stahlrohren gefertigt, die einen Durchmesser von 28 mm und eine Wandstärke von 1,5 mm haben. Die Rohre werden an beiden Enden flach gepresst und mit einer Bohrung ($\varnothing = 10,5$ mm) versehen; bei schrägen und diagonal verlaufenden Stäben sind die flachen Enden im erforderlichen Winkel abgebogen. Die Verbindung erfolgt mit einer Schraube (M 10). Sind Stäbe in der Schraubenachse erforderlich, kann ein Rohr mit eingepresster Mutter eingesetzt werden. Die Stabverbindung erfolgt dabei ohne ein extra anzufertigendes Knotenstück: Die Rohre werden direkt mit einer Schraube verbunden. Die Stäbe können in jedem beliebigen Winkel angeordnet werden.

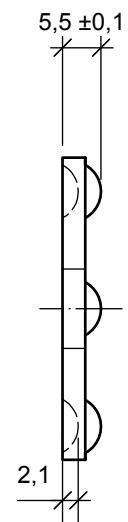
Die vierfache Noppung an den Enden der Stäbe erhöht die Festigkeit und ermöglicht eine einfache und schnelle Montage.

Systembeschreibung

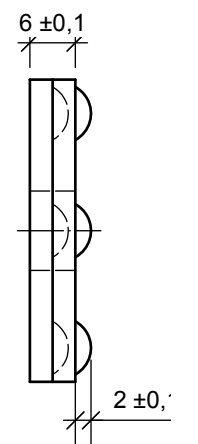




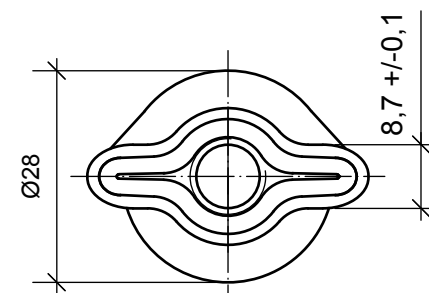
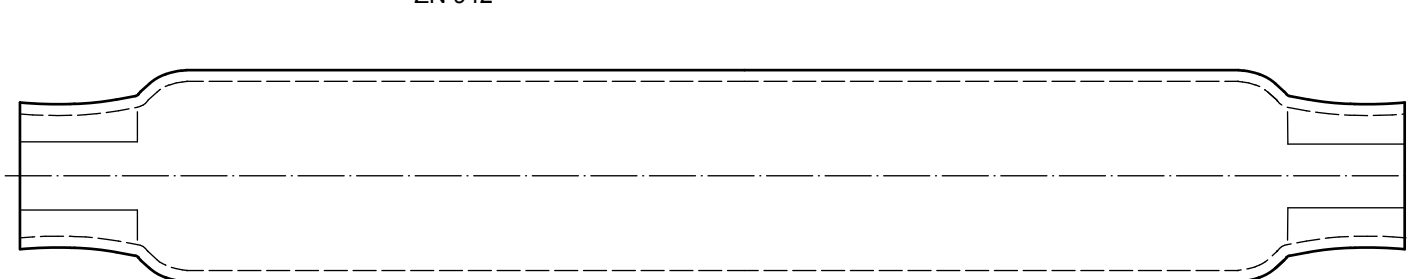
Ansicht



Seitenansicht



Formschluss



▲ Ausgleichs- und Verbindungsstück ›Noppenscheibe‹, Maßstab 1:1, Draufsicht, Seitenansicht, Verbindung, 13. September 2018.

KURZMITTEILUNG

INSTITUT FÜR STAHLBAU
PROF. DR.-ING. JOACHIM SCHEER
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
BEETHOVENSTRASSE 51 · POSTFACH 33 29
3300 BRAUNSCHWEIG · RUF (05 31) 391-33 73 / 79

Herrn
J. Steiner
Museums- und Ausstellungsgestaltung
Bleibtreustr. 10

1000 Berlin 12

*Fax an Herrn Steiner
4.11.94 14:35
mit 4 Seiten Anlagen*

Büro Steiner
Bleibtreustr. 10
1000 Berlin 12
T. 030 883 99 57
F. 030 883 99 18



Sachbearbeiter:
Dr. Plumeyer

Telefon: 391- 3361

Ihr Zeichen Ihr Schreiben vom Unser Zeichen Datum *28.8.90*

Betreff: *Versuche an Knoten für Rohrstebe*

Als Anlage übersenden wir Ihnen

- ☐ Kopie(n)
- ☐ Angebot
- ☐ Anfrage
- ☒ Unterlagen
- ☐ Durchschrift(en) von _____
- ☒ Rechnung(en)
- ☐ Zeichnung(en)
- ☐ Schreiben an/von _____
- ☐ _____
- ☐ _____

mit der Bitte um

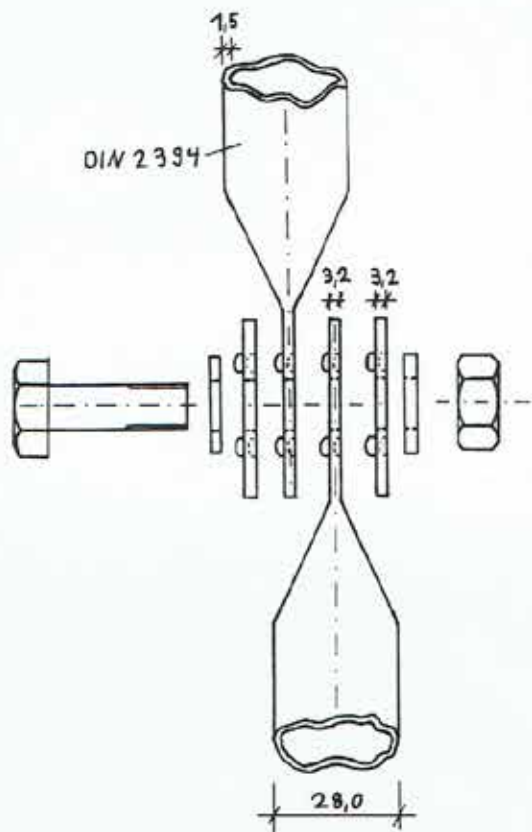
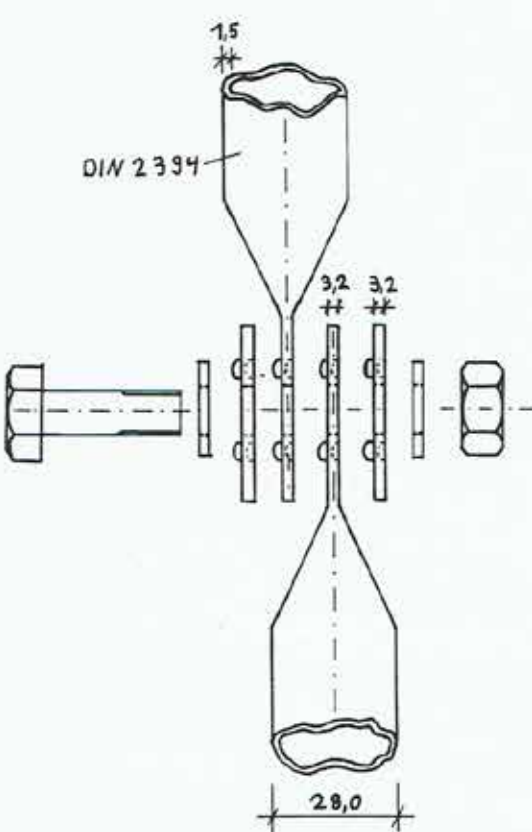
- ☐ Ergänzung
- ☐ Kenntnisnahme
- ☐ Prüfung
- ☐ Rückgabe
- ☐ Stellungnahme
- ☐ Verbleib
- ☐ Weiterleitung an _____
- ☐ Weitere Veranlassung
- ☐ Bearbeitung
- ☐ _____

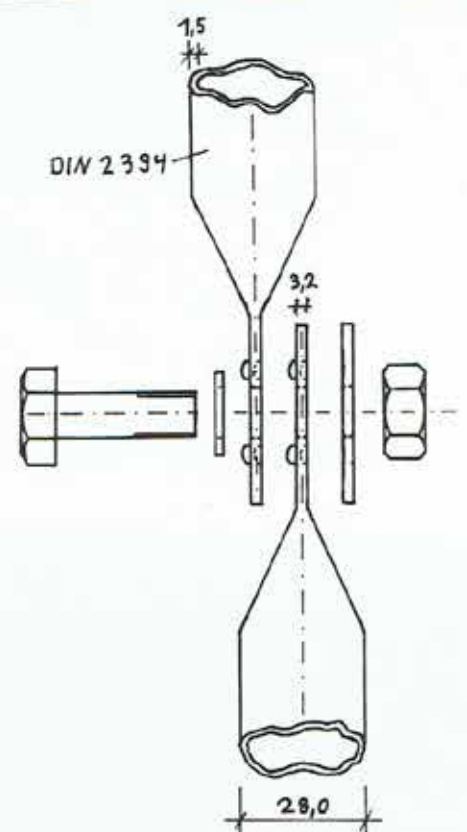
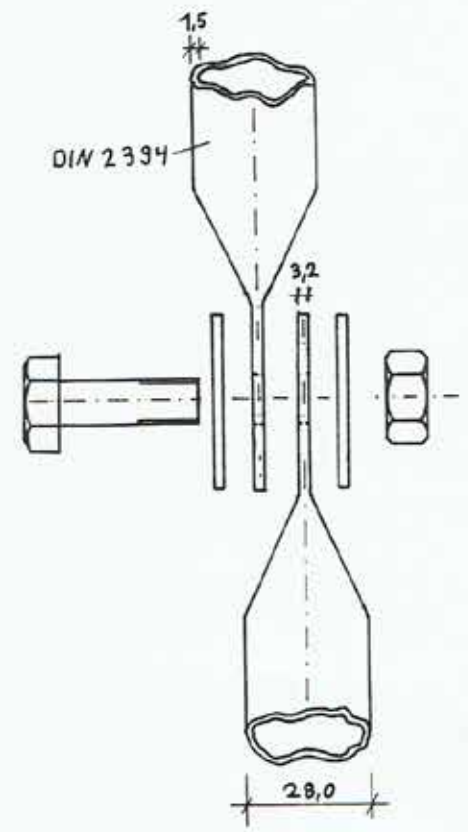
Termin: _____ Anlagen: _____-fach

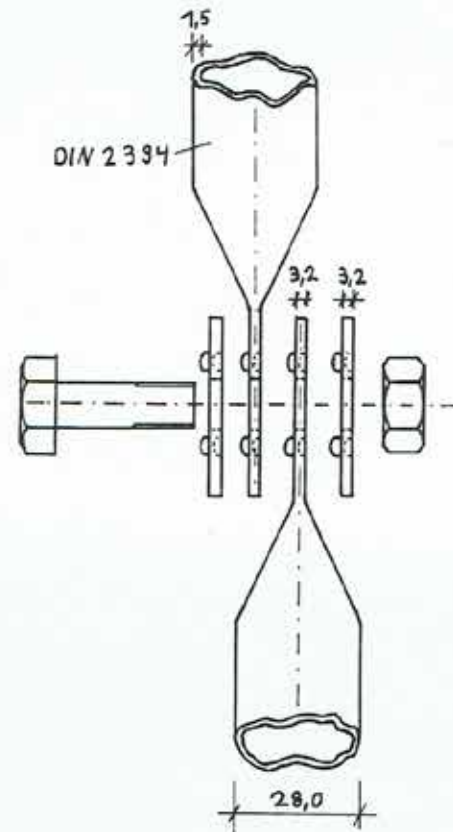
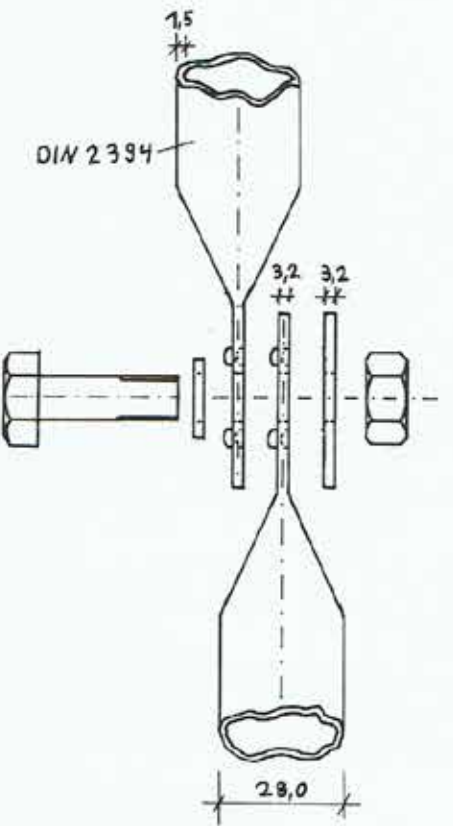
Bemerkungen: *Anbei Zusammenstellung der Traglasten für die verschiedenen Knotentypen.*

Mit freundlichen Grüßen *K. Plumeyer*

Typ	Skizze	Prüfkörper	Traglast [kN]
Flach mit 2 Rundscheiben (t=2,5mm) Schraube M10, 8.8		C1 C2	24,5 25,1
Genoppt mit 2 genoppten quadratischen Scheiben (t=3,2mm) Schraube M12, 8.8		D1 D2	29,5 28,5

Typ	Skizze	Prüf- körper	Traglast [kN]
Genoppt mit 2 ge- noppten quadrat- ischen Scheiben ($t=3,2\text{ mm}$) Schraube M10,10.9 Vorspannung 70 Nm 2 Scheiben rund		A4 A5	35,8 33,6
Genoppt mit 2 ge- noppten quadrat- ischen Scheiben ($t=3,2\text{ mm}$) Schraube M12, 10.9 Vorspannung 120 Nm 2 HV-Scheiben rund		D4 D5	35,5 35,8

Typ	Skizze	Prüf- körper	Traglast [kN]
Genoppt mit 1 großen Rundscheibe ($t=2,8\text{ mm}$) und 1 kleinen Rundscheibe Schraube M12, 8.8		E1 E2	26,4 23,3
Flach mit 2 großen Rundscheiben ($t=2,8\text{ mm}$) Schraube M12, 8.8		F1 F2	24,6 23,4

Typ	Skizze	Körper	[kN]
Genoppt mit 2 genoppten quadrat- ischen Scheiben (t = 3,2 mm) Schraube M 10, 8.8.		A1 A2	33,9 32,4
Genoppt mit 1 quadratischen Scheibe (ungenoppt) (t = 3,2 mm) und 1 Rundscheibe (t = 2,2 mm) Schraube M 10, 8.8		B1 B2	24,4 24,4

UNIVERSITÄTSPROFESSOR EM.
 DR.-ING. DR.-ING. E.H. JOACHIM SCHEER

Wartheweg 20
 30559 Hannover
 Telefon (0511) 52 82 96
 Telefax (0511) 9 52 44 86

Gutachterliche Stellungnahme zur Lochleibungstragfähigkeit der genoppten Stabenden der Rohrfachwerkträger nach der Bauweise "System 180"

Auftraggeber:

Firma
 System 180 GmbH
 Mehringdamm 55
 10961 Berlin

Diese gutachterliche Stellungnahme umfaßt 5 Seiten und 1 Anlage

1 Veranlassung

Bei dem Untersuchungsprogramm zur Beurteilung der Knotentragfähigkeit des Rohrfachwerkträgers "System 180" ergaben sich bei geringen Knotenexzentrizitäten der Stabanschlüsse große Tragfähigkeiten der Knotenverbindung. Die Lochleibungstragfähigkeiten nach DIN 18800 Teil 1 sind wesentlich geringer als die Traglasten im Versuch an Fachwerkträgern.

Diese größeren Tragfähigkeiten könnten auf einer zusätzlichen Kraftübertragung durch die eingestanzten Noppen beruhen. Der Hersteller des System 180, die Firma System 180 GmbH, möchte diese zusätzliche Kraftübertragung im Nachweis mobilisieren.

In Ergänzung zu der gutachterlichen Stellungnahme zur Tragfähigkeit der Knotenverbindung vom April 1994 wurde ich von der Firma System 180 GmbH beauftragt, die am Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig durchgeführten Versuche zum Lochleibungstragvermögen zu begutachten.

Innerhalb dieses Gutachtens sollen die Grundlagen für die bauaufsichtliche Zulassung erarbeitet werden.

2 Unterlagen

Für die folgenden Ausführungen standen als Unterlagen zur Verfügung:

- [1] Versuchsbericht Nr. 8214 des Instituts für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig vom November 1989
Die Versuche aus diesem Bericht können nicht Grundlage für die Bearbeitung der gutachterlichen Stellungnahme und der Zulassung werden, da sich seit dem Jahre 1989 bei der Knotenverbindung wesentliche technische Änderungen ergeben haben (Schraubendurchmesser, Noppenscheibe usw.).
- [2] Versuchsbericht Nr. 8268 des Instituts für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig vom Januar 1994
- [3] Versuchsbericht Nr. 8268-1 des Instituts für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig vom Januar 1995
- [4] Meine gutachterliche Stellungnahme zur Tragfähigkeit der Knotenverbindung der Rohrfachwerkträger nach der Bauweise "System 180" vom April 1994

3 Gegenstand der gutachterlichen Stellungnahme

In dieser gutachterlichen Stellungnahme wird in Erweiterung zu meiner gutachterlichen

Stellungnahme vom 26. April 1994 [4] die Lochleibungstragfähigkeit der abgeplatteten und genoppten Stabenden des Fachwerk-Systems 180 untersucht. Die übrigen Bauteile des Systems können mit den allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik beurteilt werden.

4 Aufbau des Fachwerk-"Systems 180"

S. Abschnitt 4 der gutachterlichen Stellungnahme vom 26. April 1994.

Die genauen Abmessungen des abgeflachten Stabendes eines Gurtstabes sind in Bild 1 abgebildet. Beim Diagonalenstab vom $\varnothing$ 25 mm verringert sich die Breite des abgeflachten Endes auf 38 mm bei sonst gleichen Maßen. Die Stabenden werden im Knoten mit einer Schraube M10 der Festigkeitsklasse 8.8, die mit einem Anziehmoment M_v von 70 Nm vorgespannt wird, verbunden.

5 Lochleibungstragverhalten der abgeflachten und genoppten Stabenden in den Versuchen

5.1 Ziel der Versuche

Mit den durchgeführten Versuchen in [3] wurde die Tragfähigkeit der Stabenden hinsichtlich der Lochleibung unter Berücksichtigung der zusätzlichen Wirkung der Noppen untersucht. Es wurden insgesamt 8 Versuche durchgeführt. Bei vier dieser Versuche wurde durch Aufbohren der vorhandenen Löcher zu 20 mm langen Langlöchern eine Kraftübertragung durch den Schraubenschaft verhindert. Dies diente zur Feststellung der anteiligen Kraft, die allein durch die Noppen übertragen werden kann (Versuche Nopp05 bis Nopp08).

Die übrigen vier Versuche wurde ohne Langlöcher durchgeführt und bestimmen die Gesamttragfähigkeit (Versuche Nopp01 bis Nopp04).

5.2 Tragvermögen

Bei den vier Versuchen Nopp01 bis Nopp04 ohne Langlöcher, d. h. einer gleichzeitigen Kraftübertragung durch den Schraubenschaft und die Noppen, ergeben sich die in Anlage 1, Tabelle 1, Zeile 1 angegebenen statistischen Werte. Zeile 2 zeigt die Ergebnisse für die Versuche mit Langloch, bei denen die gesamte Kraft über die Noppen abgetragen wird. In Zeile 3 sind die statistischen Werte der zugehörigen Materialproben aufgeführt.

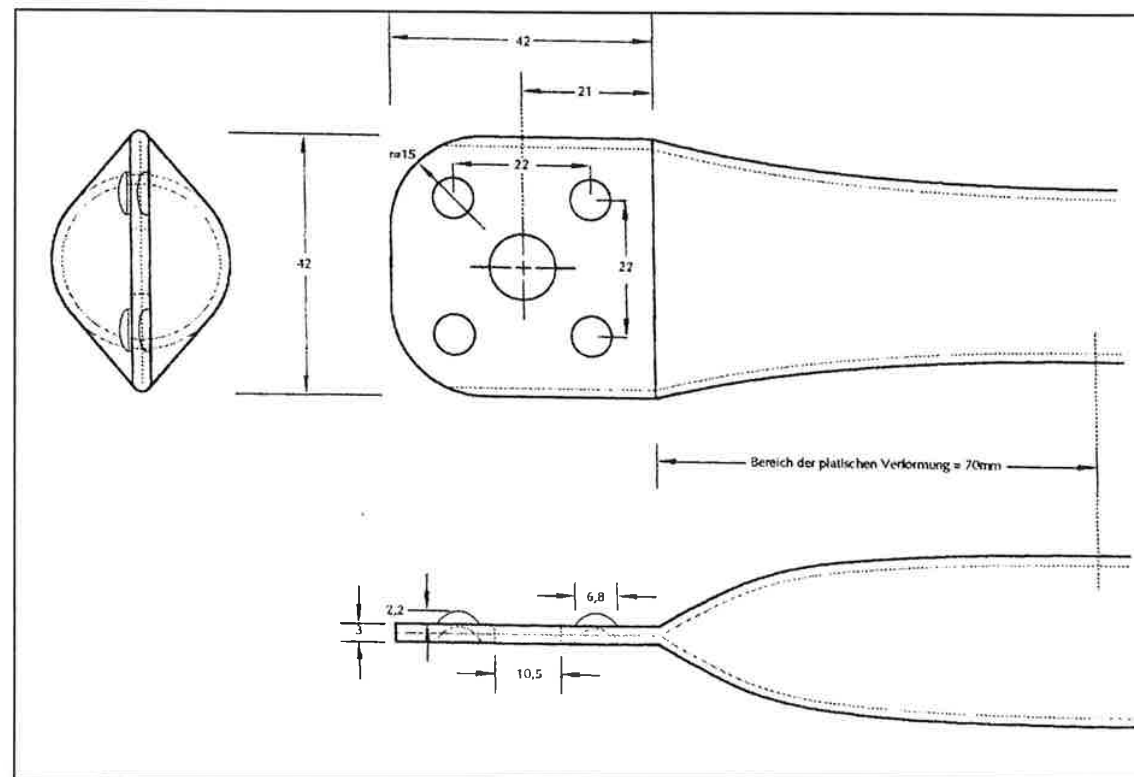


Bild 1 Abmessungen des abgeflachten Stabendes mit Noppen (Gurtstab)

Nach DIN 18800 (11.90), Teil 1, Element (805) und (807) ergäbe sich die Grenzlochleibungskraft mit der Streckgrenze $R_{p0,2,5\%-Fraktile} = 334 \text{ N/mm}^2$ zu

$$V_{l,R} = 3 \cdot 10 \cdot 1,9 \cdot 334 / (1,2 \cdot 1000) = 15,9 \text{ [kN]}$$

($t = 3 \text{ mm}$, $d_{Sch} = 10 \text{ mm}$, $e_1/d = 21/10,5=2$, $e_2/d \geq 1,5 \Rightarrow \alpha_1 = 1,1 \cdot 21/10,5 - 0,3 = 1,9$)

Bei den Versuchen ergaben sich bei reiner Noppentragwirkung eine um 95% und bei kombinierter Noppen- und Lochleibungstragwirkung um 119% höhere Versuchstraglast.

Unterstellt man der Berechnung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit die Wirkung einer GV-Verbindung (gleitfeste Verbindung mit hochfesten Schrauben), die durch die Noppenwirkung sichergestellt wird, obwohl die Voraussetzungen für diese Art der Verbindung nach DIN 18800 (5.83) Teil 7, Abschnitt 3.3.3.1 nicht gegeben sind, wäre der maximal nach DIN 18800 Teil 1, Element (805), Gleichung (51) ansetzbare α_1 -Wert = 3,0. Die Grenzlochleibungskraft ist dann

$$V_{l,R} = 3 \cdot 10 \cdot 3,0 \cdot 334 / 1000 = 30,1 \text{ [kN]}$$

Dieser Wert stimmt sehr gut mit den Ergebnissen der Versuche bei reiner Noppenwirkung überein ($V_{vers,u,5\%-Fraktile} = 30,9$).

5.3 Tragverhalten

Die mit 70 Nm vorgespannte Verbindung trägt den überwiegenden Teil der Stabnormalkraft über die Noppen ab. Die Tragwirkung basiert auf der Kontaktwirkung zwischen den Noppenstirnflächen und den Noppenvertiefungen. Sichergestellt wird diese Kontaktwirkung über die Vorspannung der Schraube. Die Wirkung der Lochleibung über der Schraubenschaft entsteht erst bei großen Verformungen, und deren Anteil ist gering. Im Gegensatz zu einer GV-Verbindung bleibt die Kontaktwirkung in den Noppen auch im Grenzzustand der Tragsicherheit erhalten (s. Lindner, J., Scheer, J., Schmidt, H., Erläuterungen zu DIN 18800 Teil 1 bis 4, S. 76).

Bei den Fachwerkträgerversuchen zu [2] hat sich gezeigt, daß die Kontaktwirkung zwischen den Noppen bis in den stark plastischen Bereich der Kraft-Durchbiegungskurve erhalten bleibt, so daß eine Berücksichtigung der gesteigerten Lochleibungstragfähigkeit möglich ist.

6 Berechnung der Grenzlochleibung

6.1 Allgemeines

Es gelten die gleichen Grundsätze wie in Abschnitt 8.1 von [4].

6.2 Berechnung der Beanspruchbarkeit der Lochleibung

Die Lochleibung darf nach DIN 18800 (11.90), Teil 1, Element (805) Gleichung (49) nachgewiesen werden, wobei $\alpha_1 = 3,0$ gesetzt werden darf.

Es ergibt sich folgende Grenzlochleibungskraft für Rohre aus St37:

$$V_{l,R,d} = 3 \cdot 10 \cdot 3,0 \cdot 240 / (\gamma_M \cdot 1000) = 21,6 / \gamma_M \text{ [kN]}$$

$$(t = 3 \text{ mm}, d_{Sch} = 10 \text{ mm}, \text{St37})$$

Voraussetzung ist die Vorspannung der Knotenschrauben nach dem Drehmomentverfahren mit 70 Nm.

6.3 Sicherheiten

Nach der europäischen Norm EC3 (4.93), Abschnitt 8 und Anhang Y, wird der Teilsicherheitsbeiwert der Beanspruchbarkeit γ_{M1} gleich 1,1 gesetzt, wenn die Abweichung zwischen kleinstem Versuchsergebnis und dem Mittelwert der Versuchsergebnisse kleiner 10% beträgt. Dies ist bei den Ergebnissen der Versuche gegeben (s. Tabelle 1).

Bestimmt man den Teilsicherheitsbeiwert γ_M nach den Grundlagen zur Beurteilung von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten im Prüfzeichen- und Zulassungsverfahren (5.86) des IfBt, Abschnitt 2.5 genauer, kommt man zu folgendem Ergebnis:

$$\gamma_M = e^{(\alpha_R \cdot \beta \cdot k) \cdot v}$$

mit $\alpha_R = 0,8$ (bei normal streuender Einwirkungskombination)
 $\beta = 4,7$ Sicherheitsindex
 $k = 1,645$ Fraktilfaktor für 5%-Fraktile

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$
 Variationskoeffizient der untersuchten Eigenschaft

Der Variationskoeffizient v schwankt zwischen 0,028 und 0,036 bei den Versuchen. Daraus ergibt sich ein γ_M -Wert zwischen

$$\gamma_M = e^{(0,8 \cdot 4,7 \cdot 1,645) \cdot (0,028 \text{ bis } 0,036)} = 1,061 \text{ bis } 1,079.$$

Aufgrund dieser Ergebnisse wird ein Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,1$ für die Berechnung der Lochleibungsbeanspruchbarkeit der Verbindung vorgeschlagen.

7 Zusammenfassung

In diesem Gutachten werden Vorschläge gemacht, die Grundlage für die Bemessung des Lochleibungsnachweises der bei der Verbindung des Fachwerkträgersystems 180 werden sollen. Es werden die vorgenommenen Versuche ausgewertet, daraus Bemessungsvorschriften abgeleitet und Sicherheitsbetrachtungen vorgenommen.

Braunschweig, 26. Januar 1995

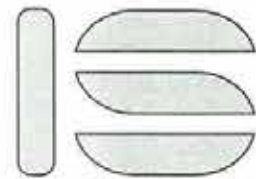

Prof. em. Dr.-Ing. J. Scheer


Dipl.-Ing. O. Einsiedler
Sachbearbeiter

Tabelle 1 Statistische Auswertung der Versuche

Versuchsreihe	Anzahl [Maßeinheit] n	arithm. Mit- telwert $\bar{x}$	Standardab- weichung s	Variations- koeffizient v	5%-Fraktile x_5	kleinster Wert x_{min}	5%-Fraktile (W=75%) $\hat{x}_5$
ohne Langloch Nopp01 bis 04	4 [kN]	36,4	1,0	0,028	34,7	35,3	33,7
mit Langloch Nopp05 bis 08	4 [kN]	32,8	1,2	0,036	30,9	31,8	29,7
Materialproben	3 [N/mm²], [%]	R _{p0,2} =341 A=42,7	4,5 1,0		334 40,9	337 41,6	327,1 39,4

DOI:10.26907/2542-0290.1995.26.0001



Untersuchungen zum Lochleibungstragvermögen der Knotenverbindung des Fachwerkträgers-"Systems 180"

Bericht Nr. 8268-1



Auftraggeber: Firma
 System 180 GmbH
 Mehringdamm 55
 10961 Berlin

Dieser Bericht besteht aus 4 Seiten und 10 Anlagen

Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig
 Beethovenstr. 51 · 38106 Braunschweig

1 Veranlassung

Im Bericht Nr. 8268 wurden Versuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Knotenaufbaus bei verschiedenen Stabexzentrizitäten und der Einleitung von Druck- und Zugnormalkräften in den Fachwerkpfosten untersucht.

In Ergänzung zu diesen Versuchen soll mit den hier beschriebenen zusätzlichen Versuchen geklärt werden, ob die Lochleibungstragfähigkeit der abgeflachten Stabenden durch die Anordnung von dort eingestanzten Noppen gesteigert werden kann.

2 Aufbau des Fachwerk-"Systems180"

S. Abschnitt 2 des Berichts Nr. 8268.

Die genauen Abmessungen des abgeflachten Endes der Gurtrohre $\varnothing 28$ mm zeigt Bild 1.

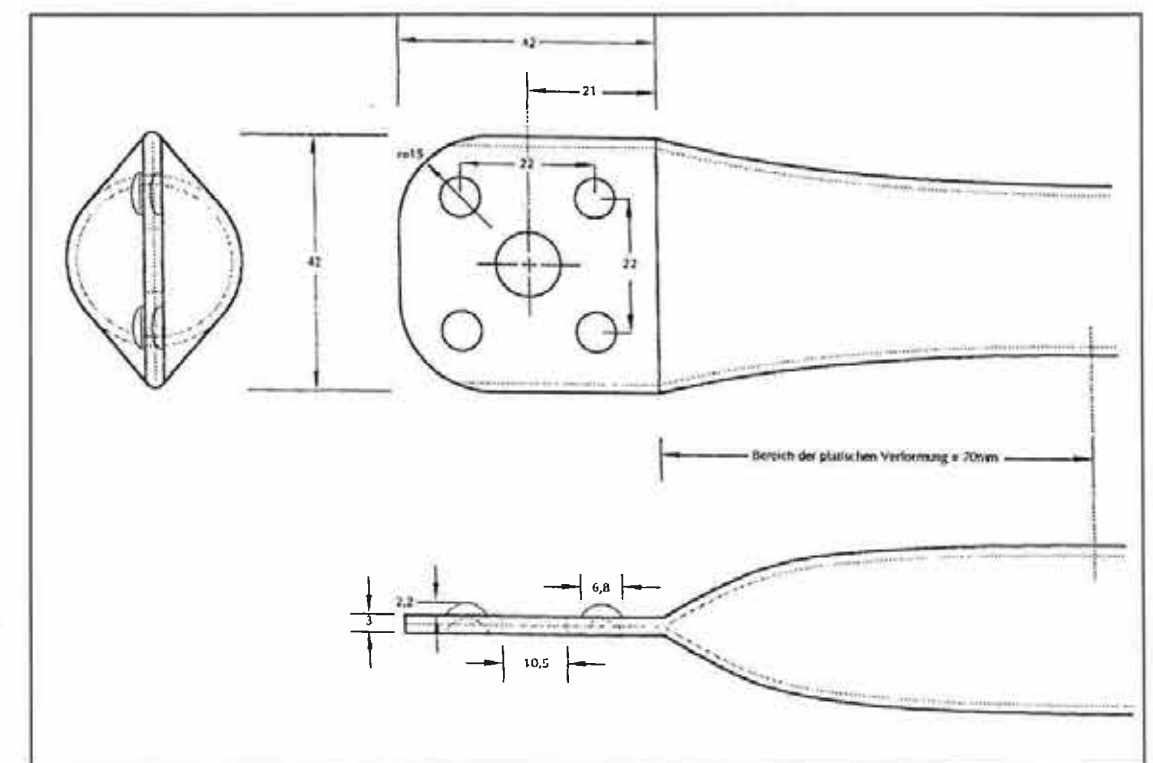


Bild 1 Abmessungen des abgeflachten Stabendes mit Noppen (Gurtstab)

3 Versuchskörper

Die acht Versuchskörper bestanden aus zwei Gurtrohren $\varnothing 28$ mm mit einer Länge von 380 mm, die an den abgeflachten und genoppten Enden mit einer Schraube M10, Festigkeitsklasse 8.8, verbunden worden sind. Die Rohre sind im gesamten Bereich mit einer Farbbeschichtung versehen. Der Aufbau der Verbindung besteht aus der Schraube M10, einer Unterlegscheibe, einer Systemnoppenscheibe, den zwei abgeflachten Stabenden, sechs Systemnoppenscheiben und der Schraubenmutter (Bild 2). Die abgeflachten Stabenden und die Systemnoppenscheiben sind mit der Noppenanordnung nach Bild 1 ausgebildet. Die Verbindung wurde mit einem Anziehmoment $M_v = 70$ Nm nach dem Drehmomentverfahren mit einem Drehmomentschlüssel vorgespannt. Die Schrauben sind galvanisch verzinkt und wurden weder geölt oder mit MoSo_2 geschmiert.

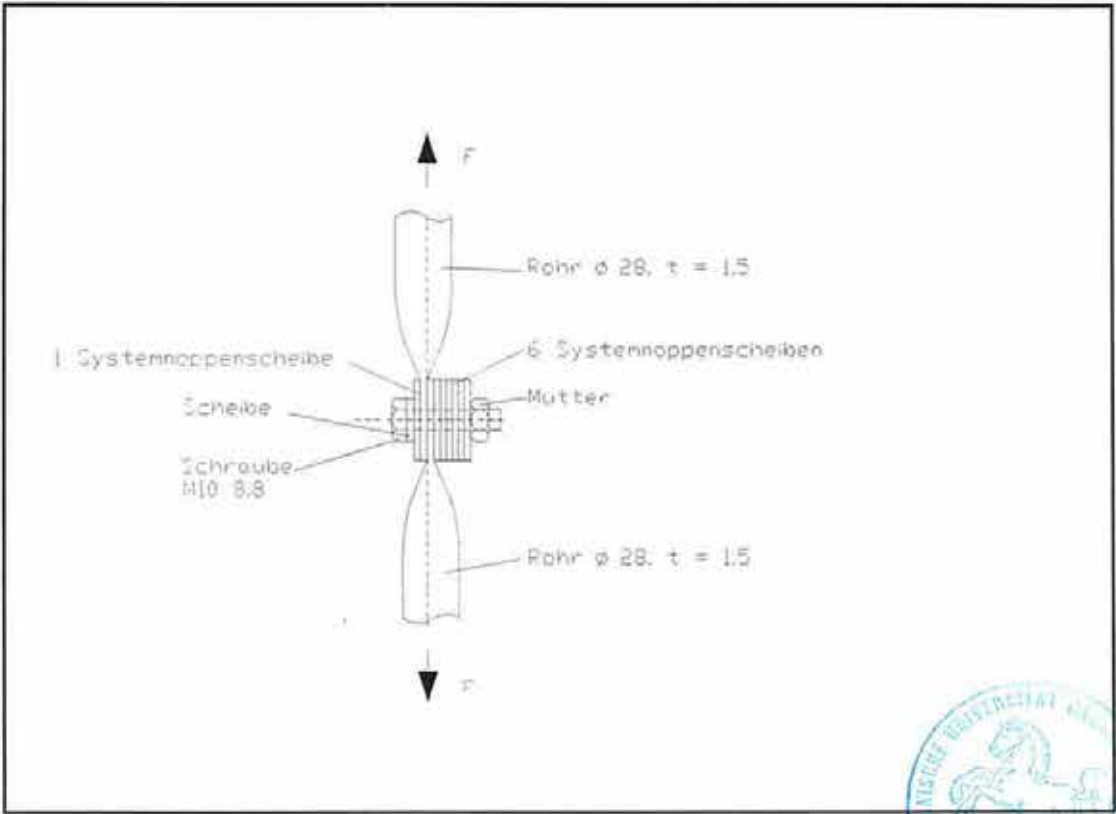


Bild 2 Aufbau der in den Versuchen getesteten Verbindung

Bei vier dieser Versuchskörper (Nopp05 bis Nopp08) wurden die in den abgeflachten Enden vorhandenen Löcher $\varnothing 10,5$ mm auf eine Länge von 20 mm zu Langlöchern

aufgebohrt (s. Anlage 10, unteres Foto). Dadurch wurde bei diesen Versuchen eine Kraftübertragung durch den Schraubenschaft ausgeschlossen.

4 Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuche wurden in der 200-kN-Prüfmaschine HUN20 des Instituts durchgeführt (Anlage 9). Es wurde die Prüfmaschinenkraft F und der Weg des Prüfmaschinenzylinders w mit dem Meßverstärkersystem UPM60 gemessen und mit einem PC digital abgespeichert. Die Prüfmaschine wurde mit der Regelung MTS Mikrokonsole 458 geregelt. Die Versuchskörper wurden weggeregelt mit einer Geschwindigkeit von 100 mm/h belastet.

Die Rohrenden des zusammengebauten Versuchskörpers sind vor dem Versuch abgeflacht worden, um sie in die Spannbacken der Prüfmaschine einspannen zu können. Um Exzentrizitäten bei der Krafteinleitung zu vermeiden, wurden in die Spannbacken Bleche von 3 mm Dicke beigelegt. Die Wirkungslinie der Prüfmaschinenkraft verläuft durch die Kontaktfläche der beiden abgeflachten Stabenden (Bild 2).

5 Materialkennwerte

Es wurden bei den Versuchen Gurtrohre $\varnothing 28$ mm verwendet, die aus der gleichen Liefercharge der Zweifeldträgerversuche 1 bis 3 des Berichts Nr. 8268 stammen. Die Materialkennwerte sind in Tabelle 1 des Berichts Nr. 8268 aufgeführt und werden hier wiederholt (Tabelle 1).

Tabelle 1 Materialkennwerte

Proben Nr.	Entnahmeort	Streckgrenze $R_{p0,2}$ [N/mm ²]	Zugfestigkeit R_m [N/mm ²]	Bruchdehnung $A_{Lo=63\text{ mm}}$ [%]
1	Gurt	346	(362)	42,7
2	Gurt	341	(358)	41,6
3	Gurt	337	(354)	43,7

6 Versuchsergebnisse

In den Anlagen 1 bis 8 sind die Kraft-Weg-Diagramme der Versuchskörper abgebildet. Es ergaben sich die in Tabelle 2 aufgeführten Traglasten. Bei allen Versuchen wurden die Noppen stark plastisch verformt. Es traten z. T. Anrisse im Noppenansatz auf (s. Anlage 10). Bei den Versuchen ohne Langloch (Nopp01 bis Nopp05) wurde das gebohrte Loch durch den Schraubenschaft aufgeweitet (Langlochbildung durch Loch-leibung, s. Anlage 10, oberes Foto).

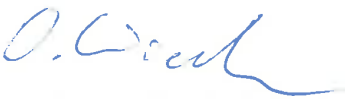
Tabelle 2 Traglasten

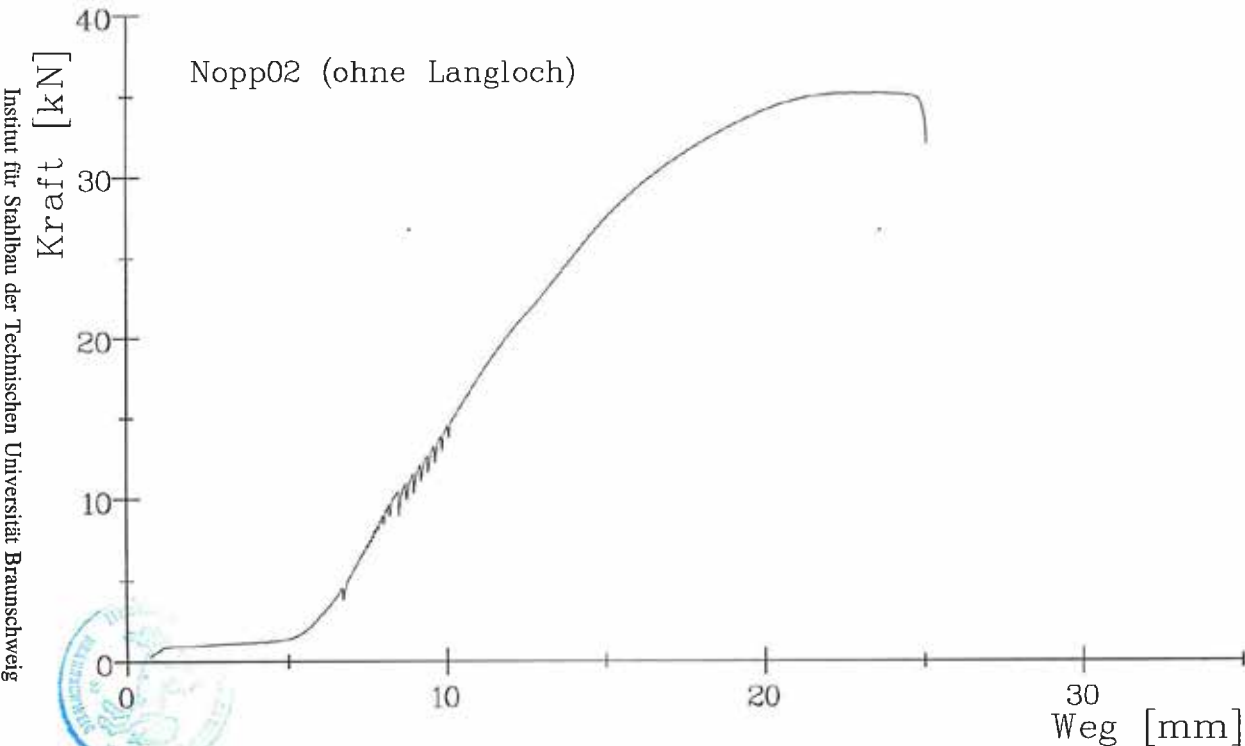
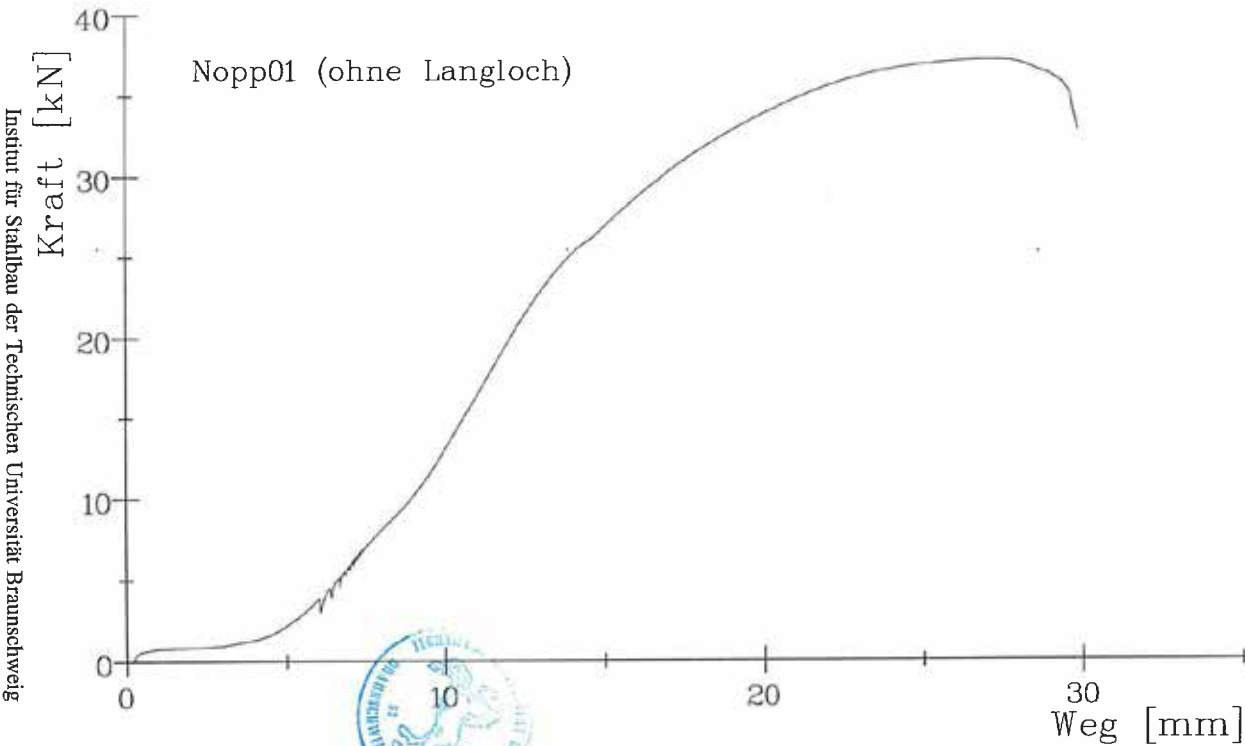
Versuch	ohne/mit Langloch	Traglast [kN]
Nopp01	ohne	37,3
Nopp02	ohne	35,3
Nopp03	ohne	35,7
Nopp04	ohne	37,1
Nopp05	mit	31,8
Nopp06	mit	33,2
Nopp07	mit	34,2
Nopp08	mit	31,8

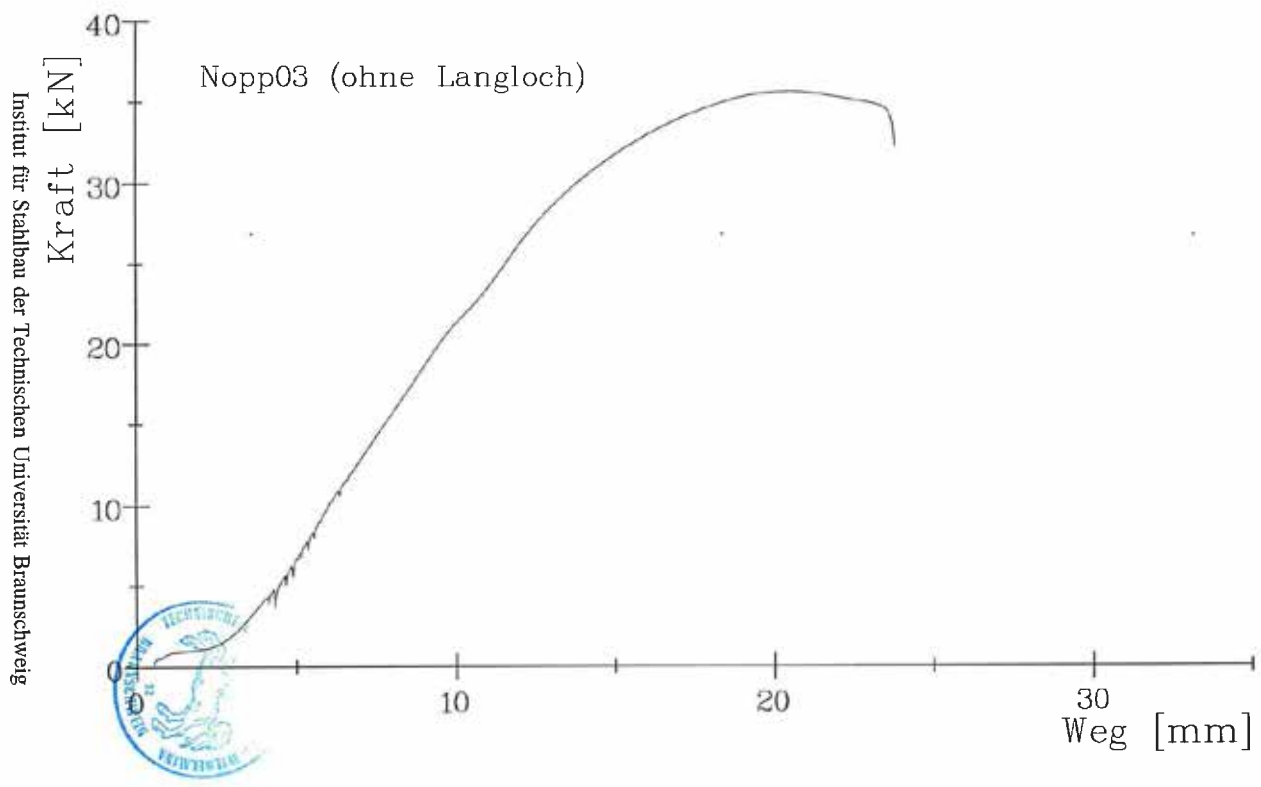
Braunschweig, 26. Januar 1995


Prof. Dr.-Ing. U. Peil
Leiter der Abteilung Stahlbau



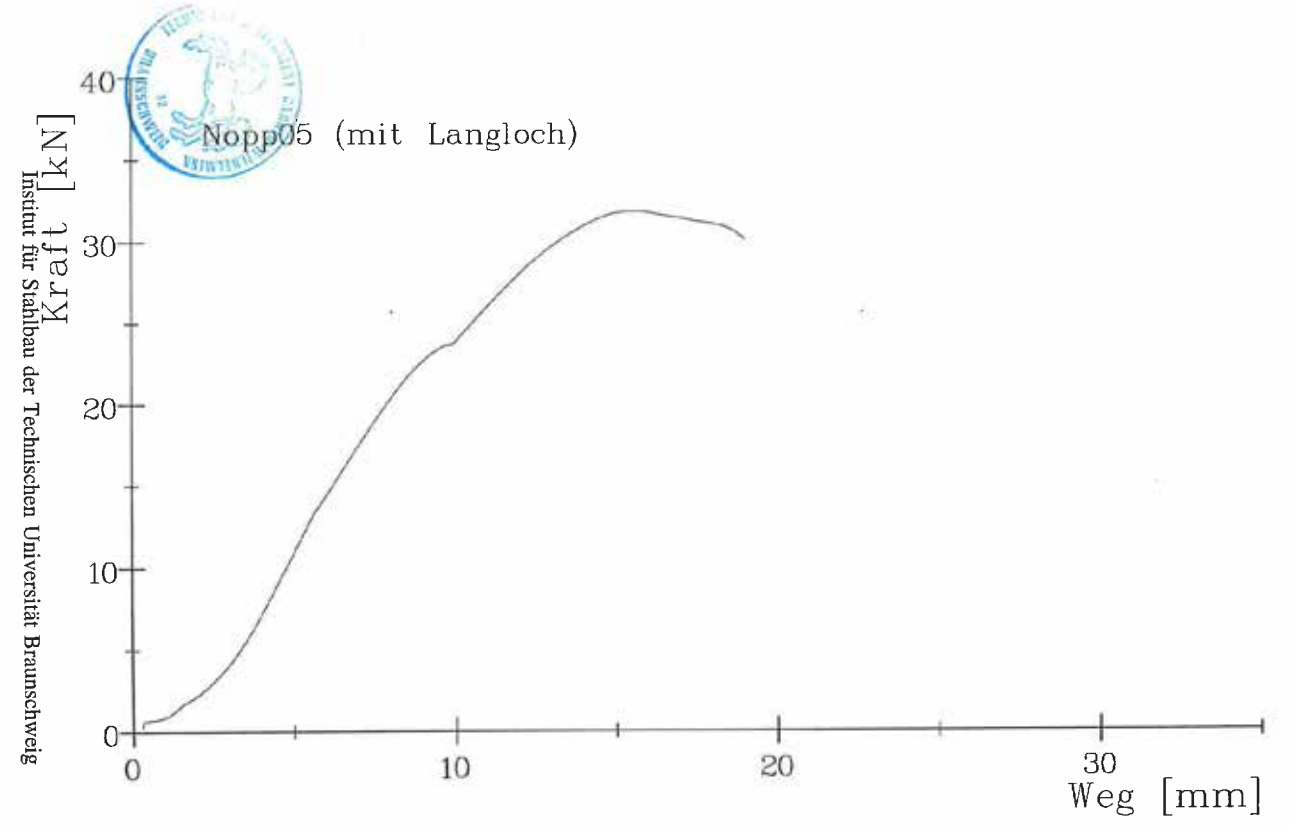

Dipl.-Ing. O. Einsiedler
Laborleiter





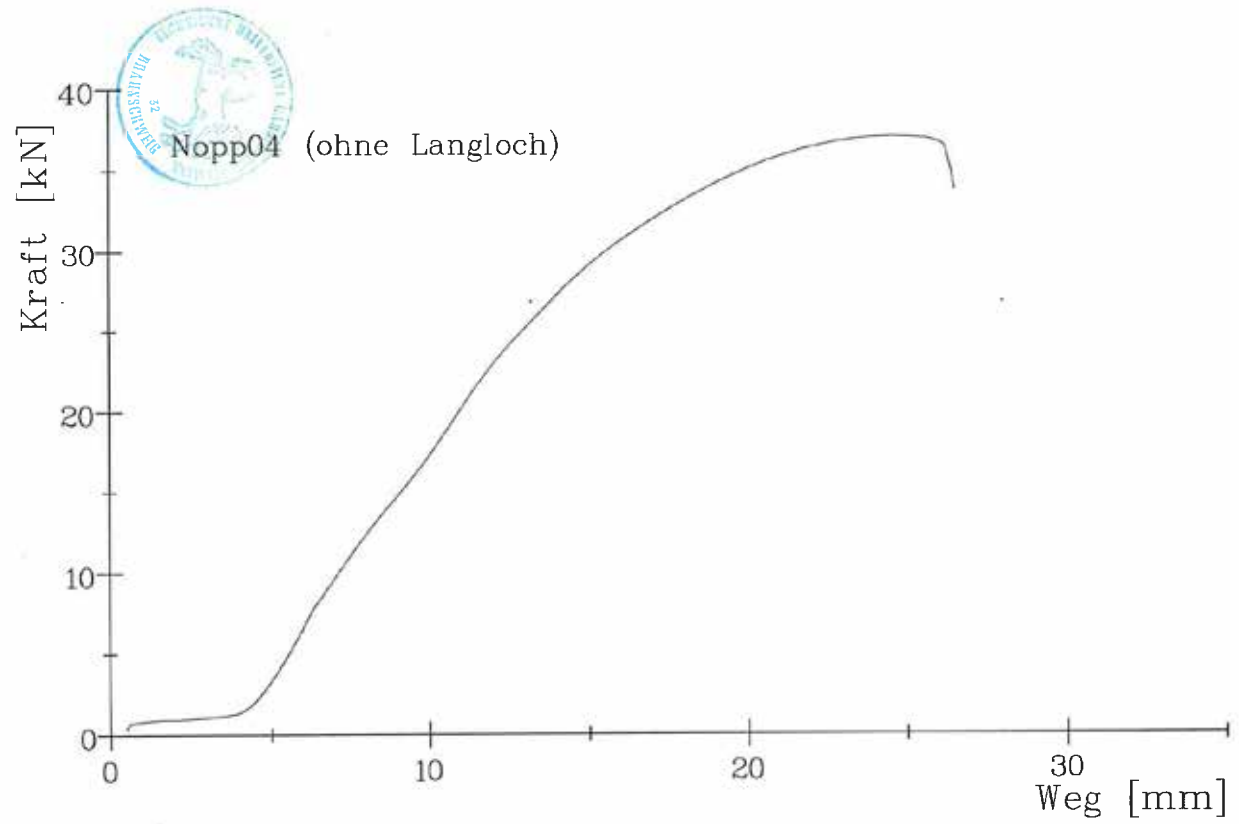
Bericht Nr. 8269-1

Anlage 3



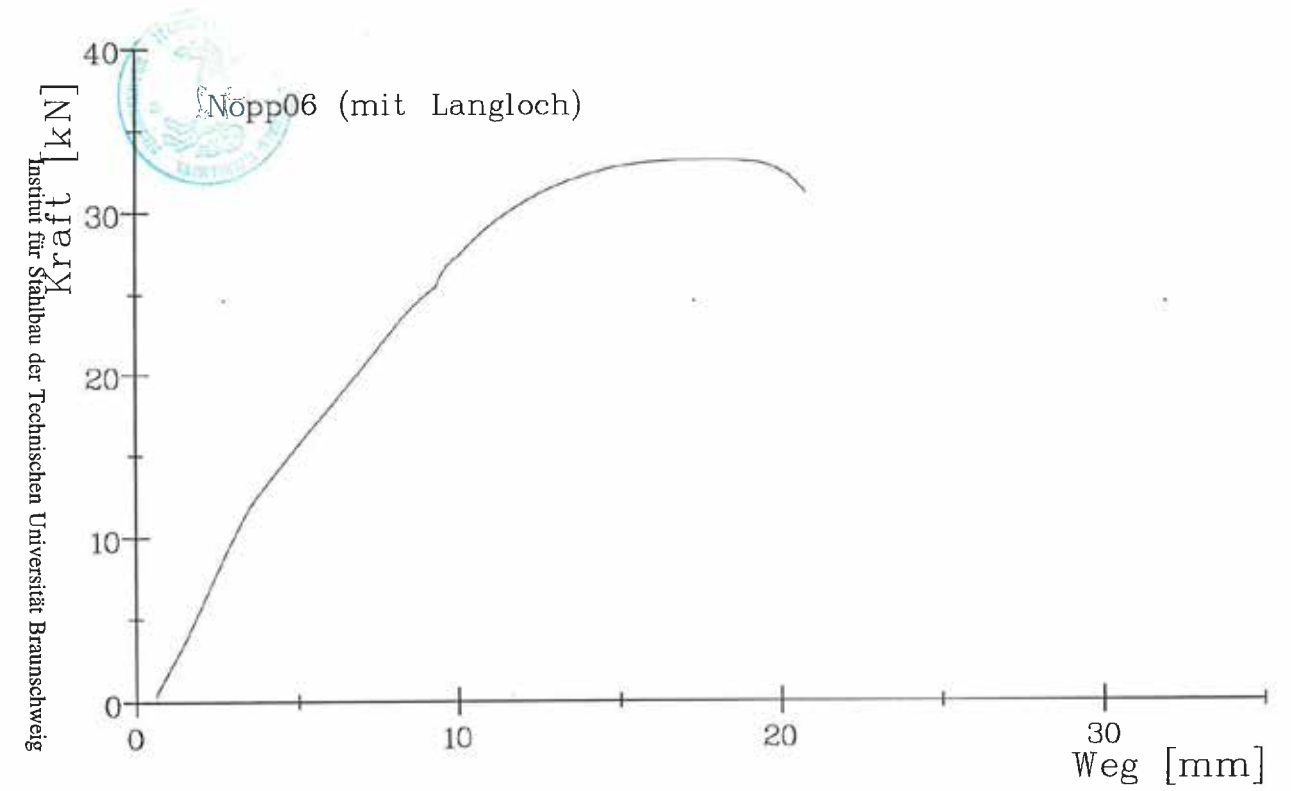
Bericht Nr. 8269-1

Anlage 5



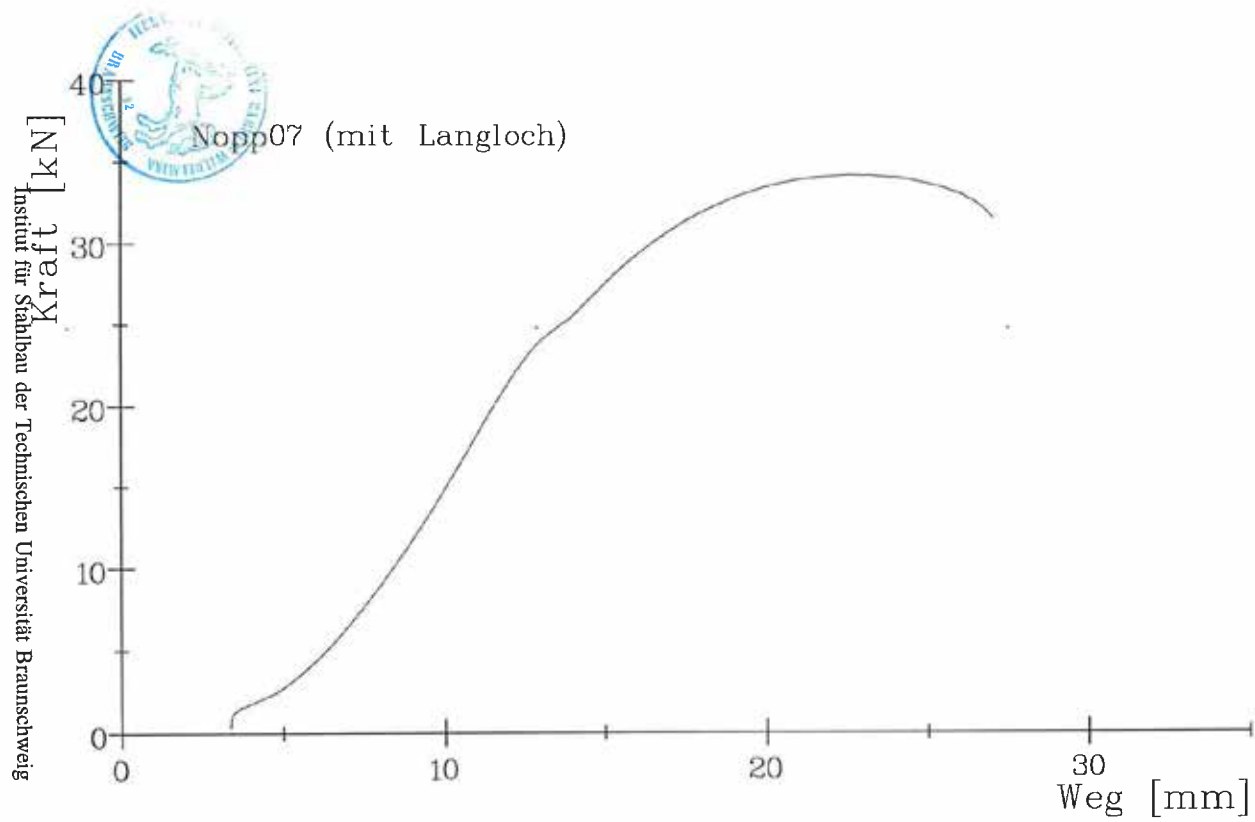
Bericht Nr. 8269-1

Anlage 4



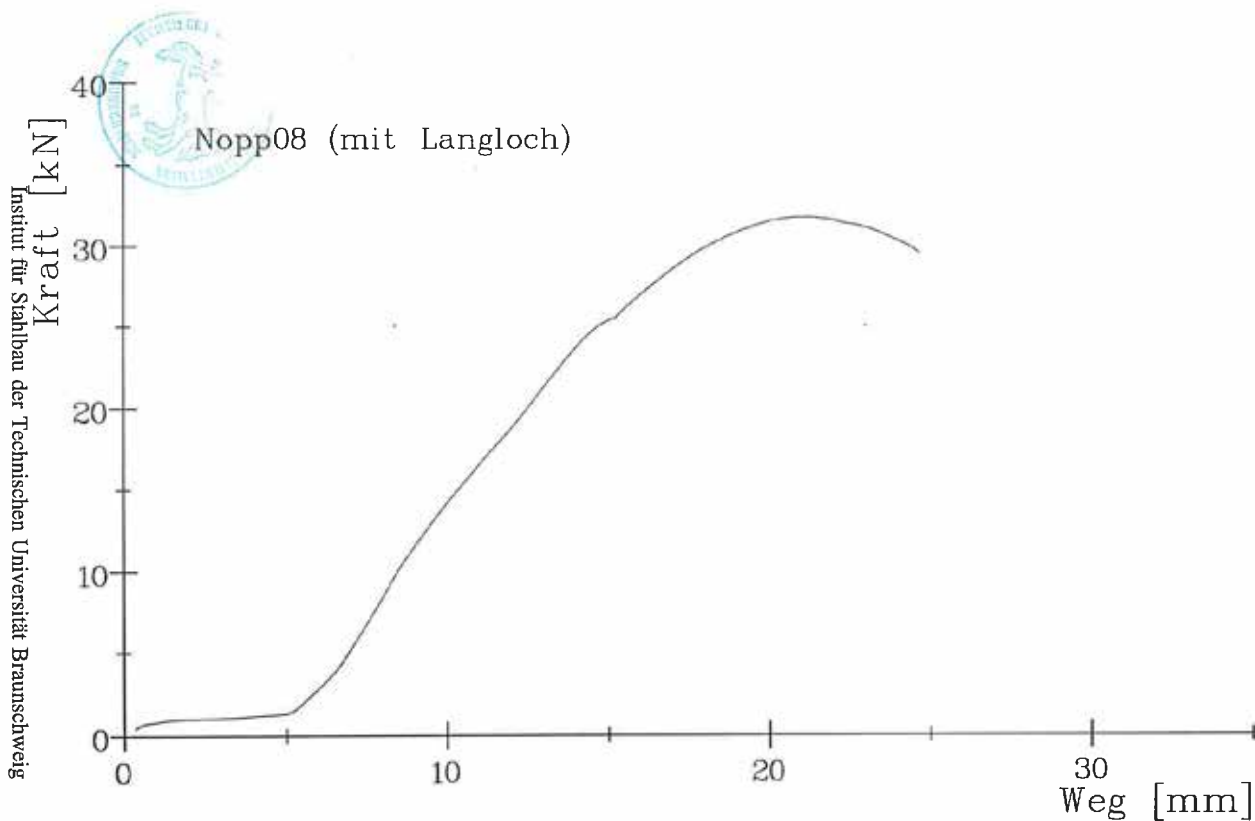
Bericht Nr. 8269-1

Anlage 6



Bericht Nr. 8269-1

Anlage 7



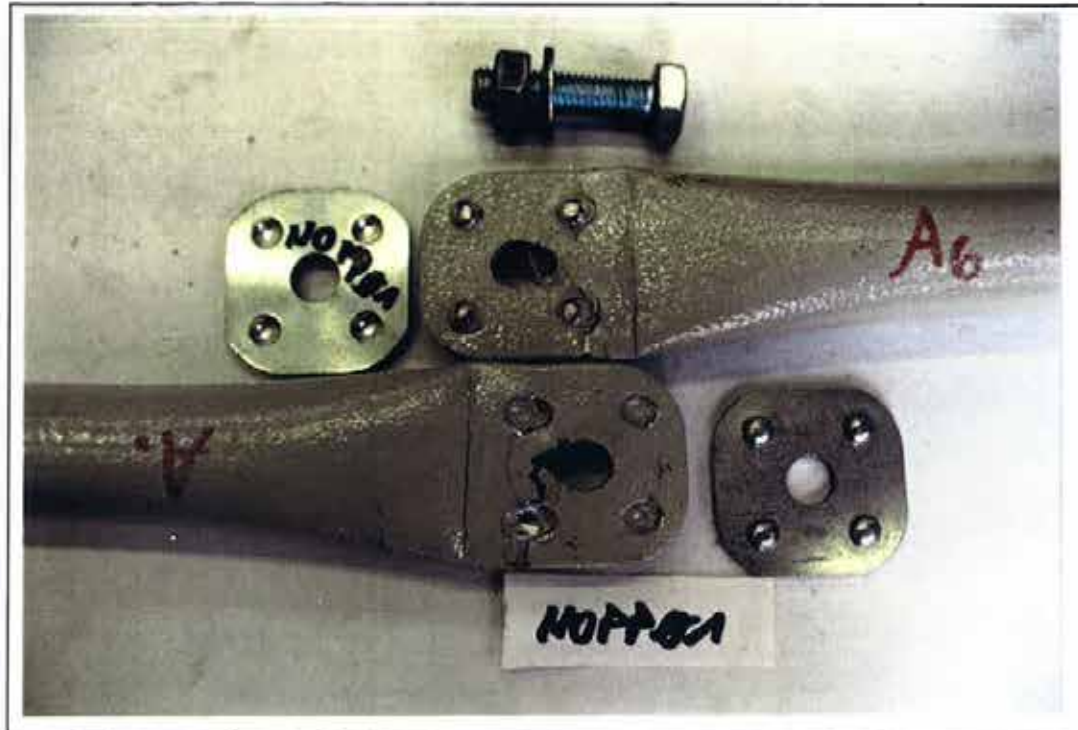
Bericht Nr. 8269-1

Anlage 8

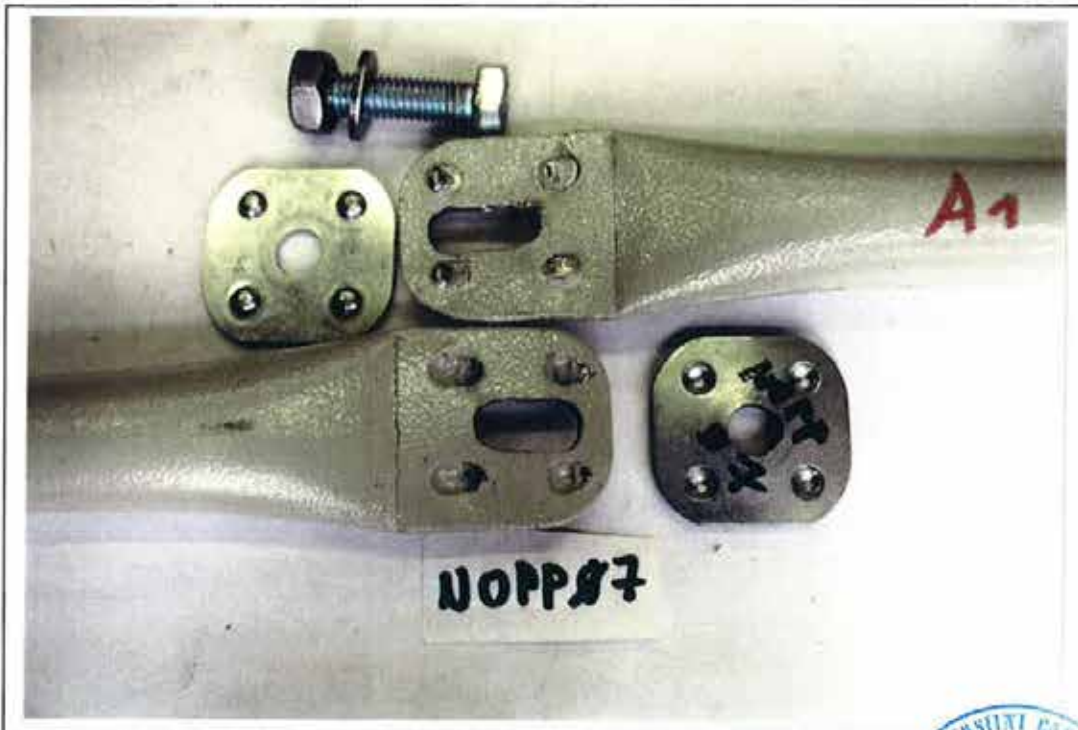


Versuchskörper in Prüfmaschine HUN20





Versuchskörper Nopp01 (ohne Langloch) nach Beendigung des Versuchs



Versuchskörper Nopp07 (mit Langloch) nach Beendigung des Versuchs

Institut für Stahlbau der Technischen Universität Braunschweig



Büro Steiner
Kultur-ingenieur-architekten

Kopie

BERLIN, 07. DEZEMBER 1994
Telefon 030 8 83 99 57 Telefax 030 8 83 99 18

Büro Steiner Bleibtreustraße 10 10623 Berlin

Berlin, 07. Dezember 1994

Technische Universität Braunschweig
Institut für Stahlbau
Herrn Dipl.-Ing. O. Einsiedler
Beethovenstrasse 51
38106 Braunschweig

Zulassungsentwurf für System 180
Ihr Schreiben vom 28.11.94 an die Firma System 180

Sehr geehrter Herr Einsiedler,

herzlichen Dank für Ihr oben genanntes Schreiben. Dürfen wir Sie bitten, die von Ihnen angebotenen Versuche zum Preis von je DM 60,00 zu machen.

Nicht ganz verständlich ist uns Ihre Position 2 "Ergänzung zum Bericht Nr. 8286". Muss der Bericht nicht einfach verändert werden?

Für ein Projekt, bei dem wir unser System als Geländerrohre verwenden wollen, haben wir einige Versuche gemacht, die den Ihren eventuell nahe kommen. Es ging dabei um die Frage, wieviel eine einschnittige Verbindung aushält, wenn der Stab als Kragarm wirkt. Es wurden verschiedene Anordnungen gewählt in Bezug auf Scheibenarten und -mengen. Den Einfluss der Unterlegscheiben konnten wir dabei nicht klären, weil bei jedem Versuch der Stab zerstört wurde, ohne dass sich die Verbindung geändert hätte. Nach dem Öffnen der Verbindung konnte festgestellt werden, dass die Noppen beansprucht wurden: die konvexen Elemente zeigten Andruckstellen. Wir waren selber sehr erstaunt, dass die Verbindungen in keinem Fall nachgegeben haben und der Stab erst bei einer Zugkraft von ziemlich genau 50 kg weggeknickt ist, nachdem er sich vorher bedrohlich gebogen hatte. Hat man den Stab ohne Noppen, also verkehrt herum, mit gleichem Anzugsdrehmoment festgeschraubt und dann gezogen, drehte er sich bei einer Last von ziemlich genau 10 kg um die Schraubenachse.

Dies alles nur als Hintergrundinformation im Fragenzusammenhang, welche Kräfte die Schraube und welche die Noppen übertragen, diesmal bei einer Versuchsanordnung, wo Lochleibung ohne Einfluss ist. Die beiden beiliegenden Blätter mögen da noch einigen Aufschluss geben.

Da wir bei unserem Versuch den Einfluss der Anzahl der Noppenscheiben nicht prüfen konnten (wegen der Zerstörung des Stabes), bitten wir Sie, bei den Zugversuchen unter anderem zu überprüfen, inwiefern die Anzahl der Noppenscheiben von Einfluss ist. So wären wir sehr daran interessiert zu erfahren, ob eine Verbindung auf der beidseitig jeweils zwei Noppenscheiben und je eine DIN-Unterlegscheibe angeordnet werden, anders reagiert als eine Verbindung mit nur je einer Noppenscheibe.

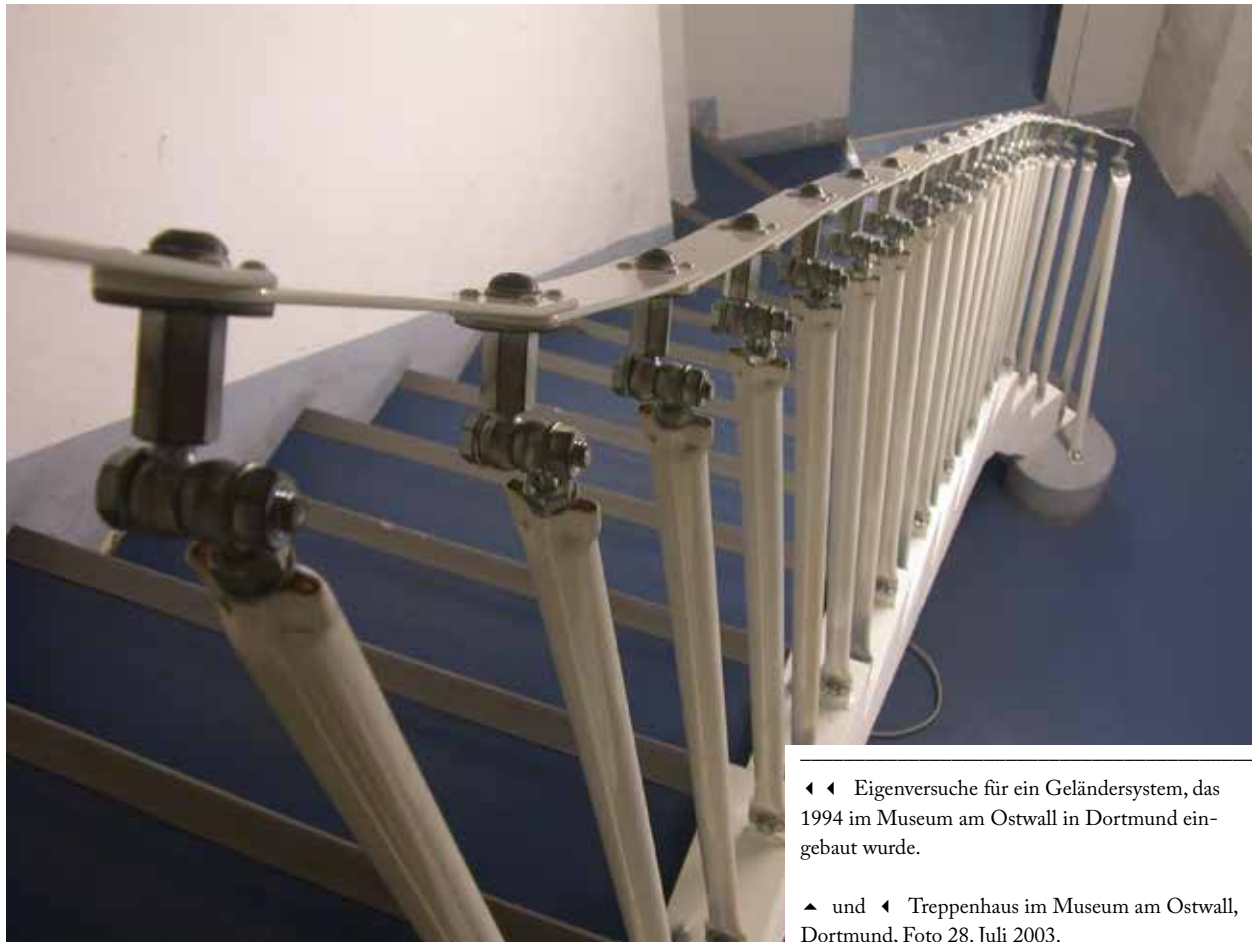
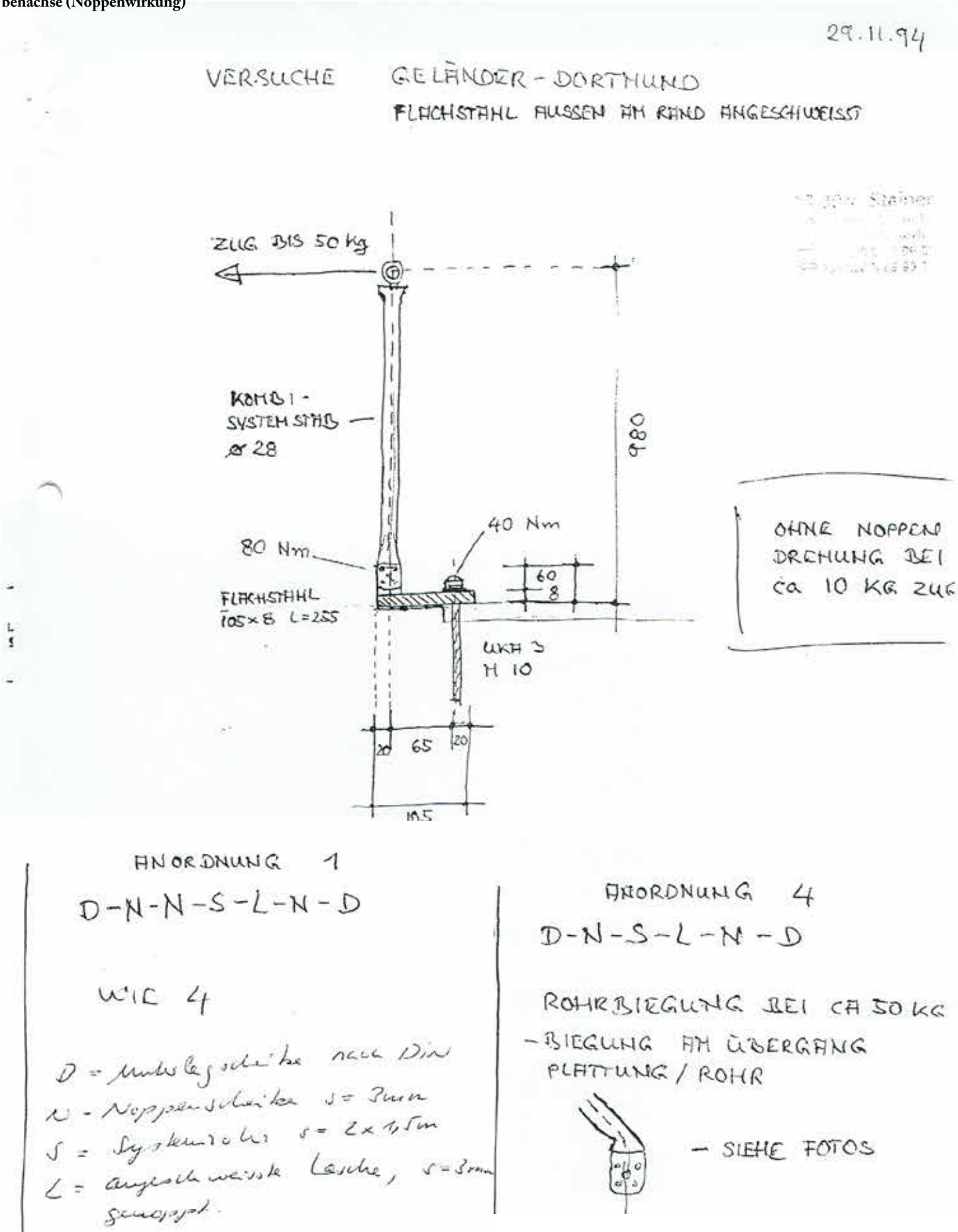
Für Nachfragen stehen wir immer sehr gerne zur Verfügung und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

Ihr

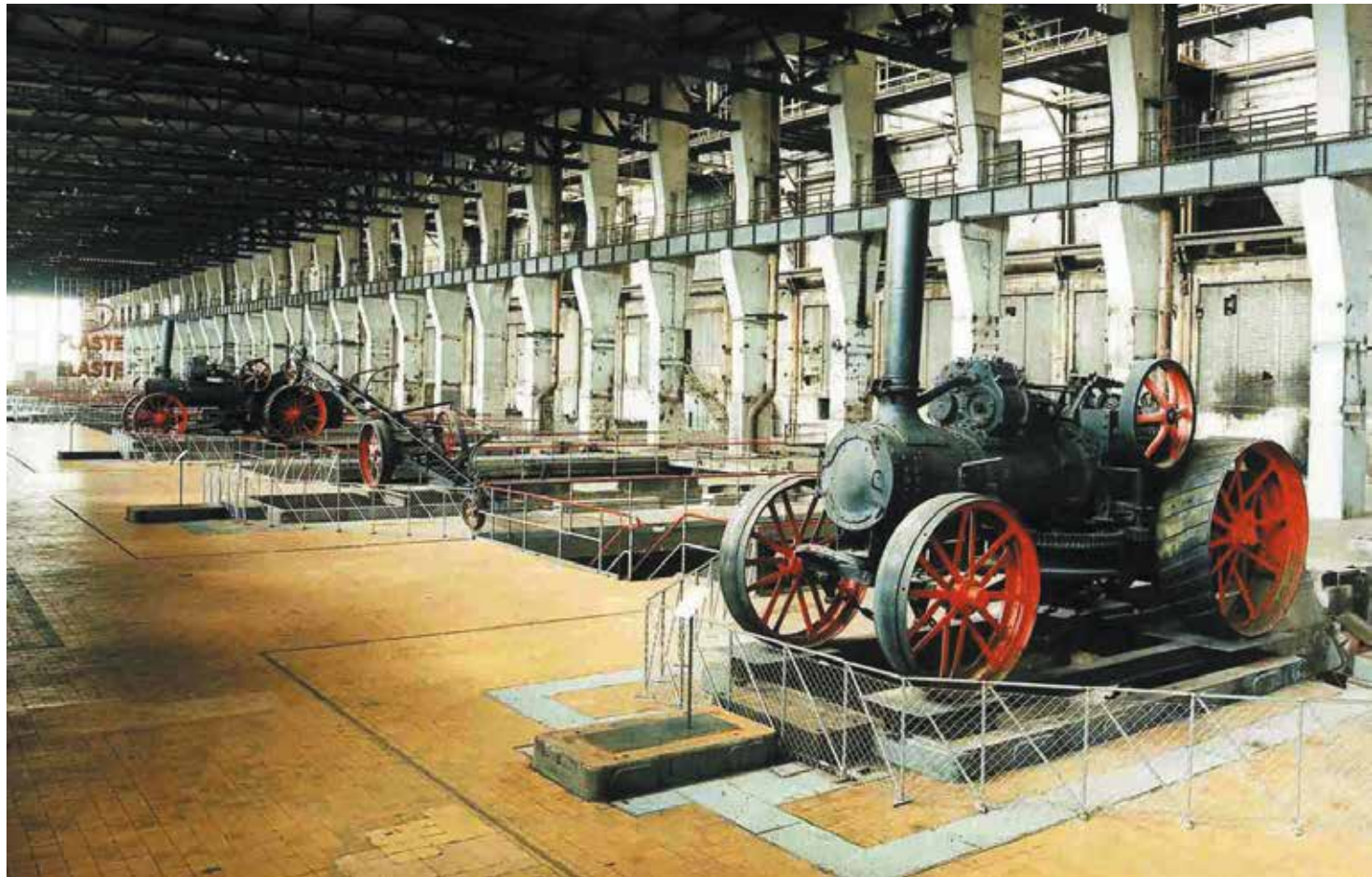
Jörg Steiner

PS - Was bei unserem obigen Versuch besonders interessant ist, könnte das Thema der Windverbände sein, also inwiefern können die Knoten in einer Richtung als steif bezeichnet werden.



◀ ◀ Eigenversuche für ein Geländersystem, das 1994 im Museum am Ostwall in Dortmund eingebaut wurde.

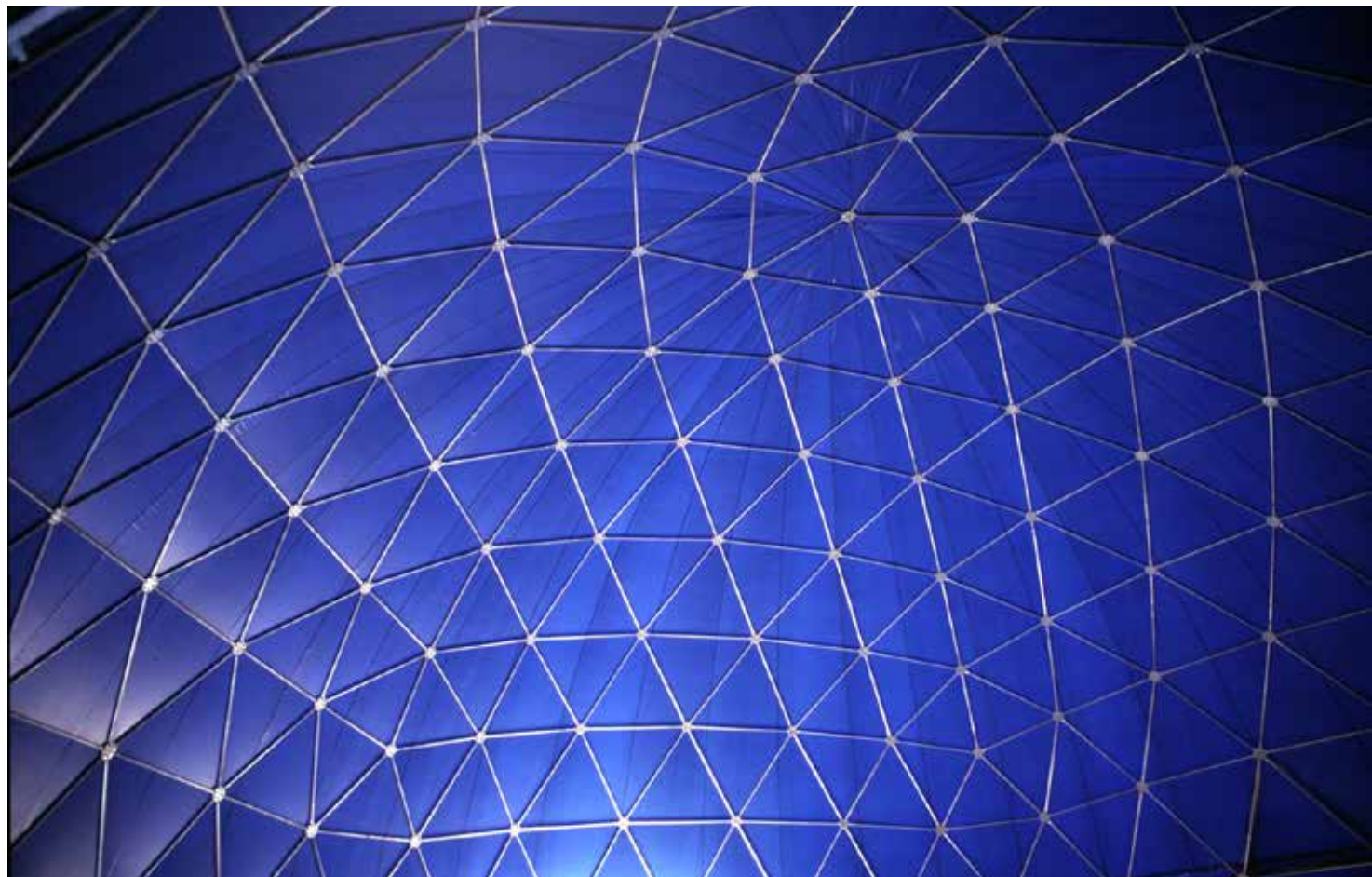
▲ und ◀ Treppenhaus im Museum am Ostwall, Dortmund, Foto 28. Juli 2003.



◄ ▲ und ◄ Geländerkonstruktionen im ehemaligen Kraftwerk Vockerode bei Dessau, Foto oben: Christiane Eisler, Transit, Leipzig.

Foto unten: 24. Oktober 1999.

▲ Treppe in der als Ausstellungshaus umgenutzten Kokerei Zollverein, Essen, 1999.

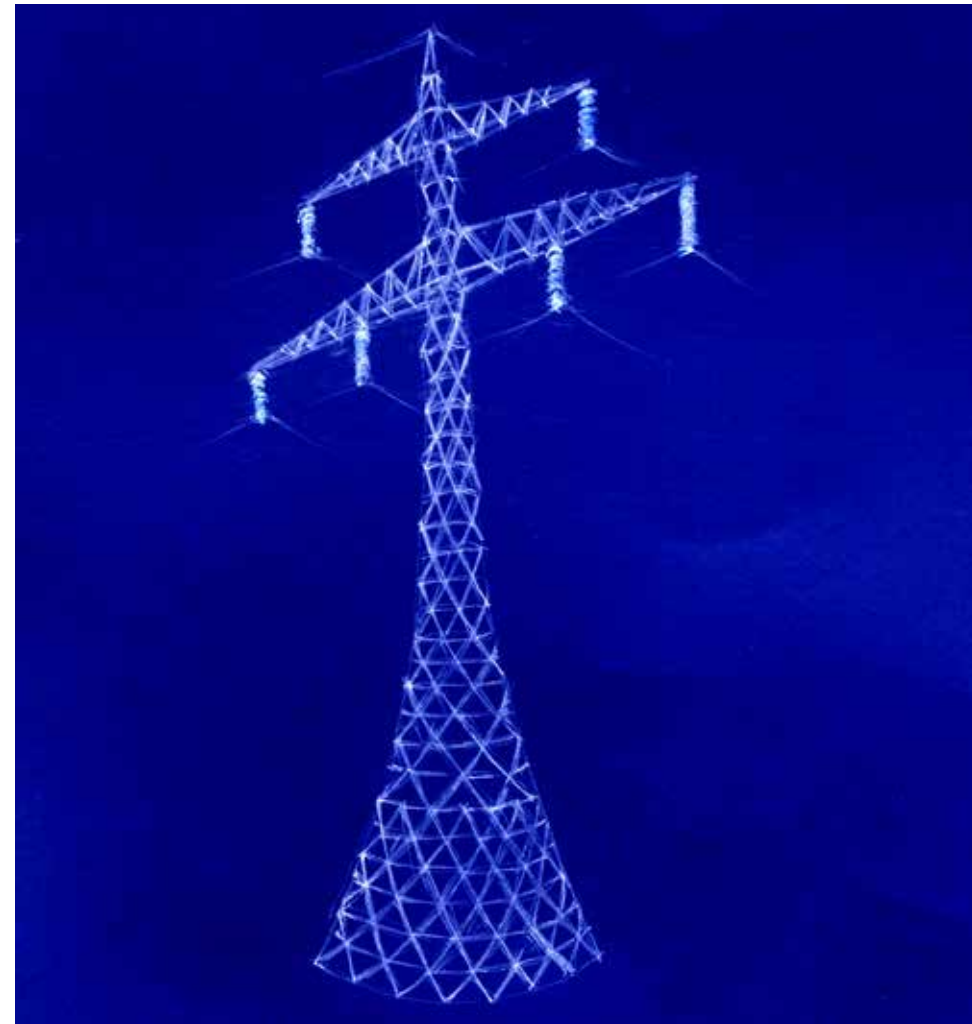
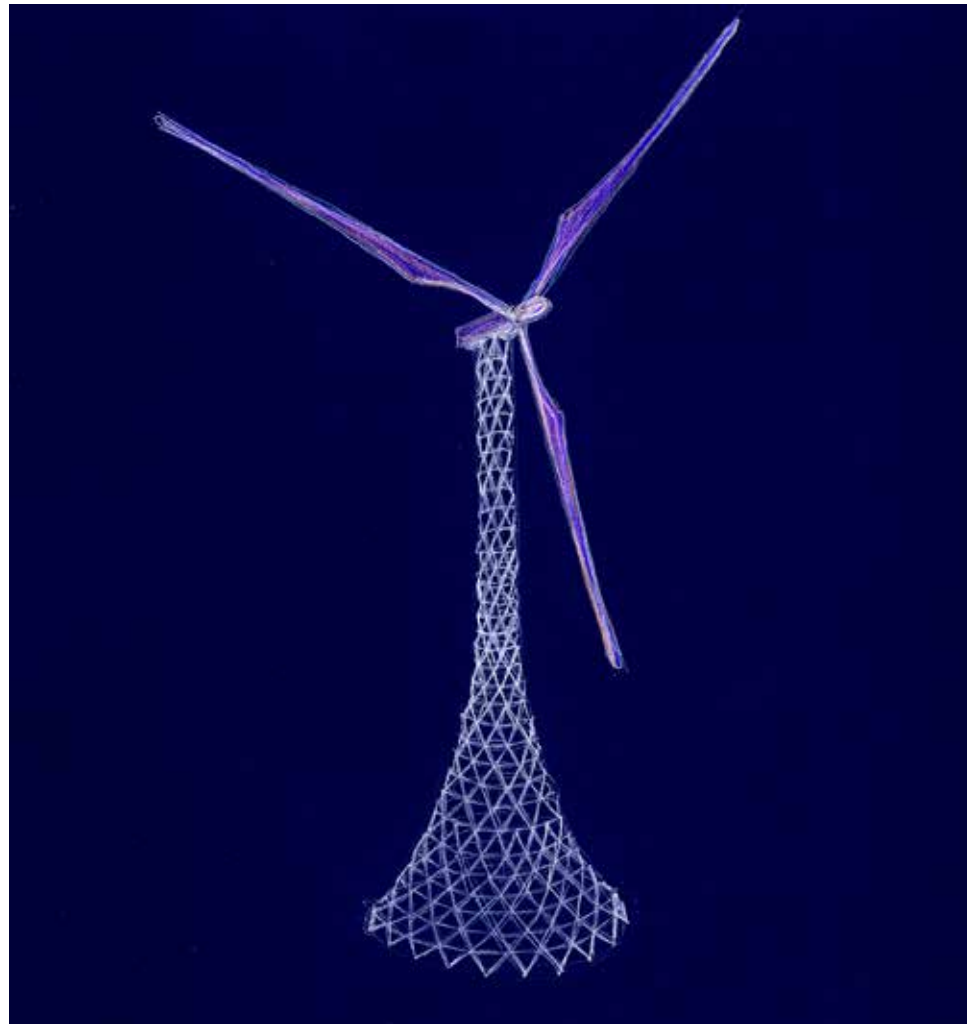


- ▲ ◀ Lamezia Terme (Kalabrien): Mehrzweckhalle während des Aufbaus, 2002.
- ◀ Lamezia Terme: Mehrzweckhalle von innen, 2002.
- ▲ ▲ Temporäre, wärmedämmende Wand des offenen Flugvorfelds auf dem Flughafen Tempelhof, Berlin, 2010.
- ▲ Kuppelbau in Peking während des Aufbaus, 2014.

Visionen

Gerade Ideen für filigrane Bauwerke im Umfeld der Energiegewinnung und des Energietransports lassen sich erst mit entsprechenden Zulassungen und Prüfungen konkretisieren. Die möglichen Vorteile – gerade in unwegsamem Gelände – liegen in der Verteilung der Lasten am Boden auf mehrere leichte Fundamente. Da diese weit auseinander liegen, sind die horizontalen und vertikalen Kräfte am Boden um im aufragenden Netzgebilde deutlich kleiner als bei einem zentralen Mast.

So warten diese Gedanken aus dem Jahr 2003 auf die Möglichkeit einer genaueren Untersuchung.



◀ ◀ ▶ Idee einer Substruktur für Windräder aus *System 180*, 2003.

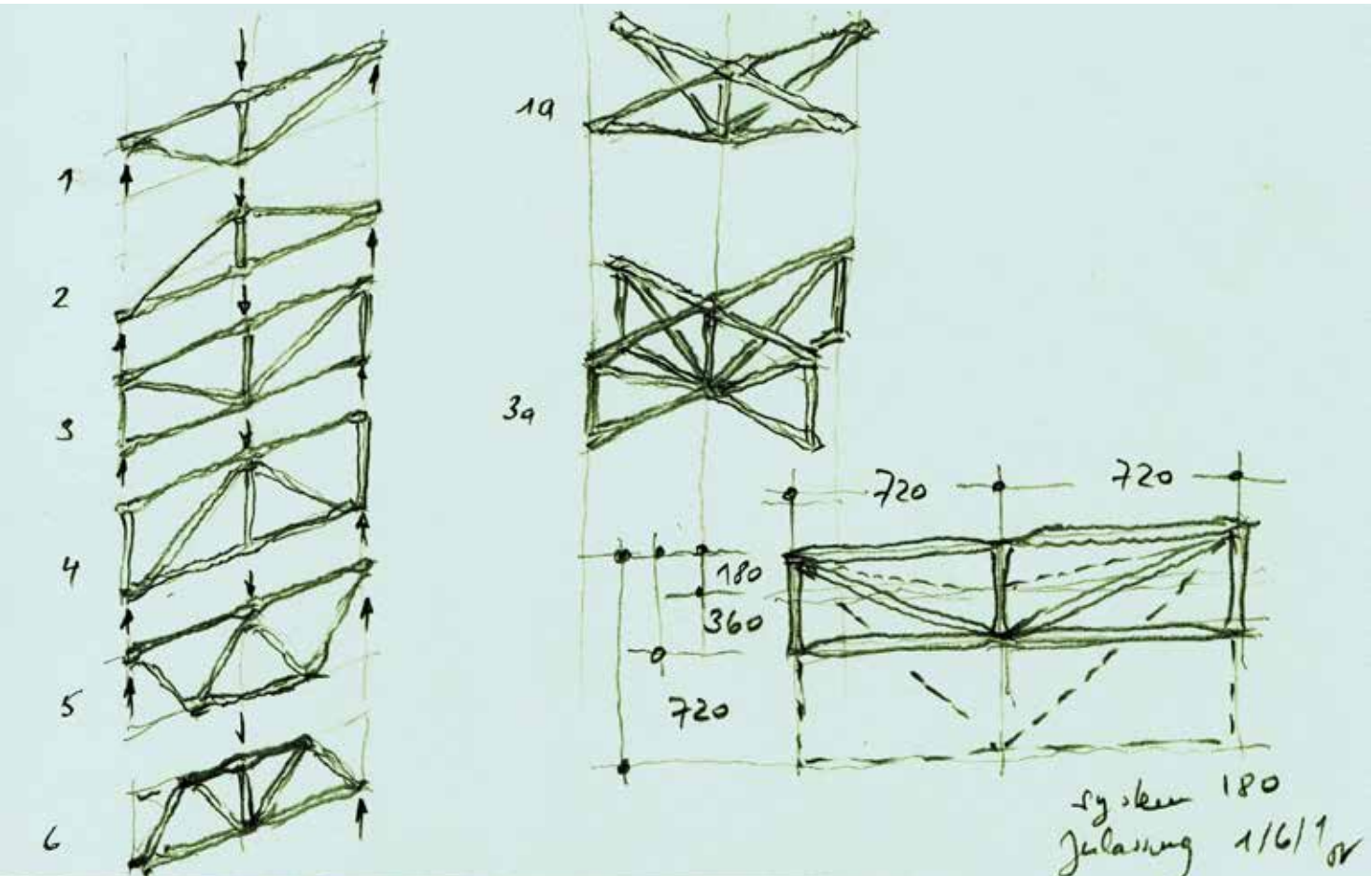
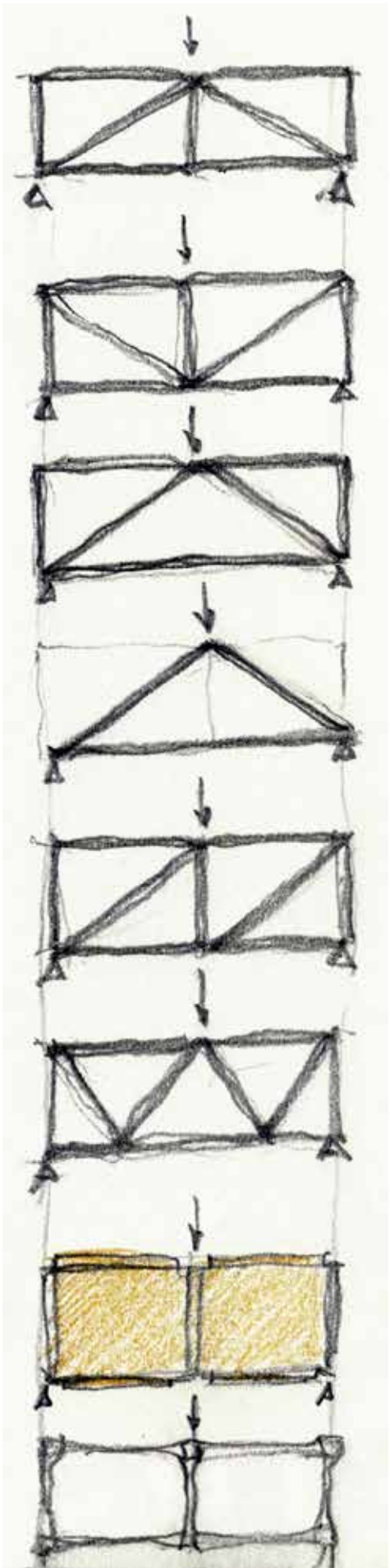
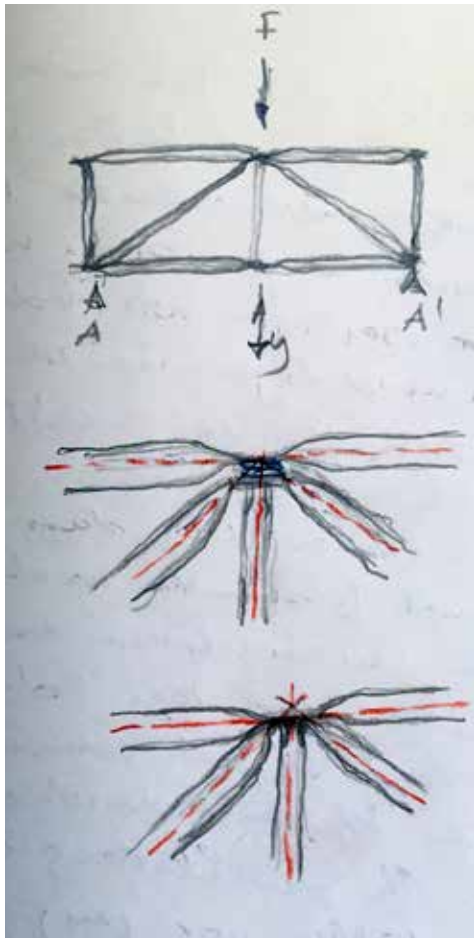
◀ ▶ Skizze für Hochspannungsmasten aus *System 180*, 2003.

◀ ▶ Ausstellung ›35 Jahre *System 180*‹ im neuen Showroom in Berlin-Adlershof, 2016.

Prüfkörper

Grundsätzlich gilt es, experimentell zwei Problemkreise zu isolieren:

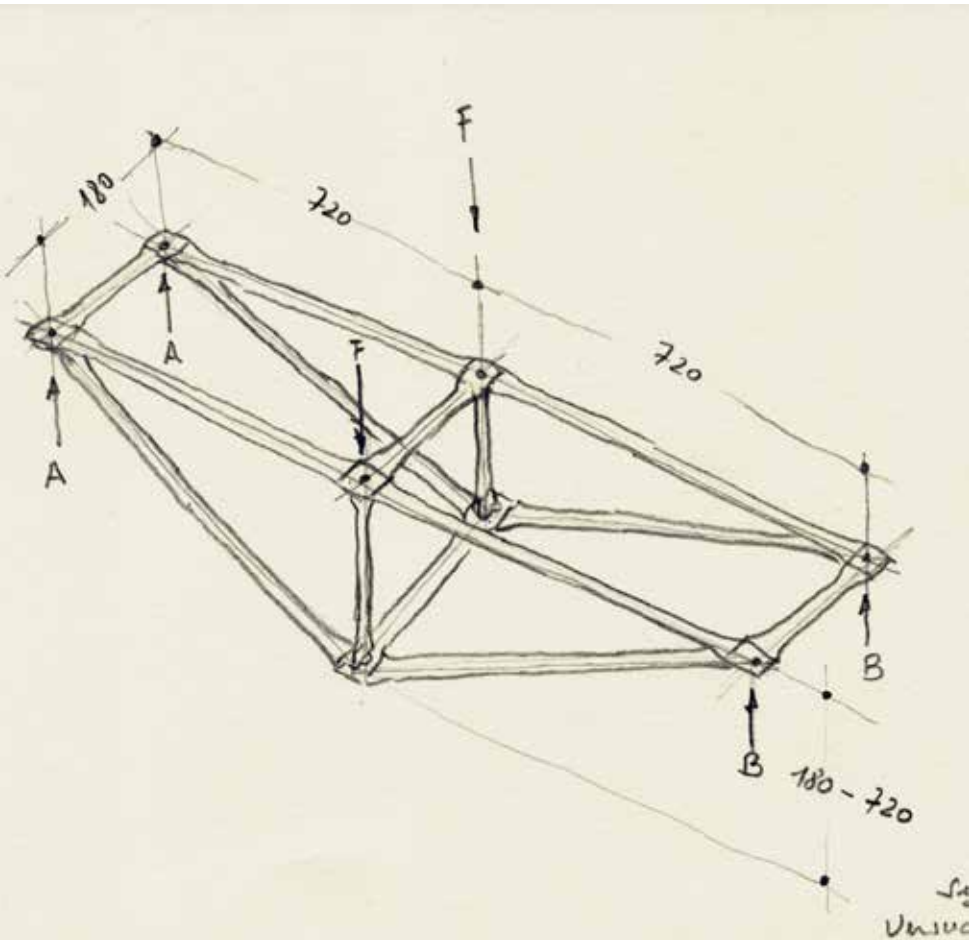
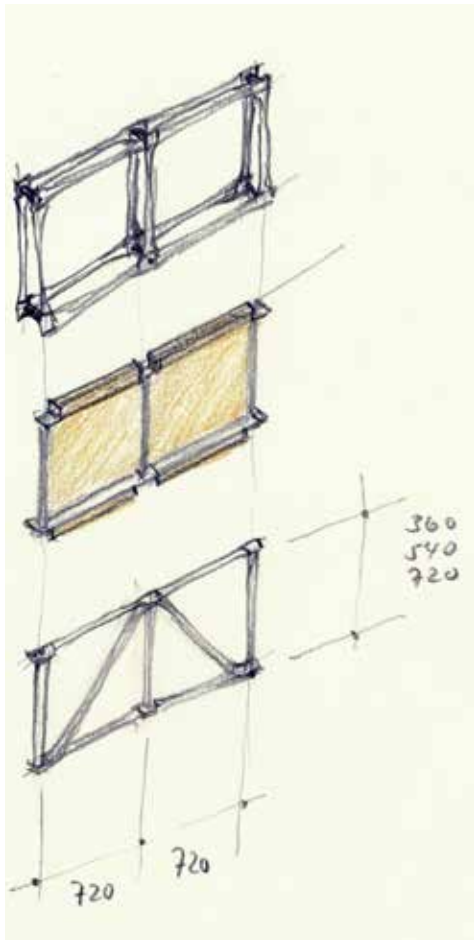
- 1. Die Exzentrizität, die bei den vielfach praktizierten geometrischen Anordnungen nicht zu vermeiden ist, soll in ihrer Wirkung überprüft werden, um gegebenenfalls Minderungsbeiwerte festlegen zu können.
- 2. Die unterschiedlichen Fachwerktypen sind erweitert zu untersuchen, um einerseits die Steifigkeit der Knoten um die Schraubenachse und andererseits das Ersetzen der Diagonalen mit Sperrholz zu untersuchen.



► ▲ Skizze zum Prüfaufbau zum Erkenntnisgewinn durch exzentrische Krafteinflüsse im Knoten, 2. September 2016
Vorgeschlagen wird ein horizontales Modul von 720 mm. Die Gesamtbreite von 1440 mm Systembreite gilt dann für alle Prüfkörper. Es sollten drei Feldhöhen (180, 360, 720 mm) geprüft werden.

► Drei unterschiedliche Prüfkörper im gleichen Raster, 25. Januar 2019

► ► Acht mögliche Prüfkörper in einer Skizze vom 26. Januar 2019: Beim Versuch 7 werden die Diagonalen durch eine formschlüssige Platte aus Sperrholz ersetzt.
Beim Versuch 8 werden Schrauben horizontal angeordnet, die Diagonalen entfallen, um den möglichen Widerstand bei Drehung um die Schraube experimentell zu ermitteln.



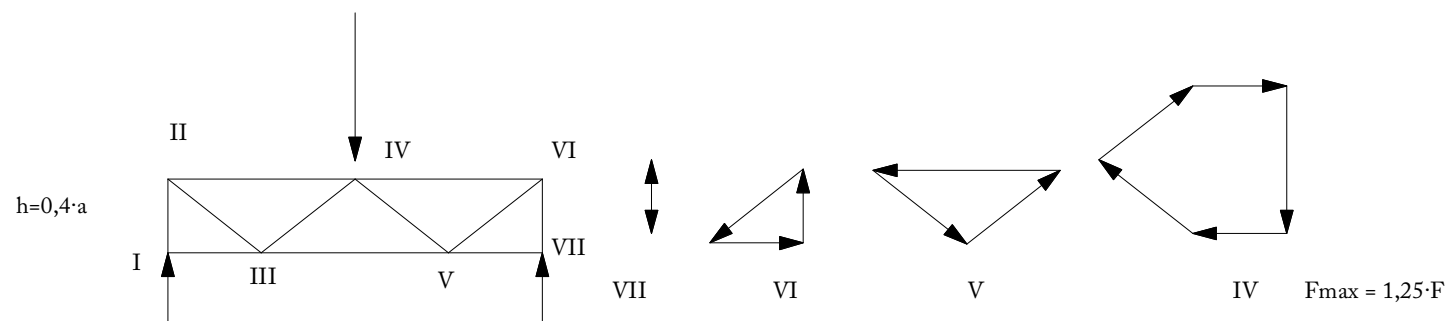
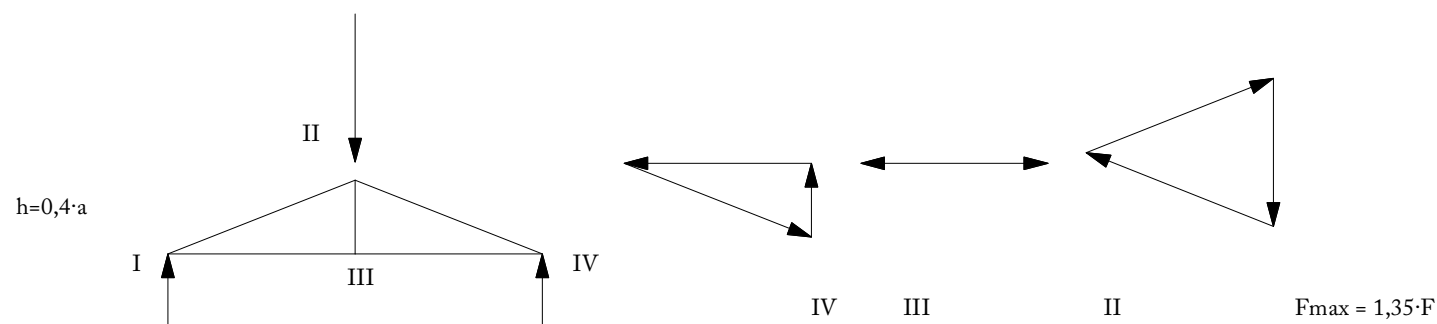
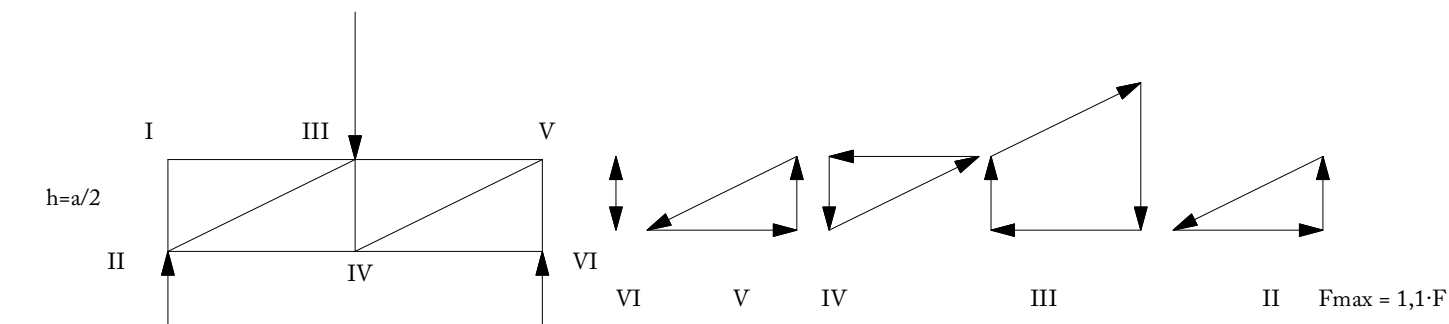
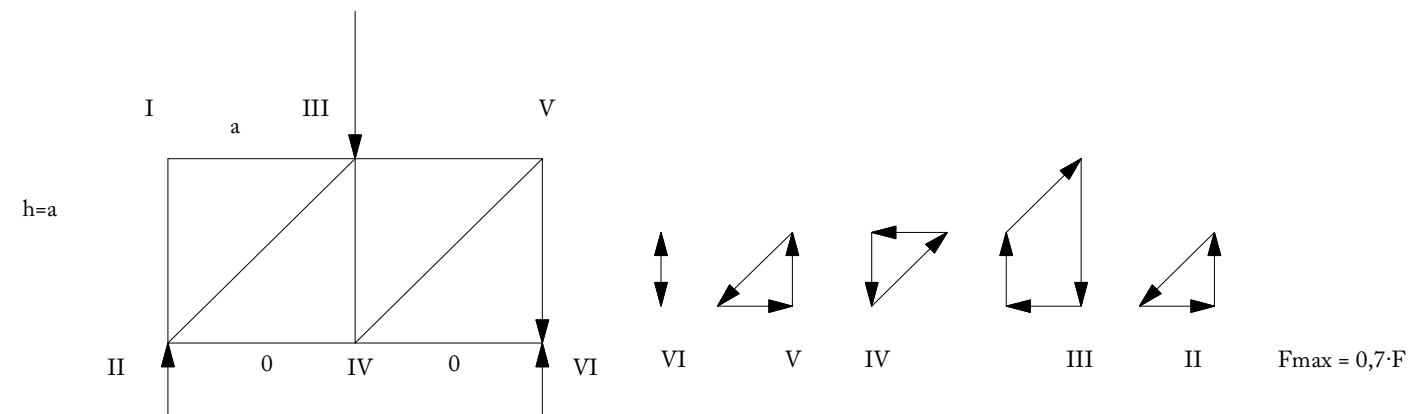
- ▲ Vorschläge für ebene und räumliche Prüfkörper, 1. Juni 2001.
- ◆ Vorschlag für einen räumlichen Prüfkörper, 4. August 2000.

Brücke aus System 180

Für die temporäre Ausstellung ›Wasser~Fälle – An Rhein und Maas‹, die 2002 im Medienhafen in Düsseldorf stattfand, wurden vier Schubleichter zu Ausstellungshallen umgenutzt. Aufgrund der hohen möglichen Tide war es notwendig, mit einer lange Brücke Land und Schiffe zu verbinden. Der zuständige Statiker wollte unseren überschlägigen Berechnungen nicht ohne weiteres folgen und schlug einen Belastungsversuch vor. Mit Wasser gefüllte Prüfkörper erzeugten die doppelte Kraft der vorgeschriebenen Verkehrslast. Vor dem Befüllen der Prüfkörper wurde über dem Obergurt eine Schnur gespannt. Bei Volllast bog sich die Brücke um 40 mm, nach Ablassen des Wassers blieb eine Durchbiegung von 8 mm. Die Brücke wurde danach freigegeben. Die Berechnung der Stabkräfte ergab für den oberen Druckgurt und den unteren Zuggurt die dreifache Kraft, die ein Rohr 28/1,5 übertragen kann. Deswegen wurden je drei Rohre übereinander angeordnet, was dank der schraubbaren Technologie möglich war und sogar den Vorteil hatte, dass die Kraftachsen der Diagonalen sich mit den Kraftachsen des mittleren horizontalen Rohrs trafen.

- ▶ ▲ ▲ Medienhafen Düsseldorf: in der Höhenlage bewegliche Brücke zum Verbund der vier Schubleichter, 20. Juni 2002.
- ▶ ▲ Befüllen der Prüfkörper am 11. Juni 2002, 13:11 Uhr.
- ▶ Leeren der Prüfkörper nach erfolgtem Belastungstest am 11. Juni 2002, 13:24 Uhr.
- ▶ ▲ ▲ Brücke vor Abfahrt der Schubleichter für die nächste Station in Leverkusen, 24. Januar 2003.
- ▶ ▶ Weg zu den Schubleichtern über die Brücke aus *System 180*, 13. Oktober 2013.





$$F_{zul} = A \cdot 14000 \text{ N/cm}^2$$

$$F_{zul} = 1,24 \text{ cm}^2 \cdot 14000 \text{ N/cm}^2$$

$$F_{zul} = 17360 \text{ N}$$

System 180
Zulassung
Stabkräfte für 4 neue Versuche
21. November 2019, J. Steiner

geschweisstes Stahlrohr 28/1,5

$\varnothing$	28 mm
s	1,5 mm
A	124,88 mm ²
A	1,25 cm ²
s zul.	14000 N/cm ²
F zul.	17482,96 N

Rechnerischer Ansatz für Versuchsreihen bei der SLV

Am 29. April 2019 und am 11. Februar 2020 wurden Testserien aus *System 180* mit paradigmatischen Konfigurationen zur Überprüfung des rechnerischen Ansatzes in der messbaren Realität vorgenommen.



Product
Design Award

Best of Category

System 180, Germany

Design: System 180, Germany
Jürg Steiner, Dirk Uptmoor

2000
System 180
Modulares Stahlrohrdesign
modular steel tube design



Product
Design Award

System 180, Germany

Design: System 180, Germany
Jürg Steiner, Dirk Uptmoor

2001
Konferenz Tisch 270
Modularer Tisch
Modular table

◀ ◀ ◀ Ermittlung des Verhältnisses von einwirkender Kraft und größter auftretender Stabkraft, 21. November 2019.

◀ ▲ ▲ Parameter der Grundbedingungen, 18. Juni 2020.

▲ Die drei Stabarten des *System 180*: Gerade, Diagonale und Mutterstab (Pfosten), 2016

◀ ◀ Product Design Award 2000.

◀ Product Design Award 2001.



Zweite Versuchsreihe

GSI mbH
Niederlassung SLV Berlin-Brandenburg
Luxemburger Str. 21
13353 Berlin

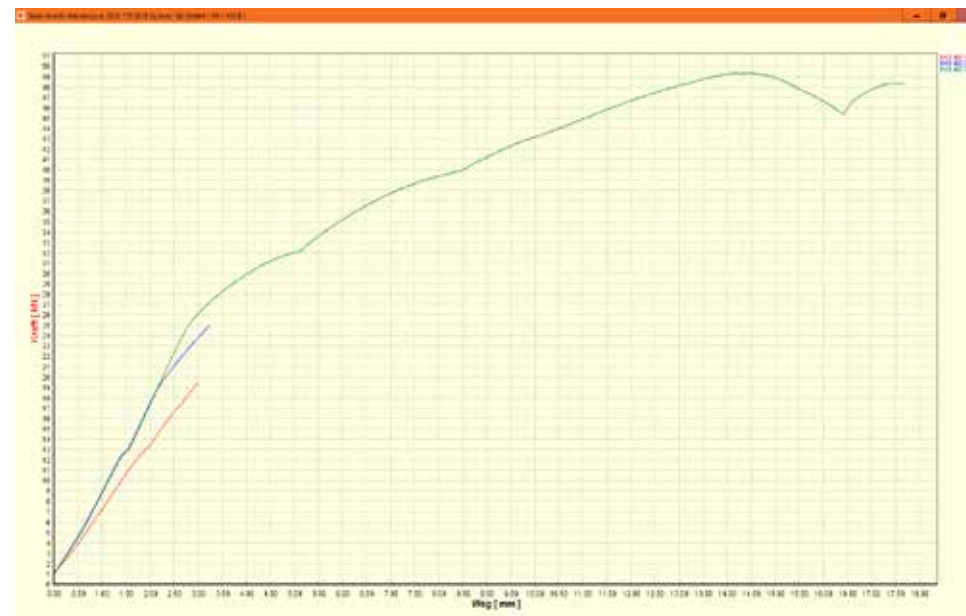
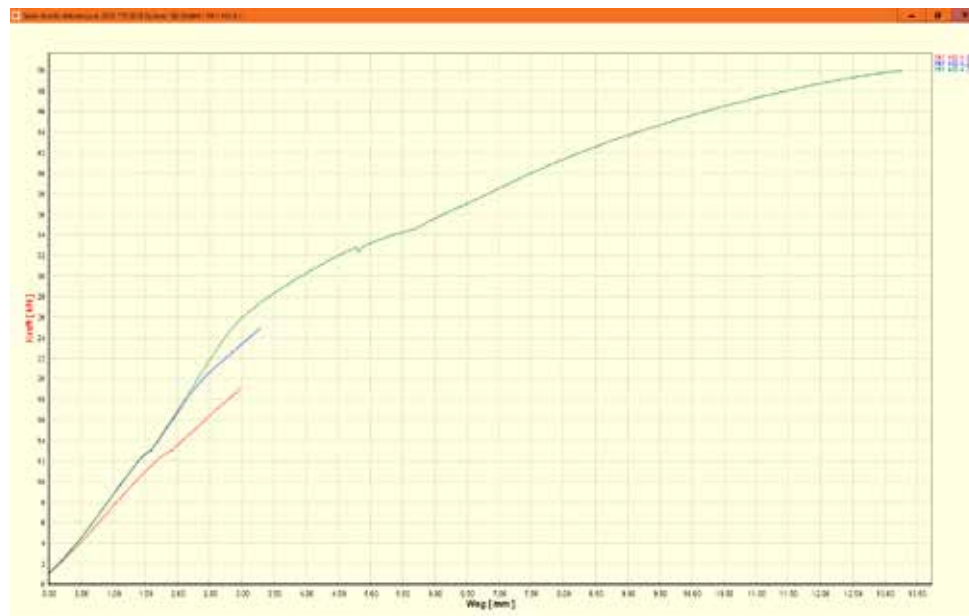
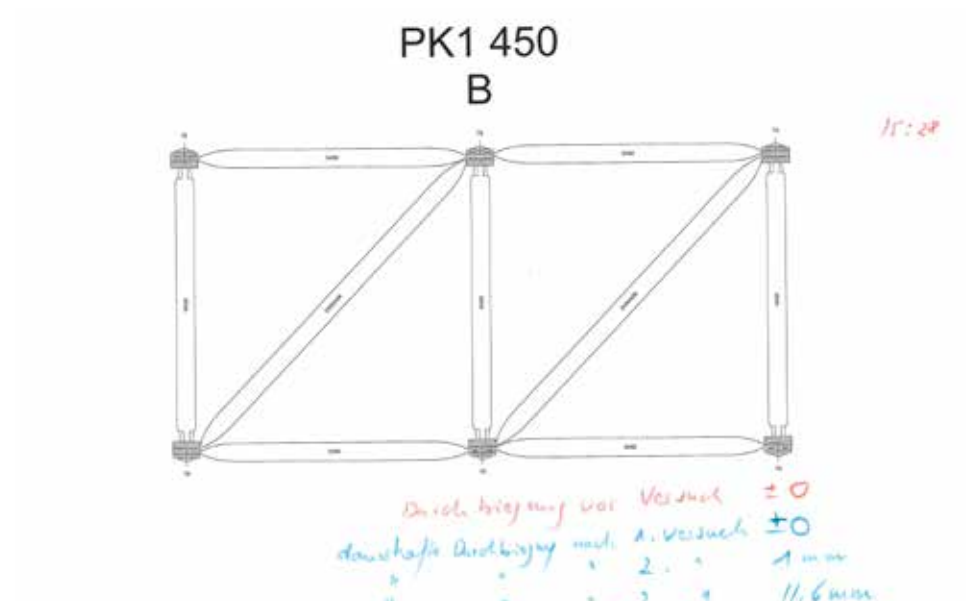
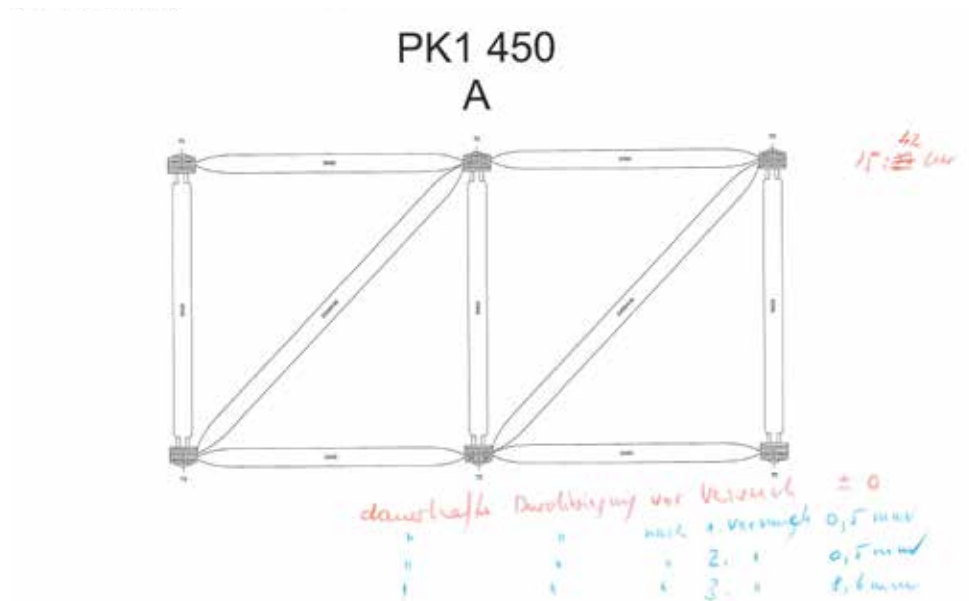
Am 11. Februar 2020 fand die zweite Testreihe bei der SLV statt. Kleine Modifikationen an den Mutternstäben (Pfosten) bewogen uns, den Versuch vom 29. April 2019 zu überprüfen und unterschiedliche Bauhöhen zu testen, um den Moment des Versagens durch Überlast bezüglich der Normlasten in den Stäben und den leichten Exzentrizitäten in den Knoten analysieren zu können. Jeder Versuch wurde doppelt ausgeführt:

zuerst bis zur errechneten zulässigen Last, dann bis zur Zerstörung.
Ansprechpartner bei der SLV: Leitung: Dr. Sylvio Klaus, Durchführung: Dirk Mauersberger.

◀ Die Hand des Leiters der Versuchsreihe, Dirk Mauersberger, Mitarbeiter der SLV, wacht über den Betriebsablauf, Foto Andreas Stadler.

◀ Versuchsanordnung: die beiden Auflager werden auf seitliches Ausweichen gesichert, Foto: Andreas Stadler.

▲ Jeder Versuch wird elektronisch aufgezeichnet (Kraft-Wege-Diagramm) und gefilmt.

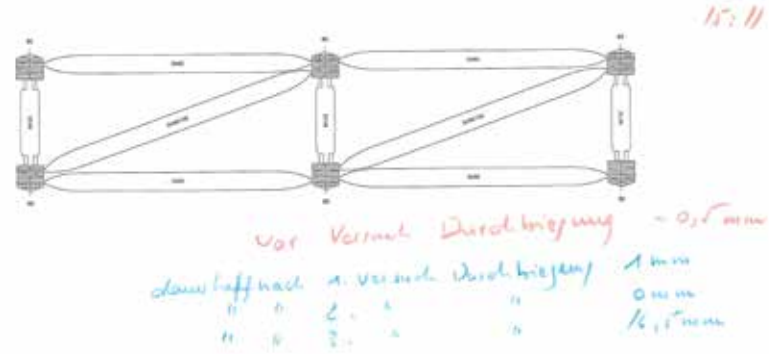


PK 1: Höhe 450 mm, Breite 900 mm.

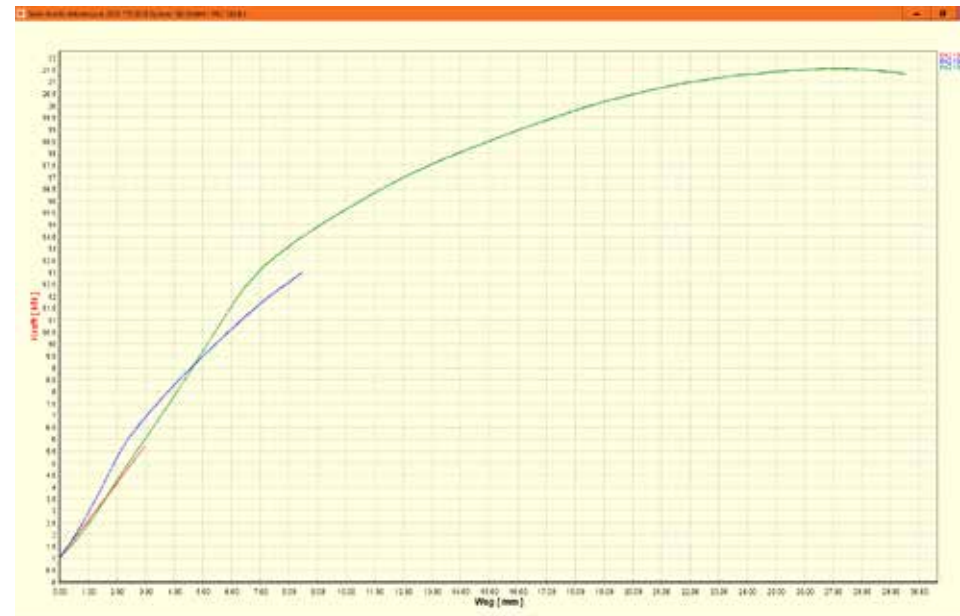
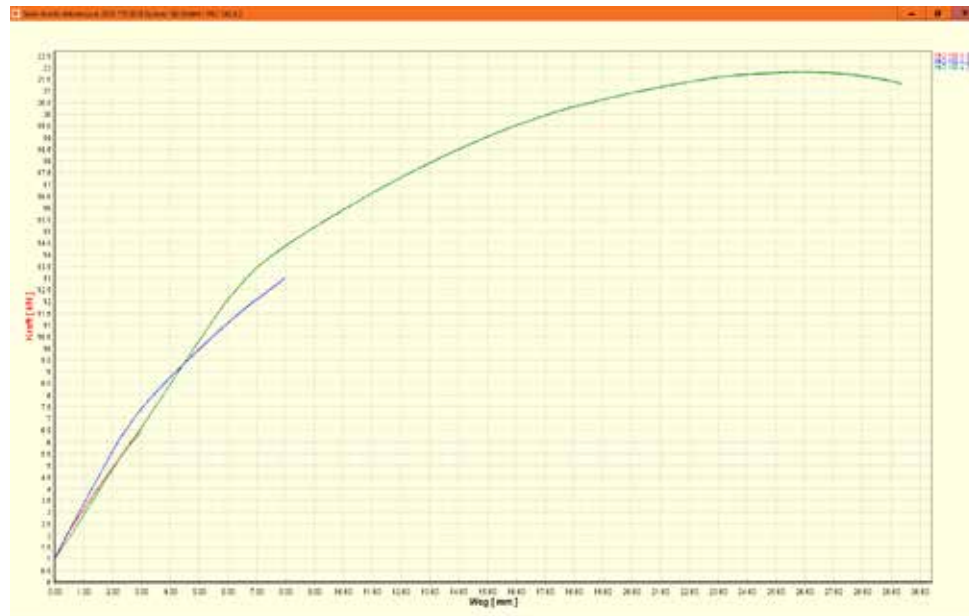
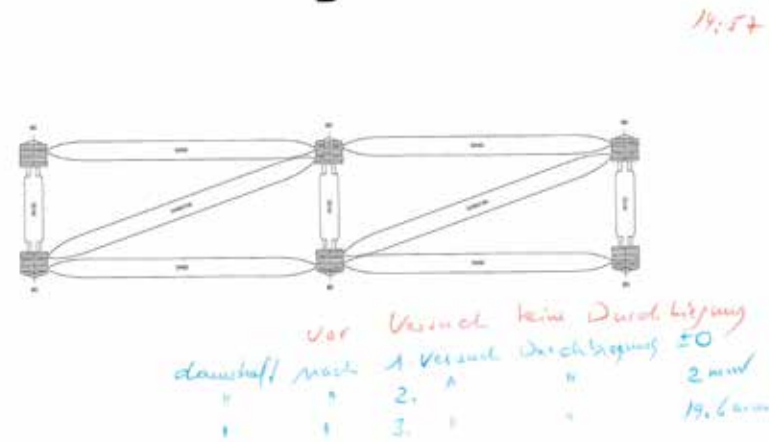
▲ ▲ PK 1 450 A, Mitte oben nach Ende des Versuchs, P_{max} 50 kN, F_{zul} 17,36 kN/0,7=24,8 kN < F_{vorh} 50 kN.

▲ PK 1 450 B: Mitte unten nach Ende des Versuchs, P_{max} 49 kN, F_{zul} 17,36 kN/0,7=24,8 kN < F_{vorh} 50 kN.

PK2 180
A



PK2 180
B



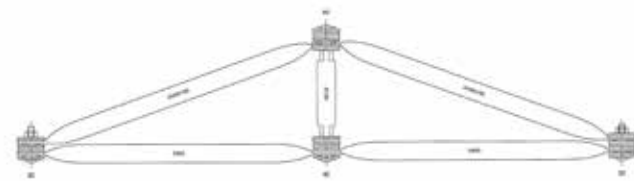
PK 2: Höhe 180 mm, Breite 900 mm.

▲ ▲ PK 2 180 A, Mitte unten nach Ende des Versuchs, $P_{\max} 21,5 \text{ kN}$, $F_{\text{zul}} 17,36 \text{ kN}/1,1=15,8 \text{ kN} < F_{\text{vorh}} 21,5 \text{ kN}$.

▲ PK 2 180 B: Zustand nach erstem Versuch mit 13 kN, $P_{\max} 21,5 \text{ kN}$, $F_{\text{zul}} 17,36 \text{ kN}/1,1=15,8 \text{ kN} < F_{\text{vorh}} 21,5 \text{ kN}$.

PK4 180
A

Durchbiegung ist verformt

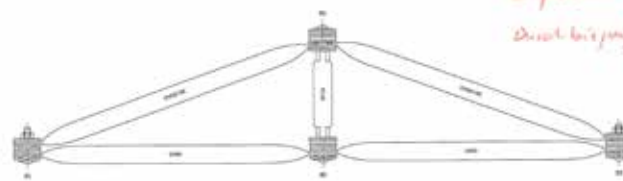


11.11.16

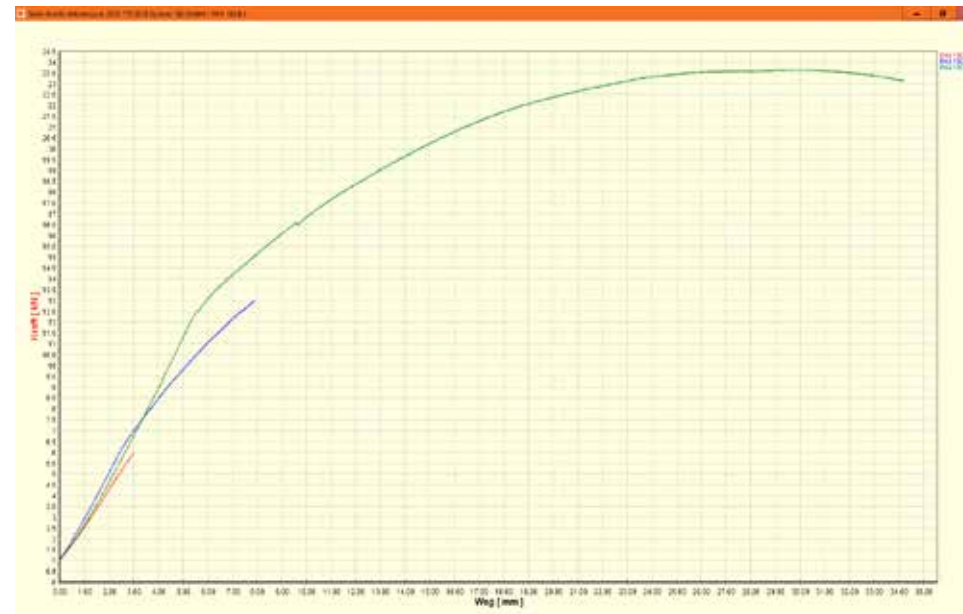
1. Versuch Durchbiegung dauerhaft 0,5 mm
2. Versuch dauerhaft verformt

PK4 180
B

In der Mitte: links fest -
Knoten je 2 Seiten
aufgenommen: 16.11.16
Durchbiegung: 1 mm



nach 1. Versuch Durchbiegung dauerhaft 0,5 mm
" 2. " " 2 mm
" 3. " stark verformt

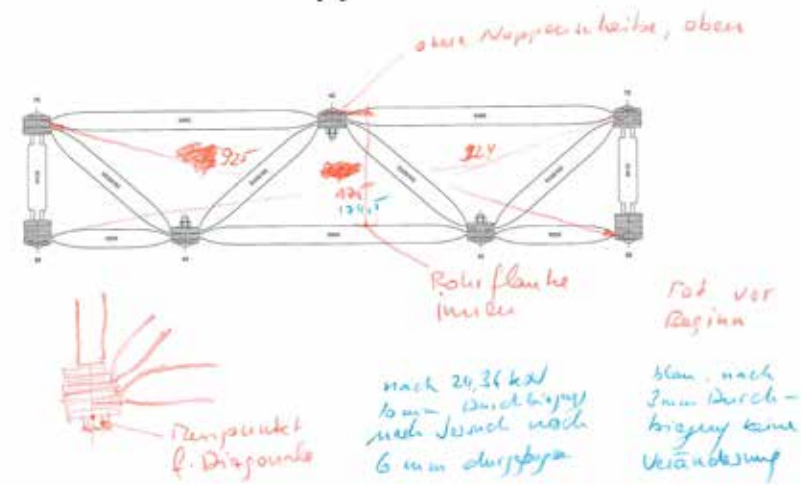


PK 4: Höhe 180 mm, Breite 900 mm.

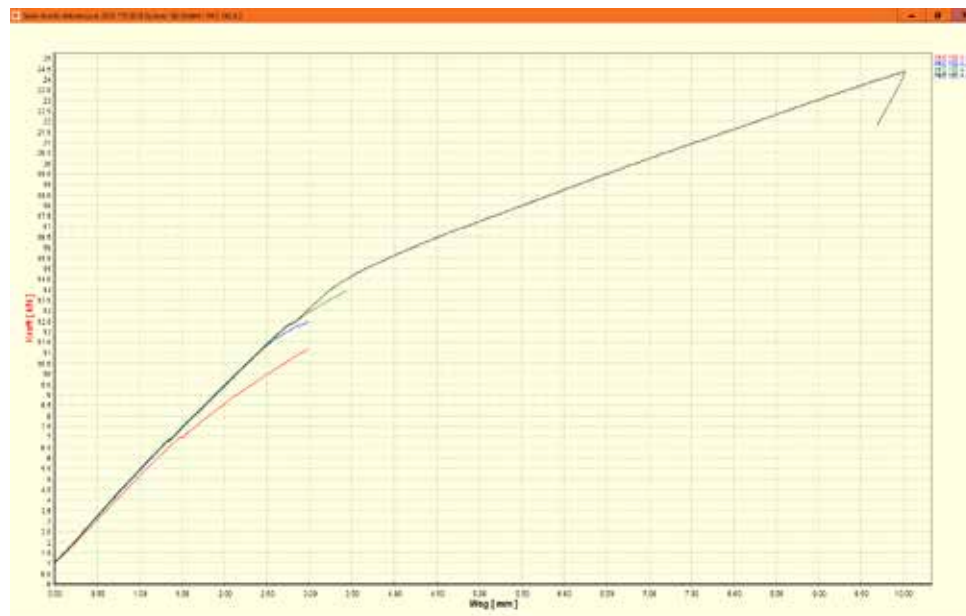
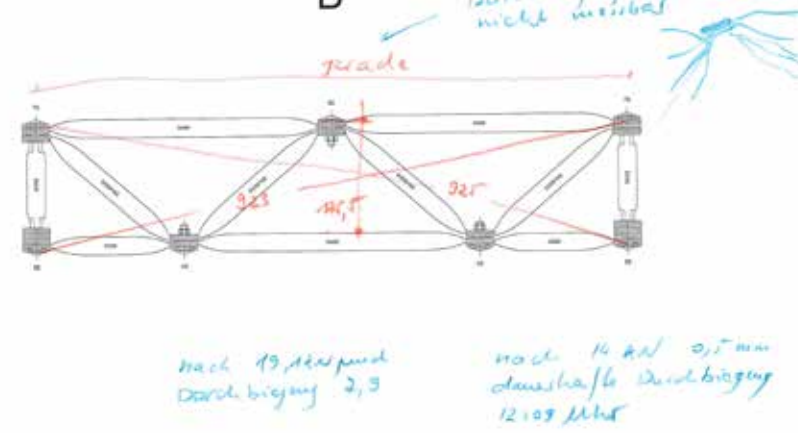
▲ ▲ PK 4 180 A, rechte untere Ecke nach Ende des Versuchs, $P_{\max}$ 12 kN (Prüfkörper ist seitlich weggerutscht), F_{zul} 17,36 kN/1,35=12,86kN F_{vorh} 12 kN.

▲ PK 4 180 B: Zustand nach Abbruch des Versuchs, $P_{\max}$ 23,5 kN, F_{zul} 17,36 kN/1,35=12,86kN F_{vorh} 23,5 kN.

PK5 180
A



PK5 180
B



PK 5: Höhe 180 mm, Breite 900 mm.

▲ ▲ PK 5 180 A, unterer Knoten halblink nach Ende des Versuchs, $P_{\max}$ 24 kN, F_{zul} 17,36 kN/1,25=13,89 kN < F_{vorh} 24 kN.

▲ PK 5 180 B: oberer Knoten Mitte nach Abbruch des Versuchs, $P_{\max}$ 19 kN, F_{zul} 17,36 kN/1,25=13,89 kN < F_{vorh} 19 kN.

Prüfprotokoll SLV vom 11.02.20			Werke Kraft-Weg-Diagramm		Höhe	Form	max Stabkraft zul		Sicherheit	Form			
Ch-Nr	Fm [kN]	WegFma [mm]					Faktor	kN					
PK5 180 A,1	49,99	13,25	10,7	3	180	ZZ				Zickzack, abfallend			
PK5 180 A,2	12,45	2,99	12,45	2,99									
PK5 180 A,3	13,96	3,44	13,96	3,44									
PK5 180 A,4	26,34	10,1	26,34	10,1			1,25	32,93	1,88				
PK5 180 B,1	13,96	4,94	13,96	4,94	180	ZZ				Zickzack, abfallend			
PK5 180 B,2	19,12	7,86	19,12	7,86			1,25	23,90	1,37				
PK3 180 A,1	7,13	2,99	7,13	2,99	180	DR				symmetrische Diagonalen aufsteigend, Mutternstab			
PK3 180 A,2	12,98	6,48	12,98	6,48									
PK3 180 A,3	24,76	20,01	24,76	20,01			1,35	33,43	1,91				
PK3 180 B,1	7,2	2,98	7,2	2,98	180	DR				symmetrische Diagonalen absteigend, Mutternstab			
PK3 180 B,2	12,98	6,56	12,98	6,56									
PK3 180 B,3	20,71	22,03	20,71	22,03			1,35	27,96	1,60				
PK4 180 A,1	4,29	2,99	4,29	2,99	180	DA				Dreieck nach oben, Mutternstab			
PK4 180 A,2	12,22	15,01	12,22	15,01			1,35	16,50	0,94				
PK4 180 B,1	5,94	2,99	5,94	2,99	180	DA				Dreieck nach oben, Mutternstab			
PK4 180 B,2	12,99	7,9	12,99	7,9									
PK4 180 B,3	23,65	29,37	23,65	29,37			1,35	31,93	1,82				
PK2 180 B,1	5,74	2,99	5,74	2,99	180	SZ				Sägezahn			
PK2 180 B,2	12,98	8,45	12,98	8,45									
PK2 180 B,3	21,57	26,96	21,57	26,96			1,25	26,96	1,54				
PK2 180 A,1	6,43	2,99	6,43	2,99	180	SZ				Sägezahn			
PK2 180 A,2	12,99	7,97	12,99	7,97									
PK2 180 A,3	21,84	25,64	21,84	25,64			1,25	27,30	1,56				
PK1 450 B,1	19,44	2,99	19,44	2,99	450	SZ				Sägezahn			
PK1 450 B,2	24,94	3,23	24,94	3,23									
PK1 450 B,3	49,33	14,19	49,33	14,19			0,70	34,53	1,97				
PK1 450 A,1	19,13	2,99	19,13	2,99	450	SZ				Sägezahn			
PK1 450 A,2	24,95	3,3	24,95	3,3									
PK1 450 A,3	49,99	13,25	49,99	13,25			0,70	34,99	2,00				
F Stab _{zul}	17,5												
* Sicherheit bei Versagen													

Prüffolge	Trägerbezeichnung			SOLL Auslastung					IST- Versagen	
	Pos.	Prüfkörper	Höhe	Träger	Diagonale	Mutternstab	Abscherung Schr.	Lochleibung	Kraft Soll	Kraft Max
1	11	PK1	138	A	100 %	0 %	113 %	184,00 %	18,5 kN	
2	12	PK1	138	B	100 %	0 %	113 %	184,00 %	18,5 kN	
3	9	PK1	260	A	100 %	0 %	110 %	180 %	30,75 kN	
4	10	PK1	260	B	100 %	0 %	110 %	180 %	30,75 kN	
5	7	PK1	450	A	100 %	0 %	105 %	171 %	41,2 kN	
6	8	PK1	450	B	100 %	0 %	105 %	171 %	41,2 kN	
7	5	PK5	138	A	44 %	100 %	48 %	78,23 %	8,2 kN	
8	6	PK5	138	B	44 %	100 %	48 %	78,23 %	8,2 kN	
9	3	PK5	260	A	100 %	79 %	95 %	155,45 %	30,7 kN	
10	4	PK5	260	B	100 %	79 %	95 %	155,45 %	30,7 kN	
11	1	PK5	450	A	53 %	100 %	39 %	63,50 %	21,7 kN	47,6
12	2	PK5	450	B	53 %	100 %	39 %	63,50 %	21,7 kN	
13	13	PK5	450 ideal	A	100 %	82 %	71 %	115 %	42 kN	
14	14	PK5	450 ideal	B	100 %	82 %	71 %	115 %	42 kN	
15	15	PK5	450 MS gedreht	A						
16	16	PK5	450 MS gedreht	B						

▲ ▲ Zusammenstellung der Ergebnisse durch *System 180 GmbH*.

▲ Spezielle Betrachtung von Diagonalen, Mutternstab und Lochleibung durch *System 180 GmbH*.

► ▲ Prüfprotokoll der SLV

► Der Leiter der Versuchsreihe, Dirk Mauersberger, Mitarbeiter der SLV, Foto Andreas Stadler.

Prüfprotokoll

Auftragsnummer: 2020 770 0018

Chargennummer: PK1 450 A.3

Kundenname: System 180 GmbH

Werkstoff: X2CrTiNb18 (1.4509)

Pruefer: mau

Bauvorhaben: Festigkeitsuntersuchungen

Pruefdatum: 11.02.2020

Pruefnorm: ohne Pruefnorm

Pruefart: Bauteilpruefung (Biegev.)

Bemerkung: EU 100 WPM, 1..1000 kN



Geschwindigkeit Schritt1: 8.00mm/min

Geschwindigkeit Schritt2: 15.00none

Ch-Nr	Fm [kN]	WegFma [mm]
PK5 180 A.1	49.99	13.25
PK5 180 A.2	12.45	2.99
PK5 180 A.3	13.96	3.44
PK5 180 A.4	24.36	10.01
PK5 180 B.1	13.96	4.94
PK5 180 B.2	19.12	7.86
PK3 180 A.1	7.13	2.99
PK3 180 A.2	12.98	6.48
PK3 180 A.3	24.76	20.01
PK3 180 B.1	7.20	2.98
PK3 180 B.2	12.98	6.56
PK3 180 B.3	20.71	22.03
PK4 180 A.1	4.29	2.99
PK4 180 A.2	12.22	15.01
PK4 180 B.1	5.94	2.99
PK4 180 B.2	12.99	7.90
PK4 180 B.3	23.65	29.37
PK2 180 B.1	5.74	2.99
PK2 180 B.2	12.98	8.45
PK2 180 B.3	21.57	26.96
PK2 180 A.1	6.43	2.99
PK2 180 A.2	12.99	7.97
PK2 180 A.3	21.84	25.64
PK1 450 B.1	19.44	2.99
PK1 450 B.2	24.94	3.23
PK1 450 B.3	49.33	14.19
PK1 450 A.1	19.13	2.99
PK1 450 A.2	24.95	3.30
PK1 450 A.3	49.99	13.25



Fazit

Bisher wurde aus *System 180* eine Vielzahl von Bauwerken, Möbel und Bauelemente hergestellt. Der Beginn 1981 führte zur Maxime, alles aus *System 180* herzustellen, was mit diesem System möglich ist. Dabei wäre eine Bauaufsichtliche Zulassung eigentlich seit Langem wichtig. Teilweise war die Systematik des statischen Nachweises unklar. Zukünftig sollte es möglich sein, lediglich die Stabkräfte zu ermitteln und diese mit einem gewissen Sicherheitsbeiwert zu multiplizieren. Die möglichen Konfigurationen einzelner Knoten sind festzuhalten.

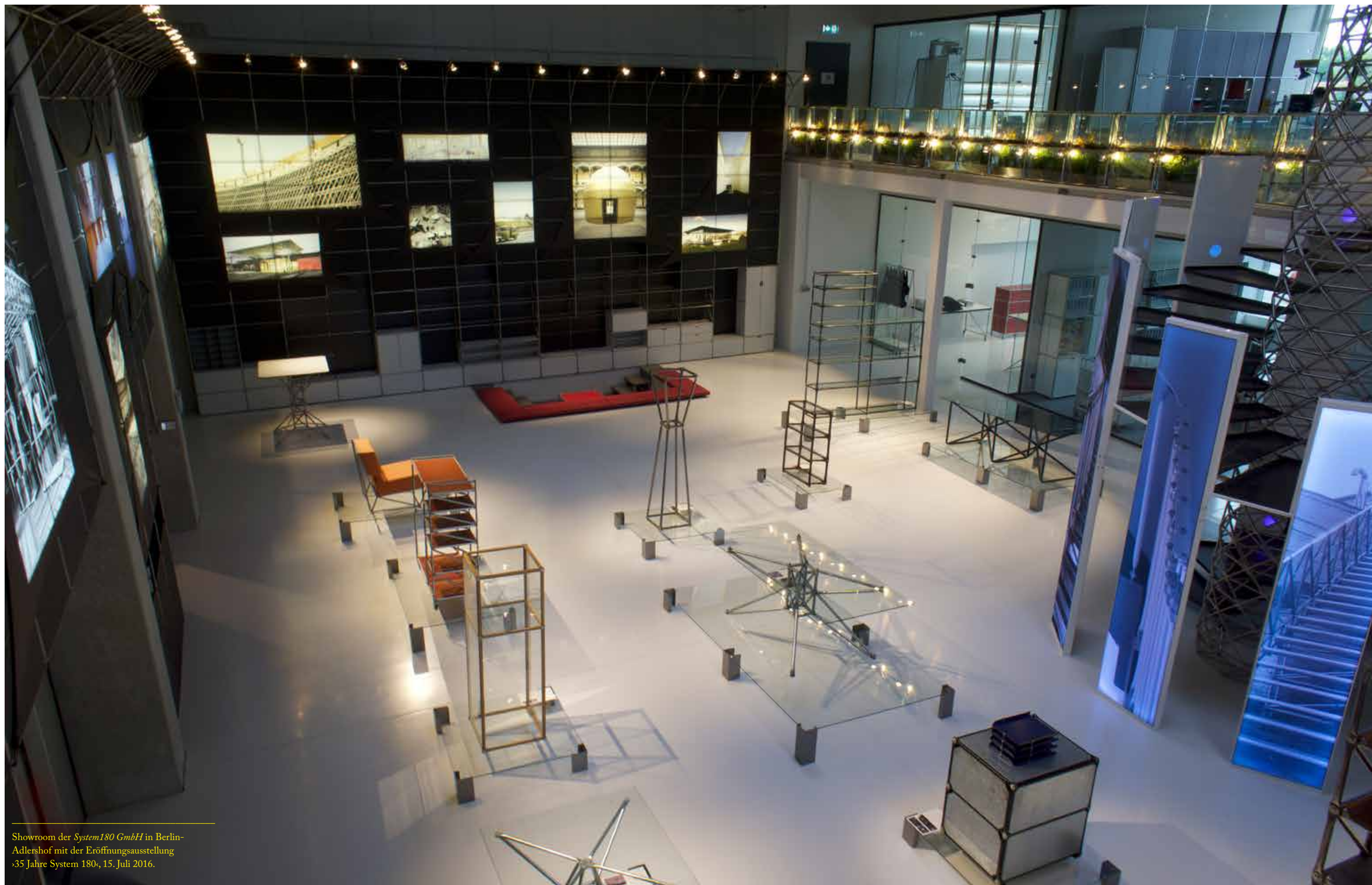


Das Brauerei-Museum Dortmund aus dem Jahr 2006 tritt gleichsam als Experimentierfeld von *System 180* auf. Rohre verschiedener Durchmesser übernehmen Funktionen je nach ihrer Stabilität. An einem Ort manifestiert sich die Bandbreite der Möglichkeiten.

► ▲ Foyer des Museums mit Studiensammlungsregal im Hintergrund aus schwarzen Rohren mit Durchmesser von 60,3 mm sowie Empfangstresen aus Rohren mit Durchmesser von 20 mm.

► Eine Rampe aus Rohren mit einem Durchmesser von 28 mm verbindet zwei Ebenen des Untergeschosses für den barrierefreien Rundgang.





Showroom der *System180 GmbH* in Berlin-Adlershof mit der Eröffnungsausstellung „35 Jahre System 180“, 15. Juli 2016.