

GUTACHTEN

wegen behaupteter Mängel an der Werkleistung "Stahlbetonfertigteile liefern und montieren" im

Anknüpfungstatsachen:

Einbezogen wurden mir übergebene Ausführungsunterlagen, insbesondere:

- ein Plan der Ausführungsplanung der Stadt Bauwerk: Ersatzbauwerk Galerie, Stahlbauübersicht, Details, Blatt-Nr. 001 b,
- ein Plan der Ausführungsplanung Werkstattplan Pos. 2500, Blatt-Nr. 005 b,
- eine Beschreibung von

Darin ist beschrieben:

Das statische Modell der Galerie ist ein auf eingespannten Stützen statisch bestimmt gelagerter Einfeldträger. Die Schwerter werden mit ihrer veränderlichen Bauteilhöhe als seitlich auskragende Stäbe berücksichtigt (vgl. S. 7 Ziff. 1.3).

Die Einzelstützweiten (Regelelemente) in der Galerie betragen 12,0 m, die Konstruktionshöhe 0,72 m im Soll, das Längsgefälle 0 % und die Querneigung 2 % (vgl. S. 8 Ziff. 1.3.1).

Das Bauwerk ist als Brücke in der Brückenklasse Fußgängerbrücke nach DIN FB 101 eingeordnet (vgl. S. 9).

Die Pfeiler/Stützen sind als Stahlstützen (aus einem Rohr S 235 bzw. S 355 mit einem Durchmesser von 508 mm) mit Anschlüssen für den Überbau vorgefertigt hergestellt worden. Die korrekte Position und Ausrichtung des Stützenfußpunkts soll durch die Anschlüsse (Schraubanker) im Fundament gewährleistet sein. Die Ankerköpfe und die Fußplatte befinden sich unter der Geländeoberfläche (vgl. S. 11 Ziff. 1.3.4).

Die korrekte Position des Stützenkopfs soll durch das Ausrichten der Stützen mittels Unterlagen unterhalb des Stützenfußes erreicht werden. Zur exakten Fluchtung des Überbaus muss die Stütze eine gewisse Verdrehbarkeit während der Montage aufweisen. Das wird durch aufgebohrte Löcher in der Fußplatte gewährleistet. Die Fuge zwischen Fundament und Stützenfuß wird mit Pagel vergossen (vgl. S. 11).

Die Montagetoleranzen nach DIN V ENV 1090-1 sind einzuhalten (vgl. S. 11; DIN V ENV 1090-1 - Ausführung von Tragwerken aus Stahl, Teil 1: Allgemeine Regeln und Regeln für Hochbauten, Ausgabe Juli 1998).

Die Einfeldträger sind statisch bestimmt gelagert: auf der einen Seite längs- und querfest, auf der anderen Seite querfest (vgl. S. 12 Ziff. 1.3.5).

Die Konstruktionshöhe beträgt 0,72 m bei einer 20 cm hohen Betonplatte und einem 520 mm hohen Stahlkasten. Die Betonplatte wirkt über Kopfbolzendübel in Längsrichtung mit. Die Schlankheit der Galerie beträgt $L/h = 16,7$.

Die Länge der Betonfahrplatte der Fertigteile darf das Nennmaß um maximal + 5 mm überschreiten (vgl. S. 12; das entspricht DIN 18.203 Teil 2 - Toleranzen im Hochbau; Vorgefertigte Teile aus Stahl, Ausgabe Mai 1998).

Jedes Galerieelement wird für sich statisch bestimmt, auf drei Lagerpunkten gelagert. Auf der einen Seite werden zwei zug- und druckfeste Gelenkbolzen als längs-, quer- und torsionsfestes Lager angeordnet. Auf der gegenüberliegenden Seite wird der Träger in der Mitte auf ein querfestes Elastomerlager aufgelegt (vgl. S. 13).

Zu Toleranzen ist beschrieben:

Die in der DIN 18.201, DIN 18.202 und DIN 18.203 für den Hochbau geltenden Toleranzen gelten sinngemäß für die Unterbauten.

In der Zeichnung Blatt 102/A ist angegeben:

Toleranzen nach DIN EN 13.920, Länge und Winkel: A, Form und Lage: E (DIN EN 13.920 - Schweißen - Allgmeintoleranzen für Schweißkonstruktionen - Längen- und Winkelmaße; Form und Lage, Ausgabe November 1996).

Ortstermin:

Der unterzeichnende Sachverständige hat eine Ortsbesichtigung durchgeführt, stichprobenartige Nachmessungen vorgenommen und Fotoaufnahmen gefertigt.

Feststellungen:

Die einzelnen Galerieelemente sind als Einfeldträger ausgebildet, davon eine Seite als drehfeste Gabellagerung mit Lagerschott und die andere Seite drehelastisch mit Lagerschott auf einem Neoprenlager.

Ferner hat der unterzeichnende Sachverständige festgestellt, dass an einzelnen Stellen zwischen den Belagsoberflächen benachbarter Galerieelemente übermäßige Höhenunterschiede vorhanden sind, teilweise bis 25 mm. Dabei ist die Galerie mit einer großen Anzahl größeren Höhenunterschieden (Absätzen im Belag) behaftet als die Galerie

Die Galerieelemente sind in unterschiedlichen Abständen und zwischen Galerie und Galerie in unterschiedlicher Art und Weise teils beweglich, teils fest an angrenzende Gebäude angeschlossen.

Auf der Galerie Nord waren in dem nicht am Gebäude angrenzenden Teil starke Schwingungen zu verspüren, dort auch deutlich mit einer Horizontalkomponente.

Während der Ortsbesichtigung war ein Handwerker damit beschäftigt, Arbeiten an Geländern durchzuführen. Er soll geäußert haben, dass er bei einem Stahlbetrieb in angestellt sei und schon seit längerer Zeit damit beschäftigt ist, die Geländer ständig nachzurichten.

Planung:

Die Gesamtkonstruktion wird durch einzelne vorgefertigte Elemente zusammengesetzt. Sie zeichnet sich durch folgende Besonderheiten aus:

Lage- und Höhenkorrekturen bei der Montage sind nur an den Stützenfüßen bzw. in den Stützenköpfen möglich. Abweichungen der Ist-Lage von der Soll-Lage im Stützenfuß können nur in der Art und Weise korrigiert werden, dass der Stützenkopf abweichend von der Lotrechten zur Soll-Lage eingeschwenkt wird.

Nach DIN ENV 1090-1, Bild Nr. 12 Nr. a dürfen die Stützen am Fuß innerhalb der Reihe 10 mm von der theoretischen Achslage abweichen.

Wegen der dadurch bedingten Notwendigkeit einer Lagekorrektur des Stützenkopfes wird zugleich eine Schrägstellung des Galerieelements bewirkt, denn durch die Abweichung der Stütze von der Vertikalen erfolgt zwangsläufig eine Abweichung von der Horizontalen im Galerieelement. Hinzu kommt, dass aus messtechnischen Gründen der Vergleich von Soll- und Ist-Lage mit einer Maßabweichung von 5 mm erfolgen kann.

Das bedeutet, dass in der Addition der beiden zulässigen Abweichungen sich der Stützenkopf um 15 mm gegenüber dem Stützenfuß verschieben kann, wenn der Kopf in die Soll-Lage eingerichtet wird.

Die gemäß DIN ENV 1090-1 Bild 13 Nr. a geforderte maximale Schrägstellung einer Stütze in eingeschossigen Gebäuden von +/- 5 mm ist in diesem Fall nur zweitrangig maßgebend. Maßgebend sind die Lage der Passbolzen und der den Träger tragenden Laschen. Zur o. g. Lagetoleranz kommt noch die Messtoleranz.

Die vorgelegten Ergebnisse der Nachmessung wegen der Schrägstellung der Stützen sind irrelevant. Entscheidend wäre allenfalls ein Vergleich der Lage der Laschenhöhe bzw. die der Passbolzen, weil sonst bei einer lotrechten Stellung der Stützen die resultierenden Maßtoleranzen im Übergang der einzelnen Galerieelemente noch höher sein könnten.

Bei einer Lage der Passbolzen von 3.645 mm über OKG und einer einseitigen Auskragung des Gehwegelements von 1.500 mm ergibt sich allein bei der zulässigen Korrektur der Stütze ein Anheben bzw. Absenken der äußeren Kante der Tafel um $1.500 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} / 3.645 \text{ mm} = 6 \text{ mm}$ nach oben oder unten.

Die Herstellung der Gabellagerung erfolgt zwischen mit Passbolzen versehenen Laschen, welche einen Systemabstand von 360 mm haben. Die Lage der Passbolzen und der Gabellagerung wird dadurch bestimmt, dass in jeweils zwei Löcher die Passbolzen rechts und links des Trägers eingeführt werden.

Die Lageabweichung eines einzelnen Lochs darf nach DIN ENV 1090-1 +/- 2 mm betragen. Das bedeutet, dass im ungünstigsten Fall eine Seite um 2 mm gesenkt und die andere Seite um 2 mm angehoben wird. Dadurch würde ein Verschwenken um die Achse des Kastenträgers erfolgen, also ein Abheben oder Absenken des äußeren Rands der Tafel um $1.500 / 180 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} = 17 \text{ mm}$ entstehen.

Für denjenigen, der die Montage ausführt, besteht konstruktionsbedingt keine Möglichkeit, derartige Toleranzen auszugleichen, zumal wenn, wie hier vorliegend, nicht die gesamte Anzahl der Elemente "in einem Stück" provisorisch befestigt und zueinander ausgerichtet werden kann, sondern in einzelnen Teilabschnitten gearbeitet werden muss.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Schwerter ein Längennennmaß von 1.150 mm haben. Die Grenzabmaße für Winkelmaße dürfen in der Genauigkeitsklasse A der DIN EN ISO 13.920 Tabelle 2 6 mm/m betragen. Das bedeutet, dass das Schwert, welches in einer Länge von 250 mm angeschweißt ist, um 1,5 mm vom Winkel abweichen kann. Das bewirkt dann ein Anheben oder Absenken des freien Endes des Schwerts um $1.150 / 250 \times 1,5 \text{ mm} = 6,9 \text{ mm}$, rd. 7 mm.

Aus der zulässigen Abweichung der Rechtwinkligkeit am Schott, die eine Verdrehung des Kastenträgers bewirken kann, wenn an einer Seite diese Abweichung eingetreten ist, folgt eine weitere Absenkung (Hebung) am Ende des Schwerts um 5 mm.

Im ungünstigsten Lagefall kann somit die Außenkante des Elements, bedingt durch die Lage des Schwerts, nochmals um 7 mm angehoben oder abgesenkt werden. Das gibt dann insgesamt eine Absenkung von 35 mm, bei zwei gegenüberliegenden Elementen in ungünstigster Lage von $2 \times (6 \text{ mm} + 17 \text{ mm} + 7 \text{ mm} + 5 \text{ mm}) = 70 \text{ mm}$.

1. Lage Fußpunkt in der Achse		± 10 mm	
2. (keine Vorschläge) im Stützenkopf		± 5 mm	
Zwischensumme		15 mm	
Lageveränderung Außenkante	1500 mm/3465 mm x 15 mm		6 mm
3. Mittelpunkt Loch		± 2 mm	
Lageveränderung Außenkante	1500 mm/180 mm x 2 mm		17 mm
4. Winkeltoleranz Schwert	(6 mm x 250 mm /1000 mm) x 1150 mm/250 mm	6 mm/m	
Lageveränderung Außenkante			7 mm
5. Rechtwinkligkeit am Schott			5 mm
Lageveränderung Außenkante insgesamt			<u>35 mm</u>

Zwischenergebnis:

Es sind in der Planung nur ganz allgemein höchstzulässige Maßtoleranzen angegeben worden. Die wegen der mit Zwangspassung versehenen Konstruktion aus unvermeidbaren Maßtoleranzen und Messfehlern resultierenden Lageabweichungen wurden nicht beachtet.

Ein nachträgliches Korrigieren oder vermittelndes Ausgleichen beim Aufstellen der Stützen ist wegen dem hohen Vorfertigungsgrad und der Zwangspassung im Bereich der Gabellagerung nicht möglich gewesen.

Eine montagegerechte Konstruktion, bei der unvermeidbare Maßtoleranzen hätten ausgeglichen werden können, hätte z. B. in der Art und Weise geplant werden können, dass zwei Laschen an einer Seite erst vor Ort angeschweißt werden. Solange müssten die Fahrbahnen auf Hilfsstützen ausgerichtet werden. Dann hätten diese entsprechend abgesenkt oder mit Futterblechen unterstützt werden können, um durch Lageveränderung dieser erst vor Ort anzuschweißenden Laschen einen Ausgleich herzustellen.

Eine Mangelbeseitigung ist nur durch die Veränderung des Bauentwurfs möglich, indem z. B. die Möglichkeit der nachträglichen Lagekorrektur der Laschen zugelassen wird.

Der eingetretene Mangel im Bereich der Belagsübergänge ist Folge eines Planungsfehlers. Es lässt sich nicht feststellen, ob ein Ausführungsfehler vorliegt.

Die vorgenommenen Messungen sind dazu nicht geeignet, weil die Bezugnahme auf ein System fehlt. Allein die Schrägstellung der Stützen besitzt keinerlei Aussagekraft bezüglich der Montagegenauigkeit im Bereich der Befestigung an den Passbolzen. Nur auf diese Befestigung kommt es letztendlich an, solange nicht aus statischen Gründen höchstzulässige Imperfektionen bei der Senkrechtheitsstellung der Stützen bzw. solche Abweichungen von der Lotrechten auftreten, dass sie optisch verschandelnd wirken. Es kommt auf die Schrägstellung der Stützen nicht an.

Schwingungen:

Die einzelnen Elemente sind auf einer Seite mit Gabellagerung und auf der anderen Seite mit nicht torsionsfester Lagerung ausgestattet. Dabei ist zu beachten, dass der Lastangriff am bzw. oberhalb des Obergurts erfolgt. Der Lastangriff von Nutzlasten erfolgt dabei überwiegend ausmittig, da an der Geländerseite eine höhere Passantenfrequenz als an der Schaufensterseite vorliegt.

Infolge einer solchen Lagerung kommt es zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Stabilität (vgl. Prüfamts für Baustatik, Nürnberg, Tipp des Monats 03/05 - Kopie siehe Anlage). Wegen der geplanten und ausgeführten Lagerung treten erhebliche Torsionsschwingungen auf, insbesondere an den auf den Neoprenlagern aufliegenden Seiten.

Diese Torsionsschwingungen werden teilweise durch die einseitige Befestigung an den Wänden der angrenzenden Gebäude behindert.

Es ist auf jedem Fall davon auszugehen, dass aus den Torsionsschwingungen und deren teilweise Behinderung eine resultierende Horizontalkomponente verbleibt, die von den Gebäuden weg weist. Deren Größe müsste messtechnisch erfasst werden. Sie lässt sich nicht hinreichend genau rechnerisch ermitteln. Dazu war keine Gelegenheit.

Aus den Torsionsschwingungen entsteht ein Moment, welches eine ungleiche Setzung der Fundamente und eine Schiefstellung der Stützen bewirkt. Dieses führt zu einer Vergrößerung der Höhenabsätze. Eine solche Erscheinung wurde beobachtet.

Zwischenergebnis:

Durch die Besonderheiten der Konstruktion, insbesondere der Fixierung des Elements orthogonal zur Längsachse durch zwei verhältnismäßig eng beieinander liegenden Laschen und Passbolzen sowie weit auskragenden Schwertern, kommt es beim Erreichen zulässiger Maßtoleranzen bereits bei der Herstellung der Elemente zu übermäßigen Abweichungen der Ist-Lage der Außenkantenelemente gegenüber der Soll-Lage. Diese führen dann zu Gebrauchswertbeeinträchtigungen beim Übergang zwischen einzelnen Platten. Die Höhendifferenz kann bei Einhaltung aller Maßtoleranzen $2 \times 35 \text{ mm} = 70 \text{ mm}$ betragen. Diese kann bei der Montage auch durch Richten der Stützen nicht ausgeglichen werden.

Eine Mängelbeseitigung würde voraussetzen, dass "ideal genau" Stahlbauelemente vorgefertigt werden. Derartiges ist nicht möglich.

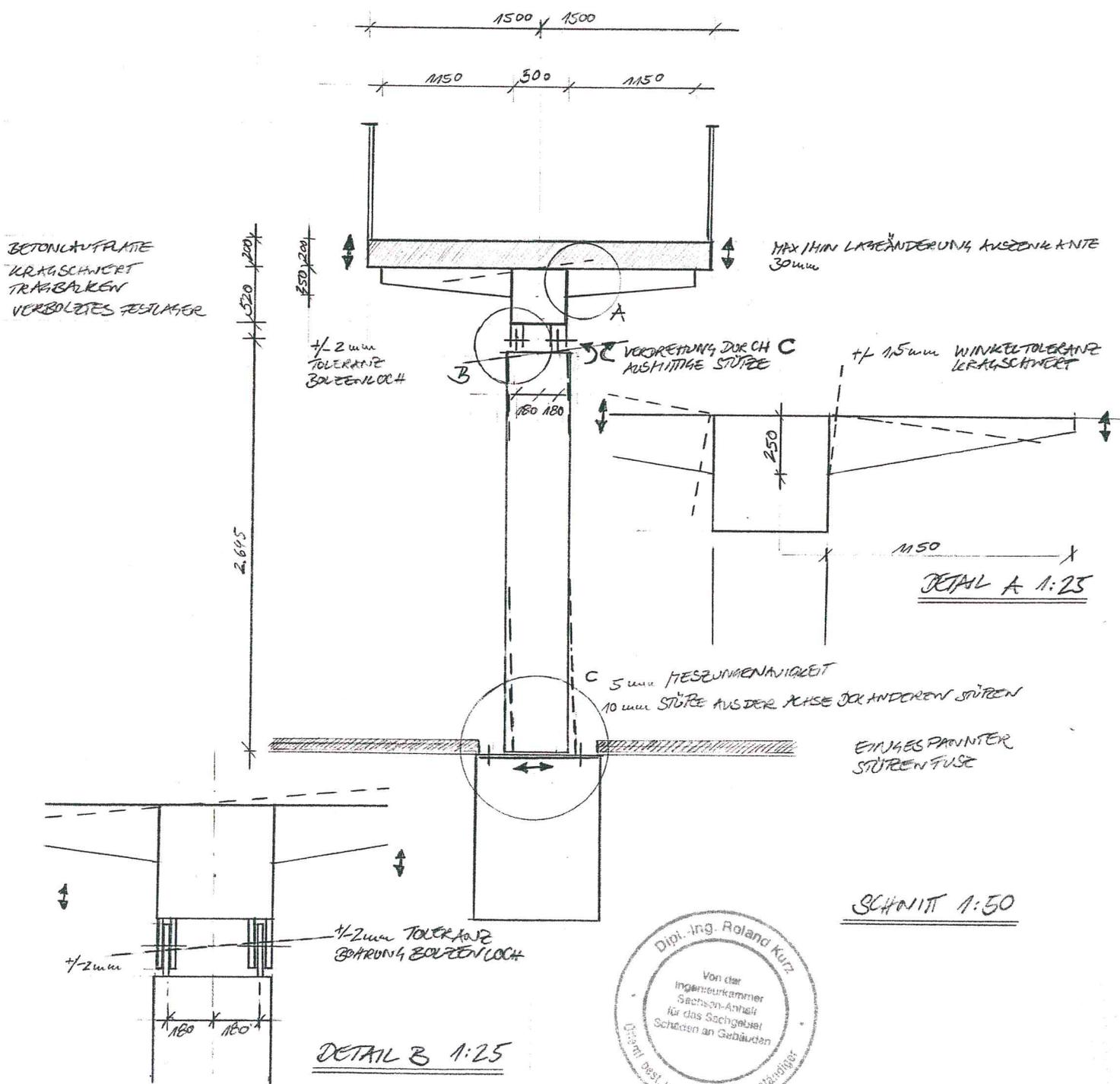
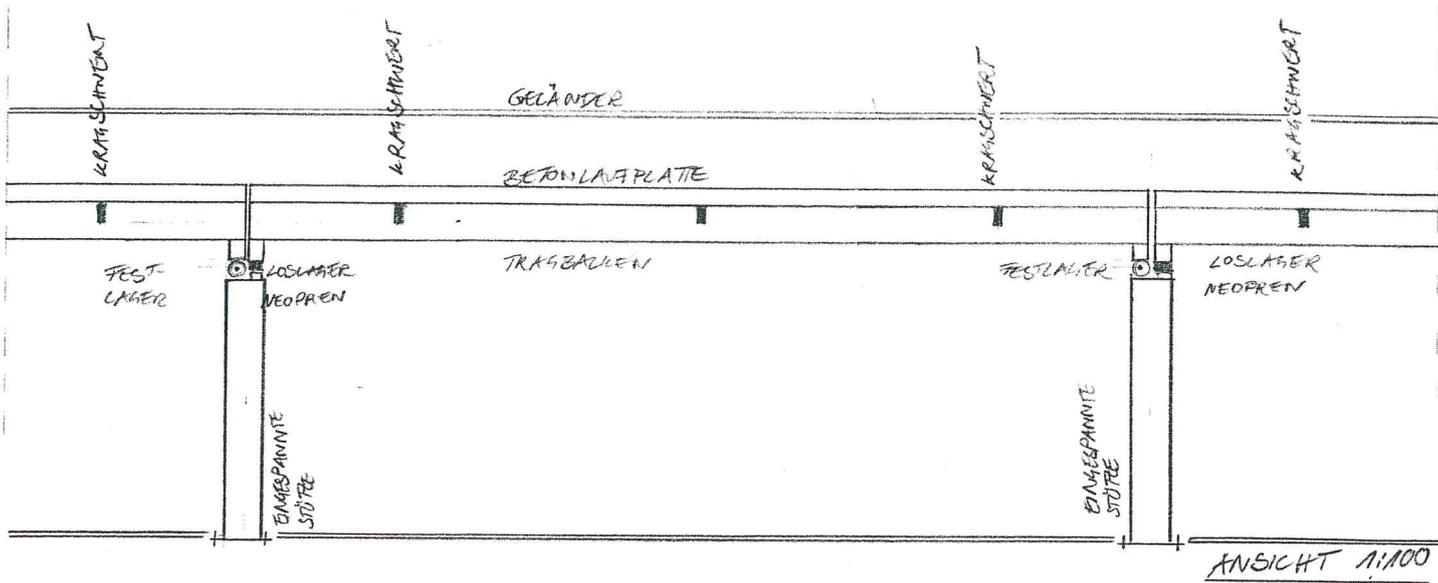
Ursache für die Montagetoleranzen sind Planungsfehler, denn der Ausgleich von unvermeidbaren Fertigungstoleranzen soll einzig und allein über die Lotrechtstellung der Stützen erfolgen. Die Stützen selbst können nicht ideal lotrecht aufgestellt werden. Auch deren Aufstellen in einer Achse ist mit unvermeidbaren Maßtoleranzen verbunden.

Eine Mängelbeseitigung ist bei der geplanten und ausgeführten Konstruktion nicht möglich. Eine mangelfreie Konstruktion hätte Regulierungsmöglichkeiten vorsehen müssen, z. B. in der Art und Weise, dass eine der beiden den Kopfbolzen haltenden Laschen nach Ausrichten des Elements unterfüttert und vor Ort angeschweißt wird.

Ergebnis:

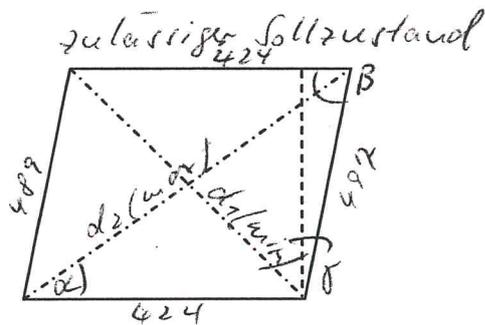
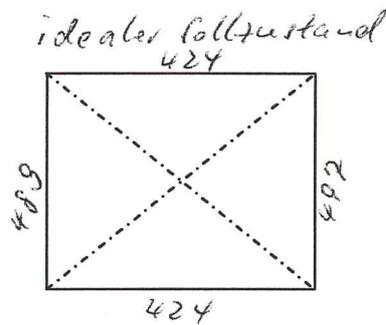
1. Höhendifferenzen zwischen den Gehbelägen benachbarter Elemente sind zwangsläufige Folge von unvermeidbaren Maßtoleranzen.
2. Es bestand keine Möglichkeit, diese Erscheinung bei der Montage immer auszugleichen, weil ein Planungsfehler vorliegt.
3. Die einseitige drehfeste Gabellagerung mit anderseitiger drehelastischer Gabel-lagerung führt zu spürbaren großen Torsionsschwingungen. Bei einer Beseitigung der wegen fehlerhafter Planung eingetretenen Mängel bei den Höhenübergängen muss konstruktiv sichergestellt werden, dass die torsionsbedingten Schwingungen nicht zu einer weiteren Schrägstellung der Stützen führen.

VISUALISIERUNG MASSTOLERANZEN



Kastenprofil Rechtwinkligkeit (am Schott) - DIN V ENV 190-1, 11.2.3 Nr. a
am Beispiel der Pos. 2513

Bemerkung: Das Schott ist (geringfügig) als Trapez, nicht als Rechteck ausgebildet.
Die o.g Bestimmungen können deshalb nur analog angewendet werden. Es wird deshalb nicht die Differenz der Diagonalsabstände, sondern die zulässige toleranzbedingte Differenzveränderung betrachtet.



Ermittlung der planmäßigen
Differenz zwischen d_1 und d_2

$$d_2 = \sqrt{424^2 + 482^2}$$

$$d_2 = 653,3$$

$$d_1 = \sqrt{424^2 + 489^2}$$

$$d_1 = 647,2$$

$$d_2 - d_1 = 6,1 \text{ mm}$$

Höchstwert der unplanmäßigen
Differenz nach Ziff. 11.2.3 Nr. c

$$= \frac{d_1 + d_2}{400}$$

$$= 3,2$$

$$3,2 \text{ mm} \rightarrow$$

Der Höchstwert der unplanmäßigen
Differenz darf 3,2 mm
betragen

$$d_2(\text{max}) = 653,2 + 3,2/2$$

$$= 654,8$$

$$d_1(\text{min}) = 647,2 - 3,2/2$$

$$= 645,6$$

$$\sin \alpha = 497/654,8$$

$$\sin \alpha = 0,7590$$

$$\alpha = 49,38^\circ$$

$$\sin \beta = 424/654,8$$

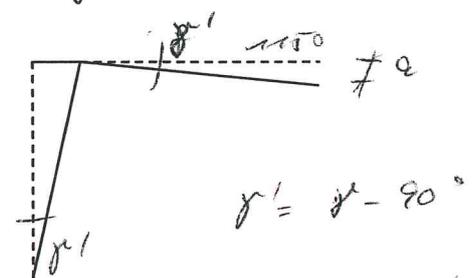
$$\sin \beta = 0,6475$$

$$\beta = 40,35^\circ$$

$$\gamma = 180^\circ - \alpha - \beta$$

$$\gamma = 180^\circ - 49,38^\circ - 40,35^\circ$$

$$\gamma = 90,27^\circ$$



Abknickung (Anhebung)
der Schweißnaht

$$\tan \gamma' = \frac{q}{1150}$$

$$\alpha = \tan \gamma' \times 1150$$

$$q = 0,00477 \times 1150$$

$$q = 5,4 \text{ mm}$$

$$\text{rd } 5 \text{ mm}$$