

M-N-Interaktion bei nachgiebigen Verbindungen für Eurocode 3

T 2980

T 2980

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2002, ISBN 3-8167-6483-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail info@irb.fhg.de

URL <http://www.IRBbuch.de>



Abschlußbericht
zur
„M-N-Interaktion bei nachgiebigen Verbindungen für
Eurocode 3”

Aktenzeichen: P 32-5-16.106-984/01

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. H. Pasternak

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. A. Schwarzlos

Februar 2002

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung – Sinn und Zweck des Projektes, Zielstellung	1.1
1.1	Gliederung des Projektes	1.2
2	Ausgewählte Verbindungen	2.1
2.1	Schweißverbindungen	2.1
2.2	Geschraubte Riegel-Riegel-Verbindungen	2.1
2.3	Geschraubte Riegel-Stützen-Verbindungen	2.2
3	FE-Modellierung	3.1
3.1	Elemente	3.1
3.1.1	Schalenelemente	3.1
3.1.2	Balkenelemente (beam)	3.2
3.1.3	Balkenelemente (truss)	3.3
3.2	Lagerung und Belastung	3.3
3.3	Material	3.4
3.4	Schnittgrößendefinition	3.6
4	Zur Auswertung und Entwicklung der Interaktionskurven	4.1
5	Vorschläge zur Berechnung der Tragfähigkeiten bei alleiniger Zug- oder Druckbelastung sowie zur Berechnung der Interaktion	5.1
5.1	Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbelastung	5.1
5.1.1	Geschraubte Verbindungen	5.1
5.1.1.1	Riegel-Riegel-Verbindungen	5.1
5.1.1.2	Riegel-Stützen-Verbindungen	5.3
5.1.2	Geschweißte Verbindungen	5.6
5.2	Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbelastung	5.6
5.2.1	Geschraubte Verbindungen	5.7
5.2.1.1	Riegel-Riegel-Verbindungen	5.7
5.2.1.2	Riegel-Stützen-Verbindungen	5.9
5.2.2	Geschweißte Verbindungen	5.10
5.3	Vorschlag zur Berechnung der Interaktion zwischen Momenten- und Normalkraftbelastung	5.11

6	Vergleich der Ergebnisse aus FE-Berechnung, Berechnung nach EC3 und Bemessungsvorschlag	6.1
6.1	Vergleich bei Momentenbeanspruchung	6.1
6.2	Vergleich bei alleiniger Zugbeanspruchung	6.2
6.3	Vergleich bei alleiniger Druckbeanspruchung	6.2
6.4	Vergleich der Interaktion	6.3
7	Bewertung und Einschätzung der Ergebnisse, Zusammenfassung	7.1
7.1	Bewertung und Einschätzung der Ergebnisse	7.1
7.2	Zu „MNCon“	7.1
7.3	Zusammenfassung	7.2
	Literatur	
	Anhang A	
	A.1 Schweißverbindungen	A-1
	A.2 Geschraubte Riegel-Riegel-Verbindungen	A-2
	A.3 Geschraubte Riegel-Stützen-Verbindungen	A-5
	Anhang B	
	B.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbeanspruchung an einer Riegel-Riegel-Verbindung	B-1
	Anhang C	
	C.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbeanspruchung an einer Riegel-Riegel-Verbindung	C-1
	Anhang D	
	D.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbeanspruchung an einer Riegel-Stützen-Verbindung	D-1
	Anhang E	
	E.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbeanspruchung an einer Riegel-Stützen-Verbindung	E-1
	Anhang F	
	F.1 Diagramme zum Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Berechnungen	F-1

1 Einführung – Sinn und Zweck des Projektes, Zielstellung

Im Eurocode 3, Teil 1.1 /1/ und Revised Annex J /2/ (oder neu Eurocode 3, 1.8) sind Regeln zur Bemessung von Verbindungen, sowie zur Berechnung der Rotationssteifigkeit und auch der Rotationskapazität enthalten. Diese Regeln sind gleichermaßen für geschraubte als auch geschweißte Verbindungen anwendbar. Durch die Berechenbarkeit der Rotationssteifigkeit der Verbindungen über das als Grundlage verwendete Komponentenmodell können die Verbindungen hinsichtlich der Steifigkeit in 3 Gruppen eingeteilt werden. Es wird entsprechend einer bestimmten Vergleichssteifigkeit, welche abhängig vom System ist, unterschieden in

- Gelenkige Verbindungen
- Nachgiebige Verbindungen
- Biegesteife Verbindungen.

Hinsichtlich der Tragfähigkeit der Verbindung, welche durch die Anwendung der Norm auf vor allem auf die Momententragfähigkeit beschränkt ist, kann die Verbindung im Vergleich zur kleineren Tragfähigkeit der angeschlossenen Bauteile ebenfalls in 3 Gruppen eingeordnet werden:

- Gelenkige Verbindungen
- Teiltragfähige Verbindungen
- Volltragfähige Verbindungen.

Die Berechnung der Verbindung und die entsprechende Einordnung ist bei Anwendung des EC3 allerdings in verschiedener Hinsicht begrenzt bzw. beschränkt. Innerhalb dieses Projektes wird dabei vor allem die Beschränkung der maximal auftretenden Normalkraft untersucht. In EC3 wird dazu bisher festgelegt, dass die Momententragfähigkeit der Verbindung bis zu einer Axialkraft N , welche maximal 10% der Beanspruchbarkeit des angeschlossenen Riegels entspricht, berechnet werden kann bzw. darf. Im Geschossbau kann diese Festlegung eingehalten werden, da auftretende Horizontalkräfte im allgemeinen durch aussteifende Elemente (Scheiben, Treppenhauskerne) aufgenommen und abgetragen werden. Im Hallenbau jedoch treten deutlich größere Normalkräfte auf. Hier können die Normalkräfte also nicht mehr vernachlässigt werden. Es muss daher eine geeignete Interaktion zwischen der Momententragfähigkeit und der Normalkrafttragfähigkeit (Druck- und Zugkraft) stattfinden. In der Norm sind bisher dafür keine Regeln enthalten.

Dieses Projekt beschäftigt sich somit mit der Interaktion der Schnittgrößen Biegemoment und Normalkraft bei Verbindungen. Das Ziel des Projektes ist die Aufstellung allgemeiner Interaktionsregeln sowie Regeln zur Berechnung der Tragfähigkeit der Verbindung bei

alleiniger Druck- bzw. Zugbeanspruchung. Dabei werden für ausgewählte Verbindungen durch FE-Berechnungen Interaktionsdiagramme aufgestellt, aus denen allgemein gültige Regeln bzw. Gleichungen abgeleitet werden.

Zur Vereinfachung wird die Beanspruchung durch die Querkraft, welche mit dem entsprechenden Hebelarm ebenfalls ein Moment hervorruft, mit der Momentenbeanspruchung zusammengefasst.

Der Nachweis der Verbindungsmittel (Schweißnaht und Schrauben) unter der Beanspruchung durch die Wirkung der Querkraft darf trotzdem nicht vernachlässigt werden. Im Projekt jedoch wurde darauf verzichtet, da die Verbindungskonfigurationen auf verschiedenen Quellenangaben basieren. Es wurde daher davon ausgegangen, dass der Nachweis entsprechend erfüllt ist.

1.1 Gliederung des Projektes

Die ausgewählten Verbindungen werden in Kapitel 2 und Anhang A ausführlich vorgestellt. Es wird eine Einteilung hinsichtlich der Konfiguration, der Tragfähigkeit sowie der Steifigkeit vorgenommen. Die genauen Abmessungen der Verbindungen enthält der Anhang A.

Das Kapitel 3 beschäftigt sich mit der FE-Modellierung dieser Verbindungen. Dabei wird auf die genutzten Elemente und verwendeten Bedingungen eingegangen. Die Ergebnisse der finiten Elemente Berechnungen werden mit entsprechenden Versuchsergebnissen kalibriert.

Die Aufbereitung der Ergebnisse aus den FE-Berechnungen und die Entwicklung der Interaktionskurven wird in Kapitel 4 erläutert. Es wird dabei das Vorgehen innerhalb des Projektes detailliert beschrieben.

Das Kapitel 5 sowie die Anhänge B-E bereiten Vorschläge zur Berechnung der Interaktionskurve sowie zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Verbindung bei alleiniger Zug- bzw. Druckbeanspruchung durch die Axialkraft. Als Grundlage wird hierbei das Komponentenmodell genutzt.

Die Auswertung und ein Vergleich der Ergebnisse aus der FE-Berechnung, der Berechnung nach EC3 sowie der eigenen Vorschläge wird im Kapitel 6 vorgenommen. Abschließend soll im Kapitel 7 eine Einschätzung und Bewertung der Ergebnisse geschehen.

2 Ausgewählte Verbindungen

Innerhalb der Projektarbeit wurden 18 Verbindungen für die Untersuchungen ausgewählt. Diese Verbindungen wurden hinsichtlich ihrer Gestaltung, der Momententragfähigkeit (berechnet nach EC3, Annex J) und der Rotationssteifigkeit eingeteilt.

Im Anhang A sind die gewählten Verbindungen dargestellt und die Abmessungen entsprechend tabellarisch aufbereitet. Teilweise wurden Verbindungskonfigurationen mit Angaben zur Tragfähigkeit und Steifigkeit aus anderen Literaturquellen genutzt. Die Quellen /3/, /4/, /5/, /6/ sind den Verbindungen entsprechend zugeordnet.

2.1 Schweißverbindungen

Da der Anwendungsbereich der Norm sowohl geschraubte als auch geschweißte Verbindungen umfasst, wurden innerhalb des Projektes ebenfalls 2 Schweißverbindungen betrachtet und untersucht. Die beiden Verbindungen unterscheiden sich durch die Wahl der Querschnitte und hinsichtlich der Aussteifung. Beide Schweißverbindungen sind als Riegel-Stützen-Verbindungen ausgeführt.

Es wurde eine geschweißte Verbindung aus Profilen, welche der Querschnittsklasse 1 zugeordnet werden können, konfiguriert. Diese Verbindung wurde nicht ausgesteift. Die zweite geschweißte Verbindung hingegen besteht aus Profilen der Querschnittsklasse 4. Um lokales Stabilitätsversagen der Querschnitte (Beulen unter Druck- oder Schubbeanspruchung) möglichst ausschließen können, wurde der Stützensteg durch eine Steife im Druckbereich ausgesteift.

Verbindung	Querschnitt	Tragfähigkeit	Steifigkeit
Schweiss-schlank	Schlank	Teiltragfähig	Biegesteif/Nachgiebig*
Schweiss-kompakt	Kompakt	Teiltragfähig	Biegesteif/Nachgiebig*

Tabelle 2-1 Schweißverbindungen

2.2 Geschraubte Riegel-Riegel-Verbindungen

10 der gewählten Verbindungen sind Riegel-Riegelverbindungen. Bei der Auswahl der einzelnen Verbindungskomponenten wurde darauf Wert gelegt, möglichst viele verschiedene Kombinationen von Tragfähigkeit und Steifigkeit zu erhalten. Es wird wie bei den Schweißverbindungen zusätzlich unterschieden in kompakte und schlanke Querschnitte.

* je nach Spannweite des Rahmens und Verschieblichkeit des Systems

Verbindung	Querschnitt	Tragfähigkeit	Steifigkeit
RR-1	Kompakt	Teiltragfähig	Biegesteif
RR-2	Schlank	Teiltragfähig	Biegesteif
RR-3	Kompakt	Teiltragfähig	Biegesteif
RR-4	Schlank	Volltragfähig	Biegesteif
RR-5	Kompakt	Teiltragfähig	Nachgiebig
RR-6	Kompakt	Teiltragfähig	Biegesteif
RR-7	Kompakt	Gelenkig	Nachgiebig
RR-8	Kompakt	Volltragfähig	Biegesteif
RR-9	Schlank	Gelenkig	Biegesteif
RR-10	Schlank	Teiltragfähig	Biegesteif

Tabelle 2-2 Riegel-Riegel-Verbindungen

Bei den Verbindungen mit kompakten Querschnitten handelt es sich um unausgesteifte Verbindungen. Bei Verwendung von schlanken Querschnitten wird die Verbindung entweder durch hinterlegte Bleche (backing plates) im Zugbereich der Verbindung oder durch Zwickel bei überstehenden Kopfplatten ausgesteift.

2.3 Geschraubte Riegel-Stützen-Verbindungen

Bei der Konfiguration Riegel-Stütze wurden 6 verschiedene Verbindungen untersucht. Wie bei den restlichen geschraubten Verbindungen wurden möglichst verschiedene Kombinationen hinsichtlich Tragfähigkeit und Steifigkeit angestrebt.

Verbindung	Querschnitt	Tragfähigkeit	Steifigkeit
RS-1	Kompakt	Gelenkig	Biegesteif
RS-2	Kompakt	Teiltragfähig	Nachgiebig
RS-3	Kompakt	Teiltragfähig	Biegesteif
RS-4	Schlank	Teiltragfähig	Nachgiebig
RS-5	Schlank	Teiltragfähig	Biegesteif/Nachgiebig*
RS-6	Schlank	Teiltragfähig	Biegesteif/Nachgiebig*

Tabelle 2-3 Riegel-Stützen-Verbindungen

Die Verbindungen mit kompakten Querschnitten sind wiederum unausgesteifte Verbindungen. Bei den Verbindungen mit schlanken Querschnitten wurde stets eine Steife im Druckbereich des Stützensteiges angeordnet. 2 weitere Steifen zwischen den Schraubenreihen sind bei 2 der Verbindungen mit schlanken Querschnitten zusätzlich angeordnet, um ein Gruppenversagen aller Schraubenreihen ausschließen zu können.

* je nach Spannweite des Rahmens und Verschieblichkeit des Systems

3 FE-Modellierung

Das Problem der gegenseitigen Beeinflussung der Schnittgrößen Biegemoment und Normalkraft wurde bei der Bearbeitung eines vorhergehenden Projektes ersichtlich /4/. Bei dieser abgeschlossenen Projektarbeit wurden ebenfalls geschraubte Verbindungen untersucht. Die Modellierung wurde daher weitestgehend übernommen. Bei der Erstellung der FE-Modelle für die verschiedenen ausgewählten Verbindungen waren möglichst einfache Finite-Elemente-Modelle unter Einbeziehung der Gesichtspunkte Genauigkeit der Ergebnisse, Speicherplatz, Rechenzeit und die Modellierung selbst, das Ziel.

Alle Modelle benutzen das gleiche Koordinatensystem.

3.1 Elemente

3.1.1 Schalenelemente

Schalenelemente wurden für alle Komponenten mit flächiger Ausdehnung, wie Kopfplatten, Stege und Flansche, verwendet. Die hier verwendeten Elemente S4R sind finite Elemente mit 4 Knoten und haben somit eine lineare Ansatzfunktion. S4R-Elemente sind allgemein verwendbare 3D-Elemente. Die Elemente sind als „dicke“ Schalenelemente definiert. Dies bedeutet, dass der Schub im Element berücksichtigt wird.

Die Abbildungen 3-1 und 3-2 zeigen in unterschiedlichen Darstellungsformen die Anwendung der Schalenelemente bei der Modellierung der Verbindungen.

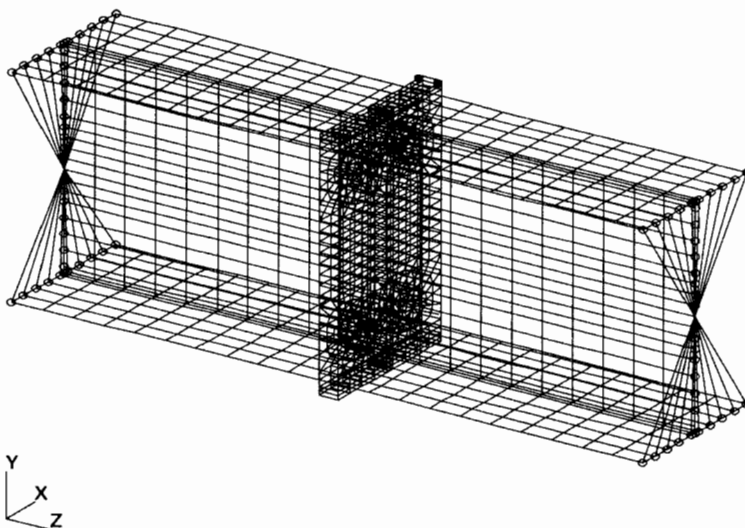


Abbildung 3-1 Modell einer Riegel-Riegel-Verbindung (Darstellung: wireframe)

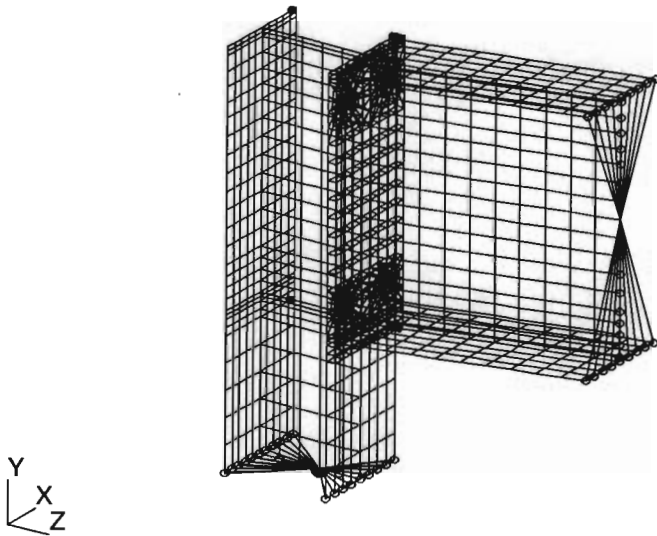


Abbildung 3-2 Modell einer Riegel-Stützen-Verbindung (Darstellung: hidden line)

3.1.2 Balkenelemente (beam)

Die Schrauben wurden der Einfachheit halber durch Beamelemente modelliert. Es wurden B32-Elemente verwendet. Diese Elemente besitzen 3 Knoten (und 6 Freiheitsgrade) und beruhen daher auf einer quadratischen Ansatzfunktion.

Diese einfache Modellierung der Schrauben wurde einerseits vor allem aufgrund der schnellen und einfachen Modellierung, andererseits wegen der Rechenzeit gewählt. In vorangegangenen Arbeiten wurde kein Unterschied bei den Ergebnissen zwischen der Modellierung mit Volumen- bzw. mit Balkenelementen festgestellt.

In Abbildung 3-3 ist ein Ausschnitt zu sehen, worin eine Schraube, welche mit Beamelementen modelliert wurde, rot dargestellt ist. Schraubenschaft, Schraubenkopf und Mutter werden über die Eigenschaftsdefinition der einzelnen Elemente festgelegt.

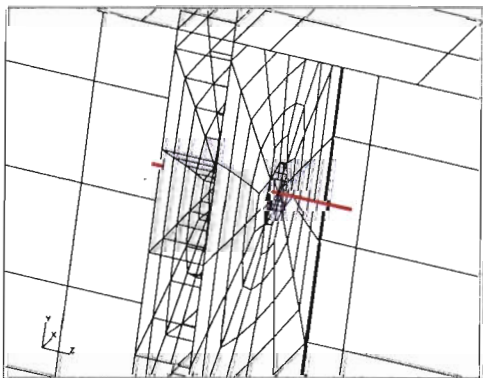


Abbildung 3-3 Schraube modelliert mit Beamelementen

3.1.3 Balkenelemente (truss)

Die Modellierung von Verbindungen ist vorrangig ein Problem der Kontaktmodellierung. Es bestehen Kontakte zwischen den Kopfplatten (bzw. Stützenflansch bei Rahmenecken) sowie zwischen Schraubenschaft und Lochleibung. Durch die hier angewandte Modellierung der Schrauben mit Beamelementen fallen weitere zu definierende Kontakte (zwischen Kopf/Mutter und Kopfplatte) weg. Zur Bildung des Kontaktes wurden Trusselemente verwendet. Im Gegensatz zu den Beamelementen besitzen diese nur 2 Knoten (und 3 Freiheitsgrade). Bei der Materialvereinbarung der T3D2-Elemente wurde entsprechend der Kontaktart (Pressung) die Übertragung von Druckkräften zugelassen. Bei Zugbeanspruchung fallen die Elemente aus.

In der Abbildung 3-4 sind die Trusselemente zur Bildung des Kontaktes zwischen Schraubenschaft und Lochwandung für die eine Kopfplatte rot und die zweite Kopfplatte (bzw. Stützenflansch) grün dargestellt. Die Schraube selbst ist durch die dickere schwarze Linie markiert.

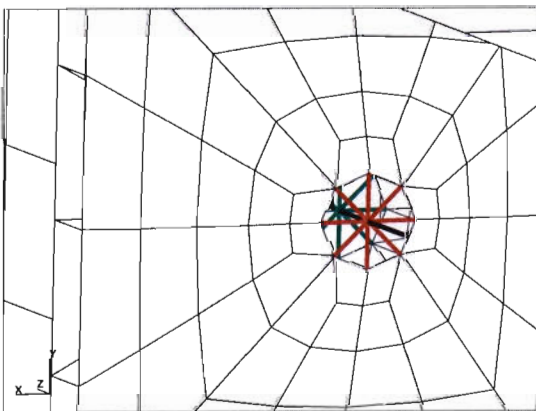


Abbildung 3-4 Kontakt Schraube - Lochwandung

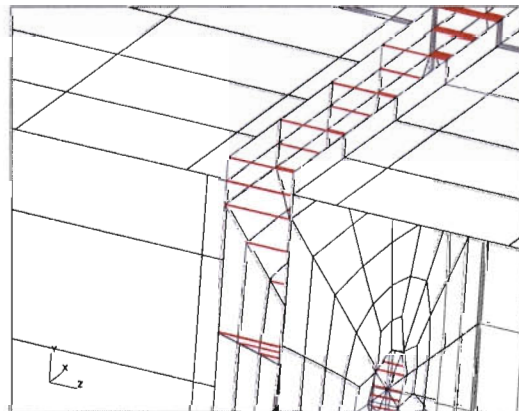


Abbildung 3-5 Kontakt Kopfplatte – Kopfplatte (bzw. Stützenflansch)

3.2 Lagerung und Belastung

Die Modelle besitzen alle die gleiche Lagerung und Belastung. Die Modelle sind hinsichtlich seitlicher Verschiebung (nach Abbildung 3-1 und 3-2 Verschiebung in x-Richtung) mehrfach gehalten, um ein Versagen durch Biegedrillknicken des Stütze bzw. des Riegels ausschließen zu können. An beiden Randbereichen jeden Modells wurde jeweils ein MPC angeordnet, was ebenfalls in den beiden Abbildungen ersichtlich ist. Diese MPC's gewährleisten einerseits das Ebenbleiben des Querschnittes, andererseits ein gleichmäßiges Auftragen der Randbe-

dingungen über den gesamten Querschnitt. Die Rahmenecken wurden jeweils am MPC des Stützenquerschnittes so gelagert, dass eine Einspannung (Übertragung aller Schnittgrößen am Schnittpunkt des Modells beim Herausschneiden aus dem Gesamtmodell) entsteht. Bei den Riegel-Riegel-Verbindungen wurde die Einspannung am linken Schnittpunkt des Modells vorgesehen. Die Belastung durch Verschiebungen bzw. Verdrehung wurde am anderen MPC des Modells entsprechend aufgebracht.

Zusätzlich werden die Beamelemente der Schrauben in der Verdrehung um die Längsachse behindert. Um ein gleichmäßiges Verschieben der Schraubenelemente mit dem restlichen Modell der Verbindung zu erreichen, sind weitere MPC's der Art (EQUATION) zwischen den Knoten des Lochrandes und dem entsprechenden Schraubenelement-Knoten angeordnet. Diese MPC's gewährleisten gleichzeitig den Erhalt der Wirkung der Schraubenvorspannung bei Belastung.

3.3 Material und Vorspannung

Den FE-Berechnungen liegt das ideal-elastische ideal-plastische Materialgesetz zugrunde. Die Werkstoffkennwerte wie Elastizitätsmodul und Streckgrenze wurden mit dem entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert abgemindert. Die Schrauben wurden zusätzlich über eine ausführlichere Materialkennlinie (Spannung-Dehnung) beschrieben, um der begrenzten Bruchdehnung des hochfesten Schraubenmaterials gerecht zu werden.

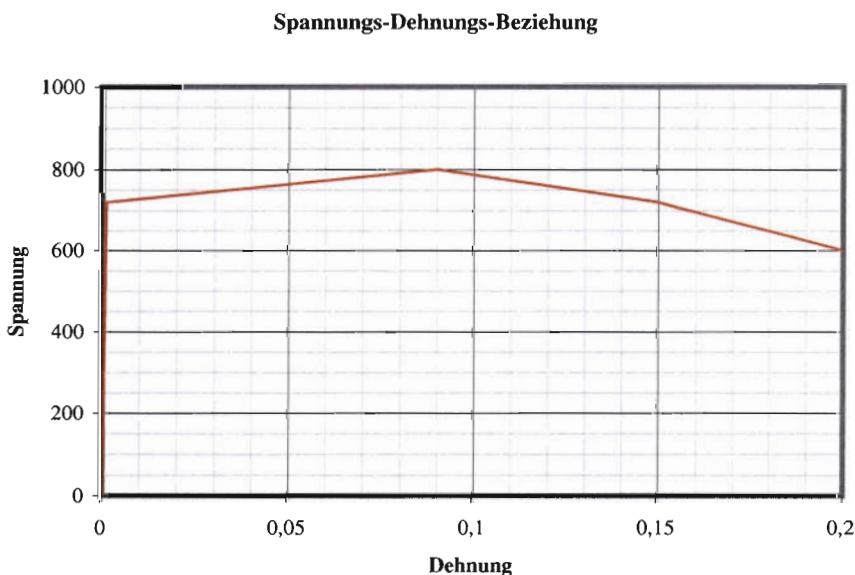


Abbildung 3-6 Materialdefinition zur Berücksichtigung der geringeren Bruchdehnung

Die Kontaktelemente (truss) entsprechen dem Grundwerkstoff (Kopfplatte oder Stützenflansch), sie können jedoch nur Druck, aber keinen Zug übertragen.

	charakteristische Streckgrenze f_{yk} N/mm ²	charakteristische Zugfestigkeit f_{tk} N/mm ²	Elastizitätsmodul E_k N/mm ²	Teilsicherheitsbeiwert	Bemessungswert der Streckgrenze f_{yd} N/mm ²	Bemessungswert der Zugfestigkeit f_{td} N/mm ²	Bemessungswert des Elastizitätsmoduls E_d N/mm ²
S235	235	360	210000	1,1	213,6	327,3	190909
S355	355	510	210000	1,1	322,7	463,6	190909
10.9	900	1000	210000	1,25	720	800	190909

Tabelle 3-1 Verwendete Materialkennwerte

Ein Unterschied zwischen der Berechnung nach EC3, Annex J und der FE-Berechnung liegt in der Berücksichtigung der Vorspannung der Schrauben. Nach der Norm wird in der Berechnung der Rotationssteifigkeit der Vorspanngrad der hochfesten Schrauben nicht mit einbezogen. Bei der FE-Berechnung wurden die Schrauben realitätsnah mit einer aus der Norm entnommenen Grenzvorspannung angezogen betrachtet. Die Vorspannkraft (nach /8/) wurde im Modell als eine Initialspannung auf die Schrauben aufgebracht. Dazu wurde die Vorspannkraft auf den entsprechenden Schaftdurchmesser bezogen in eine über den Schaftquerschnitt gleichmäßige Spannung umgerechnet. Diese Initialspannung wurde nach Gleichung 1 berechnet.

$$\sigma_{ini} = \frac{0,9 \cdot F_{vor}}{\gamma_{Mb} \cdot A_{sp}} \quad (\text{Gl. 1})$$

mit $\gamma_{Mb} = 1,25$

In Tabelle 3-2 sind alle weiteren Angaben zur Festlegung der Vorspannung enthalten.

Schraubengröße	Spannungsquerschnitt A_{sp} [mm ²]	Vorspannkraft F_{vor} [kN]	Initialspannung σ_{ini} [N/mm ²]
M16	157	100	459
M20	245	160	470
M24	353	220	449
M27	459	290	455
M30	561	350	449

Tabelle 3-2 Angaben zur Vorspannung

3.4 Schnittgrößendefinitionen

In Abbildung 3-7 ist ein Momentenverlauf für einen beispielsweise durch Eigengewicht und Schnee belasteten Rahmen zu sehen.

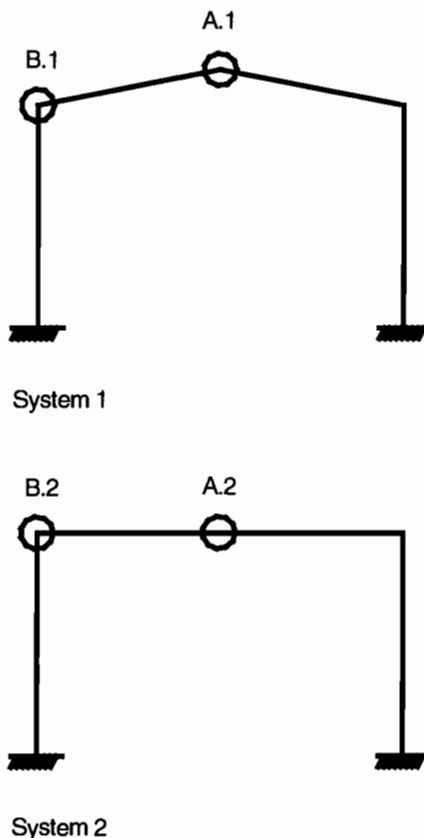
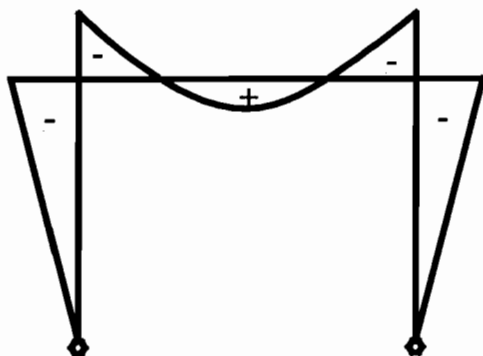


Abbildung 3-7 Momentenverlauf

Abbildung 3-8 Mögliche Rahmensysteme

Demnach sind Rahmenecken (Detail B.1 und B.2) nach der allgemein üblichen Schnittkraftdefinition überwiegend durch negative Momente belastet. Die Firstpunkte oder Riegel-Riegel-Verbindungen (Detail A.1 und A.2) hingegen befinden sich im Bereich der positiven Momente. Nach Abbildung 3-9, welche ein vollständiges Diagramm mit Vorzeichenzuordnung für Moment und Normalkraft zeigt, sind für die Rahmenecken demzufolge die Quadranten II und III, für die Firstpunkte hingegen die Quadranten I und IV hauptsächlich zu betrachten.

Im Projekt selbst werden nicht die vollständigen Interaktionskurven der Verbindungen (negative und positive Momente) bestimmt. Es wird nur der jeweils vorrangig für die entsprechende Verbindung auftretende Momentenbereich, wie oben beschrieben, untersucht und in einer Interaktionskurve wiedergegeben.

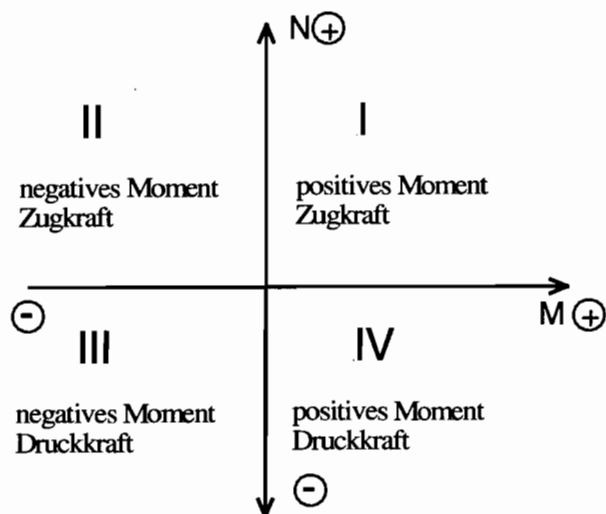


Abbildung 3-9 Interaktionsdiagramm mit Vorzeichenzuordnung

Daher ergeben sich Diagramme mit jeweils nur 2 Quadranten. Es werden zur Darstellung der Interaktionskurven die Quadranten I und IV genutzt. Daraus ergibt sich eine entsprechend angepasste Schnittgrößendefinition, welche im folgenden dargelegt wird.

In Abbildung 3-10 sind für das System 1 die entsprechenden Details mit der **positiven** Schnittgrößendefinition dargestellt. Abbildung 3-11 zeigt die Details für das System 2.

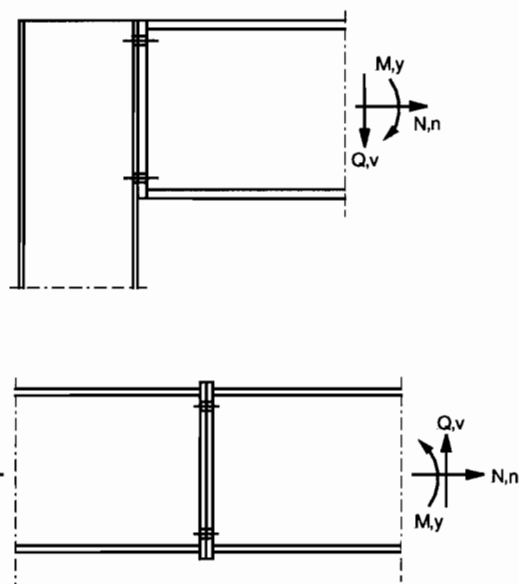
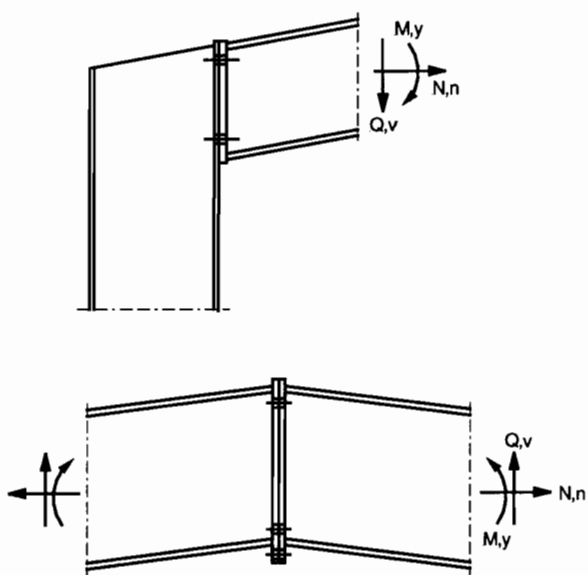


Abbildung 3-10 Details für System 1

Abbildung 3-11 Details für System 2

Für die Firstpunkte gilt, dass die Momente als positiv wie üblich angesetzt werden. Die Normalkraft wird als Zugkraft bzw. Druckkraft ebenfalls wie es im allgemeinen üblich ist,

definiert. Die Querkraft wird als positiv definiert, wenn sie in der Verbindung durch den entsprechenden Hebelarm ein Moment im gleichen Drehsinn erzeugt, wie das durch die Verdrehung angesetzte Moment. Für die Rahmenecken (Riegel-Stützen-Verbindungen) können die Aussagen für Normal- und Querkraft analog übernommen werden. Das Moment hingegen wird entgegen der allgemein üblichen Richtung als positiv angesetzt.

Entsprechend der im Projekt angesetzten Schnittgrößendefinitionen ergeben sich folgende Quadrantenzuordnungen.

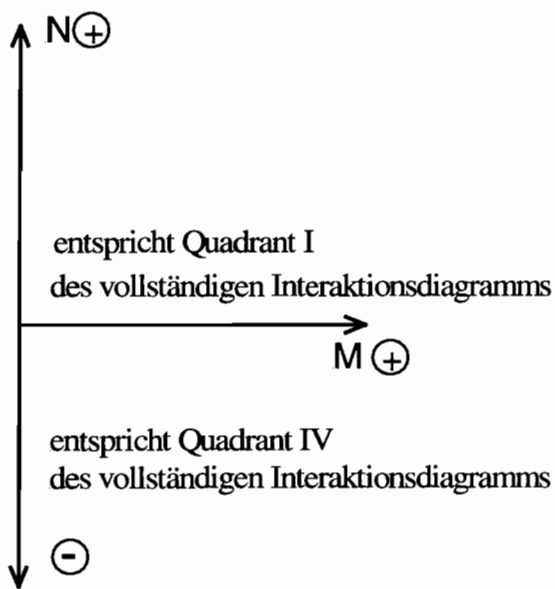


Abbildung 3-12 Interaktionsdiagramm für Riegel-Riegel-Verbindungen

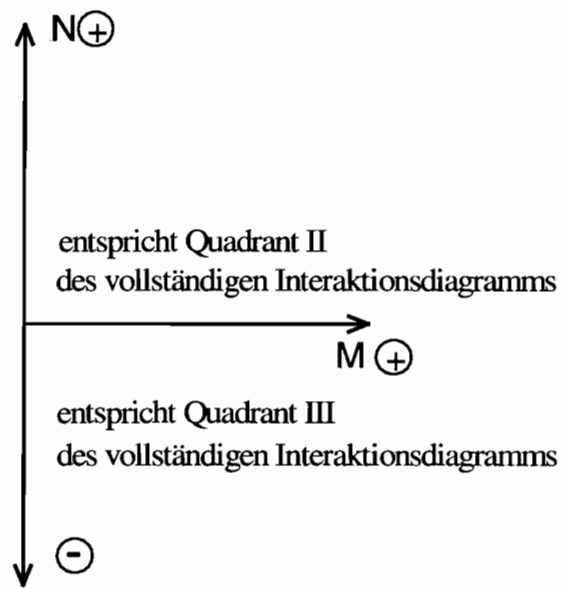


Abbildung 3-13 Interaktionsdiagramm für Riegel-Stützenverbindungen

4 Zur Auswertung und Entwicklung der Interaktionskurven

Die Modelle wurden mit Verschiebungen für die Kräfte (N_D , N_Z und Q) und einer Verdrehung für das Moment (M) belastet.

Die in den vorhergehenden Kapiteln eingehend beschriebenen Modelle wurden zuerst mit den 3 Lastfällen $M+Q$, N_D und N_Z belastet. Der Lastfall $M+Q$ beinhaltet die Verschiebung für die Querkraft und die Verdrehung für das Moment. Die Lastfälle N_D bzw. N_Z werden nur durch die entsprechende Verschiebung gebildet. Danach wurden eine willkürlich gewählte Kombination von Verschiebungen für die Normalkraft und Querkraft sowie der Verdrehung für das Moment gebildet und angesetzt. Nach der Auswertung dieser Lastkombination wurden weitere Lastkombinationen aufgestellt. Dabei wurde einerseits das Moment zusammen mit der Querkraft konstant gehalten und die Normalkraft (Zug bzw. Druck) variiert, andererseits bleibt die Normalkraft konstant und die Querkraft und das Moment werden verändert. Die Ergebnisse für die Schnittgrößen werden in Diagrammen ausgewertet (Abbildung 4-1).

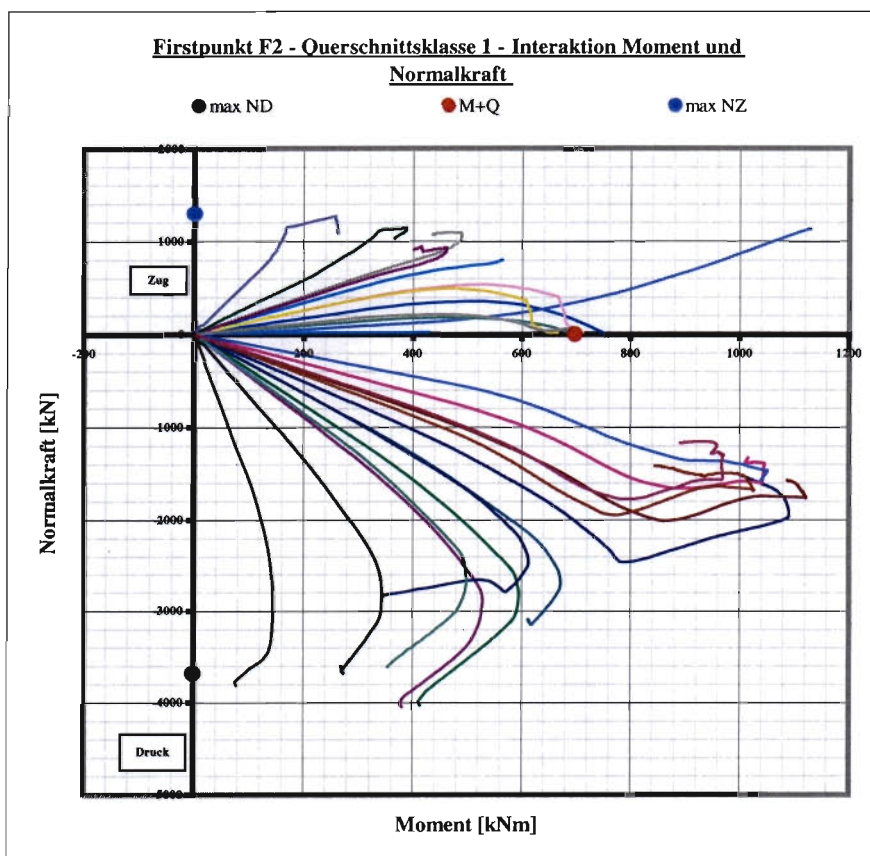


Abbildung 4-1 Diagramm mit Schar von Interaktionskurven

Nachdem die Auswertung der Lastkombinationen wie nach Abbildung 4-1 erfolgt ist, werden auf den einzelnen Kurven markante Punkte ausgewählt. Diese Punkte ergeben dann die Interaktionskurve für die jeweils bestimmte Verbindung. Die Interaktionskurve ist in Abbildung 4-2 die dickere rote Linie.

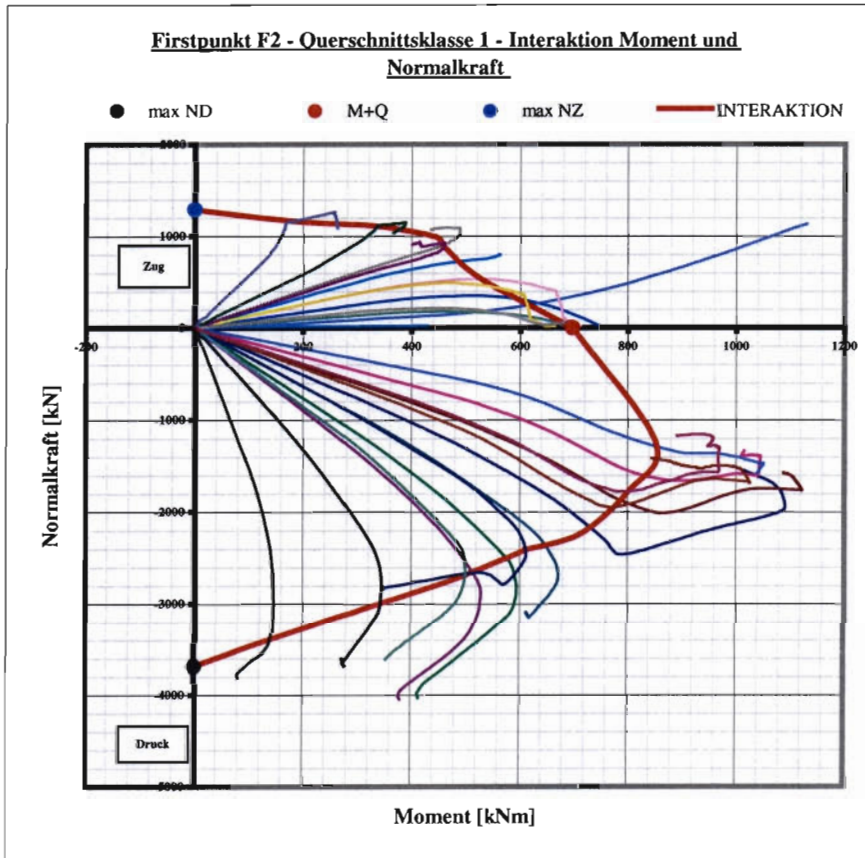


Abbildung 4-2 Diagramm mit Interaktionskurve

Da jede Verbindung eine andere Tragfähigkeit besitzt, können die Interaktionskurven so nicht untereinander verglichen und ausgewertet werden. Es werden daher **normierte** Interaktionskurven aufgestellt. Es wird die aus den markanten Punkten gebildete Interaktionskurve genutzt. Zur Normierung werden die folgenden Gleichungen verwendet:

$$\mu = \frac{M}{M_{MQ}} \quad (\text{Gl. 2})$$

M_{MQ} ist das Moment aus dem Lastfall Moment und Querkraft, ohne jegliche Normalkraft.

$$v = \frac{N}{N_{\max}} \quad \text{bzw.} \quad v = \frac{Z}{Z_{\max}} \quad (\text{Gl. 3})$$

N_{\max} ist die Druckkraft aus dem Lastfall alleinige Normalkraft N ,

Z_{\max} ist die Zugkraft aus dem Lastfall alleinige Normalkraft Z .

Somit ergeben sich normierte Interaktionskurven, die zur weiteren Auswertung und Aufstellung von Regeln für die Beziehung zwischen Moment und Normalkraft genutzt werden können.

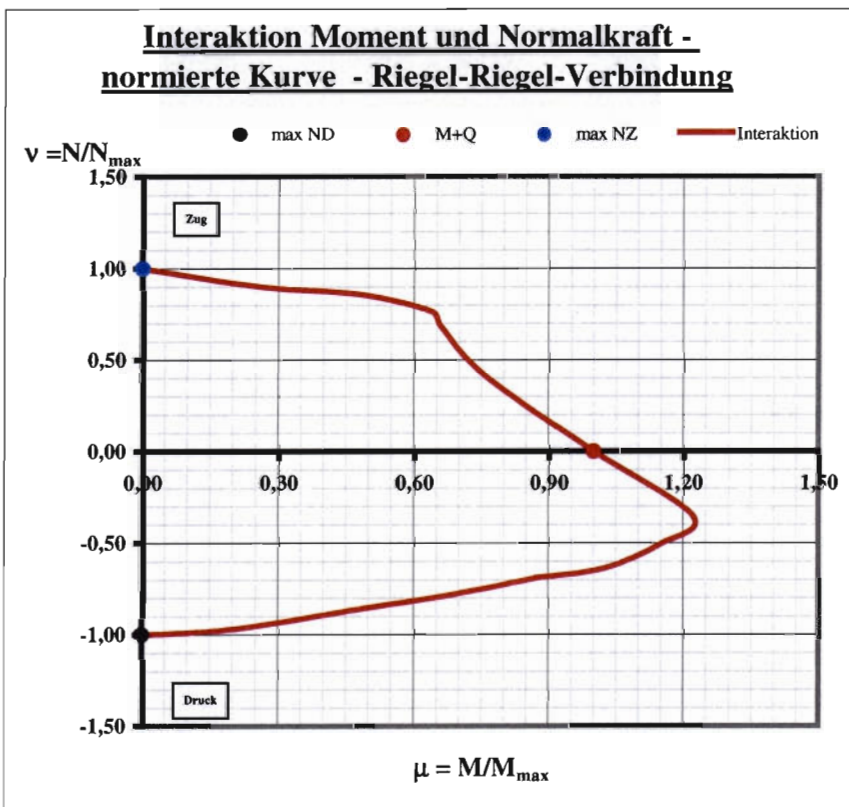


Abbildung 4-3 Diagramm mit normierter Interaktionskurve

Im folgenden wird überwiegend mit diesen normierten Interaktionskurven aus dem schon gesagten Grund gearbeitet. Alle diese Kurven sind auf die eben beschriebene Art und Weise entstanden.

5 Vorschläge zur Berechnung der Tragfähigkeiten bei alleiniger Zug- oder Druckbelastung sowie zur Berechnung der Interaktion

5.1 Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbelastung

Für die Bemessung einer Verbindung unter alleiniger Druckbeanspruchung dient das Komponentenmodell in seinen Grundzügen als Vorlage.

Bei der Berechnung der Tragfähigkeit einer Verbindung bei alleiniger Druckbeanspruchung wird davon ausgegangen, dass die angeschlossenen Bauteile (Stütze und Riegel – je nach Verbindungsart) im Bereich der Verbindung nicht stabilitätsgefährdet durch seitliches Ausweichen – gemeint sind hier Biegeknicken und Biegedrillknicken – sind.

Untersucht und berücksichtigt hingegen wird, ob der Querschnittswiderstand durch lokales Beulen beeinflusst wird. Hierfür wird die Einordnung der einzelnen Querschnitte in die Querschnittsklassen vorgenommen.

5.1.1 Geschraubte Verbindungen

Allgemein ist hier zu sagen, dass die Verbindungsmittel „Schrauben“ Elemente zur Zug- oder Querkraftübertragung sind. Bei der Berechnung der Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung haben diese somit keinen Anteil. Es erfolgt damit auch keine Aufteilung der Verbindung in Schraubenreihen oder Gruppen von Schraubenreihen.

5.1.1.1 Riegel-Riegel-Verbindungen

Das Bauelement Riegel teilt sich auf in die beiden Komponenten Riegeflansch und Riegelsteg. Die beiden Flansche bilden zusammen eine Komponente, da bei einer alleinigen Druckbeanspruchung die Spannungs- und Dehnungsverteilung konstant ist → beide Flansche werden also gleichzeitig und gleichmäßig beansprucht. Für die Flanschquerschnitte wird die Grenznormalkraft entsprechend der Querschnittsklasse berechnet.

Die Schnittgrößenaufteilung wird analog zu /1/, Abschnitt 6.3.3 vorgenommen. Die Querkraft übernimmt dabei den Querschnittsanteil „Steg“. Daher wird bei der Berechnung der Tragfähigkeit „Druck“ die Normalkraftberechnung (auf der sicheren Seite liegend) nur mit den beiden Querschnittsanteilen der Flansche durchgeführt. Die Komponente „Riegelsteg“ geht somit hier in die Berechnung nicht mit ein. Diese Vereinbarung wird vorgenommen, da die Querkraft nicht explizit in der Interaktion „Moment-Normalkraft“ berücksichtigt wird.

Zu einer geschraubten Riegel-Riegel-Verbindung gehört die Komponente „Kopfplatte“. Bei einer alleinigen Druckbeanspruchung wird davon ausgegangen, dass die Beanspruchung

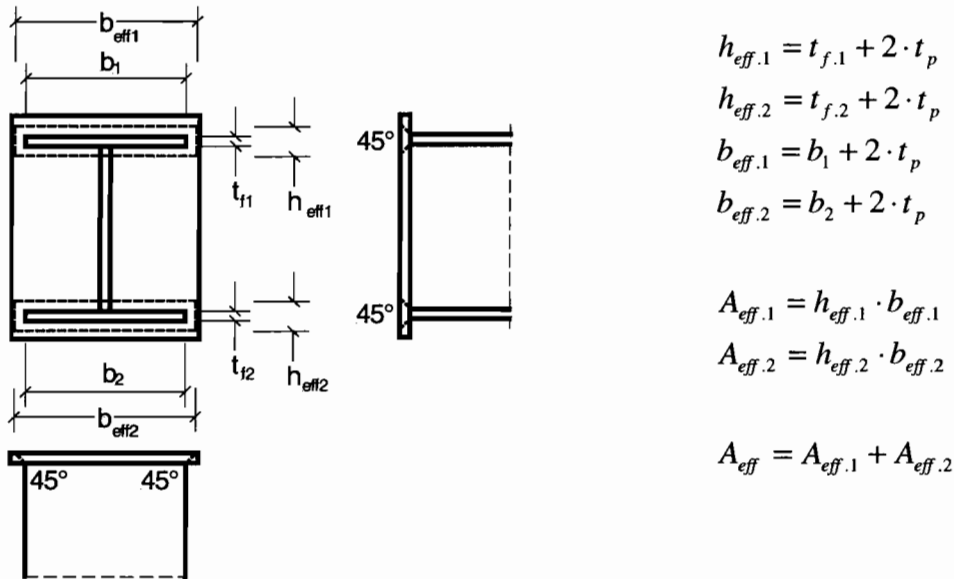


Abbildung 5-1 Lastausbreitungsflächen

durch Kontakt, also durch Pressung, übertragen wird. Ein weiterer Punkt ist die Festlegung der Übertragung der Druckkraft nur durch die Flansche. Die Beanspruchung wird von den Flanschen ausgehend auf die Kopfplatten übertragen. Die Last wird linienförmig über die Flansche in die Kopfplatten eingeleitet (Abbildung 5-1). Bei der Berechnung wird weiterhin eine Lastausbreitung von 45° angenommen. Es entstehen somit effektive Lastübertragungsflächen. Über diese Flächen wird die aufnehmbare und übertragbare Druckkraft für die Komponente „Kopfplatte“ berechnet. Allerdings muss bei der Berechnung der Lastübertragungsfläche darauf geachtet werden, ob diese Fläche tatsächlich durch den Überstand auch vorhanden ist.

Die Aussteifungselemente sind im Prinzip keine eigenständigen Komponenten, sondern dienen zur Erhöhung der Tragfähigkeit der Grundelemente.

Bei geschraubten Verbindungen gibt es verschiedene Möglichkeiten der Aussteifung. Steifen (eingeschweißte Bleche) haben verschiedene Aufgaben zu erfüllen.

Bei Riegel-Riegel-Verbindungen können Steifen zwischen den einzelnen Schraubenreihen im Zugbereich angeordnet werden. Diese Steifen sollen ein Versagen von mehreren Schraubenreihen als Gruppe (T-Stoß-Modell) verhindern. Damit kann eine höhere Tragfähigkeit der gesamten Verbindung erzielt werden (einige Gleichgewichtsbeziehungen

zwischen den einzelnen Schraubenreihenkräften entfallen). Weiterhin dienen die Steifen, welche an Kopfplatte und Riegelsteg angeschweißt werden, zur Aussteifung des Riegelsteges und damit zur Erhöhung der Normal- und Querkraftbeanspruchung des selben. Steifen werden somit bei den hier getroffenen Annahmen nicht berücksichtigt.

Hinterlegte Bleche dienen der Verstärkung von Kopfplatten im Zugbereich bei Biegebeanspruchung (Abbildung 5-2). Die Schrauben werden bei Druckbeanspruchung, ausgehend vom Modell der Lasteintragung durch die Flansche und Lastausbreitung in der Kopfplatte, nicht gestaucht. Die hinterlegten Bleche werden somit nicht zur Lastabtragung herangezogen. Bei Druckbeanspruchung haben sie damit keinen Traganteil.

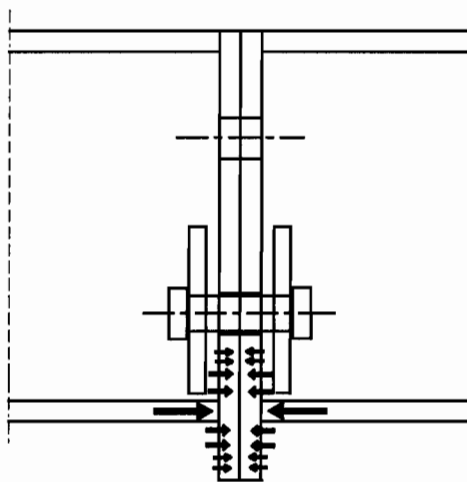


Abbildung 5-2 Detail hinterlegte Bleche

Zwickel sind im Bereich von überstehenden Kopfplatten angeschweißte Bleche, die der Aussteifung dienen. Durch Anordnung von Schraubenreihen (meist nur eine) im überstehenden Teil der Kopfplatte kann das Grenzmoment der Verbindung, durch den vergrößerten Hebelarm für die Zugkraft dieser Schraubenreihe im Vergleich zu bündigen Kopfplatten, erhöht werden. Bei der alleinigen Druckbeanspruchung werden die Schrauben nicht belastet. Daher ist eine Aussteifung des überstehenden Kopfplattenteiles bei dieser Belastung nicht notwendig. Zwickel leisten somit keinen Beitrag zur Tragfähigkeit.

Wie beim Komponentenmodell bestimmt die schwächste Komponente die Tragfähigkeit der gesamten Verbindung. Bei der Riegel-Riegel-Verbindung unter Druckbeanspruchung sind die beiden Komponenten „Riegelflansche“ und „Kopfplatte“ wirksam. Versagt eine der Komponenten, versagt die gesamte Verbindung.

Das Versagen ist hier gekennzeichnet durch das Erreichen der Streckgrenze, also das Fließen des Materials, da Stabilitätsversagen von vornherein als Versagen ausgeschlossen wurde.

Eine Beispielrechnung enthält Anhang B.

5.1.1.2 Riegel-Stützen-Verbindungen

Die Verbindung setzt sich zusammen aus den Bauelementen „Riegel“ und „Stütze“, einer Kopfplatte, den Verbindungsmitteln sowie den Aussteifungselementen.

Das Bauteil „Riegel“ teilt sich wie bei den Riegel-Riegel-Verbindungen in Flansche und Steg auf. Die Annahmen sind gleich und Berechnung wird analog vollzogen. Nur die Komponente Riegelflansch liefert somit einen Beitrag zur Tragfähigkeit.

Die Komponente Kopfplatte wird ebenfalls wie bei den Riegel-Riegel-Verbindungen behandelt.

Das Bauteil „Stütze“ wird wie das Bauteil „Riegel“ in die beiden Komponenten Flansche und Steg aufgesplittet. Dabei entspricht der verbindungsseitige Stützenflansch bei dieser Verbindungsart der zweiten Kopfplatte und wird dementsprechend bei der Berechnung behandelt. Allerdings ist zu beachten, dass der Stützenflansch im allgemeinen eine geringere Dicke als die Kopfplatte haben wird (sofern nicht verstärkt durch angeschweißte Bleche oder ausgenommenen und durch eine zweite Kopfplatte ersetzten Stützenflansch). Durch die geringere Dicke ergeben sich mit der angenommenen Lastausbreitung unter 45° kleinere effektive Lastübertragungsflächen für die Übertragung der Druckkräfte durch Kontakt (Pressung).

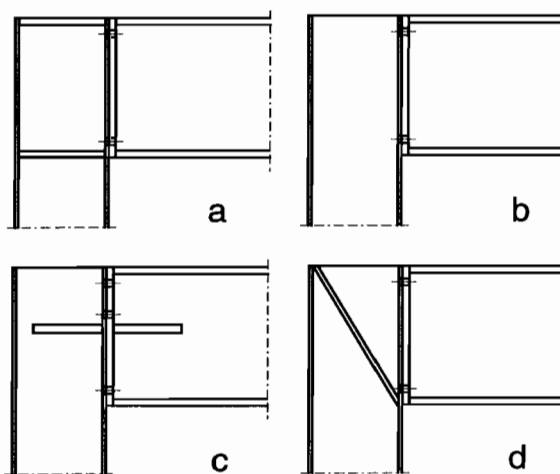


Abbildung 5-3 Möglichkeiten der Steifenanordnung

- a - Steifen in Fortführung der Riegelflansche
- b - keine Steifen (unausgesteifte Verbindung)
- c - Steifenanordnung gegen Gruppenversagen zwischen den Schraubenreihen
- d - Diagonalsteifen

Die Berechnung der Tragfähigkeit des Stützensteges wird abhängig gemacht von der Anordnung von Steifen. Werden Steifen in Fortführung der Riegelflansche angeordnet (Abbildung 5-3b), dann wird für diese von den Annahmen, welche für den Riegelsteg getroffen wurden, ausgegangen. Das heißt, die Komponente „Stützensteg“ liefert dann keinen Tragfähigkeitsanteil. Sind keine Steifen vorhanden (Abbildung 5-3b) oder werden die Steifen innerhalb der Verbindung anders angeordnet (Abbildung 5-3c und d), dann wird für die Komponente die Tragfähig-

keit wie folgt berechnet. Bei der Festlegung der Tragfähigkeit der Komponente „Stützensteg“ wird auf den /2/ zurückgegriffen. Es wird dafür Gleichung (J.17) verwendet. In dieser Gleichung sind zwei Reduktionsfaktoren enthalten. Sie berücksichtigen einerseits das mögliche Plattenbeulen (bei Druckbeanspruchung) und andererseits die Möglichkeit des Auftretens von Schubbeulen.

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad \text{Gl. J.17, /2/} \quad (\text{Gl. 4})$$

Bei der Berechnung des Reduktionsfaktors ρ zur Berücksichtigung lokalen Beulens infolge Druckbeanspruchung wird die Schlankheit des Stegbleches herangezogen. Übersteigt das Stegblech einen bestimmten Schlankheitsgrad, wird der Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von Schlankheit berechnet. Der Reduktionsfaktor beschreibt das Verhältnis von wirksamer Breite zu Ausgangsbreite.

Die Berechnung des Reduktionsfaktors ω für die Berücksichtigung des Schubbeulens ist abhängig von der Konfiguration und Beanspruchung der Verbindung.

Die Aussteifungselemente „hinterlegte Bleche“ und „Zwickel“ haben bei der Berechnung der Tragfähigkeit der Riegel-Stützen-Verbindung unter alleiniger Druckbeanspruchung keinen Anteil.

Bei der Aussteifung durch Steifen gibt es verschiedene Möglichkeiten der Anordnung, insbesondere der Gestaltung im stützenseitigen Bereich der Verbindung. Bei dieser Komponente ist somit die Anordnung von Bedeutung.

Wie bereits erwähnt, können die Steifen als eine Art Fortführung der Riegelflansche vorgesehen sein. In diesem Fall werden die Steifen als eine Komponente mit eigener Tragfähigkeit betrachtet. Die Berechnung wird dann wie bei den Riegelflanschen vollzogen. Eine andere Möglichkeit der Anordnung oder auch in Kombination mit der vorhergehenden sind Diagonalsteifen (Abbildung 5-3d). Diese Steifen sollen das Beulen des Stützensteges unter Druck oder Schub ausschließen. In diesem Fall wird das Element „Steife“ nicht als eigene Komponente betrachtet. Beachtung findet diese Art der Steifenanordnung bei der Berechnung des Stützensteges, die beiden Reduktionsfaktoren ω und ρ sind 1. Es wird somit keine Abminderung vorgenommen, da örtliches Versagen ausgeschlossen wird.

Abbildung 5-4 zeigt nochmals eine Übersicht zur Verdeutlichung der Berechnung von Riegel-Stützen-Verbindungen unter alleiniger Druckbeanspruchung.

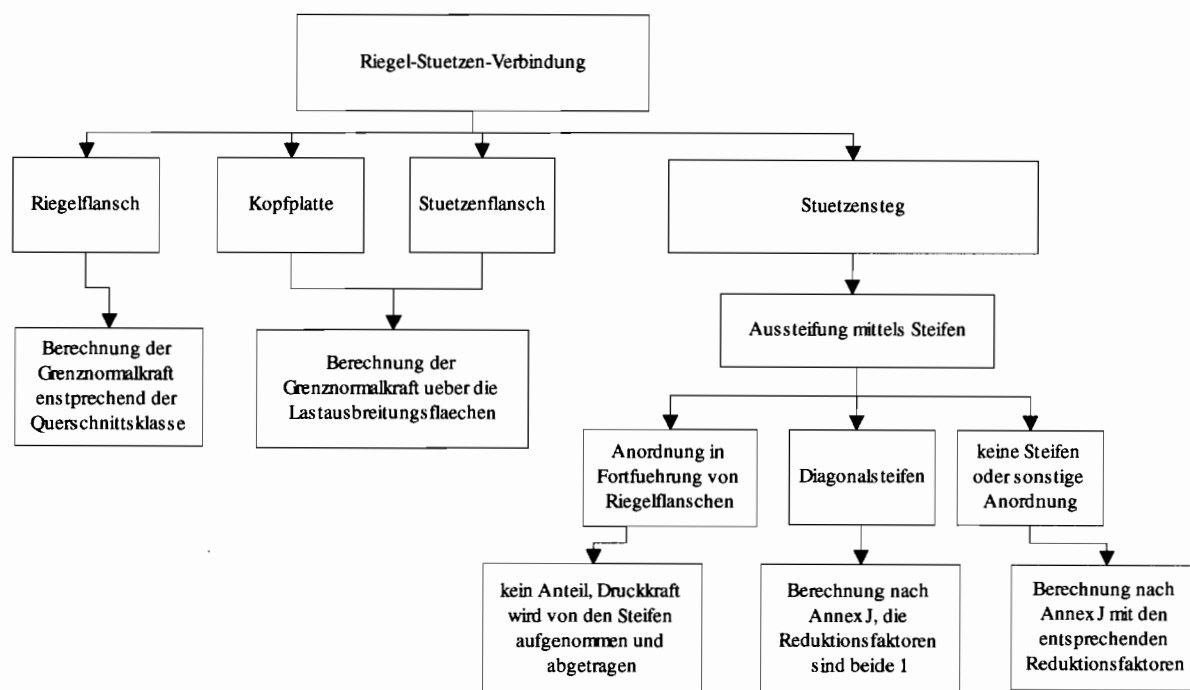


Abbildung 5-4 Berechnungsübersicht bei Riegel-Stützen-Verbindungen unter Druckbeanspruchung

In Anhang C wird eine Berechnung einer Riegel-Stützen-Verbindung unter alleiniger Druckbeanspruchung erläutert.

5.1.2 Geschweißte Verbindungen

Druckkräfte, welche normal zur Kontaktfuge wirken, dürfen im allgemeinen durch Kontakt übertragen werden. Dabei ist sicherzustellen, dass ein seitliches Ausweichen nicht möglich ist. Diese Forderung wird durch die Schweißnähte selbst erfüllt. Daher wurde auch hier auf die konkrete Bemessung der Schweißnähte verzichtet.

Da die Verbindungsmittel selbst, Schrauben oder Schweißnähte, in die Berechnung der Tragfähigkeit unter Druckbeanspruchung nicht mit einbezogen werden, ergibt sich für die Schweißverbindungen der gleiche Berechnungsalgorithmus wie für die geschraubten Verbindungen.

5.2 Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbelastung

Im Gegensatz zur Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbeanspruchung ist eine Einordnung in die einzelnen Querschnittsklassen nicht notwendig. Eine Zugbeanspruchung wirkt im allgemeinen stabilisierend. Ein weiterer Unterschied zur Druckbeanspruchung ist, dass hier die Verbindungsmittel „Schrauben“ bzw. „Schweißnaht“ hinsichtlich eigenem Versagen mit in die Berechnung der Tragfähigkeit einbezogen werden.

5.2.1 Geschraubte Verbindungen

Die Schrauben sind hochfest und vorgespannt. Damit ergibt sich das Tragmodell „T-Stoß“ innerhalb der komplexen Verbindungen. Die Grundlage der Berechnung bildet somit das Komponentenmodell des Annex J. Die Voraussetzung für die Anwendung, gleich welche Verbindungskonfiguration vorliegt, ist die Berechnung der effektiven Längen für die einzelnen T-Stöße. Ein T-Stoß kann aus einer einzelnen Schraubenreihe, aber auch aus einer Gruppe, also mehreren Schraubenreihen, bestehen. Je nachdem wie die einzelne Verbindung gestaltet ist, müssen die verschiedenen T-Stöße in Abhängigkeit voneinander untersucht werden. Für jeden T-Stoß sind die 3 Versagensmechanismen

- Versagen der Kopfplatte durch vollständiges Fließen
- Versagen der Schrauben
- kombiniertes Versagen von Schrauben und Kopfplatte

zu untersuchen.

5.2.1.1 Riegel-Riegel-Verbindungen

Durch das Tragmodell „T-Stoß“ werden die beiden Komponenten „Kopfplatte“ und „Schrauben“ gemeinsam betrachtet. Je nach Gestaltung der Verbindung – insbesondere der Anordnung der Steifen – werden bei der Berechnung der Momententragfähigkeit nach /2/ auch die anderen Komponenten (Riegelstegblech) in Abhängigkeit von den effektiven Längen berechnet. Bei der Berechnung der Zugtragfähigkeit wird jedoch keine Aufteilung des Riegelsteges entsprechend der effektiven Längen der T-Stöße vorgenommen. In diesem Fall wird davon ausgegangen, dass durch die Zugbelastung eine gleichmäßige Spannungs- und Dehnungsverteilung über den gesamten Riegelsteg vorliegt. Das heißt, dass für die Berechnung der Tragfähigkeit des Riegelsteges als effektive Breite in der Gleichung J.31 nach /2/ die halbe Höhe des Riegelsteges verwendet wird.

$$F_{t.wb.Rd} = \frac{b_{eff.t.wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y.wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{Gl. J.31, /2/} \quad (\text{Gl. 5})$$

$$\text{mit } b_{eff.t.wb} = h_w / 2$$

Es wird nur die halbe Höhe des Riegelsteges genutzt, um eine Interaktion zwischen Normal- und Querkraft zu umgehen. Dieses Vorgehen wird auch bei der Ermittlung der Grenzmomententragfähigkeit angewendet.

Wie bei der Druckbeanspruchung werden die Flansche als eine einzelne Komponente betrachtet und hinsichtlich der Grenzzugkraft berechnet.

Bei der Berechnung der T-Stöße (Komponenten Schrauben und Kopfplatte) werden einerseits einzelne T-Stöße, welche individuell versagen können, betrachtet und andererseits Gruppen von T-Stößen (sofern Gruppen gebildet werden können). Um die Tragfähigkeit der Komponente „T-Stöße“ unter alleiniger Zugbeanspruchung festlegen zu können, wird im Anschluss an die Berechnung der Einzeltragfähigkeiten entsprechend der Verbindungskonfiguration die Summe gebildet. Dabei ist ein Vergleich zu führen, zwischen der Summe aus den Einzeltragfähigkeiten infolge individuellem Versagen und der Summe aus den Einzeltragfähigkeiten infolge Gruppenversagen.

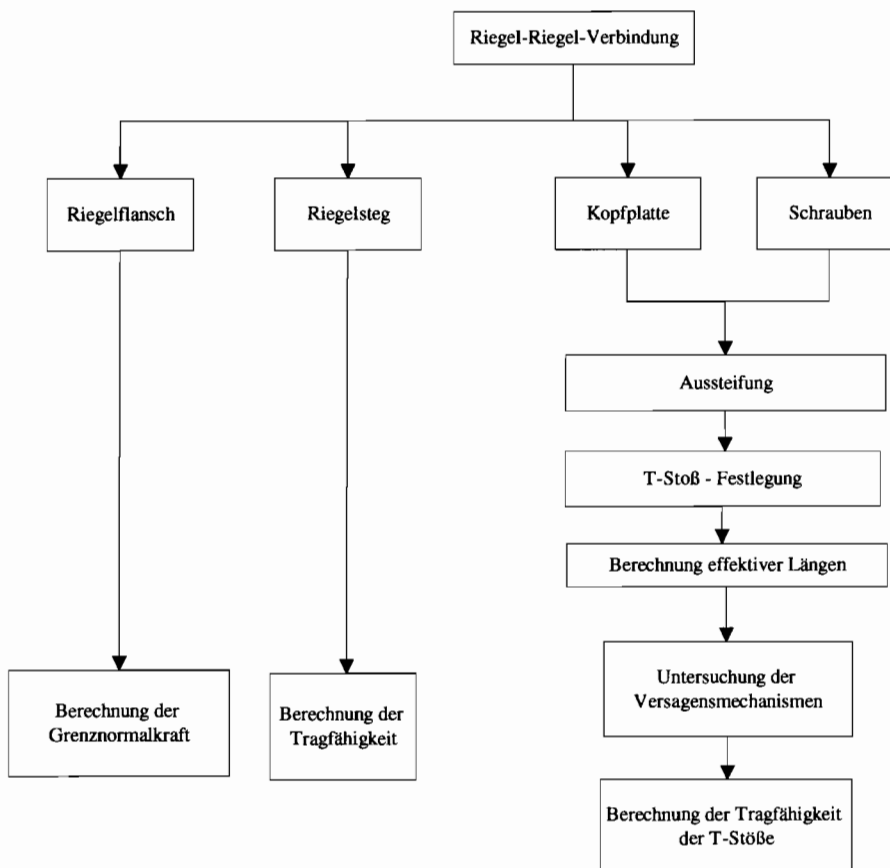


Abbildung 5-5 Berechnungsübersicht bei Riegel-Riegel-Verbindungen unter Zugbeanspruchung

Die geringste Tragfähigkeit aller Komponenten bestimmt die Tragfähigkeit der gesamten Riegel-Riegel-Verbindung.

Exemplarisch zeigt Anhang D eine Berechnung eine Riegel-Riegel-Verbindung.

5.2.1.2 Riegel-Stützen-Verbindungen

Die Riegel-Stützen-Verbindungen setzen sich aus den Bauteilen „Riegel“ und „Stütze“ zusammen. Das Bauteil „Riegel“ wird bei der Ermittlung der Grenzzugtragfähigkeit analog behandelt, wie bei den Riegel-Riegel-Verbindungen.

Bei den Riegel-Stützen-Verbindungen sind T-Stöße riegel- und stützenseitig zu untersuchen. Hauptunterscheidungsmerkmal ist dabei vor allem die Dicke von Stützenflansch und Kopfplatte (riegelseitig), sofern der Stützenflansch nicht verstärkt oder in diesem Bereich ausgenommen und durch eine zweite Kopfplatte ersetzt ist.

Sind im Bereich des Stützensteiges Steifen in Fortführung der Riegelflansche angeordnet, so werden diese auf ihre Grenzzugtragfähigkeit hin wie die Riegelflansche behandelt (Abbildung 5-3a). Eine andere Steifenanordnung hat keinen Einfluss bzw. keinen Anteil an der Berechnung der Tragfähigkeit.

Zur Berechnung des Stützensteiges auf Zug wird auf die Gleichung J.23 des Annex J zurückgegriffen.

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad \text{Gl. J.23, /2/} \quad \text{(Gl. 6)}$$

In dieser Gleichung ist wieder ω als Reduktionsfaktor für mögliche gleichzeitige Schubeffekte enthalten.

Die Tragfähigkeit der Verbindung unter alleiniger Zugbeanspruchung wird wie bei den vorangegangenen Vorschlägen und Betrachtungen durch die Komponente mit der geringsten Tragfähigkeit bestimmt.

Die Abbildung 5-6 stellt eine Übersicht zur Berechnung der Tragfähigkeit unter alleiniger Zugbeanspruchung bei Riegel-Stützen-Verbindungen bereit.

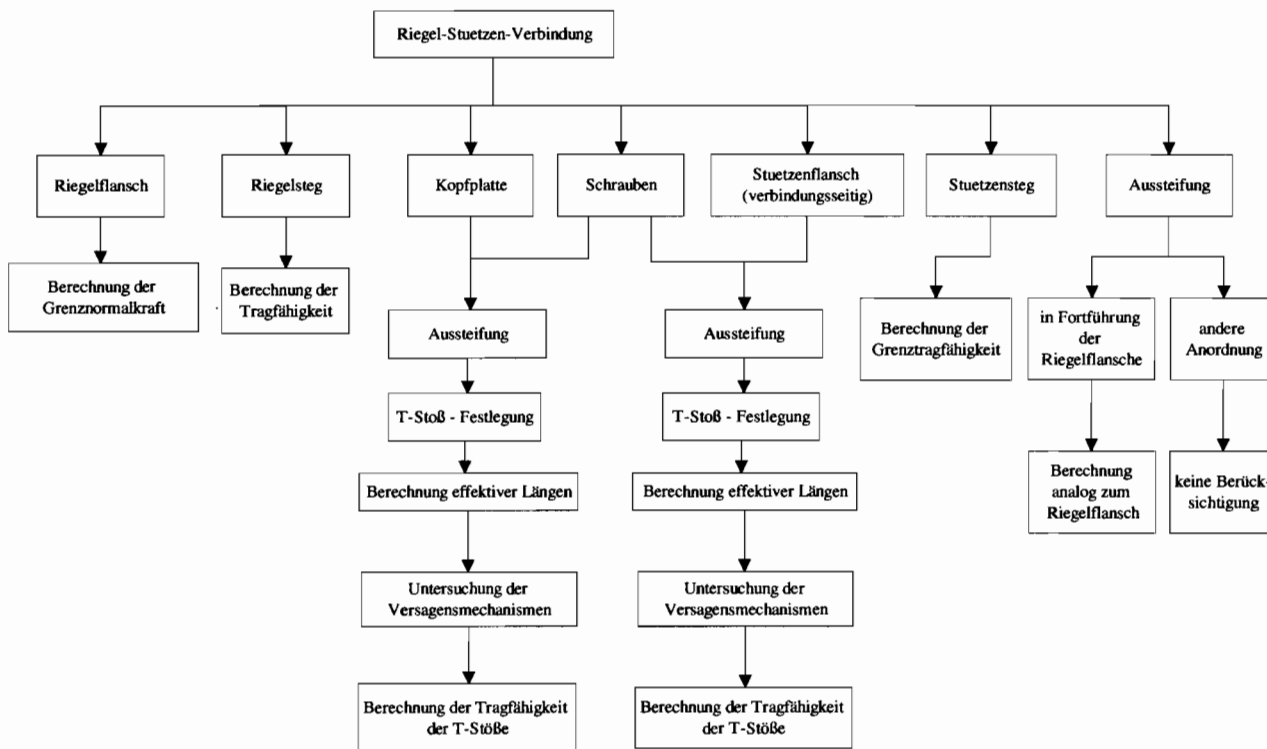


Abbildung 5-6 Berechnungsübersicht bei Riegel-Stützen-Verbindungen unter Zugbeanspruchung

5.2.2 Geschweißte Verbindungen

Bei der Bemessung einer geschweißten Verbindung sind die Schweißnähte eine der verschiedenen Komponenten. In der Regel wird nach dem Grundsatz konstruiert und bemessen, dass das Verbindungsmittel – hier die verschiedenen Schweißnähte – erst nach den anzuschließenden Bauteilen, Riegel und Stütze, versagen soll, um ein schlagartiges Versagen der gesamten Struktur zu vermeiden. Im Rahmen dieses Projektes wurde auf die genaue Bemessung der Schweißnähte verzichtet. Die Schweißnähte sind bei der Anwendung jedoch unter Berücksichtigung des Elementes (833) nach /7/ auszuführen bzw. entsprechend der auftretenden Schnittgrößen zu bemessen. Die Tragfähigkeit der Schweißnähte sollte dabei mindestens so groß sein, wie die kleinste der Tragfähigkeiten der anderen Komponenten.

Die restlichen Komponenten der Verbindung, Riegel- und Stützensteg und Riegelflansch werden wie bei den geschraubten Verbindungen berechnet.

Die Gesamttragfähigkeit wird bestimmt durch die Komponente mit der geringsten Tragfähigkeit.

5.3 Vorschlag zur Berechnung der Interaktion zwischen Momenten- und Normalkraftbelastung

Interaktion zwischen den einzelnen Schnittgrößen (hier wird die Querkraft mehr oder weniger außer Acht gelassen) ist notwendig, da jede Schnittgröße für sich den Querschnitt bzw. die Verbindung vollständig auslasten kann. Durch die Interaktionsbeziehung wird im Prinzip beschrieben, in welchen Zusammenhang die Schnittgrößen zueinander stehen, um den Querschnitt bzw. die Verbindung vollständig zu beanspruchen. Es wird das Verhältnis zwischen den maximal aufnehmbaren Schnittgrößen dargestellt. Die maximal aufnehmbaren Schnittgrößen sind die Schnittgrößen, welche zum Versagen des Querschnittes bzw. der Verbindung führen. Die Grenzen der Interaktion sind jeweils durch alleiniges Auftreten einer der Schnittgrößen gegeben.

Der Vorschlag zur Berechnung der Interaktion orientiert sich an den Ergebnissen der FE-Berechnungen. Grundlage sind die normierten Interaktionskurven.

Aus den normierten Interaktionskurven ist ersichtlich, dass, wenn die Normalkraft – Zug und Druck – den Maximalwert erreicht, kein Moment von der Verbindung mehr aufgenommen oder übertragen wird. Im Gegensatz dazu steht die Momententragfähigkeit. Das maximale Moment muss nicht unbedingt bei einer Normalkraft von 0kN erreicht werden. Das Bezugsmoment (für $\mu = 1,0$) ist das Moment, welches sich ergibt, wenn keine Normalkraft auf die Verbindung wirkt.

Es wird jedoch eine lineare Interaktionskurve (Abbildung 5-7) vorgeschlagen, da nicht genau abgegrenzt werden kann, bei welcher Konstellation das Moment größer als das Bezugsmoment ist.

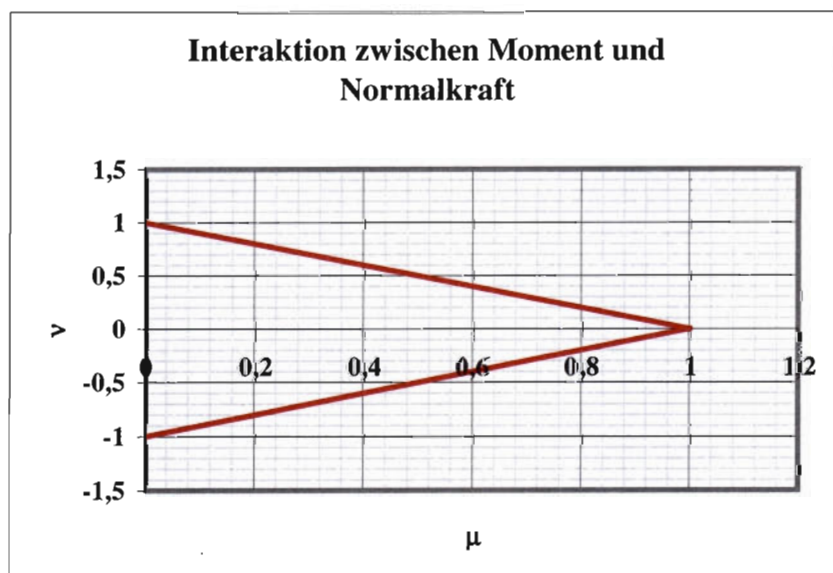


Abbildung 5-7 Vorschlag zur Interaktion zwischen Moment und Normalkraft bei nachgiebigen Verbindungen

Die Interaktion kann mit folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$\frac{N_{Z.Sd}}{N_{Z.j.Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{j.Rd}} = 1 \quad (\text{Gl. 7})$$

für Beanspruchung der Verbindung durch Zugkraft und Moment

$$\frac{|N_{D.Sd}|}{|N_{D.j.Rd}|} + \frac{M_{Sd}}{M_{j.Rd}} = |-1| \quad (\text{Gl. 8})$$

für Beanspruchung der Verbindung durch Druckkraft und Moment.

Die beiden Geradengleichungen stellen auf der sicheren Seite liegende Näherungen dar.

Zur Berechnung der Interaktionskurve bei kombinierter Beanspruchung muß somit erst die Bestimmung der Tragfähigkeiten bei alleiniger Druck-, Zug- und Momentenbeanspruchung durchgeführt werden. Dann kann entweder ausgehend vom angreifenden Moment M_{Sd} die noch aufnehmbare Zug- oder Druckkraft berechnet werden oder umgekehrt.

Folgende Gleichungen können dazu verwendet werden:

für den Zugbereich

$$N_{Sd} = \left(1 - \frac{M_{Sd}}{M_{j.Rd}}\right) \cdot N_{j.Rd} \quad (\text{Gl. 9a und b})$$

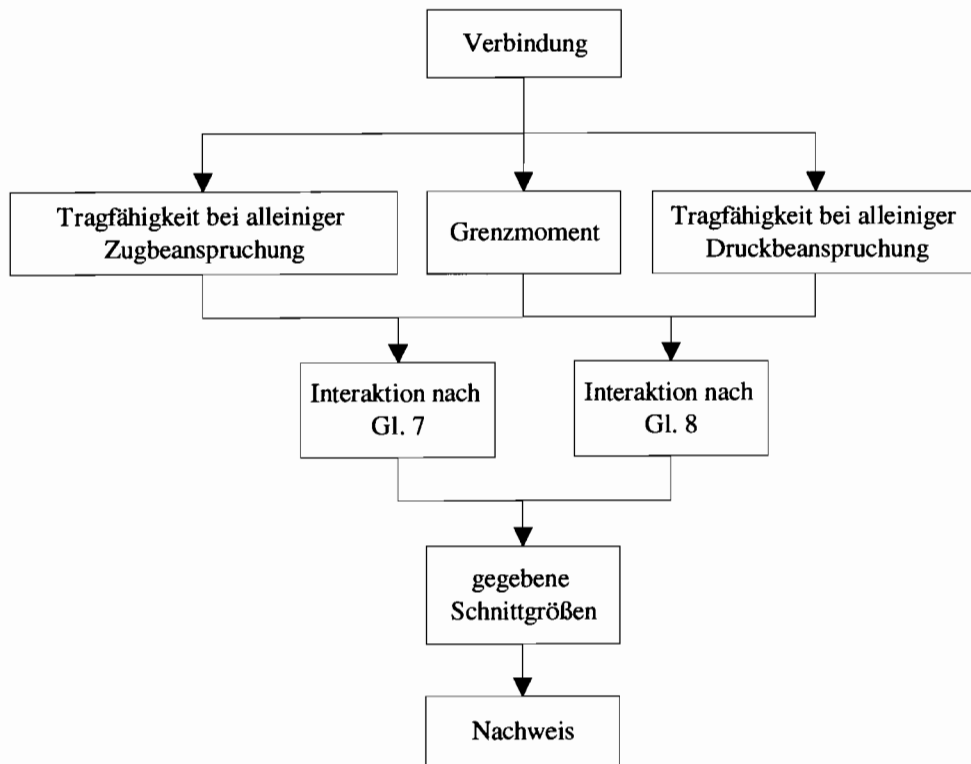
$$M_{Sd} = \left(1 - \frac{N_{Sd}}{N_{j.Rd}}\right) \cdot M_{j.Rd}$$

für den Druckbereich

$$|N_{Sd}| = \left(|-1| - \frac{M_{Sd}}{M_{j.Rd}}\right) \cdot |N_{j.Rd}| \quad (\text{Gl. 10a und b})$$

$$M_{Sd} = \left(|-1| - \frac{|N_{Sd}|}{|N_{j.Rd}|}\right) \cdot M_{j.Rd}$$

Die Abbildung 5-8 zeigt nochmals übersichtlich den allgemeinen Ablauf der Anwendung der Interaktion bei kombinierter Beanspruchung durch Moment und Normalkraft bei nachgiebigen Verbindungen.

**Abbildung 5-8** Interaktion

6 Vergleich der Ergebnisse aus FE-Berechnung, Berechnung nach EC3 und Bemessungsvorschlag

6.1 Vergleich bei Momentenbeanspruchung

Die Verbindungen wurden hinsichtlich ihrer Einordnung in Tragfähigkeit und Steifigkeit ausgewählt. Für die Einordnung ist das Grenzmoment notwendig. Daher waren die Momentenbeanspruchbarkeiten gegeben. Die Verbindungen wurden aus verschiedenen Quellen herausgesucht (siehe Kapitel 2).

Die Grenzmomententragfähigkeiten sind nach den Regeln des EC3, Annex J berechnet.

Beim Vergleich der Ergebnisse für die Momententragfähigkeit zwischen der FE-Berechnung und der Berechnung nach EC3 wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse der EC3-Berechnung geringer bzw. maximal gleich den Ergebnissen der FE-Berechnung sind. Diese Voraussetzung ergibt sich auf der Grundlage, dass die Berechnung des Annex J auf einem Modell, dem Komponentenmodell beruht. Ein Modell ist in seinen Annahmen begrenzt und berücksichtigt nicht alle auftretenden Zusammenhänge bis ins letzte Detail.

Vergleich Momententragfähigkeit		
	Anzahl	%
gesamte Verbindungen	18,0	100,0
FE < EC3	6,0	33,3
Querschnitt		
kompakt	4,0	66,7
schlank	2,0	33,3
nach Tragfähigkeit		
teiltragfähig	2,0	33,3
volltragfähig	3,0	50,0
gelenkig	1,0	16,7
nach Steifigkeit		
biegesteif	5,0	83,3
nachgiebig	1,0	16,7
gelenkig	0,0	0,0

Tabelle 6-1 Vergleich der Momententragfähigkeit

Von den insgesamt 18 untersuchten Verbindungen erfüllen 12 diese Voraussetzung. Das heißt also, dass 6 der Verbindungen hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit durch die Berechnung nach EC3, Annex J überschätzt bzw. durch die FE-Berechnung unterschätzt werden. Hinsichtlich der beiden Verbindungen, welche aus schlanken Querschnitten aufgebaut sind, kann gesagt werden, dass bestimmte Schlankheiten in der Berechnung nach Annex J ausgeschlossen bzw. nicht betrachtet werden. Da die Berechnung der Momententragfähigkeit jedoch nicht Bestandteil des

Projektes ist, soll hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

6.2 Vergleich bei alleiniger Zugbeanspruchung

Die Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbeanspruchung wurde für alle Verbindungen nach Kapitel 5 berechnet. Dabei liegt wiederum das Komponentenmodell zu Grunde. Die Berechnung der Grenzzugkraft einer Verbindung beruht somit auch auf einem Modell. Die FE-Ergebnisse sollten daher wiederum mindestens der „Handrechnung“ entsprechen. Diese Annahme wird von etwa 79% der Verbindungen erfüllt und dies weit besser als bei den Ergebnissen bei alleiniger Momentenbeanspruchung.

Vergleich Zugtragfähigkeit		
	Anzahl	%
gesamte Verbindungen	18,0	100,0
FE < Vorschlag	4,0	22,2
Querschnitt		
kompakt	1,0	25,0
schlank	3,0	75,0
nach Tragfähigkeit		
teiltragfähig	3,0	75,0
volltragfähig	0,0	0,0
gelenkig	1,0	25,0
nach Steifigkeit (Einordnung abhängig von Spannweite)		
biegesteif	3,0	75,0
nachgiebig	3,0	75,0
gelenkig	0,0	0,0

Tabelle 6-2 Vergleich der Zugtragfähigkeit

mögliche Zugfeldausbildung nicht berücksichtigt wurde. Der Vorschlag zur Berechnung der Zugtragfähigkeit liegt gegenüber der FE-Rechnung in der überwiegenden Anzahl der Verbindungen auf der sicheren Seite.

6.3 Vergleich bei alleiniger Druckbeanspruchung

Die Tragfähigkeit der Verbindung bei alleiniger Druckbeanspruchung wird nach Kapitel 5 berechnet. Die Verbindung wurde als Zusammenstellung von Komponenten betrachtet, wobei einige der Komponenten auf der Grundlage des Annex J berechnet werden. Bei der Auswertung wird wiederum davon ausgegangen, dass die FE-Ergebnisse mindestens der vorgeschlagenen Grenztragfähigkeit entsprechen sollten. Diesem Anspruch genügen 83% der

Beim Vergleich der Ergebnisse der Verbindungen, welche diese Voraussetzung nicht erfüllen, kann bemerkt werden, dass es hauptsächlich die Verbindungen mit schlanken Querschnitten sind. Als Begründung könnte hier wiederum die Grundlage, also das Komponentenmodell des Annex J und dessen Ausschluß bestimmter Schlankheiten, angeführt werden.

Die restlichen untersuchten Verbindungen genügen mit ihren Ergebnissen dem Vorschlag, welcher recht konservativ gewählt ist. Mit konservativ ist gemeint, dass beispielsweise eine

gewählten und untersuchten Verbindungen. Bei den herausfallenden Ergebnissen sind auch wieder die Verbindungen mit den schlanken Querschnitten auffällig.

Vergleich Drucktragfähigkeit		
	Anzahl	%
gesamte Verbindungen	18,0	100,0
FE < Vorschlag	3,0	16,7
Querschnitt		
kompakt	1,0	33,3
schlank	2,0	66,7
nach Tragfähigkeit		
teiltragfähig	1,0	33,3
volltragfähig	0,0	0,0
gelenkig	2,0	66,7
nach Steifigkeit		
biegesteif	2,0	66,7
nachgiebig	1,0	33,3
gelenkig	0,0	0,0

Tabelle 6-3 Vergleich der Drucktragfähigkeit

Der Vorschlag zur Berechnung der Drucktragfähigkeit liegt mit der überwiegenden Anzahl der Verbindungen gegenüber der FE-Rechnung auf der sicheren Seite. Das heißt, dass der Vorschlag auf der Grundlage eines Komponentenmodelles die reale Tragfähigkeit unterschätzt.

6.4 Vergleich der Interaktion

Es wurde eine lineare Interaktion zwischen den Schnittgrößen Moment und Normalkraft vorgeschlagen. Dieser Vorschlag liegt qualitativ zu etwa 92% auf der sicheren Seite bzw. stellt eine gute Übereinstimmung dar. In den abweichenden Fällen kann bemerkt werden, dass diese Verbindungen auch hinsichtlich der Grenztragfähigkeiten für Moment, Druck- oder Zugnormalkraft nicht den gestellten Anforderungen genügen. Mit der sicheren Seite ist gemeint, dass die Interaktion zwischen den einzelnen Tragfähigkeiten nicht vollständig ausgenutzt wird. Es ist vielfach der Fall, dass eine Ansatzfunktion höherer Ordnung eine bessere Übereinstimmung hinsichtlich der Interaktionskurve ergeben würde. Allerdings kann keine genaue Abgrenzung festgelegt werden, in welchem Fall die lineare Interaktion oder eine Interaktion höherer Ordnung anzuwenden ist. Daher wurde sich innerhalb dieses Projektes für die lineare Beziehung der Schnittgrößen zueinander entschieden. Ein Vergleich der Interaktionskurven für die einzelnen Verbindungen ist im Anhang F anhand von Diagrammen möglich.

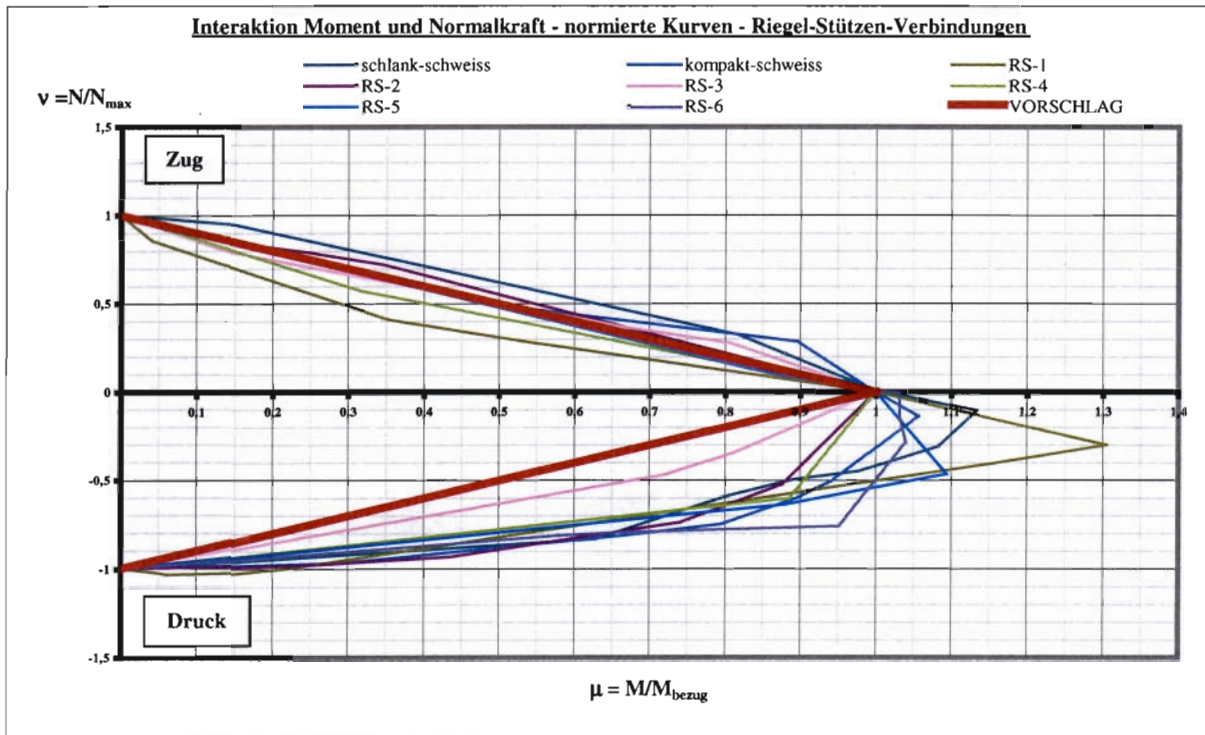


Abbildung 6-1 Normierte Interaktionskurven für Riegel-Stützen-Verbindungen

In diesem Diagramm (Abbildung 6-1) ist ersichtlich, dass für die Riegel-Stützen-Verbindungen durch die lineare Interaktion im positiven Normalkraftbereich teilweise eine Überschätzung vorliegt. Der Vorschlag somit auf der unsicheren Seite liegt. Die beiden Verbindungen RS1 und RS4 jedoch fallen auch wertemässig beim Vergleich der Tragfähigkeiten aus dem Vorschlag heraus.

Für die Interaktion im negativen Normalkraftbereich hingegen liegt die Interaktion in jedem Fall auf der sicheren Seite, es wird eine Unterschätzung der kombinierten Tragfähigkeit in Kauf genommen. Es ist weiterhin ersichtlich, dass im Bereich bis $v = 0,5$ die Momenten Tragfähigkeit $\mu > 1,0$ für einige der Verbindungen ist. Es konnte jedoch keine eindeutige Abgrenzung der Verbindungen entweder hinsichtlich der Querschnitte (schlank/kompakt) oder der Einordnung in Tragfähigkeit (gelenkig, teil- oder volltragfähig) bzw. in Steifigkeit (gelenkig, nachgiebig, biegesteif) festgestellt werden.

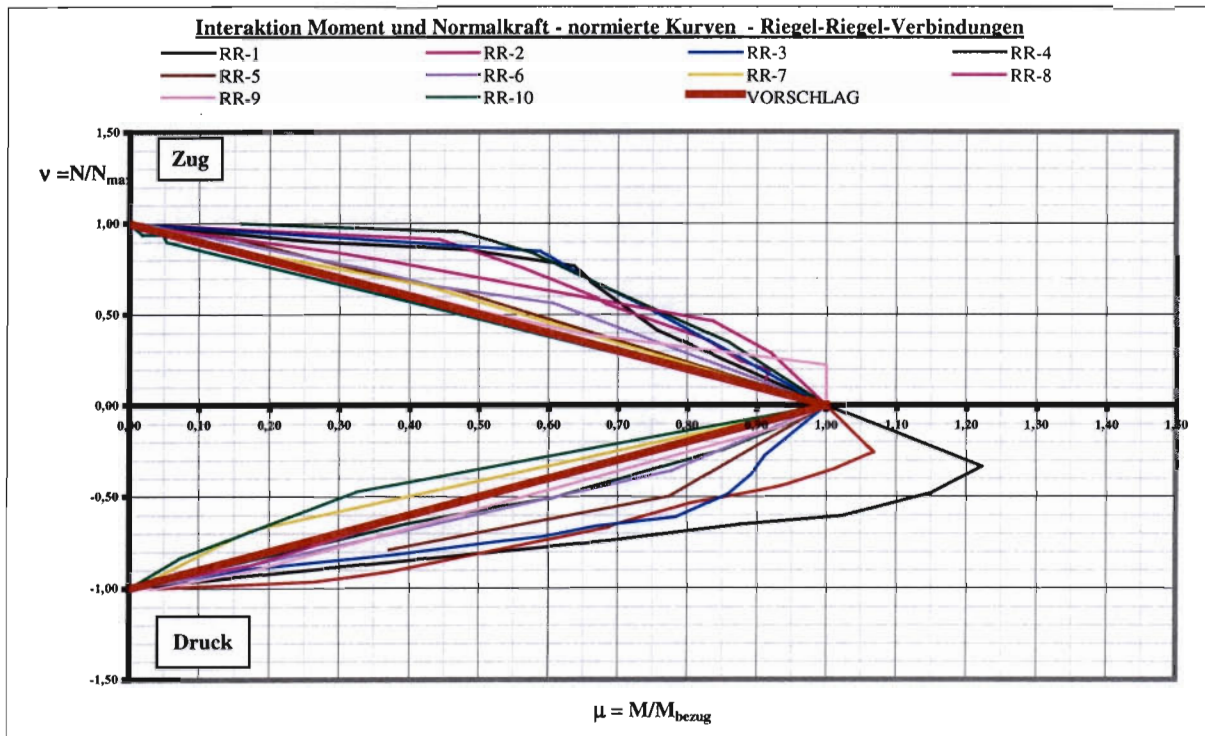


Abbildung 6-2 Normierte Interaktionskurven für Riegel-Riegel-Verbindungen

Das Diagramm (Abbildung 6-2) zeigt für die Riegel-Riegel-Verbindungen eine recht gute Übereinstimmung im qualitativen Verlauf der Interaktionskurven mit der linearen Interaktion im positiven Normalkraftbereich. Teilweise wird die Tragfähigkeit der Verbindungen bei kombinierter Beanspruchung unterschätzt. Der Vorschlag liegt somit auf der sicheren Seite.

Für die Interaktion im negativen Normalkraftbereich liegt die Interaktion bis auf 2 Ausnahmen ebenso auf der sicheren Seite. Es wird auch hier teilweise eine Unterschätzung der kombinierten Tragfähigkeit in Kauf genommen. Es ist auch hier wieder zu sehen, dass im Bereich bis $v = 0,5$ die Momenten Tragfähigkeit $\mu > 1,0$ für einige der Verbindungen ist. Die beiden Verbindungen bestehen aus kompakten Querschnitten. Allerdings zeigen nicht alle Verbindungen aus kompakten Querschnitten dieses Tragverhalten, so dass auf eine Abgrenzung bzw. Erweiterung der Interaktion für diesen Bereich verzichtet wird.

Abschließend wird nochmals darauf aufmerksam gemacht, dass vor allem die Verbindungen, welche den Vorschlägen zur Berechnung der Tragfähigkeit nicht genügten, auch hinsichtlich der Interaktion sich nicht einordneten. Das heißt, von den Verbindungen, deren Interaktionskurven unterhalb der gewählten linearen Interaktionskurve liegen, waren die FE-Ergebnisse im Vergleich zu den Berechnungsvorschlägen nicht zufriedenstellend gewesen.

7 Bewertung und Einschätzung der Ergebnisse, Zusammenfassung

7.1 Bewertung und Einschätzung der Ergebnisse

Es wurden Vorschläge zur Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Beanspruchung durch ein Zug- bzw. Drucknormalkraft sowie der Interaktion bei kombinierter Beanspruchung durch Moment und Normalkraft unterbreitet. Durch FE-Vergleichsrechnungen wurden die Vorschläge weitestgehend untermauert und bestätigt.

Im überwiegend Teil der Berechnungen liegen die Vorschläge auf der sicheren Seite hinsichtlich der Tragfähigkeiten. Die Verbindungen, welche auf der unsicheren Seite liegen, fallen meist einerseits bei den Einzeltragfähigkeit als auch andererseits bei der Interaktion auf und aus den sonst guten Übereinstimmungen heraus. Von diesen Verbindungen ist zu sagen, dass diese zumeist aus schlanken Querschnitten aufgebaut sind. Die Anwendung des Annex J schließt Querschnitte mit hohen Schlankheiten aus. Der EC3, Annex J ist in den meisten Teilen der Vorschläge die Grundlage. Die Ergebnisse, welche also nicht den Anforderungen genügen, werden demnach vor allem auf diese Einschränkung zurückgeführt.

Die Vorschläge genügen für eine relativ schnelle und einfache „Handrechnung“. Es wird einschränkend festgestellt, dass die Ergebnisse recht konservativ sind, also auf der sicheren Seite liegend, jedoch die volle und genaue Tragfähigkeit teilweise unterschätzen. Für eine Erweiterung der Interaktion und Abgrenzung hinsichtlich der Verbindungskonfiguration oder der Querschnitte sind umfangreichere Parameterstudien notwendig.

7.2 Zu „MNCon“

Im Forschungsantrag wurde vorgeschlagen, zum Vergleich Berechnungen mit dem Programm „MNCon“ durchzuführen. Die Anwendung dieses Programms im Vorfeld des Projektes bei anderen, aber ähnlich angelegten Arbeiten hatte die Aufmerksamkeit auf dieses Thema gelenkt.

Es wurden Vergleichsrechnungen mit MNCon durchgeführt. Es ist jedoch einschränkend zu sagen, dass die Ergebnisse nicht als Grundlage für die Auswertung verwendet werden. Der Grund liegt im Programm selbst.

Bei der Projektdurchführung wurde insgesamt mehr Wert darauf gelegt, hinsichtlich der Einordnung der Verbindungen nach Tragfähigkeit und Steifigkeit möglichst viele unterschiedliche Varianten zu finden. Das Programm „MNCon“ bietet aber nicht durchgehend alle Möglichkeiten zur Eingabe der geometrischen Abmessungen der Verbindungen an.

Einige der zu machenden Angaben sind durch das Programm mit verschiedenen Auswahlmöglichkeiten vorgegeben, zum Beispiel der Schraubendurchmesser. Es können Schrauben von M20 bis M27 eingesetzt werden. Es fehlen aber beispielsweise die im Projekt in verschiedenen Verbindungen gewählten Durchmesser M16 und M30.

Wurden durch die Auswahlwerte nicht die bei den Verbindungen gewählten Werte erfasst, dann wurde die nächstliegende Möglichkeit herausgesucht.

Der Vergleich der verschiedenen Ergebnisse aus FE-Rechnung, Programm „MNCon“ und eigenem Bemessungsvorschlag ist in Anhang F enthalten.

Auffällig ist, dass die Berechnungen mit MNCon beim qualitativen Vergleich der Interaktionskurven stark abweichen von den eigenen Bemessungsvorschlägen und der FE-Berechnung. Ein quantitativer Vergleich der Ergebnisse von MNCon mit den anderen Berechnungen wird aus oben beschriebenen Gründen nicht vorgenommen.

7.3 Zusammenfassung

Das Projekt beschäftigt sich mit der Interaktion der Schnittgrößen Moment und Normalkraft bei nachgiebigen Verbindungen. Die bisherige Grundlage, EC3 – Annex J, befasst sich nur mit der Berechnung der Grenzmomententragfähigkeit. Für die Berechnung der Interaktion zwischen den Schnittgrößen bei kombinierter Beanspruchung ist es daher notwendig, die Tragfähigkeit bei alleiniger Beanspruchung der Verbindung durch eine Normalkraft zu berechnen. Dabei wurde unterschieden in Druck- und Zugbeanspruchung. Auf der Grundlage des Komponentenmodells des Annex J werden Vorschläge zur Berechnung der Grenznormalkräfte unterbreitet. Bei der Aufstellung der Interaktionsbeziehung zwischen Moment und Normalkraft stellen dabei das Tragmoment und die beiden Tragfähigkeiten für Zug- und Druckbeanspruchung die Grenzen dar. Die Interaktion gibt Aufschluss darüber, in welchem Verhältnis die Schnittgrößen zueinander stehen, um die Verbindung vollständig zu beanspruchen und auszulasten. Im Projekt wurde dafür eine lineare Beziehung gewählt. Diese stimmt in vielen Fällen qualitativ gut mit den FE-Berechnungen überein bzw. liegt vielfach auf der sicheren Seite. Eine Interaktionsbeziehung mit höherer Ansatzfunktion wurde nicht gewählt, einerseits wegen der schnellen und einfachen Handhabbarkeit und andererseits da es nicht möglich war, die verschiedenen Verbindungen in ihrem Tragverhalten genau und zuverlässig abzugrenzen.

Literatur

- /1/ Eurocode 3 – ENV 1993-1-1: „Design of steel structures Part 1.1: General rules and rules for buildings“, CEN, Brussels, February, 1992
- /2/ Eurocode 3 – New Revised Annex J: Joints in Building Frames, ENV 1993-1-1, 1994
- /3/ Tschemmerneegg, Angerer, Frischhut: „Bemessungshilfen für nachgiebige Stahlknoten mit Stirnplattenanschlüssen“, Stahlbau-Kalender 1999, Kap. 5, S. 457-514, Verlag Ernst&Sohn, 1999
- /4/ Pasternak, H., Schwarzlos, A.: „Bemessung hallenbautypischer Verbindungen“, DASt 03/2001, Stahlbau Verlags- und Service GmbH Düsseldorf, AiF-Projekt, 2001
- /5/ Prof. R. Maquoi, B. Chabrolin: „Frame design including joint behaviour“, Final report, European Communities, Luxembourg, 1998
- /6/ Hünensen, Fritzsche: „Stahlbau in Beispielen“, 4. Auflage, Werner Verlag, 1998
- /7/ DIN 18800-T1 (11.90): „Stahlbauten – Bemessung und Konstruktion“, Berlin, Köln, Beuth Verlag, 1990
- /8/ DIN 18800-T7 (5.83): „Stahlbauten – Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen“, Berlin, Köln, Beuth Verlag, 1983



Prof. Dr.-Ing. habil. H. Pasternak

Dipl.-Ing. A. Schwarzlos
(Bearbeiterin)

A.1 Schweißverbindungen

Es wurden zwei Schweißverbindungen ausgewählt und untersucht. Die Abmessungen sind in den Darstellungen enthalten und sind an ein Beispiel in /6/ angelehnt. Das verwendete Material ist S355. Die Schweißnähte selbst wurden mit $a_s = 3,5\text{mm}$ bzw. 5mm konstruktiv gewählt und nicht nachgewiesen. Sie sind dem jeweiligen anzuschließenden Profil angepasst.

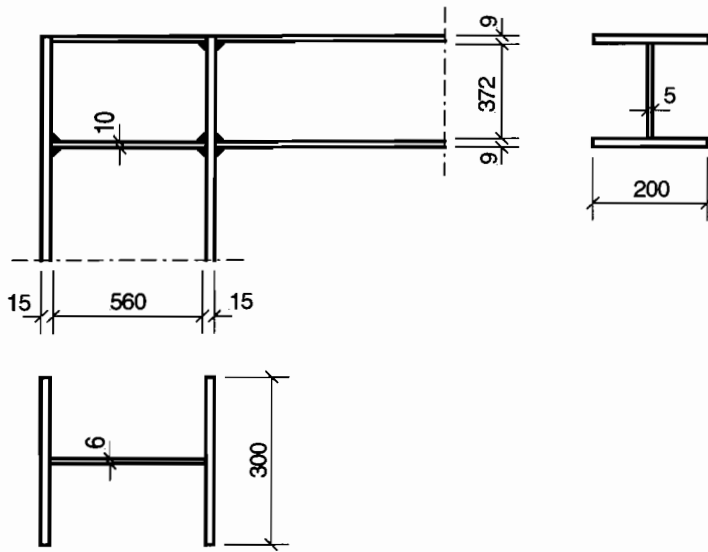


Abbildung A-1 Verbindung Schweiss-schlank

Die Verbindung Schweiss-schlank entspricht der Querschnittsklasse 3. Zur Erhöhung der Tragfähigkeit wurde eine Steife im Druckbereich angeordnet (Abb. A-1).

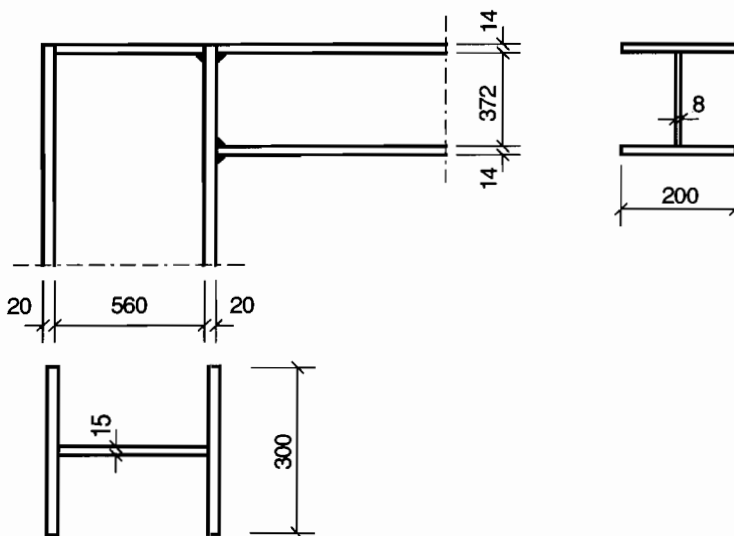


Abbildung A-2 Verbindung Schweiss-kompakt

Die Verbindung Schweiß-kompakt ist analog zur ersten Schweißverbindung aufgebaut. Die Profile entsprechen der Einordnung in Querschnittsklasse 1. Daher konnte auf eine Aussteifung im Druckbereich des Stützensteiges verzichtet werden (Abb. A-2).

A.2 Geschraubte Riegel-Riegel-Verbindungen

Im folgenden sind die 10 Riegel-Riegel-Verbindungen in ihren Konfigurationen dargestellt. Die genauen Abmessungen für die jeweilige Verbindung können der Tabelle A-1 entnommen werden.

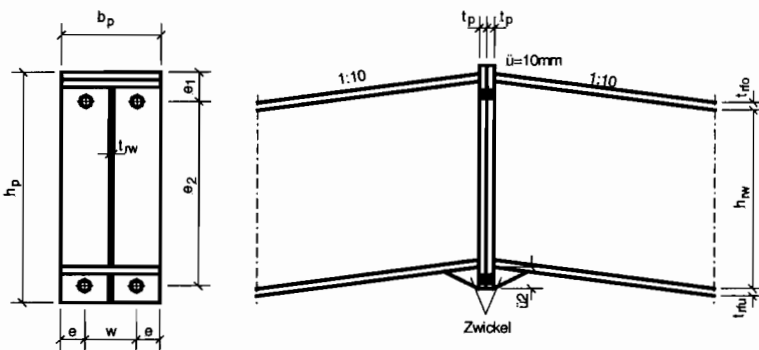


Abbildung A-3 Verbindung RR-1 und RR-2

Die Verbindungen RR-1 und RR-2 unterscheiden sich in den Profildicken und damit bei der Einordnung in die Querschnittsklassen. Verbindung RR-1 entspricht einer Einordnung in Querschnittsklasse 1, RR-2 hingegen entspricht Querschnittsklasse 4 (Abb. A-3).

Beide Verbindungen besitzen Zwickel, welche zur Aussteifung des überstehenden Teils der Kopfplatten dienen.

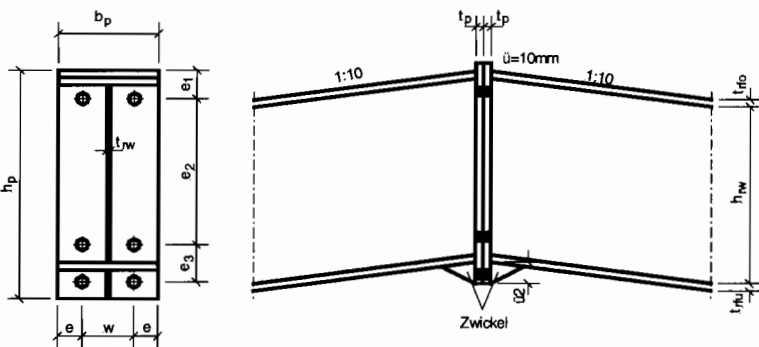


Abbildung A-4 Verbindung RR-3 und RR-4

Die Verbindungen RR-3 und RR-4 sind analog zu RR-1 und RR-2 hinsichtlich der Profildicken konfiguriert (Abb. A-4). RR-3 entspricht wie RR-1 einer Einordnung in Querschnittsklasse 1, RR-4 hingegen wird der Querschnittsklasse 4 zugeordnet. Analog zu den vorhergehenden Verbindungen sind auch hier wieder Zwickel als Aussteifungselemente vorhanden.

Die Verbindungen RR-1 bis RR-4 wurden als sogenannte Firstpunktverbindungen von Hallenrahmen mit einer Riegelneigung von jeweils 10% gestaltet.

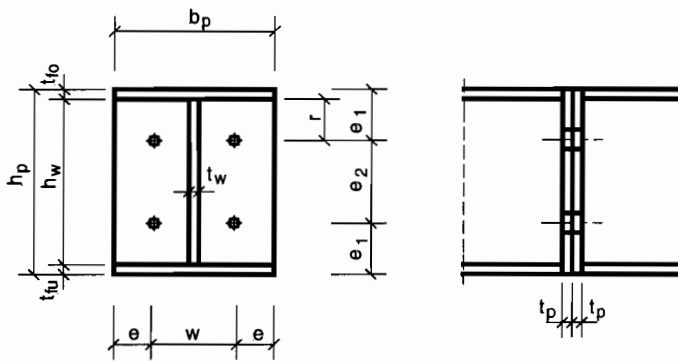


Abbildung A-5 Verbindung RR-5, RR-6 und RR-7

Diese 3 Verbindungen (Abb. A-5) besitzen den gleichen Aufbau. Sie unterscheiden sich grundsätzlich in der Profilgröße der Riegel. Es sind unausgesteifte Verbindungen.

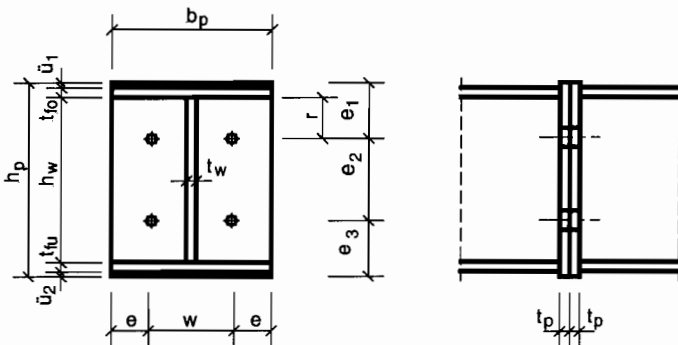


Abbildung A-6 Verbindung RR-8

Die Verbindung RR-8 ist den 3 vorhergehenden Verbindungen ähnlich (Abb. A-6). Hinsichtlich des Aufbaus unterscheidet sich diese Verbindung nur durch die beiden geringen Überstände der Kopfplatten.

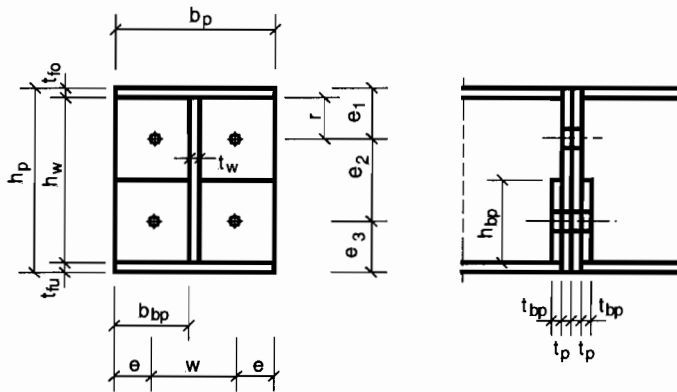


Abbildung A-7 Verbindung RR-9 und RR-10

Die Verbindungen RR-9 und RR-10 kennzeichnen sich dadurch, dass sie mit hinterlegten Blechen (backing plates) ausgestattet sind (Abb. A-7).

Die Verbindung RR-5 bis RR-10 sind ohne Neigung der Riegelprofile modelliert. Es sind Riegel-Riegel-Verbindungen (beam splice), welche beispielsweise im Geschossbau Anwendung finden können.

Verbindung	Kopfplatte			Überstände der Kopfplatte		Riegel						hinterlegte Bleche (backing plates)		
	b_p [mm]	h_p [mm]	t_p [mm]	oben	unten	Flanschbreite oben	Flanschbreite unten	Flanschdicke oben	Flanschdicke unten	Steghöhe	Stegdicke	Breite	Höhe	Dicke
				u_1 [mm]	u_2 [mm]	b_{f0} [mm]	b_{f1} [mm]	t_{f0} [mm]	t_{f1} [mm]	h_w [mm]	t_w [mm]	b_{bp} [mm]	h_{bp} [mm]	t_{bp} [mm]
RR-1	250	710	20	14	130	230	230	17,2	17,2	550	11,1	-	-	-
RR-2	250	710	20	14	130	230	230	8	8	550	5	-	-	-
RR-3	250	710	20	10	100	230	230	17,2	17,2	550	11,1	-	-	-
RR-4	250	710	20	10	100	230	230	8	8	550	5	-	-	-
RR-5	135	270	15	0	0	135	135	10,2	10,2	219	6,6	-	-	-
RR-6	180	400	25	0	0	180	180	13,5	13,5	331	8,6	-	-	-
RR-7	200	500	15	0	0	200	200	16	16	426	10,2	-	-	-
RR-8	200	320	25	10	10	200	200	17	17	270	13	-	-	-
RR-9	200	470	15	0	0	200	200	11	11	448	2	224	98	5
RR-10	200	470	15	0	0	200	200	10	10	450	3	220	98	5

Tabelle A-1 Abmessungen der Riegel-Riegel-Verbindungen

Verbindung	Schrauben	Loch- und Randabstände					Zwickel Maße [mm]	Festigkeiten		Bemerkung	Quelle
		waagrecht		senkrecht				Riegel- profil	Schrauben		
		e [mm]	w [mm]	e ₁ [mm]	e ₂ [mm]	e ₃ [mm]					
RR-1	M24	70	110	70	590	-	200x90x9	S355	10.9	Riegel = IPE 550	
RR-2	M24	70	110	70	590	-	200x90x9	S355	10.9		/3/
RR-3	M24	70	110	70	450	140	200x90x9	S355	10.9	Riegel = IPE 550	
RR-4	M24	70	110	70	450	140	200x90x9	S355	10.9		/3/
RR-5	M16	30	75	55	160	-	-	S235	10.9	Riegel = IPE 270	/1/
RR-6	M24	40	100	65	270	-	-	S235	10.9	Riegel = IPE 400	/1/
RR-7	M16	55	90	60	380	-	-	S235	10.9	Riegel = IPE 500	/1/
RR-8	M30	55,5	89	60	200	-	-	S355	10.9		
RR-9	M16	55,5	89	70	330	-	-	S235	10.9		
RR-10	M20	55,5	89	110	250	-	-	S235	10.9		

Fortsetzung Tabelle A-1 Abmessungen der Riegel-Riegel-Verbindungen

A.3 Geschraubte Riegel-Stützen-Verbindungen

In diesem Abschnitt werden die 6 Riegel-Stützen-Verbindungen in ihrer Gestaltung und ihren Abmessungen gezeigt.

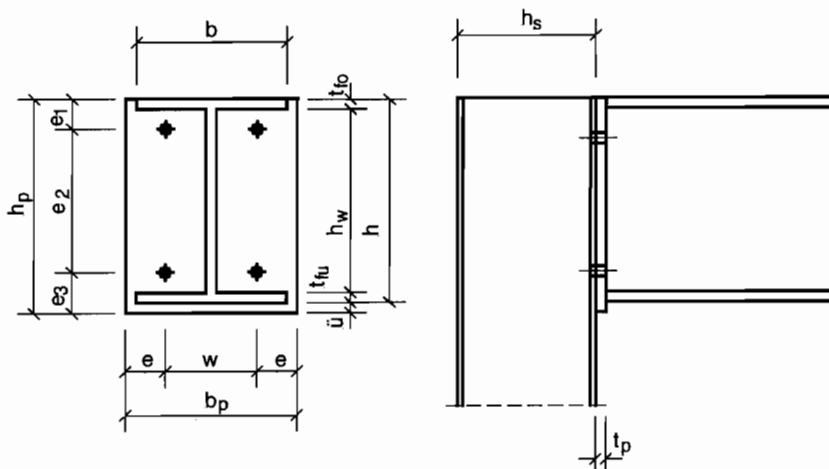


Abbildung A-8 Verbindung RS-1

Die Verbindung RS-1 ist eine Verbindung mit kompakten Querschnitten, das heißt Querschnittsklasse 1 bzw. 2. Die Verbindung ist unausgesteift. Der Riegel wurde ohne Neigung modelliert, so dass diese Verbindungsart im Geschossbau, aber auch im Hallenbau vorkommen kann (Abb. A-8).

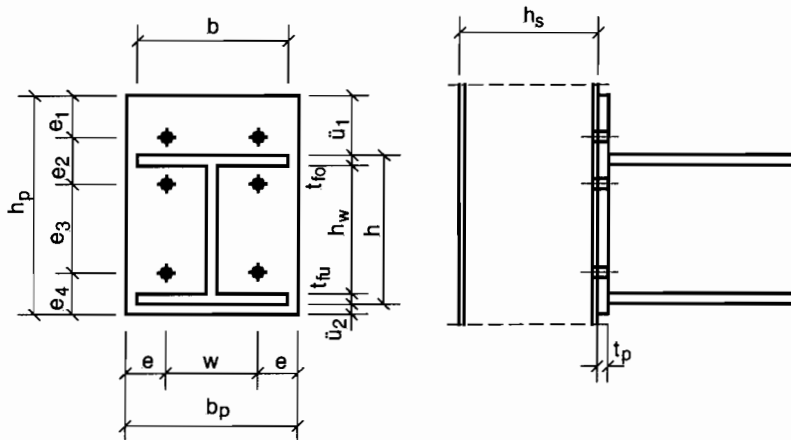


Abbildung A-9 Verbindung RS-2 und RS-3

Die beiden Verbindungen RS-2 und RS-3 sind ebenfalls mit kompakten Profilen ausgebildet (Abb. A-9). Die Verbindungen besitzen eine überstehende Kopfplatte. Im überstehenden Teil der Kopfplatte ist eine Schraubenreihe angeordnet. Diese Art der Riegel-Stützen-Verbindungen findet Anwendung im Geschossbau. Der hauptsächliche Unterschied der beiden Verbindungskonfigurationen liegt in der Größe der Profile von Stütze und Riegel.

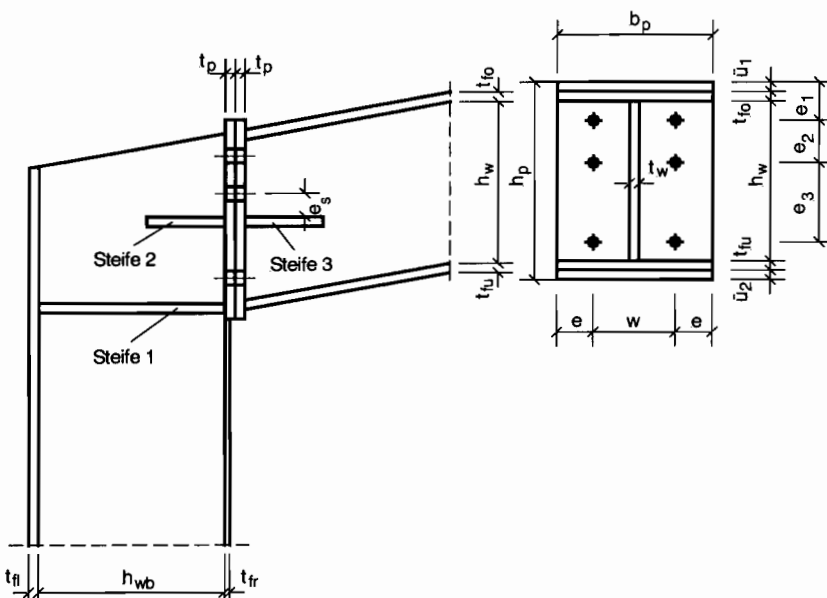


Abbildung A-10 Verbindung RS-4, RS-5 und RS-6

Die Verbindungen RS-4, RS-5 und RS-6 sind mit schlanken Profilen ausgebildet (Abb. A-10). Die Verbindungen sind unterschiedlich ausgesteift. Des weiteren unterscheiden sich die Verbindungen hinsichtlich der Profilabmessungen von Stütze und Riegel. Der Riegel wurde bei diesen Verbindungen mit einer Neigung von 10% modelliert, so dass diese Art der Verbindung hauptsächlich im Hallenbau zu finden ist.

Die genauen Abmessungen der Riegel-Stützen-Verbindungen können der folgenden Tabelle entnommen werden.

Verbindung	Kopfplatte			Überstände der Kopfplatte		Riegel					Stütze				
	b_p	h_p	t_p	oben	unten	Flanschbreite	Flanschdicke oben	Flanschdicke unten	Steghöhe	Stegdicke	Flanschbreite	Flanschdicke links	Flanschdicke rechts	Steghöhe	Stegdicke
				u_1	u_2	$b_{fl,r}$	t_o	t_u	h_w	t_w	$b_{fl,r}$	t_l	t_r	h_s	t_w
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
RS-1	200	530	15	0	30	200	16	16	426	10,2	200	15	15	134	9
RS-2	170	385	15	75	10	150	10,7	10,7	248	7,1	300	22,5	22,5	208	12,5
RS-3	150	305	15	75	10	110	9,2	9,2	177	5,9	300	21,5	21,5	243	12
RS-4	250	590	20	12	12	230	8	8	550	5	250	8	10	600	5
RS-5	250	690	22	11	11	230	8	10	650	6	250	10	12	700	7
RS-6	250	790	22	11	11	250	8	10	750	6,5	250	10	12	800	8

Tabelle A-2 Abmessungen der Riegel-Stützen-Verbindungen

Verbindung	Schrauben	Loch- und Randabstände						Steifen			Festigkeiten		Bemerkung	Quelle
		waagrecht		senkrecht				1 Maße	2 Maße	3 Maße	Riegel- profil	Schrau- ben		
		e [mm]	w [mm]	e ₁ [mm]	e ₂ [mm]	e ₃ [mm]	e ₄ [mm]	[mm]	[mm]	[mm]				
RS-1	M24	40	120	65	370	95	-	-	-	-	S235	10.9	Riegel = IPE 500 Stütze = HEB 200	/2/
RS-2	M16	35	100	35	95	190	-	-	-	-	S235	10.9	Riegel = IPE 300 Stütze = HEB 360	/1/
RS-3	M16	25	100	35	90	120	-	-	-	-	S235	10.9	Riegel = IPE 220 Stütze = HEB 340	/1/
RS-4	M24	70	110	70	120	330	70	600x115x 12	450x115x 12	450x115x 12	S355	10.9		/3/
RS-5	M27	70	110	80	120	410	80	700x115x 15	550x115x 15	550x115x 15	S355	10.9		/3/
RS-6	M27	70	110	80	150	480	-	650x110x 15	-	-	S355	10.9		/3/

Fortsetzung Tabelle A-2 Abmessungen der Riegel-Stützen-Verbindungen

B.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbeanspruchung an einer Riegel-Riegel-Verbindung

Als Grundlage der Beispielrechnung dient die Verbindung RR-5. Die Verbindung ist symmetrisch aufgebaut. Das heißt, die beiden angeschlossenen Riegelquerschnitte sind gleich. Liegt eine Riegel-Riegel-Verbindung mit verschiedenen Riegelquerschnitten vor, so ist die Berechnung entsprechend zu erweitern bzw. der Riegelquerschnitt mit der geringeren Tragfähigkeit zu untersuchen, wenn dies von vornherein feststeht.

Abmessungen der Verbindung RR-5:

Riegel:	Kopfplatte: keine Überstände
S235	S235
$b_o = b_u = 135\text{mm}$	$b_p = 135\text{mm}$
$t_o = t_u = 10,2\text{mm}$	$h_p = 270\text{mm}$
$t_s = 6,6\text{mm}$	$t_p = 15\text{mm}$

Weitere Angaben sind für die Berechnung nicht notwendig.

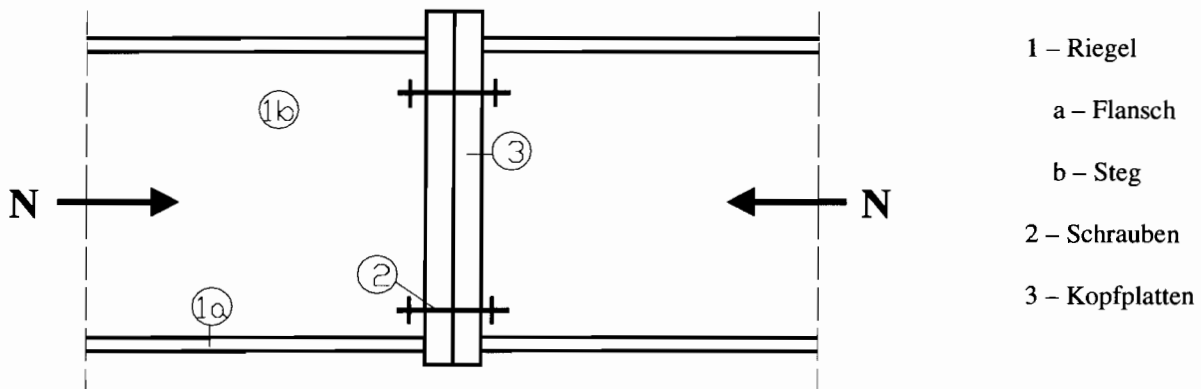


Abbildung B-1 Komponenten einer Riegel-Riegel-Verbindung

Bei Druckbeanspruchung ist die Einordnung der Querschnittsteile in die Querschnittsklassen notwendig, um festzustellen, ob der Querschnittswiderstand durch lokales Beulen beeinflusst wird. Es wurde weiterhin festgelegt, dass der Steg zur Aufnahme und Ableitung der Querkraft dient und daher bei der Berechnung der Tragfähigkeit nicht herangezogen wird. Es wird daher nach Abbildung B-1 nur die Komponente 1a – die beiden Riegelflansche – betrachtet.

Für die Flansche wird das b/t -Verhältnis berechnet und mit den maximalen b/t -Verhältnissen für einseitig gestützte Querschnittsteile unter Druckbeanspruchung verglichen. Im vorliegenden Fall können die Flansche in die Querschnittsklasse 1 eingeordnet werden. Für

die Berechnung der Grenztragkraft kann also die vollständige Riegelflanschfläche verwendet werden.

$$A = A_{fl} = b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u = 27,54 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd,fl} = A \cdot f_{y,d} = 27,54 \text{ cm}^2 \cdot \frac{235 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 588,355 \text{ kN}$$

Die Komponente 2 – die Schrauben – haben keinen Anteil an der Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung.

Die Tragfähigkeit der Kopfplatte als Komponente 3 wird über sogenannte effektive Lastübertragungsflächen berechnet. Diese Flächen ergeben sich, wie im Kapitel 6 ausführlich beschrieben wurde, unter einem Lastausbreitungswinkel von 45° . Dabei ist zu beachten, gerade auch bei dieser Verbindung, ob die berechnete Lastübertragungsfläche durch die Überstände auch zur Verfügung steht. Bei der Festlegung der Fläche werden Walzradien und Schweißnähte, auf der sicheren Seite liegend, vernachlässigt.

$$h_{ef,fl,o} = \min(t_o + 2 \cdot t_p, t_o + t_p + \ddot{u}_o) = 25,2 \text{ mm}$$

$$h_{ef,fl,u} = \min(t_u + 2 \cdot t_p, t_u + t_p + \ddot{u}_u) = 25,2 \text{ mm}$$

$$b_{ef,fl,o} = \min(b_o + 2 \cdot t_p, b_p) = 135 \text{ mm}$$

$$b_{ef,fl,u} = \min(b_u + 2 \cdot t_p, b_p) = 135 \text{ mm}$$

$$A_{ef,1} = h_{ef,fl,o} \cdot b_{ef,fl,o} = 34,02 \text{ cm}^2$$

$$A_{ef,2} = h_{ef,fl,u} \cdot b_{ef,fl,u} = 34,02 \text{ cm}^2$$

$$A_{ef,p} = A_{ef,1} + A_{ef,2} = 68,04 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd,p} = A_{ef,p} \cdot f_{y,d} = 68,04 \text{ cm}^2 \cdot \frac{235 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 1453,582 \text{ kN}$$

Die Grenznormalkraft für die gesamte Verbindung wird durch die geringste vorliegende Einzeltragfähigkeit der Komponenten bestimmt. Erreicht die maßgebende Komponente ihre Tragfähigkeit und versagt, dann versagt die gesamte Verbindung.

$$N_{D,Rd} = \min(N_{Rd,fl}, N_{Rd,p}) = 588,355 \text{ kN}$$

Bei Beanspruchung durch eine Zugkraft ist eine Einordnung in die Querschnittsklassen nicht notwendig, da durch die Zugkraft kein lokales Beulen auftritt. Der Riegel wird wiederum in seine Querschnittsteile Flansche und Steg aufgeteilt. Die Tragfähigkeit für die Flansche ergibt sich wie folgt:

$$\begin{aligned}
 A &= A_{fl} = b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u = 27,54 \text{ cm}^2 \\
 N_{Rd,fl} &= \min(A \cdot f_{y,d}, 0,9 \cdot A \cdot f_{u,d}) \\
 &= \min\left(27,54 \text{ cm}^2 \cdot \frac{235 \text{ N/mm}^2}{1,1}, 0,9 \cdot 27,54 \text{ cm}^2 \cdot \frac{360 \text{ N/mm}^2}{1,1}\right) = 588,355 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Beim Riegelsteg wird davon ausgegangen, dass die Belastung gleichmäßig über den gesamten Riegelsteg angreift. Es entsteht somit eine gleichmäßige und konstante Dehnungs- und Spannungsverteilung im Riegelsteg. Um eine Interaktion zwischen Querkraft und Normalkraft zu vermeiden, wird bei der Berechnung allerdings nur die halbe Höhe des Riegelsteges angesetzt. Die Vereinbarung stützt sich auf der Festlegung in /1/, Abschnitt 5.4.6. Hierin wird gesagt, dass eine Abminderung der Tragfähigkeiten eines Querschnittes bei kombinierter Beanspruchung erst notwendig wird, wenn die angreifende Querkraft mindestens so groß ist wie die aufnehmbare Querkraft.

$$\begin{aligned}
 F_{t,wb,Rd} &= \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} = \frac{h_s / 2 \cdot t_s \cdot f_{y,k}}{1,1} \\
 &= \frac{219 \text{ mm} / 2 \cdot 6,6 \text{ mm} \cdot 235 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 154,395 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Die Komponenten 2 und 3 bilden zusammen das Tragmodell „T-Stoß“ innerhalb einer Verbindung. Grundlage der Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbeanspruchung ist die Bestimmung der effektiven Längen der in der Verbindung vorhandenen T-Stöße. Dazu werden die Tabellen J.6 – J.8 des Annex J, je nach Verbindungskonfiguration, genutzt. Für die Berechnung dieser Verbindung ist weiterhin noch das Diagramm auf Seite 44 des /2/ nötig. Hier wird der entsprechende α -Wert abgelesen.

Es ergeben sich für die ausgewählte Beispielverbindung folgende effektive Längen:

	Individuelles Versagen		Gruppenversagen	
Modus 1	$l_{eff.1.1} = 156,987mm$ $l_{eff.1.2} = 156,987mm$	Reihe 1 Reihe 2	$l_{eff.g.1} = 316,987mm$	Gruppe aus Reihe 1 und Reihe 2
Modus 2	$l_{eff.2.1} = 156,987mm$ $l_{eff.2.2} = 156,987mm$	Reihe 1 Reihe 2	$l_{eff.g.2} = 316,987mm$	Gruppe aus Reihe 1 und Reihe 2

Es werden für die einzelnen T-Stöße der Verbindung die 3 Versagensmechanismen untersucht. Für Modus 1 – Fließen der Kopfplatte – und Modus 2 – kombiniertes Versagen von Kopfplatte und Schraube – ist jeweils das entsprechende plastische Moment zu berechnen. Bei Modus 3 – Schraubenversagen – wird nur die Zugkraft aus den Grenzzugkräften der vorhandenen Schrauben errechnet. Die kleinste Kraft aus den 3 Versagensmodi bestimmt die Tragkraft des T-Stoßes.

Im Gegensatz zur Berechnung der Grenzmomententragfähigkeit werden keine Gleichgewichtsbedingungen für die einzelnen Schraubenreihen aufgestellt.

$$\begin{aligned}
 F_{T.1} &= 186,747kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 1} \\
 F_{T.2} &= 186,747kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 2} \\
 F_{T.g} &= 374,854kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 1 und 2}
 \end{aligned}$$

$$F_{TStub} = \min(F_{T.1} + F_{T.2}; F_{T.g}) = \min(373,494kN; 374,854kN) = 373,494kN$$

Die Tragfähigkeiten der T-Stöße aus individuellem Versagen werden zusammengefasst und addiert und dann der Tragfähigkeit des T-Stoßes aus Gruppenversagen gegenübergestellt.

Die Grenzzugkraft für die gesamte Verbindung wird durch die geringste vorliegende Einzeltragfähigkeit der Komponenten bestimmt. Erreicht die maßgebende Komponente ihre Tragfähigkeit und versagt, dann versagt die gesamte Verbindung.

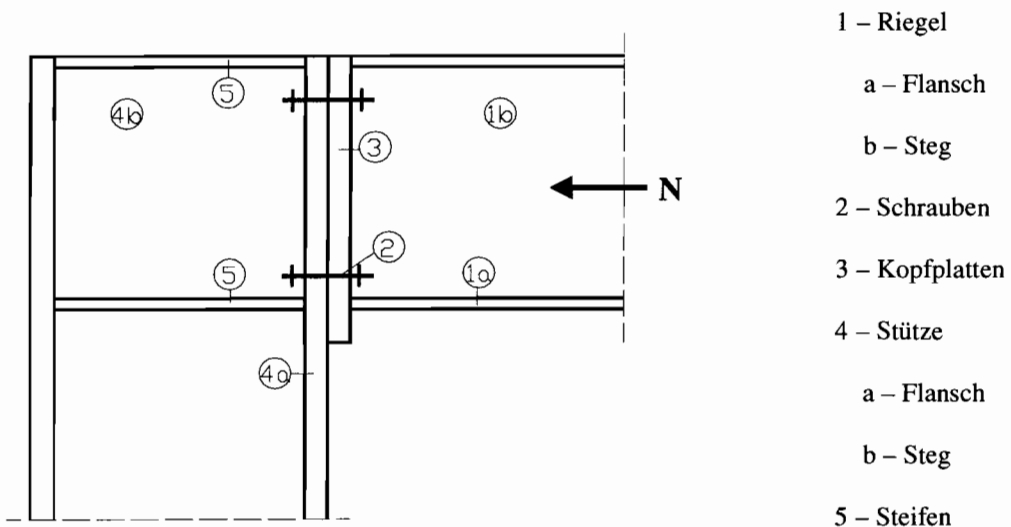
$$N_{Z.Rd} = \min(N_{Rd.fl}, F_{t.wb.Rd}, F_{TStub}) = 154,395kN$$

D.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Druckbeanspruchung an einer Riegel-Stützen-Verbindung

Als Grundlage der Beispielrechnung dient die Verbindung RS-5. Die Verbindung ist aus schlanken Profilen aufgebaut. Die Bemessung des Riegelquerschnittes wird analog zu Abschnitt 5.1.1.2 und Anhang B durchgeführt.

Abmessungen der Verbindung RS-5:

Riegel:	Kopfplatte:	Stütze:	Steifen:
S355	S355	S355	S355
$b_o = b_u = 230\text{mm}$	$b_p = 250\text{mm}$	$h_s = 700\text{mm}$	$b_{st.1} = 230\text{mm}$
$t_o = 8\text{mm}$	$h_p = 690\text{mm}$	$t_s = 7\text{mm}$	$t_{st.1} = 15\text{mm}$
$t_u = 10\text{mm}$	$t_p = 22\text{mm}$	$b_{c.fl} = 250\text{mm}$	$b_{st.1}$ ist die Summe der beiden Einzelbreiten
	$\ddot{u} = 11\text{mm}$	$t_{c.fl} = 12\text{mm}$	



- 1 – Riegel
 - a – Flansch
 - b – Steg
- 2 – Schrauben
- 3 – Kopfplatten
- 4 – Stütze
 - a – Flansch
 - b – Steg
- 5 – Steifen

Abbildung D-1 Komponenten einer Riegel-Stützen-Verbindung

Zuerst wird die Einordnung in die Querschnittsklassen vorgenommen. Das Bauteil Riegel wird in die 2 Komponenten Flansch und Steg aufgeteilt. Im vorliegenden Fall sind die beiden Riegelflansche mit verschiedenen Stärken. Dies schlägt sich in der Einordnung der Querschnittsklassen nieder. Der obere und dünnere Flansch wird aufgrund seiner Schlankheit der Querschnittsklasse 4 zugeordnet. Das heißt, der obere Flansch kann durch lokales Beulen unter Druckbeanspruchung geschwächt werden. Der untere Flansch wurde aufgrund der anzunehmenden Momentenbeanspruchung und damit größerer Druckbeanspruchung stärker ausgebildet. Damit kann dieser Flansch in Querschnittsklasse 3 eingeordnet werden. Der

Abminderungsfaktor für die wirksamen Querschnittswerte des Flansches der Querschnittsklasse 4 wird nach /1/, Abschnitt 5.3.5 berechnet. Die aufnehmbare Normalkraft für die beiden Flansche berechnet sich daher wie folgt:

$$\rho = 0,852$$

$$b_{ef,o} = \rho \cdot b_o = 0,852 \cdot 230\text{mm} = 195,88\text{mm}$$

$$A_{fl} = b_{ef,o} \cdot t_o + b_u \cdot t_u = 195,88\text{mm} \cdot 8\text{mm} + 230\text{mm} \cdot 10\text{mm} = 38,67\text{cm}^2$$

$$N_{Rd,fl} = A_{fl} \cdot f_{y,d} = 38,67\text{cm}^2 \cdot \frac{355\text{N/mm}^2}{1,1} = 1247,997\text{kN}$$

Es wurde weiterhin festgelegt, dass der Steg zur Aufnahme und Ableitung der Querkraft dient und daher bei der Berechnung der Tragfähigkeit nicht herangezogen wird. Es wird daher nach Abbildung D-1 nur die Komponente 1a – die beiden Riegelflansche – betrachtet.

Die Schrauben haben keinen Anteil an der Tragfähigkeit bei Druckbeanspruchung.

Die Tragfähigkeit der Komponente 3 – die Kopfplatte – wird über die effektiven Lastübertragungsflächen berechnet. Diese Flächen ergeben sich unter einem Lastausbreitungswinkel von 45°. Die Walzradien und Schweißnähte werden bei der Berechnung der Fläche vernachlässigt. Dabei ist zu beachten, ob die berechnete Lastübertragungsfläche durch die Überstände auch zur Verfügung steht.

$$h_{ef,fl,o} = \min(t_o + 2 \cdot t_p, t_o + t_p + \ddot{u}_o) = 41\text{mm}$$

$$h_{ef,fl,u} = \min(t_u + 2 \cdot t_p, t_u + t_p + \ddot{u}_u) = 43\text{mm}$$

$$b_{ef,fl,o} = \min(b_o + 2 \cdot t_p, b_p, b_{ef,o}) = 195,879\text{mm}$$

$$b_{ef,fl,u} = \min(b_u + 2 \cdot t_p, b_p) = 250\text{mm}$$

$$A_{ef,1} = h_{ef,fl,o} \cdot b_{ef,fl,o} = 80,311\text{cm}^2$$

$$A_{ef,2} = h_{ef,fl,u} \cdot b_{ef,fl,u} = 107,5\text{cm}^2$$

$$A_{ef,p} = A_{ef,1} + A_{ef,2} = 187,811\text{cm}^2$$

$$N_{Rd,p} = A_{ef,p} \cdot f_{y,d} = 187,811\text{cm}^2 \cdot \frac{355\text{N/mm}^2}{1,1} = 6061,157\text{kN}$$

Die Steifen 2 und 3 der Verbindung (siehe auch Anhang A) haben bei der Berechnung der Gesamttragfähigkeit keine eigene Tragfähigkeit. Die Steife 1 hingegen kann als Fortsetzung des unteren Riegelflansches betrachtet werden. Daher wird diese Steife bei der

Druckbeanspruchung belastet und ihr Widerstand aktiviert. Die Komponente Steife wird wie ein Riegelflansch betrachtet und berechnet.

$$A_{st} = b_{st.1} \cdot t_{st.1} = 230\text{mm} \cdot 15\text{mm} = 34,5\text{cm}^2$$

$$N_{Rd.st} = A_{st} \cdot f_{y.d} = 34,5\text{cm}^2 \cdot \frac{355\text{N/mm}^2}{1,1} = 1113,409\text{kN}$$

Das Bauteil Stütze splittet sich wie der Riegel in die beiden Komponenten Steg und Flansche. Da die Druckbeanspruchung über die gesamte Verbindungshöhe angreift und der Stützensteg nur in einem Bereich gegen Druck ausgesteift ist, wird die Komponente Stützensteg untersucht. Der Steg wird analog zum Eurocode 3, Annex J berechnet. Der Stützensteg ist im unteren Bereich durch die Steife gestützt, daher wird der obere Bereich des Stützensteges der maßgebende sein. Es wird daher angenommen, dass die Druckbeanspruchung vom oberen Riegelflansch auf die Kopfplatte und den Stützenflansch übertragen wird und in diesem Bereich in den Stützensteg eingeleitet wird.

$$b_{eff} = t_o + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a_s + 5 \cdot (s + t_{c.fl}) + t_{c.fl} + t_p$$

$$b_{eff} = 8\text{mm} + 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 3\text{mm} + 5 \cdot (\sqrt{2} \cdot 3\text{mm} + 12\text{mm}) + 12\text{mm} + 22\text{mm} = 131,698\text{mm}$$

Für den Reduktionsfaktor für Schub ω wird die Schubfläche des Stützensteges benötigt. Dafür wird die in der Abbildung D-2 schraffierte Fläche eingesetzt.

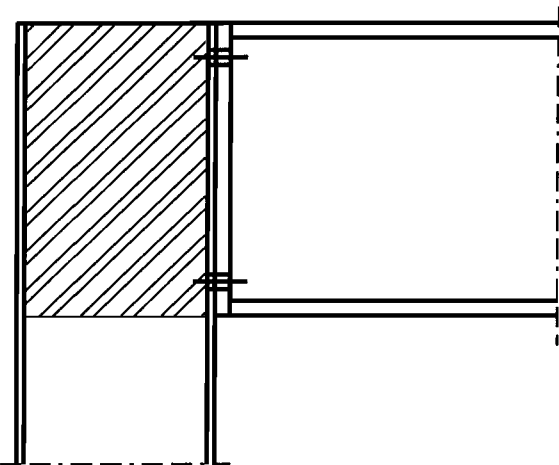


Abbildung D-2 Schubfläche des Stützensteges

$$A_{vc} = h_s \cdot t_s$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(\frac{b_{eff} \cdot t_s}{A_{vc}} \right)^2}} = 0,978$$

Der Reduktionsfaktor für das Plattenbeulen ist wiederum von der Schlankheit abhängig.

$$\lambda = 0,932 \cdot \sqrt{\frac{b_{eff} \cdot h_s \cdot f_{y.d}}{E \cdot t_s^2}} = 1,724 \geq 0,673$$

$$\rho = \frac{\lambda - 0,22}{\lambda^2} = 0,50$$

Es ergibt sich für den Stützensteg eine Tragfähigkeit von:

$$F_{c.wc.Rd} = \omega \cdot \rho \cdot b_{eff} \cdot t_s \cdot f_{y.d} = 0,978 \cdot 0,522 \cdot 131,698 \text{mm} \cdot 7 \text{mm} \cdot \frac{355 \text{N/mm}^2}{1,1} = 151,888 \text{kN}$$

Der Stützenflansch wird analog zur Kopfplatte berechnet. Allerdings enthält die Lastübertragungsfläche nur den unteren Bereich, da nur hier eine Steife angeordnet ist.

$$h_{ef.st.o} = 0 \text{mm}$$

$$h_{ef.st.u} = \min(t_{st.1} + 2 \cdot t_{c.fl}, t_{st.u} + t_{c.fl} + \ddot{u}_u) = 38 \text{mm}$$

$$b_{ef.st.o} = 0 \text{mm}$$

$$b_{ef.st.u} = \min(b_{st.1} + 2 \cdot t_{c.fl}, b_p) = 250 \text{mm}$$

$$A_{ef.st.1} = h_{ef.st.o} \cdot b_{ef.st.o} = 0 \text{cm}^2$$

$$A_{ef.st.2} = h_{ef.st.u} \cdot b_{ef.st.u} = 95 \text{cm}^2$$

$$A_{ef.st.p} = A_{ef.st.1} + A_{ef.st.2} = 95 \text{cm}^2$$

$$N_{Rd.cp} = A_{ef.st.p} \cdot f_{y.d} = 95 \text{cm}^2 \cdot \frac{355 \text{N/mm}^2}{1,1} = 3065,909 \text{kN}$$

Die Grenznormalkraft für die gesamte Verbindung wird durch die geringste vorliegende Einzeltragfähigkeit der Komponenten bestimmt. Erreicht die maßgebende Komponente ihre Tragfähigkeit und versagt, dann versagt die gesamte Verbindung.

$$N_{D.Rd} = \min(N_{Rd.fl}, N_{Rd.p}, F_{c.wc.Rd}, N_{Rd.cp}, N_{Rd.st}) = 151,853 \text{kN}$$

E.1 Beispiel für eine Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbeanspruchung an einer Riegel-Stützen-Verbindung

Als Grundlage der Beispielrechnung dient wiederum die Verbindung RS-5.

Abmessungen der Verbindung RS-5:

Riegel:	Kopfplatte:	Stütze:	Steifen:
S355	S355	S355	S355
$b_o = b_u = 230\text{mm}$	$b_p = 250\text{mm}$	$h_s = 700\text{mm}$	$b_{st.1} = 230\text{mm}$
$t_o = 8\text{mm}$	$h_p = 690\text{mm}$	$t_s = 7\text{mm}$	$t_{st.1} = 15\text{mm}$
$t_u = 10\text{mm}$	$t_p = 22\text{mm}$	$b_{c.fl} = 250\text{mm}$	$b_{st.1}$ ist die Summe der
$h_s = 650\text{mm}$	$\ddot{u} = 11\text{mm}$	$t_{c.fl} = 12\text{mm}$	beiden Einzelbreiten

Schraubenabstände:	Schrauben
$w = 110\text{mm}$	$M27 - 10.9$
$e = 70\text{mm}$	$A_{sp} = 4,59\text{cm}^2$
$r = 50\text{mm}$	
$e_2 = 120\text{mm}$	

Die Schweißnaht zum Anschluss des Riegelquerschnittes an die Kopfplatte wird mit 3mm Nahtdicke angenommen.

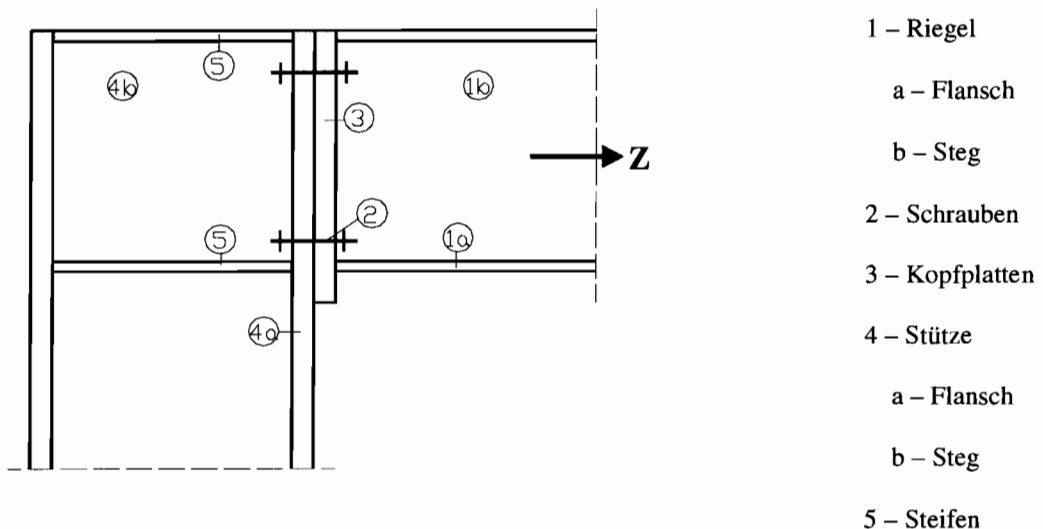


Abbildung E-1 Komponenten einer Riegel-Stützen-Verbindung

Die Einordnung in die Querschnittsklassen ist nicht notwendig, da durch die Zugkraft kein lokales Beulen auftritt. Der Riegel wird wiederum in seine Querschnittsteile Flansche und Steg aufgeteilt. Die Tragfähigkeit für die Flansche ergibt sich wie folgt:

$$A = A_{fl} = b_o \cdot t_o + b_u \cdot t_u = 41,4 \text{ cm}^2$$

$$N_{Rd,fl} = \min(A \cdot f_{y,d}, 0,9 \cdot A \cdot f_{u,d})$$

$$= \min(41,4 \text{ cm}^2 \cdot \frac{355 \text{ N/mm}^2}{1,1}, 0,9 \cdot 41,4 \text{ cm}^2 \cdot \frac{510 \text{ N/mm}^2}{1,1}) = 1336,091 \text{ kN}$$

Der Riegelsteg wird wie bei den Riegel-Riegel-Verbindungen berechnet.

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} = \frac{h_s / 2 \cdot t_s \cdot f_{y,k}}{1,1} = \frac{650 \text{ mm} / 2 \cdot 6 \text{ mm} \cdot 355 \text{ N/mm}^2}{1,1} = 629,318 \text{ kN}$$

Die Komponenten 2 und 3 bilden zusammen das Tragmodell „T-Stoß“ (riegelseitig) innerhalb einer Verbindung. Die Komponenten 2 und 4a bilden ebenso das Tragmodell „T-Stoß“ (stützenseitig). Die Bestimmung der effektiven Längen der T-Stöße ist die Grundlage für die Berechnung der Tragfähigkeit bei alleiniger Zugbeanspruchung. Es werden wieder die Tabellen J.6 – J.8 des Annex J sowie das Diagramm auf Seite 44 des /2/ genutzt. Es ergeben sich folgende effektive Längen:

	Individuelles Versagen		Gruppenversagen	
Riegelseitige T-Stöße				
Modus 1	$l_{eff.1.1} = 305,4 \text{ mm}$ $l_{eff.1.2} = 281,924 \text{ mm}$ $l_{eff.1.3} = 281,924 \text{ mm}$	Reihe 1 Reihe 2 Reihe 3	$l_{eff.g.1} = 350,116 \text{ mm}$	Gruppe aus Reihe 1 und Reihe 2
Modus 2	$l_{eff.2.1} = 311,078 \text{ mm}$ $l_{eff.2.2} = 281,924 \text{ mm}$ $l_{eff.2.3} = 281,924 \text{ mm}$	Reihe 1 Reihe 2 Reihe 3	$l_{eff.g.2} = 350,116 \text{ mm}$	Gruppe aus Reihe 1 und Reihe 2
Stützenseitige T-Stöße				
Modus 1	$l_{eff.1.1} = 295,851 \text{ mm}$ $l_{eff.1.2} = 279,924 \text{ mm}$ $l_{eff.1.3} = 279,924 \text{ mm}$	Reihe 1 Reihe 2 Reihe 3	$l_{eff.g.1} = 335,889$	Gruppe aus Reihe 1 und Reihe 2
Modus 2	$l_{eff.2.1} = 295,851 \text{ mm}$ $l_{eff.2.2} = 279,924 \text{ mm}$ $l_{eff.2.3} = 279,924 \text{ mm}$	Reihe 1 Reihe 2 Reihe 3	$l_{eff.g.2} = 335,889 \text{ mm}$	Gruppe aus Reihe 1 und Reihe 2

Für die einzelnen T-Stöße der Verbindung werden die 3 Versagensmechanismen untersucht. Für Modus 1 und Modus 2 ist jeweils das entsprechende plastische Moment des Querschnittes zu berechnen. Für Modus 3 wird nur die Zugkraft aus den Grenzzugkräften der vorhandenen Schrauben errechnet. Die maßgebende Kraft des T-Stoßes ist kleinste Kraft aus den 3 Versagensmechanismen.

Wie bei den Riegel-Riegel-Verbindungen werden keine Gleichgewichtsbedingungen für die einzelnen Schraubenreihen aufgestellt.

Für die riegelseitigen T-Stöße ergeben sich folgende Kräfte:

$$\begin{aligned}
 F_{T.1} &= 589,35kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 1} \\
 F_{T.2} &= 568,531kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 2} \\
 F_{T.3} &= 568,531kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 3} \\
 F_{T.g} &= 984,428kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 1 und 2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{Tstüb.r} &= \min(F_{T.1} + F_{T.2} + F_{T.3}; F_{T.g} + F_{T.3}) \\
 &= \min(1726,412kN; 1552,958kN) = 1552,958kN
 \end{aligned}$$

und für die stützenseitigen T-Stöße:

$$\begin{aligned}
 F_{T.1} &= 285,806kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 1} \\
 F_{T.2} &= 270,42kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 2} \\
 F_{T.3} &= 270,42kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 3} \\
 F_{T.g} &= 324,485kN && \text{für T - Stoß aus Reihe 1 und 2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{Tstüb.s} &= \min(F_{T.1} + F_{T.2} + F_{T.3}; F_{T.g} + F_{T.3}) \\
 &= \min(826,646kN; 594,905kN) = 594,905kN
 \end{aligned}$$

Die Tragfähigkeiten der T-Stöße aus individuellem Versagen werden addiert und dann der Summe der Tragfähigkeit des T-Stoßes aus Gruppenversagen und der Einzelreihe 3 gegenübergestellt.

Die Komponente 4b – der Stützensteg wird mit Gleichung J.23 des Annex J berechnet. Als Höhe des Stützensteges wird die Höhe der Kopfplatte eingesetzt. Dies entspricht der Höhe der Verbindungskonfiguration. Der Reduktionsfaktor w berücksichtigt mögliche Schubeffekte und wird angesetzt, da eine Interaktion mit der Querkraft möglich, aber in den Berechnungen nicht explizit enthalten ist.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3 \cdot \left(b_{eff} \cdot \frac{t_{s,w}}{A_{vc}} \right)^2}} = 0,659$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega \cdot b_{eff} \cdot t_{s,w} \cdot f_{yd} = 0,659 \cdot 690\text{mm} \cdot 6\text{mm} \cdot \frac{355\text{N/mm}^2}{1,1} = 1027,824\text{kN}$$

Die Komponente 5 – die Steifen – werden wie die Komponente „Riegelflansch“ betrachtet.

$$A_{st} = b_{st} \cdot t_{st} = 69\text{cm}^2$$

$$F_{st,Rd} = \min(A_{st} \cdot f_{y,d}, 0,9 \cdot A_{st} \cdot f_{u,d})$$

$$= \min\left(69\text{cm}^2 \cdot \frac{355\text{N/mm}^2}{1,1}, 0,9 \cdot 69\text{cm}^2 \cdot \frac{510\text{N/mm}^2}{1,1}\right) = 2226,818\text{kN}$$

Die Grenzzugkraft für die gesamte Verbindung wird durch die geringste vorliegende Einzeltragfähigkeit der Komponenten bestimmt. Wenn die maßgebende Komponente ihre Tragfähigkeit erreicht, dann versagt die gesamte Verbindung.

$$N_{z,Rd} = \min(N_{Rd,fl}, F_{TStub,r}, F_{TStub,s}, F_{t,wc,Rd}, F_{st,Rd}, F_{t,wb,Rd}) = 594,905\text{kN}$$

F.1 Diagramme zum Vergleich der Ergebnisse aus den verschiedenen Berechnungen

Die Verbindungen wurden mit dem Programm „MNCon“ und mittels der Finiten-Elemente-Methode berechnet. Der Bemessungsvorschlag orientiert sich am Komponentenmodell des EC3, Annex J.

Die Schweißverbindungen können nicht mit MNCon berechnet werden, diese Verbindungskonfiguration ist im Programm nicht enthalten.

Die Interaktionskurven wurden einerseits qualitativ, also dem Verlauf nach, und andererseits quantitativ, den genauen Ergebniswerten nach, in Diagrammen ausgewertet.

Anhand der quantitativen Interaktionskurven ist ersichtlich, ob die Vorschläge zur Bemessung und Interaktion gegenüber der FE-Berechnung auf der sicheren Seite liegen oder nicht, wenn nicht, dann in welchem Bereich eine Überschätzung der Tragfähigkeit vorliegt.

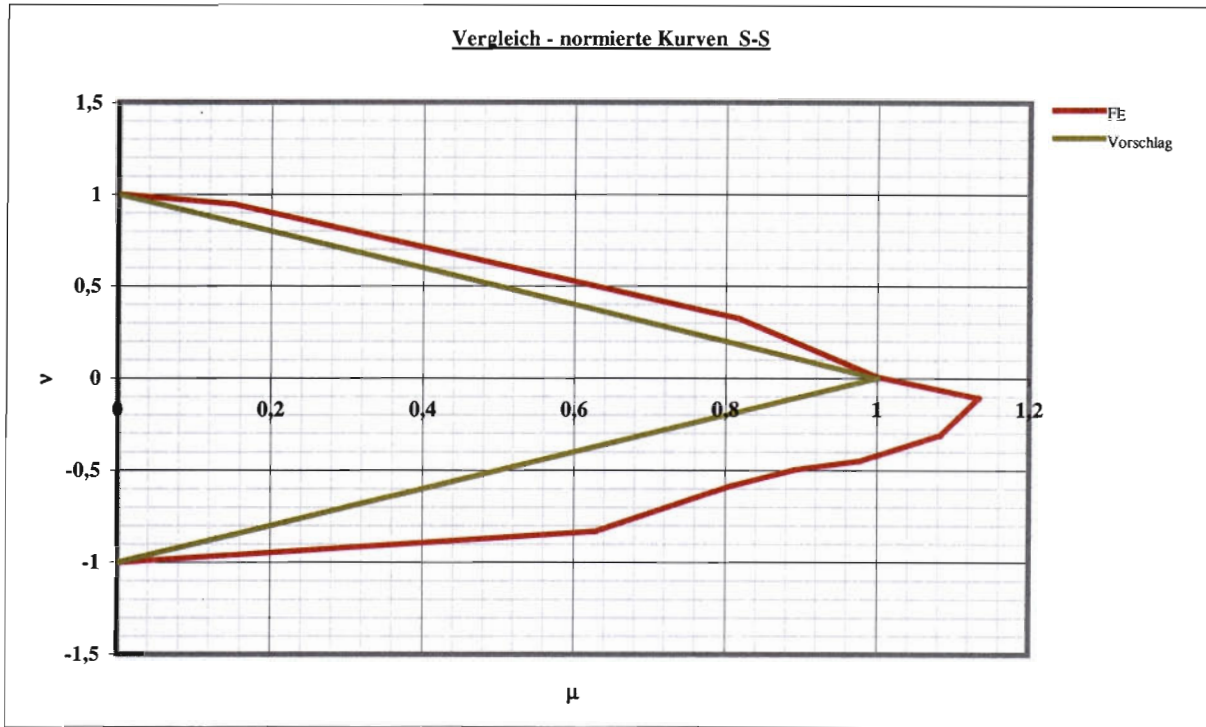


Abbildung F-1 Normierte Interaktionskurven Verbindung s-s

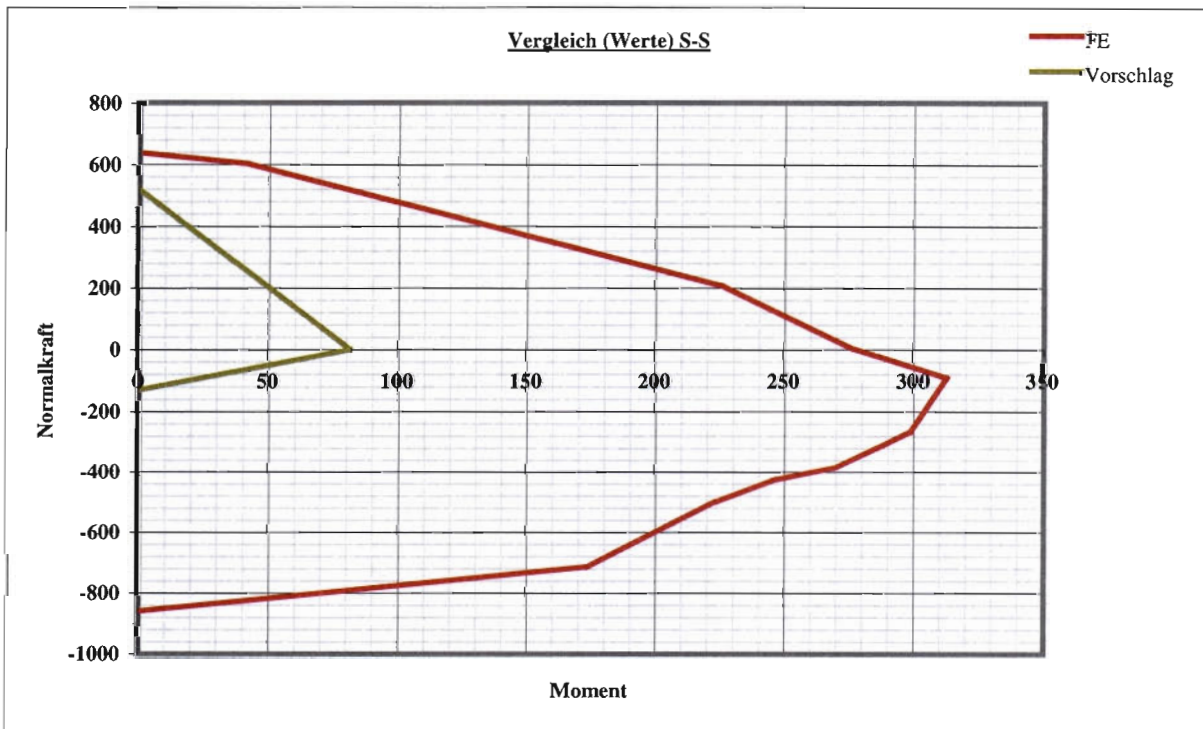


Abbildung F-2 Quantitative Interaktionskurven Verbindung s-s

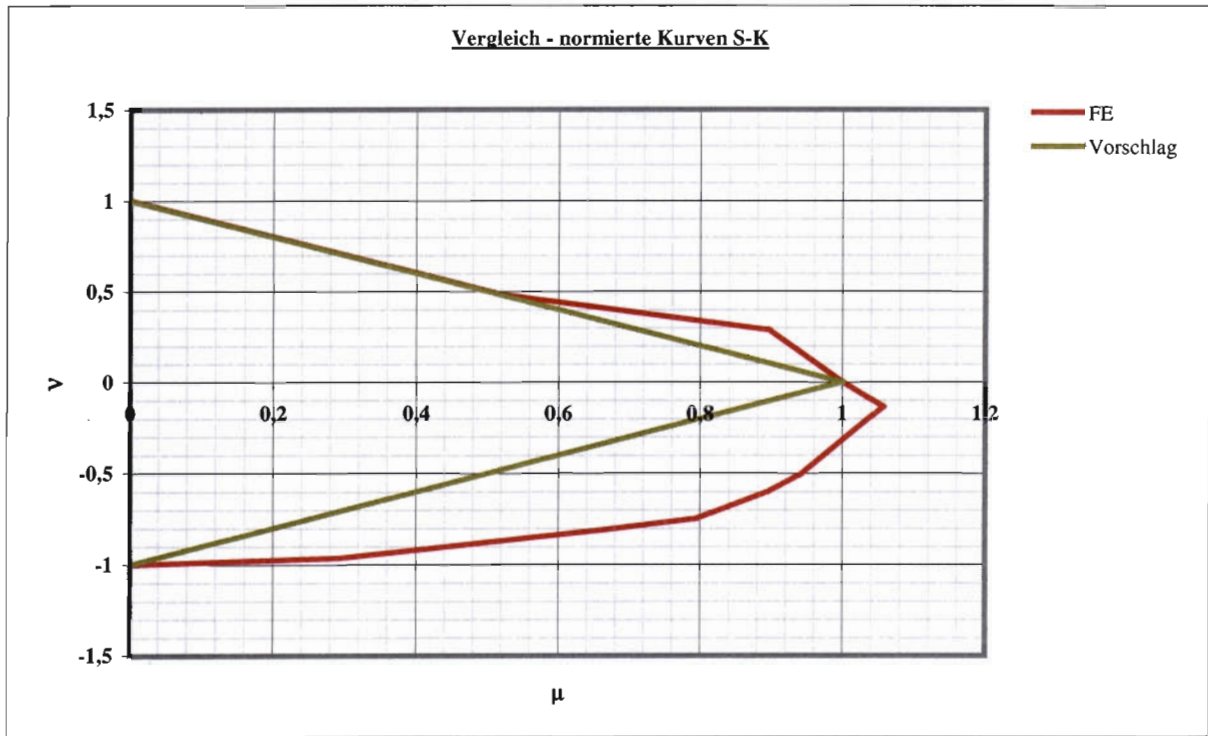


Abbildung F-3 Normierte Interaktionskurven Verbindung s-k

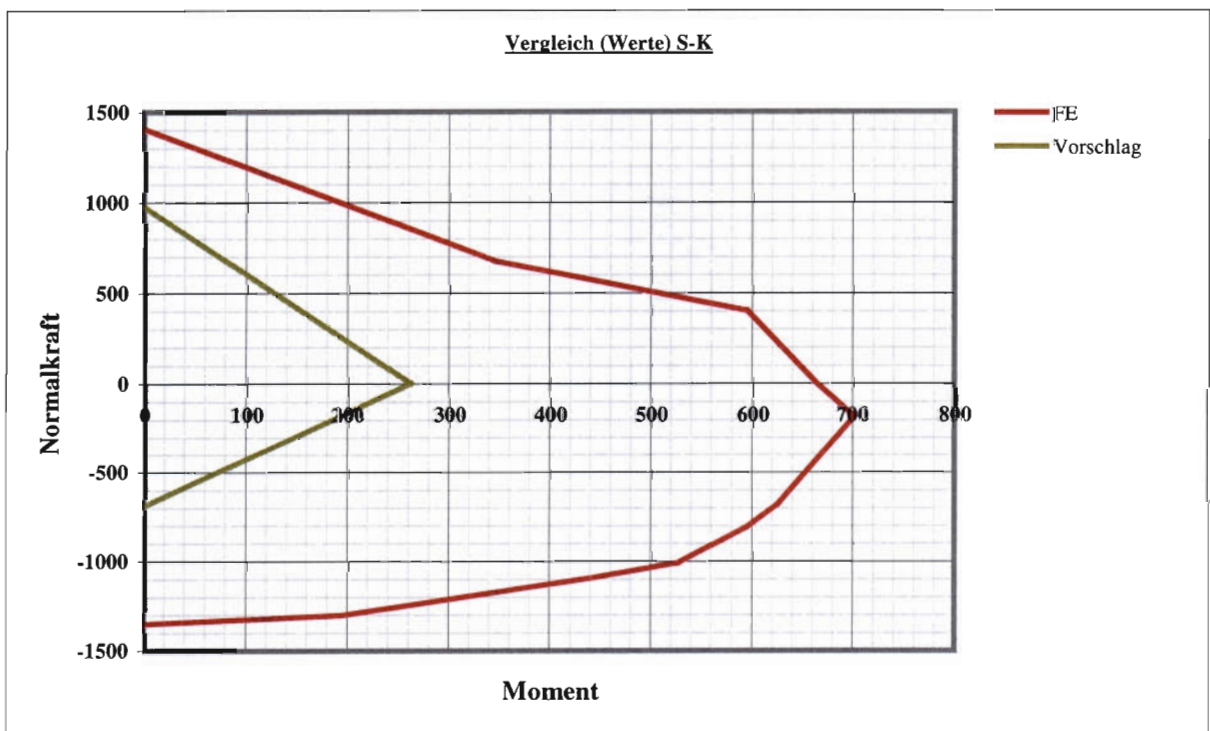


Abbildung F-4 Quantitative Interaktionskurven Verbindung s-k

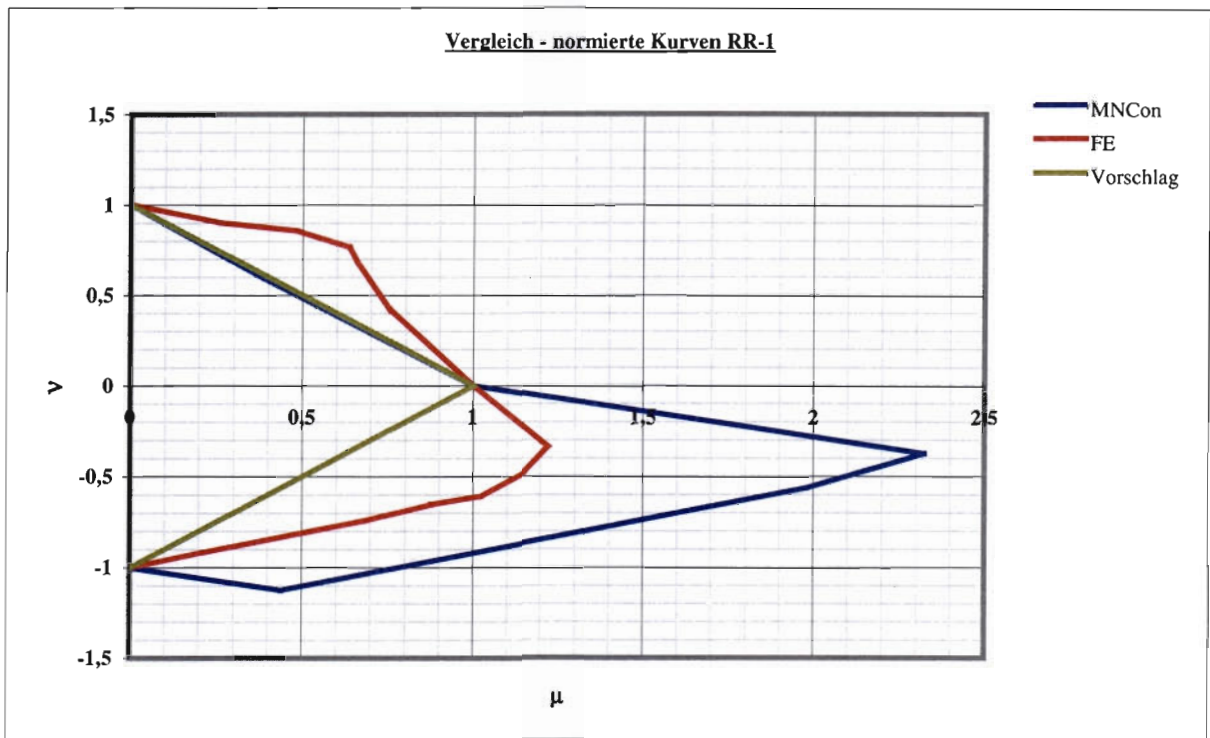


Abbildung F-5 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-1

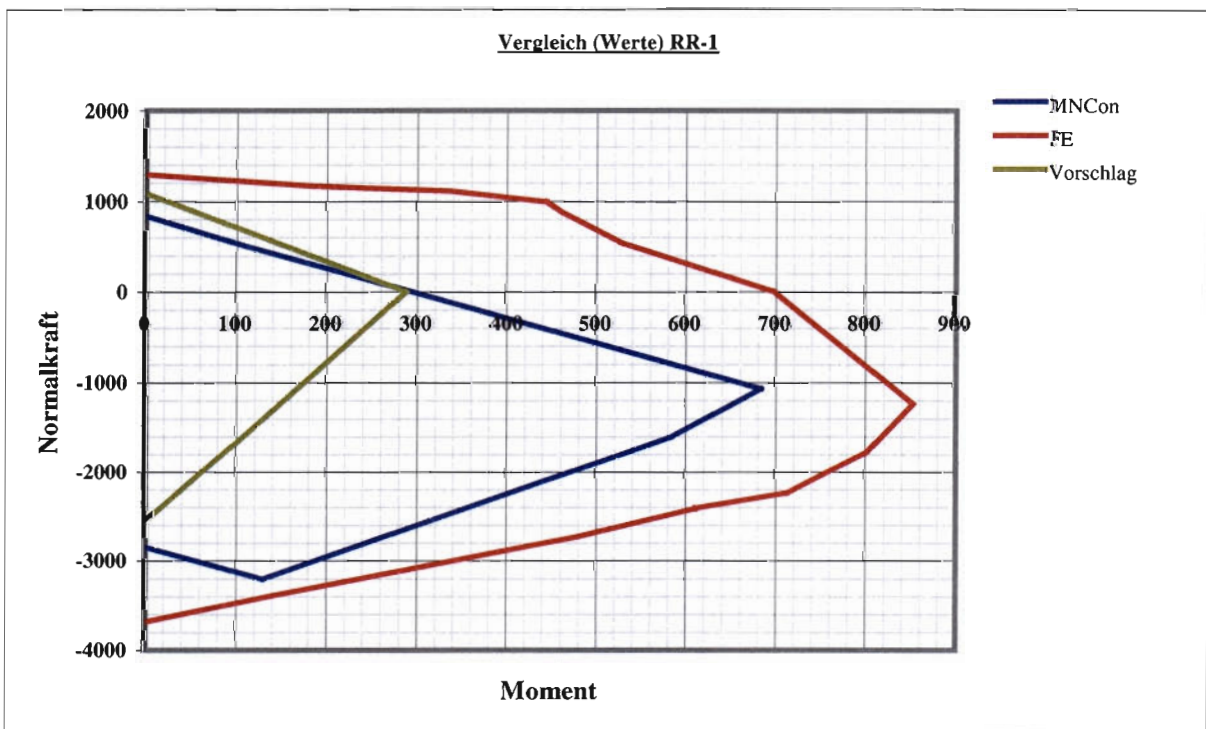


Abbildung F-6 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-1

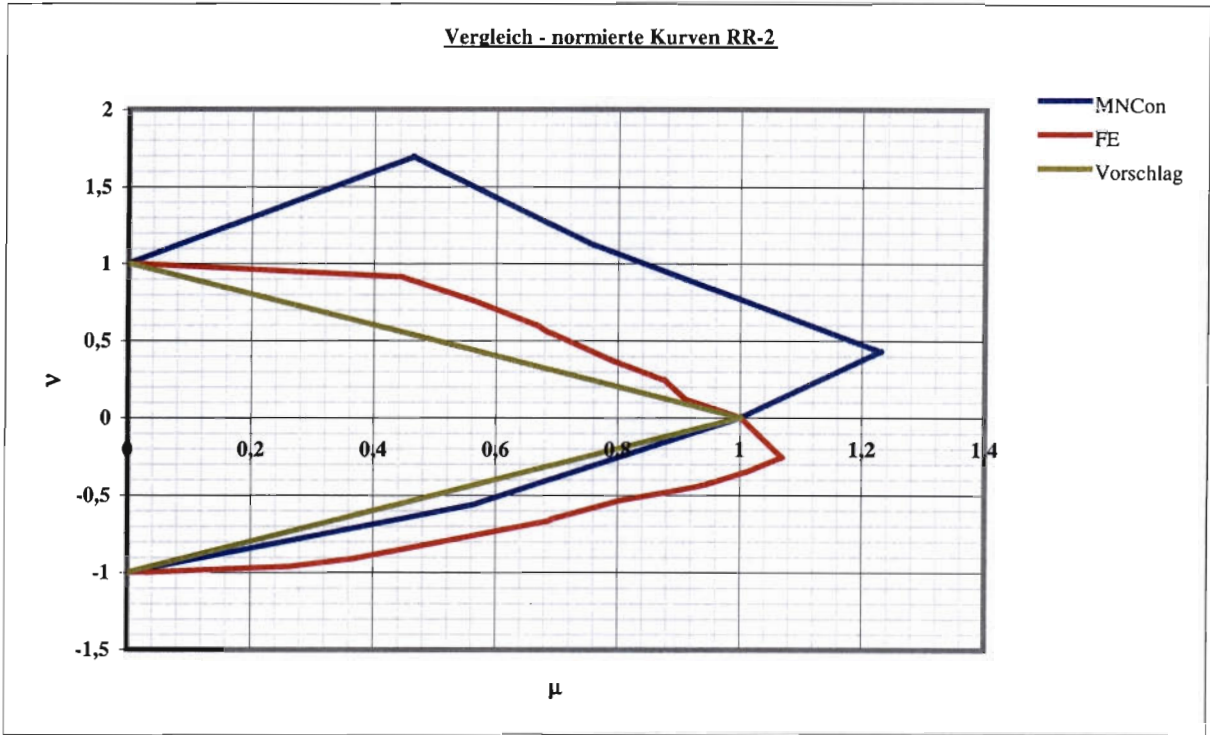


Abbildung F-7 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-2

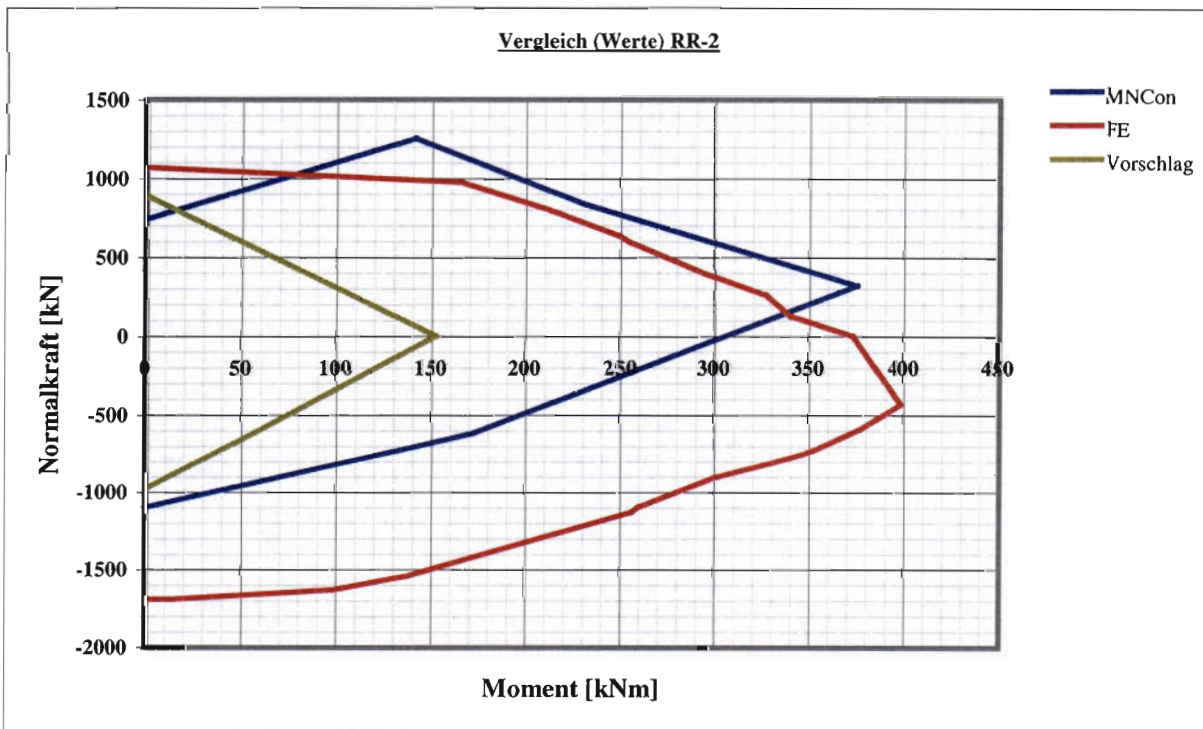


Abbildung F-8 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-2

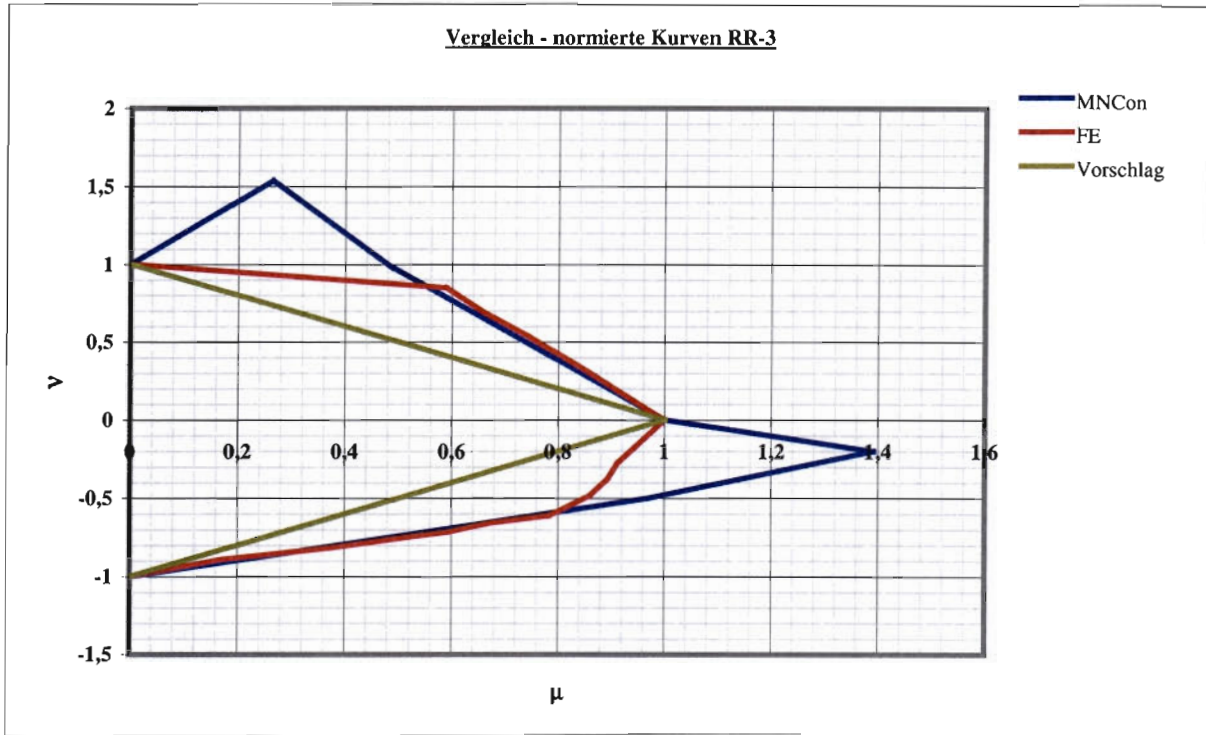


Abbildung F-9 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-3

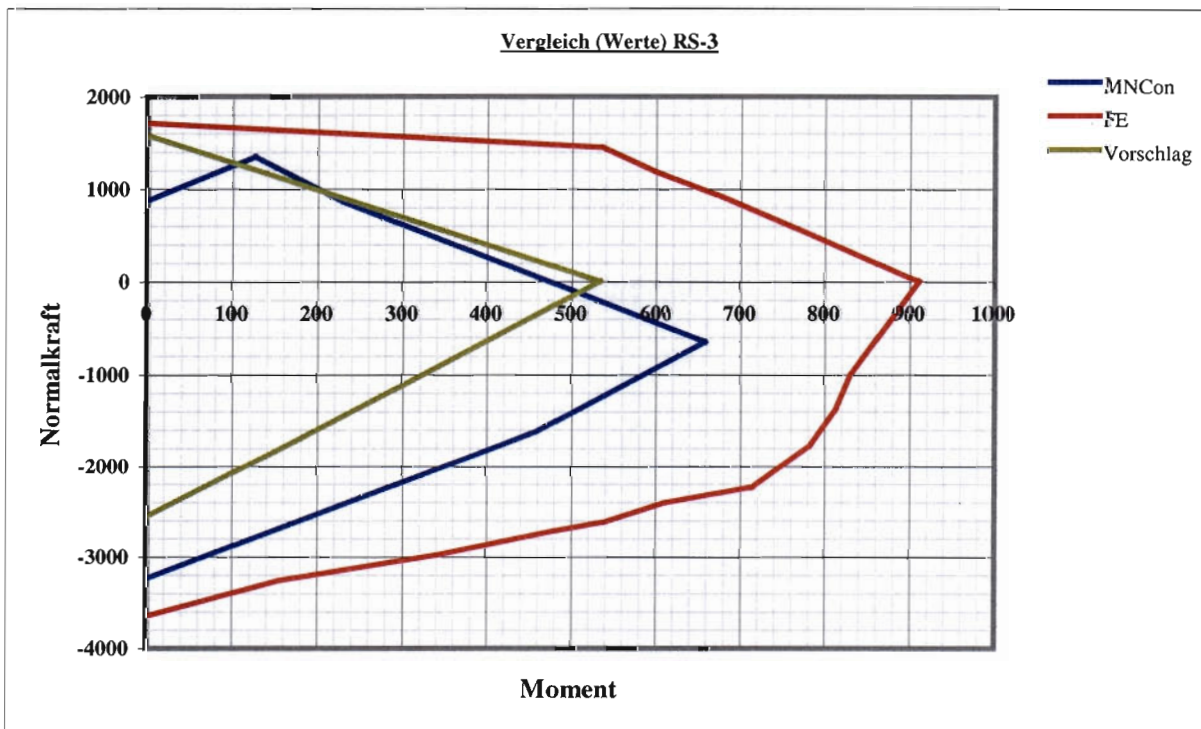


Abbildung F-10 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-3

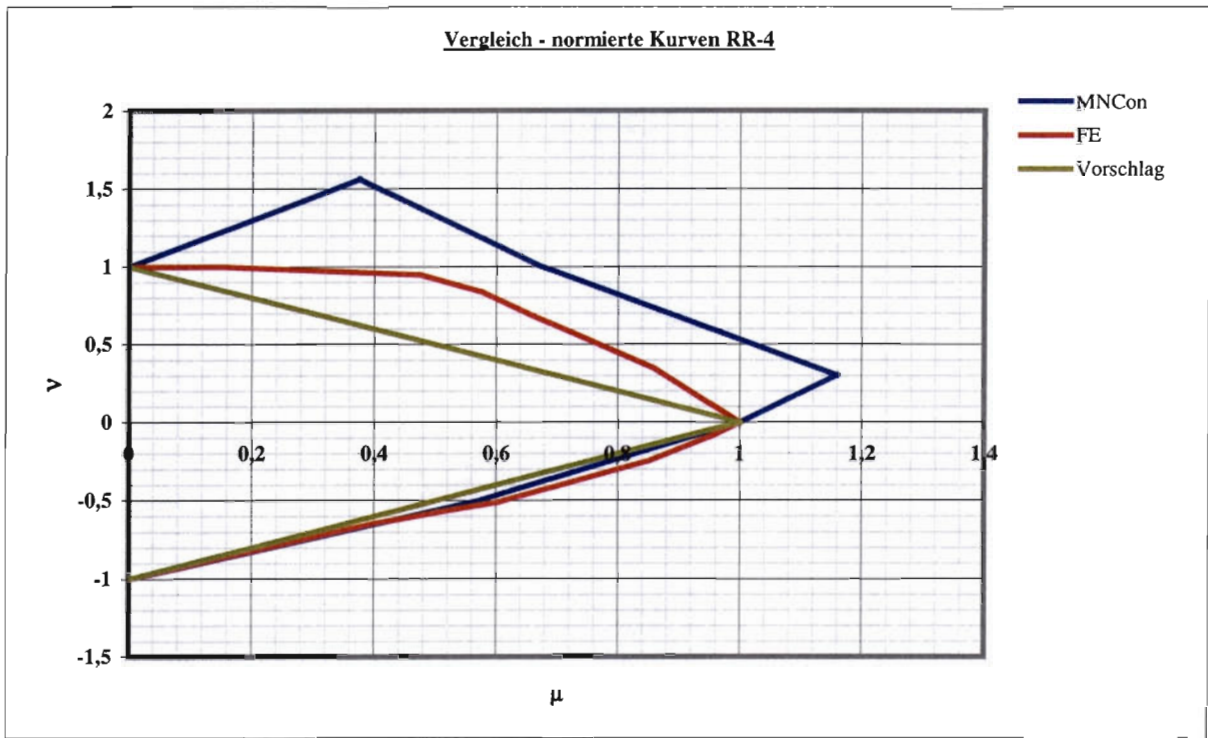


Abbildung F-11 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-4

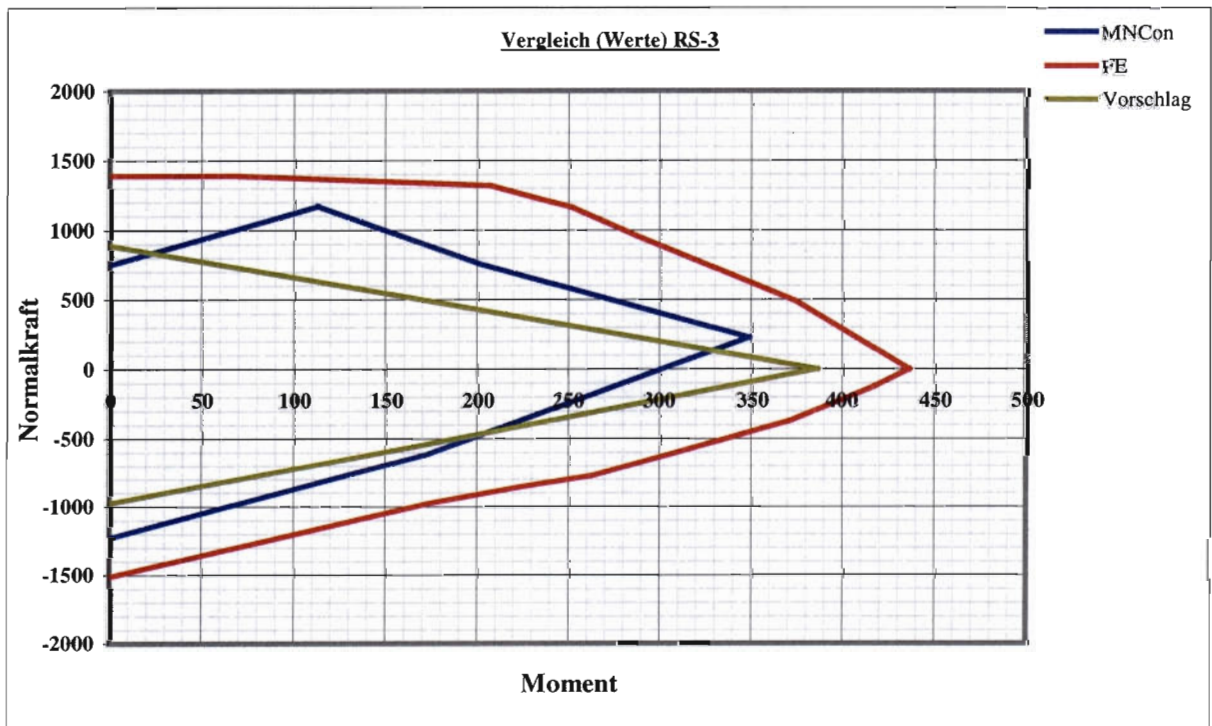


Abbildung F-12 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-4

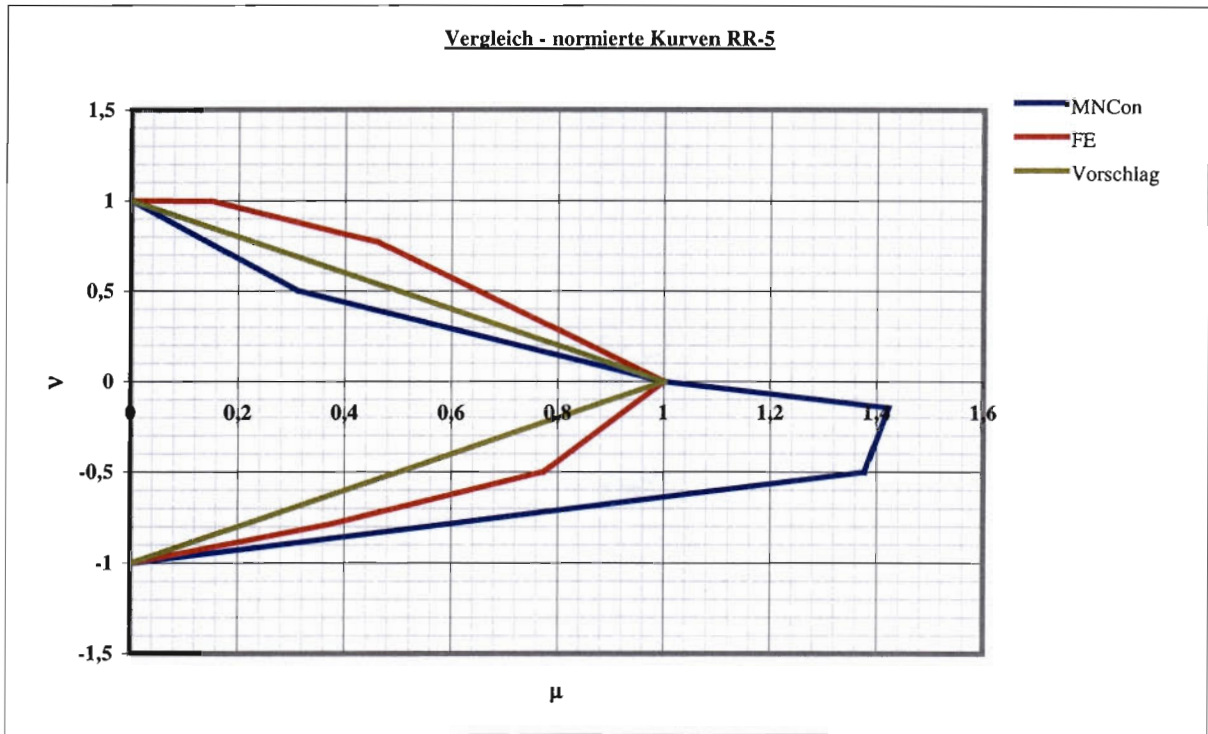


Abbildung F-13 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-5

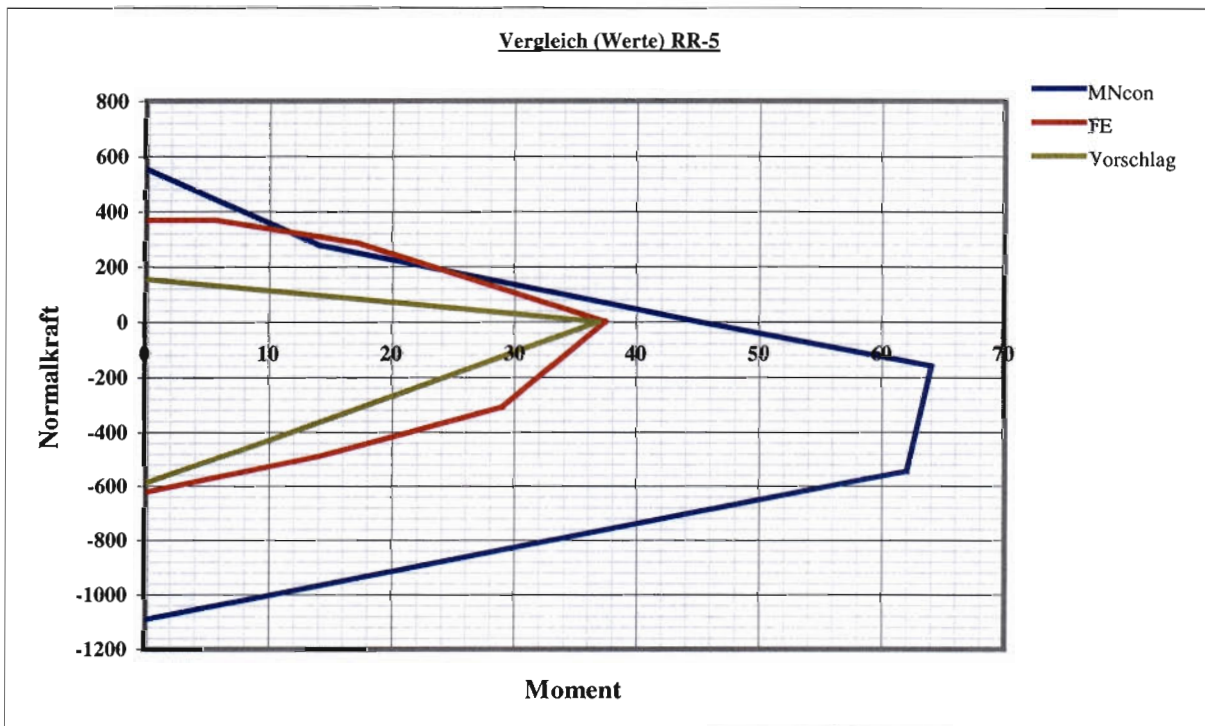


Abbildung F-14 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-5

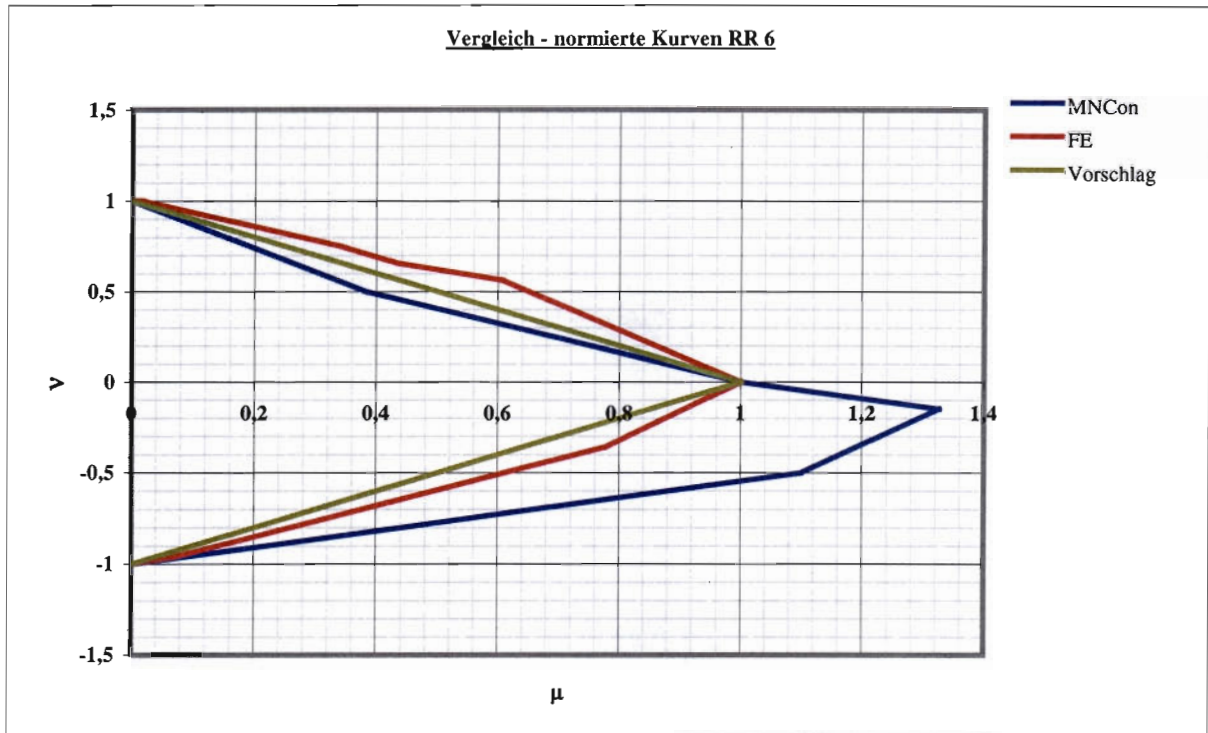


Abbildung F-15 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-6

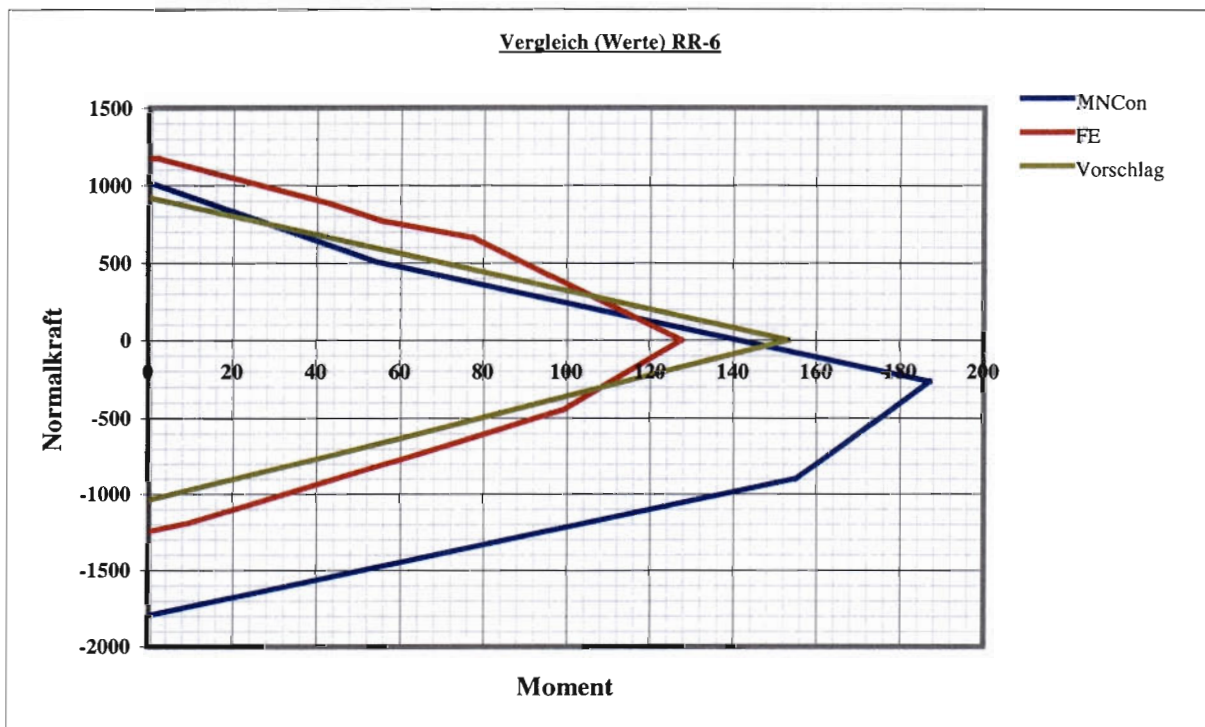


Abbildung F-16 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-6

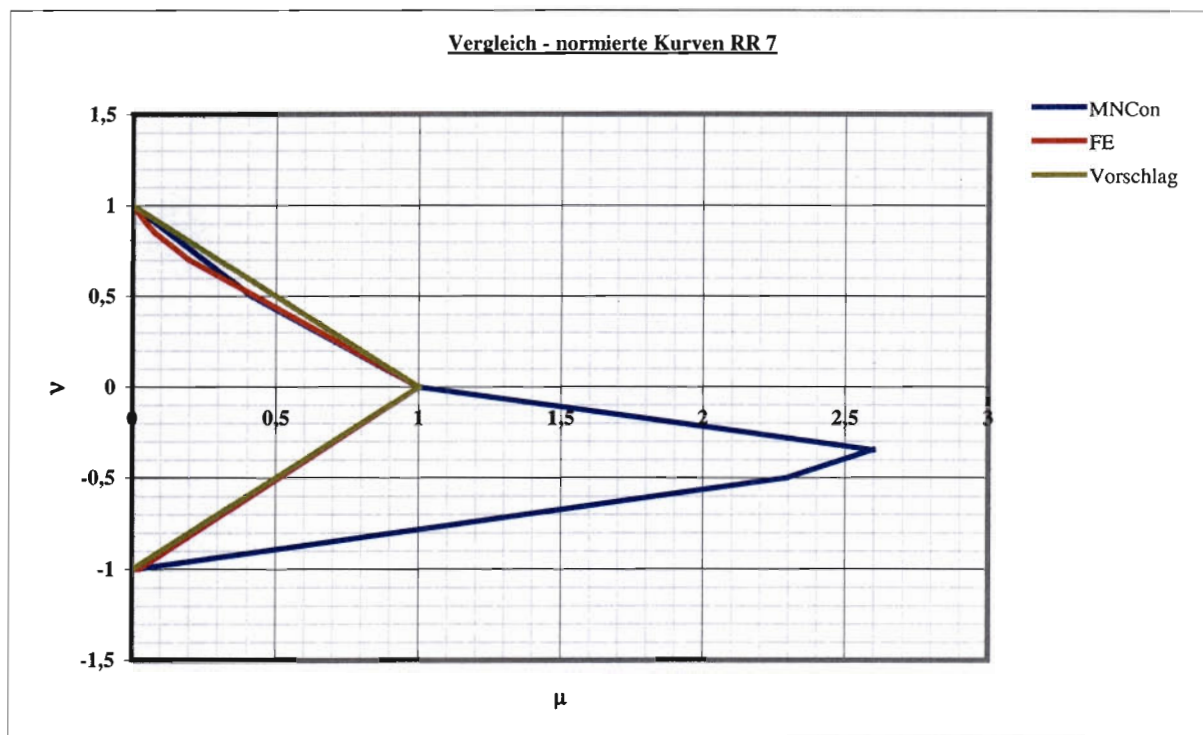


Abbildung F-17 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-7

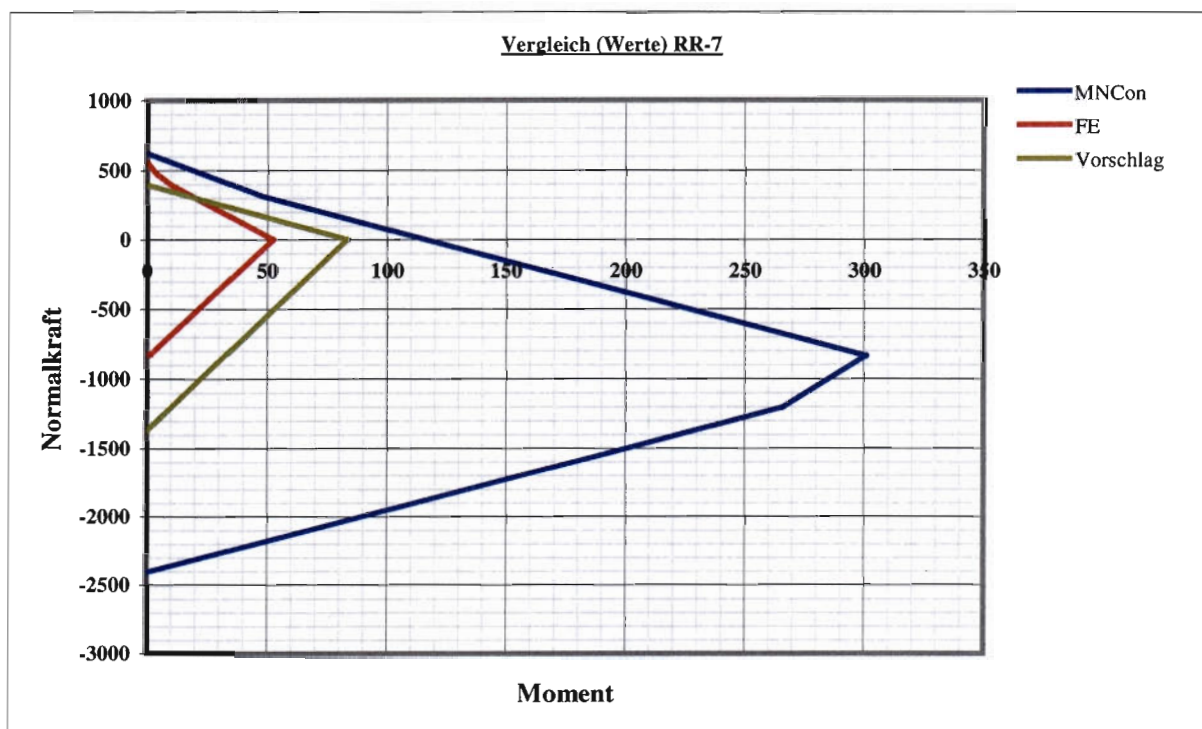


Abbildung F-18 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-7

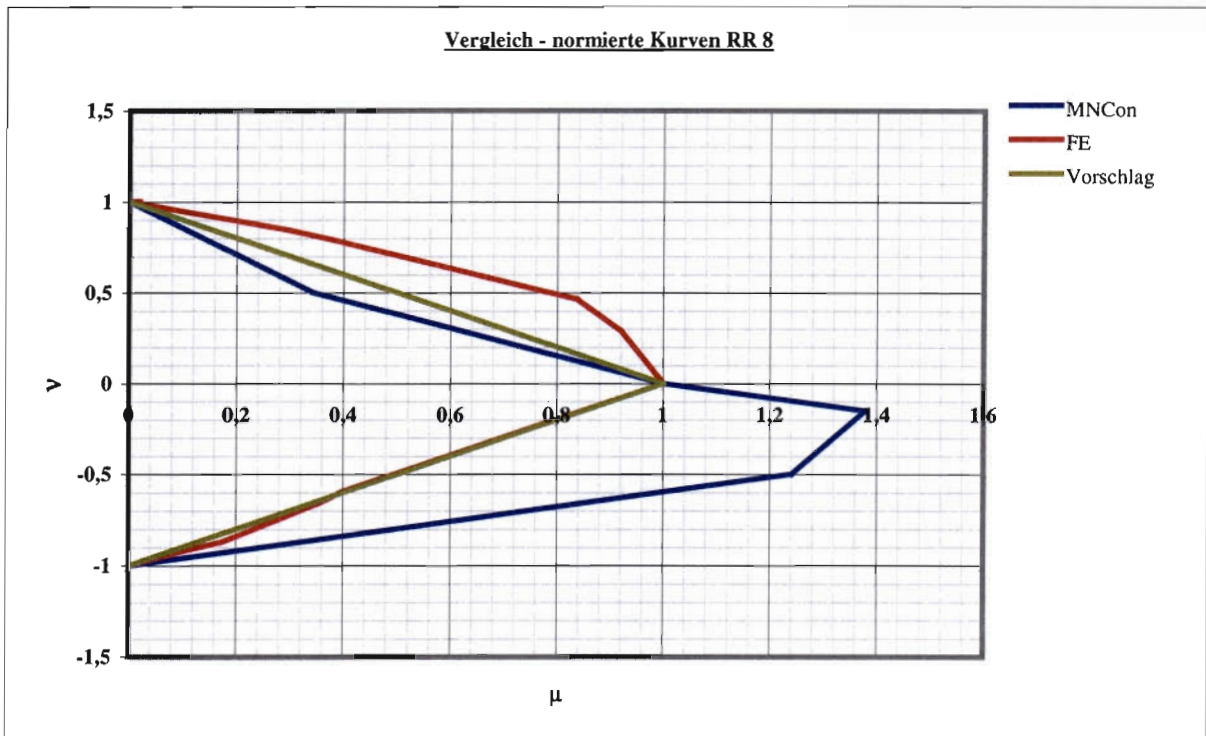


Abbildung F-19 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-8

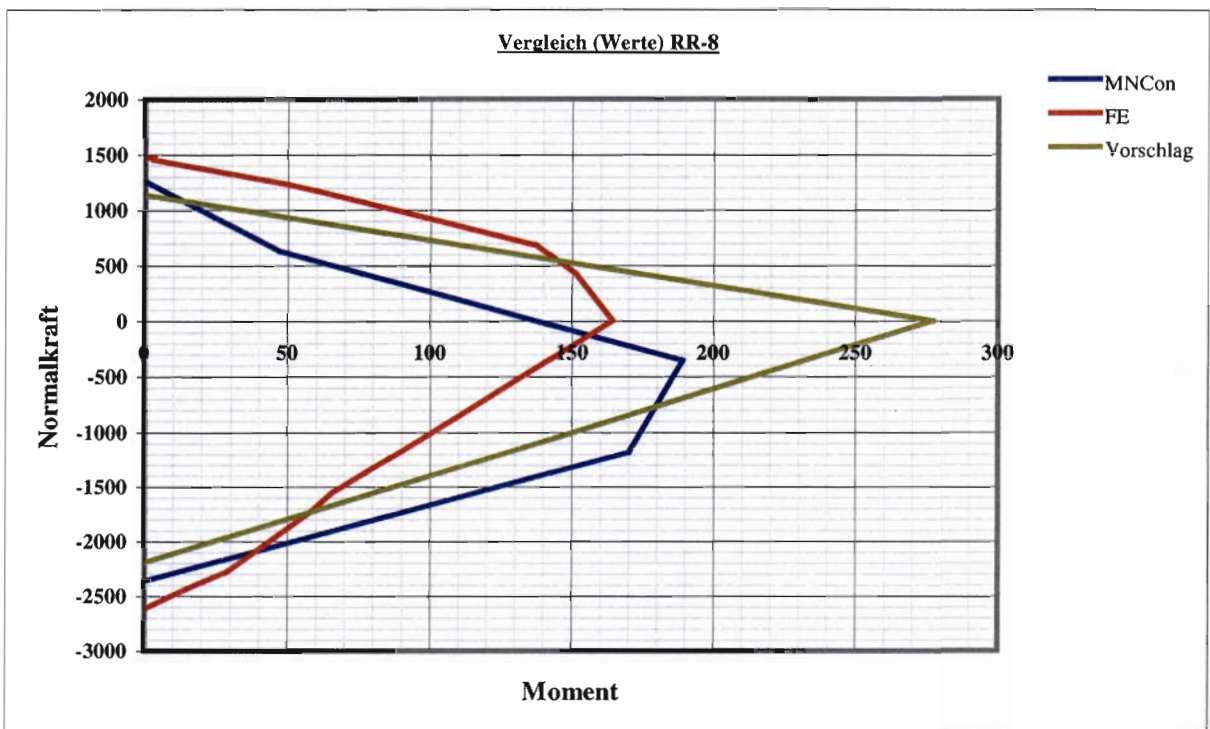


Abbildung F-20 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-8

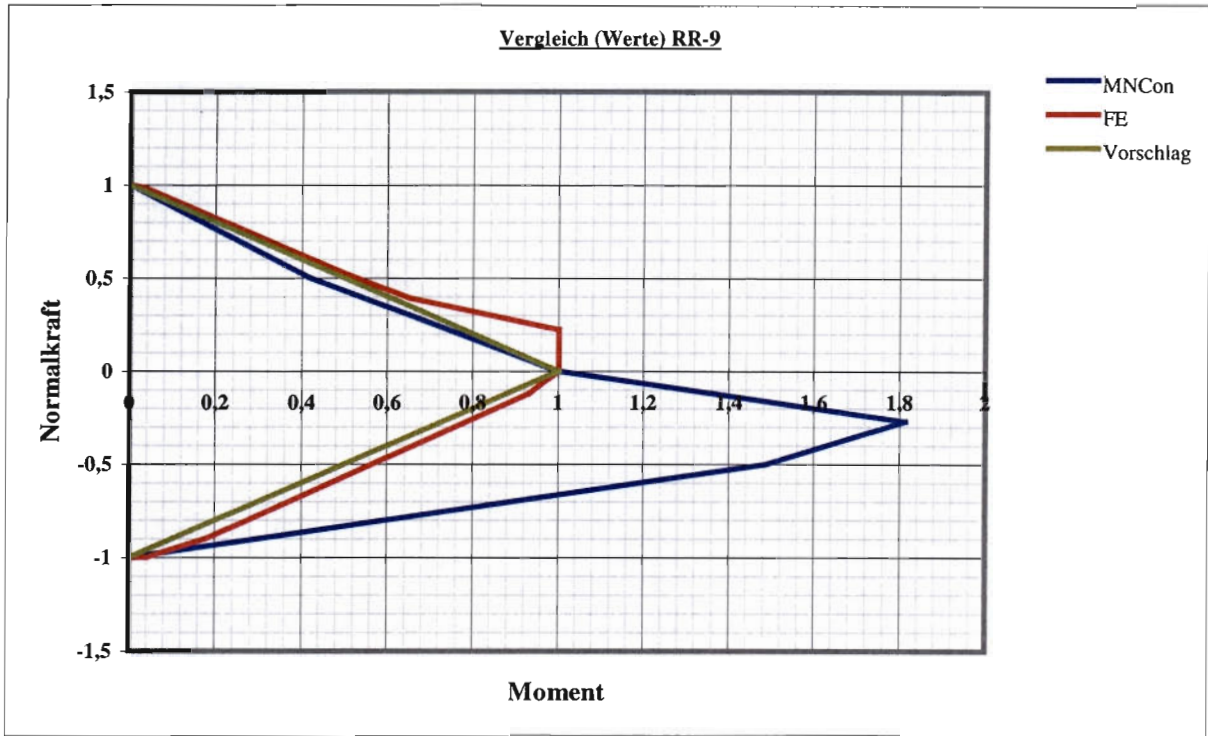


Abbildung F-21 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-9

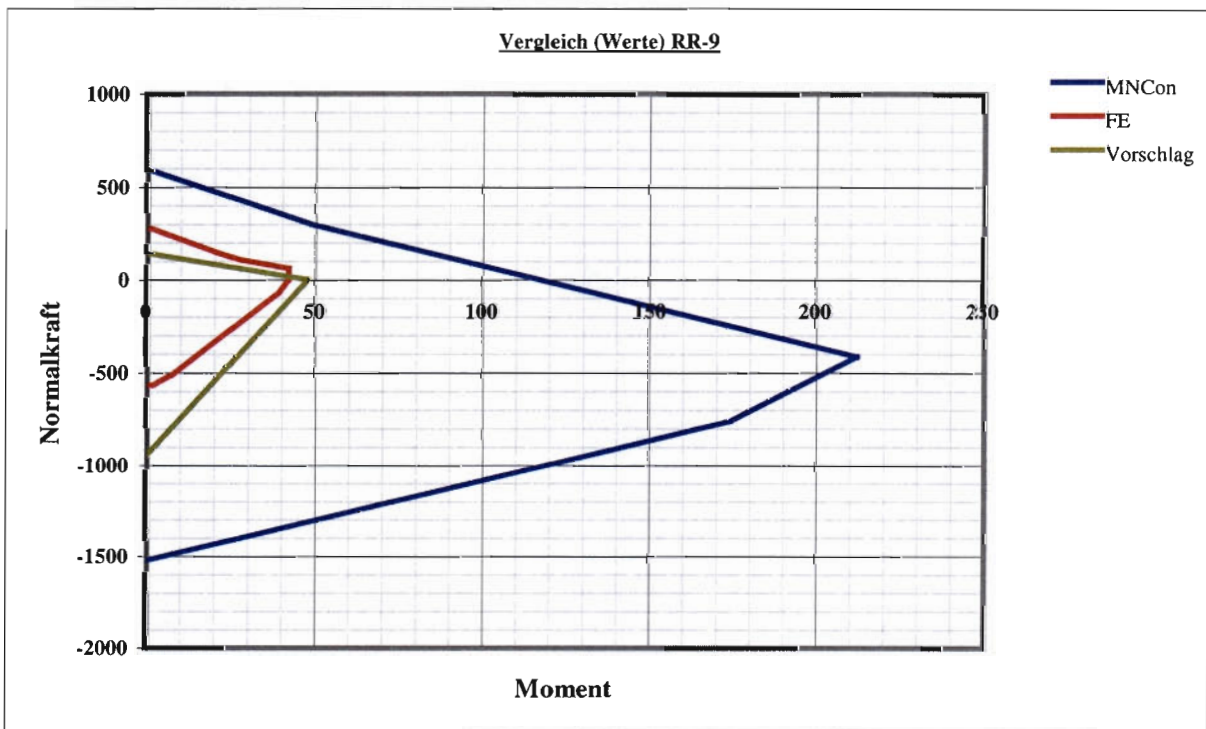


Abbildung F-22 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-9

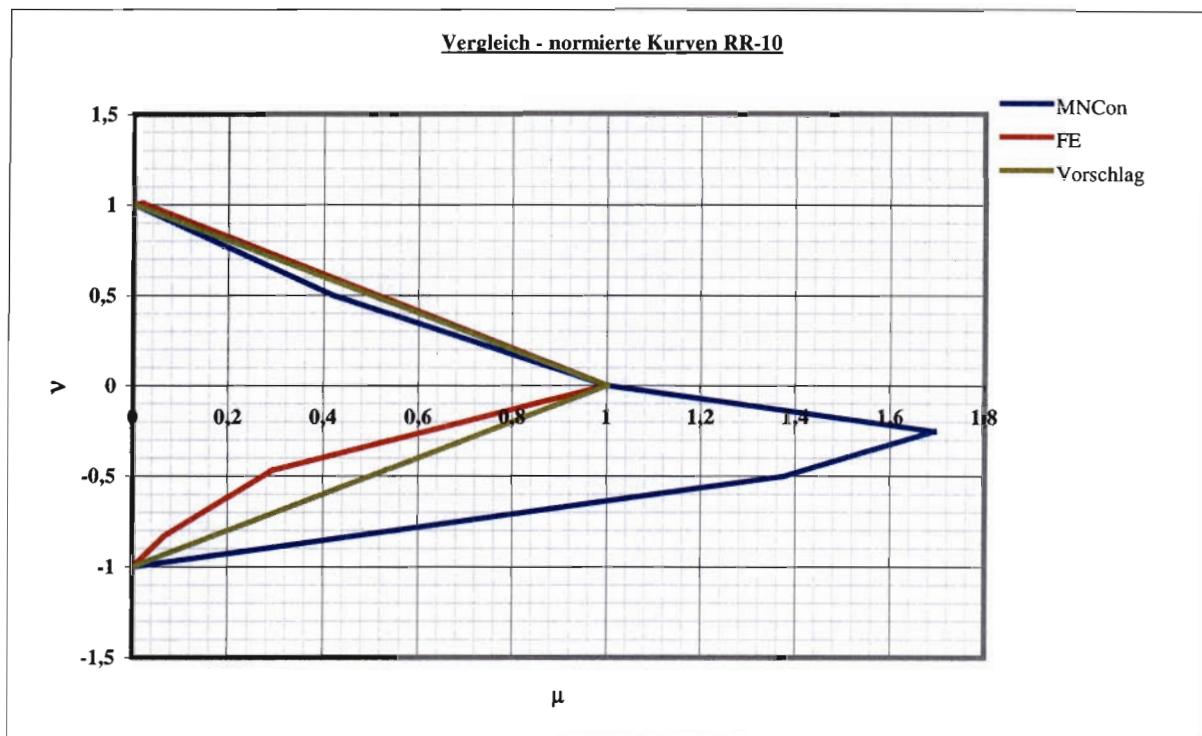


Abbildung F-23 Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-10

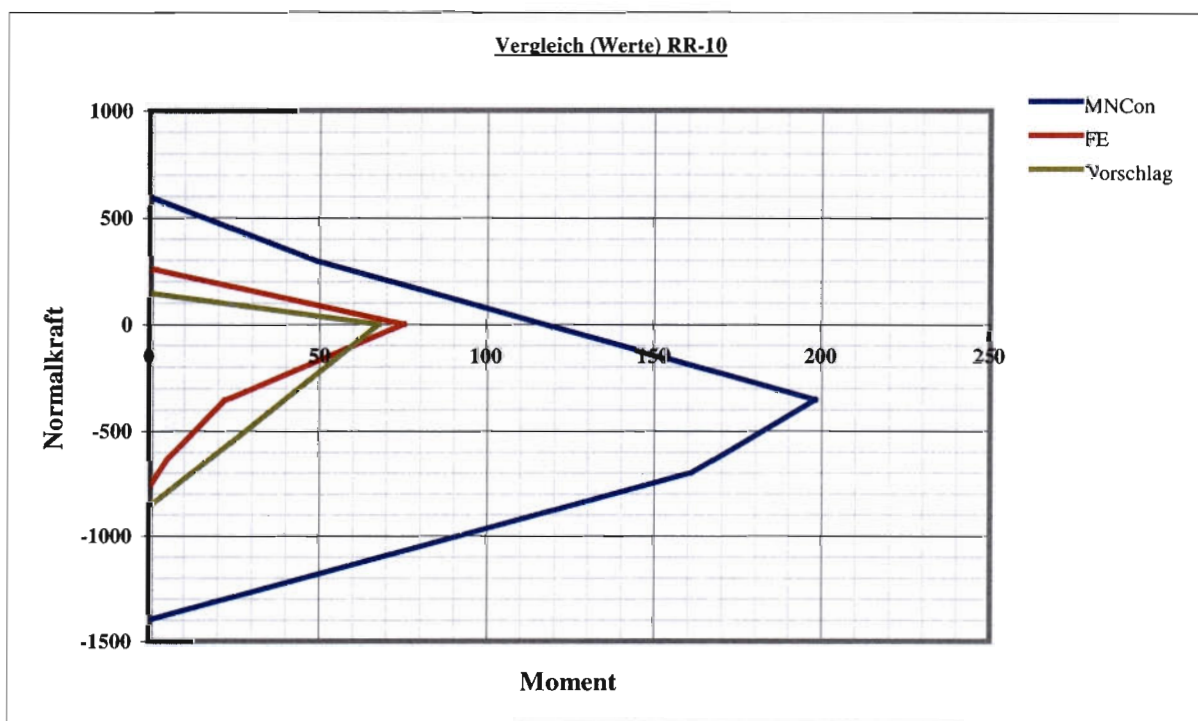


Abbildung F-24 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-10

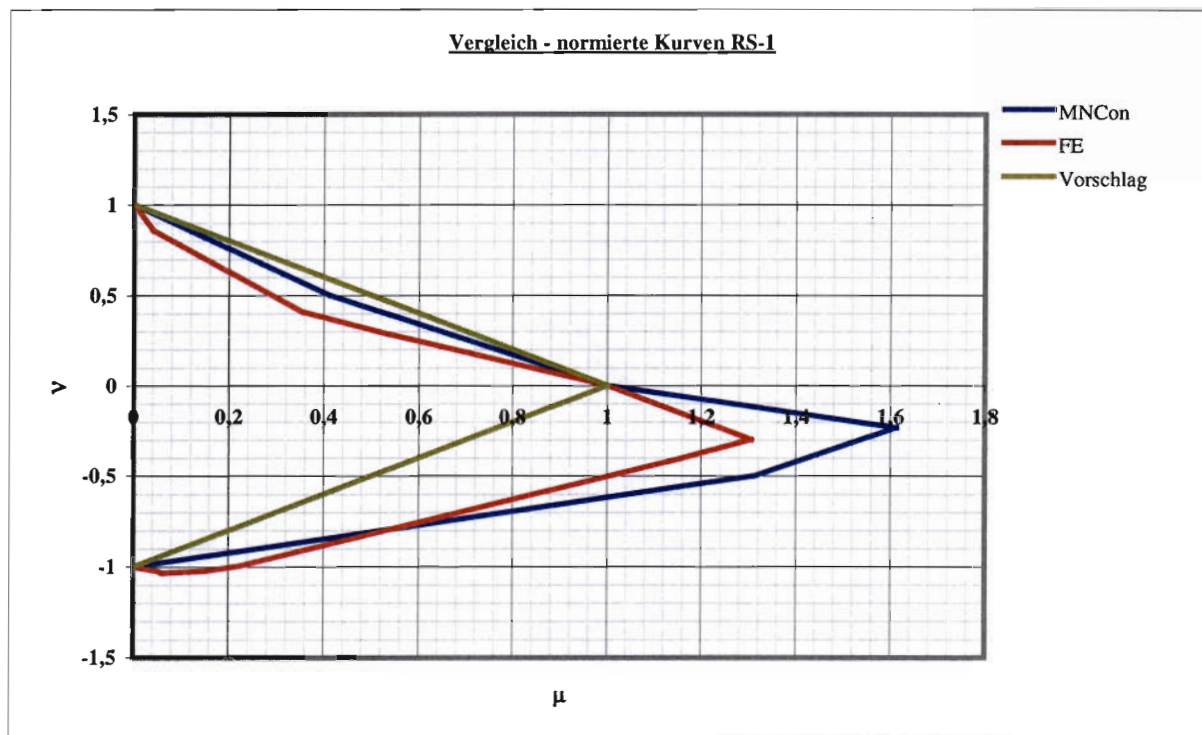


Abbildung F-25 Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-1

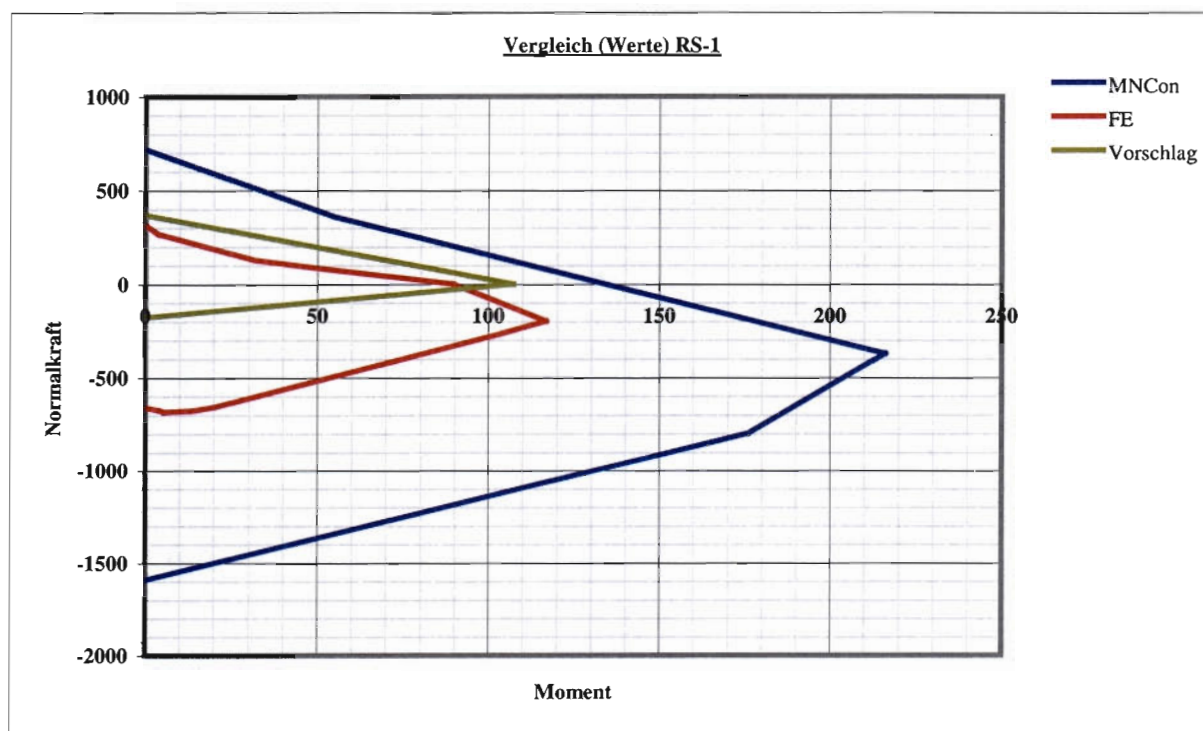


Abbildung F-26 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-1

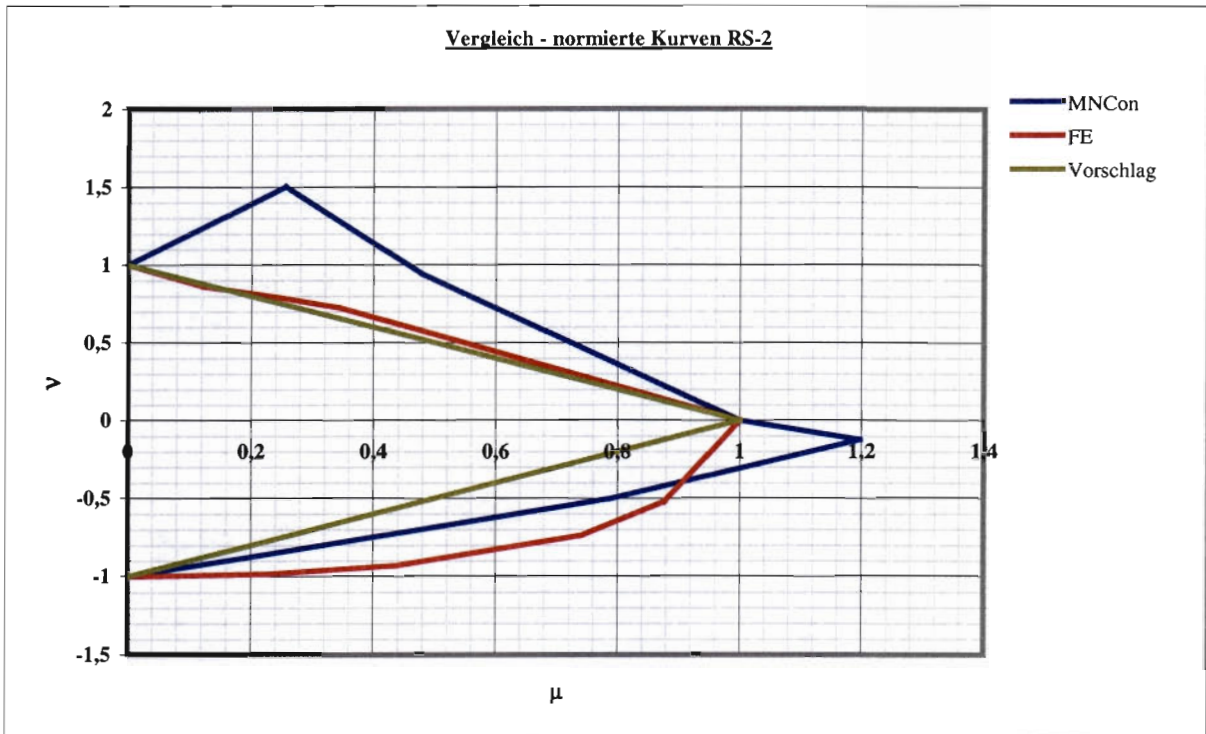


Abbildung F-27 Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-2

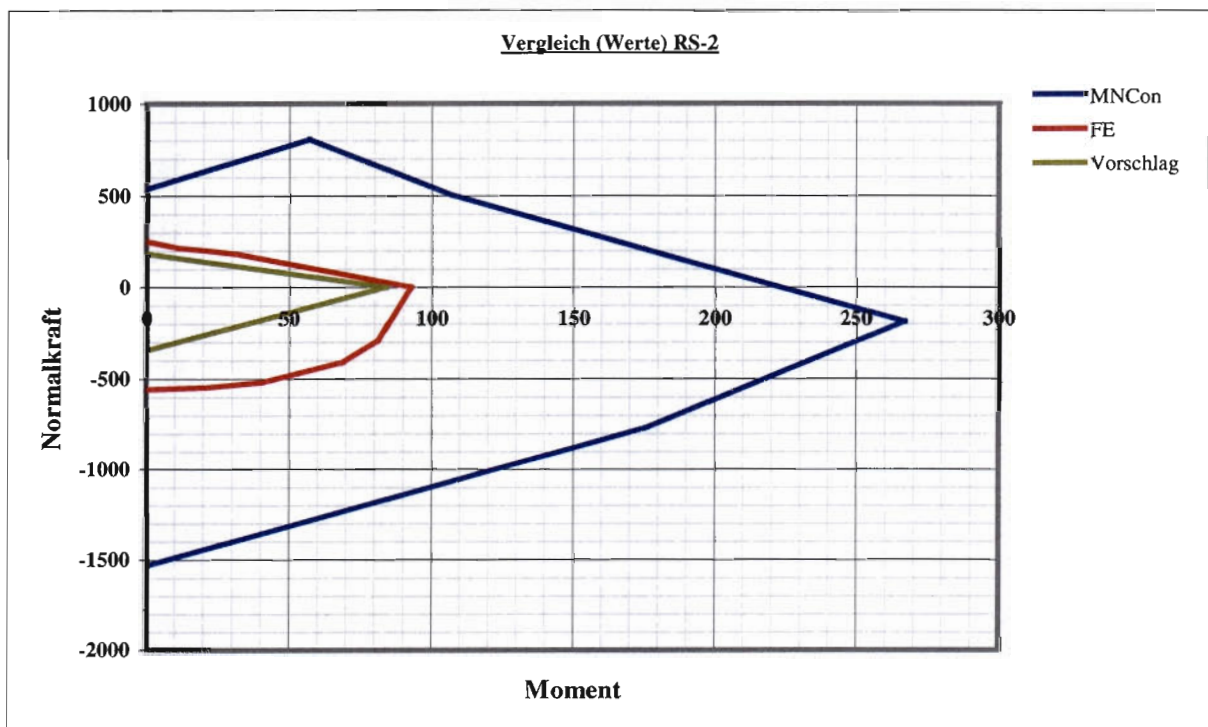


Abbildung F-28 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-2

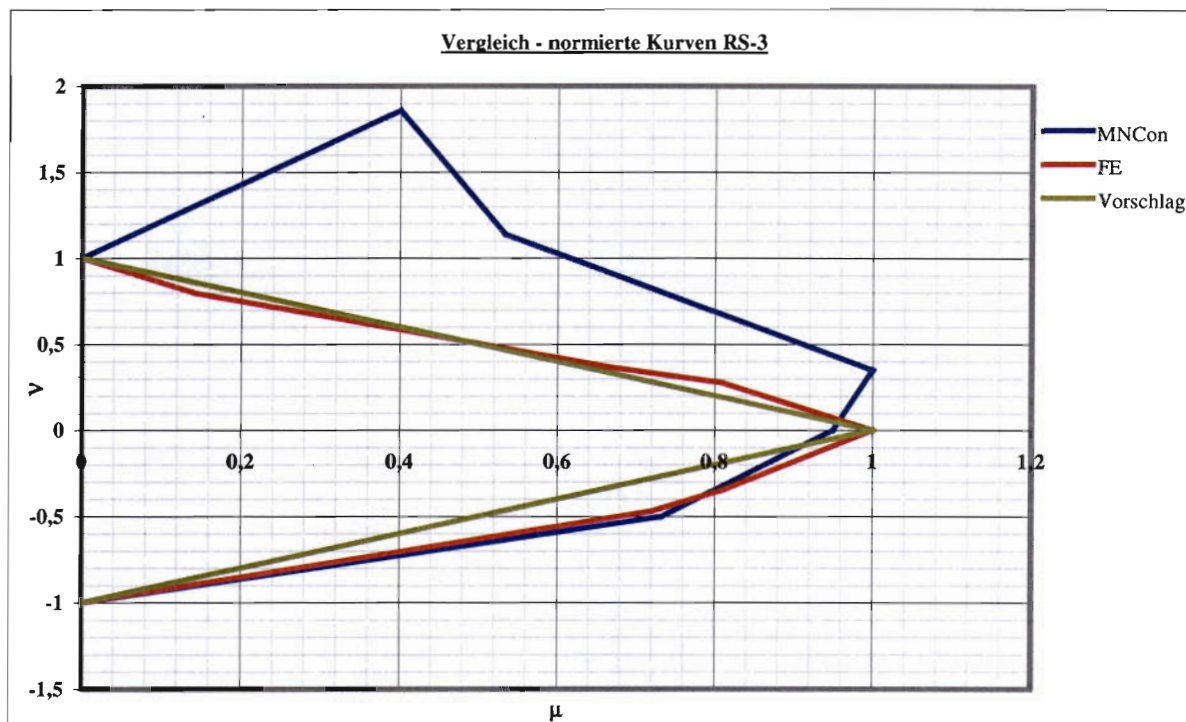


Abbildung F-29 Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-3

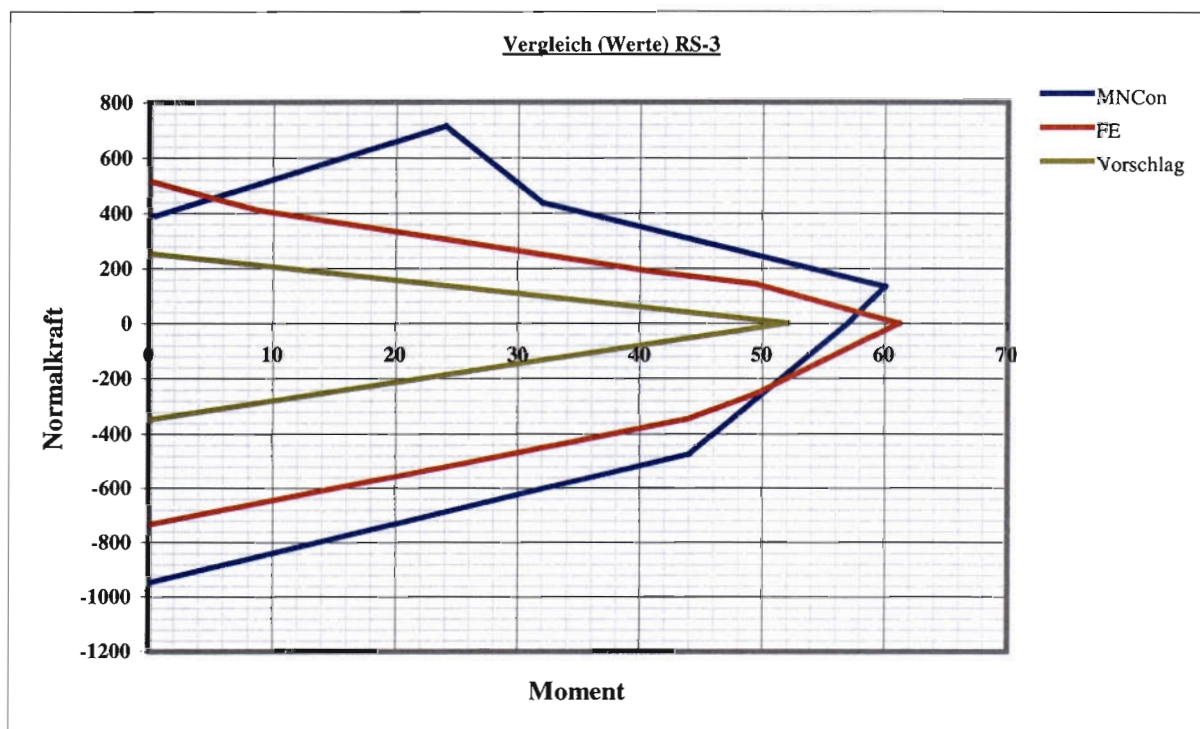


Abbildung F-30 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-3

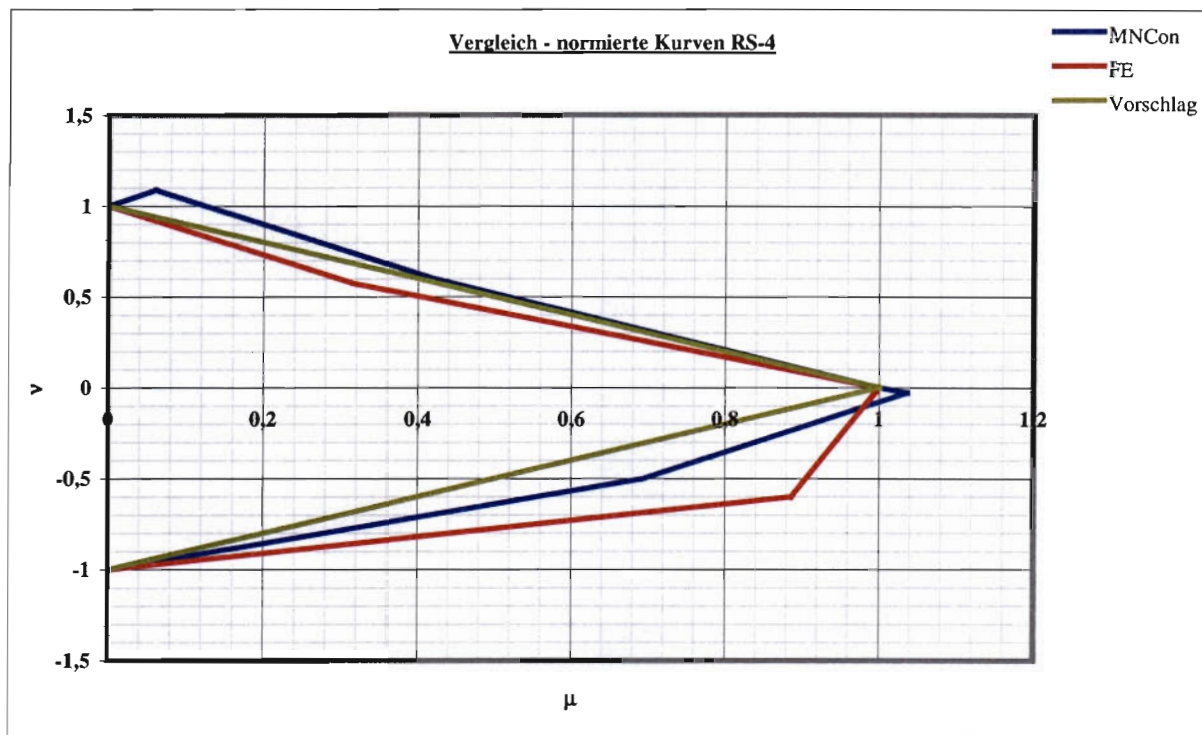


Abbildung F-31 Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-4

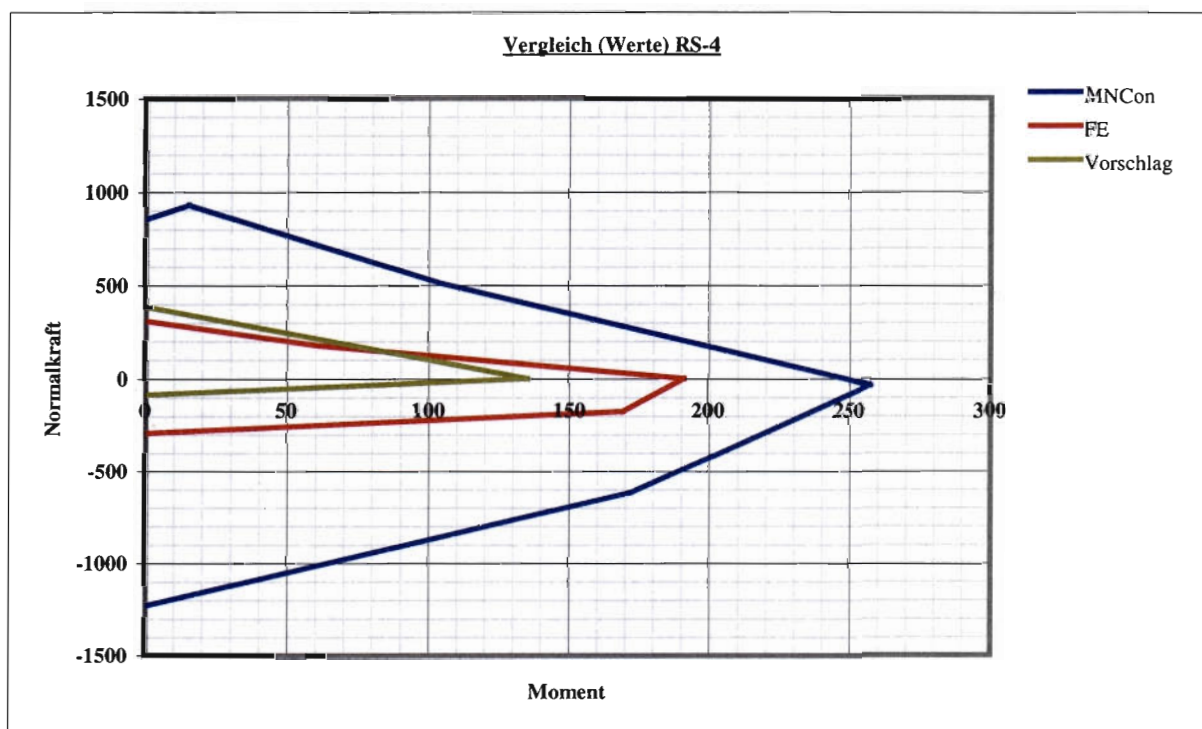


Abbildung F-32 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-4

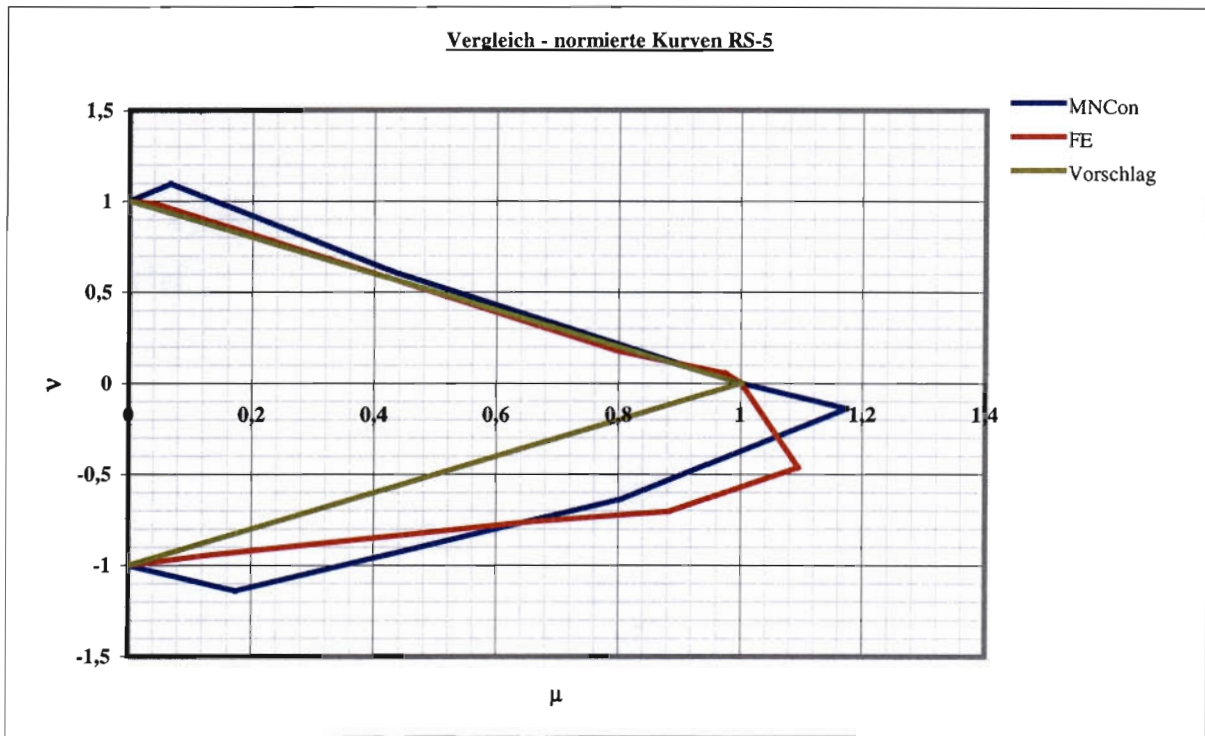


Abbildung F-33 Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-5

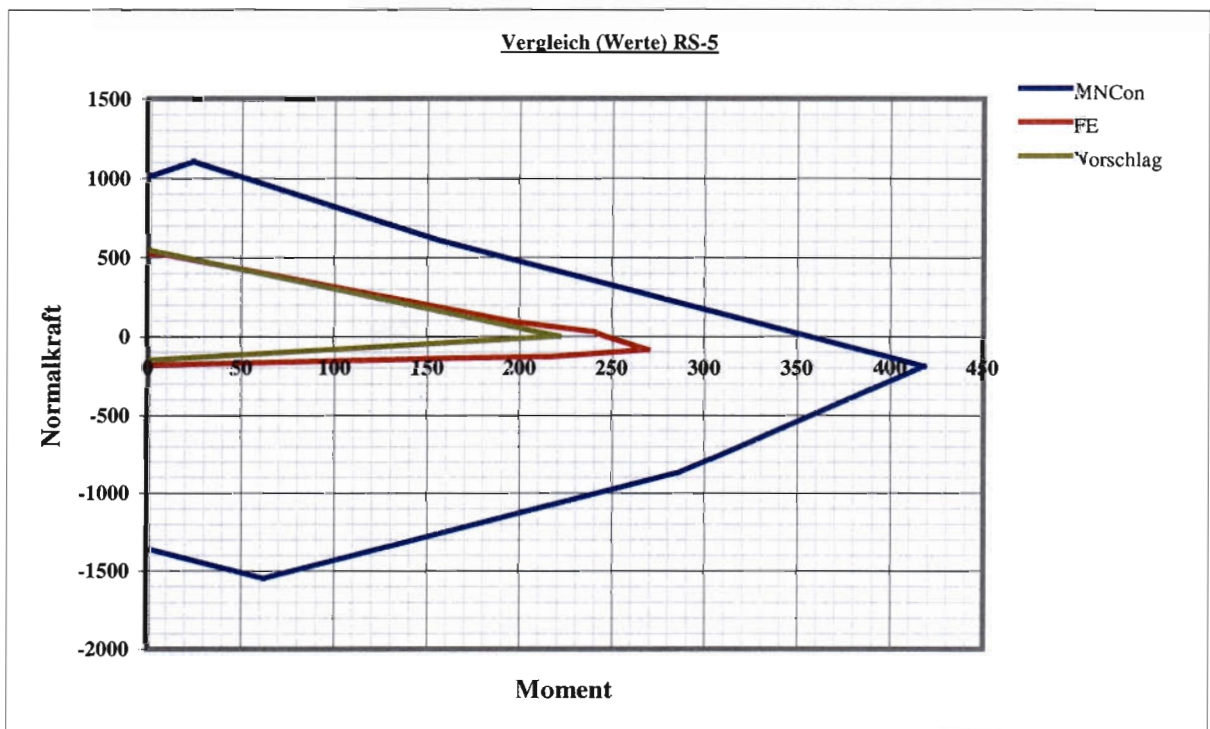


Abbildung F-34 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-5

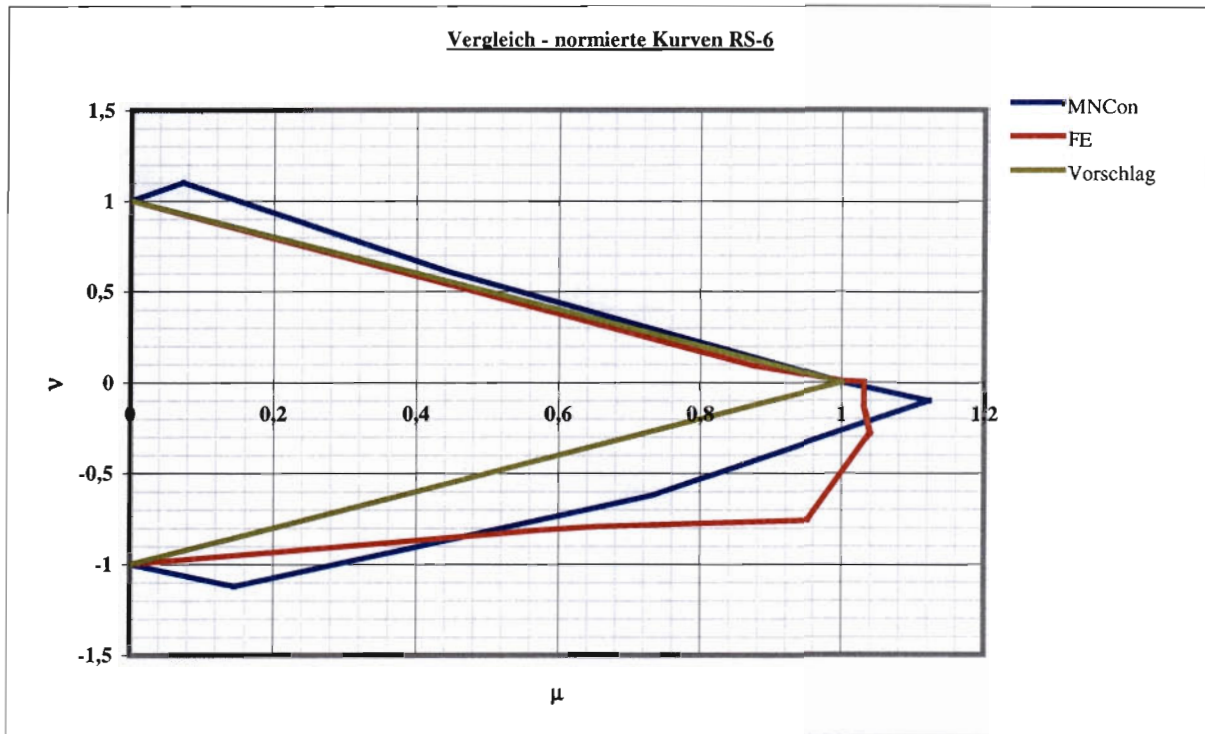


Abbildung F-35 Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-6

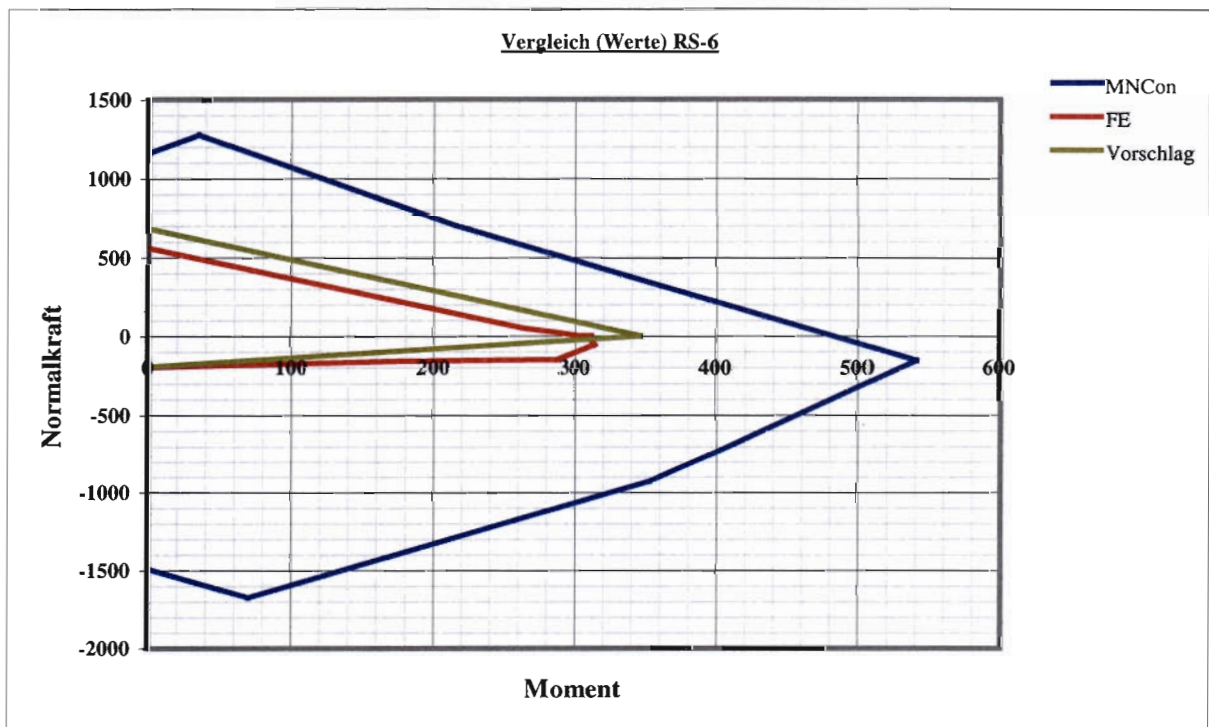


Abbildung F-36 Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-6

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1	Modell einer Riegel-Riegel-Verbindung (Darstellung: wireframe)	3.1
Abbildung 3-2	Modell einer Riegel-Stützen-Verbindung (Darstellung: hidden line)	3.2
Abbildung 3-3	Schraube modelliert mit Beamelementen	3.2
Abbildung 3-4	Kontakt Schraube – Lochwandung	3.3
Abbildung 3-5	Kontakt Kopfplatte – Kopfplatte (bzw. Stützenflansch)	3.3
Abbildung 3-6	Materialdefinition zur Berücksichtigung der geringeren Bruchdehnung	3.4
Abbildung 3-7	Momentenverlauf	3.6
Abbildung 3-8	Mögliche Rahmensysteme	3.6
Abbildung 3-9	Interaktionsdiagramm mit Vorzeichenzuordnung	3.7
Abbildung 3-10	Details für System 1	3.7
Abbildung 3-11	Details für System 2	3.7
Abbildung 3-12	Interaktionsdiagramm für Riegel-Riegel-Verbindungen	3.8
Abbildung 3-13	Interaktionsdiagramm für Riegel-Stützen-Verbindungen	3.8
Abbildung 4-1	Diagramm mit Schar von Interaktionskurven	4.1
Abbildung 4-2	Diagramm mit Interaktionskurve	4.2
Abbildung 4-3	Diagramm mit normierter Interaktionskurve	4.3
Abbildung 5-1	Lastausbreitungsflächen	5.2
Abbildung 5-2	Detail hinterlegte Bleche	5.3
Abbildung 5-3	Möglichkeiten der Steifenanordnung	5.4
Abbildung 5-4	Berechnungsübersicht bei Riegel-Stützen-Verbindungen unter Druckbeanspruchung	5.6
Abbildung 5-5	Berechnungsübersicht bei Riegel-Riegel-Verbindungen unter Zugbeanspruchung	5.8
Abbildung 5-6	Berechnungsübersicht bei Riegel-Stützen-Verbindungen unter Zugbeanspruchung	5.10
Abbildung 5-7	Vorschlag zur Interaktion zwischen Moment und Normalkraft bei nachgiebigen Verbindungen	5.11
Abbildung 5-8	Interaktion	5.13

Abbildung 6-1	Normierte Interaktionskurven für Riegel-Stützen-Verbindungen	6.4
Abbildung 6-2	Normierte Interaktionskurven für Riegel-Riegel-Verbindungen	6.5
Abbildung A-1	Verbindung Schweiss-schlank	A-1
Abbildung A-2	Verbindung Schweiss-kompakt	A-1
Abbildung A-3	Verbindung RR-1 und RR-2	A-2
Abbildung A-4	Verbindung RR-3 und RR-4	A-2
Abbildung A-5	Verbindung RR-5, RR-6 und RR-7	A-3
Abbildung A-6	Verbindung RR-8	A-3
Abbildung A-7	Verbindung RR-9 und RR-10	A-4
Abbildung A-8	Verbindung RS-1	A-5
Abbildung A-9	Verbindung RS-2 und RS-3	A-6
Abbildung A-10	Verbindung RS-4, RS-5 und RS-6	A-6
Abbildung B-1	Komponenten einer Riegel-Riegel-Verbindung	B-1
Abbildung C-1	Komponenten einer Riegel-Riegel-Verbindung	C-1
Abbildung D-1	Komponenten einer Riegel-Stützen-Verbindung	D-1
Abbildung D-2	Schubfläche des Stützensteg	D-3
Abbildung E-1	Komponenten einer Riegel-Stützen-Verbindung	E-1
Abbildung F-1	Normierte Interaktionskurven Verbindung s-s	F-2
Abbildung F-2	Quantitative Interaktionskurven Verbindung s-s	F-2
Abbildung F-3	Normierte Interaktionskurven Verbindung s-k	F-3
Abbildung F-4	Quantitative Interaktionskurven Verbindung s-k	F-3
Abbildung F-5	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-1	F-4
Abbildung F-6	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-1	F-4
Abbildung F-7	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-2	F-5
Abbildung F-8	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-2	F-5
Abbildung F-9	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-3	F-6
Abbildung F-10	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-3	F-6
Abbildung F-11	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-4	F-7
Abbildung F-12	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-4	F-7
Abbildung F-13	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-5	F-8
Abbildung F-14	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-5	F-8
Abbildung F-15	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-6	F-9

Abbildung F-16	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-6	F-9
Abbildung F-17	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-7	F-10
Abbildung F-18	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-7	F-10
Abbildung F-19	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-8	F-11
Abbildung F-20	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-8	F-11
Abbildung F-21	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-9	F-12
Abbildung F-22	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-9	F-12
Abbildung F-23	Normierte Interaktionskurven Verbindung RR-10	F-13
Abbildung F-24	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RR-10	F-13
Abbildung F-25	Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-1	F-14
Abbildung F-26	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-1	F-14
Abbildung F-27	Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-2	F-15
Abbildung F-28	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-2	F-15
Abbildung F-29	Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-3	F-16
Abbildung F-30	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-3	F-16
Abbildung F-31	Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-4	F-17
Abbildung F-32	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-4	F-17
Abbildung F-33	Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-5	F-18
Abbildung F-34	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-5	F-18
Abbildung F-35	Normierte Interaktionskurven Verbindung RS-6	F-19
Abbildung F-36	Quantitative Interaktionskurven Verbindung RS-6	F-19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1	Schweißverbindungen	2.1
Tabelle 2-2	Riegel-Riegel-Verbindungen	2.2
Tabelle 2-3	Riegel-Stützen-Verbindungen	2.2
Tabelle 3-1	Verwendete Materialkennwerte	3.5
Tabelle 3-2	Angaben zur Vorspannung	3.5
Tabelle 6-1	Vergleich der Momenttragfähigkeit	6.1
Tabelle 6-2	Vergleich der Zugtragfähigkeit	6.2
Tabelle 6-3	Vergleich der Drucktragfähigkeit	6.3
Tabelle A-1	Abmessungen der Riegel-Riegel-Verbindungen	A-4/5
Tabelle A-2	Abmessungen der Riegel-Stützen-Verbindungen	A-7/8