

Neue Konzepte zur Anschlußbemessung New concepts for the design of joints

Dr.Ir. J.-P. Jaspart, Dr.-Ing. K. Weynand

Im Zuge der Weiterentwicklung der Eurocode haben der Lehrstuhl für Stahlbau der RWTH Aachen, das MSM Departement der Universität Lüttich und TNO Building and Construction Research Delft im Auftrag von CEN den Anhang J des Eurocode 3 [1, 2] in enger Zusammenarbeit vollständig überarbeitet. Mit der Neufassung [3] bzw. [4], die von den Mitgliedsstaaten verabschiedet wurde und spätestens mit der EN-Fassung des EC3 bauaufsichtlich eingeführt werden wird, ist ein homogenes Ingenieurmodell zur Bemessung von Anschlüssen im Stahlhochbau in den Eurocodes verankert.

Neben den klassischen "Modulen" zur Ermittlung der Momenten- und Querkrafttragfähigkeit von gelenkigen oder biegesteifen Anschlüssen beinhaltet der neue Anhang J weitere Elemente wie die Beurteilung der Duktilität, die Berechnung der Steifigkeit oder die Integration nachgiebiger Anschlüsse. Das Modell erfaßt das Verformungsverhalten der Anschlüsse und erlaubt die Nutzung plastischer Tragreserven, die aufgrund von Umlagerungen der inneren Schnittgrößen im Anschluß aktiviert werden. Neu ist auch das Konzept der sog. Komponentenmethode (Abbildung 1): Die charakteristischen Kenngrößen Tragfähigkeit und Steifigkeit werden jeweils für die einzelnen Komponenten des Anschlusses bestimmt und erst in einem nachfolgenden Schritt werden die Kennwerte für den gesamten Anschluß durch den "Zusammenbau" der einzelnen Komponenten ermittelt. Dadurch ergeben sich zwei wesentliche Vorteile:

1. Das Modell ist einfach erweiterbar (vorausgesetzt, daß die charakteristischen Kenngrößen für die neuen Komponenten bekannt sind), so z.B. für den Verbundbau. Ein Entwurf wurde bereits erarbeitet und wird derzeit in den technischen Arbeitsgruppen von CEN TC 250, EKS TC 11 und COST C1 diskutiert.
2. Beliebige Anschlußkonfigurationen sind erfaßbar (vorausgesetzt, daß die Regeln für den "Zusammenbau" existieren, z.B. entsprechende Federmodelle).

An dieser Stelle soll jedoch nicht auf einzelne Regeln oder deren technischen Hintergrund eingegangen werden. Hierzu sei z.B. auf [5], [6], [7] und [8] verwiesen. Vielmehr sollen einige Aspekte diskutiert werden, die die Motivation für die Einführung neuer Konzepte im EC 3 beleuchten.

Der neue Anhang J wurde nicht mit dem Anspruch erarbeitet, dem Ingenieur ein einfaches Handrechenverfahren zur Verfügung zu stellen. Ziel war es vielmehr, ein universelles Modell in den Normen festzuschreiben, das neben den klassischen Ansätzen neue Möglichkeiten der Anschlußbemessung bietet. Nichtsdestotrotz sind Handrechnungen möglich. Aufwendige Iterationen, wie sie in der alten Fassung erforderlich sind, entfallen in der Neufassung. Für den Bemessungsalltag sind jedoch Computer-Programme und Tabellenwerke erforderlich.

Daß sich Tafelwerke in der Praxis bewährt haben, zeigt die Popularität des DASt-Ringbuches "Typisierte Verbindungen im Stahlbau" [9] und [10] bzw. [11]. In [11] findet man für die Anschlußkonfigurationen nach [9] Tragfähigkeiten, die dem Nachweiskonzept der neuen DIN 18800 angepaßt sind. Dem dort vorgestellten Bemessungsmodell liegt folgendes Konzept zugrunde:

Die Anschlüsse sind (mehr oder weniger) starr. Es wird daher auch nur ein Tragfähigkeitsmodell angegeben. Um maximale Tragfähigkeiten angeben zu können, wurden zahlreiche Versuche durchgeführt und das mechanische Modell wurde anhand der Versuche empirisch modifiziert. Um Schrauben und Stirnplatten gleichermaßen auszunutzen, wurde der Versagensmodus vorgegeben: Kombiniertes Versagen von Stirnplatten und Schrauben (entspricht dem Versagensmodus 2 im Anhang J); dies wird durch angegebene t/d -Verhältnisse (t =Stirnplattendicke, d =Schraubendurchmesser) sichergestellt. Andere Komponenten (z.B. Stützensteg, Stützenflansch) müssen entsprechend tragfähiger sein. Diese Vorgabe (kombiniertes Versagen) kann jedoch bedeuten, daß der Anschluß "spröde" versagt (Schraubenbruch), was bei plastischer Bemessung problematisch sein kann.

Um hier die erweiterten Möglichkeiten des Eurocode berücksichtigen zu können, wäre ein "Update" des DASt-Ringbuches erforderlich: Einbeziehung der Stützen, Steifigkeitswerte, modifizierte Geometrien zur "Steuerung" des duktilen Verhaltens, etc.

Nichtsdestotrotz, das "Ringbuch" hat sich in langjähriger Praxis bewährt, die Bemessung ist einfach und schnell. Warum also neue Bemessungsmodelle. Wer kann davon profitieren? Hierzu sei einmal die Sicht aller an der Herstellung von Stahlkonstruktionen beteiligten Parteien betrachtet.

Die Bauaufsicht:

Hier ist festzustellen, daß das DASt-Modell zur Bestimmung der Tragfähigkeit der Stirnplatte fast identisch mit dem Modell im Anhang J (Mode 2) ist, der Anhang J erlaubt jedoch beliebige t/d -Verhältnisse (also auch Mode 1, d.h. Versagen infolge reiner Plattenbiegung). Dadurch kann duktilen Verhalten sichergestellt werden. Duktilität ist ein wesentliches Grundelement für die sichere Anwendung moderner Bemessungskonzepte, die einen Nachweise für Grenzzustände führen, um plastische Tragreserven nutzen zu können, wie sie in der neuen DIN 18800 bzw. in den Eurocodes enthalten sind.

Der Bauherr:

Bei einer Optimierung der Gesamtstruktur (also Profile und Anschlüsse) sind signifikante Einsparungen möglich, wenn die Anschlußsteifigkeit genauer berücksichtigt wird. Das zeigen verschiedenste Studien zur Wirtschaftlichkeit der Anwendung nachgiebiger Anschlüsse, z.B. [8], [12] oder [13]. Ein wirtschaftlicher Anschluß muß aber nicht immer zwangsläufig ein verformbarer Anschluß sein, wie das folgende Beispiel zeigt:

Für einen einfachen Portalrahmen einer Halle mit Kranbahn wurden die Profilabmessungen und die Anschlüsse der biegesteifen Rahmenecken "traditionell" nach Eurocode 3 bemessen. Rahmensystem und die Ausbildung des Anschlusses sind in Abbildung 2a gegeben. Ausgehend von diesem System wurde an der Universität Lüttich zunächst eine Berechnung dieses Anschlusses nach dem neuen Anhang J durchgeführt (Abbildung 2b). Man erkennt hier, daß der Anschluß gemäß altem Anhang J als verformbar zu klassifizieren ist (d.h. Berücksichtigung der Anschlußsteifigkeit bei der Tragwerksberechnung). Eine Berechnung nach des neuen Regeln erlaubt aber mit dem neuen Steifigkeitsmodell eine Einstufung als starr! Im nächsten Schritt wurde der Anschluß unter folgenden Vorgaben modifiziert:

1. Anschluß starr, d.h. kein Einfluß auf das Tragwerk (Profilabmessungen unverändert)
2. Reduktion der Herstellkosten.

Folgende Varianten wurden untersucht:

1. Die Steife im Druckbereich des Stützensteges wird weggelassen.
2. Zusätzlich wird die Steife im Zugbereich des Stützensteges weggelassen.
3. Zusätzlich wird die unterste der für die Übertragung der Zugkräfte angesetzten Schraubenreihen weggelassen.

Die Tabelle in Abbildung 2c zeigt die Momententragfähigkeiten und die Steifigkeiten nach neuem Anhang J. Die genannten Anforderungen sind in allen Fällen erfüllt. Eine Abschätzung der Fertigungskosten eines Anschlusses für die untersuchten Varianten ist ebenfalls in dieser Tabelle angegeben. Diese Kosteneinsparungen sind natürlich von den getroffenen Annahmen für die Kalkulation abhängig (hier: Material Stahl ca. 900 DM/t, 1,50 DM/Schraube, Zeitaufwand ca. 50 DM/h). Es wird aber die Strategie deutlich:

1. Bereits eine Optimierung am Anschluß alleine (Annäherung an den Grenzwert starr/verformbar) kann zu Einsparungen führen.
2. Eine weitere Reduktion der Steifigkeit führt zum verformbaren Anschluß. Obwohl hier der Aufwand bei der Tragwerksberechnung größer wird, sind für die Gesamtkonstruktion weitere Kosteneinsparungen möglich (siehe Untersuchungen in [8]).

Der Architekt:

Die neuen Konzepte und Modelle ermöglichen - insbesondere durch die Einbeziehung nachgiebiger Anschlüsse - eine freiere Gestaltung der Anschlüsse und somit ästhetischere Lösungen.

Der Stahlbauer:

Einfache Anschlüsse (steifenlos) sind billiger (siehe Beispiel oben) und bieten größere Flexibilität bei der konstruktiven Ausbildung (Anschluß von Nebenträgern, Installationleitungen, etc.). Hohe Kosten durch lohnintensive Arbeiten (die zudem durch die übliche Kostenermittlung über Tonnagen schwer kalkulierbar sind bzw. nur pauschal erfaßt werden können) können reduziert werden.

Und der Ingenieur?

Ein erster Blick in den Anhang J läßt berechtigte Kritik laut werden, die Regeln seien für die Praxis nicht brauchbar, da viel zu aufwendig; insbesondere wenn der erforderliche Zusatzaufwand bei der statischen Berechnung (aufwendigere Berechnung der Anschlüsse, evtl. zusätzlich Berücksichtigung von Anschlußsteifigkeiten in der Tragwerksberechnung, Untersuchungen zur Optimierung des Anschlußverhaltens) nicht mit den Einsparungen bei den Herstellkosten verrechnet werden kann, da Ingenieur und Stahlbauer meist getrennt abrechnen.

Aber: Der Anhang J liefert primär kein "Handrechenverfahren" für die tägliche Bemessung von Anschlüssen. Er ist vielmehr ein Basisdokument, das einerseits eine flexible (und somit auch wirtschaftliche) Auslegung von Stahlkonstruktionen ermöglicht und das andererseits - basierend auf dem neuesten Stand der Technik - gewährleistet, daß solche Bauwerke die geforderten Sicherheitsstandards erfüllen.

Dem Ingenieur müssen Hilfsmittel bereitgestellt werden, die weiterhin eine einfache und schnelle Bemessung der Anschlüsse ermöglichen. Dies sind einerseits Tabellenwerke ähnlich den bewährten DASt-Ringbuch-Tabellen (z.B. [14]), die für standardisierte Konfigurationen alle relevanten Bemessungswerte vorhalten, und andererseits benutzerfreundliche Software (z.B. [15] oder [16]), die beliebige Konfigurationen berücksichtigen und somit schnell Alternativrechnungen ermöglichen, um wirtschaftliche Lösungen im Einzelfall zu finden. Für den in der Praxis tätigen Ingenieur wurden in [17] relevante Hintergrundinformationen und Kommentare sowie Bemessungsbeispiele erarbeitet. Dieses Handbuch wird in Kürze als EKS-Veröffentlichung verfügbar sein und auch den neuen Anhang J des EC3 enthalten.

Literatur

- [1] DIN - Deutsches Institut für Normung: DIN V ENV 1993 Teil 1-1: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Deutsche Fassung, April 1993.

- [2] DAST - Deutscher Ausschuß für Stahlbau: DAST-Richtlinie 103: Nationales Anwendungsdocument (NAD), Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 1993 Teil 1-1, Beuth, Stahlbauverlag, 1993.
- [3] Jaspart, J. P.; Steenhuis, M.; Weynand, K.: Joints in Building Frames, draft of revised Annex J of Eurocode 3, CEN Document CEN/TC 250/SC 3 - N 419 E, June 1994.
- [4] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: Eurocode 3, ENV 1993-1-1:1992/A2, Revised Annex J - Joints in Building Frames (noch unveröffentlicht), 1997.
- [5] Zoetemeijer, P.: Summary of the research on bolted beam to column connections, Report 6-85.7, TU Delft, 1985.
- [6] Jaspart, J. P.: Etude de la semi-rigidité des noeuds poutre-colonne et son influence sur la résistance et la stabilité des ossatures en acier, Ph. D. Thesis, M.S.M. Department, Université de Liège, Januar 1991.
- [7] Weynand, K.; Jaspart, J.P.; Steenhuis, M.: The stiffness model of revised Annex J to Eurocode 3; Connections in Steel Structures III: Behaviour, Strength and Design, The 3rd Int. Workshop on Connections in Steel Structures, Trento, Italy, 1995.
- [8] Weynand, K.: Sicherheits- und Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zur Anwendung nachgiebiger Anschlüsse im Stahlbau, Diss. RWTH Aachen, Shaker Verlag Aachen, 1997, ISBN 3-8265-2360-1.
- [9] DAST - DSTV: Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau, Stahlbau-Verlags GmbH, 2. Auflage, 1978.
- [10] DAST - DSTV: Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau, Stahlbau-Verlags GmbH, Ergänzung zur 2. Auflage, 1984.
- [11] Oberegge, O.; Hockelmann, H.-P.: Bemessungshilfen für profilorientiertes Konstruieren, Stahlbau-Verlags GmbH, 2. Auflage, 1992.
- [12] Colson, A.; Bjorhovde, R.: Connection Moment-Rotation Curves for semi-rigid frame design, in "Connections in Steel Structures II: Behaviour, Strength and Design", 2nd Int. Workshop on Connections in Steel Structures Pittsburgh, USA 1991.
- [13] Guisse, S.: Economical interest of semi-rigid joints in steel structures, SPRINT CONTRACT RA 352, Institut MSM, Univ. of Liège, Belgium, 1995.
- [14] SPRINT RA 351: Semi-Rigid Connections in Steel Construction - Simple Design Model and Design Aids, CRIF Liège, Final Report, European Community Strategic Programme, Brussels, Belgium, 1995.
- [15] C.M. Steenhuis, C.M.: CASTA/Connections, version 2.12, Software for Eurocode 3 ENV 1993-1-1 Annex J and NEN 6772 Bijlage A, TNO Building and Construction Research, PO box 49, 2600 AA Delft, the Netherlands, 1997.
- [16] Weynand, K.; Jaspart, J.P.: CoP/DESIMAN. Programm zur Berechnung von Anschlüssen nach Eurocode 3, Anhang J (revidiert), RWTH Aachen und Universität Lüttich (B), 1997.
- [17] ECSC Research Contracts 7210-SA/212 and 320: User's Manual on "Frame Design including Joint Behaviour", University of Liège (B), CTICM (F), RWTH Aachen (DE) and TNO Delft (NL). 1993-1996.
- [18] Steenhuis, C. M.; Gresnigt, A. M.; Weynand, K.: Pre-Design of Semi-Rigid Joints in Steel Frames, in "Semi-rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections", COST C1, Proceedings of the Second State of the Art Workshop, Prague, Czech Republic, October 1994.
- [19] EKS - Europäische Konvention für Stahlbau: Connection and Frame Design for Economy, Technical Committee 10 - Structural Connections, publication No. 77, November 1993.
- [20] EKS - Europäische Konvention für Stahlbau: Analysis and Design of Steel Frames with Semi-Rigid Joints, Technical Committee 8 - Structural Stability, WG 8.1/8.2, publication No. 67, 1992.
- [21] SZS - Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau: Rahmentragwerke in Stahl unter besonderer Berücksichtigung der steifenlosen Bauweise, Publ. A4. 1987.

js-
th,
n-
ed
ort
ur
it,
to
rd
ig
n,
2.
4,
n,
ie
it.
T
el
e,
V
n,
in
7.
in
id
el
1,
er
or
7,
th
in
er

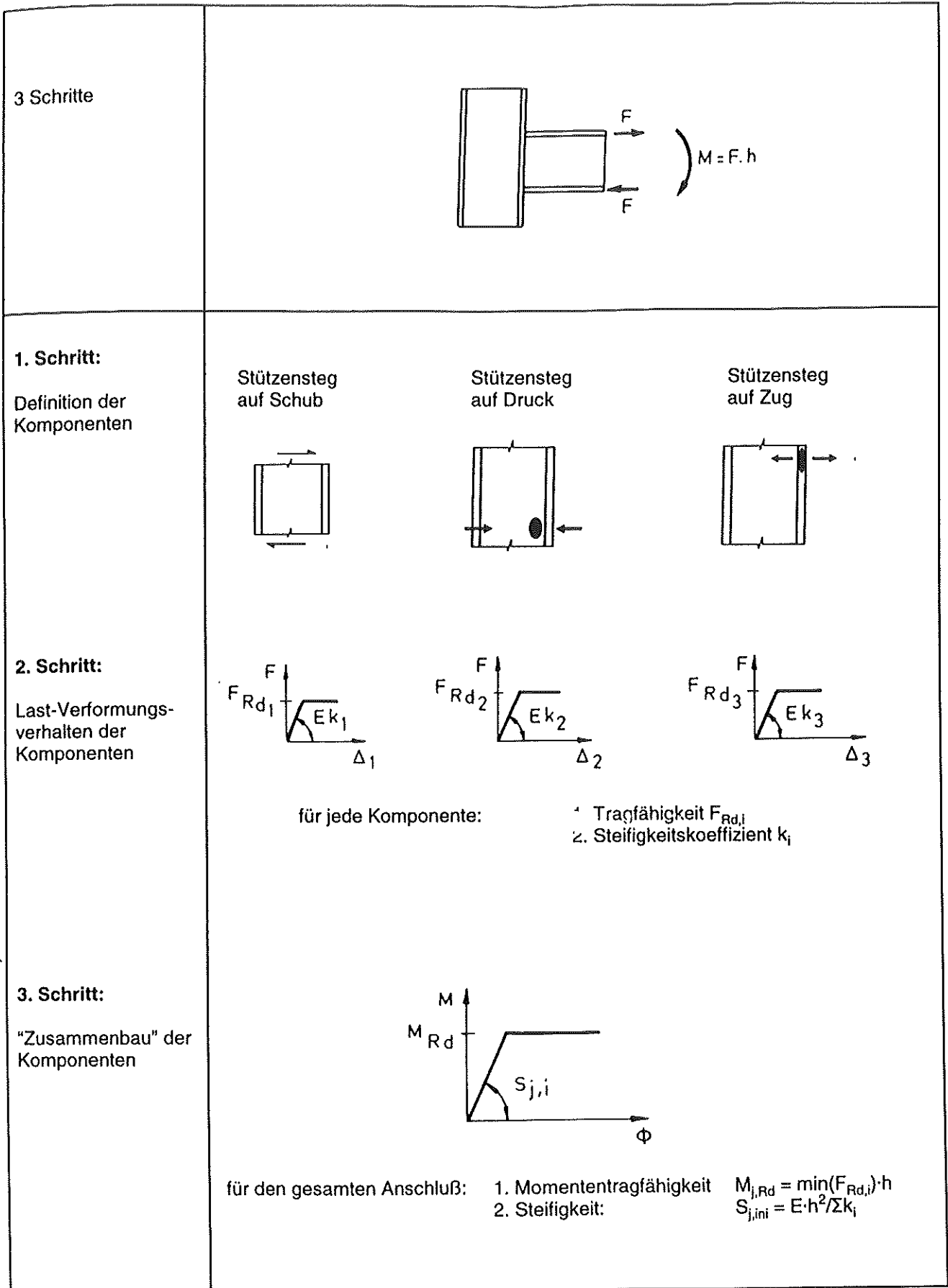
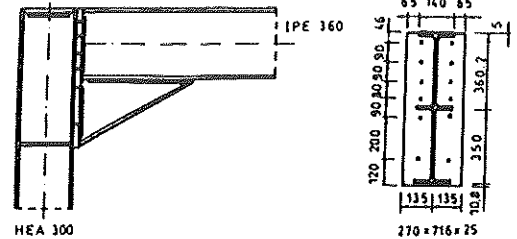


Abbildung 1: Die Komponentenmethode: Anwendung für einen geschweißten Anschluß



Randbedingungen
 Spannweite: 20 m
 Niveau Kranbahn: 5 m
 Dachneigung: 2 bis 3%

Hallenlänge: 42 m
 Abstand Kranbahnräder 18,2 m
 Stützenfüße eingespannt.

Abstand Rahmen: 6 m
 lichte Höhe: 7 m

a) System und Anschluß Rahmenecke (gemäß urspr. Bemessung)

Kenngröße	Anhang J alt [1]	Anhang J neu [4]
Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$	269,6 kNm	281,6 kNm
Steifigkeit $S_{j,ini}$	78 874 kNm/rad	114 971 kNm/rad
Klassifizierung ¹⁾	verformbar	starr

¹⁾ Grenzwert zur Klassifizierung für einen seitenverschiebl. Rahmen nach EC3:
 Anschlußsteifigkeit $S_{j,ini} \geq 25 EI_b/L_b = 85 628 \text{ kNm/rad}$

b) Vergleich der Anschlußkenngrößen nach EC3 , Anhang J (alt und neu)

Variante/Konfiguration	$M_{j,Rd}$ [kNm]	$S_{j,ini}$ [kNm/rad]	Klassifizierung	rel. Herstellkosten *)
	255,0	92 706	starr	87 %
	250,6	89 022	starr	73 %
	247,8	87 919	starr	72 %

*) Herstellkosten bezogen auf Ausgangskonfiguration oben

c) Optimierung der Ausschlußausbildung

Abbildung 2: Beispiel zur Optimierung eines starren Anschlusses