

Dr.-Ing. Joachim Kretz

Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8

Teil 1: Allgemeine Grundlagen zur Anschlussbemessung / Komponentenmethode

In der bisherigen Stahlbaupraxis werden Anschlüsse entweder biegesteif oder gelenkig betrachtet und entsprechend konstruiert. Mit der Einführung der Komponentenmethode können nun auch verformbare Anschlüsse konzipiert und nachgewiesen werden. Diese Berechnungsmethode ermöglicht neben der Tragfähigkeit eines Anschlusses auch dessen Steifigkeit und Rotationskapazität zu bestimmen. Damit kann das Anschlussverhalten in der Tragwerksberechnung direkt berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann eine wirtschaftlich optimierte Konstruktion aus der Gesamtbetrachtung von Anschlüssen und Profilen erreicht werden.



Grundlage der Komponentenmethode ist die Betrachtung eines Anschlusses als das Zusammenwirken einzelner Grundkomponenten. Die möglichen Grundkomponenten eines Anschlusses sind in Tabelle 6.1 der DIN EN 1993-1-8 [1] mit dem jeweiligen Verweis auf das Berechnungsverfahren zusammengestellt.

Jede Grundkomponente besitzt eine charakteristische Beanspruchbarkeit und Steifigkeit infolge der Zug-, Druck- oder Schubbeanspruchung. Diese werden als Kraft-Verformungsbeziehungen dargestellt. Interaktionsbedingungen sind für den Stützensteg zu berücksichtigen, da dieser gleichzeitig durch Zug-, Druck- und Schubkräfte beansprucht wird.

Die Komponentenmethode bietet den großen Vorteil, dass die Grundkomponenten so aufeinander abgestimmt werden können, dass eine möglichst optimierte Anschlusskonstruktion erreicht werden kann.

Der nachfolgende Artikel behandelt zunächst die Grundlagen der Komponentenmethode. Dazu zählen die möglichen Berechnungsverfahren, die Klassifizierung der Anschlüsse sowie das statische Modell der Anschlüsse. In einem Folgeartikel werden die Kenngrößen der Anschlüsse mit H- oder I-Querschnitten vorgestellt, die Berechnung der wesentlichen Grundkomponenten von Träger-Stützenanschlüssen angegeben, sowie die Berechnung am statischen System (Rahmensystem, DLT, ...) unter Berücksichtigung der Anschlusscharakteristik näher erläutert.

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Bei der klassischen Ausführung werden die Anschlüsse so ausgebildet, dass sie in der statischen Berechnung als gelenkig oder starr angenommen werden können. Dabei kommen häufig standardisierte Anschlüsse (typisierte Verbindungen) zur Ausführung. Die biegesteifen Anschlüsse sind durch relativ dicke Stirnplatten und Aussteifungsrippen gekennzeichnet. Wie in Bild 1 dargestellt, werden bei unverschieblichen Rahmensystemen häufig gelenkige Stützen-Riegel Anschlüsse ausgeführt. Bei gelenkiger Ausführung nimmt der Anschluss selbst keine bzw. nur geringe Momente auf.

Aber bereits durch geringfügige Änderung des Anschlusses (Bild 2) kann eine höhere Momentenbeanspruchbarkeit erzeugt werden, die eine vorteilhaftere Montage durch Wegfall der Montageaussteifungen ermöglicht sowie eine günstigere Biegemomentenbeanspruchung des Riegels bewirkt und damit eine Verringerung der Materialkosten erlaubt.

Wie in Bild 2 erkennbar, hat die Anschlusscharakteristik Einfluss auf die Verteilung der Schnittgrößen im System. Nach 5.1.1(1) [1] ist deshalb die Auswirkung der Momenten-Rotations-Charakteristika der Anschlüsse auf die Verteilung der Schnittgrößen in einem Tragwerk und auf die Tragwerksverformungen in der Regel zu berücksichtigen. Sie darf unberücksichtigt bleiben, wenn die Auswirkungen vernachlässigbar klein sind. Umfangreiche Forschungsarbeiten zu Anschlüssen und deren Verformungs- und Tragverhalten führten zu einer erweiterten Anschlussberechnungsmethode für momententragfähige Anschlüsse nach EC 3-1-8, der Komponentenmethode. Mit der Einführung der Komponentenmethode, die in Kapitel 6 der DIN EN 1993-1-8 geregelt ist, sind nun auch verformbare Anschlüsse nachweisbar. Die Definition „verformbarer Anschluss“ nach DIN EN 1993-1-8 wird für einen Anschluss gewählt, der eine signifikante Momententragfähigkeit besitzt, die aber unter der der angeschlossenen Bauteile liegt. Damit ist der Anschluss nicht mehr als gelenkig einzustufen.

Gleichzeitig sind die Rotationen im Anschluss infolge der Momentenbeanspruchung so groß, dass der Anschluss nicht als starr klassifiziert werden kann. Die Anschlusscharakteristik liegt also zwischen den Grenzen von gelenkig und starr. Da die Rotationssteifigkeit des Anschlusses die Verteilung der Schnittgrößen im System beeinflusst, muss dieser Einfluss z. B. über eine Drehfeder im statischen System Berücksichtigung finden. Verschiebliche Rahmensysteme mit hoher Momentenbeanspruchbarkeit der Anschlüsse, die bisher mit starren Stützen-Riegel Anschlüssen (biegesteif, Bild 3) ausgeführt wurden, können z. B. durch Weglassen der kostenintensiven Aussteifungsrippen noch eine ausreichende Momentenbeanspruchbarkeit aufweisen (Bild 4). Die normgerechte Nachweisführung setzt neben dem Nachweis der Tragfähigkeit auch die Berücksichtigung der Anschlusssteifigkeit S_j voraus, um die Auswirkungen der Momenten-Rotationscharakteristik auf die Verteilung der Schnittgrößen im System zutreffend erfassen zu können.

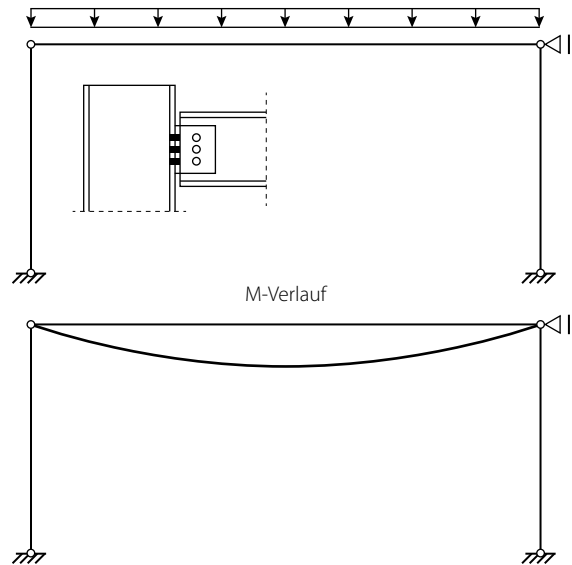


Bild 1. Gelenkiger Stützen-Riegel Anschluss

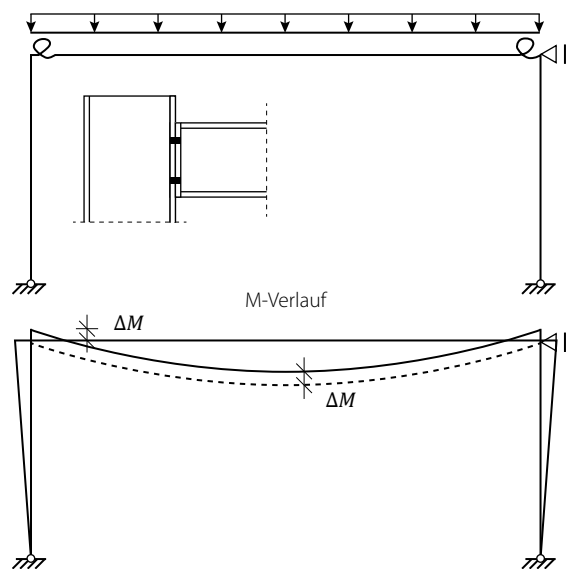


Bild 2. Verformbarer Stützen-Riegel Anschluss nach [3]

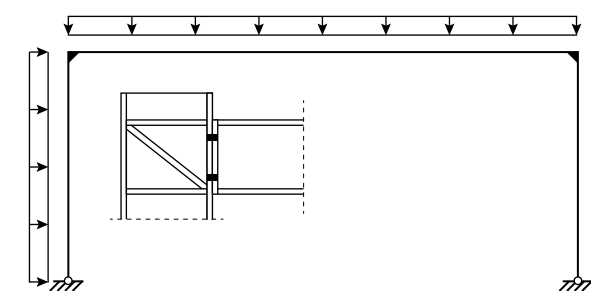


Bild 3. starrer Stützen-Riegel Anschluss

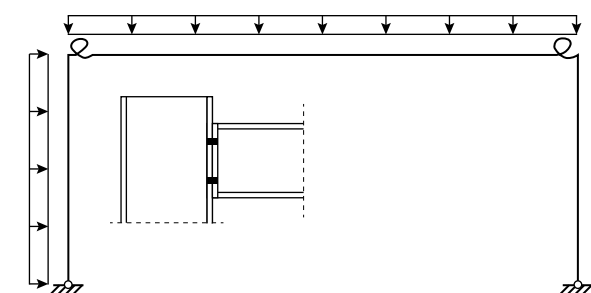


Bild 4. Verformbarer Stützen-Riegel Anschluss nach [3]

Anschaulich ist in Bild 5 die Momententragfähigkeit eines Rahmeneckanschlusses bei unterschiedlicher Aussteifung des Stützensteges dargestellt.

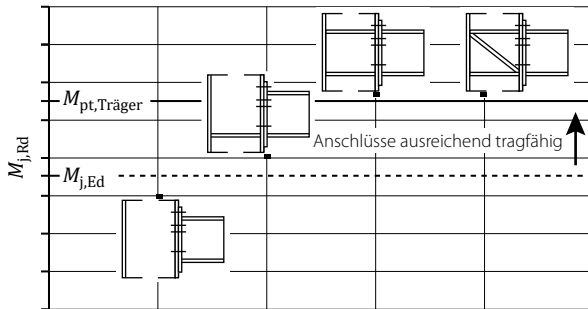
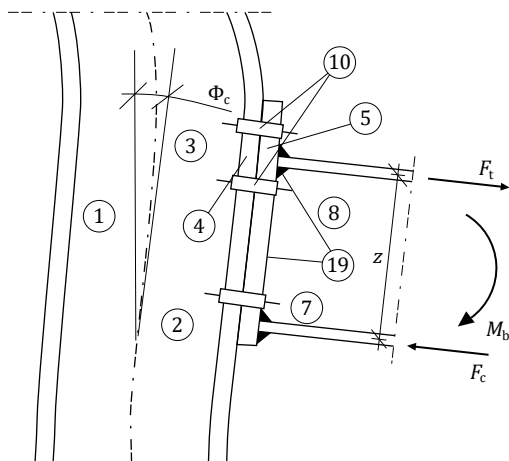


Bild 5. Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ mit unterschiedlicher Aussteifung des Stützensteges nach [3]

2 Grundprinzip der Komponentenmethode

Grundlage der Komponentenmethode ist die Betrachtung eines Anschlusses als Zusammenschluss einzelner Komponenten. Ein momententragfähiger Anschluss mit überstehender Stirnplatte nach Bild 6 enthält beispielhaft folgende Grundkomponenten:



- 1 Stützensteg auf Schub
- 2 Stützensteg auf Druck
- 3 Stützensteg auf Zug
- 4 Stützengurt auf Biegung
- 5 Stirnplatte auf Biegung
- 7 Trägergurt und Trägersteg auf Druck
- 8 Trägersteg auf Zug
- 10 Schrauben auf Zug
- 19 Schweißnähte

Bild 6. Grundkomponenten eines momententragfähigen Anschlusses mit überstehender Stirnplatte

Das Grundprinzip der Komponentenmethode lautet:

- Bestimmung der Grundkomponenten:
Zerlegen des Anschlusses in seine Grundkomponenten
- Analyse des Trag- und Verformungsverhaltens der Grundkomponenten
- Ableitung der Anschlusstragfähigkeit und Anschlusssteifigkeit unter Berücksichtigung der Gleichgewichts- und der Kraft-Verformungs-Bedingungen

Die Komponentenmethode basiert auf mechanischen Modellen, die experimentell überprüft wurden. Sie ermöglicht die Berechnung der Anschlusstragfähigkeit und der Anschlusssteifigkeit für allgemeine Anschlussgeometrien bei H- und I-Anschlüssen. Infolge der flexiblen Anwendung bei allgemeinen Anschlussgeometrien ermöglicht diese Methode eine wirtschaftliche Auslegung der Anschlusskonstruktion. Mit Hilfe der Komponentenmethode wird die Nachweisbarkeit von Anschlüssen deutlich erhöht (siehe Bild 7), indem nun neben den starren und gelenkigen Anschlüssen auch der große Bereich der verformbaren, momententragfähigen Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8 nachweisbar ist.

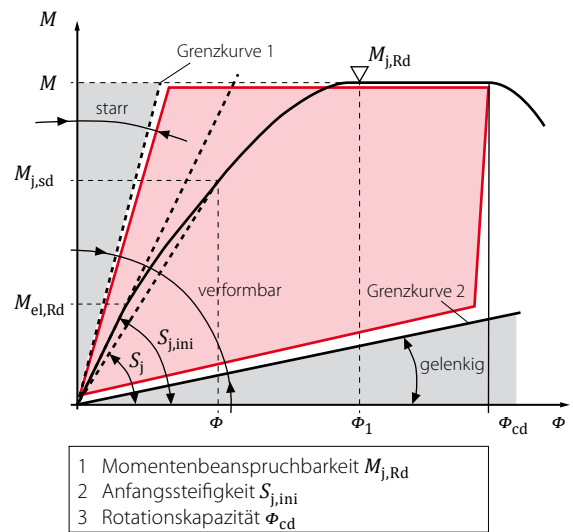


Bild 7. Grenzkurven der Anschlüsse nach [3]

3 Momententragfähige Anschlüsse im Tragwerk

Da die Rotationssteifigkeit des Anschlusses die Verteilung der Schnittgrößen beeinflusst, muss die Konzeption der Anschlüsse bereits zu Projektbeginn vom Tragwerksplaner berücksichtigt werden. Dem planenden Ingenieur obliegt dabei die Aufgabe das zutreffende Anschlussmodell infolge der Klassifizierung des Anschlusses und das dafür zutreffende Berechnungsverfahren zu bestimmen.

3.1 Klassifizierung von Anschlüssen

Die Klassifizierung eines Anschlusses erfolgt anhand der drei charakteristischen Kenngrößen:

- Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$
- Rotationssteifigkeit $S_{j,ini}$, S_j
- Rotationskapazität Φ_{cd}

Die Grundlage der Klassifizierung bildet die Momenten-Rotations-Kurve des Anschlusses (Bild 8), die die Verformung eines Anschlusses unter Momentenbeanspruchung als relative Verdrehung ϕ zwischen Stützen- und Trägerachse angibt. Diese Charakteristik eines Anschlusses ist im allgemeinen ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen dem einwirkenden Moment $M_{j,Ed}$ und der relativen Verdrehung Φ_{Ed} .

Zu Beginn stellt sich zunächst ein elastisches Verhalten ein, gefolgt von einem nichtlinearen Verlauf, der infolge von plastischen Verformungen einzelner Anschlusskomponenten entsteht. Beschrieben wird der Verlauf durch die Kenngrößen der Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ und der Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ (maximal vom Anschluss zu übertragendes Moment). Bei ausreichender Rotationskapazität Φ_{cd} (maximal mögliche Verdrehung vor Eintritt des Versagens \equiv Duktilität) wird mit dem Erreichen von $M_{j,Rd}$ für größere Verformungen ein Fließplateau angenommen.

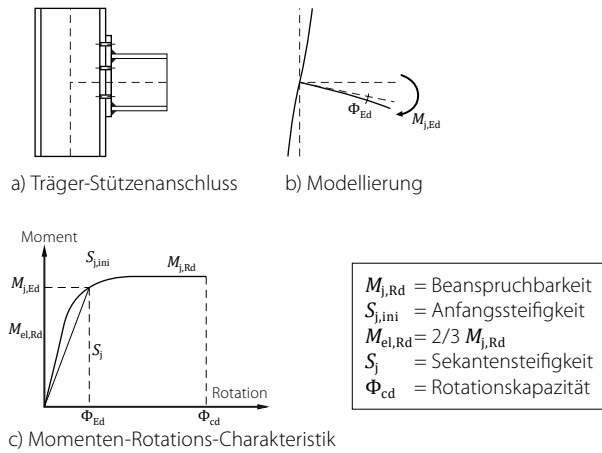


Bild 8. Momenten-Rotations-Charakteristik eines Anschlusses nach [1]

Sofern die Anschlusskenngrößen Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ und die Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ ermittelt sind, lässt sich der Anschluss klassifizieren. Mit Hilfe der Klassifizierung des Anschlusses kann dann bestimmt werden, ob die Anschlussverformungen bei der Berechnung des Tragwerks berücksichtigt werden müssen. Die Klassifizierung, d.h. die Einstufung der Anschlüsse in verschiedene Klassen, kann auf drei verschiedene Arten erfolgen:

- Klassifizierung nach der Tragfähigkeit
- Klassifizierung nach der Rotationssteifigkeit
- Klassifizierung nach der Rotationskapazität

3.1.1 Klassifizierung nach der Tragfähigkeit

Für die Klassifizierung nach der Tragfähigkeit wird die Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ mit der Tragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile verglichen (Bild 9).

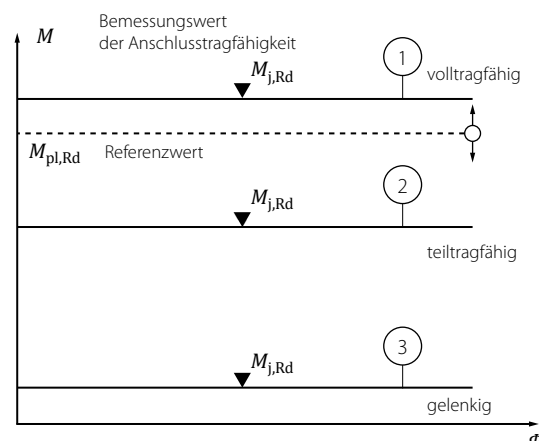


Bild 9. Klassifizierung nach der Tragfähigkeit

Hierbei werden drei Klassen unterschieden:

- **volltragfähig, starr:** d.h. die Tragfähigkeit des Anschlusses $M_{j,Rd}$ ist größer als die Tragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile. Bei einer plastischen Schnittgrößenermittlung bilden sich die plastischen Gelenke immer im Bauteil und nie im Anschluss aus (Aufgrund möglicher Materialüberfestigkeiten kann ggf. ein Nachweis der Duktilität erforderlich sein).
- **teiltragfähig:** d.h. die Tragfähigkeit des Anschlusses ist kleiner als die Tragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile, so dass die aufnehmbaren Schnittgrößen durch $M_{j,Rd}$ begrenzt werden und sich bei plastischer Tragwerksberechnung Fließgelenke im Anschluss bilden können. In diesem Fall ist eine ausreichende Rotationskapazität erforderlich.
- **gelenkig:** der Anschluss kann keine signifikanten Momente übertragen und lässt beliebige Rotationen zu. Als Grenzkriterium wird für gelenkige Anschlüsse eine Momententragfähigkeit von weniger als 25 % der plastischen Momententragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile definiert.

3.1.2 Klassifizierung nach der Steifigkeit

Bei der Klassifizierung nach der Rotationssteifigkeit wird der Anschluss aufgrund seiner elastischen Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ durch Vergleich mit Grenzwerten, die sich aus der Steifigkeit der angeschlossenen Träger ergeben, in drei Klassen (Bild 10) eingeteilt:

- gelenkig
- starr (biegesteif)
- verformbar (nachgiebig)

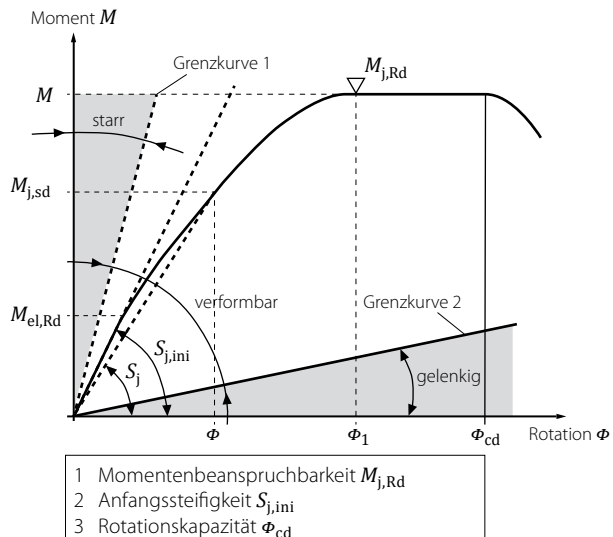
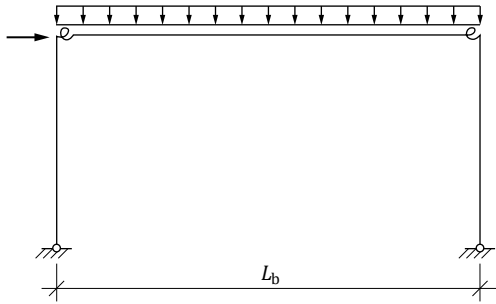


Bild 10. Klassifizierung nach der Rotationssteifigkeit

Bei dem Vergleich mit Grenzwerten ist zwischen ausgesteiften und nicht ausgesteiften Rahmentragwerken zu unterscheiden. Erfolgt die Einstufung des Anschlusses als starr, so sind die relativen Verformungen (Rotationen) unabhängig vom übertragenen Moment so klein, dass sie bei der Berechnung am Gesamtsystem vernachlässigt werden können. Bei verformbaren Anschlüssen haben die Rotationen Einfluss auf die Schnittgrößenverteilung in den Bauteilen und müssen bei der Modellierung des Tragwerks über Drehfedern

berücksichtigt werden. Für verformbare Anschlüsse ist in der Tragwerksberechnung bei Ausnutzung der elastischen Tragfähigkeit die elastische Steifigkeit $S_{j,ini}$, bei Ausnutzung der plastischen Tragfähigkeit $S_j = S_{j,ini}/\eta$ anzusetzen. Dabei darf vereinfachend $\eta = 3$ für einen Trägerstoß und $\eta = 2$ bei einem Träger-Stützenanschluss angenommen werden.

Im Folgenden sind zur Abgrenzung der verschiedenen Anschlussklassifizierungen die Grenzwerte nach der Rotationssteifigkeit angegeben.



Träger-Stützen-Anschlüsse bei verschieblichen Rahmen:

- gelenkiger Anschluss: $S_{j,ini} \leq 0,5 El_b / L_b$
- nachgiebiger Anschluss: $0,5 El_b / L_b < S_{j,ini} < 25 El_b / L_b$
- starrer Anschluss: $S_{j,ini} \geq 25 El_b / L_b$

Träger-Stützen-Anschlüsse bei unverschieblichen Rahmen:

- gelenkiger Anschluss: $S_{j,ini} \leq 0,5 El_b / L_b$
- nachgiebiger Anschluss: $0,5 El_b / L_b < S_{j,ini} < 8 El_b / L_b$
- starrer Anschluss: $S_{j,ini} \geq 8 El_b / L_b$

Trägerstöße:

- gelenkiger Anschluss: $S_{j,ini} \leq 0,5 El_b / L_b$
- nachgiebiger Anschluss: $0,5 El_b / L_b < S_{j,ini} < 25 El_b / L_b$
- starrer Anschluss: $S_{j,ini} \geq 25 El_b / L_b$

$S_{j,ini}$	Anfangssteifigkeit
E	Elastizitätsmodul
I_b	Trägheitsmoment des Trägers
L_b	Trägerlänge

Die Definition des starren Anschlusses ohne jegliche Verformung wird in DIN EN 1993-1-8 auf einen Bereich mit geringer Anschlussverformung erweitert. Durch beispielsweise die Wegnahme einer Steife im Anschluss kann der Anschluss verformbarer werden, aber unter Einhaltung der Steifigkeitsgrenzen noch als starr eingestuft werden. Dies bietet die Möglichkeit einer wirtschaftlicheren Auslegung der Anschlusskonstruktion.

Gelenkige Anschlüsse lassen Rotationen zwischen den angeschlossenen Bauteilen zu. Die übertragbaren Momente sind jedoch derart gering, dass das Verhalten des Gesamtsystems unter Annahme eines idealen Gelenkes abgebildet werden kann.

Alle Anschlüsse, die weder gelenkig noch starr sind, werden als verformbar klassifiziert.

Bild 11 zeigt beispielhaft die Anschlusssteifigkeit $S_{j,ini}$ einer Rahmeneckverbindung mit unterschiedlichen Aussteifungen des Stützensteiges nach [3].

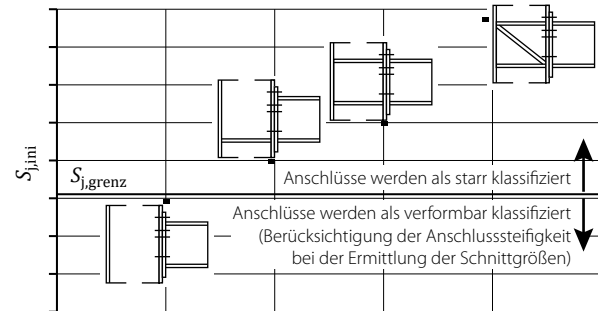


Bild 11. Anschlusssteifigkeit $S_{j,ini}$ bei unterschiedlicher Aussteifung des Stützensteiges einer Rahmeneckverbindung nach [3]

Die Auslegung einer Gesamtkonstruktion mit verformbaren Anschlüssen ist ein iterativer Prozess.

3.1.3 Klassifizierung nach der Rotationskapazität

Die Rotationskapazität – die maximal im Anschluss mögliche Rotation vor dem Versagen – ist neben der Rotationssteifigkeit eine wesentliche Kenngröße um einen Anschluss zu charakterisieren. Die Klassifizierung erfolgt über die Klassen 1, 2 und 3, die in Bild 12 dargestellt sind.

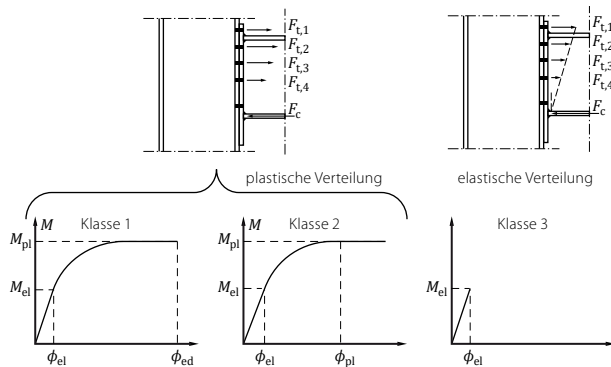


Bild 12. Anschlussklassifizierung nach der Rotationskapazität nach [3]

Analog zur Querschnittsklassifizierung nach DIN EN 1993-1-1 wird eine Klassifizierung der Anschlüsse nach DIN EN 1993-1-8 durchgeführt. Für die Ermittlung der Schraubenkräfte ist die Rotationskapazität je nach Klasse entweder elastisch (Klasse 3) oder plastisch (Klasse 1 und 2) zu berücksichtigen.

Die plastische Beanspruchbarkeit erreichen Anschlüsse der Klasse 1. Ohne Verlust der plastischen Beanspruchbarkeit können die Klasse 1 Anschlüsse ein plastisches Gelenk ausbilden. Sie besitzen eine ausreichend große Rotationskapazität um plastische Umlagerungen der Schnittgrößen im System zu ermöglichen. Anschlüsse der Klasse 2 verfügen nicht mehr über eine ausreichende Rotationskapazität, so dass für diese Anschlüsse keine Schnittgrößenumlagerungen möglich sind. Gleichwohl erreichen die Anschlüsse die plastische Beanspruchbarkeit. Aufgrund beschränkter Verformbarkeit ist nach Erreichen der Beanspruchbarkeit keine nennenswerte Rotation des Anschlusses möglich.

Bei Anschlüssen der Klasse 3 darf lediglich die elastische Momenten Tragfähigkeit berücksichtigt werden. Verformungsarme Komponenten wie Schweißnähte oder Schrauben bestimmen hier die Beanspruchbarkeit des Anschlusses.

Bei der Konzeption der Anschlüsse ist ein duktilen Verhalten gemäß Klasse 1 oder 2 wünschenswert. Durch ausreichende Dimensionierung der Schweißnähte oder durch die Wahl größerer Schraubendurchmesser kann der planende Ingenieur darauf Einfluss nehmen.

3.2 Modellierung von Anschlüssen

Bei einer Tragwerksberechnung müssen die Anschlusskenngrößen (Trägfähigkeit, Rotationssteifigkeit und Rotationskapazität) abhängig von der Klassifizierung berücksichtigt werden. Die Art der Tragwerksberechnung entscheidet darüber, welche Anschlusskenngröße zur Klassifizierung benutzt werden muss. Eine Übersicht über die anzuwendende Klassifizierungsmethode und die entsprechende Modellierung der Anschlüsse zeigt Tabelle 1.

Berechnungsverfahren	Klassifizierung der Anschlüsse nach	Klassifizierung der Anschlüsse		
		gelenkig	starr	verformbar
elastisch	Steifigkeit	gelenkig	starr	verformbar
starr-plastisch	Beanspruchbarkeit	gelenkig	volltragfähig	teiltragfähig
elastisch-plastisch	Steifigkeit + Beanspruchbarkeit	gelenkig	biegesteif = starr + volltragfähig	nachgiebig = verformbar + volltragfähig
			starr + teiltragfähig	verformbar + teiltragfähig
Anschlussmodell für die Tragwerksplanung		 M = 0 und $\phi \neq 0$	 M ≠ 0 und $\phi = 0$	 M ≠ 0 und $\phi \neq 0$

Tabelle 1. Anschlussmodelle und Klassifizierung der Anschlüsse für die Tragwerksberechnung nach [3]

3.2.1 Elastische Tragwerksberechnung

Da die Schnittgrößenverteilung im Gesamtsystem nur von der Steifigkeit der einzelnen Bauteile abhängt, ist die Klassifizierung der Anschlüsse nach der Rotationssteifigkeit durchzuführen. Je nach Rotationssteifigkeit des Anschlusses ist entweder ein Gelenk, ein biegesteifer Anschluss oder bei einem verformbaren Anschluss eine Drehfeder im statischen System anzusetzen. Die Anschlüsse müssen nur die auf sie einwirkenden Schnittgrößen übertragen können, da keine plastischen Systemreserven ausgenutzt werden.

Bei verformbaren Anschlüssen ist die elastische Anfangssteifigkeit $S_{j,ini}$ als signifikante Größe in der Tragwerksberechnung anzusetzen, wenn das einwirkende Biegemoment $M_{j,Ed}$ im Anschluss kleiner als $2/3 M_{j,Rd}$ ist. Für Biegemomente $M_{j,Ed} > 2/3 M_{j,Rd}$ muss die Rotationssteifigkeit aufgrund der nichtlinearen Momenten-Rotationscharakteristik (vgl. Bild 8) abgemindert werden. Im nichtlinearen Bereich der Momenten-Rotationscharakteristik ist die Berechnung iterativ durchzuführen, sofern nicht die vereinfachte Berechnung nach 5.1.1(4) durchgeführt wird.

Nach 5.1.1(4) [1] darf die Momenten-Rotations-Charakteristik des Anschlusses für die Berechnung durch vereinfachte Kurvenverläufe gemäß Bild 13 angenähert werden. Die einfachen linearen Abschätzungen dürfen angewendet werden, wenn der angenommene Kurvenverlauf vollständig unterhalb der tatsächlichen Momenten-Rotations-Charakteristik liegt.

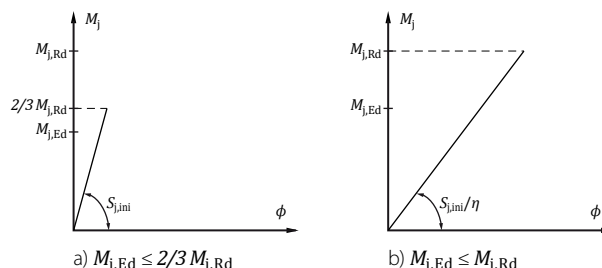


Bild 13. Rotationssteifigkeiten im elastischen (a) und im plastischen Bereich (b vereinfacht)

3.2.2 Starr-plastische Tragwerksberechnung

Die Schnittgrößenverteilung im Gesamtsystem ist nur von der Trägfähigkeit der einzelnen Bauteile abhängig. Die Klassifizierung der Anschlüsse ist deshalb nach der Trägfähigkeit durchzuführen. Die Anschlüsse müssen eine ausreichende Rotationskapazität für die plastisch-plastische Berechnung besitzen.

Bei volltragfähigen, starren Anschlüssen wird eine biegesteife Kopplung der anschließenden Bauteile angenommen. Sie haben keinen Einfluss auf die Schnittgrößenverteilung, da sich das plastische Gelenk im anschließenden Bauteil ausbildet. Im Vergleich dazu bildet sich bei teiltragfähigen Anschlüssen das plastische Gelenk im Anschluss. Aus diesem Grund muss dieser eine entsprechende Rotationskapazität aufweisen.

3.2.3 Elastisch-plastische Tragwerksberechnung

Bei einer elastisch-plastischen Tragwerksberechnung sind die Anschlüsse sowohl nach der Rotationssteifigkeit als auch nach der Beanspruchbarkeit zu klassifizieren. Die genaue Momenten-Rotations-Charakteristik ist in der Tragwerksberechnung zu berücksichtigen.

Vereinfachend darf nach 5.1.4(5) eine bilineare Momenten-Rotations-Charakteristik nach Bild 14 angenommen werden. Der Anpassungswert η für die Steifigkeit ist für ein geschraubtes Stirnblech in einem Träger-Stützenanschluss mit $\eta = 2$ anzusetzen. Weitere Anpassungswerte für sonstige Anschlussausbildungen sind in Tabelle 5.2 [1] der DIN EN 1993-1-8 angegeben.

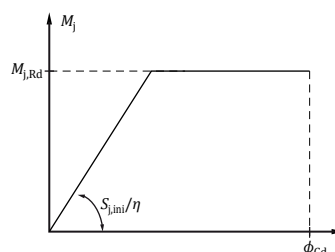


Bild 14. Vereinfachte bilineare Momenten-Rotations-Charakteristik

3.3 Statisches Modell für Träger-Stützenanschlüsse

Anschlüsse sind für die durch die angeschlossenen Bauteile eingetragenen Schnittgrößen (Momente: $M_{b1,Ed}$ und $M_{b2,Ed}$, Querkräfte: $V_{b1,Ed}$ und $V_{b2,Ed}$, Normalkräfte: $N_{b1,Ed}$ und $N_{b2,Ed}$) zu bemessen. Dabei sind bei der Modellbildung für das Verformungsverhalten eines Träger-Stützenanschlusses die Schubverformungen des Stützenstegfeldes und die Rotationsverformungen der Verbindungen zu berücksichtigen.

In Bild 15 sind die Schnittgrößen, die auf den Anschluss einwirken mit den positiven Richtungen dargestellt. Während in Bild 15a) die Werte am Anschnitt des Stegfeldes angegeben sind, stellt Bild 15b) die Werte am Knotenpunkt der Schwerachsen dar.

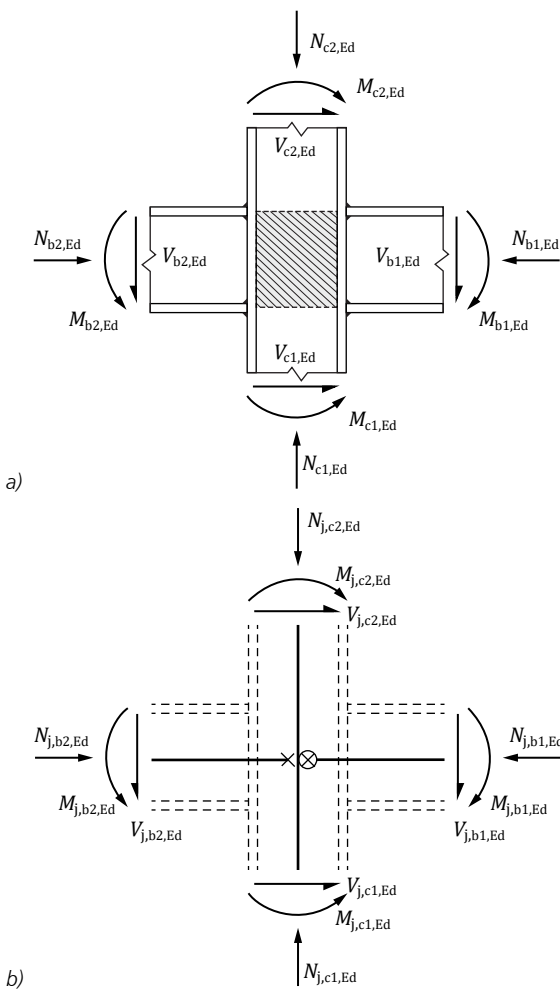


Bild 15. Auf den Anschluss wirkende Schnittgrößen

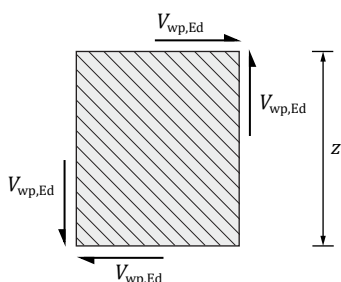


Bild 16. Schubkräfte am Stützenstegfeld

Die resultierende Schubkraft $V_{wp,Ed}$ in dem Schubfeld folgt nach Bild 16 aus Gleichgewichtsbedingungen zu:

$$V_{wp,Ed} = \frac{M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}}{z} - \frac{V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}}{2}$$

Dabei entspricht der Wert z dem Hebelarm.

Um eine möglichst wirklichkeitsnahe Berechnung des Verhaltens des Anschlusses zu erhalten, sollten das Stützenstegfeld und die einzelnen Verbindungen (Bild 17) unter Berücksichtigung der Schnittgrößen der Bauteile am Anschnitt des Stützenstegfeldes getrennt modelliert werden (Bilder 16 und 17).

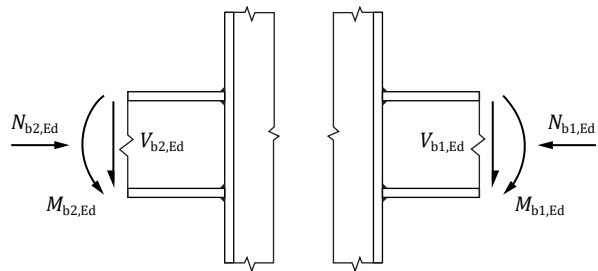


Bild 17. Verbindungen mit den Schnittgrößen der angeschlossenen Träger

DIN EN 1993-1-8 ermöglicht auch vereinfachend die Modellierung von einseitigen Anschlüssen in Form punktförmiger Rotationsfedern am Schnittpunkt der Systemlinien. Ebenfalls können vereinfachend zweiseitige Anschlüsse in Form von zwei getrennten, punktförmigen interagierenden Einzelanschlüssen in den Schwerachsen modelliert werden (Bild 18).

Bei einem zweiseitigen Träger-Stützenanschluss sollte jeder dieser Einzelanschlüsse durch eine eigene Rotationsfeder modelliert werden. Die jeweilige Momenten-Rotations-Charakteristik des Einzelanschlusses muss sowohl das Verhalten des Stützenstegfeldes als auch der jeweiligen Verbindung berücksichtigen.

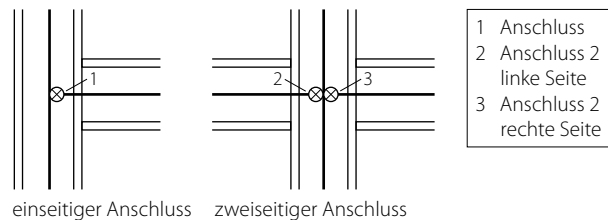


Bild 18. Vereinfachte statische Modelle für Anschlüsse

Die Berücksichtigung beider Einflüsse erfolgt über den Übertragungsparameter β , der in Tabelle 5.4 der DIN EN 1993-1-8 als Näherungswert angegeben ist. Dabei ist:

- β_1 der Übertragungsparameter β für den rechten Anschluss
- β_2 der Übertragungsparameter β für den linken Anschluss

Ausführung der Anschlüsse	Einwirkung	Wert β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta \approx 0^a$
	$M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed}/M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$

^a In diesem Falle ist β der genaue Wert

Tabelle 2. Näherungswerte für den Übertragungsparameter β

Genauere Werte können mit den Momenten $M_{j,b1,Ed}$ und $M_{j,b2,Ed}$ am Schnittpunkt der Systemlinien ermittelt werden.

$$\beta_1 = \left| 1 - \frac{M_{j,b2,Ed}}{M_{j,b1,Ed}} \right| \leq 2.0$$

$$\beta_2 = \left| 1 - \frac{M_{j,b1,Ed}}{M_{j,b2,Ed}} \right| \leq 2.0$$

Dabei ist:

$M_{j,b1,Ed}$ das Moment am Schnittpunkt des rechten Trägers

$M_{j,b2,Ed}$ das Moment am Schnittpunkt des linken Trägers

4 Komponentenmethode nach DIN EN 1993-1-8

4.1 Prinzipieller Berechnungsablauf

Auf den genauen Berechnungsablauf zur Komponentenmethode wird im Teil 2 des Artikels näher eingegangen. Deshalb werden hier zum Berechnungsablauf nur einige kurze Anmerkungen gemacht.

Nach Zerlegung des Anschlusses entsprechend der Komponentenmethode in seine Grundkomponenten, werden für jede Komponente die Beanspruchbarkeit und die Steifigkeit ermittelt. Über Federmodelle (Bild 19) wird dann der Kraftfluss in einem Anschluss ermittelt und dessen Tragfähigkeit und Steifigkeit berechnet.

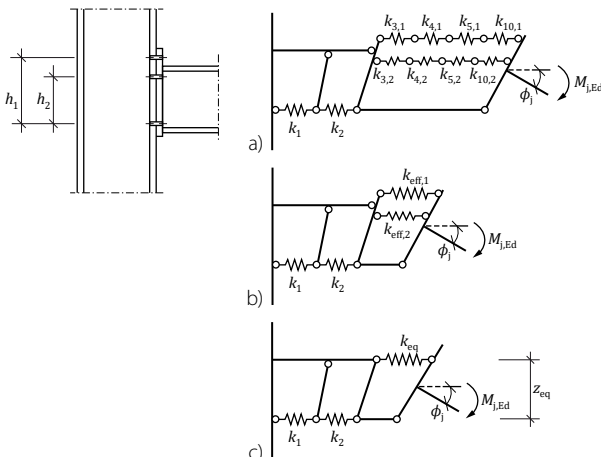


Bild 19. Federmodelle eines geschraubten momententragfähigen Stützen-Riegel Anschlusses nach [1]

Die Momententragfähigkeit $M_{j,Rd}$ sowie die Steifigkeit S_j eines momententragfähigen Träger-Stützenanschlusses mit überstehender oder bündiger Stirnplatte hängt damit von den Beanspruchungen, Tragfähigkeiten und Steifigkeiten der einzelnen im Anschluss vorhandenen Komponenten ab.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Im ersten Teil des Artikels zur Berechnung von momententragfähigen Anschlüssen nach DIN EN 1993-1-8 wurden die wesentlichen Grundlagen zur Komponentenmethode angegeben. Durch die erweiterte Berechnungsmöglichkeit für verformbare Anschlüsse ist nach DIN EN 1993-1-8 die Nachweisbarkeit der Anschlüsse wesentlich erweitert worden. Mittels der Komponentenmethode können die Anschlüsse durch Modifikation einzelner Grundkomponenten gezielt an die Anforderungen des Tragwerks angepasst werden. Die Komponentenmethode ermöglicht damit die Nachweisführung wirtschaftlicher Anschlusskonstruktionen.

In der Fortführung des Artikels werden die einzelnen Grundkomponenten der Anschlüsse vorgestellt, deren Beanspruchbarkeit und Rotationsverhalten erläutert und die Berechnung des Gesamtsystems (verschiebliche Rahmenkonstruktion) unter Berücksichtigung der Momenten-Rotations-Charakteristik durchgeführt.

Dr.-Ing. Joachim Kretz
mb AEC Software GmbH
mb-news@mbaec.de

Normen und Literatur

- [1] DIN EN 1993-1-8:2010-12, Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009
- [2] DIN EN 1993-1-8/NA:2010-12, Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter. Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen
- [3] Ungermann, D.; Puthli, R.; Ummenhofer, T.; Weyand, K.: Eurocode 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Band 2: Anschlüsse; DIN EN 1993-1-8 mit Nationalem Anhang Kommentar und Beispiele. Bauforumstahl e. V., Düsseldorf, August 2015.
- [4] Ungermann, D.; Schneider, S.: Momententragfähige Verbindungen nach DIN EN 1993-1-8 (EC3-1-3). In „Dresdener Stahlbaufachtagung“, März 2014.
- [5] Wagenknecht, G.: Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3, Band 3 Komponentenmethode, 2. akt. Auflage, Beuth Verlag GmbH, März 2017.
- [6] Ungermann, D.; Weyand, K.; Jaspert, J.-P.; Schmidt, B.: Momententragfähige Anschlüsse mit und ohne Steifen. In „Stahlbau Kalender 2005, Ernst & Sohn, Berlin 2005.
- [7] Kuhlmann, U.; Günther, H.-P.; Zizza, A.: Stahlbaunormen, Weiterentwicklung des Eurocodes 3, In „Deutscher Stahlbautag 2012“ Aachen, Oktober 2012.