

Autor**Holger Mietzner**Geschäftsführer der RAL Güte-
gemeinschaft Rohrbefestigung,
86899 Landsberg am Lech

Foto: Mefa

Bild 1: Eine seitlich angebrachte Konsole mit daran befestigten Rohren

Technisch Bewerten – aber richtig

Teil 2 – Konsolen für die Rohrbefestigung

In einer kleinen Artikelserie untersucht der Autor des Beitrags die Bewertung von Produkten zur Rohrbefestigung. Im zweiten Teil beschäftigt er sich mit Konsolen. In folgenden Ausgaben der TAB Technik am Bau werden die Themen Schienenkonstruktionen und Rohrschellen behandelt. Der Autor vermittelt die grundlegenden Bewertungsverfahren und ihre Verknüpfungen zu normativen Prüfverfahren.

Konsolen gehören zu den wohl am häufigsten genutzten Unterkonstruktionen in der Rohrbefestigung. Sie sind sehr vielseitig nutzbar. Nicht nur als Trägerkonstruktion einer Rohrtrasse an der Wand. Sie können auch als Bauteil in einen Schienenkonstruktionsbaukasten integriert werden. Sie können direkt am Baukörper oder aber an anderen Stahlkonstruktionen befestigt werden.

Obwohl Konsolen sehr häufig eingesetzt werden, gibt es immer noch Anwendungen, wo leider zu Unrecht auf Konsolen verzichtet wird. Horizontal an der Wand verlaufende Rohrleitungen, die an der Wand befestigt sind, gehören auf eine Konsolle! Einfach die Rohrschellen mittels Stockschrauben an der Wand zu befestigen ist keine wirklich gute Lösung. Leider sieht man dies aber immer wieder einmal. Eine kleine, leichte Konsolle wäre hier die technisch deutlich bessere Lösung.

Auch Konsolen werden, wie auch Montageschienen, auf Basis von Herstellerangaben ausgewählt. Die Verlässlichkeit dieser Angaben ist somit elementar für eine sichere Planung und Verarbeitung. Auch bei Konsolen ist ein sinnvoller Vergleich unterschiedlicher Fabrikate nur möglich, wenn die zugrunde liegende Bewertung einheitlich erfolgt. Mit diesem Thema, der technischen Bewertung von Konsolen beschäftigt sich dieser Beitrag.

Der Einfachheit halber beschränken wir uns im Folgenden auf eine grundlegende, nicht ausgesteifte Auslegerkonsolle, die sich durch Kombination einer Montageschiene mit einer an einem Ende rechtwinklig angeschweißten Kopfplatte ergibt. Andere Bauformen von Konsolen existieren an Markt. Häufig bestehen diese dann aus der

zuvorgenannten Standardkonsolle mit einer zusätzlichen Aussteifung oder sind als einteilige Blechkonstruktion gestaltet. Die folgenden Aussagen gelten aber auch für diese Arten von Konsolen analog.

Auslegungsgrundsatz: Spannung und Biegung

Die technische Bewertung von Konsolen folgt grundsätzlich den gleichen zentralen Auslegungsparametern, wie die Bewertung von Montageschienen: Zu keinem Zeitpunkt darf die auftretende Durchbiegung einen Grenzwert überschreiten und es darf zu keinem Zeitpunkt eine vorgegebene maximale Spannung an beliebiger Stelle des Bauteils überschritten werden. Zusätzlich muss bei Konsolen sichergestellt sein, dass keine interne Verbindung im Bauteil, also z. B. zur Kopfplatte überlastet wird.

Betrachten wir diese grundsätzlichen Anforderungen nun im Einzelnen:

a) Zulässige Durchbiegung

Als Standardwert hat sich hier eine maximale Durchbiegung von L/150 bewährt. Dies bedeutet, dass die üblicherweise akzeptierte Durchbiegung von Konsolen höher ist, als bei reinen Montageschienen. Wir erinnern uns: Bei Montageschienen wird die maximal zulässige Durchbiegung im Allgemeinen mit L/200 angesetzt.

Die zu erwartende Durchbiegung einer Konsolle kann mithilfe der technischen Basisdaten der Konsolle (E-Modul und Flächenträgheitsmoment) und dem jeweils vorliegenden Lastfall aus den Regeln der

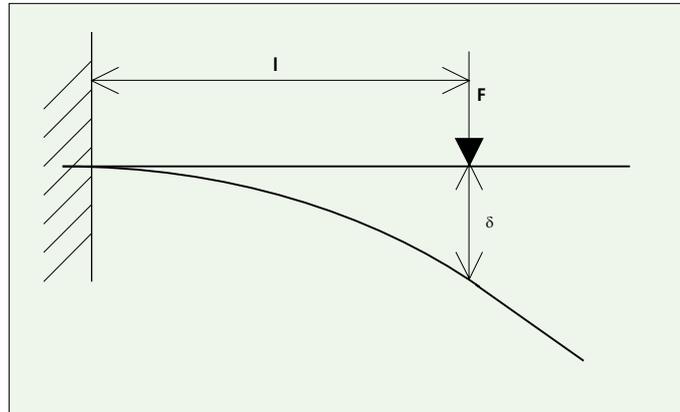


Bild 2: Modell eines einfachen Biegebalkens als Ersatzmodell eines einfachen Lastfalls

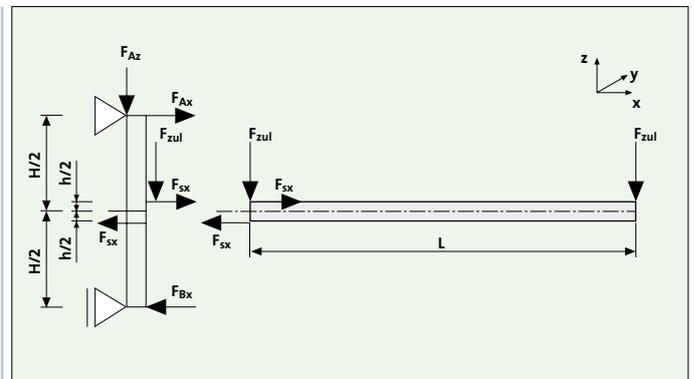


Bild 3: Rechenmodell mit in Schiene und Kopfplatte zerlegter Konsole zur Ermittlung der Lagerreaktionskräfte

technischen Mechanik berechnet werden. Im Falle der hier zu behandelnden Standardauslegerkonsole greift man auf das Modell des einseitig eingespannten Biegebalkens zurück, für den man in der Literatur viele Lastfälle bereit vollständig hergeleitet vorfindet (Bild 2).

Für den einfachsten Lastfall einer Einzellast erhält man schnell die Durchbiegung an der Wirkstelle der Last zu

$$\delta = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I_y}$$

Das E-Modul des verwendeten Werkstoffs kann mit hinreichender Genauigkeit der Literatur entnommen werden. Bei den üblicherweise verwendeten Kohlenstoffstählen ist die Annahme von $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$ völlig ausreichend.

Das Flächenträgheitsmoment I_y ist bei Kenntnis der Geometrie mithilfe moderner CAD-Systeme schnell bestimmt. Allerdings sind auch hier, wie bei der Ermittlung der zugrundeliegenden Daten von Montageschienen, die seitens des Herstellers zugelassenen Toleranzen zu berücksichtigen. Ideal ist es, die Bestimmung der Flächenwerte nach RAL-GZ 655 durchzuführen, denn hier sind die Toleranzen umfänglich berücksichtigt.

b) Zulässige Spannungen

Die maximal zulässige Spannung in der Konsole ist immer durch die niedrigste Streckgrenze der verwendeten Werkstoffe begrenzt. Bei einer Sicherheit von $\gamma = 1,0$ gegen Streckgrenzenüberschreitung entspricht die zulässige Spannung exakt der Streckgrenze. Ein sinnvoller Wert für den Sicherheitsbeiwert ist $\gamma = 1,54$.

Wie aber wird nun die Streckgrenze der verwendeten Werkstoffe ermittelt? Sofern die Konsole keiner Wärmebehandlung unterzogen wurde, ist die real wirksame Streckgrenze zumindest nicht kleiner als der Nennwert der Streckgrenze (F_{yb}) des Ausgangsmaterials. Bei Kaltverfestigung durch die Fertigung kann aber der Rechenwert der Streckgrenze (F_{ya}) deutlich höher liegen. Deshalb wird dieser Wert gerne von Herstellern als Basiswert herangezogen. Inwieweit dies im Ein-

zelfall zulässig ist, bedarf der Einzelfallprüfung. Eine Rechenvorschrift hierfür findet man in DIN EN 1993-1-3 bzw. RAL-GZ 655. Hierin sind auch die Grenzen der Zulässigkeit definiert. Letztendlich sollten die rechnerisch ermittelten Werte für die Streckgrenze im Labor verifiziert werden. Hierzu dienen z. B. Belastungsversuche.

Bei gütegesicherten Konsolen ist sichergestellt, dass die verwendeten Montageschienen gemäß RAL-GZ 655 Teil C bewertet wurden und die Streckgrenzenermittlung dem zuvor Gesagten Genüge tut und neutral überprüft wurde.

Aber nicht nur im Ausleger ist die zulässige Spannung zu berücksichtigen, sondern natürlich auch in der Kopfplatte. Interessanterweise lässt sich dies oft sehr leicht aus den Katalogangaben kontrollieren. Dies bietet dem mündigen Kunden eine gute Kontrollmöglichkeit, inwieweit sich ein Hersteller mit seinen Angaben „aus dem Fenster“ lehnt.

c) Versagen interner Bauteilverbindungen

Mit Ausnahme von Konsolen die aus einteiligen Blechen geformt sind, weisen alle anderen Konsolen interne Verbindungen auf. So z. B. die Schweißung, welche die Kopfplatte mit dem Ausleger verbindet. Teilweise finden sich mehrere solcher Verbindungen innerhalb einer Konsole. Ein Versagen einer solchen internen Bauteilverbindung führt meist zum schlagartigen Versagen der gesamten Konsole und ist somit zwingend wirksam auszuschließen. Die Ermittlung der Belastbarkeit dieser Verbindungen ist allerdings nicht immer trivial und kann vom Planer oder Verarbeiter anhand der ihm verfügbaren Angaben meist nicht überprüft werden. Somit ist hier klar das notwendige Vertrauen in die Angaben der Hersteller gefragt. Wie diese jedoch die Belastbarkeit ihrer Konsolen, insbesondere der entsprechenden Verbindungen bewerten, wird aber leider von den meisten Herstellern nicht offengelegt. Ob also einzig rechnerische Verfahren Anwendung finden – und welche, oder ergänzende Labortests durchgeführt werden, ist somit meist unklar. Vorbildlicherweise werden bei Bewertungen, die den Vorgaben der RAL-GZ 655 Teil E folgen, die entsprechenden Da-

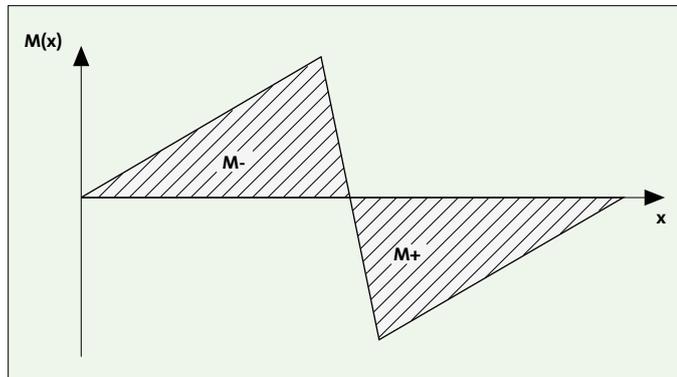


Bild 4: Biegemomentenverlauf

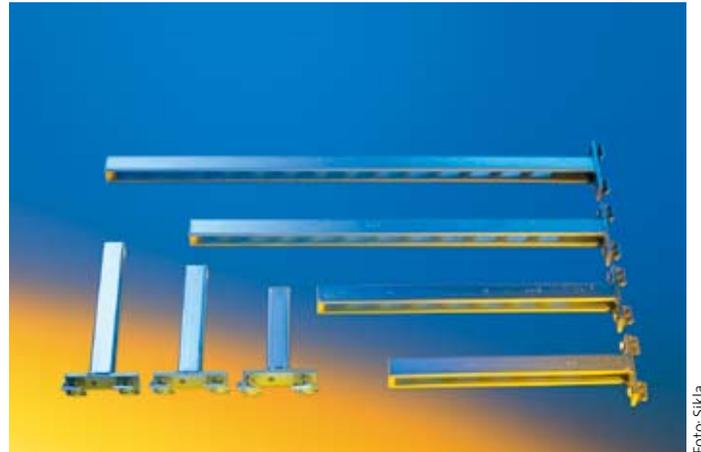


Foto: Sikla

Bild 5: Elemente von Konsolen

ten letztendlich immer auch durch einen Versuch im Labor verifiziert. Hierzu wird der bereits zur Überprüfung der Streckgrenze eingesetzte Belastungsversuch zum „Crash-Test“ erweitert und bis zur Zerstörung der Konsole fortgeführt. Das beobachtete Versagen muss dann die zuvor gemachten Annahmen bestätigen. Dass die Bewertung durch neutrale Sachverständige der beauftragten Prüfinstitute durchgeführt werden muss, bietet hierbei noch zusätzliche Sicherheit.

Vereinfachung bei der Auslegung von Konsolenanwendungen

Um eine konkrete Anwendung einer Konsole rechnerisch überprüfen zu können, ist es natürlich möglich, auf Basis des konkreten Lastfalls die Biegelinie zu ermitteln und unter Berücksichtigung der ermittelten Spannungen in den jeweiligen Bauteilbereichen eine Beurteilung durchzuführen. Hierbei kann ein FEM-Rechenmodell wertvolle Hilfe leisten. Allerdings greift diese Vorgehensweise in mindestens 80 % aller Fälle viel zu weit und wird wohl nur in besonderen Fällen die Lösung der Wahl darstellen. In den meisten Fällen ist eine deutlich einfachere und damit praxistauglichere Lösung völlig ausreichend. Um eine solche einfache, praxistaugliche Lösung am Markt zu etablieren, wurde bei der Erarbeitung der RAL-GZ 655 mit den Fach- und Verkehrskreisen beschlossen, eine besondere Kenngröße, das so genannte „Grenzmoment“, fest in den technischen Angaben der Hersteller zu verankern. Allerdings ist die Angabe dieser Größe nur für Hersteller verbindlich, die sich den Regelungen der RAL-GZ 655 freiwillig unterwerfen und die ihre Produkte dementsprechend regelmäßig durch entsprechend akkreditierte Prüfstellen fremdüberwachen lassen. Solche Produkte sind am Gütezeichen Rohrbefestigung zu erkennen.

a) Grenzmoment

Das „Grenzmoment“ ist eine Hilfsgröße, die alle Parameter berücksichtigen soll, die Einfluss auf die maximale Belastbarkeit einer Konsole haben. Dies sind insbesondere die maximal zulässigen inneren Spannungen aller Bereiche der Konsole aber auch die maximal zulässige Durchbiegung und die Tragfähigkeit aller internen Verbindungen. Das Grenzmoment definiert somit eine theoretische Belastungsgren-

ze der Konsole. Wird diese Grenze nicht überschritten, ist ein sicherer Einsatz der Konsole gewährleistet. Die Angabe des Grenzmomentes in den Herstellerunterlagen vereinfacht nun die Produktauswahl erheblich. Für jede auf der Konsole montierte Einzellast ist einfach das resultierende Moment $M_l = \text{Hebelarm} \times \text{Einzellast}$ zu berechnen. Die Summe aller Momente muss kleiner sein als das angegebene Grenzmoment. Andernfalls ist eine stärkere Konsole zu wählen. Da in der Rohrbefestigung fast ausschließlich mit Einzellasten gerechnet werden kann, ist diese Lösung überzeugend einfach. Aber selbst linear verteilte Lasten lassen sich noch sehr einfach in dieses Rechenmodell integrieren.

Allerdings hat die Bewertung über das Grenzmoment eine physikalische Grenze. Sie funktioniert nur bis zu einer bestimmten Auslegerlänge (Hebelarm), dem so genannten „maximalen Hebelarm für Auslegung über Grenzmoment“ L_{MG} .

b) Maximaler Hebelarm zur Auslegung über das Grenzmoment L_{MG}

Dieser maximale Hebelarm ergibt sich aus einer Änderung des Versagenskriteriums. Während bei kurzen Hebelarmen ein Versagen durch Überschreitung der zulässigen Spannung im Ausleger oder in der Kopfplatte sowie durch Versagen von Schweißnähten oder Nietungen erfolgt, wird der Einfluss der Biegung mit größer werdendem Hebelarm immer größer. Ab dem Überschreiten eines bestimmten Hebelarms wird bei einer Belastung die zulässige Biegung überschritten ohne dass zu unzulässigen Spannungen kommen kann. Dieser Hebelarm stellt die Grenze zur Auslegung über das Grenzmoment dar. Greifen Lasten außerhalb dieses Hebelarms an, so ist für diese einzig die sich ergebende Biegelinie ausschlaggebend. Bleibt die sich einstellende Verformung unter der definierten Grenze ($L/150$) so ist sichergestellt, dass die sich einstellenden Spannungen im unkritischen Bereich liegen. Aus diesem Grunde gehört zur Angabe des Grenzmomentes die Angabe des maximalen Hebelarms L_{MG} zwingend dazu. Für etliche Konsolen ist dieser theoretische Hebelarm allerdings länger als der Ausleger der Konsole. Somit können diese Konsolen immer über das Grenzmoment ausgelegt werden. Eine sehr einfache und anwenderfreundliche Sache.



Bild 6: An der Decke montierte Konsolen mit daran befestigten Rohren



Bild 7: An einer Außenwand montierte Konsole

c) Lagerreaktionskräfte

Für den Anwender sind die Lagerreaktionskräfte am Ort der Einspannung der Konsole von erheblicher Bedeutung. Diese dienen direkt der Auswahl der zu verwendenden Befestigungsmittel wie z.B. Dübel. Erfreulicherweise schreibt die RAL-GZ 655 Teil E ebenfalls vor, die zum jeweiligen Grenzmoment gehörenden Lagerreaktionskräfte anzugeben. Diese stellen somit die Obergrenze dar und können direkt zur Auswahl der Befestigungsmittel verwendet werden.

Obwohl man sich durch diese einfache Angabe eine eigenständige Berechnung spart, muss man natürlich berücksichtigen, dass dies leicht zu einer Überdimensionierung der Befestigung führen kann. In diesem Falle bleibt dann nur die vollständige Berechnung der auftretenden Kräfte.

Überprüfung der inneren Spannungen in der Kopfplatte

Wie zuvor bereits erwähnt, ist es oft relativ einfach, die in der Kopfplatte auftretenden Spannungen aus den allgemein verfügbaren Katalogangaben der Hersteller zu überprüfen. Hierzu muss das Grenzmoment der Konsole bekannt sein. Alternativ ist ein „Ersatzgrenzmoment“ aus den verfügbaren Angaben herzuleiten. Da die meisten Kopfplatten geometrisch relativ einfach sind, lässt sich das obige Stabmodell direkt zu Berechnung der Biegespannungen in der Kopfplatte nutzen.

Über die Länge der Kopfplatte erhält man dann den in Bild 4 dargestellten Biegemomentenverlauf.

Geht man von einer symmetrisch montierten Auslegerschienen auf einer symmetrischen Kopfplatte aus, erhält man sehr einfach ein theoretische Grenzmoment aus Spannungsüberschreitung der Kopfplatte zu

$$M_{GP, fy} = \frac{f_y \cdot 2 \cdot W_y}{y \cdot \left(1 - \frac{h}{H}\right)}$$

Wird nun bei einer definierten Belastung der Konsole dieses Moment überschritten, so überschreitet die Spannung in der Kopfplatte ebenfalls die Streckgrenze des verwendeten Werkstoffs. Die Kopfplatte

wird zerstört. Eine solche Konsole wäre also nicht bei der angegebenen Belastung einsetzbar. Natürlich sind hierbei die individuellen geometrischen Gestaltungen zu berücksichtigen, aber oft reicht das obige Rechenverfahren bereits aus, um interessante Fragen zu stellen.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich also feststellen: Es tut sich was im Bereich der Konsolen. Durch das Inkrafttreten der RAL-GZ 655 Teil E wird nicht nur die Bewertung der Konsolen vereinheitlicht, sondern es wird auch die Produktauswahl erheblich vereinfacht. Insbesondere die „flächendeckende“ Einführung des Grenzmomentes leistet hier Pionierarbeit bei der Vereinfachung.

Als Wermutstropfen verbleibt, dass sich beileibe nicht alle Hersteller dieser Richtlinie unterwerfen. Aber da die nach RAL-GZ 655 bewerteten Produkte mit dem Gütezeichen Rohrbefestigung gekennzeichnet sind, sind diese leicht zu erkennen.

Im dritten Teil der Serie beschäftigt sich der Autor mit dem Thema Schienenkonstruktionen. Hier fließen dann alle bisherigen Ergebnisse aus dem Bereich Montageschienen oder Konsolen zusammen.