

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Periodical Part, Published Version

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.)

BAWEmpfehlung zur Ausbildung von geschmiedeten Hängeranschlüssen

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101748>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2012): BAWEmpfehlung zur Ausbildung von geschmiedeten Hängeranschlüssen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: Alle Rechte vorbehalten

Empfehlungen zur Ausbildung von geschmiedeten Hängeranschlüssen

1 Einleitung

Brücken sind nicht vorwiegend ruhenden Lasten ausgesetzt und müssen gegen Versagen infolge Ermüdung nachgewiesen werden. Dies gilt insbesondere für Hängeranschlüsse an Stabbogenbrücken (Bild 1), die ermüdungswirksamen Wechselbelastungen wie z. B. wirbelerregte Querschwingungen, Regen-Wind-induzierte Schwingungen, Verkehrslasten und Handaufschaukeln ausgesetzt sein können.

Die Ermüdungsfestigkeit ist im Wesentlichen von der inneren und äußeren Kerbwirkung abhängig. Die innere Kerbwirkung stellt sich durch das sehr heterogene Metallgefüge ein. Unter Belastung können sich im Gefüge Spannungsspitzen einstellen, die weit über die Nennspannung hinausgehen. Äußere Kerben wie Querschnittsprünge, Schweißnähte, Korrosionsnarben, etc. stören den Kraftfluss im Hängeranschluss und verursachen dadurch örtliche Spannungsspitzen. Daher ist es ersichtlich, dass sowohl bei der Herstellung als auch bei der Detailausbildung eine möglichst geringe Kerbschärfe erzeugt werden sollte.

In der vorliegenden Empfehlung werden Informationen zur Herstellung, zu den Materialeigenschaften und zur Gestaltung von geschmiedeten Hängeranschlüssen gegeben. Weiter werden die Ergebnisse von Ermüdungsversuchen an geschmiedeten Hängeranschlüssen vorgestellt, die eine für die Bemessung erforderliche Einstufung als Kerbdetail erlauben.

2 Herstellung und Materialeigenschaften

Nach Angabe eines Herstellers wird das warmgewalzte Rundmaterial für die Hänger einer Stabbogenbrücke nach einer Ultraschallprüfung in drei Arbeitsschritten umgeformt. Im ersten Schritt wird das Stabende ca. 35 Minuten auf 1100 °C im Ofen erwärmt, um anschließend das benötigte Volumen für die vorab fest-



Bild 1: Geschmiedeter Hängeranschluss

gelegte Trapezgeometrie des Anschlussbereiches einzustauen. Danach wird das Volumen in einem zweiten Arbeitsschritt in eine spezielle Geometrie umgeformt, um eine optimale Materialverteilung für den letzten Arbeitsschritt zu gewährleisten. Dieser wird in einer Presse durchgeführt, bei dem das Material in die gewünschte endnahe Trapezform gepresst wird (Bild 2).

Durch anschließendes Normalglühen der Spatenenden werden innere Spannungen abgebaut und ein gleichmäßiges Gefüge mit ausreichenden Zähigkeits- und Festigkeitseigenschaften hergestellt. Die Abkühlung der Werkstücke erfolgt ohne gezielte Temperaturführung an der Luft. Mit einem Brennschnitt wird die genaue trapezförmige Spatenform nach Schablone angeschnitten. Dadurch werden die Außermittigkeit der Spaten gegenüber der Hängerachse und größere Toleranzen in der Spatenbreite minimiert. Die Spaten-



Bild 2: Schmiedevorgang

flächen werden anschließend kerbfrei beschliffen. Parallel dazu wird eine zusätzliche Spatenprobe unter gleichen Randbedingungen hergestellt. An dieser Probe werden die Materialeigenschaften im geschmiedeten Bereich überprüft.

Materialuntersuchungen an bereits ausgeführten Brückenbauwerken zeigen, dass die erforderlichen mechanischen Eigenschaften auch nach dem Schmiedevorgang und der anschließenden Wärmebehandlung erreicht werden. Die Streckgrenze und die Zugfestigkeit werden leicht reduziert, wobei die Bruchdehnung und die Kerbschlagarbeit im Vergleich zum Grundmaterial zunehmen.

Die Verwendung von Stahl der Festigkeitsklasse S235 wirkt sich nachteilig auf die Hängerkonstruktion aus. Bei der Verwendung eines höherfesten Stahls, z. B. S355, kann eine schlankere Geometrie gewählt werden. Dies reduziert u. a. die Knotensteifigkeit und somit die Momentenbeanspruchung. Der Einsatz von S355 oder besserer Güte wird daher empfohlen.

Die oberen und unteren Spaten werden aus konstruktiven Gründen und für eine gleichmäßigere Stabsteifigkeit des Hängers in Brückenlängs- und Querrichtung in der Regel um 90° verdreht hergestellt. Nach Herstellerangaben wird von einer Toleranz $\leq 2^\circ$ ausgegangen. Durch die leichte Überdicke der Spaten ist ein Beischieben an das Anschlussblech möglich.

Auf eine Feuerverzinkung der geschmiedeten Hänger sollte verzichtet werden, da die Gefahr des Verziegens besteht.

3 Montage

Auf der Baustelle werden die Spaten mit einer horizontalen Schweißnaht an das Anschlussblech des Hauptträgers angeschlossen. Die horizontale Schweißnaht ist einfach herzustellen und kann anschließend gut mittels Röntgen oder Ultraschall geprüft werden. Die Schweißnaht sollte als Stumpfnah in Sondergüte

(K112) ausgeführt und anschließend blecheben verschliffen werden.

4 Angabe von Entwurfsparametern

Die Geometrie des Hängeranschlusses ist für einen harmonischen Kraftfluss und minimierter Kerbschärfe zu entwerfen. Die konstruktive Ausbildung von geschmiedeten Hängeranschlüssen erfolgt in Anlehnung an den Leitfaden (2007-12) und an DIN EN 1993-2/NA (2010-12). Die dort aufgeführten Empfehlungen werden auf die besonderen Randbedingungen eines geschmiedeten Hängeranschlusses angepasst. Die angegebenen Empfehlungen sind als Hilfestellung für den Entwurf zu sehen und müssen durch den Nachweis der Tragsicherheit und Ermüdungsfestigkeit bestätigt werden. Die unten beschriebenen geometrischen Größen sind in Bild 3 abgebildet.

Hängerradius R

Die im Auftrag der BAW durchgeführten Parameterstudien von Schütz und Gitterle (2005) zeigen, dass die Ermüdungsbeanspruchung aus Verkehr und Wirbelerregung mit steigendem Hängerdurchmesser zunimmt und somit die Hänger nicht dicker als erforderlich ausgebildet werden sollten.

Der Hängerradius wird mit der maximalen Hängernormalkraft und den Spannungswerten nach dem Leitfaden (2007-12), Tabelle 3, bestimmt:

$$R = \sqrt{\frac{N_{\max}}{\pi \cdot \sigma}}$$

Spatendicke t

Als Spatendicke wird die Materialdicke des Spatenendes und die des Anschlussbleches bezeichnet. Der Spaten sollte nicht dicker ausgeführt werden als erforderlich, um die Einspannwirkung so gering wie möglich zu halten. Die Spatendicke wird nach dem Aufsatz von Schütz et al. (2006) mit

$$t \approx 0,5 \cdot R$$

vordimensioniert.

Spatenbreite b*

Die Spatenbreite b* in Höhe der Schweißnaht wird ebenfalls mit der maximalen Hängernormalkraft und den Spannungswerten nach dem Leitfaden (2007-12), Tabelle 3, bestimmt:

$$b^* = \frac{N_{\max}}{\sigma \cdot t}$$

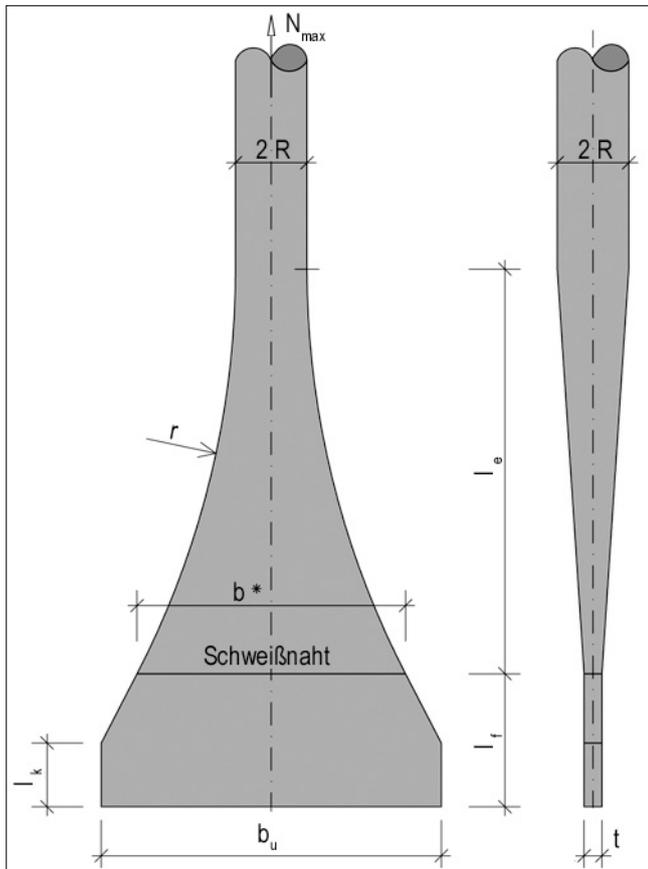


Bild 3: Bezeichnungen der einzelnen geometrischen Größen

Das Verhältnis von Spatenbreite zur Spatenlänge ist durch den Schmiedevorgang beschränkt und im Vorfeld mit dem Hersteller abzustimmen. Tabelle 1 zeigt die geometrischen Verhältnisse, die an Brücken mit geschmiedeten Hänger bereits ausgeführt wurden.

Stab-Ø [mm]	l_e [mm]	b^* [mm]	t [mm]
70	315	265	20
82	420	380	20/25
90	440	400	25/30
110	500	420	35
220	585	585	65

Tabelle 1: Abmessungen von bereits ausgeführten, geschmiedeten Hängeranschlüssen

Spatenlänge l_e

Um große Steifigkeitssprünge in der Hängeranschlusskonstruktion zu vermeiden, muss der Spaten ausgerundet auslaufen. Die vom Herstellungsprozess abhängige maximale Spatenlänge l_e sollte deshalb

ausgenutzt werden, um einen möglichst großen Außenradius r anschneiden zu können.

Außenradius r

Der im Leitfaden (2007-12) aufgezeigte Vorschlag zur Ermittlung des Außenradius kann auf Grund des Verhältnisses von Spatenbreite zu Spatenlänge beim Schmieden nicht erreicht werden. Der Außenradius des Schmiedestücks wird daher geringer ausfallen als bei Knotenblechen mit eingeschweißten Hängerstäben. Durch die Ausnutzung der maximalen Spatenlänge l_e sollte jedoch beim geschmiedeten Hänger der maximal mögliche Außenradius r angeschnitten werden.

Knotenblechbreite b_u

Die obere Knotenblechbreite wird durch die Brückenbogenbreite bestimmt. Im Bereich der Hauptträger besteht meist ein größerer Gestaltungsspielraum. Wird die Empfehlung aus dem Leitfaden (2007-12) auf eine geschmiedete Anschlusskonstruktion übertragen, sollte die Knotenblechbreite nicht größer als

$$b_u \leq 1,5 \cdot b^*$$

gewählt werden.

Freie Knotenblechhöhe l_f

Die Beanspruchung im Übergangsbereich zwischen Spaten und Hänger wird bei einem größeren Abstand zum Versteifungsträger reduziert, sodass von Schütz et al. (2006) empfohlen wird, den Rundstahlhänger „in einem größeren Abstand (freie Knotenblechhöhe l_f) vom Versteifungsträger/Querträger bzw. Bogen“ beginnen zu lassen.

5 Ermüdungsfestigkeit

Der Spaten und das Anschlussblech werden, wie oben bereits erwähnt, nach Schablone brenngeschnitten und nachträglich mechanisch bearbeitet. Bei dieser Ausführung und unter Beachtung der in DIN EN 1993-1-9 (2005-07) bzw. DIN Fachbericht 103 (2009-03) angegebenen Anforderungen an die Ausführungsqualität ist ein von Hand brenngeschnittener Werkstoff für den Kerbfall K125 und ein maschinell brenngeschnittener Werkstoff für den Kerbfall K140 nachzuweisen.

Ob für den geschmiedeten Hängeranschluss eine vergleichbare Kerbschärfe angenommen werden kann, wurde durch Ermüdungsfestigkeitsversuche am Fraunhoferinstitut für Betriebsfestigkeit, Darmstadt, ermittelt. Der Kerbfall des Anschlussdetails wurde mit Versuchen an 10 Prüfkörpern im Maßstab 1 : 1 aus S355 bestimmt. Der Hängerdurchmesser der Probekörper betrug 82 mm.

Die Versuche wurden an 10 Proben mit einer Frequenz von 5 Hz auf drei verschiedenen Lastniveaus durchgeführt. Das Spannungsverhältnis (maximale Spannung zu minimaler Spannung) betrug $R = 0,1$. Die Ergebnisse sind in Bild 4 dokumentiert. Für eine Über-

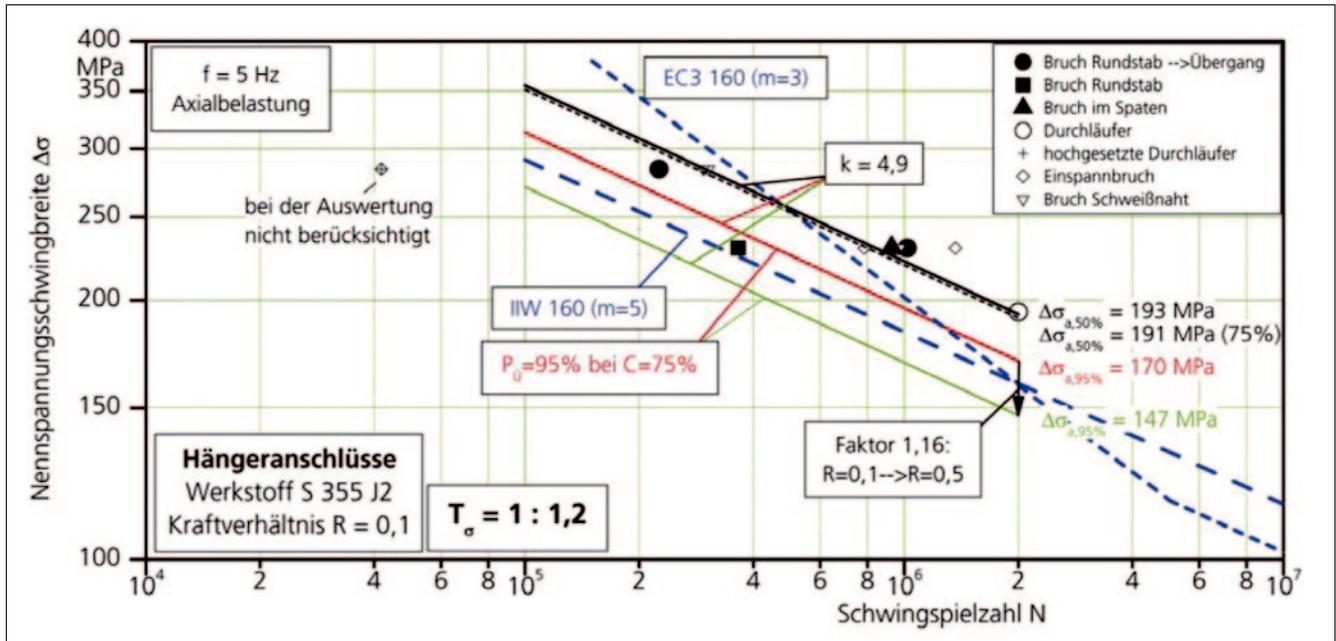


Bild 4: Ergebnisse der Ermüdungsfestigkeitsversuche aus LBF (2011)

lebenswahrscheinlichkeit von 95 % konnte eine ertragbare Spannungsschwingbreite von 147 MPa bei 2×10^6 Lastspielen bestimmt werden. Die Wöhlerlinienneigung stellte sich mit $m = 4,9$ ein.

6 Bewertung

Nach obigen Ausführungen und der Zusammenfassung der bis jetzt vorliegenden Informationen stellt der geschmiedete Hängeranschluss auf Grund des ermüdungstoleranten Verhaltens eine zu beachtende Alternative zum geschweißten Anschluss dar.

Die Bundesanstalt für Wasserbau empfiehlt, bei vergleichbaren geschmiedeten Hängeranschlüssen höchstens den Kerbfall K140 mit einer Wöhlerlinienneigung von $m = 5$ für Ermüdungsfestigkeitsnachweise anzunehmen.

7 Literatur

DIN EN 1993-1-9 (2005-07): DIN EN 1993-1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9 Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9: 2005, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005.

DIN EN 1993-2/NA (2010-12): DIN EN 1993-2/NA: Nationaler Anhang-National festgelegte Parameter-Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten-Teil 2: Stahlbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2010.

DIN-Fachbericht 103 (2009-03): Stahlbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2009.

LBF (2011): LBF-Bericht Nr. 281204: Ermüdungsversuche zum Einsatz von geschmiedeten Hängeranschlüssen an Stabbogenbrücken. Fraunhofer-Institut

für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt, März 2011. Im Auftrag der BAW Karlsruhe, unveröffentlicht.

Leitfaden (2007-12): Leitfaden zum Anhang II-H, Hänger von Stabbogenbrücken des DIN-Fachberichtes 103:2009-03, Bundesanstalt für Straßenwesen und Bundesanstalt für Wasserbau, Ausgabe Dezember 2007.

Schütz K.G., Ehmann R., Gitterle M. (2006): Wind-erregte Hängerschwingungen an Stabbogenbrücken. In: Der Prüferingenieur, Oktober 2006.

Schütz K.G., Gitterle M. (2005): Schwingungen von Hängern an Stabbogenbrücken, Weiterentwicklung der technischen Regelwerke. Erstellt für die Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, 2005 und 2006 (unveröffentlicht).

Dipl.-Ing. Martin Deutscher
Abteilung Bautechnik
Referat B1 Massivbau
Tel. 0721 9726-3680
Fax: 0721 9726-2150
E-Mail: martin.deutscher@baw.de

Dipl.-Ing. Ulrike Gabrys
Abteilung Bautechnik
Referat B2 Stahlbau, Korrosionsschutz
Tel. 0721 9726-4560
Fax: 0721 9726-2150
E-Mail: ulrike.gabrys@baw.de