

---

# Bachelorarbeit

---

Herr  
**Marcel Convent**

**Bemessung und Konstruktion  
genormter Verbindungsmittel  
von Aluminiumtragwerken**

Mittweida, 2015

Fakultät Maschinenbau

---

## **Bachelorarbeit**

---

# **Bemessung und Konstruktion genormter Verbindungsmittel von Aluminiumtragwerken**

Autor:

**Herr**

**Marcel Convent**

Studiengang:

**Stahl und Metallbau**

Seminargruppe:

**SM11w1-B**

Erstprüfer:

**Prof. Dr.-Ing Torsten Laufs**

Zweitprüfer:

**Prof Dr.-Ing Peter Hübner**

Einreichung:

**Mittweida 15.10.2015**

Verteidigung/Bewertung:

## **Bibliografische Beschreibung:**

Marcel Convent

Bemessung und Konstruktion genormter Verbindungsmittel von Aluminiumtragwerken. - 2015. - XI,179 S,

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit, 2015

## **Referat:**

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit den Verbindungsmittel im Aluminiumbau und soll dem Tragwerksplaner eine Hilfestellung bieten seine zu verwendenden Verbindungsmittel normgerecht zu wählen und nachzuweisen.

# Inhalt

## Inhalt I

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IX</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Allgemein .....	1
1.2 Zielstellung der Arbeit.....	1
1.3 Abgrenzung.....	2
<b>2 Theoretische Vorbetrachtung.....</b>	<b>3</b>
2.1 Bemessungsgrundlage anhand DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschn.8 .....	3
2.1.1 Einführung.....	3
2.1.2 Schnittgrößen.....	4
2.1.3 Dimensionierung von Anschlüssen.....	5
2.2 Klassifizierung von Anschlüssen anhand DIN EN 1999-1-1 Anhang L.....	6
2.2.1 Allgemeines.....	6
2.2.1.1 Klassifizierung nach Steifigkeit .....	8
2.2.1.2 Klassifizierung nach der Tragfähigkeit.....	9
2.2.1.3 Klassifizierung nach der Duktilität.....	9
2.2.1.4 Allgemeine Bemessungsanforderungen für Verbindungen .....	9
2.2.2 Anforderungen an Verbindungen im Rahmentragwerk .....	11
2.3 Schrauben und Nietverbindungen .....	12
2.3.1 Einführung und Kategorisierung von Schraubenverbindungen .....	12
2.3.1.1 Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel.....	17
2.3.2 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Nieten .....	18
2.3.2.1 Langlöcher .....	21
2.3.3 Lochtoleranzen.....	22
2.3.4 Lochabminderungen.....	24
2.3.4.1 Blockversagen.....	24
2.3.4.2 Anschlüsse mit Sonderprofilen .....	27
2.3.5 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Schraub- und Nietverbindungen ....	29
2.3.5.1 Tragfähigkeit und Beanspruchbarkeit von Schrauben .....	30

2.3.5.2	Beanspruchbarkeit von Nieten .....	34
2.3.5.3	Senkschrauben und Senknieten .....	38
2.3.6	Vorgespannte gleitfeste Verbindungen (GV-Verbindungen mit HV-Schrauben) .....	38
2.3.7	Abstütz- und Kontaktkräfte .....	42
2.3.8	Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung.....	44
2.3.8.1	Allgemeine Regeln zur Tragfähigkeit.....	44
2.3.8.2	Einzelne Schraubenreihen, Schraubengruppen und Gruppen von Schraubenreihen.....	52
2.3.9	Einschnittige Schraubenverbindungen .....	53
2.3.10	Lange Anschlüsse.....	54
2.3.11	Verbindungen durch Futterbleche .....	55
2.4	<i>Bolzenverbindungen</i> .....	56
2.4.1	Allgemeines .....	56
2.4.2	Bolzenlöcher und Augenstäbe (Anschlussbleche).....	56
2.4.3	Bemessung der Bolzen .....	58
2.5	<i>Schweißverbindungen</i> .....	61
2.5.1	Allgemeines .....	61
2.5.2	Festigkeitsreduktionen in der Wärmeeinflusszone (WEZ) .....	67
2.5.2.1	Allgemein .....	67
2.5.2.2	Ausdehnung der WEZ.....	68
2.5.3	Bemessung von Schweißverbindungen .....	71
2.5.3.1	Stumpfnähte .....	71
2.5.3.2	Kehlnähte.....	73
2.5.4	Tragfähigkeitsnachweis der WEZ.....	79
2.5.4.1	Unter Zugbeanspruchung rechtwinkelig zur Versagensebene.....	79
2.5.4.2	Unter Schubkraft in der Versagensebene.....	80
2.5.4.3	Unter Zug und Schub Beanspruchung .....	80
<b>3</b>	<b>Algorithmen der Verbindungsarten .....</b>	<b>81</b>
3.1	<i>Algorithmus zur Bemessung von Schraubenverbindungen</i> .....	81
3.2	<i>Algorithmus zur Bemessung von Nietverbindungen</i> .....	103
3.3	<i>Algorithmus T-Stummel</i> .....	114
3.4	<i>Algorithmus zur Bemessung von Bolzenverbindungen</i> .....	120
3.5	<i>Algorithmus zur Bemessung von Schweißverbindungen</i> .....	125
3.5.1	Nachweisführung von Stumpfnähten.....	125
3.5.2	Nachweisführung von Kehlnähten.....	129
3.5.3	Nachweis der Wärmeeinflusszone .....	133
<b>4</b>	<b>Beispielhafte Anwendung der Algorithmen .....</b>	<b>135</b>

4.1	<i>Beispiel geschraubter Zugstab</i> .....	135
4.1.1	Schritt Eins - Überprüfen der Schraubenabstände:.....	136
4.1.2	Schritt Zwei - Nachweis gegen Blockversagen .....	136
4.1.3	Schritt Drei – Überprüfung, ob es sich um einen langen Anschluss handelt	137
4.1.4	Schritt Vier - Nachweis gegen Abscheren je Scherfuge.....	137
4.1.5	Schritt Fünf - Nachweis auf Abscheren je Scherfuge mit Neuwahl der Festigkeitsklasse 5.6 .....	138
4.1.6	Schritt Sechs - Nachweis auf Lochleibung.....	138
4.1.7	Schritt Sieben - Nachweis der Nettoquerschnittsfläche.....	140
4.2	<i>Nachweis geschweißter Zugstab mit Flankenkehlnaht</i> .....	141
4.2.1	Schritt eins - Überprüfung und Ermittlung der Querschnittswerte .....	142
4.2.2	Schritt Zwei - Nachweis der Schweißnaht.....	143
4.2.3	Schritt Vier - Nachweis der WEZ .....	143
4.3	<i>Nachweis Kopfplattenanschluss der Schraubenkategorie C so wie der Schweißnähte</i> .....	144
4.3.1	Nachweis der Schrauben .....	144
4.3.1.1	Schritt eins - Nachweis der Rand – und Lochabstände .....	144
4.3.1.2	Schritt Zwei - Berechnung der Vorspannkraft .....	145
4.3.1.3	Schritt Drei - Berechnung der Zugkraft pro Schraube .....	145
4.3.1.4	Schritt Vier - Nachweis der kombinierten Beanspruchung auf Zug und Abscheren.....	145
4.3.1.5	Schritt Fünf - Nachweis der Lochleibungsbeanspruchung .....	146
4.3.1.6	Schritt Sechs - Nachweis gegen Durchstanzen .....	148
4.3.2	Nachweis der Schweißnähte .....	149
4.3.2.1	Schritt eins - Überprüfung und Ermittlung der Querschnittswerte .....	149
4.3.2.2	Schritt Zwei - Nachweis der Schweißnaht.....	150
4.3.2.3	Schritt Drei - Nachweis der WEZ .....	150
4.4	<i>Nachweis einer Kehlnaht</i> .....	152
4.4.1	Schritt eins - Überprüfung und Ermittlung der Querschnittswerte .....	152
4.4.2	Schritt Zwei - Nachweis der Schweißnaht.....	153
4.4.3	Schritt Drei - Nachweis der Schweißnaht mit neu gewählter Legierung .....	154
4.4.4	Schritt Vier - Nachweis der WEZ .....	154
4.5	<i>Nachweis einer Stumpfnah</i> t.....	155
4.5.1	Schritt eins - Ermittlung und Überprüfung der Querschnittswerte .....	155
4.5.2	Schritt Zwei - Nachweis der Stumpfnähte .....	156
4.5.3	Schritt Drei - Nachweis der WEZ .....	157
4.6	<i>Nachweis eines Stirnplattenanschluss mit der Schraubenkategorie C</i> .....	159
4.6.1	Schritt eins - Nachweis der Rand– und Lochabstände .....	159
4.6.2	Schritt Zwei - Berechnung der Vorspannkraft .....	160
4.6.3	Schritt Drei - Berechnung der Zugkraft pro Schraube .....	160

---

4.6.4	Schritt Vier - Nachweis der kombinierten Beanspruchung auf Zug und Abscheren.....	160
4.6.5	Schritt Fünf - Nachweis auf Lochleibung .....	162
4.6.6	Schritt Sechs - Nachweis der Nettoquerschnittsfläche .....	164
4.6.7	Schritt Sieben - Nachweis gegen Durchstanzen.....	165
4.6.8	Nachweis des T-Stummel .....	166
4.6.8.1	Querschnittswerte des T-Stummel .....	166
4.6.8.2	Berechnung der Beiwerte.....	166
4.6.8.3	Nachweisführung des Riegel.....	169
4.6.8.4	Nachweis der Stütze .....	170
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse.....</b>	<b>171</b>
<b>6</b>	<b>Abschluss.....</b>	<b>175</b>
	<b>Literatur</b>	<b>176</b>
	<b>Normen</b>	<b>177</b>
	<b>Programme.....</b>	<b>178</b>
	<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>179</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Definition von „Verbindung“ und „Anschluss“ gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Bild L.1 .....	7
Abbildung 2-2: Klassifizierung von Verbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Bild L.1 .....	8
Abbildung 2-3: Wichtige Verbindungstypen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Bild L.3 .....	10
Abbildung 2-4: Scherverbindung .....	13
Abbildung 2-5: Zugverbindung .....	13
Abbildung 2-6: Elastische Lastverteilung der Kräfte auf die Verbindungsmittel gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.7.....	17
Abbildung 2-7: Plastische Lastverteilung der Kräfte auf die Verbindungsmittel gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.7.....	18
Abbildung 2-8: Bezeichnung der Loch- und Randabstände bei Schrauben- und Nietverbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.1 .....	20
Abbildung 2-9: Bezeichnung der Loch- und Randabstände bei Schrauben- und Nietverbindungen mit Zwischenreihe gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.1 .....	20
Abbildung 2-10: Versetzte Lochabstände der Schraubenlöcher unter Druckbeanspruchung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.2 .....	20
Abbildung 2-11: Abstände der Löcher untereinander bei zugbeanspruchten Bauteilen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.3.....	21
Abbildung 2-12: Bezeichnung von Langlöchern gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.4.....	22



Abbildung 2-13: Blockversagen von Schraubengruppen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.5 .....	24
Abbildung 2-14: Beispiel für die Nettoquerschnittsfläche unter zentrischer Belastung nach Schneider Bautabellen für Ingenieure Abschnitt 8 Tafel 8.56 .....	25
Abbildung 2-15: : Beispiel für die Nettoquerschnittsfläche unter exzentrischer Belastung nach Schneider Bautabellen für Ingenieure Abschnitt 8 Tafel 8.56 .....	26
Abbildung 2-16: Anschlüsse von Winkelprofilen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.6 .....	27
Abbildung 2-17: Mindestabmessungen des Kopfes von Massivnieten (ohne Ansenkung) gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang C Bild C.1 .....	35
Abbildung 2-18: Modelle bei Stirnplattenverbindungen mit Kontaktkräften gemäß Günther Valtinat "Aluminium im Konstruktiven Ingenieurbau Bild 6-5 .....	42
Abbildung 2-19: Abstützkräfte (Q) gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.8 .....	43
Abbildung 2-20: Auswirkung von Konstruktionsdetails auf die Abstützkräfte gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.9 .....	44
Abbildung 2-21:T-Stummel als Grundkomponente anderer Tragsysteme gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B. Bild B.1 .....	45
Abbildung 2-22: Versagensart des äquivalenten T-Stummel gemäß DIN EN 1999-1- 1:2014-03 Anhang B. Bild B2.1 .....	46
Abbildung 2-23: Abmessungen eines äquivalenten T-Stummels gemäß DIN EN 1999-1- 1:2014-03 Anhang B Abbildung B.3 .....	48
Abbildung 2-24: Werte des Faktors $\alpha$ für die wirksame Länge von ausgesteiften Flanschen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Bild B.4.....	51
Abbildung 2-25: Äquivalente T-Stummel für einzelne Schraubenreihen und Gruppen von Schraubenreihen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Bild B.5 .....	53
Abbildung 2-26: Einschnittige Schraubenverbindung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.11 .....	54

Abbildung 2-27: Lange Anschlüsse gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.10.....	54
Abbildung 2-28: Beispielhafte Verdeutlichung eines Futterbleches.....	55
Abbildung 2-29: Maßgebliche Anforderung für Bolzenverbindungen mit vorgegebenem Lochdurchmesser und Dicke gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.12 ....	56
Abbildung 2-30: Maßgebliche Anforderungen für Bolzenverbindungen mit vorgegebener Geometrie gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.12 .....	57
Abbildung 2-31: Einwirkungen und Reaktionen bei einer Bolzenverbindung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.13.....	60
Abbildung 2-32: Ausdehnung der Wärmeeinflusszone gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 .....	69
Abbildung 2-33: Stumpfnah mit Normalspannung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.14.....	72
Abbildung 2-34: Stumpfnah mit Schubspannungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.15.....	73
Abbildung 2-35:-Spannungsverteilung in Verbindungen mit Kehlnähten gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Abbildung 8.16.....	74
Abbildung 2-36: Wirksame Nahtdicke $a$ , über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehender Einbrand $a_{peng}$ gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Abbildung 8.14.....	75
Abbildung 2-37:Spannungen in der Nahtfläche einer Kehlnah gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Abbildung 8.18.....	76
Abbildung 2-38: Doppelkehlnahanschluss mit Beanspruchung rechtwinkelig zur Schweißnaht gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.19 .....	77
Abbildung 2-39: Doppelkehlnahanschluss mit Beanspruchung parallel zur Schweißnahtachse gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 .....	78
Abbildung 2-40: Versagensebenen in der WEZ einer Schweißnaht gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.21.....	79

Abbildung 5-5-41: Wirtschaftlichkeit beim Strangpressen.....	172
Abbildung 5-42: Steigende Festigkeit in der WEZ bei Strangpressprofilen.....	173

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.1 .....	4
Tabelle 2-2 Allgemeine Bemessungsanforderungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Tabelle L.1 .....	11
Tabelle 2-3: Kategorien von Schraubenverbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.4.....	16
Tabelle 2-4: Grenz- und planmäßige Werte für Rand- und Lochabstände gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.2.....	19
Tabelle 2-5: Maximales Lochspiel für Schrauben, Nieten und Bolzen gemäß DIN EN 1090-03:2008-09 Abschnitt 6 Tabelle 6.....	23
Tabelle 2-6: Abminderungsbeiwert $\beta_2$ Und $\beta_3$ gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.3.....	28
Tabelle 2-7: Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze $f_0$ und der Zugfestigkeit $f_u$ für Schrauben und Vollniete gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.4.....	29
Tabelle 2-8: Beanspruchbarkeit für Schrauben unter Scherbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5.....	32
Tabelle 2-9: Beanspruchbarkeit für Schrauben unter Zugbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5.....	33
Tabelle 2-10: Beanspruchbarkeit für Nieten unter Scherbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5.....	37
Tabelle 2-11: Beanspruchbarkeit für Nieten unter Zugbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5.....	37
Tabelle 2-12: Vorspannkraft in KN gemäß DIN EN 1090-03 Abschnitt 6 Tabelle 8.....	40

Tabelle 2-13: Reibbeiwert vorbehandelter Gleitflächen gemäß DIN EN1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.6 .....	41
Tabelle 2-14: Wirksame Länge für unausgesteifte Flansche gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Tabelle B.1 .....	49
Tabelle 2-15: Wirksame Länge für ausgesteifte Flansche gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Tabelle B.2 .....	50
Tabelle 2-16: Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit von Bolzenverbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.7.....	59
Tabelle 2-17: Charakteristische Werte der 0,2%-Dehngrenze $f_o$ und der Zugfestigkeit $f_u$ (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwerte der Bruchdehnung $A$ , Abminderungsfaktoren $p_o, haz$ und $p_u, haz$ in der WEZ, Knicklasten und Exponent $np$ für Aluminiumknetlegierungen-Bleche, Bänder und Platten gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.2a.....	61
Tabelle 2-18: Fortsetzung der Tabelle 2-17.....	62
Tabelle 2-19: Charakteristische Werte der 0,2%-Dehngrenze $f_{o,nd}$ und der Zugfestigkeit $f_u$ (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwerte der Bruchdehnung $A$ , Abminderungsfaktoren $p_o, haz$ und $p_u, haz$ in der WEZ, knicklasten und Exponent $np$ für Aluminiumknetlegierungen-Strangpressprofile, stranggepresste Rohre, stranggepresste Stangen und gezogene Rohre gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.2b .....	63
Tabelle 2-20: Fortsetzung Tabelle 2-19.....	64
Tabelle 2-21: Gruppierung der Legierungen für Tabelle 2-22 gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.5.....	65
Tabelle 2-22: Wahl der Schweißzusätze gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.6.....	66
Tabelle 2-23: Charakteristische Werte der Festigkeit von Schweißnähten $f_w$ gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.8.....	67

## Abkürzungsverzeichnis

<b>WEZ</b>	Wärmeeinflusszone
<b>haz</b>	Heat affected zone
<b>SL</b>	Scher-Lochleibungswirkung
<b>GV</b>	gleitfeste Verbindungen
<b>HV</b>	hochfeste Schrauben
<b>MIG</b>	Metall Inertgasschweißen
<b>WIG</b>	Wolfram Inertgasschweißen



# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemein

Der Aluminiumbau ist aufgrund enormer Fortschritte im Herstellungsprozess und der Vielfalt der Formgebung ein nicht mehr wegzudenkender Bereich im konstruktiven Ingenieurbau. Die Weiterentwicklung geltender Regelwerke unterstützt dies enorm. Mit Hilfe des Eurocode-Programmes wurde durch die Ausgabe der DIN EN 1999 dem Tragwerksplaner ein Hilfsmittel an die Hand gegeben, welches auf die Problematik des Werkstoffes Aluminium eingeht.

Im Vergleich zum Stahlbau kommt es bei Aluminiumkonstruktionen oft zu Problemen mit den Verbindungen der verschiedenen Bauteile. Auf Grund dessen, dass beim Schweißen von Aluminium mit einem Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone zu rechnen ist, werden die bevorzugten Verbindungen durch Bolzen, Schrauben und Nieten realisiert. Dies hat jedoch nicht zur Folge, dass Schweißen von Aluminiumkonstruktionen nicht realisierbar wäre und auch in der gängigen Praxis angewendet wird.

Die Diskrepanz, mit der viele Tragwerksplaner zu kämpfen haben, besteht darin die konstruktivste und wirtschaftlich am besten geeignete Anschlussvariante für ihr Vorhaben auszuwählen. Zielsetzung bei jedem Projekt ist nicht nur die Umsetzbarkeit sondern auch die Tragfähigkeit zu gewährleisten.

## 1.2 Zielstellung der Arbeit

Auf dem Weg von der Idee bis zur Fertigstellung eines Bauprojektes, durchläuft dieses viele Phasen und Abteilungen. Bevor jedoch die Idee zur Fertigung übergeht, muss sie vom Tragwerksplaner konstruktiv erfasst und statisch geprüft werden. Da die Bestimmungen bezüglich der Bemessung ebenso wie bei der Auswahl der Verbindungsmittel im Aluminiumbau sehr umfangreich sind, soll diese Bachelorarbeit einen Überblick über die vielen unterschiedlichen Möglichkeiten, Aluminium miteinander zu verbinden, geben. Der Tragwerksplaner soll in der Lage sein, während der Planung eines Projektes, die entsprechenden Verbindungsmittel systematisch auszuwählen und sie statisch nachzuweisen.



### **1.3 Abgrenzung**

In dieser Bachelorarbeit, „Bemessung und Konstruktion genormter Verbindungsmittel von Aluminiumtragwerken“, werden Verbindungen durch Schrauben, Nieten, Bolzen und Schweißen betrachtet. Der Schwerpunkt der Arbeit wird darin liegen, für die genannten Verbindungsarten Algorithmen zu erstellen und diese anhand von Beispielen zu erläutern und anzuwenden.

In dieser Arbeit soll es nicht darum gehen, aufzuzählen, welche vielen verschiedenen Arten von Anschlüssen es gibt, ebenso wenig darum die zu verbindenden Querschnitte nachzuweisen. Darüber hinaus ist die Nachweisführung im Ermüdungszustand und die Verbindung durch Klebstoff kein Bestandteil, da dies zum einen zu umfangreich wäre und zum anderen im nationalen Anhang der DIN EN199-1-1:2014-03 nicht erlaubt ist. Vielmehr handelt diese Bachelorarbeit von den verschiedenen Arten der Verbindungsmittel, sodass der Tragwerksplaner Hintergrundwissen vermittelt bekommt und anhand dessen einen roten Leitfaden durch das Regelwerk erhält.

## 2 Theoretische Vorbetrachtung

### 2.1 Bemessungsgrundlage anhand DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschn.8

#### 2.1.1 Einführung

Für die Bemessung von Aluminiumtragwerken ist mit der Ablösung der DIN 4113 durch die DIN EN 1999 ein sehr umfangreiches Regelwerk eingeführt worden, welches viele Parallelen zur DIN EN 1993, dem geltenden Regelwerk im Stahlbau, aufweist. Dennoch umfasst die DIN EN 1999, auf Grund der werkstoffspezifischen Besonderheiten des Aluminiumwerkstoffes, viele detaillierte und ausschlaggebende Vorgaben zur Nachweisführung.

Die Bemessungen der Anschlussvarianten und deren Verbindungsmitteln in dieser Arbeit werden anhand der DIN EN 1999-1-1:2014-03 „Bemessung von Aluminiumtragwerken Teil 1-1:Allgemeine Bemessungsregeln“ durchgeführt.

Alle Lasten, die zur Nachweisführung dienen, werden sowohl im Stahl als auch im Aluminiumbau unter Berücksichtigung des Eurocodes in zwei verschiedenen Lastniveaus berechnet.

- Nachweis der Tragsicherheit, Bemessungslastniveau
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, Gebrauchstauglichkeitsniveau

Während in der Landesbauordnung vom Gesetzgeber eine ausreichende Tragsicherheit gefordert wird, ist der Nutzer des Bauwerkes unter anderem auch an der Gebrauchstauglichkeit interessiert. Die öffentliche Sicherheit und Ordnung, also das Versagen von Bauteilen und die Vermeidung der Gefährdung von Personen, wird durch den Tragsicherheitsnachweis gewährleistet. Hingegen des Tragsicherheitsnachweises werden Aspekte wie Nutzungsfähigkeit des Bauwerkes über die vorgesehene Nutzungszeit im Nachweis der Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt und sollen somit (z. B. durch die Verformungen an Bauteilen und Bauwerken mit Folge von Rissbildung) möglich entstehende Gefahren verhindern.

Der Nachweis der Tragfähigkeit wird im Bemessungskonzept auf dem Bemessungslastniveau erbracht. Dabei werden alle Einwirkungen mit den zuständigen Teilsicherheitsbeiwert erhöht.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit wird im Gegenzug auf dem Niveau der Wirklichen Lasten geführt.

Tragende Verbindungen in Aluminiumkonstruktionen sind so auszulegen, dass im Traglastfall ihre Bemessungswiderstände größer als die errechneten Bemessungslasten sind. Darüber hinaus ist unter Beachtung des Gebrauchstauglichkeitsnachweises darauf zu achten, dass die gewählten Verbindungen unter Gebrauchslasten keinen unzulässig großen Verformungen und Verschiebungen unterliegen.

In der DIN EN 1999-1-1:2014-03 werden die Bemessungswiderstände aus den charakteristischen Beanspruchungen für den Tragsicherheitsnachweis durch die Teilsicherheitsbeiwerte für die Widerstandsseite  $\gamma_M$  dividiert.

Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Querschnitten	$\gamma_{M1}$ und $\gamma_{M2}$ siehe 6.1.3
Beanspruchbarkeit von Schraubenverbindungen	$\gamma_{M2} = 1,25$
Beanspruchbarkeit von Nietverbindungen	
Beanspruchbarkeit von Lochleibung	
Beanspruchbarkeit von Bolzenverbindungen	$\gamma_{Mp} = 1,25$
Beanspruchbarkeit von Schweißverbindungen	$\gamma_{Mw} = 1,25$
Gleitwiderstand, siehe 8.5.9.3	$\gamma_{Ms,ser} = 1,1$ $\gamma_{Ms,ult} = 1,25$
— im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
— im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
Beanspruchbarkeit von geklebten Verbindungen	$\gamma_{Ma} \geq 3,0$
Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{Mp,ser} = 1,0$

**Tabelle 2-1 Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.1**

## 2.1.2 Schnittgrößen

Die von Verbindungen erforderlichen Schnittgrößen für den Tragsicherheitsnachweis sollten, unter Berücksichtigung folgender Punkte, nach einer Untersuchung am Gesamttragwerk ermittelt werden:

- Einflüsse aus Theorie II Ordnung
- Einflüsse aus Imperfektionen
- Einflüsse aus Nachgiebigkeit der Verbindungen

Des Weiteren sollten sie nach einer der beiden folgenden Methoden ermittelt werden:

- Elastische Tragwerksberechnung
- Plastische Tragwerksberechnung

Dazu ist zu sagen, dass die plastische Tragwerksberechnung nur dann durchgeführt werden darf, wenn das Tragwerk über ausreichend Rotationskapazität an den Stellen (sei es an Anschlüssen oder in Bauteilen) verfügt, an denen sich die plastischen Gelenke bilden. Sofern ein plastisches Gelenk an einem Anschluss auftritt, sollte dieser entweder über ausreichend Festigkeit verfügen, sodass sich das Gelenk im Bauteil bildet, oder es sollte seine plastische Festigkeit über eine ausreichende Rotation beibehalten können.

Die elastische Tragwerksberechnung ist in allen Fällen anwendbar.

Die Schnittgrößen, die in einer Verbindung auftreten, müssen sinnvoll auf die einzelnen Elemente des Querschnittes und der Verbindung aufgeteilt werden. Dies wiederum setzt voraus, dass die angenommenen inneren Kräfte und Momente im Gleichgewicht mit den belastenden Kräften und Momenten stehen. Darüber hinaus sollte jedoch auch jede einzelne Komponente des Anschlusses in der Lage sein, ihre zugewiesenen Kräfte und Spannungen zu übertragen.

Die aus der Aufteilung der Schnittgrößen resultierenden Verformungen dürfen das Verformungsvermögen der Verbindungsmittel, Schweißnähte und Anschlusssteile nicht überschreiten.

Zusätzlich sollte die angenommene Verteilung der Schnittgrößen, bezüglich der Steifigkeitsverhältnisse im Anschluss, wirklichkeitsnah sein. Der Kraftfluss wird sich immer den Weg der größten Steifigkeit suchen. Bei der Bemessung von Anschlüssen sollte dieser Kraftfluss eindeutig geklärt und konsequent verfolgt werden.

### **2.1.3 Dimensionierung von Anschlüssen**

Bei der Dimensionierung von Anschlüssen und Stößen sollte auf eine leichte Herstellung und Ausführung geachtet werden. Ebenso sollte man bei der Planung der Varianten die konstruktiven Aspekte nicht aus dem Auge lassen und stets daran denken, dass genügend Platz um den Anschluss oder Stoß herum ist, sodass bei der Montage oder der Fertigung eine leichte Ausführung möglich ist und das Anziehen der Verbindungsmittel keine Probleme bereitet.

Auch das Schweißen der Verbindungen in der Werkstatt oder auf der Baustelle darf nicht vernachlässigt werden und sollte immer bedacht sein. Außerdem müssen stets die Auswirkungen von Winkel- und Längentoleranzen auf die Passgenauigkeit mit bedacht werden.

Aber nicht nur die Aspekte der Fertigung und Montage sind wichtig, sondern auch die Anforderungen an die Qualitätssicherung zur nachträglichen Qualitätsprüfung bis hin zur Oberflächenbehandlung (Korrosionsschutz) und Instandhaltung, sind allesamt wichtige Kriterien die bei der Dimensionierung und Planung von Anschlüssen und Stößen ein Rolle spielen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auslegung von Verbindungen ist, dass die Kräfte, die in den einzelnen Querschnitten anfallen, auf direktem Weg übertragen werden, so dass die Schwerlinien der Angeordneten Verbindungsteile eine etwa gleiche Schwerlinienlage wie diejenige des Bauteiles haben. Der Vorteil dieser Betrachtung liegt darin, dass jedes Verbindungselement einzeln mit seinen anfallenden Kräften nachgewiesen werden kann.

## 2.2 Klassifizierung von Anschlüssen anhand DIN EN 1999-1-1 Anhang L

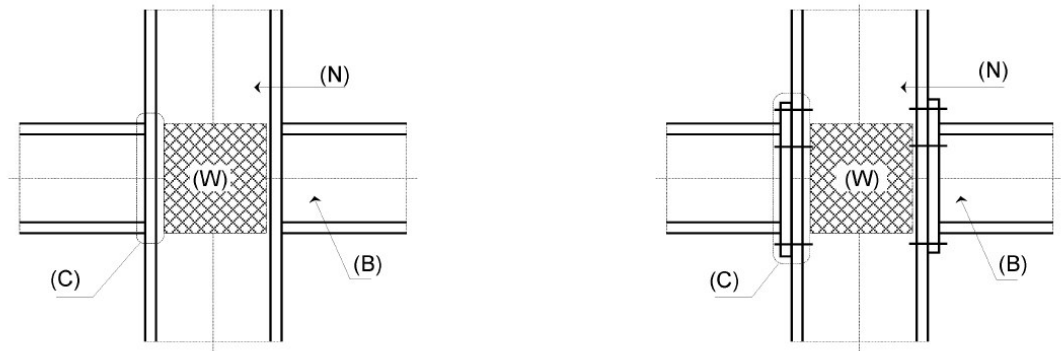
### 2.2.1 Allgemeines

Laut DIN EN 1999-1-1:2014-03 gelten die folgenden Definitionen:

**Verbindungen:** Stellen, an denen zwei Bauteile verbunden werden sowie das Anordnen von Verbindungselementen die im Falle eines Anschlusses in der Hauptachse die Lasteinleitung in das Stegfeld der Stütze.

**Anschluss:** Anordnung von Grundkomponenten, die eine Verbindung der Bauteile ermöglicht, sodass die maßgebenden Schnittkräfte und Momente zwischen ihnen übertragen werden können. Ein Träger-Stützenanschluss besteht entweder aus einem Stegfeld mit einer Verbindung (einseitige Anschlusskonfiguration) oder zwei Verbindungen (zwei-seitige Anschlusskonfiguration).

Eine „Verbindung“ ist definiert als das System, das ein Bauteil mechanisch an dem restlichen Teil des Tragwerkes befestigt. Sie sollte von dem „Anschluss“ unterschieden werden, der üblicherweise das System bezeichnet, das aus der Verbindung selbst und der zugehörigen Interaktionszone zwischen den verbundenen Bauteilen besteht (siehe Bild 2-1).



### Geschweißter Anschluss

Anschluss =  
 schubbeanspruchtes Stegfeld + Verbindungen  
 Komponenten: Schweißnähte, Stützenflansche

### Geschraubter Anschluss

Anschluss =  
 schubbeanspruchtes Stegfeld + Verbindungen  
 Komponenten: Schweißnähte, Stirnplatten,  
 Schrauben, Stützenflansche

(C) Verbindung, (W) schubbeanspruchtes Stegfeld, (N) Stütze, (B) Träger

**Abbildung 2-1: Definition von „Verbindung“ und „Anschluss“ gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Bild L.1**

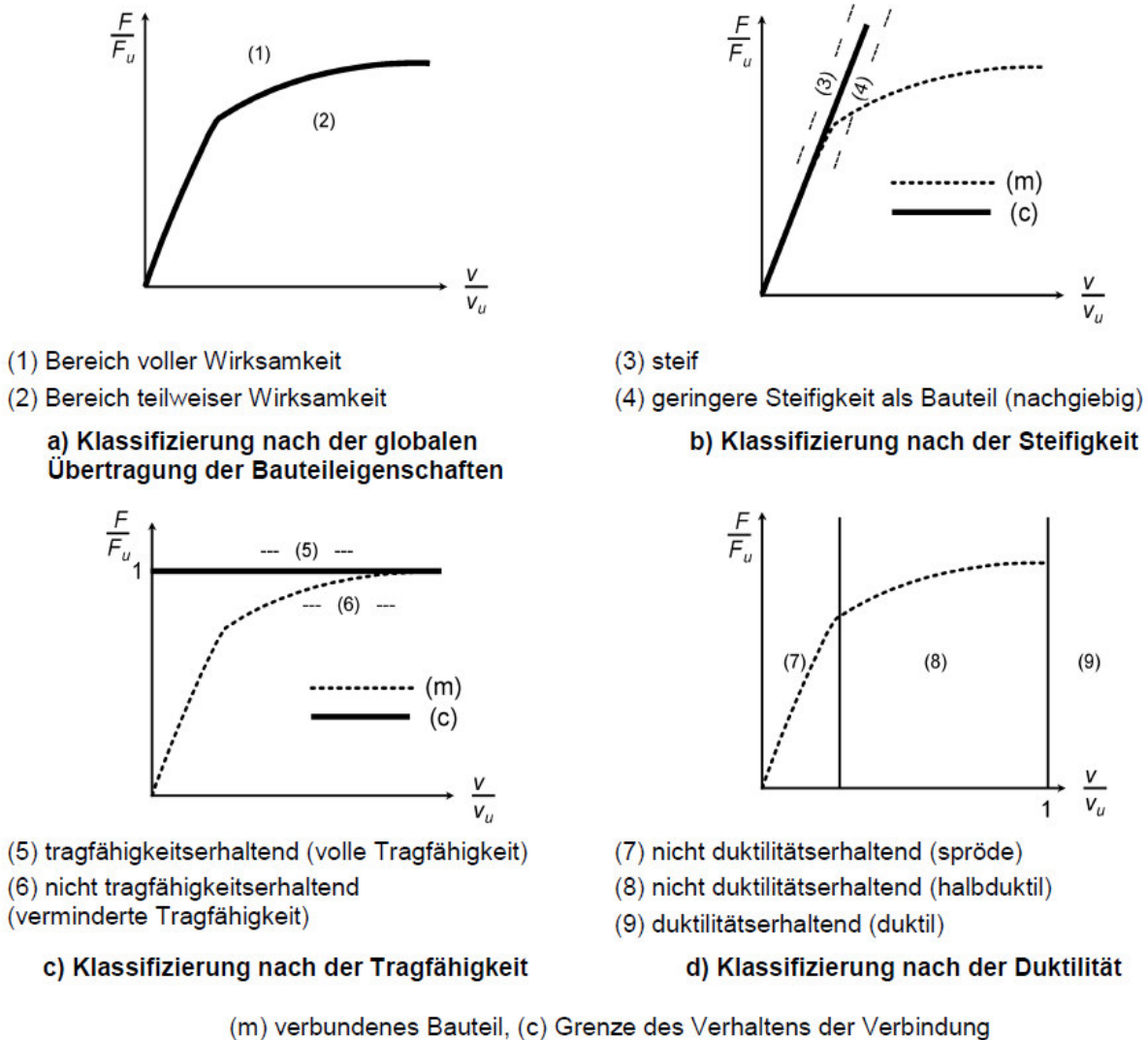
Verbindungen können nach ihrer Fähigkeit (die Verhaltenseigenschaften Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität) klassifiziert werden. Hinsichtlich des globalen Verhaltens des verbundenen Bauteiles werden zwei Hauptklassen definiert (Bild 2-2.a).

- Voll wirksame Verbindung
- Teilweise wirksame Verbindung

Das Bemessen von voll wirksamen Verbindungen ist dadurch qualifiziert, dass ihre elastische Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität den Verhaltenseigenschaften des zu verbindenden Bauteiles stets gleich- oder höherwertig ist. Die verallgemeinerte Kraftverformungskurve der Verbindungen liegt oberhalb der des verbundenen Bauteiles. Auf Grund dessen, dass somit die Art der Verbindung hohen Ansprüchen unterliegt, braucht sie in der Tragwerksberechnung nicht gesondert betrachtet zu werden.

Gegenteilig ist es bei der teilweise wirksamen Verbindung. Dort erreichen die Verhaltenseigenschaften der Verbindung nicht die des verbundenen Bauteiles. Grund dafür ist, dass die elastische Steifigkeit, Tragfähigkeit oder Duktilität des angeschlossenen Bauteiles höher ist als die der Verbindung. Die verallgemeinerte Kraftverformungskurve kann teilweise unter derjenigen des verbundenen Bauteils liegen. Solche Verbindungen müssen von dem ausführenden Tragwerksplaner in seiner Berechnung berücksichtigt werden.

In den folgenden Bildern und Abschnitten bezeichnet das Zeichen „F“ eine Verallgemeinerte Kraft (Axialkraft, Querkraft oder Biegemoment) und das Zeichen „V“ die zugehörige verallgemeinerte Verformung (Dehnung, Verdrehung oder Rotation). Der Index „e“ bezeichnet den elastischen Zustand und der Index „u“ den Grenzzustand der Tragfähigkeit.



**Abbildung 2-2: Klassifizierung von Verbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Bild L.1**

### 2.2.1.1 Klassifizierung nach Steifigkeit

Wie in dem Bild 2-2.b zu erkennen ist, kann man die Klassifizierung nach der Steifigkeit in zwei Kategorien einordnen: steife Anschlüsse und Anschlüsse, die eine geringere Steifigkeit aufweisen als das angeschlossene Bauteil. Diese werden in der Tragwerksplanung auch als „steif (biegesteif) angeschlossen“ und „nachgiebig (gelenkig) angeschlossen“ bezeichnet.

Diese Klassifizierung ist abhängig davon, dass der Anschluss und die Verbindung die Steifigkeit des zu verbindenden Bauteiles erreicht oder nicht. Sie ist unabhängig von der Tragfähigkeit und der Duktilität

### **2.2.1.2 Klassifizierung nach der Tragfähigkeit**

Hinsichtlich der Tragfähigkeit können Verbindungen als tragfähigkeitserhaltend (volle Tragfähigkeit), aber auch als Verbindungen die die Tragfähigkeit nicht erhalten (verminderte Tragfähigkeit), eingestuft werden (Bild 2-2.c).

Abhängig ist die Klassifizierung davon, ob die Tragfähigkeit des verbundenen Bauteiles erreicht wird oder nicht. Sie ist unabhängig von der Duktilität und der Steifigkeit.

### **2.2.1.3 Klassifizierung nach der Duktilität**

In Bild 2-2.d ist zu erkennen, dass die Klassifizierung nach der Duktilität in zwei Hauptgruppen und drei Untergruppen einzuordnen sind.

- Duktilitätserhaltende (duktil) Verbindungen
- Duktilität nicht erhaltende (halbduktil oder spröde) Verbindungen

Diese Klassifizierung ist abhängig davon, ob die Duktilität der Verbindungen größer oder kleiner als die des verbundenen Bauteiles, unabhängig von der Tragfähigkeit und der Steifigkeit, ist.

In Verbindungen mit einem duktilen Verhalten ist die Duktilität des Anschlusses gleich oder höher als die des verbundenen Bauteiles. Bei solchen Verbindungen kann der Tragwerksplaner Begrenzungen der Dehnung oder der Rotation in seiner Berechnung außer Acht lassen.

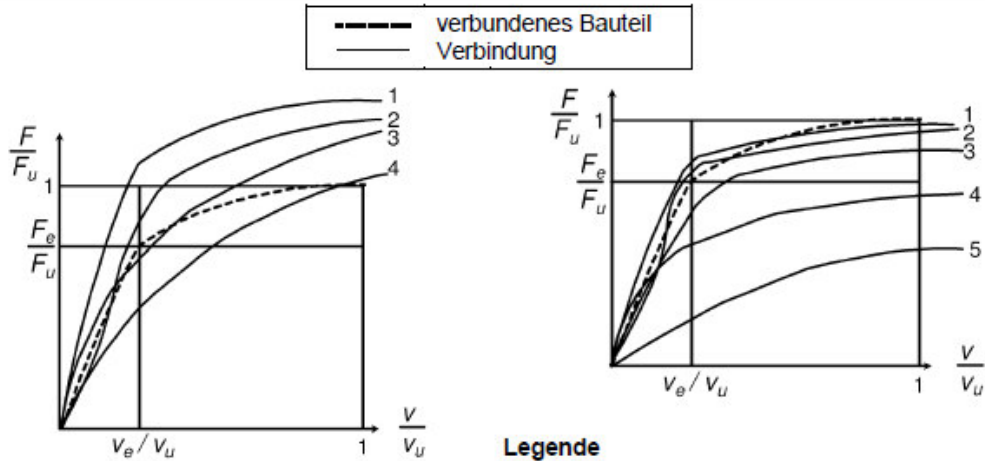
Anders ist es bei der halbduktilen und der spröden Verbindung. Die Duktilität der halbduktilen Verbindung ist geringer als die des verbundenen Bauteiles, aber größer als dessen Grenzverformung. Dies hat zur Folge, dass der Tragwerksplaner eine Begrenzung der Dehnung und Rotation bei einer unelastischen Berechnung berücksichtigen muss.

Die Spröde Verbindung weist eine geringere Duktilität als die elastische Grenzverformung des verbundenen Bauteiles auf, somit muss der Tragwerksplaner die Begrenzung der Dehnung und der Rotation sowohl bei einer unelastischen als auch bei einer elastischen Berechnung berücksichtigen.

### **2.2.1.4 Allgemeine Bemessungsanforderungen für Verbindungen**

Das Bild 2-3 zeigt die Fälle der im Allgemeinen maßgebenden Kombinationen der wesentlichen Verhaltenseigenschaften (Steifigkeit, Tragfähigkeit und Duktilität) der Verbindungen.



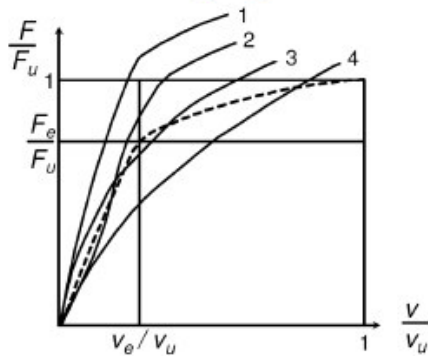


**Legende**

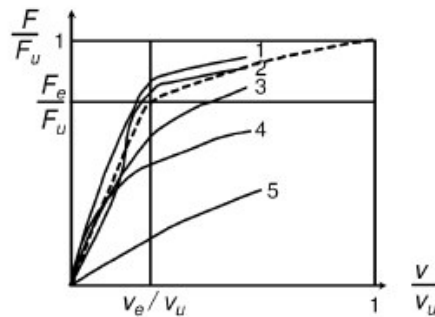
- 1 voll tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 2 voll tragfähig, nachgiebig, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 3 voll tragfähig, steif, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils  $\Delta_2$
- 4 voll tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils

**Legende**

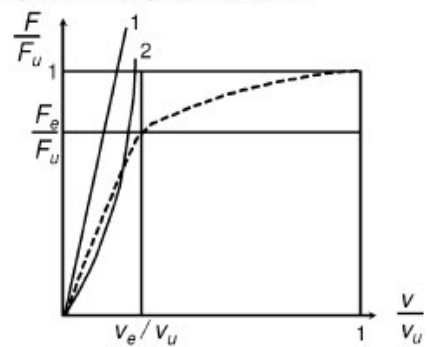
- 1 vermindert tragfähig, steif, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 2 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil mit elastischer Tragfähigkeit des Bauteils
- 3 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils  $\Delta_2$
- 4 vermindert tragfähig, steif, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils
- 5 vermindert tragfähig, nachgiebig, duktil ohne elastische Tragfähigkeit des Bauteils



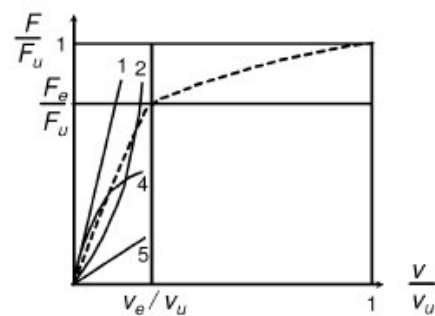
1, 2, 3, 4 wie oben, aber halbduktil



1, 2, 3, 4, 5 wie oben, aber halbduktil



1, 2 wie oben, aber spröde



1, 2, 4, 5 wie oben, aber spröde

Abbildung 2-3: Wichtige Verbindungstypen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Bild L.3

In der nachfolgenden Tabelle 2-1 aus der DIN EN 1999-1-1:2014-03 ist angegeben, wie die verschiedenen Arten der Verhaltenseigenschaften der Anschlussvarianten sich bei der Tragwerksberechnung auswirken:

Verfahren der Tragwerksberechnung (siehe 5.2.1)	Verbindungstyp der in der Tragwerksberechnung berücksichtigt werden muss	Verbindungstyp der in der Tragwerksberechnung außer acht bleiben kann
ELASTISCH	nachgiebige Verbindungen (volle oder teilweise Tragfähigkeit, duktil oder nicht duktil mit oder ohne Erhaltung der elastischen Bauteilfestigkeit) Verbindungen verminderter Tragfähigkeit (steif oder nachgiebig, duktil oder nicht duktil) ohne Erhaltung der elastischen Bauteilfestigkeit	voll wirksame Verbindungen steife Verbindungen (volle oder verminderte Tragfähigkeit, duktil oder nicht duktil) deren Festigkeit gleich der des elastischen Bauteils ist Verbindungen verminderter Tragfähigkeit (steif, duktil oder nicht duktil) deren Festigkeit gleich der des elastischen Bauteils ist
PLASTISCH (starr-plastisch elastisch-plastisch inelastisch-plastisch)	Verbindungen verminderter Tragfähigkeit (steif oder nachgiebig, duktil oder nicht duktil) ohne Erhaltung der elastischen Bauteilfestigkeit	voll wirksame Verbindungen Verbindungen mit verminderter Tragfähigkeit, duktile Verbindungen (steif oder nachgiebig) deren Festigkeit gleich der des elastischen Bauteils ist Verbindungen mit voller Tragfähigkeit
VERFESTIGEND (starr-verfestigend elastisch-verfestigend allgemein inelastisch)	teilweise wirksame Verbindungen	voll wirksame Verbindungen

**Tabelle 2-2 Allgemeine Bemessungsanforderungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L Tabelle L.1**

## 2.2.2 Anforderungen an Verbindungen im Rahmentragwerk

In einem Rahmentragwerk hat der Tragwerksplaner die Möglichkeit die verschiedenen Anschlüsse anhand ihrer Momenten-Krümmungsbeziehung in zwei Bereiche zu unterscheiden:

- Gelenkige Verbindungen
- Momentenübertragende Verbindungen

Die gelenkigen Verbindungen werden so bemessen, dass durch die Übertragung von Axial und Querkräften keine nennenswerten Momente entstehen, die das Tragwerk nachteilig beeinflussen können. Weiterhin sollten gelenkige Verbindungen in der Lage sein, die anfallenden und errechneten Kräfte zu übertragen so wie die Verdrehungen aufnehmen zu können. Die Rotationsfähigkeit einer gelenkigen Verbindung sollte so groß sein, dass sich alle erforderlichen plastischen Gelenke unter der Bemessungslast ausbilden können.

Die Momentenübertragenden Verbindungen hingegen übertragen, zusätzlich zu den Axial und Querkräften, noch die sich ergebenden und anliegenden Biegemomente.

Hinsichtlich der Steifigkeit und Tragfähigkeit können diese Verbindungen nach DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang L in folgende Klassen unterteilt werden:

- Steife Verbindungen
- Nachgiebige Verbindungen
- Verbindungen mit voller Tragfähigkeit
- Verbindungen mit verminderter Tragfähigkeit.

Bei der Bemessung einer steifen Verbindung ist zu beachten, dass die Einflüsse ihrer Verformung in Hinsicht auf die Schnittkräfte und die Verformung des gesamten Tragwerkes keinerlei Nachteile mit sich bringen dürfen. Bei einer steifen Verbindung ist weitergehend zu beachten, dass die Verformung der Verbindung die Tragfähigkeit des Gesamttragwerkes um nicht mehr als 5% vermindert.

Sowohl nachgiebige als auch steife Verbindungen müssen so gewählt sein, dass die Verbindungen die bei der Bemessung errechneten Kräfte und Momente übertragen.

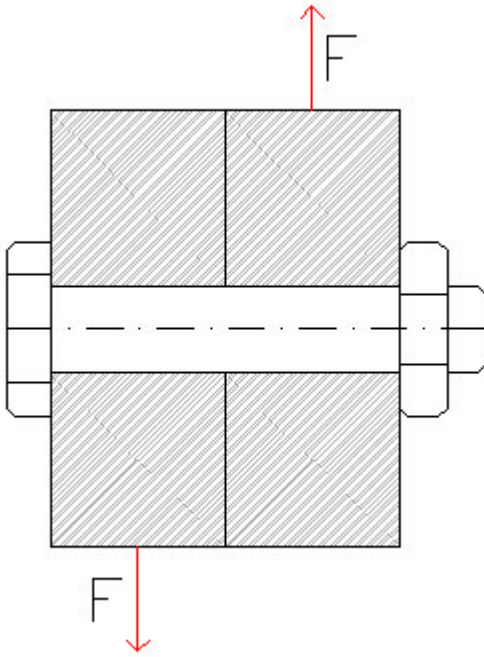
Die Verbindungen mit voller, als auch diese mit verminderter Tragfähigkeit, sollten eine derart hohe Steifigkeit aufweisen, dass die unter den Bemessungslasten auftretende Verdrehung an den erforderlichen plastischen Gelenken deren Rotationskapazität nicht überschreitet.

## **2.3 Schrauben und Nietverbindungen**

### **2.3.1 Einführung und Kategorisierung von Schraubenverbindungen**

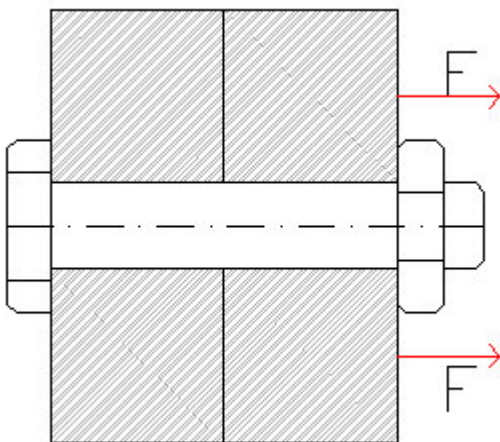
Nach DIN EN 1999-1-1:2014-03 werden Schraubenverbindungen nicht nur nach ihrer Belastungsart, „Scher- oder Zugverbindungen“, sondern auch noch in fünf verschiedenen Kategorien unterschieden.

Im Fall der Scherverbindungen verlaufen die anfallenden Kräfte senkrecht zur Schraubenachse, und werden entweder durch Scher-Lochleibungswirkung (SL-Verbindung) oder durch Reibwirkung (GV-Verbindung) übertragen.



**Abbildung 2-4: Scherverbindung**

Gegensätzlich zur Scherverbindung verlaufen die anfallenden Kräfte in der Zugverbindung in Richtung der Schraubenachse.



**Abbildung 2-5: Zugverbindung**

## **Die Schraubenverbindungen mit einwirkender Scherkraft werden in die folgenden Kategorien unterteilt.**

### **Kategorie A: Scher-/Lochleibungsverbindungen**

Bei dieser Art von Verbindungen erfolgt die Kraftübertragung so, dass die Schraubenschäfte an den Lochwandungen anliegen um die Kräfte aufzunehmen und durch die Scherwirkung in der Schraube (über die Scherfuge zu leiten) und schließlich über den Kontakt in der Lochwandung die Kräfte in das andere Bauteil überzuleiten.

In diesem Fall ist eine Vorspannung oder spezielle Schutzmaßnahme für Kontaktflächen (Reibflächenvorbehandlung) nicht erforderlich, sodass die Verbindung ohne Probleme mit Korrosionsschutzbeschichtungen zusammengebaut werden kann. Des Weiteren sollten im Falle einer solchen Verbindung korrosionsgeschützte Stahlschrauben (normale oder hochfeste Schrauben), Schrauben aus nicht rostenden Stahl, Aluminiumschrauben oder Aluminiumnieten verwendet werden.

### **Kategorie B: Gleitfeste Verbindungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Diese Verbindung wirkt, mit einem gewissen Sicherheitsabstand, bis zur Gebrauchstauglichkeitsbelastung als gleitfeste vorgespannte Verbindung die keinerlei Verformung zulässt; kommt es aber zu einem Überschreiten dieses Zustandes im Traglastfall gleitet die Verbindung soweit durch, dass eine Verbindung mit Scher-Lochleibungs-Wirkung entsteht wie bei Verbindungen der Kategorie A. Im Berechnungsmodell wird vorausgesetzt, dass diese Verbindungen im Tragsicherheitsnachweis als SL-Verbindungen und im Gebrauchstauglichkeitsnachweis als gleitfeste vorgespannte Verbindung (GV-Verbindungen) angesetzt werden.

Der Kraftfluss dieser Verbindung verläuft senkrecht zur Schraubenachse und es sollten in diesem Fall nur hochfeste vorgespannte Schrauben (die nach EN 1090-3 kontrolliert vorgespannt werden) verwendet werden.

### **Kategorie C: Gleitfeste Verbindungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit.**

Die GV-Verbindung überträgt die Kräfte senkrecht zur Schraubenachse durch Reibung. Um dies zu realisieren, kommen nur planmäßig voll vorgespannte HV-Schrauben zum Einsatz. Die Kontaktflächen der zu verbindenden Aluminiumbauteile werden einer speziellen Reibbehandlung unterzogen, die zur Erhöhung des Reibbeiwertes dient. Auch im Tragzustand bleiben diese Verbindungen gleitfest. Deshalb ist dieser Nachweis auch, wie für eine gleitfeste Verbindung, im Tragzustand zu führen. Gleichzeitig ist nachzuweisen, dass die Nettoquerschnitte der beteiligten Bauteile nicht bis zur 0,2 Grenze belastet werden, da in diesem Zustand die Klemmlänge vermindert werden könnte und es somit zu einer unkontrollierten Verminderung der Vorspannkraft kommt.

Zusätzlich sollte der Bemessungswert der Normaltragfähigkeit im Nettoquerschnitt an Schraubenlöchern laut DIN EN 1999-1-1 im Grenzzustand der Tragfähigkeit wie folgt angenommen werden:

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}}$$

Dabei ist:

$A_{net}$  Nettoquerschnittsfläche

$f_u$  charakteristischer Wert der Zugfestigkeit

**Die nachfolgenden Verbindungen sind unter Zugbeanspruchung betrachtet.**

#### **Kategorie D: Verbindungen mit nicht vorgespannten Schrauben.**

Für Zugverbindungen dieser Kategorie sollten Schrauben der Festigkeitsklasse 4.6 bis einschließlich 10.9 aus nicht rostenden Stahl oder alternativ Aluminiumschrauben verwendet werden. Sie übertragen die Kräfte in Richtung der Schraubenachse. Die von außen auftretende Zugbelastung wird von vorneherein voll von der Schraube aufgenommen. Wichtig für den Tragwerksplaner ist dabei, dass er in seinen Berechnungen darauf zu achten hat, dass dieser Art von Verbindung keinerlei zyklische (wechselnde) Zugbelastung ertragen kann. Eine Vorspannung der Verbindung ist nicht notwendig.

#### **Kategorie E: Verbindungen mit hochfesten vorgespannten Schrauben.**

In dieser Kategorie sollten ausschließlich voll vorgespannte HV-Schrauben, die in Übereinstimmung mit der DIN EN 1090-3 kontrolliert vorgespannt werden, zum Einsatz kommen. Durch die planmäßige Vorspannung werden die auftretenden Betriebslasten hauptsächlich durch die Klemmfugentlastung und nur zum geringen Teil durch die Schraubenbelastung übernommen. Durch diese Tatsache wird die Ermüdungsfestigkeit dieser Verbindung gesteigert, und ist geeignet für Tragwerke mit schwingenden/wechselnden Belastungen.

Die DIN EN 1999-1-1:2014-03 weist zusammenfassend folgende Tabelle auf:

<b>Scherbeanspruchte Verbindungen</b>		
<b>Kategorie</b>	<b>Nachweise</b>	<b>Bemerkungen</b>
A; Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9. $N_{net,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$
B; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed,ser} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} f_o / \gamma_{M1}$
C; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 A_{net} f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} f_o / \gamma_{M1}$
<b>Zugbeanspruchte Verbindungen</b>		
<b>Kategorie</b>	<b>Nachweis</b>	<b>Bemerkungen</b>
D; nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9.
E; vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. (8.8- oder 10.9-Schrauben)
<b>Legende</b>		
$F_{v,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$F_{v,Ed,ser}$	Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
$F_{v,Rd}$	Bemessungswert der Abschertragfähigkeit einer Schraube	
$F_{b,Rd}$	Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube	
$F_{s,Rd,ser}$	Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	
$F_{s,Rd}$	Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$F_{t,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit	
$F_{t,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube	
$A_{net}$	Nettofläche, siehe 6.2.2.2 (nur Bauteile unter Zug)	
$B_{p,Rd}$	Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Durchstanzen, siehe Tabelle 8.5	

**Tabelle 2-3: Kategorien von Schraubenverbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.4**

### 2.3.1.1 Kräfteverteilung auf Verbindungsmittel

Bei Verbindungsmitteln der Kategorie C sowie Scher-/Lochleibungsverbindungen bei denen der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{V,Rd}$  eines Verbindungsmittels kleiner als der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  ist ( $F_{V,Rd} < F_{b,Rd}$ ) ist, sollte die Verteilung der Bemessungsschnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf die Verbindungsmittel über ein Biegemoment proportional zur Entfernung zum Drehmittelpunkt und für eine Querkraft gleichmäßig erfolgen.

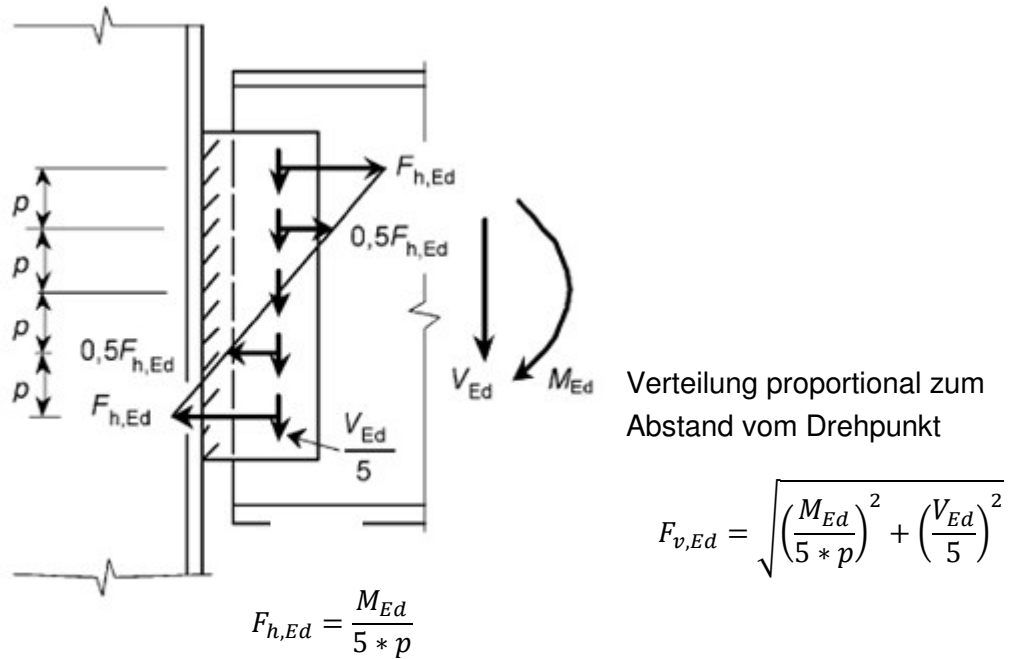
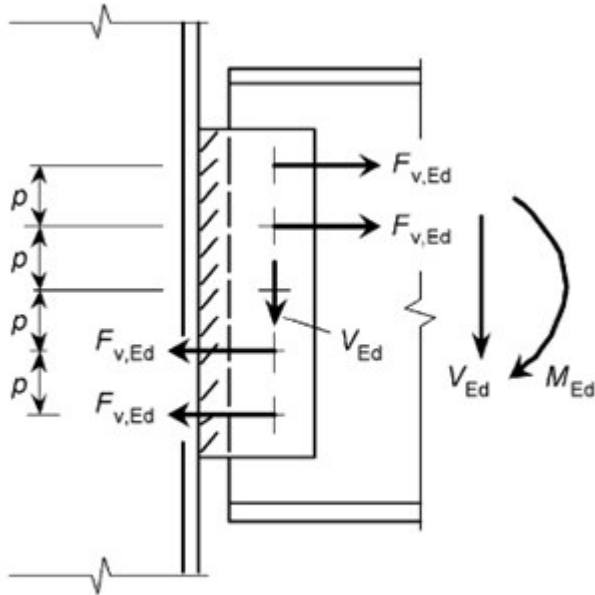


Abbildung 2-6: Elastische Lastverteilung der Kräfte auf die Verbindungsmittel gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.7



In den anderen Fällen und Kategorien der Verbindungen darf die Verteilung der Schnittgrößen, infolge eines Biegemomentes im Grenzzustand der Tragfähigkeit, auf die Verbindungsmittel plastisch und die Aufteilung der Querkraft gleichmäßig angenommen werden.



Mögliche plastische Verteilung mit einer Schraube zur Aufnahme der Querkraft  $V_{Ed}$  und 4 Schrauben zur Aufnahme des Momentes  $M_{Ed}$

$$F_{v,Ed} = \frac{M_{Ed}}{6 * p}$$

**Abbildung 2-7: Plastische Lastverteilung der Kräfte auf die Verbindungsmittel gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.7**

Die Abbildungen 2-6 und 2-7 zeigen nach DIN EN 1999-1-1:2014-03 die beiden Arten der Schnittkräfteverteilung auf die Verbindungsmittel, anhand einer Verbindung mit fünf Schrauben.

### 2.3.2 Rand- und Lochabstände für Schrauben und Nieten

Bei der Wahl der Rand- und Lochabstände von Nieten und Schrauben sollte der Tragwerksplaner darauf achten, dass er Aspekte wie Korrosion, örtliches Beulen und den leichten Einbau der Schrauben und Nieten beachtet. Des Weiteren sind bei minimalen Rand- und Lochabständen keine Minustoleranzen (wodurch die Abstände verringert werden könnten) zulässig.

Zur Einteilung der grenz- und planmäßigen Werte der Rand- und Lochabstände beinhaltet die DIN EN 1999-1-1:2014-03 folgende Tabelle:

1	2	3	4	5
Rand- und Lochabstände siehe Bilder 8.1 und 8.2	Minimum	Regelabstand	Maximum <sup>1) 2) 3)</sup>	
			Tragwerke aus Aluminiumwerkstoffen nach Tabelle 3.1a	
			Aluminium, das dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.	Aluminium, das nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.
Randabstand $e_1$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$2,0d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: 12r oder 150 mm
Randabstand $e_2$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$1,5d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: 12r oder 150 mm
Randabstand $e_3$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Randabstand $e_4$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Druckstäbe (Siehe Bild 2-10) Lochabstand $p_1$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	Druckstäbe: der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm	Druckstäbe: Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm
Zugstäbe (Siehe Bild 2-11) Lochabstände $p_1, p_{1,0}, p_{1,l}$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	für die außen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm  Für die innen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: 28r oder 400 mm	1,5-faches der Werte von Spalte 4
Abstand $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	$3,0d_0$	Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm	Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm
<p>1) Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer: bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von örtlichem Beulen und Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen bei zugbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen.</p> <p>2) Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln sollte <math>\frac{1}{10}</math> nach 6.3 <math>\frac{1}{10}</math> gestrichener Text <math>\frac{1}{10}</math> unter Verwendung der Knicklänge <math>0,6 p_1</math> berechnet werden. Lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn <math>p_1/r</math> kleiner als 9 ist. <math>\frac{1}{10}</math> Der Randabstand quer zur Krafrichtung sollte den Anforderungen an den Widerstand gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Gurten entsprechen, siehe 6.1.1 – 6.1.5. <math>\frac{1}{10}</math> <math>\frac{1}{10}</math> gestrichener Text <math>\frac{1}{10}</math></p> <p>3) <math>r</math> ist die Dicke des dünnsten, außenliegenden Blechs.</p> <p>4) Langlöcher werden nicht empfohlen, für Langlöcher der Kategorie A siehe 8.5.1(5)</p> <p>5) <math>\frac{1}{10}</math> Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen kann der minimale Lochabstand mit <math>p_2 = 1,2d_0</math> angenommen werden, wenn der Mindestabstand <math>s_1</math> zwischen zwei Verbindungsmitteln <math>\geq 2,4 d_0</math> beträgt.</p> <p>6) Für die Mindestwerte von <math>e_1</math> und <math>e_2</math> sollten keine Minustoleranzen sondern nur Plus toleranzen festgelegt werden.</p>				

Tabelle 2-4: Grenz- und planmäßige Werte für Rand- und Lochabstände gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.2

Die nachfolgenden Abbildungen dienen zum Verständnis der oben gezeigten Tabelle und zeigen die Bezeichnungen der Regelabstände der Löcher untereinander und vom belasteten sowie vom seitlichen Rand.

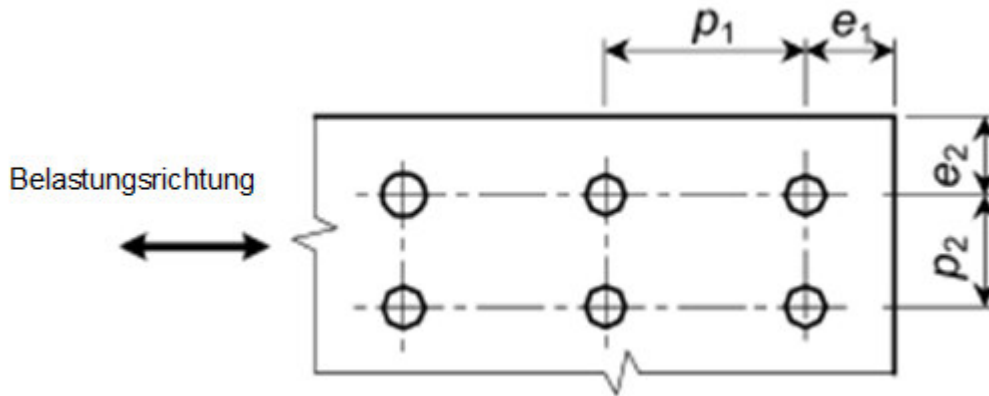


Abbildung 2-8: Bezeichnung der Loch- und Randabstände bei Schrauben- und Nietverbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.1

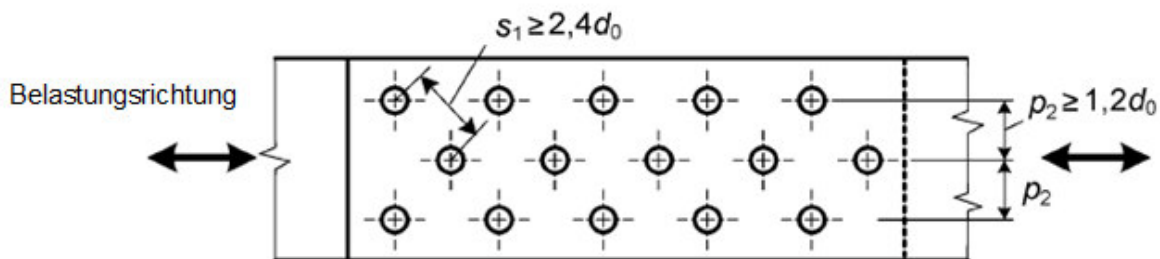


Abbildung 2-9: Bezeichnung der Loch- und Randabstände bei Schrauben- und Nietverbindungen mit Zwischenreihe gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.1

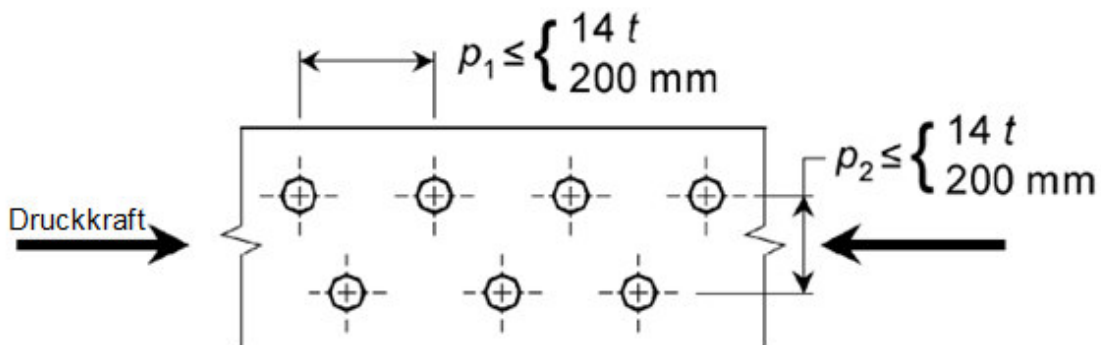


Abbildung 2-10: Versetzte Lochabstände der Schraubenlöcher unter Druckbeanspruchung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.2

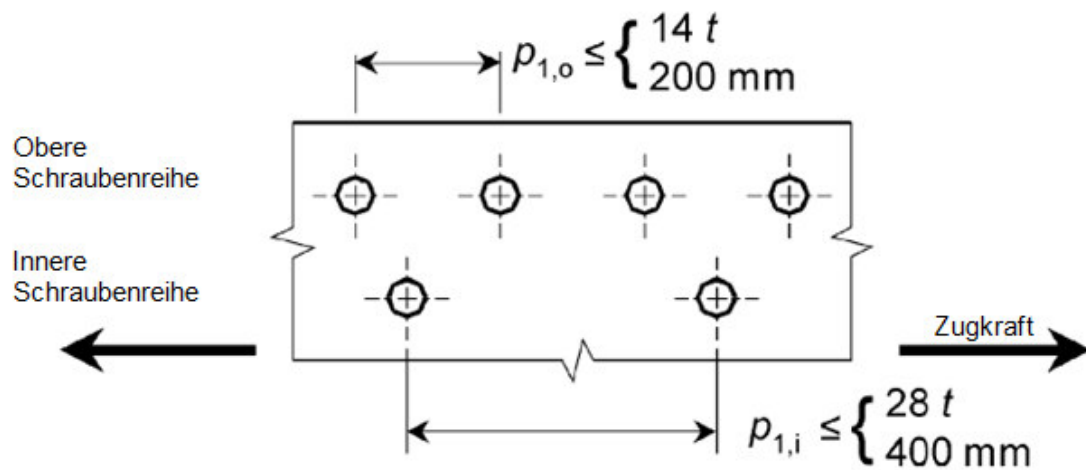
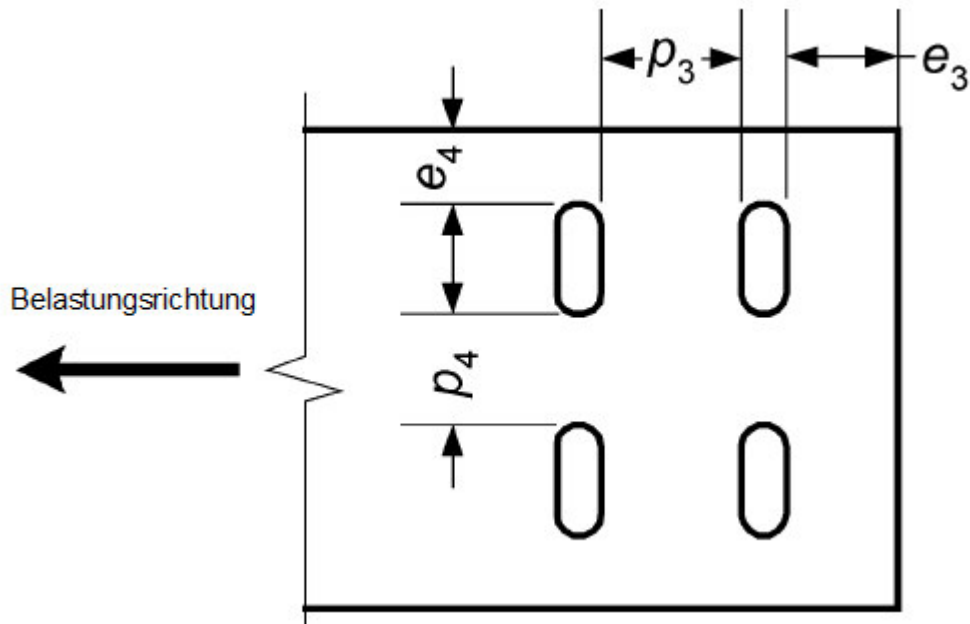


Abbildung 2-11: Abstände der Löcher untereinander bei zugbeanspruchten Bauteilen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.3

### 2.3.2.1 Langlöcher

Grundsätzlich werden Langlöcher nicht empfohlen. Die einzige Ausnahme laut DIN EN 1999-1-1:2014-03 besteht darin, sie in Verbindungen der Kategorie A („**Scher-/Lochleibungsverbindungen**“) mit rechtwinklig zur Richtung des Langloches wirkenden Kräften zu verwenden.



**Abbildung 2-12: Bezeichnung von Langlöchern gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.4**

Langlöcher sollten unter Beachtung der Tabellen 2-8 und 2-9 nachgewiesen werden. Weiterhin sieht die DIN EN 1999-1-1:2014-03 die nachfolgenden Regeln vor:

1. Die maximale Länge eines Langlochs sollte bei einem kurzen Langloch  $1,5 \cdot (d+1 \text{ mm})$  und bei einem langen Langloch  $2,5 \cdot (d+1 \text{ mm})$  betragen.
2. Die maximale Lochbreite, d. h. die Abmessung in Krafrichtung sollte  $d+1 \text{ mm}$  betragen.
3. Der in Krafrichtung liegende Abstand  $e_3$  zwischen Lochrand und Bauteilende sollte größer als  $1,5 \cdot (d+1 \text{ mm})$ , der rechtwinklig zur Krafrichtung liegende Abstand  $e_4$  zwischen Lochrand und Bauteilrand sollte größer als  $d+1 \text{ mm}$  sein.
4. Der in Krafrichtung liegende Abstand  $p_3$  zwischen den Rändern zweier benachbarter Löcher und der rechtwinklig zur Krafrichtung liegende Abstand  $p_4$  zwischen den Rändern zweier benachbarter Löcher sollte größer als  $2 \cdot (d+1 \text{ mm})$  sein.
5. Bei Langlöchern muss deren Istlänge für Schraubendurchmesser  $< 20 \text{ mm}$  mit einer Abweichung von  $\pm 1 \text{ mm}$  und für Schraubendurchmesser  $> 20 \text{ mm}$  mit einer Abweichung von  $\pm 2 \text{ mm}$  festgelegt werden.

### 2.3.3 Lochtoleranzen

In Verbindungen mit Schrauben, Nieten und Bolzen gilt, dass die benötigten Löcher nur gebohrt, gestanzt, mittels Wasserstrahlschneiden oder mechanisiertem thermischen Schneidens hergestellt werden dürfen. Die Lochgrößen müssen festgelegt sein und das Lochspiel muss Tabelle 2-5 entsprechen. Wenn nichts anderes festgelegt ist, müssen die Oberflächen von thermisch geschnittenen oder durch Wasserstrahl hergestellten Löchern dem Bereich 4 der EN ISO 9013:2002 entsprechen. Beim Schneiden erzeugte Späne und

Grate müssen nach dem Schneiden, Bohren oder Stanzen entfernt werden. Allerdings besteht eine Ausnahme, sollten die Löcher zur Verbindung mehrere Bauteile und gemeinsam in fest zusammenklemmenden Zustand hergestellt werden. In diesem besonderen Fall müssen die Teile nur dann wieder auseinandergenommen und die Grate entfernt werden, wenn dies ausdrücklich festgelegt ist.

Bei Verschraubungsverbindungen aller Kategorien darf das Stanzen nur bis zu einer Dicke „t“ von 25 mm eingesetzt werden. In zugbeanspruchten Bauteilen sind gestanzte Löcher in Blechdicken zwischen 16 mm und 25 mm nur zugelassen, wenn diese mit einem Untermaß von 2 mm gestanzt werden und anschließend auf das richtige Maß aufgerieben werde.

Sollten die Löcher für eine Passverbindung dienen, müssen sie 2 mm kleiner als der Gewinde- bzw. Schaftdurchmesser gebohrt und danach aufgerieben werden. Gehen Verbindungsmittel durch mehrere Lagen durch, müssen diese beim Aufreiben fest zusammengehalten werden.

Die maximalen Lochspiele für Verbindungen sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben:

Art der Verbindung und Verschraubungskategorie	Werkstoff	Nenn-durch-messer mm	Maximales Lochspiel mm
Passverbindungen — (A, D, E)	—	alle	≤ 0,3
Schraubenverbindungen ohne Passung und Bolzen — (A, B, D, E)	—	alle	≤ 1
Verbindungsmittel in übergroßen Löchern — (A, D, E)	—	alle	Der größere Wert von: 2 oder 0,15 × Durchmesser
Vollniete — (A)	Aluminium	< 13 ≥ 13	≤ 0,4 ≤ 0,8
	Stahl und nichtrostender Stahl	< 13 ≥ 13	≤ 0,8 ≤ 1,6
Hochfeste Schrauben nach EN 14399-3 oder -4 (alle Lagen, oder die zwei äußeren Lagen bei mehr als 3 Lagen) — (C)	Stahl	≤ 24	≤ 2
		> 24	≤ 3
Hochfeste Schrauben nach EN 14399-3 oder -4 (die inneren Lagen bei mehr als 3 Lagen) — (C)	Stahl	alle	≤ 3

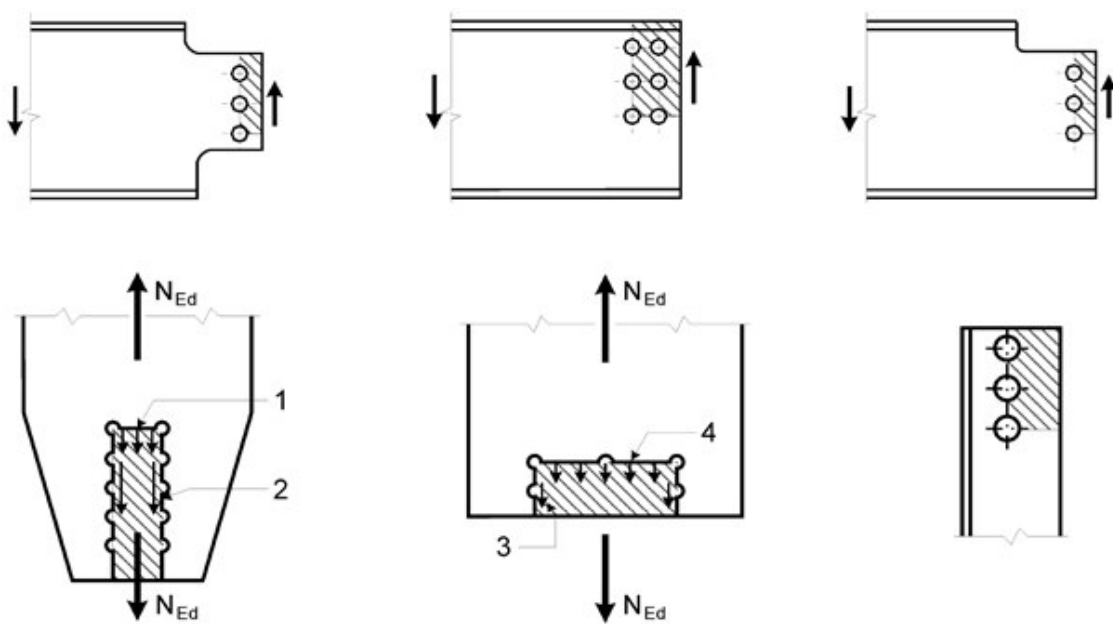
**Tabelle 2-5: Maximales Lochspiel für Schrauben, Nieten und Bolzen gemäß DIN EN 1090-03:2008-09 Abschnitt 6 Tabelle6**

## 2.3.4 Lochabminderungen

### 2.3.4.1 Blockversagen

Unter dem Blockversagen einer Schraubengruppe ist zu verstehen, dass ein Schubversagen des Bleches entlang der Schraubenreihe am schubbeanspruchten Rand der Schraubengruppe in Kombination mit einem Zugversagen des Blechs entlang der Schraubenreihe am zugbeanspruchten Rand auftritt.

In der nachfolgenden Abbildung sind Beispiele für das Blockversagen von Schraubengruppen zu sehen:



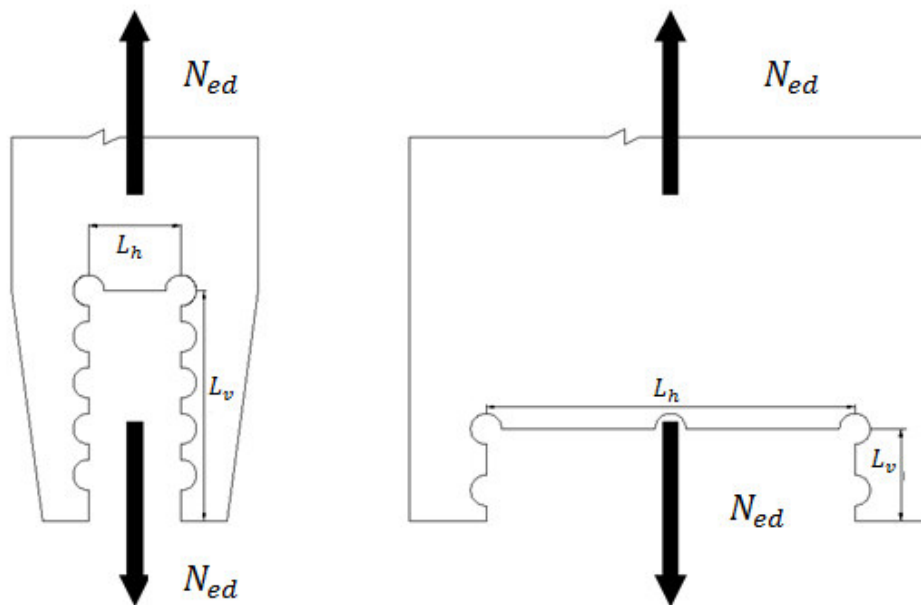
#### Legende

- 1 Kleine Zugkraft
- 2 Große Zugkraft
- 3 Kleine Schubkraft
- 4 Große Schubkraft

Abbildung 2-13: Blockversagen von Schraubengruppen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03  
Abschnitt 8 Bild 8.5

Der Widerstand gegen Blockversagen einer symmetrisch angeordneten Schraubengruppe  $V_{eff,1Rd}$  ergibt sich wie folgt:

$$V_{eff,1Rd} = \frac{f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}}$$



Symmetrische Schraubengruppen unter zentrischer Belastung: ( $V_{eff,1Rd}$ )

$$A_{nt} = [L_h - (n_h - 1,0) \times d_0] \times t$$

$$A_{nv} = 2 \times [L_v - (n_h - 0,5) \times d_0] \times t$$

**Abbildung 2-14: Beispiel für die Nettoquerschnittsfläche unter zentrischer Belastung nach Schneider Bautabellen für Ingenieure Abschnitt 8 Tafel 8.56**

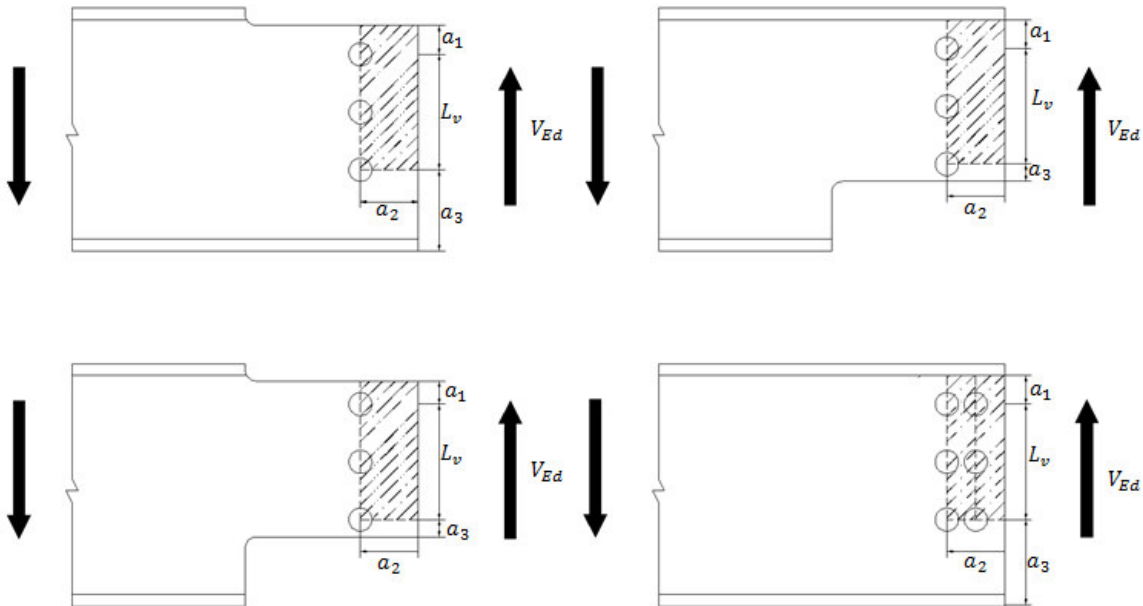
$A_{nt}$  → der zugbeanspruchte Nettoquerschnitt

$A_{nv}$  → der schubbeanspruchte Nettoquerschnitt



Unter exzentrischer Belastung ergibt sich der Widerstand einer Schraubengruppe gegen Blockversagen  $V_{eff.2Rd}$  wie folgt:

$$V_{eff.2Rd} = \frac{0,5 \times f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}}$$



Schraubengruppen unter exzentrischer Belastung: ( $V_{eff.2Rd}$ )

$$A_{nt} = [a_2 - (n_h - 0,5) \times d_0] \times t$$

$$A_{nv} = [a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \times d_0] \times t$$

- $d_0$  Lochdurchmesser
- $n_h$  Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung
- $n_v$  Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung
- $t$  Blechstärke

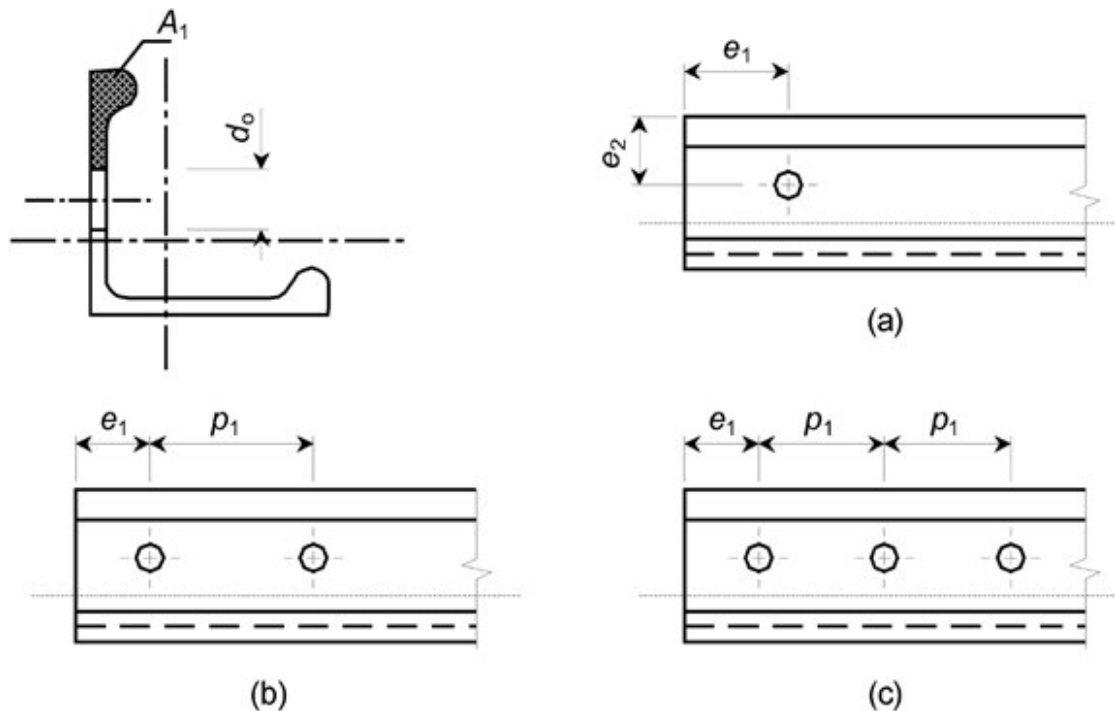
**Abbildung 2-15: : Beispiel für die Nettoquerschnittsfläche unter exzentrischer Belastung nach Schneider Bautabellen für Ingenieure Abschnitt 8 Tafel 8.56**

$A_{nt}$  → der zugbeanspruchte Nettoquerschnitt

$A_{nv}$  → der schubbeanspruchte Nettoquerschnitt

### 2.3.4.2 Anschlüsse mit Sonderprofilen

Für Schraubenanschlüsse in Sonderprofilen wie z. B. bei Winkelprofilen oder Winkelprofilen mit Randverstärkung (Wulstprofilen) die in Zug- oder Druckbauteilen angeschlossen sind, ist drauf zu achten, dass die Exzentrizität der Schrauben und die Auswirkung der Loch- und Randabstände der Schrauben bei der Ermittlung der Beanspruchbarkeit der Anschlüsse beachtet wird.



#### Legende

- a) Eine Schraube
- b) Zwei Schrauben
- c) Drei Schrauben

Abbildung 2-16: Anschlüsse von Winkelprofilen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.6

Profile die, wie oben im Bild 2-14, mit nur einer einzigen Schraubenreihe angeschlossen sind, dürfen als zentrisch belastet berechnet werden. Die Beanspruchbarkeit des Nettoquerschnitts ( $N_{u,Rd}$ ) ist wie folgt zu ermitteln:

Mit nur einer Schraube:

$$N_{u,Rd} = \frac{2 \times A_1 \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

Mit zwei Schrauben.

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

Mit drei Schrauben:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$\beta_2$  und  $\beta_3$ ; vom Lochabstand  $p_1$  abhängige Abminderungsbeiwerte nach Tabelle 2-5. Für Zwischenwerte von  $p_1$  darf der Wert  $\beta$  durch lineare Interpolation ermittelt werden.

$A_{net}$ ; ist die Nettoquerschnittsfläche des Winkels. Für Winkel mit ungleichen Schenkellängen, die an dem kleineren Schenkel angeschlossen sind, sollten  $A_{net}$  wie die Nettoquerschnittsfläche eines gleichschenkeligen Winkelprofils mit den Maßen der kurzen Schenkellänge bemessen werden.

$A_1$ ; ist die Querschnittsfläche des angeschlossenen Winkelschenkels zwischen dem Loch und dem freien Rand.

Lochabstand $p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
$\beta_2$ für 2 Schrauben	0,4	0,7
$\beta_3$ für 3 oder mehr Schrauben	0,5	0,7

**Tabelle 2-6: Abminderungsbeiwert  $\beta_2$  Und  $\beta_3$  gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.3**

### 2.3.5 Bemessungswerte der Tragfähigkeit von Schraub- und Nietverbindungen

Die Bemessungswerte der Tragfähigkeit in diesem Abschnitt gelten für normgerecht hergestellte Stahlschrauben, nicht rostende Schrauben, Aluminiumschrauben und Aluminiumnieten nach Tabelle 2-6.

Werkstoff	Verbindungsmittel	Legierung num. Bezeichnung EN AW-	Legierung chem. Bezeichnung EN AW-	Zustand oder Festigkeitsklasse	Durchmesser	$f_0$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>
Aluminium-Legierung	Voll-Niete <sup>1)</sup>	5019	AlMg5	H111	≤ 20	110	250
				H14,H34	≤ 18	210	300
		5754	AlMg3	H111	≤ 20	80	180
				H14/H34	≤ 18	180	240
		6082	AlSi1MgMn	T4	≤ 20	110	205
				T6	≤ 20	240	300
	Schrauben <sup>2)</sup>	5754 (AL1) <sup>3)</sup>	AlMg3	4)	≤ 10	230	270
					10 < d ≤ 20	180	250
		5019 (AL2) <sup>3)</sup>	AlMg5	4)	≤ 14	205	310
					14 < d ≤ 36	200	280
6082 (AL3) <sup>3)</sup>	AlSi1MgMn	4)	≤ 6	250	320		
			14 < d ≤ 36	260	310		
Stahl	Schrauben <sup>5)</sup>			4.6	≤ 39	240	400
				5.6	≤ 39	300	500
				6.8	≤ 39	480	600
				8.8	≤ 39	640	800
				10.9	≤ 39	900	1 000
nichtrostender Stahl	Schrauben <sup>6)</sup>	A2, A4		50	≤ 39	210	500
				70	≤ 39	450	700
				80	≤ 39	600	800

<sup>1)</sup> siehe 3.3.2.1 (3) <sup>E)</sup> gestrichener Text <sup>A)</sup>  
<sup>2)</sup> siehe 3.3.2.1 (3) <sup>E)</sup> gestrichener Text <sup>A)</sup>  
<sup>3)</sup> Werkstoffbezeichnung nach EN 28839  
<sup>4)</sup> Keine Bezeichnung der Festigkeitsklasse in EN 28839  
<sup>5)</sup> Festigkeitsklasse nach EN ISO 898-1  
<sup>6)</sup> Bezeichnung und Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506-1  
<sup>7)</sup> Die angegebenen Werte für Vollniete sind die jeweils kleineren Werte von EN 764 (gezogene Stäbe) oder EN 1301 (gezogener Draht), aus denen Vollniete durch Kaltverformung hergestellt werden. Für die 0,2 %-Dehngrenze legt EN 1301 zwar nur typische Werte fest, aber die oben aufgeführten Werte können alle als auf der sicheren Seite liegend betrachtet werden. Für die Bemessung von Verbindungen der Kategorie A (Lochleibungsverbindung) ist aber ohnehin die Zugfestigkeit die Grundlage zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube oder eines Nietes.

**Tabelle 2-7: Mindestwerte der 0,2%-Dehngrenze  $f_0$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  für Schrauben und Vollniete gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.4**

### 2.3.5.1 Tragfähigkeit und Beanspruchbarkeit von Schrauben

Da die Aluminiumschrauben in Tabelle 2-6 keiner gültigen EN-Norm unterliegen, ist es wichtig drauf zu achten, dass diese nur dann verwendet werden wenn der Hersteller bescheinigt, dass die Schrauben den mechanischen Eigenschaften und Anforderungen der EN 28839 entsprechen sowie hergestellt und geprüft sind. Weiterhin zu prüfen ist, dass die Geometrie und Toleranzen denen von Stahlbauschrauben nach EN 24014 oder EN 24017 entsprechen. Daher sollte der Tragwerksplaner bei Verwendung solcher Schrauben darauf achten, dass der Hersteller ihm mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204 bestätigt und alle geforderten Werkstoffeigenschaften und auszuführenden Prüfungen die gestellten Anforderungen erfüllen.

Wie in Tabelle 2-3 zu sehen, unterscheidet die DIN EN 1999-1-1:2014-03 in Schraubenverbindungen mit Krafrichtung senkrecht zur Schraubenachse (SL - Verbindungen und GV - Verbindungen) und Zugverbindungen mit Kraftübertragung in Richtung der Schraubenachse.

Der Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit in Schraubenverbindungen mit Krafrichtung senkrecht zur Schraubenachse  $F_{v,Ed}$  darf den kleineren der beiden folgenden Werte nicht überschreiten.

- Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$
- Den Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  der Schraube mit der geringsten Lochleibungstragfähigkeit der Verbindung.

Die beiden oben genannten Bemessungswerte werden in der folgenden Tabelle angegeben:

Versagensart	Schrauben
Beanspruchbarkeit auf Abscheren je Scherfuge	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}}$ <p>Wenn das Gewinde der Schraube in der Scherfuge liegt (A ist die Spannungsquerschnittsfläche <math>A_s</math> der Schraube)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Für Stahlbauschrauben der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 und 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>➤ Für Stahlschrauben der Festigkeitsklasse 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9 und Schrauben aus nicht rostendem Stahl und Aluminiumschrauben: <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul>

	<p>Wenn der Schaft der Schraube in der Scherfuge liegt (A ist die Schaftquerschnittsfläche der Schraube)</p> <p>➤ <math>\alpha_v = 0,6</math></p> <p><math>f_{ub}</math> = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes</p>
<p>Beanspruchbarkeit auf Lochleibung</p> <p>1)2)3)4)5)6)</p>	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$ <p>Dabei ist <math>\alpha_b</math> der kleinste Wert von <math>\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}</math> und 1,0; aber <math>\leq 0,66</math> für Langlöcher</p> <p>In Krafrichtung</p> <p>➤ Für am Rand liegende Schrauben <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3 \times d_0}</math></p> <p>➤ Für innen liegende Schrauben <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}</math></p> <p>Rechtwinkelig zur Krafrichtung</p> <p>➤ Für am Rand liegende Schrauben: <math>k_1</math> ist der kleinere Wert von <math>2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5</p> <p>➤ Für innen liegende Schrauben: <math>k_1</math> ist der kleinere Wert von <math>1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5</p> <p>Dabei ist:</p> <p><math>f_u</math>: charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Werkstoffe der verbundenen Teile</p> <p><math>f_{ub}</math>: charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes</p> <p>d: Durchmesser des Verbindungsmittels</p> <p><math>d_o</math>: Lochdurchmesser</p> <p><math>e_1, e_2, p_1, p_2</math> sie Tabelle 2-4</p>
	<p>1) Der Bemessungswert <math>F_{b,Rd}</math> der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird nach EN 1090-03 bei entsprechend übergroßen Löchern im Vergleich zum Wert bei normalen Löchern mit dem Faktor 0,8 abgemindert.</li> <li>- Wird in kurzen Langlöchern, die rechtwinklig zu ihrer Längsachse belastet werden und</li> </ul>

deren Langlochlänge kleiner als der 1,5 fache Durchmesser des runden Lochteils ist, im Vergleich zum Wert bei einem normalen, runden Loch mit dem Faktor 0,8 abgemindert.

- Wird in langen Langlöchern die rechtwinkelig zu ihrer Längsachse belastet werden und deren Langlochlänge größer als der 1,5 fache und kleiner als der 2,5 fache Lochdurchmesser des runden Lochteils ist, im Vergleich zum Wert eines normale, runden Loch mit dem Faktor 0,65 abgemindert.
- 2) Bei Senkschrauben
    - Sollte der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit der Schraube  $f_{b,Rd}$  in der Regel auf der Blechdicke  $t$  beruhen, die der Dicke des verbundenen Bleches minus der halben Höhe der Senkung entspricht.
  - 3) Außer der Lochleibungsbeanspruchung ist auch die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes nachzuweisen.
  - 4) Ist die Krafrichtung nicht parallel zum Rand, kann die Lochleibungstragfähigkeit für die parallel und normal zum Rand verlaufenden Kraftkomponenten getrennt voneinander nachgewiesen werden.
  - 5) Aluminiumschrauben sollten nicht in Verbindungen mit Langlöchern verwendet werden.
  - 6) Für Langlöcher ist  $d_o$  durch  $(d+1\text{mm})$ ,  $e_1$  durch  $(e_3 + d/2)$ ,  $e_2$  durch  $(e_4 + d/2)$ ,  $p_1$  durch  $(p_3 + d)$ , und  $p_2$  durch  $(p_4 + d)$  zu ersetzen, wobei  $p_3$ ,  $p_4$ ,  $e_3$  und  $e_4$  aus Abbildung 2-12 zu entnehmen sind.

**Tabelle 2-8: Beanspruchbarkeit für Schrauben unter Scherbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5**

Die Werte, die in der Tabelle 2-7 für die Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  angegeben sind, gelten nur dann, wenn Schrauben in Löcher eingesetzt werden deren Lochspiel das von Standardlöchern nach EN 1090-3 nicht überschreitet. Bei übergroßen Löchern und Langlöchern wird der wert  $F_{v,Rd}$  durch Multiplikation mit dem Faktor 0,7 verringert.

Bei den Zugkräften gilt es drauf zu achten, dass nicht nur die Schrauben selber versagen können, sondern auch die Schraubenköpfe so wie die Muttern der Verbindung aus den zu verbindenden Blechen ausreißen bzw. durchstanzen können. Demzufolge darf der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  einschließlich zusätzlicher Anteile aus Abstützkräften den Bemessungswert  $B_{t,Rd}$  der Zugtragfähigkeit der Schrauben-/Blechkombination nicht überschreiten.

Der Bemessungswert der Zugtragfähigkeit  $B_{t,Rd}$  muss der kleine Wert aus dem Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube  $F_{t,Rd}$  nach Tabelle 2-8 und dem Bemessungswert des Durchstanzwiderstandes des Schraubenkopfes und der Schraubenmutter im Blech  $B_{p,Rd}$  nach Tabelle 2-8 sein.

Versagensart	Schrauben
Beanspruchbarkeit auf Zug	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_0}{\gamma_{M2}}$ <p>Dabei ist:</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>k_2 = 0,9</math> für Stahlschrauben</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>k_3 = 0,50</math> für Aluminiumschrauben</p> <p style="margin-left: 40px;"><math>k_2 = 0,63</math> für Senkschrauben aus Stahl</p>
Beanspruchbarkeit auf Durchstanzen	$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{M2}}$ <p>Dabei ist:</p> <p style="margin-left: 20px;"><math>d_m</math> kleinster Wert aus dem Mittelwert aus dem Eckmaß und der Schlüsselweite des Schraubenkopfes, der Schraubenmutter und dem Außendurchmesser der Unterlegscheibe.</p> <p style="margin-left: 20px;"><math>t_p</math> Dicke des Bleches unter dem Schraubenkopf oder der Mutter.</p> <p style="margin-left: 20px;"><math>f_u</math> charakteristische Zugfestigkeit des angeschlossenen Bauteils.</p>

**Tabelle 2-9: Beanspruchbarkeit für Schrauben unter Zugbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5**



Für Verbindungen, deren Schrauben sowohl einer Scher – und Zugbelastung unterliegen, sollte wie folgt nachgewiesen werden:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Beanspruchbarkeit einer Schraube bei Kombination aus Abscher- und Zugbelastung.

Gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03

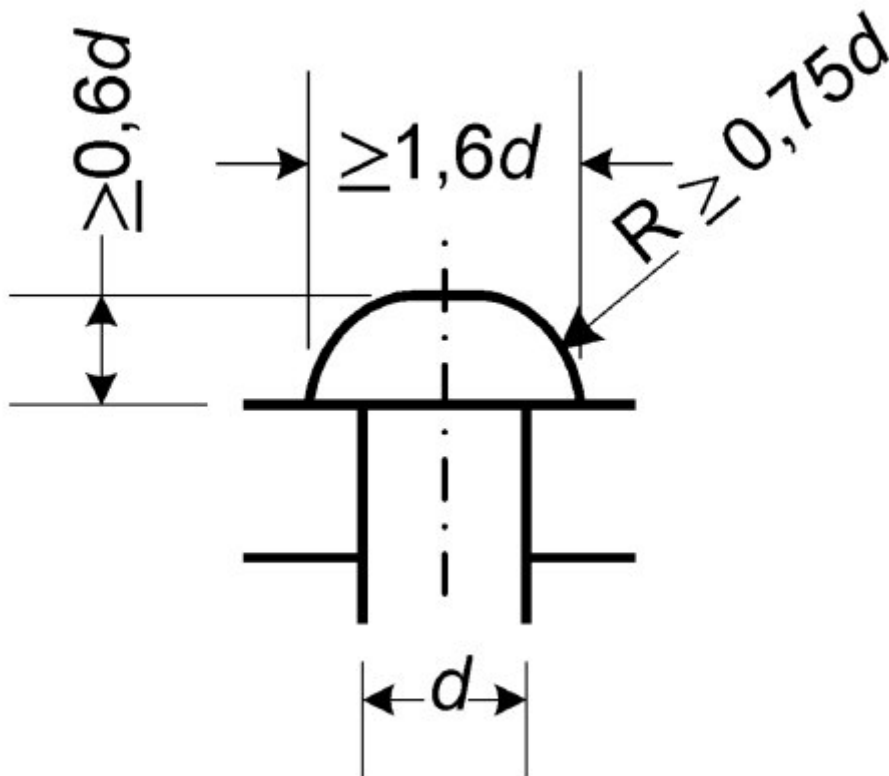
Die in den Tabellen 2-7 und 2-8 aufgeführten Bemessungswert der Zugtragfähigkeit und Abschertragfähigkeit im Gewindeteil des Schaftes ist auf Schrauben mit gewalztem Gewinde beschränkt. Für geschnittene Gewinde sollten die maßgebenden Werte der Tabellen 2-7 und 2-8 durch Multiplikation mit dem Faktor 0,85 verringert werden.

### **2.3.5.2 Beanspruchbarkeit von Nieten**

Verbindungen die durch Nieten ausgeführt werden, müssen für die Übertragung von Abscher– und Lochleibungskräften bemessen werden. Die Bemessungswerte und Beanspruchbarkeiten in diesem Abschnitt gelten für Aluminiumnieten nach Tabelle 2-6. Der Tragwerksplaner sollte des Weiteren beachten, dass Mangels einer EN-Norm für Aluminiumnieten die in Tabelle 2-7 aufgeführten Aluminiumvollniete nur zu verwenden sind, wenn der Hersteller bescheinigt, dass diese aus gezogenem Rundmaterial nach EN 754 oder gezogenem Runddraht nach EN 1301 hergestellt wurden. Die Festigkeitswerte des Niets müssen die Werte der Normen ausdrücklich erfüllen.

Hinsichtlich der Geometrie sollte der Tragwerksplaner beachten, dass folgende Kriterien eingehalten werden und in der Entwurfsspezifikation so wie in allen Zeichnungen mit der Bemerkung aufgeführt werden, dass alle Beschaffungen entsprechend zu erfolgen haben.

- Höhe des Kopfes  $\geq 0,6 \times d$
- Kopfdurchmesser  $\geq 1,6 \times d$
- Radius  $\geq 0,75 \times d$
- Keine Ansenkung
- $d$  = Nenndurchmesser des massiven Schaftes



**Abbildung 2-17: Mindestabmessungen des Kopfes von Massivnieten (ohne Ansenkung) gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang C Bild C.1**

Alle geforderten Kriterien sollte der Hersteller mit einem Abnahmeprüfzeugnis 3.1.B nach EN 10204 nachweisen können und damit bestätigen das alle geforderten Werkstoffeigenschaften und auszuführenden Prüfungen die gestellten Anforderungen erfüllen.

Bei der Bemessung einer genieteten Verbindung wird auch zwischen Abscher- und Lochleibungskräfte sowie Zugkräfte unterschieden. Doch unabhängig der Belastung, die Klemmlänge der Verbindung darf den Wert  $4,5 \times d$  bei geschlagenen Nieten und  $6,5 \times d$  für gepresste Nieten nicht überschreiten.

Für eine Nietverbindung im Grenzzustand der Tragsicherheit, die auf Abscheren beansprucht wird lautet der Bemessungswert  $F_{v,Ed}$ . Dieser Bemessungswert darf den kleineren der Nachfolgenden Werte nicht überschreiten.

- Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$
- Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$

Die beiden Bemessungswerte werden wie in der nachfolgenden Tabelle berechnet:

Versagensart	Niet
Beanspruchbarkeit auf Abscheren je Scherfuge	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ur} \times A_0}{\gamma_{M2}}$ <p><math>f_{ur}</math> = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes</p> <p><math>A_0</math> = Querschnittsfläche des Loches</p>
Beanspruchbarkeit auf Lochleibung 1)2)3)4)5)6)	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_{ur} \times d \times t}{\gamma_{M2}}$ <p>Dabei ist <math>\alpha_b</math> der kleinste Wert von <math>\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}</math> und 1,0; aber <math>\leq 0,66</math> für Langlöcher</p> <p>In Krafrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Für am Rand liegende Schrauben <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3 \times d_0}</math></li> <li>➤ Für innen liegende Schrauben <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}</math></li> </ul> <p>Rechtwinkelig zur Krafrichtung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Für am Rand liegende Schrauben: <math>k_1</math> ist der kleinere Wert von <math>2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5</li> <li>➤ Für innen liegende Schrauben: <math>k_1</math> ist der kleinere Wert von <math>1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5</li> </ul> <p><math>f_u</math>: charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Werkstoffe der verbundenen Teile</p> <p><math>f_u</math>: charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes</p> <p><math>d</math>: Durchmesser des Verbindungsmittels</p> <p><math>d_0</math>: Lochdurchmesser</p> <p><math>e_1, e_2, p_1, p_2</math> sie Tabelle 2-4</p>
1)	Der Bemessungswert $F_{b,Rd}$ der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird nach EN 1090-03 bei entsprechend übergroßen Löchern im Vergleich zum Wert bei normalen Löchern mit dem Faktor 0,8 abgemindert,</li> <li>- Wird in kurzen Langlöchern, die rechtwinklig zu ihrer Längsachse belastet werden und deren Langlochlänge kleiner als der 1,5 fache Durchmesser des runden Lochteils ist,</li> </ul>

<p>im Vergleich zum Wert bei einem normalen, runden Loch mit dem Faktor 0,8 abgemindert.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wird in langen Langlöchern die rechtwinkelig zu ihrer Längsachse belastet werden und deren Langlochlänge größer als der 1,5-fache und kleiner als der 2,5-fache Lochdurchmesser des runden Lochteiles ist, im Vergleich zum Wert eines normale, runden Loch mit dem Faktor 065 abgemindert.</li> </ul> <p>2) Bei Senkschrauben</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sollte der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit der Schraube <math>f_{b,Rd}</math> in der Regel auf der Blechdicke <math>t</math> beruhen, die der Dicke des verbundenen Bleches minus der halben Höhe der Senkung entspricht.</li> </ul> <p>3) Außer der Lochleibungsbeanspruchung ist auch die Tragfähigkeit des Nettoquerschnittes nachzuweisen.</p> <p>4) Ist die Kraftrichtung nicht parallel zum Rand, kann die Lochleibungstragfähigkeit für die parallel und normal zum Rand verlaufenden Kraftkomponenten getrennt voneinander nachgewiesen werden.</p> <p>5) Aluminiumschrauben sollten nicht in Verbindungen mit Langlöchern verwendet werden.</p> <p>6) Für Langlöcher ist <math>d_o</math> durch <math>(d+1\text{mm})</math>, <math>e_1</math> durch <math>(e_3 + d/2)</math>, <math>e_2</math> durch <math>(e_4 + d/2)</math>, <math>p_1</math> durch <math>(p_3 + d)</math>, und <math>p_2</math> durch <math>(p_4 + d)</math> zu ersetzen, wobei <math>p_3 \cdot p_4 \cdot e_3</math> und <math>e_4</math> aus Abbildung 2-12 zu entnehmen sind.</p>
--

**Tabelle 2-10: Beanspruchbarkeit für Niete unter Scherbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5**

Aluminiumniete sollten nur in Ausnahmefällen und unter Beachtung der oben angegebenen Kriterien und den entsprechenden Abmessungen der Köpfe unter Zug beansprucht werden. Der Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf einen Niet im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  darf den in Tabelle 2-10 angegebenen Bemessungswert (der Zugtragfähigkeit des Niets  $F_{t,Rd}$ ) nicht überschreiten.

Versagensart	Niet
Beanspruchbarkeit auf Zug	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ur} \times A_0}{\gamma_{M2}}$ <p>Für Vollniete mit Kopfabmessungen, die auf beiden Seiten mindestens Abbildung 2-15 entsprechen.</p>

**Tabelle 2-11: Beanspruchbarkeit für Niete unter Zugbelastung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.5**

Sollte eine Nietverbindung gleichzeitig auf Zug und Abscheren belastet sein, wird sie wie eine Schraubenverbindung nachgewiesen.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Beanspruchbarkeit eines Niets bei Kombination aus Abscher- und Zugbelastung.

Gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03

### 2.3.5.3 Senkschrauben und Senknieten

Bei Senkschrauben und Nieten ist es fast gleich zu sehen wie bei den vorherigen Niet- und Schraubverbindungen. Hier gilt also auch, dass sowohl der Nietkopf als auch der Schraubenkopf bei Fertigstellung der Verbindung blecheben abschließen müssen und somit das Grundmaterial geschwächt wird. Dies hat zur Folge, dass die Bemessungswerte der Tragfähigkeit von den Verbindungsmittel reduziert werden. Verbindungen mit Senkschrauben oder Senknieten aus Stahl sollten als Scher- Lochleibungsverbindung bemessen werden.

Der Bemessungswert der Einwirkenden Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{v,Ed}$ , welcher auf eine Senkschraube oder einen Senkniet aus Stahl einwirkt darf den Kleineren der beiden nachfolgenden Werte nicht überschreiten.

- Den um 0,7 abgeminderten Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  für Schrauben nach Tabelle 2-8 und für Nieten nach Tabelle 2-10
- Für den nach Tabelle 2-8 oder 2-10 errechneten Wert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  ist drauf zu achten, dass die Blechdicke  $t$  des maßgebenden verbundenen Bauteils um die Höhe der Senkung zu reduzieren ist.

Die Zugtragfähigkeit in einer Senkschraube aus Stahl sollte so bemessen werden, dass sie den Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $F_{t,Ed}$  übertragen kann. Und sollte den nach Tabelle 2-9 errechneten Bemessungswerte der Zugtragfähigkeit  $F_{t,Rd}$  keinesfalls überschreiten. Senknieten auf Zug zu belasten ist laut DIN EN 1999-1-1:2014-03 nicht verboten, sondern auf Ausnahmefälle begrenzt unter Berücksichtigung der Kriterien aus Abbildung 2-15. Dieses mit einem Senkniet zu realisieren wird nicht möglich sein und somit wird das Belasten eines Senknietes auf Zug nach Technischem Regelwerk nicht realisierbar.

Sollte eine Senkschraube gleichzeitig auf Zug und Abscheren belastet sein, sollte zusätzlich der Nachweis für eine kombinierte Beanspruchung geführt und erfüllt werden.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Kombinierter Nachweis aus Abscher- und Zugbelastung.

Gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03

### 2.3.6 Vorgespannte gleitfeste Verbindungen (GV-Verbindungen mit HV-Schrauben)

In GV-Verbindungen werden Kräfte senkrecht zur Schraubenachse durch Reibwirkung zwischen Bauteilen (z. B. zwischen Stab und Laschen) übertragen. Bevor aber das eigentliche Vorspannen beginnt, müssen die zu verbindenden Teile so ausgerichtet werden, dass der Restspalt eine Breite von 0,5 mm nicht überschreitet. Das nachfolgende Anzie-

hen muss grundsätzlich über die Mutter und ausgehend von der steifsten Stelle zur weniger steifen Stelle, erfolgen, sodass eine gleichmäßige Vorspannung durch wiederholten Anziehvorgang erfolgen kann. Die steifste Stelle in einer Verbindung ist üblicherweise in der Mitte einer Schraubengruppe. Wird aber eine Schraubengarnitur, die bis zum Mindest-Vorspannwert angezogen wurde, nachträglich noch einmal gelöst muss diese ausgebaut und durch eine neue Garnitur ersetzt werden.

Eine HV-Schraubengarnitur besteht grundsätzlich aus Schraube, Mutter und zwei Unterlegscheiben, wovon eine vor die Mutter und die andere vor den Schraubenkopf kommt. Ob wohl es so ausgeführt wird, kommt es zu Flächenpressungen von ca.  $300\text{N/mm}^2$  zwischen der Unterlegscheibe und dem Bauteil. Aluminiumlegierungen niedriger Festigkeit erleiden unter diesen Flächenpressungen bleibende plastische Verformungen, die zum unkontrollierten Abbau der Vorspannkraft führen. Trotz, dass dieser Nachteil durch Nachspannen der Verbindung ca. 2 Stunden nach erstmaligen Vorspannen weitgehend überwindbar ist, muss auf lange Zeit mit enormen Nachteilen gerechnet werden. Aluminiumlegierungen mit einer 0,2-Grenze unter  $200\text{N/mm}^2$  sollten aus diesem Grund nicht für eine solche Verbindung verwendet werden, es sei denn es werden zusätzliche größere Unterlegscheiben verwendet die die Flächenpressung besser verteilen und somit deutlich verringern bzw. aufheben.

Ein weiterer Punkt, der nicht außer Acht gelassen werden darf ist, dass Aluminiumbauteile und Stahlbauteile verschiedene Temperaturexpansionskoeffizienten besitzen (Aluminium:  $\alpha_{th,Al} = 23 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ , Stahl:  $\alpha_{th,Fe} = 12 \times 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ).

Sollte die Verbindung erwärmt werden, würde sich demzufolge aufgrund der höheren Ausdehnung des Aluminiumbauteils die Vorspannkraft erhöhen, treten dabei aber plastische Verformungen auf (z. B. Eindrücke), so wird nach Abkühlung des Bauteiles nur noch eine reduzierte Vorspannkraft vorhanden sein.

Der Gleitwiderstand kann für den Grenzzustand der Tragfähigkeit oder für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nach 2.3.1 Schraubekategorie A, B und C angesetzt werden. Dabei darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit der Bemessungswert  $F_{v,Ed}$  der einwirkenden Abscherkraft bei einer hochfesten Schraube den kleineren der nachfolgenden Werte nicht überschreiten.

- Den Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$
- Den Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$
- Den Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Druck, Zug oder Biegung des angeschlossenen Bauteils im Netto- und Bruttoquerschnitt

Der Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer vorgespannten hochfesten Schraube wird wie folgt berechnet:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \times \mu}{\gamma_{Ms}} \times F_{p,C}$$

Dabei ist:

$F_{p,C}$ : die Vorspannkraft

$\mu$ : der Reibbeiwert

$n$ : die Anzahl der Reibflächen

Bei Schraubenlöchern die ein Lochspiel mit den Toleranzen nach 2.3.3 aufweisen, sollten der Teilsicherheitsbeiwert für den Gleitwiderstand  $\gamma_{Ms}$  im Grenzzustand der Tragfähigkeit mit  $\gamma_{Ms,ult}$  und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit mit  $\gamma_{Ms,ser}$  angesetzt werden. Beide Teilsicherheitsbeiwerte sind Tabelle 2-1 zu entnehmen.

Die Vorspannkraft  $F_{p,C}$  bei hochfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9, mit kontrollierter Vorspannung, sollte wie folgt angesetzt werden.

$$F_{p,C} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

Dabei ist:

$F_{p,C}$  die Vorspannkraft

$f_{ub}$  der charakteristische Wert für die Zugfestigkeit des Schraubenmaterials

$A_s$  die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube

Die DIN EN 1090-03 enthält für den Wert der Vorspannkraft folgende Tabelle in der man für verschiedene Durchmesser von Schrauben den Wert der Vorspannkraft ablesen kann.

Festigkeits- klasse	Schraubendurchmesser in mm							
	12	16	20	22	24	27	30	36
8.8	47	88	137	170	198	257	314	458
10.9	59	110	172	212	247	321	393	572

**Tabelle 2-12: Vorspannkraft in KN gemäß DIN EN 1090-03 Abschnitt 6 Tabelle 8**

Von der Festlegung der Oberflächenbehandlung hängt der Reibbeiwert  $\mu$  ab. Ist ein Bauteil leicht gestrahlt und weist somit ein Rauigkeitswert  $R_a$  nach EN ISO 1302 und EN ISO 4288 von 12,5 auf, sollte der Reibbeiwert  $\mu$  der folgenden Tabelle entnommen werden:

Summe aller Blechdicken mm	Reibbeiwert $\mu$
$12 \leq \Sigma t < 18$	0,27
$18 \leq \Sigma t < 24$	0,33
$24 \leq \Sigma t < 30$	0,37
$30 \leq \Sigma t$	0,40

**Tabelle 2-13: Reibbeiwert vorbehandelter Gleitflächen gemäß DIN EN1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.6**

Sollte der Reibbeiwert  $\mu$  durch Versuche ermittelt sein, kann der Teilsicherheitsbeiwert für den Grenzzustand der Tragfähigkeit um 0,1 reduziert werden.

Sollte eine vorgespannte Schraubenverbindung - außer durch Abscheren - auch noch durch Zug belastet sein, muss diese Verbindung mit einem kombinierten Verfahren nachgewiesen werden. Denn sobald auf eine GV-Verbindung zusätzliche äußere Zugkraft in Achsrichtung der Schrauben einwirkt, ist damit zu rechnen, dass die Klemmkräfte dadurch abgebaut werden; was wiederum den Bemessungswiderstand der GV- Verbindung auf Reibung beeinflusst. Die Grenzgleitkräfte einer Verbindung mit zusätzlicher Zugkraft sind dann wie folgt zu errechnen.

Kategorie B: Bemessungswerte des Gleitwiderstandes im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{n \times \mu (F_{p,C} - 0,8 \times F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{Ms,ser}}$$

Kategorie C: Bemessungswert des Gleitwiderstandes im Grenzzustand der Tragfähigkeit

$$F_{s,Rd} = \frac{n \times \mu (F_{p,C} - 0,8 \times F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms}}$$

Dabei ist:

$F_{t,Ed,ser}$  Bemessungszugkraft pro Schraube im Gebrauchszustand

$F_{s,Rd,ser}$  reduzierter Bemessungswiderstand im Gebrauchszustand

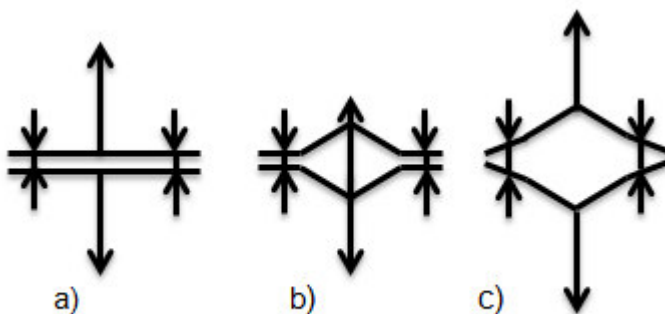
$\gamma_{Ms,ser}$  Teilsicherheitsbeiwert für den Gebrauchszustand



$F_{t,Ed}$	Bemessungszugkraft pro Schraube im Tragzustand
$F_{s,Rd}$	reduzierter Bemessungsleitwiderstand im Tragzustand
n	Anzahl der Scherfugen
$\mu$	Reibbeiwert
$F_{p,d}$	planmäßige Vorspannkraft

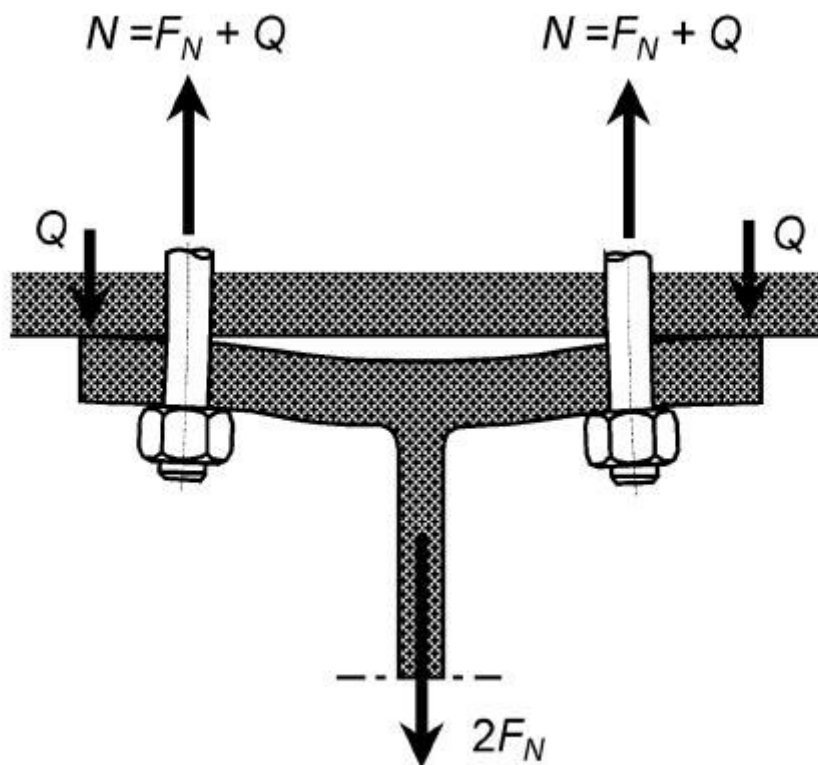
### 2.3.7 Abstütz- und Kontaktkräfte

In Verbindungen, die mit Stirnplatten und hochfesten vorgespannten Schrauben ausgeführt sind, kann es unter Zug Beanspruchung, je nach Steifigkeit und Tragfähigkeit der Stirnplatte, zu einem Tragmodell kommen das zwischen zwei Extremen liegt. Das eine Extrem entsteht, wenn die Stirnplatte sehr dick ist. In diesem Fall würde sie sich bei auftretender Überlastung von ihrer Unterlage parallel zu ihrer Ursprungslage abheben. Die Stirnplatte würde sich demzufolge nicht verbiegen, aber die verbindenden Schrauben würden gedehnt werden und sich verlängern (Abbildung 2-16 a).



**Abbildung 2-18: Modelle bei Stirnplattenverbindungen mit Kontaktkräften gemäß Günther Valtinat "Aluminium im Konstruktiven Ingenieurbau Bild 6-5**

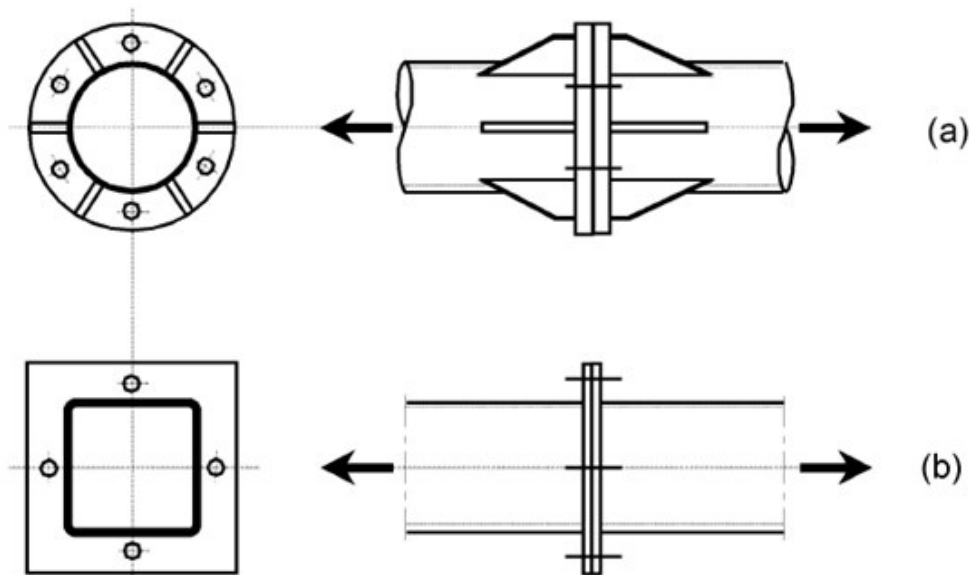
- Biegesteife Platte, dehnweiche Schrauben
- Biegeweiche Platten, dehnsteife Schrauben
- Praxisfall: Biegesteifigkeit der Platten und Dehnsteifigkeit der Schrauben aufeinander abgestimmt.



**Abbildung 2-19: Abstützkkräfte ( $Q$ ) gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.8**

Das zweite Extrem ist, wenn die Schraube eine sehr hohe Tragfähigkeit und Steifigkeit hingegen der Stirnplatte aufweisen, die in dem Fall eine geringere Festigkeit hat. So bildet sich das Modell nach der Abbildung 2-16 (b) aus, die Schrauben längen sich nicht, die Stirnplatten dagegen erhalten im belasteten Zustand plastische Verformungen (plastische Gelenke) in den Knickpunkten. Der Zwischenzustand nach Bild 2-16 (c) bildet sich bei der optimalen Wahl von Stirnplatte und HV-Schraube, in dem Fall tritt eine Schraubengängen, Schraubenbiegung und Stirnplattenverformung mit der Ausbildung von plastischen Gelenken auf. Im Falle der Bilder 2-16 (b und c) entstehen an den äußeren Kanten der Stirnplatten Abstützkkräfte  $Q$ , die aus Gleichgewichtsgründen neben der eigentlichen Zugkraft  $2F_N$  von den Schrauben aufgenommen werden müssen. Wenn diese Abstützkkräfte bei der Bemessung der Stirnplatten als die Beanspruchbarkeit erhöhend angesetzt werden, sollten sie bei der Berechnung berücksichtigt werden, siehe dazu (2.3.8)

Abstützkkräfte hängen aber auch von der Geometrie und den Steifigkeitsverhältnissen der Verbindung ab. Das ist an einem weiteren Beispiel einer Zugverbindung zu erkennen.



Dabei ist

- a) Dicke Endplatte, Kleine Abstützkräfte
- b) Dünne Endplatte, hohe Abstützkräfte

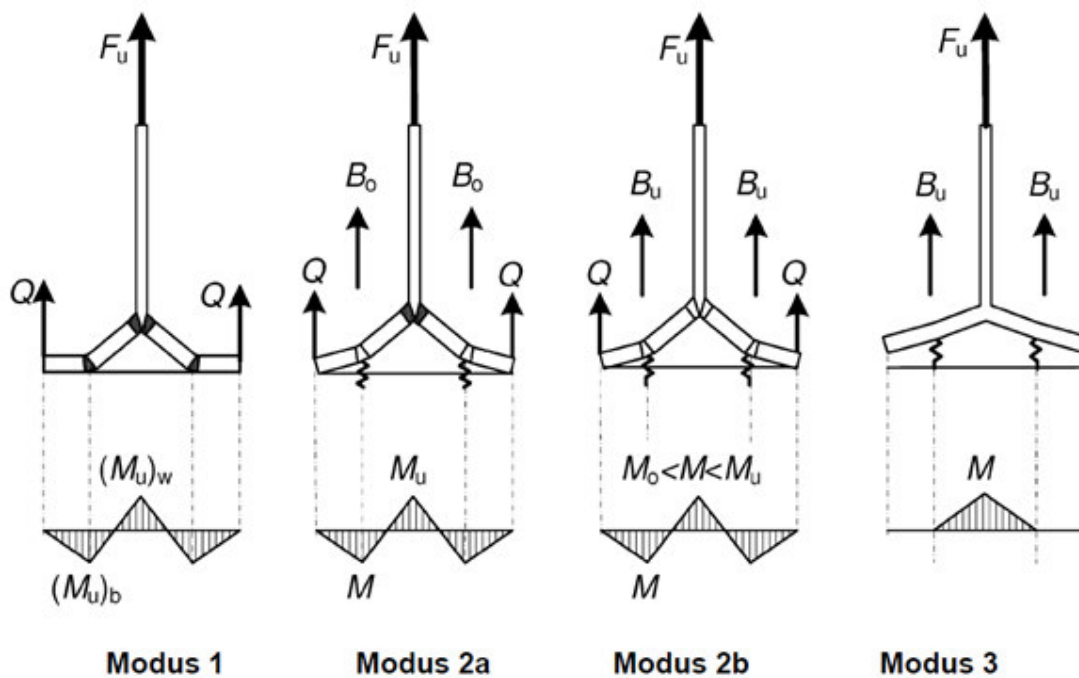
**Abbildung 2-20: Auswirkung von Konstruktionsdetails auf die Abstützkräfte gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.9**

## 2.3.8 Äquivalenter T-Stummel mit Zugbeanspruchung

### 2.3.8.1 Allgemeine Regeln zur Tragfähigkeit

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass der äquivalente T- Stummel in geschraubten Verbindungen eher zur Berechnung der Tragfähigkeit der Grundkomponenten verschiedener Tragsysteme (z. B. Riegel-Stützenverbindungen) statt für Abbildung 2-17 verwendet wird. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Versagensart des Flansches eines äquivalenten T-Stummels die gleiche ist, wie die der verschiedenen Grundkomponenten für welche der T-Stummel als Modell gilt (siehe Abbildung 2-19).





**Abbildung 2-22: Versagensart des äquivalenten T-Stummel gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B. Bild B2.1**

Im Modus 1 geschieht das Flanschversagen durch Ausbildung von vier Fließlinien, zwei dieser Linien befinden sich am Steg/Gurt-Anschluss ( $w$ ) und zwei an den Schrauben ( $b$ ). In diesem Modus wird die Zugtragfähigkeit  $F_{u,Rd}$  wie folgt berechnet:

$$F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{u,1})w + 2 \times (M_{u,1})b}{m}$$

In dieser Gleichung sollte  $(M_{u,1})w$  mit  $p_{u,haz} < 1$  und  $(M_{u,1})b$  mit  $p_{u,haz} = 1$  unter der Berücksichtigung der Nettofläche nach Abbildung 2-23 berechnet werden.

Modus 2a berücksichtigt das Flanschversagen durch Ausbildung von zwei Fließlinien und Schraubenkräften an der elastischen Grenze:

$$F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{u,2})w + n \times \sum B_o}{m + n}$$

Modus 2b bezeichnet die Formel für das Schraubenversagen bei fließen des Flansches an der Elastizitätsgrenze:

$$F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{o,2})w + n \times \sum B_o}{m + n}$$

Im Modus 3 wird von einem reinen Schraubenversagen ausgegangen:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u$$

Bei den vorangegangenen Formeln ist:

$$M_{u,1} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff1} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

Sollte der zu berechnende Querschnitt keine Schweißnaht enthalten, ist für  $p_{u,haz}$  1 anzusetzen.

$$M_{u,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff2} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

Sollte der zu berechnende Querschnitt keine Schweißnaht enthalten, ist für  $p_{u,haz}$  1 anzusetzen.

$$M_{o,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff2} \times p_{o,haz} \times f_o) \times \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

Sollte der zu berechnende Querschnitt keine Schweißnaht enthalten, ist für  $p_{o,haz}$  1 anzusetzen.

$$n = e_{min} \quad \text{aber} \quad n \leq 1,25 \times m$$

$$\frac{1}{k} = \frac{f_o}{f_u} \times \left( 1 + \Psi \times \frac{f_u - f_o}{f_o} \right)$$

$$\Psi = \frac{\varepsilon_u - 1,5 \times \varepsilon_o}{1,5 \times (\varepsilon_u - \varepsilon_o)}$$

$$\varepsilon_o = \frac{f_o}{E}$$

Dabei ist:

$\varepsilon_u$  die Bruchdehnung des Flanschwerkstoffes

$B_u$  die in 2.3.5 angegebene Zugtragfähigkeit  $B_{t,Rd}$

$B_o$  die übliche elastische Tragfähigkeit der Schraube

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{0,9 \times f_y \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{für Stahlschrauben} \\ \frac{0,6 \times f_o \times A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{für Aluminiumschrauben} \end{array} \right.$$

Dabei ist:

$A_s$  Spannungsquerschnitt der Schraube

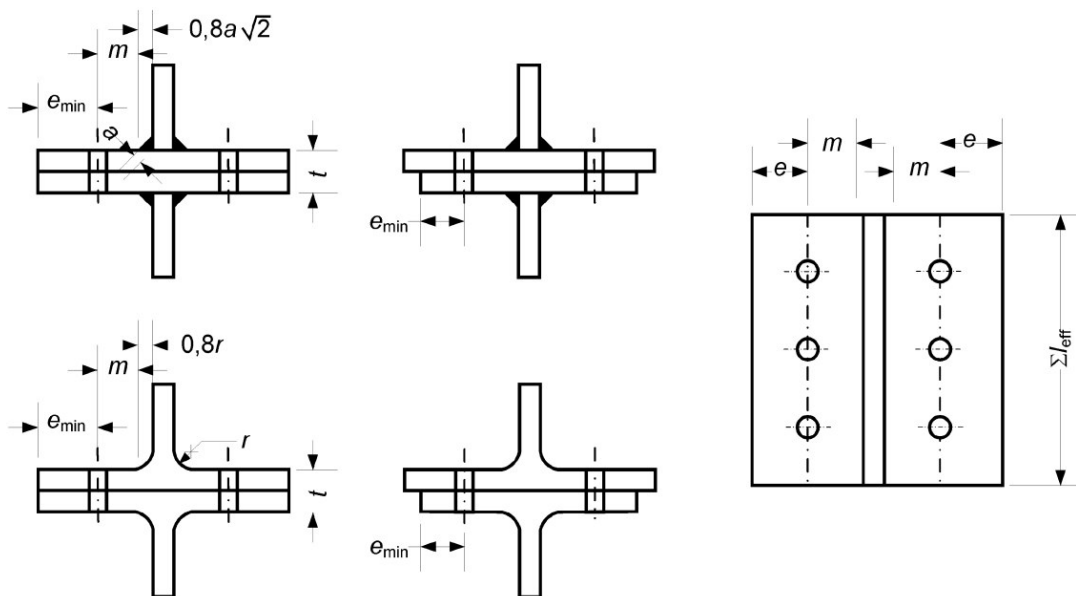
$\Sigma B_u$  der Gesamtwert von  $B_u$  für alle Schrauben im T-Stummel

$l_{eff,1}$  der Wert für  $l_{eff}$  für Modus 1

$l_{eff,2}$  der Wert für  $l_{eff}$  für Modus 2

$e_{min}$  und  $m$  sind in Abbildung 2-21 beschrieben.

Sollten keine genauen Angaben vorliegen, sollte für  $\varepsilon_u$  der in der DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 angegebene garantierte Mindestwert  $A_{50}$  (Bruchdehnung mit einer Anfangsmesslänge von 50 mm) angenommen werden.



**Abbildung 2-23: Abmessungen eines äquivalenten T-Stummels gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Abbildung B.3**

Sollten in einer Verbindung wie in Modus 3 keinerlei Kontaktkräfte auftauchen, ist die Zugtragfähigkeit  $F_{u,Rd}$  eines T-Stummelflansches als der Kleinere der beiden folgenden Werte zu bemessen.

1) Flanschversagen:

$$F_{u,Rd} = \frac{2 \times M_{u,1}}{m}$$

2) Schraubenversagen:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u$$

Wobei:  $M_{u,1}$ ,  $m$  und  $\sum B_u$  wie zuvor definiert sind.

Die wirksame Länge  $\sum l_{eff}$  eines äquivalenten T-Stummels ist eine Ersatzlänge und stimmt nicht unbedingt mit der wirklichen Länge der Grundkomponente des Anschlusses überein. Sie ist so anzusetzen, dass die Tragfähigkeit der Grundkomponente des Anschlusses und des äquivalenten T-Stummelflansches, welcher durch den T-Stummel abgebildet wird, gleich groß sind (siehe Abbildung 2-23).

Die Verfahren zur Bestimmung der wirksamen Länge  $l_{eff}$  für einzelne Schraubenreihen und die Schraubengruppen für die Berechnung der Grundkomponenten einer Verbindung als äquivalente T-Stummelflansche werden angegeben in:

- Tabelle 2-14 für einen T-Stummel mit unausgesteiften Flanschen
- Tabelle 2-15 für einen T-Stummel mit ausgesteiften Flanschen

Die Abmessungen  $e_{min}$  und  $m$  die in den folgenden Tabellen verwendet werden sind in Abbildung 2-21 beschrieben. Der Faktor  $\alpha$  wird in der Abbildung 2-22 Erläutert.

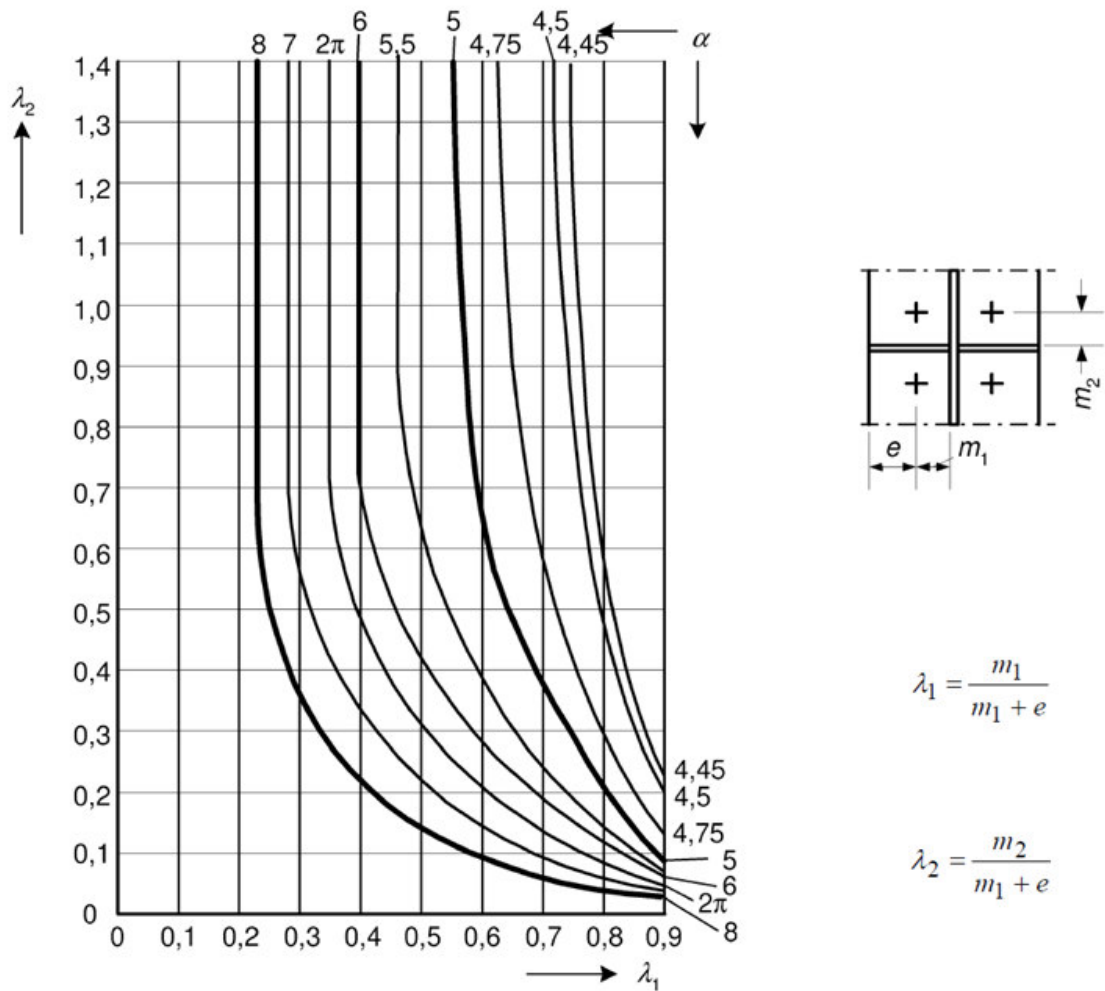
Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,nc}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,nc}$
Innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Äußere Schraubenreihe	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ aber $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ aber $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$	
ANMERKUNG Siehe Abbildung 2-8 bis 2-12				

**Tabelle 2-14: Wirksame Länge für unausgesteifte Flansche gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Tabelle B.1**



Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{\text{eff,cp}}$	Andere Anordnungen $l_{\text{eff,nc}}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{\text{eff,cp}}$	Andere Anordnungen $l_{\text{eff,nc}}$
Schraubenreihe neben einer Steife	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Andere äußere Schraubenreihen	der kleinere Wert von: $2\pi m$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$
	$\pi m + 2e_1$	$2m + 0,625e + e_1$	$2e_1 + p$	$e_1 + 0,5p$
Äußere Schraubenreihe neben einer Steife	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	nicht maßgebend	nicht maßgebend
Modus 1:	$l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,nc}}$ aber $l_{\text{eff,1}} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\Sigma l_{\text{eff,1}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$ aber $\Sigma l_{\text{eff,1}} \leq \Sigma l_{\text{eff,cp}}$	
Modus 2:	$l_{\text{eff,1}} = l_{\text{eff,nc}}$		$\Sigma l_{\text{eff,1}} = \Sigma l_{\text{eff,nc}}$	

**Tabelle 2-15: Wirksame Länge für ausgesteifte Flansche gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Tabelle B.2**



**Abbildung 2-24: Werte des Faktors  $\alpha$  für die wirksame Länge von ausgesteiften Flanschen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Bild B.4**

### **2.3.8.2 Einzelne Schraubenreihen, Schraubengruppen und Gruppen von Schraubenreihen**

Es sollte berücksichtigt werden, dass, obwohl bei Verwendung eines äquivalenten T-Stummels zur Berechnung der Grundkomponenten eines Anschlusses die Kräfte in jeder Schraubenreihe des T-Stummelflansches allgemein gleich groß sind, unterschiedliche Kräfte in den Verschiedenen Schraubenreihen auftreten können.

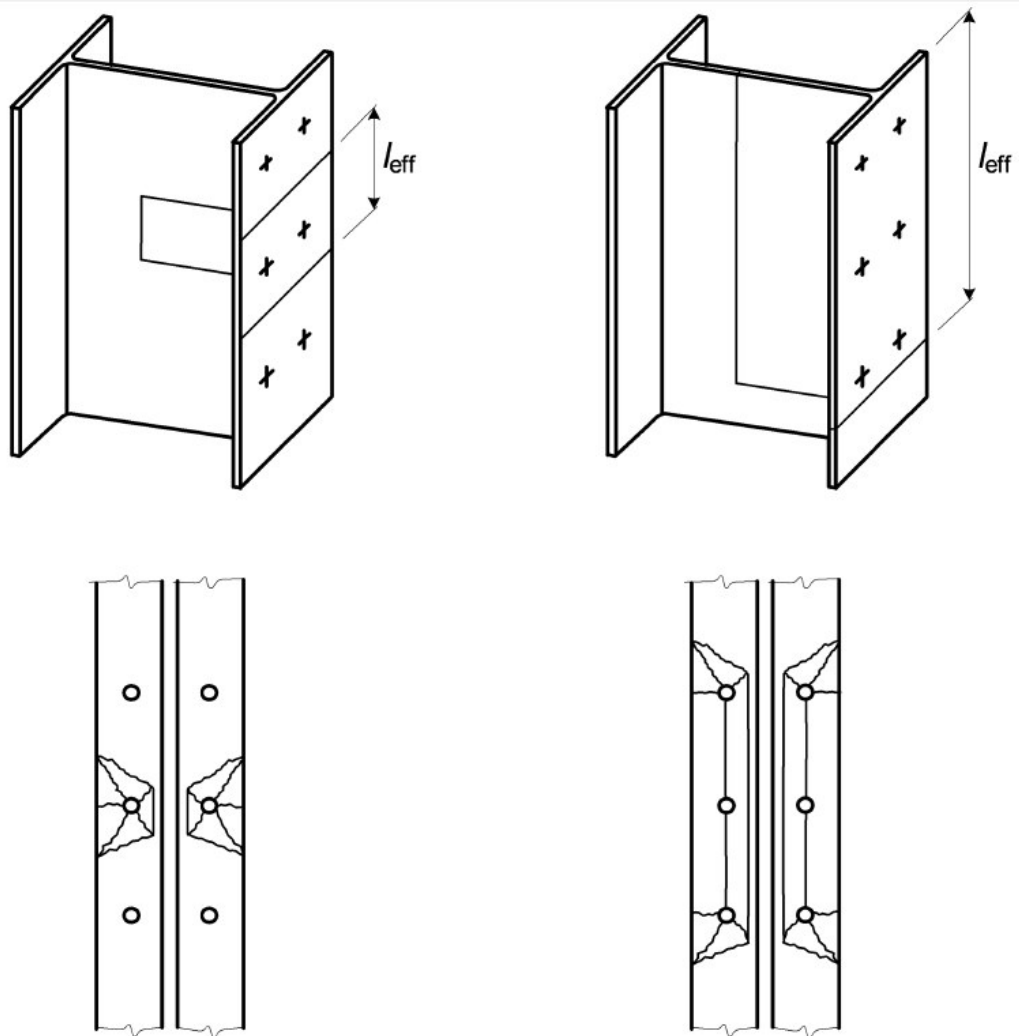
Es sollten folgende Kriterien unbedingt eingehalten werden:

- a) Die Kraft die auf eine Schraubenreihe gerechnet wird sollte die Tragfähigkeit dieser Schraubenreihe nicht überschreiten.
- b) Die Gesamtkraft auf jede Gruppe von Schraubenreihen, die jeweils zwei oder mehrere benachbarte Schraubenreihen innerhalb derselben Schraubengruppe umfasst, sollte die Tragfähigkeit dieser Gruppe von Schraubenreihen nicht überschreiten.

Sollte die Zugtragfähigkeit einer Grundkomponente mit dem Modell des äquivalenten T-Stummels ermittelt werden, müssten im Allgemeinen die folgenden Parameter berechnet werden.

- a) Die maximale Tragfähigkeit der einzelnen Schraubenreihe, die sich ergibt, wenn nur diese Schraubenreihe betrachtet wird, siehe Abbildung 2-23(a)
- b) Der Beitrag jeder einzelnen Schraubenreihe zu der maximalen Tragfähigkeit von zwei oder mehr benachbarten Schraubenreihen innerhalb einer Schraubengruppe, der sich ergibt, wenn nur diese Schraubenreihe betrachtet werden, siehe Abbildung 2-23(b)

Kommt es zu dem Fall einer einzelnen Schraubenreihe, sollte  $\sum l_{eff}$  gleich der wirksamen Länge  $l_{eff}$  aus Tabelle 2-14 und Tabelle 2-15 angesetzt werden. Andersrum sollte bei einer Gruppe von Schraubenreihen  $\sum l_{eff}$ , also Summe der wirksamen Länge  $l_{eff}$ , angesetzt werden, die in Tabelle 2-14 und Tabelle 2-15 für den jede einzelne Schraubenreihe als Teil der Schraubengruppe tabelliert sind.



a) einzelne Schraubenreihen

b) Gruppe von Schraubenreihen

**Abbildung 2-25: Äquivalente T-Stummel für einzelne Schraubenreihen und Gruppen von Schraubenreihen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Anhang B Bild B.5**

### 2.3.9 Einschnittige Schraubenverbindungen

Im Falle einer einschnittigen Verbindung von Flachmaterialien durch eine Schraube oder eine Schraubenreihe (siehe Abbildung 2-24) sollten Unterlegscheiben sowohl von der Schraubenkopfseite als auch von der Mutterseite verwendet werden, um ein Versagen auf Grund von Ausknöpfen der Schrauben zu verhindern. Bei Verwendung hochfester Schrauben mit der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9 sollten mit einer Schraube oder einer Schraubenreihe rechtwinklig zur Belastungsrichtung auch dann gehärtete Unterlegscheiben verwendet werden, wenn die Schrauben nicht vorgespannt werden.

Der Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  nach 2.3.5.1 sollte wie folgt begrenzt werden:

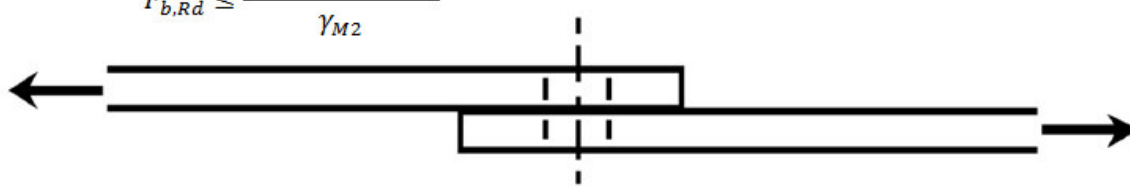
$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$$


Abbildung 2-26: Einschnittige Schraubenverbindung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.11

### 2.3.10 Lange Anschlüsse

Durch die ungleichmäßige Scherkraftverteilung bei langen Anschlüssen werden die Spitzenwerte an den Enden der Verbindung so groß, dass sie mit dem Modell der einfachen gleichmäßigen Verteilung nicht mehr ausreichend sicher abgedeckt sind. Deshalb sind Abmilderungen der Beanspruchbarkeit zu berücksichtigen.

Sollte der größte Abstand  $L_j$  zwischen zwei Schrauben eines Anschlusses in Richtung der Kraftübertragung (siehe Abbildung 2-25) größer als  $15 \times d$  sein, muss der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  aller Verbindungsmittel nach 2.3.5.1 und 2.3.5.2 mit dem nachfolgenden Abminderungsbeiwert  $\beta_{Lf}$  multipliziert werden:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \times d}{200 \times d}$$

Jedoch gilt  $0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1$

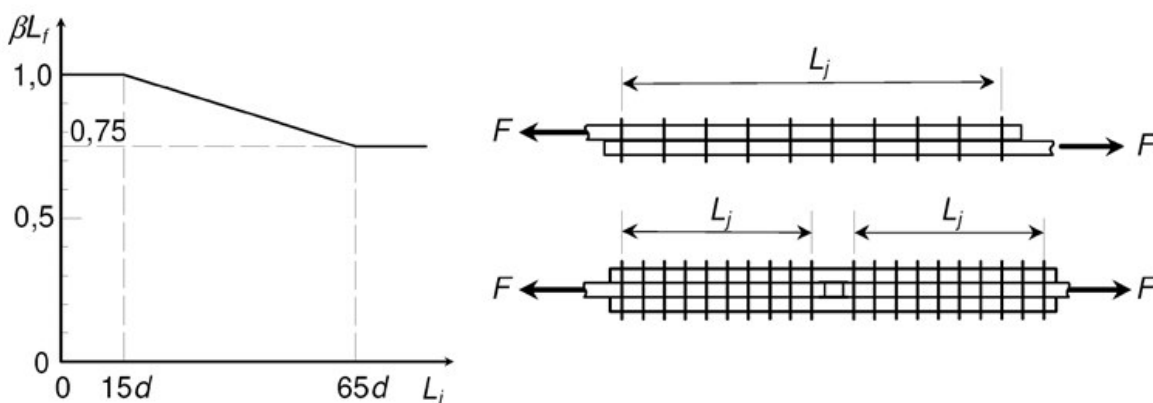


Abbildung 2-27: Lange Anschlüsse gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.10

### 2.3.11 Verbindungen durch Futterbleche

Wenn bei einer Konstruktion ein Restspalt auftritt ist dies kein Grund, sie wieder abzubauen oder zu bemängeln, die DIN EN 1999-1-1:2014-03 sieht in solch einem Fall die Verwendung von Futterblechen vor. Sollte eine Verbindung mit Futterblechen ausgeführt werden, müssen folgende Aspekte berücksichtigt werden:

Werden die Scher-Lochleibungskräfte der Nieten oder Schrauben über die Futterbleche übertragen, muss darauf geachtet werden, dass (sofern die Dicke  $t_p$  des Futterbleches größer als ein Drittel des Schraubendurchmessers  $d$  ist) der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  nach 2.3.5.1 und 2.3.5.2 um den Beiwert  $\beta_p$  abgemindert wird.

$$\beta_p = \frac{9 \times d}{8 \times d + 3 \times t_p} \text{ aber } \beta_p \leq 1,0$$

Bei zweischnittigen Scher-Lochleibungsverbindungen mit Futterblechen auf beiden Seiten des Stoßes sollte für den Wert  $t_p$  die Dicke des dickeren Futterbleches angesetzt werden.

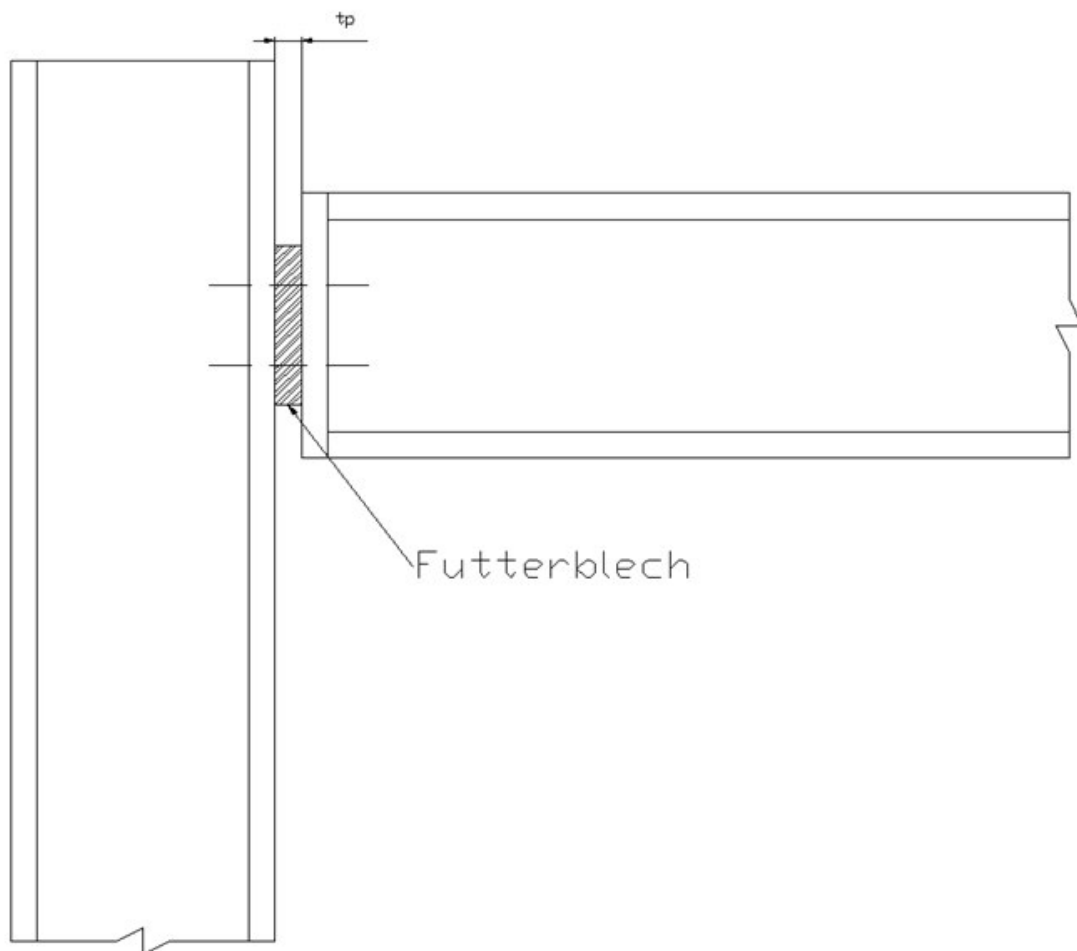


Abbildung 2-28: Beispielhafte Verdeutlichung eines Futterbleches

## 2.4 Bolzenverbindungen

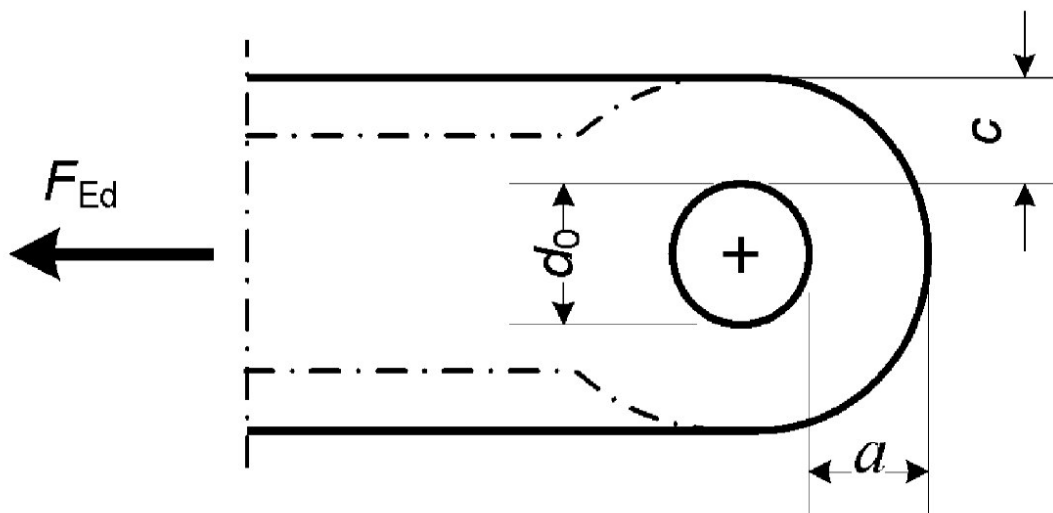
### 2.4.1 Allgemeines

Bolzen sollten nicht einschnittig belastet werden. Dies soll bedeuten, dass eines der zu verbindenden Bauteile wie eine Gabel oder ein Schäkel ausgebildet sein sollte. Das Herausziehen des Bolzen aus solch einer Verbindung wird z. B. durch Klipse aus Federstahl verhindert, welche mit 10% Beanspruchung der Bolzenscherlast bemessen werden. Sollte von einer Bolzenverbindung Drehbarkeit verlangt werden, so sollte diese Verbindung nach 2.4.2 und 2.4.3 nachgewiesen werden.

Wenn keine Drehbarkeit für eine Bolzenverbindung verlangt wird, kann diese als einzelne Schraubverbindung bemessen werden vorausgesetzt der Bolzen ist nicht länger als das Dreifache des Bolzendurchmesser. In allen anderen Fällen muss nach 2.4.3 bemessen werden.

### 2.4.2 Bolzenlöcher und Augenstäbe (Anschlussbleche)

Der Bemessungswiderstand der Augenstäbe kann auf zwei Arten berechnet werden, je nachdem ob die Dicke einer Lasche/Augenstabs oder die Randabstände gegeben sind.



**Abbildung 2-29: Maßgebliche Anforderung für Bolzenverbindungen mit vorgegebenem Lochdurchmesser und Dicke gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.12**

Dabei sind

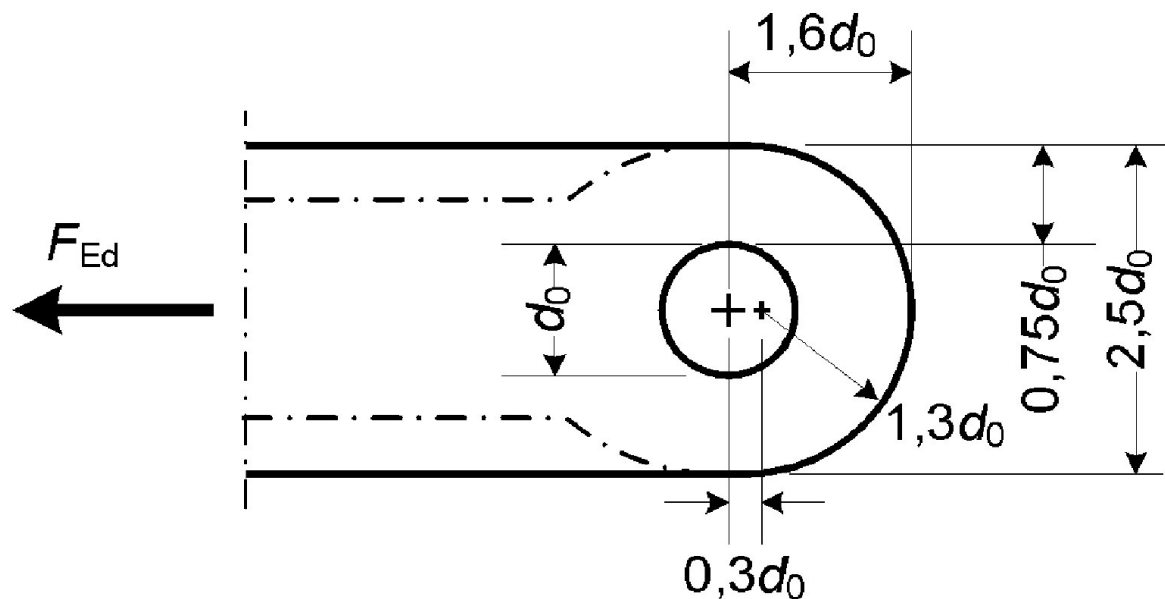
$$a \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{2 \times t \times f_0} + \frac{2 \times d_0}{3}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{2 \times t \times f_0} + \frac{2 \times d_0}{3}$$

Dabei ist:

$t$  Dicke des Bauteils

$d_0$  Lochdurchmesser



**Abbildung 2-30: Maßgebliche Anforderungen für Bolzenverbindungen mit vorgegebener Geometrie gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.12**

Dabei ist:

$$t \geq 0,7 \times \sqrt{\frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{f_0}}$$

$$d_0 \geq 1,75 \times \sqrt{\frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{f_0}}$$

Dabei ist:

$t$  Dicke des Bauteils

$d_0$  Lochdurchmesser



### 2.4.3 Bemessung der Bolzen

Die Bemessungswerte der Einwirkungen auf einen Bolzen sollte die Beanspruchbarkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach Tabelle 2-16 nicht überschreiten.

Wird eine Austauschbarkeit des Bolzen vorgesehen (mehrfache Montage und Demontage eines Tragwerkes) sollte zusätzlich zu den Bestimmungen nach 2.4.2 und 2.4.3 hinsichtlich Kontaktbeanspruchung folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd}$$

Dabei ist:

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \times \sqrt{\frac{F_{Ed,ser} \times (d_0 - d)}{d^2 \times t}} \times \sqrt{\frac{2 \times E_p \times E_{pl}}{E_p + E_{pl}}}$$

$$f_{h,Rd} = \frac{2,5 \times f_o}{\gamma_{M6,ser}}$$

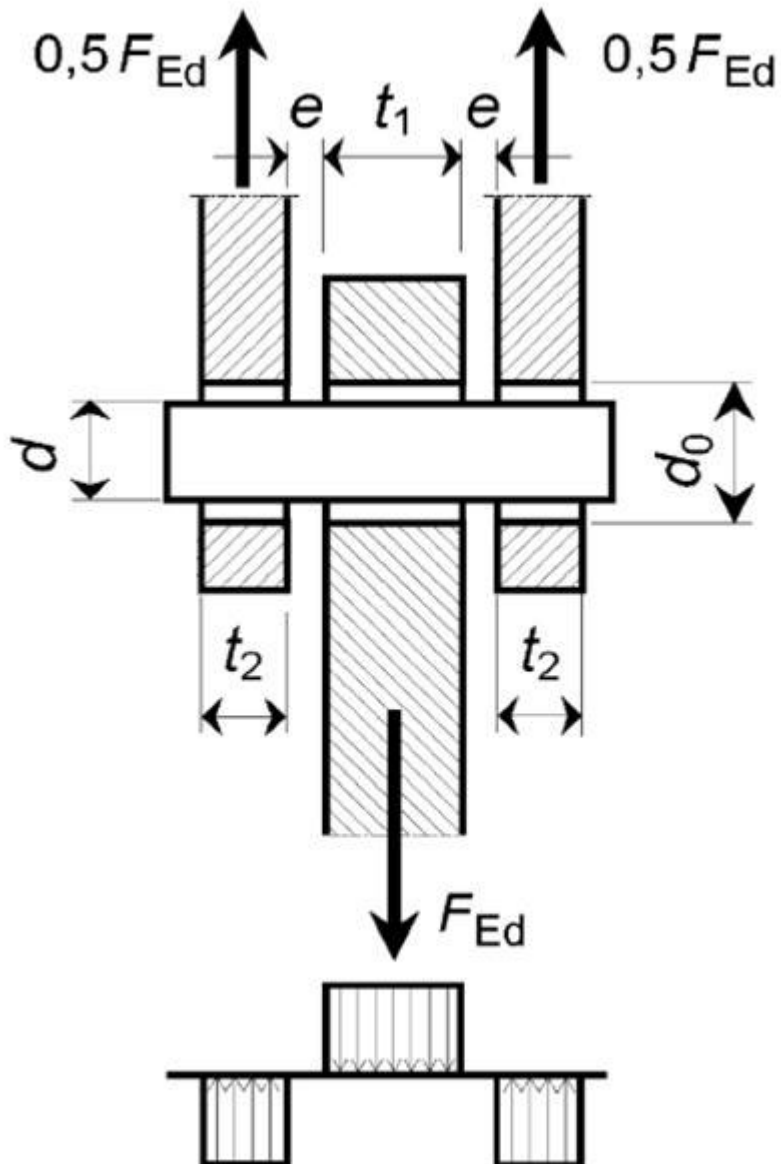
Dabei ist:

d	der Durchmesser des Bolzen
$d_0$	der Durchmesser des Bolzenloches
$F_{Ed,ser}$	der Bemessungswert der Kraft, die bei der Beanspruchung mit den typischen Lastkombinationen für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit übertragen werden.
$E_p, E_{pl}$	der Elastizitätsmodul des Bolzen bzw. des Werkstoffes

Kriterium	Beanspruchbarkeit
Abscheren des Bolzens	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{Mp} \geq F_{v,Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$F_{v,Rd,ser} = 0,6 A f_{op} / \gamma_{M6,ser} \geq F_{v,Ed,ser}$
Lochleibung von Blech und Bolzen	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{o,min} / \gamma_{M1} \geq F_{b,Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$F_{b,Rd} = 0,6 t d f_o / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Biegung des Bolzens	$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{op} / \gamma_{M1} \geq M_{Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$M_{Rd} = 0,8 W_{el} f_{op} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Interaktion von Abscheren und Biegung	$(M_{Ed} / M_{Rd})^2 + (F_{v,Ed} / F_{v,Rd})^2 \leq 1,0$
Dabei ist	
$d$	der Durchmesser des Bolzens;
$f_{o,min}$	der niedrigere Bemessungswert der Festigkeiten von Bolzen und verbundenem Bauteil;
$f_{up}$	die maximale Zugfestigkeit (Bruchfestigkeit) des Bolzens;
$f_{op}$	die Streckgrenze des Bolzens;
$t$	die Dicke des verbundenen Bauteils;
$A$	die Querschnittsfläche eines Bolzens.

**Tabelle 2-16: Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit von Bolzenverbindungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.7**

Das Bemessungsmoment in einem Bolzen sollte nach Abbildung 2-29 berechnet werden.



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed} \times (2 \times t_2 + 4 \times e + t_1)}{8}$$

Abbildung 2-31: Einwirkungen und Reaktionen bei einer Bolzenverbindung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.13

## 2.5 Schweißverbindungen

### 2.5.1 Allgemeines

Im Falle einer Schweißverbindung ist drauf zu achten, dass Aluminium zu einem Festigkeitsabfall in der Wärmeeinflusszone (WEZ) neigt. Das heißt, es muss bei der Bemessung von Aluminiumschweißverbindungen nicht nur die Festigkeit der Schweißnähte, sondern auch die Festigkeit der Wärmeeinflusszone berücksichtigt werden.

Die Bemessungsvorschriften in diesem Kapitel nach DIN EN 1990-1-1:2014-03 gelten für Schweißungen mit dem MIG (Metall Inertgasschweißen) und dem WIG (Wolfram-Inertgasschweißen) Verfahren. Zur Berücksichtigung der WEZ werden die Aluminiumlegierungen anhand ihrer Bauteildicke genauestens unterteilt, damit die Abminderungsfaktoren der WEZ ( $p_{o,haz}$  und  $p_{u,haz}$ ) anhand der folgenden Tabelle genauestens abgelesen werden können.

Legierung EN- AW	Zustand <sup>1)</sup>	Dicke $t^{1)}$ mm	$f_o^{1)}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ N/mm <sup>2</sup>	$A_{50}^{1), 6)}$ %	$f_{o,haz}^{2)}$ N/mm <sup>2</sup>	$f_{u,haz}^{2)}$ N/mm <sup>2</sup>	WEZ-Faktor <sup>2)</sup>		$BC_4)$	$n_p^{1), 5)}$
								$p_{o,haz}^{1)}$	$p_{u,haz}$		
3004	H14   H24/H34	≤ 6   3	180   170	220	1   3	75	155	0,42   0,44	0,70	B	23   18
	H16   H26/H36	≤ 4   3	200   190	240	1   3			0,38   0,39	0,65	B	25   20
3005	H14   H24	≤ 6   3	150   130	170	1   4	56	115	0,37   0,43	0,68	B	38   18
	H16   H26	≤ 4   3	175   160	195	1   3			0,32   0,35	0,59	B	43   24
3103	H14   H24	≤ 25   12,5	120   110	140	2   4	44	90	0,37   0,40	0,64	B	31   20
	H16   H26	≤ 4	145   135	160	1   2			0,30   0,33	0,56	B	48   28
5005/ 5005A	O/H111	≤ 50	35	100	15	35	100	1	1	B	5
	H12   H22/H32	≤ 12,5	95   80	125	2   4	44	100	0,46   0,55	0,80	B	18   11
	H14   H24/H34	≤ 12,5	120   110	145	2   3			0,37   0,40	0,69	B	25   17
5052	H12   H22/H32	≤ 40	160   130	210	4   5	80	170	0,50   0,62	0,81	B	17   10
	H14   H24/H34	≤ 25	180   150	230	3   4			0,44   0,53	0,74	B	19   11
5049	O / H111	≤ 100	80	190	12	80	190	1	1	B	6
	H14   H24/H34	≤ 25	190   160	240	3   6	100	190	0,53   0,63	0,79	B	20   12
5454	O/H111	≤ 80	85	215	12	85	215	1	1	B	5
	H14 H24/H34	≤ 25	220   200	270	2   4	105	215	0,48   0,53	0,80	B	22   15
5754	O/H111	≤ 100	80	190	12	80	190	1	1	B	6
	H14 H24/H34	≤ 25	190   160	240	3   6	100	190	0,53   0,63	0,79	B	20   12

**Tabelle 2-17: Charakteristische Werte der 0,2%-Dehngrenze  $f_o$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwerte der Bruchdehnung  $A$ , Abminderungsfaktoren  $p_{o,haz}$  und  $p_{u,haz}$  in der WEZ, Knicklasten und Exponent  $n_p$  für Aluminiumknetlegierungen-Bleche, Bänder und Platten gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.2a**

Legierung EN- AW	Zustand <sup>1)</sup>	Dicke $t^{1)}$	$f_o^{1)}$	$f_u$	$A_{50}^{1)}$ 8)	$f_{o,haz}^{2)}$	$f_{u,haz}^{2)}$	WEZ-Faktor <sup>2)</sup>		BC <sub>4)</sub>	$n_p^{1), 5)}$
		mm	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{o,haz}^{1)}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	O/H111	$\leq 50$	125	275	11	125	275	1	1	B	6
		$50 < t \leq 80$	115	270	14 <sup>3)</sup>	115	270			B	
	H12 H22/H32	$\leq 40$	250   215	305	3   5	155	275	0,62   0,72	0,90	B	22   14
	H14 H24/H34	$\leq 25$	280   250	340	2   4			0,55   0,62	0,81	A	22   14
6061	T4 / T451	$\leq 12,5$	110	205	12	95	150	0,86	0,73	B	8
	T6 / T651	$\leq 12,5$	240	290	6	115	175	0,48	0,60	A	23
	T651	$12,5 < t \leq 80$	240	290	6 <sup>3)</sup>						
6082	T4 / T451	$\leq 12,5$	110	205	12	100	160	0,91	0,78	B	8
	T61/T6151	$\leq 12,5$	205	280	10	125	185	0,61	0,66	A	15
	T6151	$12,5 < t \leq 100$	200	275	12 <sup>3)</sup>			0,63	0,67	A	14
	T6/T651	$\leq 6$	260	310	6			0,48	0,60	A	25
		$6 < t \leq 12,5$	255	300	9			0,49	0,62	A	27
T651	$12,5 < t \leq 100$	240	295	7 <sup>3)</sup>	0,52			0,63	A	21	
7020	T6	$\leq 12,5$	280	350	7	205	280	0,73	0,80	A	19
	T651	$\leq 40$			9 <sup>3)</sup>						
8011A	H14   H24	$\leq 12,5$	110   100	125	2   3	37	85	0,34   0,37	0,68	B	37   22
	H16   H26	$\leq 4$	130   120	145	1   2			0,28   0,31	0,59		33   33

1) Wenn zwei (drei) Zustände in einer Zeile angegeben werden, haben die durch „|“ getrennten Zustände unterschiedliche technologische Werte, wenn sie durch „/“ getrennt sind, haben sie die gleichen Werte. (Die Zustände weisen dann gegebenenfalls Unterschiede bei  $f_o$ ,  $A$  und  $n_p$  auf).

2) Die WEZ-Werte gelten für MIG-Schweißen und Dicken bis zu 15 mm. Bei WIG-Schweißen kaltverfestigter Legierungen (3xxx, 5xxx und 8011A) bis zu 6 mm gelten die gleichen Werte, bei WIG-Schweißen ausscheidungsgehärteter Legierungen (6xxx und 7xxx) und Dicken bis zu 6 mm müssen die WEZ-Werte und damit auch die Beiwerte  $\rho$  mit einem Faktor 0,8 multipliziert werden. Bei größeren Dicken müssen — wenn keine anderen Werte vorliegen — die WEZ-Werte und die Beiwerte  $\rho$  bei ausscheidungsgehärteten Legierungen (6xxx und 7xxx) weiter mit einem Faktor von 0,8 und bei kaltverfestigten Legierungen (3xxx, 5xxx und 8011A) mit einem Faktor von 0,9 abgemindert werden. Diese Abminderungen gelten nicht für den Zustand O.

3) Auf der Grundlage von  $A$  ( $= A_{5,65\sqrt{A_0}}$ ), nicht  $A_{50}$

4) BC = Knickklasse, siehe 6.1.4.4, 6.1.5 und 6.3.1.

5) Exponent  $n$  für das Ramberg-Osgoodgesetz für die plastische Berechnung. Er gilt nur in Verbindung mit dem aufgeführten  $f_o$ -Wert.

6) Die angegebenen Mindestwerte der Bruchdehnung gelten nicht für den gesamten Dickenbereich sondern im Wesentlichen für geringe Dicken. Einzelheiten hierzu siehe EN 485-2

Tabelle 2-18: Fortsetzung der Tabelle 2-17

Legierung EN- AW	Produkt- form	Zustand	Dicke $t^{1)3)}$	$f_o^{1)}$	$f_u^{1)}$	$A^{5)2)}$	$f_{o,haz}^{4)}$	$f_{u,haz}^{4)}$	WEZ-Faktor <sup>4)</sup>		BC <sup>6)</sup>	$n_p^{7)}$
			mm	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$p_{o,haz}$	$p_{u,haz}$		
5083	ET, EP,ER/B	O / H111, F, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
<b>E1)</b> 5454	ET, EP,ER/B	O/H111 F/H112	$t \leq 25$	85	200	16	85	200	1	1	B	5
5754	ET, EP,ER/B	O/H111 F/H112	$t \leq 25$	80	180	14	80	180	1	1	B	6
	DT	H14/ H24/H34	$t \leq 10$	180	240	4	100	180	0,56	0,75	B	16 <b>E1)</b>
6060	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	<b>140</b>	<b>170</b>	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP,ET,ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
EP	$3 < t \leq 25$		150	195	8	0,43			0,56	A	18	
<b>E1)</b> 6061	EP,ET,ER/B	T4	$t < 25$	110	180	15	95	150	0,86	0,83	B	8
	DT		$t \leq 20$	110	205	16				0,73	B	8
	EP,ET,ER/B	T6	$t < 25$	240	260	<b>8</b>	115	175	0,48	0,67	A	55
	DT		$t \leq 20$	240	290	10				0,60	A	23 <b>E1)</b>
6063	EP,ET,ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	<b>7</b>			0,55	0,63	B	13
	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 25$	<b>160</b>	<b>195</b>	8	65	110	0,41	0,56	A	24
	DT		$t \leq 20$	190	220	10			0,34	0,50	A	31
	EP,ET,ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8			0,42	0,58	A	21
DT	$t \leq 20$		195	230	10	0,38			0,57	A	28	

**Tabelle 2-19: Charakteristische Werte der 0,2%-Dehngrenze  $f_o$  und der Zugfestigkeit  $f_u$  (ungeschweißt und für WEZ), Mindestwerte der Bruchdehnung  $A$ , Abminderungsfaktoren  $p_{o,haz}$  und  $p_{u,haz}$  in der WEZ, knicklasten und Exponent  $n_p$  für Aluminiumknetlegierungen-Strangpressprofile, stranggepresste Rohre, stranggepresste Stangen und gezogene Rohre gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.2b**

Legierung EN-AW	Produktform	Zustand	Dicke $t$ <sup>1)3)</sup>	$f_o$ <sup>1)</sup>	$f_u$ <sup>1)</sup>	$A$ <sup>5)2)</sup>	$f_{o,haz}$ <sup>4)</sup>	$f_{u,haz}$ <sup>4)</sup>	WEZ-Faktor <sup>4)</sup>		BC <sup>6)</sup>	$n_p$ <sup>7)</sup>		
			mm	N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$				
6005A	EP/O, ER/B	T6	$t \leq 5$	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25		
			$5 < t \leq 10$	215	260	8			0,53	0,63	A	24		
			$10 < t \leq 25$	200	250	8			0,58	0,66	A	20		
	EP/H, ET	T6	$t \leq 5$	<b>215</b>	<b>255</b>	8			0,53	0,65	A	26		
			$5 < t \leq 10$	<b>200</b>	<b>250</b>	8			0,58	0,66	A	20		
6106	EP	T6	$t \leq 10$	200	250	8	95	160	0,48	0,64	A	20		
6082	EP,ET,ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14	100	160	0,91	0,78	B	8		
	$\text{EP}$	T5	$t \leq 5$	230	270	8	125	185	0,54	0,69	B	28		
	$\text{EP}$ ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8	125	185	0,50	0,64	A	32		
			$5 < t \leq 15$	260	310	10			0,48	0,60	A	25		
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8			0,50	0,63	A	27		
			$20 < t \leq 150$	260	310	8			0,48	0,60	A	25		
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8			0,49	0,60	A	22		
			$5 < t \leq 20$	240	310	10			0,52	0,60	A	17		
7020	EP,ET,ER/B	T6	$t \leq 15$	290	350	10			205	280	0,71	0,80	A	23
	EP,ET,ER/B	T6	$15 < t < 40$	275	350	10					0,75	0,80	A	19
	DT	T6	$t \leq 20$	<b>280</b>	350	10	0,73	0,80			A	18		

**Legende**

EP stranggepresste Profile  
 EP/H stranggepresste Hohlprofile  
 ER/B stranggepresster Stab  
 EP/O stranggepresste offene Profile  
 ET stranggepresste Rohre  
 DT gezogene Rohre

Fußnoten zu Tabelle 3.2b:

- 1) Wo die Werte fett angegeben sind, können in einigen Ausführungsformen größere Dicken und/oder größere Festigkeitswerte zugelassen werden, siehe die in EN 1.2.3.2 aufgeführten ENs und prENs. In diesem Fall können die Werte für  $R_{p0,2}$  und  $R_m$  als  $f_o$  und  $f_u$  angesetzt werden. Wenn diese größeren Werte verwendet werden, müssen die entsprechenden WEZ-Beiwerte  $\rho$  nach den Gleichungen (6.13) und (6.14) mit denselben Werte für  $f_{o,haz}$  und  $f_{u,haz}$  berechnet werden.
- 2) Wo die Mindestwerte der Bruchdehnung fett angegeben sind, gelten für einige Ausführungsformen oder Dicken größere Mindestwerte.
- 3) Nach EN 755-2:2008 gilt folgende Regel: „Wenn der Querschnitt eines Profils sich aus unterschiedlichen Dicken zusammensetzt, denen verschiedene Werte der mechanischen Eigenschaften zugeordnet sind, gelten jeweils die niedrigsten festgelegten Werte für den gesamten Querschnitt des Profils.“ Abweichend davon kann der größte Wert verwendet werden, wenn der Hersteller diesen Wert durch eine geeignete Bescheinigung der Qualitätssicherung belegen kann.
- 4) Die WEZ-Werte gelten für MIG-Schweißen und Dicken bis zu 15 mm. Bei WIG-Schweißen kaltverfestigter Legierungen (3xxx und 5xxx) bis zu 6 mm gelten die gleichen Werte, bei WIG-Schweißen ausscheidungsgehärteter Legierungen (6xxx und 7xxx) und Dicken bis zu 6 mm müssen die WEZ-Werte mit einem Faktor von 0,8 multipliziert werden und damit auch die Beiwerte  $\rho$ . Bei größeren Dicken — falls keine anderen Werte vorliegen — müssen die WEZ-Werte und die Beiwerte  $\rho$  bei ausscheidungsgehärteten Liegerungen (6xxx und 7xxx) weiter mit einem Faktor von 0,8 abgemindert werden und bei kaltverfestigten Legierungen (3xxx, 5xxx und 8011A) mit einem Faktor von 0,9. Diese Abminderungen gelten nicht für den Zustand O.
- 5)  $A = 5,65 \sqrt{A_0}$
- 6) BC = Beulklasse, siehe 6.1.4.4, 6.1.5 und 6.3.1.
- 7)  $n$ -Wert im Ausdruck von Ramberg-Osgood für plastische Berechnung. Er gilt nur in Verbindung mit dem aufgeführten  $f_o$ -Wert (minimaler genommter Wert).

**gestrichelter Text**

Tabelle 2-20: Fortsetzung Tabelle 2-19

Nicht nur die Aluminiumlegierungen müssen genauestens ausgewählt sein, sondern auch die zur Verbindung verwendeten Schweißzusätze müssen zu der Grundkomponente passen und am besten höherwertig in ihrer Zusammensetzung sein.

Die beiden nachfolgenden Tabellen zeigen welche Schweißzusätze mit welchen Grundkomponenten kombiniert werden dürfen.

Gruppe des Schweißzusatzes	Legierung
Typ 3	3103
Typ 4	4043A, 4047A <sup>1)</sup>
Typ 5	5056A, 5356 / 5356A, 5556A / 5556B, 5183 / 5183A
<sup>1)</sup> 4047A wird speziell verwendet, um Risse im Schweißgut zu vermeiden. In den meisten anderen Fällen ist 4043A vorzuziehen.	

**Tabelle 2-21: Gruppierung der Legierungen für Tabelle 2-22 gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.5**

In dieser Tabelle werden die Schweißzusätze in Gruppen unterteilt. Die Gruppen zeigen welche Legierungen der Schweißzusätze verwendet werden dürfen.



In der nachfolgenden Tabelle werden die verschiedenen Gruppen zu unterschiedlichen Legierungstypen der Grundkomponenten zugeordnet.

Werkstoffkombinationen <sup>1)</sup>							
Grundwerkstoff 1	Grundwerkstoff 2						
	Al-Si Gusswerkstoffe	Al-Mg Gusswerkstoffe	3xxxer Legierungen	5xxxer Legierungen außer 5083	5083	6xxxer Legierungen	7020
7020	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	5556A Typ 5 5556A	Typ 5 Typ 5 Typ 4	5556A Typ 5 Typ 4 <sup>4)</sup>
6xxxer Legierungen	Typ 4 Typ 4 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 4 Typ 4 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 4 Typ 4	
5083	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	5556A Typ 5 Typ 5		
5xxxer Legierungen außer 5083	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 5 <sup>3)</sup> Typ 5			
3xxxer Legierungen	Typ 4 Typ 4 Typ 4	Typ 5 Typ 5 Typ 5	Typ 3 Typ 3 Typ 3				
Al-Mg-Gusswerkstoffe	NR <sup>2)</sup>	Typ 5 Typ 5 Typ 5					
Al-Si-Gusswerkstoffe	Typ 4 Typ 4 Typ 4						

<sup>1)</sup> In jedem Kasten ergibt der Schweißzusatz in der obersten Zeile die größte Schweißnahtfestigkeit; bei den 6xxxer Legierungen und bei EN-AW 7020 liegt dieser Wert unterhalb der Festigkeit des voll ausgehärteten Grundwerkstoffes. Der in der mittleren Zeile angegebene Schweißzusatz ergibt die beste Korrosionsbeständigkeit. Der in der unteren Zeile angegebene Schweißzusatz dient der Vermeidung von Schweißrissen.

<sup>2)</sup> NR = nicht empfohlen. Das Schweißen von Legierungen, die ungefähr 2 % oder mehr an Mg enthalten, mit Al-Si-Schweißzusätzen oder umgekehrt, wird nicht empfohlen, weil sich soviel Mg<sub>2</sub>Si an der Schmelzlinie ausscheidet, dass es ausreicht, die Schweißnaht zu verspröden. Wenn unvermeidbar, siehe prEN 1011-4.

<sup>3)</sup> Es ist ein besserer Korrosionswiderstand des Schweißgutes zu erwarten, wenn dessen Legierungsgehalt nahe bei dem des Grundwerkstoffes liegt und nicht bemerkenswert größer ist. Deshalb wird für aggressive Umgebung für den Grundwerkstoff EN-AW 5454 vorzugsweise der Schweißzusatz 5454 verwendet. In einigen Fällen kann dies jedoch nur auf Kosten der Schweißnahtgüte erreicht werden, so dass ein Kompromiss erforderlich ist.



<sup>4)</sup> Nur in speziellen Fällen wegen der geringen Festigkeit und des geringen Dehnungsvermögens der Verbindung.

**Tabelle 2-22: Wahl der Schweißzusätze gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 3 Tabelle 3.6**

Schweißverbindungen sollten bevorzugt in Bauwerke mit ruhender Belastung eingesetzt werden, die nachfolgenden Bemessungsgrundlagen sind für ruhende Belastungen vorgesehen. Des Weiteren sind alle folgenden Bemessungsgrundlagen an Bewertungsgruppen der DIN EN 1090-3 festgelegt. Bei den Bewertungsgruppen handelt es sich um Unterteilungen nach EN ISO 10042, welche die Grundlage für die Qualitätsanforderungen an Schweißnähten sind. Die Unterteilung nach EN ISO 10042:2005 erfolgt in drei Qualitätsstufen die mit B, C und D bezeichnet werden. Wobei für B die strengsten Anforderungen

gestellt werden. Welche der Bewertungsgruppe gefordert wird hängt von der Beanspruchungskategorie, Ausführungsklasse und vom Ausnutzungsgrad ab (siehe hierzu DIN EN 1090-03, Anhang L).

Wenn die oben genannten Kombinationen von Grundwerkstoff und Schweißzusatz erfolgreich verwendet worden sind, sollte nach DIN EN 1999-1-1 der charakteristische Wert der Festigkeit einer Schweißnaht ( $f_w$ ) nach der nachfolgenden Tabelle festgelegt werden.

Charakteristische Festigkeit	Schweißzusatzwerkstoff	Legierung								
		3103	5052	5083	5454	6060	6005A	6061	6082	7020
$f_w$ in N/mm <sup>2</sup>	5356	—	170	240	220	160	180	190	210	260
	4043A	95	—	—	—	150	160	170	190	210
<p>1 Für die Legierungen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— EN AW-5754 und EN AW-5049 können die Werte der Legierung 5454</li> <li>— EN AW-6063, EN AW-3005 und EN AW-5005 können die Werte der Legierung 6060</li> <li>— EN AW-6106 können die Werte der Legierung 6005A</li> <li>— EN AW-3004 können die Werte der Legierung 6082</li> <li>— EN AW-8011A kann für die Schweißzusatzwerkstoffe Typ 4 und Typ 5 ein Wert von 100 N/mm<sup>2</sup> verwendet werden.</li> </ul> <p>2  Wenn die Schweißzusatzwerkstoffe 5056, 5356A, 5556A/5556B, 5183/5183A verwendet werden, dann gelten die Werte des Schweißzusatzwerkstoffes 5356. </p> <p>3 Wenn die Schweißzusatzwerkstoffe 4047A oder 3103 verwendet werden, dann gelten die Werte des Schweißzusatzwerkstoffes 4043A.</p> <p>4 Bei Kombinationen unterschiedlicher Legierungen muss die niedrigste charakteristische Festigkeit der Schweißnaht verwendet werden.</p>										

**Tabelle 2-23: Charakteristische Werte der Festigkeit von Schweißnähten  $f_w$  gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Tabelle 8.8**

## 2.5.2 Festigkeitsreduktionen in der Wärmeeinflusszone (WEZ)

### 2.5.2.1 Allgemein

Die Wärmeeinflusszone um eine Schweißnaht herum erleidet Festigkeitsabminderungen, wenn kaltverfestigte oder lösungsgeglühte und warmausgelagerte Legierungen untereinander oder miteinander verschweißt werden. Obwohl sich der beeinflusste Bereich sofort um die Schweißnaht ausbildet, wird bei der Bemessung angenommen, dass der gesamte Bereich der WEZ sich auf das gleiche Niveau reduziert. Die Reduktion beeinflusst die 0,2%-Dehngrenze des Werkstoffes stärker als die Zugfestigkeit. Sogar kleine Schweißnähte die beim Anschluss einer kleinen Befestigung an ein Hauptbauteil auftreten können infolge der WEZ den Bauteilwiderstand erheblich vermindern. Deswegen ist bei der Bemessung von Trägern ratsam, Schweißnähte und Befestigungen in Bereichen mit niedrigen Spannungen anzuordnen z. B. in der Nähe der Spannungsnulllinie oder entfernt von Bereichen mit hohen Biegemomenten.

Durch das nachträgliche Warmauslagern kann die Festigkeitsreduktion in der WEZ bei einigen wärmebehandelten Legierungen gemildert werden.

Die charakteristischen Festigkeiten  $f_{u,haz}$  für den Werkstoff in der WEZ sind in den Tabellen 2-17 und 2-19 angegeben. Daraus ergibt sich wie folgt der charakteristische Wert der Schubfestigkeit:

$$f_{v,haz} = \frac{f_{u,haz}}{\sqrt{3}}$$

### 2.5.2.2 Ausdehnung der WEZ

In den Tabellen 2-17 und 2-19 sind die charakteristischen Werte der 0,2%-Dehngrenze  $f_{o,haz}$  und der Zugfestigkeit  $f_{u,haz}$  der Wärmeeinflusszone enthalten. Auch die Abminderungsfaktoren sind in den Tabellen abzulesen, man könnte sie aber auch wie folgt er rechnen:

$$p_{o,haz} = \frac{f_{o,haz}}{f_o}$$

$$p_{u,haz} = \frac{f_{u,haz}}{f_u}$$

Sollten Werte für andere Legierungen oder Zusätze benötigt werden, müssen diese auf Grundlage von Versuchen nachgewiesen und festgelegt werden. Wenn Allgemeinwerte verlangt werden, müssen diese mit Hilfe von Versuchsreihen ermittelt werden, da sich durch unterschiedliche Hersteller von Halbzeugen in ihrer chemischen Zusammensetzung Unterschiede befinden und auf Grund dessen unterschiedliche Festigkeitswerte nach dem Schweißen auftreten können.

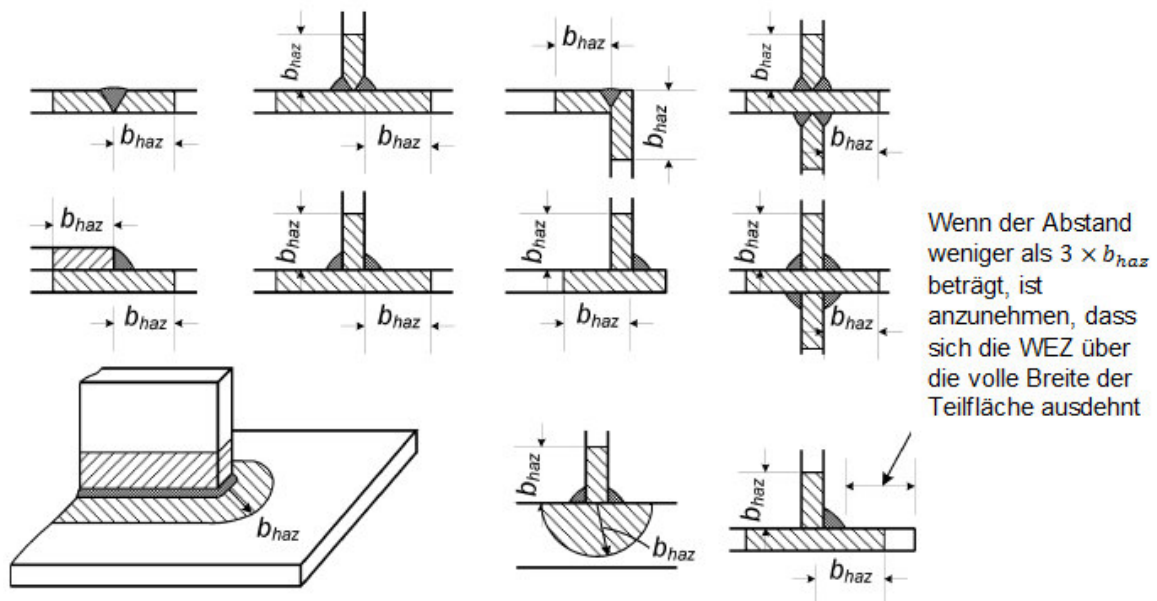
Die Werte der 0,2%-Dehngrenze und der Zugfestigkeit aus den Tabellen 2-17 und 2-19 gelten (unter der Voraussetzung, dass der Werkstoff bei einer Temperatur über 10°C gehalten wird) erst ab folgenden Zeitpunkten nach dem Schweißen:

- Legierungen der Serie 6xxx            3tage
- Legierungen der Serie 7xxx            30 Tage

Wird der Werkstoff nach dem Schweißen bei einer Temperatur unter 10°C gehalten, so verlängert sich die Erholungszeit und es sollte sich in der Regel Rat vom Hersteller eingeholt werden.

Die Breite der Wärmeeinflusszone  $b_{haz}$  wird in jeder Richtung, ausgehend von einer Schweißnaht nach DIN EN 1999-1-1:2014-03, wie folgt angenommen:

- Rechtwinkelig zur Mittellinie einer ebenen Stumpfnah
- Rechtwinkelig zur Schnittlinie der geschweißten Oberfläche an den Kehlnähten
- Rechtwinkelig zur Schnittlinie der geschweißten Oberfläche bei Stumpfnähten, die bei Ecknähten, T-Stößen oder Kreuzstößen verwendet werden
- In jeder Radialen Richtung vom Ende der Schweißnaht aus



**Abbildung 2-32: Ausdehnung der Wärmeeinflusszone gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03**

Allgemein sollte angenommen werden, dass die Grenze der WEZ gerade und rechtwinkelig zur Bauteiloberfläche verläuft, dies gilt insbesondere beim Schweißen von dünnen Bauteilen. Jedoch wenn eine Oberflächenschweißung an dicken Bauteilen ausgeführt wird, ist es zulässig einen gekrümmten Verlauf mit dem Radius  $b_{haz}$  (wie in der Abbildung 2-30 beschrieben) anzunehmen.

Wenn eine Schweißung im MIG Verfahren an nicht vorgewärmten Werkstoffen durchgeführt wird und beim Mehrlagenschweißen zwischen den Schweißlagen auf  $60^\circ\text{C}$  oder weniger abkühlt, sollten der Wert von  $b_{haz}$  wie folgt angenommen werden.

Ist die Materialstärke  $t > 12\text{mm}$  kann es bei mangelnder Qualitätskontrolle einen Temperatureinfluss geben, da die Kühlung zwischen den Schweißlagen auf bis zu über  $60^\circ\text{C}$  kommen kann was wiederum zu einer erhöhten Ausdehnung der Wärmeeinflusszone führt.

$$0 < t \leq 6\text{mm}: \quad b_{haz} \equiv 20\text{mm}$$

$$6 < t \leq 12\text{mm}: \quad b_{haz} \equiv 30\text{mm}$$

$$12 < t \leq 25\text{mm}: \quad b_{haz} \equiv 35\text{mm}$$

$$t > 25\text{mm}: \quad b_{haz} \equiv 40\text{mm}$$

Die oben aufgeführten Werte gelten für ebene Stumpfnähte (zwei wirksame Wege zur Wärmeleitung) oder Kehlnähte an T-Verbindungen (drei wirksame Wege zur Wärmeleitung) bei Legierungen der Serien 6xxx und 7xxx und Legierungen der Serien 3xxx und 5xxx im kaltverfestigten Zustand.

Wenn mehrlagige Schweißnähte gelegt werden, kann ein Temperaturanstieg zwischen den Lagen auftreten, welcher einen Anstieg der WEZ-Ausdehnung für Zwischenlagen Temperaturen  $T_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) zwischen  $60^{\circ}\text{C}$  und  $120^{\circ}\text{C}$  zur Folge hat. Ergibt sich hierfür bei Legierungen der Serie 6xxx und 7xxx sowie der Serien 3xxx und 5xxx im kaltverfestigten Zustand durch Multiplikation von  $b_{haz}$  mit dem Faktor  $\alpha_2$  ein auf der sicheren Seite liegender Wert.  $\alpha_2$  bestimmt sich bei:

Legierungen der Serie 6xxx und den Serien 3xxx und 5xxx im kaltverfestigten Zustand wie folgt.

$$\alpha_2 = \frac{1 + (T_1 - 60)}{120}$$

Legierungen der 7xxx Serie wie folgt.

$$\alpha_2 = \frac{1 + 1,5 \times (T_1 - 60)}{120}$$

Verbindungen, die im WIG-Verfahren geschweißt werden, haben eine größer ausgebildete Wärmeeinflusszone. Dies hat mit dem Wärmeeintrag beim Wolfram-Inertgasschweißen zu tun, welcher wesentlich höher ist als beim Metall-Inertgasschweißen. Zur Folge hat es, dass für Stumpf- oder Kehlnähte bei Legierungen der Serien 6xxx und 7xxx und der Serien 3xxx und 5xxx im kaltverfestigten Zustand der Wert für  $b_{haz}$  folgendermaßen angegeben wird:

$$0 < t \leq 6\text{mm}: \quad b_{haz} = 30\text{mm}$$

Wenn zwei oder mehr Schweißnähte nahe bei einander liegen, überlappen sich die Grenzen der WEZ, sodass angenommen wird, dass eine WEZ für die gesamte Schweißnahtgruppierung vorhanden ist. Sollte eine Schweißnaht im Abstand von weniger als  $3 \times b_{haz}$  zu einer freien Bauteilkannte stehen, ist die Wärmeableitung weniger wirksam und es ist anzunehmen, dass die gesamte Breite des außenliegenden Teiles dem Faktor  $p_{o,haz}$  unterliegt.

Weiterhin ist drauf zu achten, dass die verschiedenen Querschnitte die durch Schweißnähte verbunden werden die gleichen Dicken  $t$  besitzen. Ist dies nicht der Fall, sollte für alle in diesem Kapitel angenommen Dicken  $t$  (2.5.2.2.) der Mittelwert der Dicken der zu verbindenden Bauteile angenommen werden. Die ist solange zulässig, solange der Mittelwert der beiden Dicken kleiner als 1,5-mal die kleinste Dicke ist. Sollten größere Dickenunterschiede auftreten muss die Ausdehnung der Wärmeeinflusszone mit Hilfe von Härteprüfungen ermittelt werden.

## 2.5.3 Bemessung von Schweißverbindungen

### 2.5.3.1 Stumpfnähte

Bei tragenden Bauteilen sollte in der Regel immer voll durchgeschweißt werden, die effektive Länge einer solchen Verbindung ist gleich die gesamte Nahtlänge sofern für die Schweißung Auslaufbleche verwendet werden. Sollte dies nicht der Fall sein, wird die Effektive Naht um das Zweifache der Dicke  $t$  reduziert.

Die wirksame Dicke einer solchen Schweißnaht sollte mit der Dicke des zu verbindenden Bauteiles angenommen werden. Sollten dennoch unterschiedliche Bauteildicken mit einander verbunden werden, so wird die kleinste Bauteildicke als Schweißnahtdicke angenommen. Unterschreitungen oder Überhöhungen der Nahtdicke innerhalb der festgelegten Grenzen können bei der Bemessung vernachlässigt werden.

Wird eine Stumpfnah nicht komplett durchgeschweißt, ist dies nur gültig, wenn die Naht an nicht belasteten Bauteilen oder Sekundärbauteilen liegt. Sollte dies der Fall sein wird die wirksame Nahtfläche  $t_e$  wie im Bild 2-38 festgelegt.

Für die Bemessungswerte der Spannungen in Stumpfnähten gilt folgendes:

- Zug oder Druckspannungen rechtwinkelig zur Schweißnaht , siehe Abbildung 2-31

$$\sigma_{\perp Ed} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

- Schubspannung siehe Abbildung 2-32

$$\tau_{Ed} \leq \frac{1 \times f_w}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mw}}$$

- Kombinierte Normal – und Schubspannungen:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Dabei ist:

- $f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht nach Tabelle 2-23
- $\sigma_{\perp Ed}$  die Normalspannung, rechtwinkelig zur Schweißnahtachse
- $\tau_{Ed}$  die Schubspannung, parallel zur Schweißnahtachse
- $\gamma_{Mw}$  der Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen, siehe Tabelle 2.1

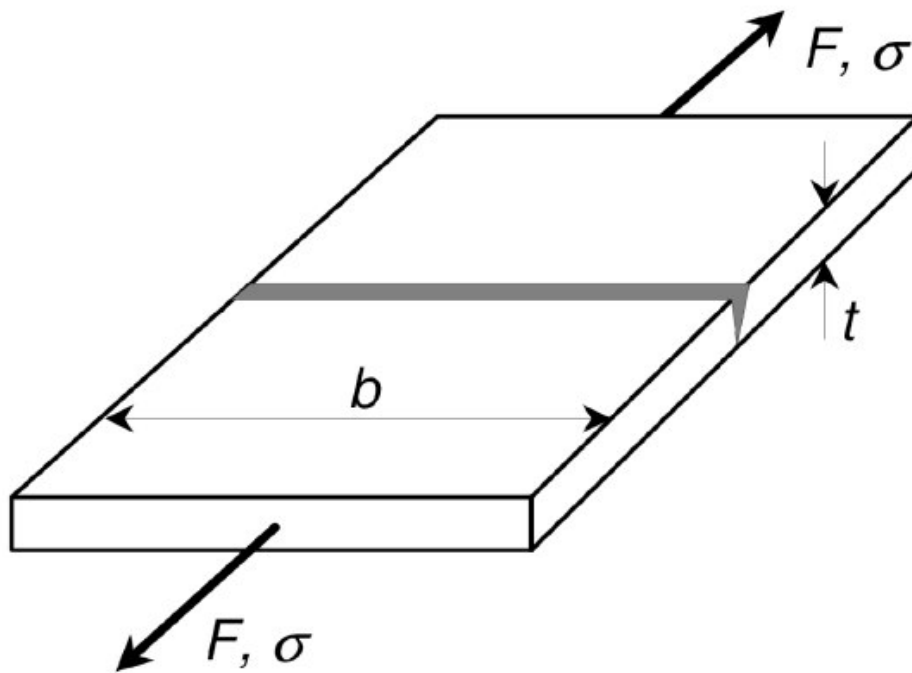
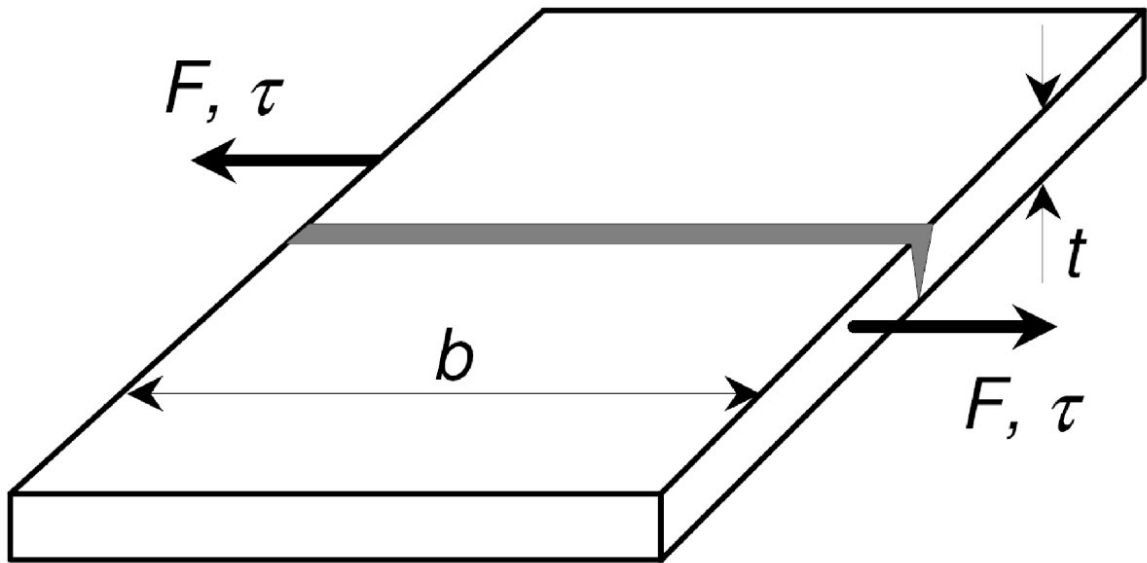


Abbildung 2-33: Stumpfnahtheit mit Normalspannung gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.14



**Abbildung 2-34: Stumpfnahtheit mit Schubspannungen gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.15**

Wenn in einer solchen Verbindung Eigenspannungen und Spannungen auftreten die nicht an der Lastübertragung beteiligt sind, müssen diese nicht bei dem Nachweis der Beanspruchbarkeit der Schweißnaht berücksichtigt werden.

### 2.5.3.2 Kehlnähte

Für Kehlnähte sollte die Nahtfläche als maßgebende Querschnittsgröße angesetzt werden, die sich aus der wirksamen Nahtlänge und der wirksamen Nahtdicke errechnet. Bei der wirksamen Nahtlänge ist zu beachten, dass sie als Gesamtlänge der Schweißnaht angesetzt werden kann wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Die Nahtlänge mindestens der 8-fachen Nahtdicke entspricht  $L_{w,eff} \geq 8 \times a$
- Bei ungleicher Spannungsverteilung entlang der Naht die Nahtlänge die 100-fache Nahtdicke nicht überschreitet, siehe Abbildung 2-33b
- Die Spannungsverteilung entlang der Naht konstant ist, wie z. B. in einer Überlappingsverbindung nach Abbildung 2-33a



Liegt eine gleichmäßige Verteilung der Spannung entlang der Schweißnaht an, aber die Nahtlänge entspricht nicht mindestens der 8-fachen Nahtdicken, so sollte die Tragwirkung der Naht nicht weiter berücksichtigt werden. Liegt eine ungleichmäßige Verteilung der Spannung entlang der Schweißnaht vor, muss bei Nähten deren Länge das 100-fache ihrer Nahtdicke überschreiten, die wirksame Nahtlänge wie folgt angesetzt werden:

$$L_{w,eff} = \left( \frac{1,2 - 0,2 \times L_w}{100 \times a} \right) \times L_w \text{ mit } L_w \geq 100 \times a$$

Dabei ist:

$L_{w,eff}$  die wirksame Länge der Flankenkehlnähte

$L_w$  die Gesamtlänge der Flankenkehlnaht

$a$  die wirksame Nahtdicke, siehe Abbildung 2-34



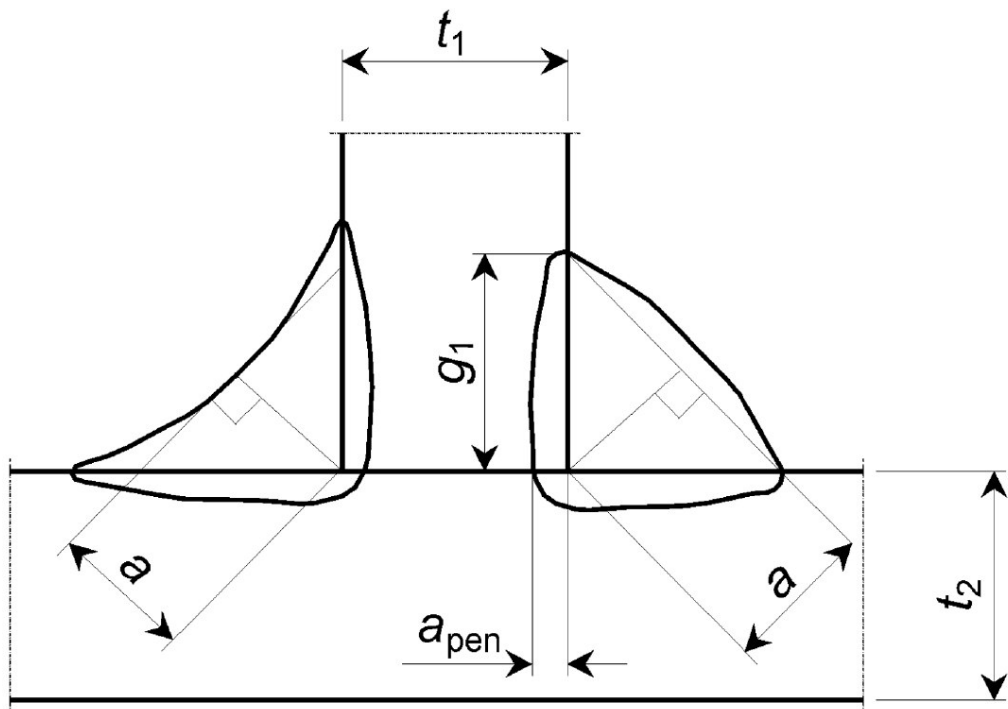
a) Beispiel einer gleichmäßigen Spannungsverteilung

b) Beispiel einer ungleichmäßigen Spannungsverteilung

**Abbildung 2-35:-Spannungsverteilung in Verbindungen mit Kehlnähten gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Abbildung 8.16**

Eine große Problematik der ungleichmäßig aufgeteilten Spannungen ist, dass dies in Verbindung mit dünnen und langen Nähten dazu führen kann, dass das Verformungsvermögen der Naht am Nahtende erschöpft ist, bevor der mittlere Bereich der Naht zum fließen kommt; in diesem Fall versagt die Verbindung in einer Art Reißverschluss-effekt.

Die wirksame Nahtdicke  $a$  einer Keilnaht ist die Höhe des größten, in den Schweißnahtquerschnitt passenden, gleichschenkeligen Dreiecks, siehe Abbildung 2-34



**Abbildung 2-36: Wirksame Nahtdicke  $a$ , über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehender Einbrand  $a_{pen}$  gemäß DIN EN1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Abbildung 8.14**

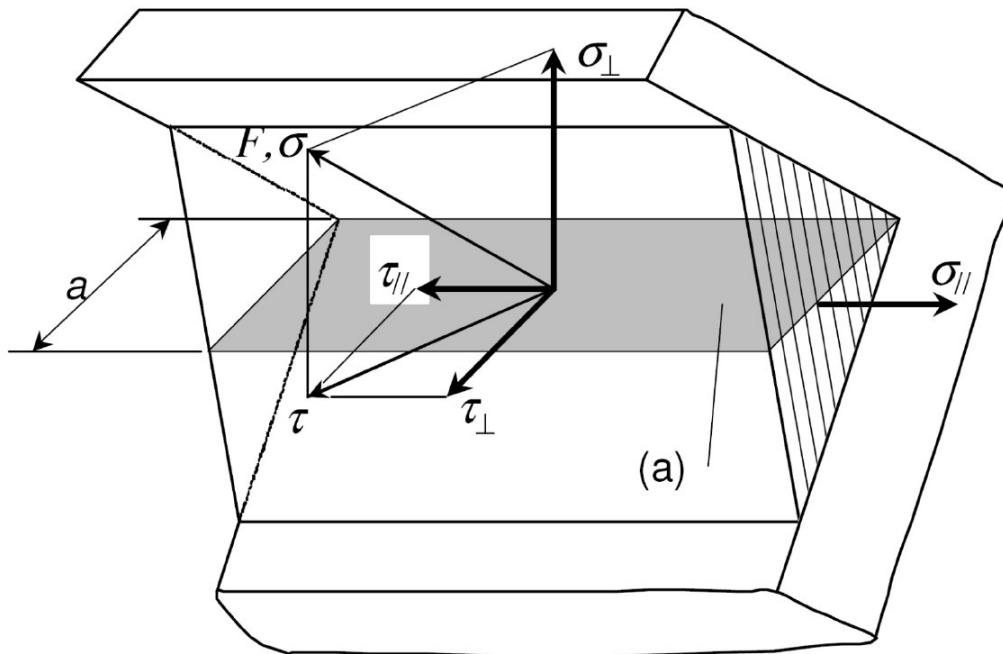
Durch Verfahrensprüfungen kann durchaus ein durchgehender, über den theoretischen Wurzelpunkt hinausgehender, Einbrand festgestellt werden. Ist dies vorhanden, darf zu Bemessungszwecken folgendes angenommen werden:

- Die Nahtdicke darf unter der Voraussetzung, dass Überwachungsregeln zur Qualitätssicherung festgelegt wurden, um den kleineren Wert von 20% und 2mm vergrößert werden.  
Somit gilt:  $a = 1,2 \times a$  oder  $a = a + 2mm$
- Bei Kehl Nähten mit planmäßigem Einbrand kann der zusätzliche Nahtdickenanteil berücksichtigt werden, vorausgesetzt, dass in einer Verfahrensprüfung nachgewiesen wurde, dass der Einbrand über die gesamte Länge sicher erreicht wird.  
Somit gilt:  $a = a + a_{pen}$  siehe Abbildung 2-34

Kräfte die auf eine Kehlnaht einwirken, sollten bezüglich der Nahtfläche in Spannungskomponenten zerlegt werden (siehe Abbildung 2-35) diese Komponenten sind nach DIN EN 1999-1-1:2014-03:

- Die Normalspannung  $\sigma_{\perp}$  rechtwinkelig zur Nahtfläche;
- Die Normalspannung  $\sigma_{\parallel}$  parallel maßgebenden Nahtachse
- Die Schubspannung  $\tau_{\perp}$  in der Nahtfläche rechtwinkelig zur maßgebenden Nahtachse
- Die Schubspannung  $\tau_{\parallel}$  in der Nahtfläche parallel zur maßgebenden Nahtachse

Spannungen und Eigenspannungen, die nicht an der Lastübertragung beteiligt sind, müssen beim Nachweis der Schweißnahtbeanspruchbarkeit nicht berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für Normalspannungen  $\sigma \parallel$  parallel zur Schweißnahtachse.



(a) Nahtquerschnitt

**Abbildung 2-37: Spannungen in der Nahtfläche einer Kehlnaht gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Abbildung 8.18**

Der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit einer Kehlnaht sollte folgende Bedingungen erfüllen:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Dabei ist:

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht nach Tabelle 2-23

$\gamma_{Mw}$  der Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen

In den häufig auftretenden Fällen des Doppelkehlnahtanschlusses mit Belastung entweder rechtwinklig oder parallel zur Schweißnahtachse, sollten die Nachweise nach den folgenden von der oben genannten Beziehung abgeleiteten Gleichungen geführt werden.

- Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung rechtwinkelig zur Schweißnaht (Siehe Abbildung 2-36). Die Nahtdicke  $a$  muss in der Regel folgende Bedingungen erfüllen:

$$a \geq \frac{1 \times \sigma_{Ed} \times t}{\frac{\sqrt{2} \times f_w}{\gamma_{Mw}}}$$

Dabei ist:

$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t \times b}$  die Normalspannung im angeschlossenen Bauteil

$F_{Ed}$  die Bemessungslast im angeschlossenen Bauteil

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht

$t$  die Dicke des angeschlossenen Bauteils

$b$  die Breite des angeschlossenen Bauteils

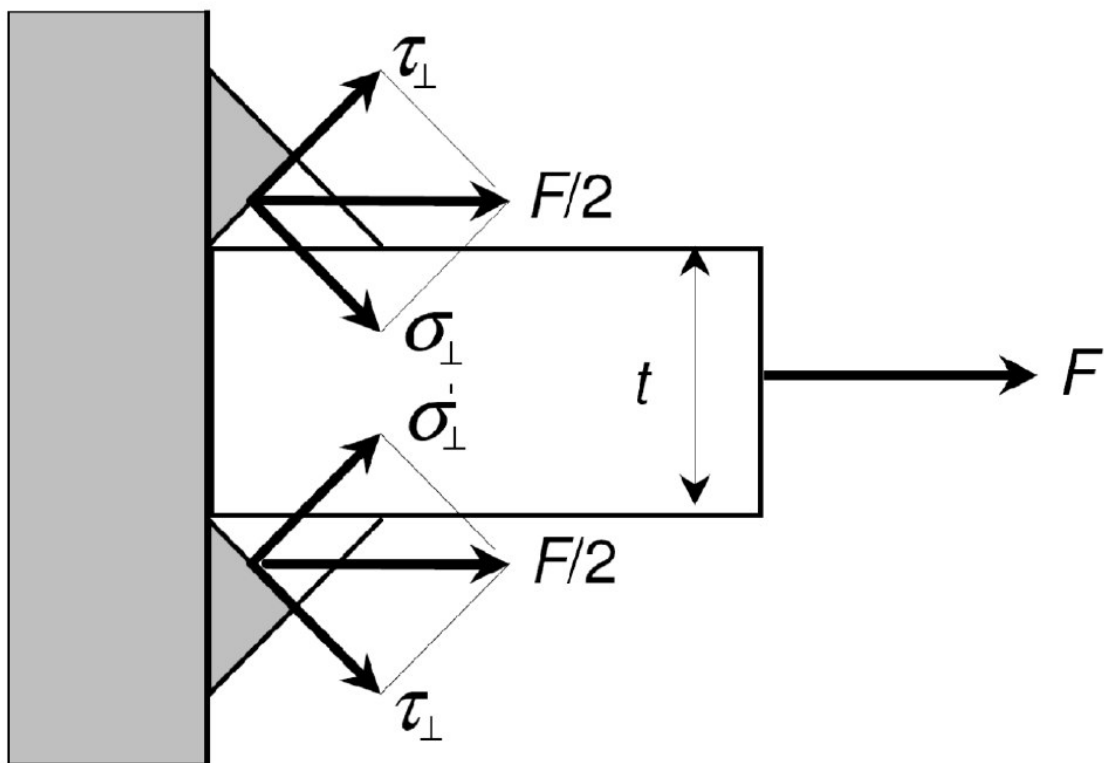


Abbildung 2-38: Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung rechtwinkelig zur Schweißnaht gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.19

- Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung parallel zur Schweißnaht (siehe Abbildung 2-37). Für die Nahtdicke  $a$  sollte Folgendes nachgewiesen werden:

$$a \geq \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{\tau_{Ed} \times t}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}}$$

Dabei ist:

$\tau_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t \times h}$  die Schubspannung im angeschlossenen Bauteil

$F_{Ed}$  die Bemessungslast im angeschlossenen Bauteil

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht

$t$  die Dicke des angeschlossenen Bauteils

$h$  die Höhe des angeschlossenen Bauteils

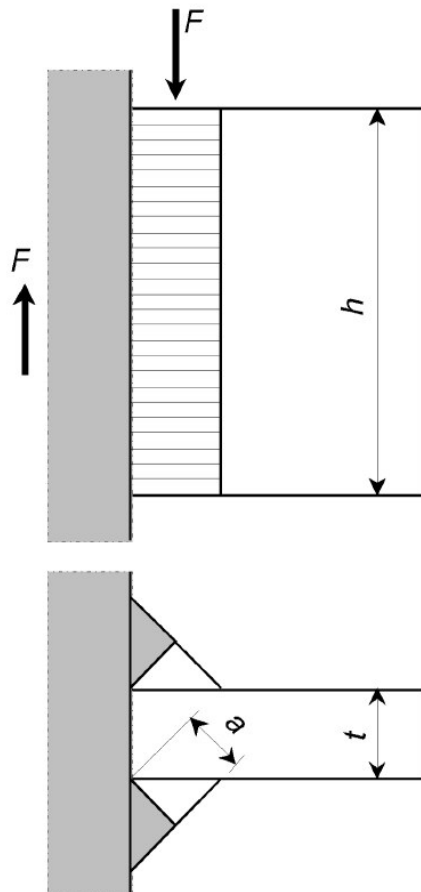
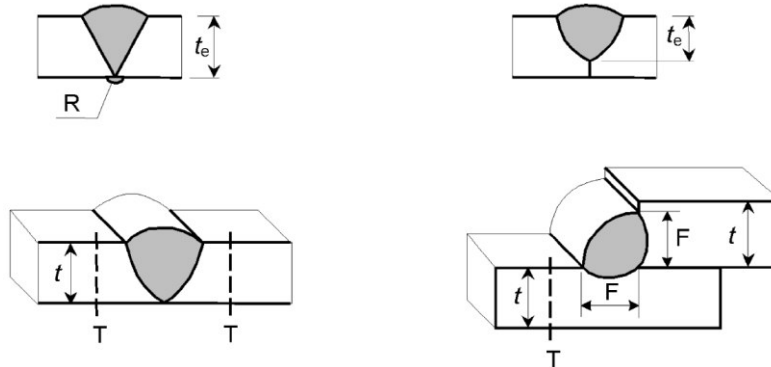


Abbildung 2-39: Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung parallel zur Schweißnahtachse gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03

## 2.5.4 Tragfähigkeitsnachweis der WEZ

Die Tragsicherheitsnachweise werden in den folgenden Abschnitten in Zug und Schubbelastung unterteilt, die unten sichtbare Abbildung gibt Aufklärung in die unterschiedlichen Bezeichnungen der nachfolgenden Nachweisverfahren.



Linie F = WEZ in der Schmelzlinie; Linie T = WEZ am Schweißnahtübergang, voller Querschnitt,  
 $t_e$  = wirksame Nahtfläche, R = Wurzelüberhöhung

**Abbildung 2-40: Versagensebenen in der WEZ einer Schweißnaht gemäß DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 8 Bild 8.21**

### 2.5.4.1 Unter Zugbeanspruchung rechtwinklig zur Versagensebene

Im Falle einer Stumpfnahht sollte der Tragsicherheitsnachweis wie folgt aussehen:

$$\sigma_{haz,Ed} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dieser Nachweis gilt für Stumpfnähte mit vollständigem Einbrand durch Nutzung des vollen Querschnittes, so wie Schweißnähten mit unvollständigem Einbrand durch Nutzung des wirksamen Nahtdickenquerschnitts  $t_e$ .

Bei einer Kehlnahht sollte der Tragsicherheitsnachweis wie folgt aussehen:

$$\sigma_{haz,Ed} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dies gilt an der Schmelzlinie und im Schweißnahtübergang bei vollem Querschnitt.

Dabei ist:

$\sigma_{haz,Ed}$	der Bemessungswert der Normalspannung rechtwinklig zur Schweißnahtachse
$f_{u,haz}$	die charakteristische Festigkeit in der WEZ, siehe Tabelle 2-17 bis 2-20
$\gamma_{Mw}$	der Teilsicherheitsbeiwert für geschweißte Verbindungen

### 2.5.4.2 Unter Schubkraft in der Versagensebene

Der Tragsicherheitsnachweis bei einer Stumpfnahht sieht in diesem Fall so aus:

$$\tau_{hat,Ed} \leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dieser Nachweis gilt für Stumpfnähte mit vollständigem Einbrand durch Nutzung des vollen Querschnittes, so wie Schweißnähten mit unvollständigem Einbrand durch Nutzung des wirksamen Nahtdickenquerschnitts  $t_e$ .

Für eine Kehlnahht der Nachweis sieht wie folgt aus:

$$\tau_{hat,Ed} \leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dies gilt an der Schmelzlinie und im Schweißnahtübergang bei vollem Querschnitt.

Dabei ist:

$\tau_{haz,Ed}$	der Bemessungswert der Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse
$f_{v,haz}$	die charakteristische Schubfestigkeit in der WEZ, siehe 2.5.2.1
$\gamma_{Mw}$	der Teilsicherheitsbeiwert für geschweißte Verbindungen

### 2.5.4.3 Unter Zug und Schub Beanspruchung

Für Stumpfnähte sieht der Kombinationsnachweis wie folgt aus:

$$\sqrt{\sigma_{haz,Ed}^2 + 3 \times \tau_{haz,Ed}^2} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dieser Nachweis gilt für Stumpfnähte mit vollständigem Einbrand durch Nutzung des vollen Querschnittes so wie Schweißnähten mit unvollständigem Einbrand durch Nutzung des wirksamen Nahtdickenquerschnitts  $t_e$ .

Für Kehlnähte sieht der Kombinationsnachweis wie folgt aus:

$$\sqrt{\sigma_{haz,Ed}^2 + 3 \times \tau_{haz,Ed}^2} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dies gilt an der Schmelzlinie und im Schweißnahtübergang bei vollem Querschnitt.

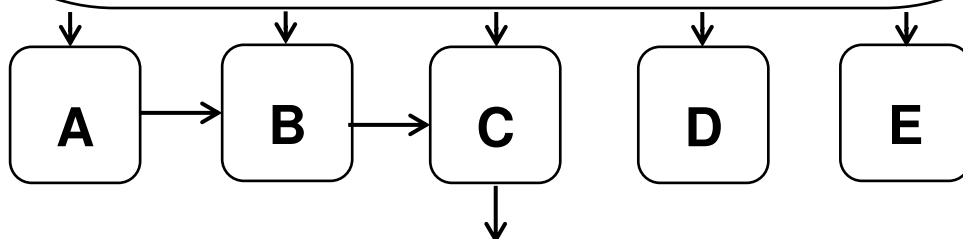
### 3 Algorithmen der Verbindungsarten

#### 3.1 Algorithmus zur Bemessung von Schraubenverbindungen

##### Schritt 1

Wahl der Kategorie der Schraubenverbindung mit Hilfe der nachfolgenden Tabelle: siehe Tabelle 2-3

Scherbeanspruchte Verbindungen		
Kategorie	Nachweise	Bemerkungen
A; Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$ $F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{V,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9. $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$
B; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{V,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{V,Ed} \leq F_{V,Rd}$ $F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{V,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{V,Ed,ser} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} \cdot f_o / \gamma_{M1}$
C; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{V,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{V,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{V,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{V,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} \cdot f_o / \gamma_{M1}$
Zugbeanspruchte Verbindungen		
Kategorie	Nachweis	Bemerkungen
D; nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9.
E; vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. (8.8- oder 10.9-Schrauben)
<b>Legende</b> $F_{V,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit $F_{V,Ed,ser}$ Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit $F_{V,Rd}$ Bemessungswert der Abschertragfähigkeit einer Schraube $F_{b,Rd}$ Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube $F_{s,Rd,ser}$ Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit $F_{s,Rd}$ Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit $F_{t,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit $F_{t,Rd}$ Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube $A_{net}$ Nettofläche, siehe 6.2.2.2 (nur Bauteile unter Zug) $B_{p,Rd}$ Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Durchstanzen, siehe Tabelle 8.5		





C

## Schritt 2

Auswahl der Schrauben die zu der Verbindung passen, dazu bietet DIN EN 1999-1-1:2014-03 folgende Tabelle zur Hilfe:

Werkstoff	Verbindungsmittel	Legierung num. Bezeichnung EN AW-	Legierung chem. Bezeichnung EN AW-	Zustand oder Festigkeitsklasse	Durchmesser	$f_o$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>
Aluminium-Legierung	Voll-Niete <sup>1)</sup>	5019	AlMg5	H111	≤ 20	110	250
				H14,H34	≤ 18	210	300
		5754	AlMg3	H111	≤ 20	80	180
				H14/H34	≤ 18	180	240
	6082	AlSi1MgMn	T4	≤ 20	110	205	
			T6	≤ 20	240	300	
	Schrauben <sup>2)</sup>	5754	AlMg3	4)	≤ 10	230	270
					10 < d ≤ 20	180	250
		5019	AlMg5	4)	≤ 14	205	310
					14 < d ≤ 36	200	280
6082		AlSi1MgMn	4)	≤ 6	250	320	
				14 < d ≤ 36	260	310	
Stahl	Schrauben <sup>5)</sup>			4.6	≤ 39	240	400
				5.6	≤ 39	300	500
				6.8	≤ 39	480	600
				8.8	≤ 39	640	800
				10.9	≤ 39	900	1 000
nichtrostender Stahl	Schrauben <sup>6)</sup>	A2, A4		50	≤ 39	210	500
				70	≤ 39	450	700
				80	≤ 39	600	800

1) siehe 3.3.2.1 (3) [gestrichener Text](#)

2) siehe 3.3.2.1 (3) [gestrichener Text](#)

3) Werkstoffbezeichnung nach EN 28839

4) Keine Bezeichnung der Festigkeitsklasse in EN 28839

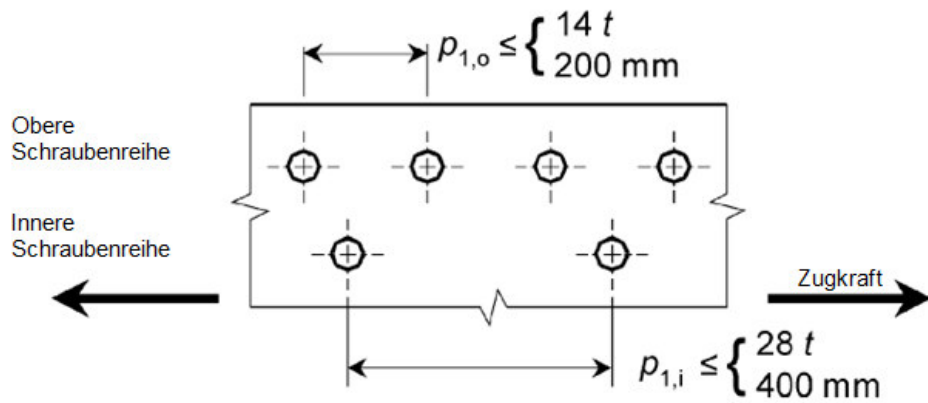
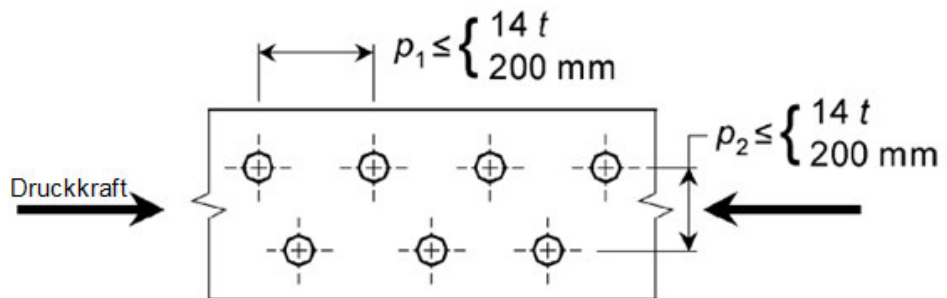
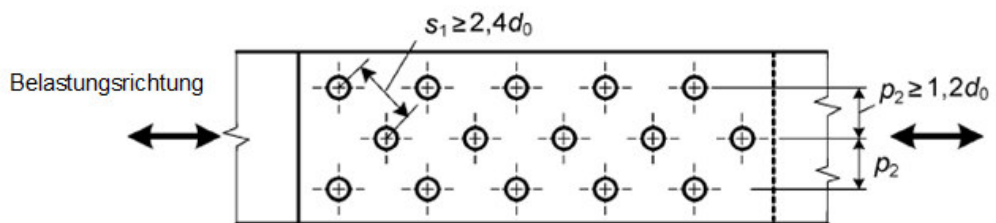
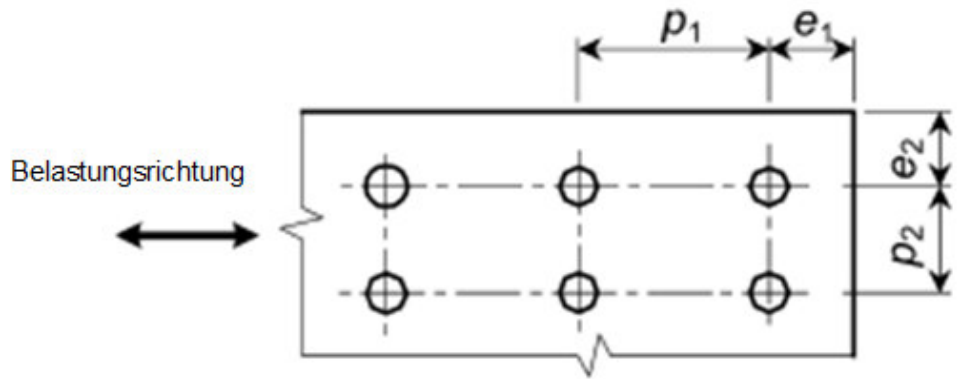
5) Festigkeitsklasse nach EN ISO 898-1

6) Bezeichnung und Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506-1

7) Die angegebenen Werte für Vollniete sind die jeweils kleineren Werte von EN 764 (gezogene Stäbe) oder EN 1301 (gezogener Draht), aus denen Vollniete durch Kaltverformung hergestellt werden. Für die 0,2 %-Dehngrenze legt EN 1301 zwar nur typische Werte fest, aber die oben aufgeführten Werte können alle als auf der sicheren Seite liegend betrachtet werden. Für die Bemessung von Verbindungen der Kategorie A (Lochleibungsverbindung) ist aber ohnehin die Zugfestigkeit die Grundlage zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube oder eines Nietes.

Es ist drauf zu achten, dass bei hochfesten Schrauben in gleitfesten Verbindungen nach DIN EN 1999-1-1:2014-03 zwei Unterlegscheiben vorgeschrieben sind, unter dem Schraubenkopf so wie der Mutter.

Schritt 3  
Wahl der Schraubenabstände:



Schritt 4  
Bemessung der Schraubenabstände:

1	2	3	4	5
Rand- und Lochabstände siehe Bilder 8.1 und 8.2	Minimum	Regelabstand	Maximum <sup>1) 2) 3)</sup>	
			Tragwerke aus Aluminiumwerkstoffen nach Tabelle 3.1a	
			Aluminium, das dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.	Aluminium, das nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.
Randabstand $e_1$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$2,0d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: 12r oder 150 mm
Randabstand $e_2$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$1,5d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: 12r oder 150 mm
Randabstand $e_3$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Randabstand $e_4$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Druckstäbe (Siehe Bild 2-10) Lochabstand $p_1$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	Druckstäbe: der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm	Druckstäbe: Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm
Zugstäbe (Siehe Bild 2-11) Lochabstände $p_1, p_{1,0}, p_{1,l}$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	für die außen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm  Für die innen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: 28r oder 400 mm	1,5-faches der Werte von Spalte 4
Abstand $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	$3,0d_0$	Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm	Der kleinste Wert von: 14r oder 200 mm
<p>1) Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer: bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von örtlichem Beulen und Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen bei zugbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen.</p> <p>2) Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln sollte <math>\frac{F}{A}</math> nach 6.3 <math>\frac{F}{A}</math> <i>gestrichener Text</i> unter Verwendung der Knicklänge <math>0,6 p_1</math> berechnet werden. Lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn <math>p_1/t</math> kleiner als 9ε ist. Der Randabstand quer zur Krafrichtung sollte den Anforderungen an den Widerstand gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Gurten entsprechen, siehe 6.1.1 – 6.1.5. <math>\frac{F}{A}</math> <i>gestrichener Text</i></p> <p>3) r ist die Dicke des dünnsten, außenliegenden Blechs.</p> <p>4) Langlöcher werden nicht empfohlen, für Langlöcher der Kategorie A siehe 8.5.1(5)</p> <p>5) <math>\frac{F}{A}</math> Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen kann der minimale Lochabstand mit <math>p_2 = 1,2d_0</math> angenommen werden, wenn der Mindestabstand <math>s_1</math> zwischen zwei Verbindungsmitteln <math>\geq 2,4 d_0</math> beträgt.</p> <p>6) Für die Mindestwerte von <math>e_1</math> und <math>e_2</math> sollten keine Minustoleranzen sondern nur Plus toleranzen festgelegt werden.</p>				



**Schritt 4**  
Bemessung der Schraubenabstände:

Beispiel:

$$e_1 \begin{cases} > 1,2 \times d_0 \\ < 4 \times t + 40 \end{cases}$$

$$e_2 \begin{cases} > 1,2 \times d_0 \\ < 4 \times t + 40 \end{cases}$$

$$p_1 \begin{cases} > 2,2 \times d_0 \\ < 14 \times t \text{ und } 200\text{mm} \end{cases}$$

$$p_2 \begin{cases} > 2,2 \times d_0 \\ < 14 \times t \text{ und } 200\text{mm} \end{cases}$$

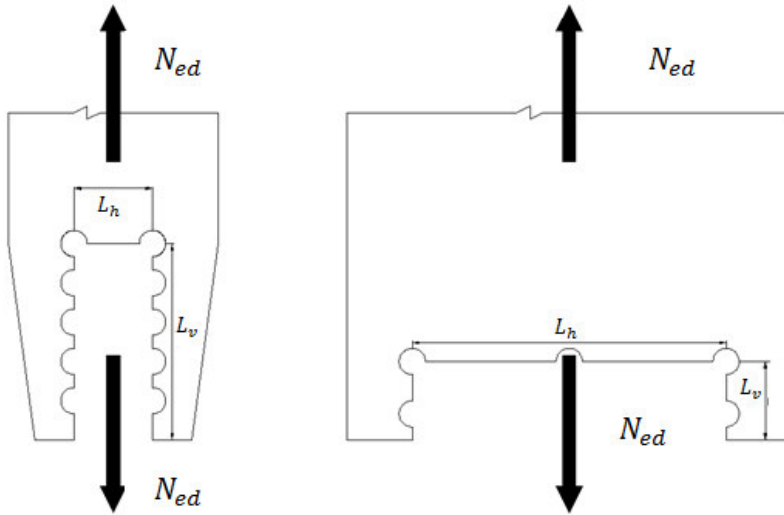
Sollten Langlöcher vorgesehen sein ist Kapitel 2.3.2.1 zu beachten.

**Schritt 5**  
Nachweis des Blockversagens:

**Legende**

- 1 Kleine Zugkraft
- 2 Große Zugkraft
- 3 Kleine Schubkraft
- 4 Große Schubkraft

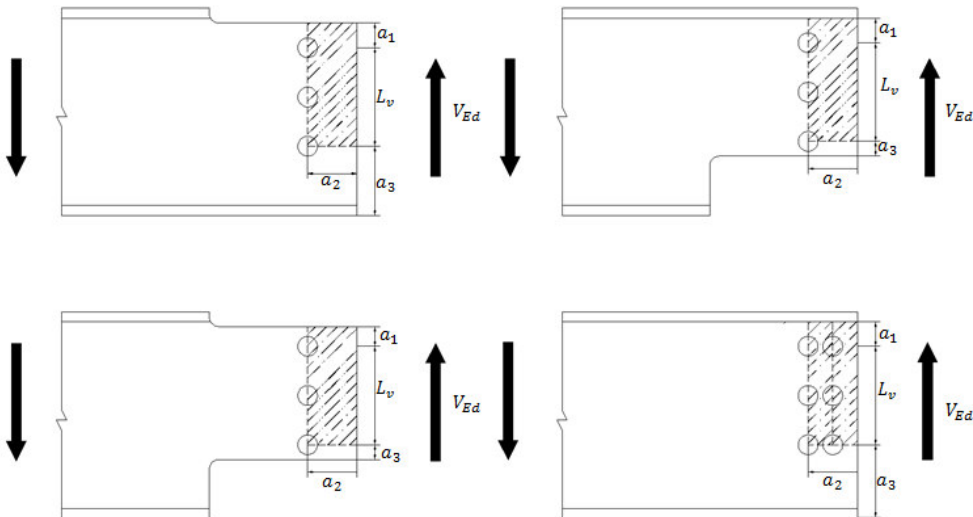
Schritt 5  
Nachweis des Blockversagens:



Symmetrische Schraubengruppen unter zentrischer Belastung: ( $V_{eff,1,Rd}$ )

$$A_{nt} = [L_h - (n_h - 1,0) \times d_0] \times t$$

$$A_{nv} = 2 \times [L_v - (n_h - 0,5) \times d_0] \times t$$



Schraubengruppen unter exzentrischer Belastung: ( $V_{eff,2,Rd}$ )

$$A_{nt} = [a_2 - (n_h - 0,5) \times d_0] \times t$$

$$A_{nv} = [a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \times d_0] \times t$$

- $d_0$  Lochdurchmesser
- $n_h$  Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung
- $n_v$  Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung
- $t$  Blechstärke



## Schritt 5

Nachweis des Blockversagens:

Widerstand für zentrische Belastung:

$$V_{eff.1Rd} = \frac{f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}} \geq N_{Ed}$$

Widerstand für exzentrische Belastung:

$$V_{eff.2Rd} = \frac{0,5 \times f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}} \geq V_{Ed}$$

 $A_{nt}$  → der zugbeanspruchte Nettoquerschnitt $A_{nv}$  → der schubbeanspruchte Nettoquerschnitt

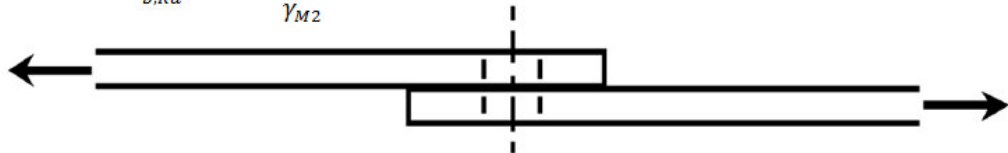
Falls Schritt 5 nicht eingehalten wird muss ab Schritt 3 erneut begonnen werden.

## Schritt 6

Bestimmung ob einschnittig oder Langer Anschluss:

Liegt eine einschnittige Verbindung vor muss der bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  wie folgt Bestimmt werden:

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$$



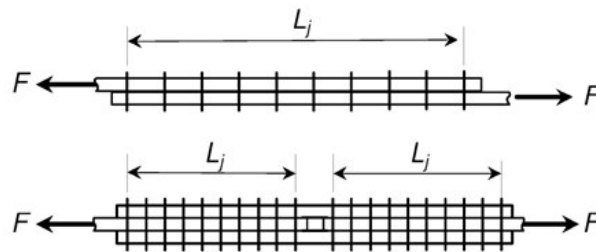
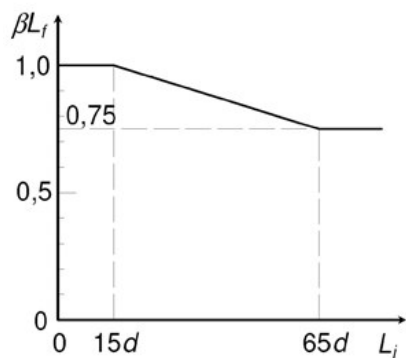
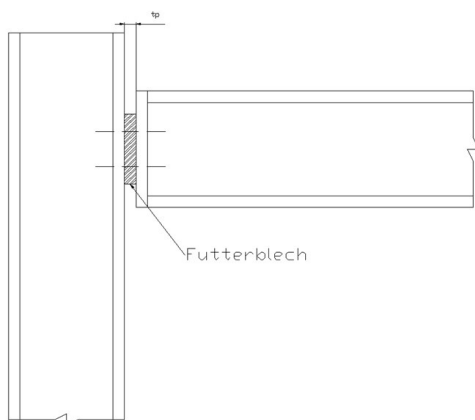
## Schritt 6

Bestimmung ob einschnittig oder Langer Anschluss:

Sollte der größte Abstand  $L_j$  zwischen zwei Schrauben eines Anschlusses in Richtung der Kraftübertragung größer als  $15 \times d$  sein, muss der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  nachfolgenden Abminderungsbeiwert  $\beta_{Lf}$  multipliziert werden:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \times d}{200 \times d}$$

Jedoch gilt  $0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1$

Schritt 7  
Futterblech:

sofern die Dicke  $t_p$  des Futterbleches größer als ein Drittel des Schraubendurchmessers  $d$  ist, muss der Wert der  $F_{v,Rd}$  mit dem Beiwert  $\beta_p$  abgemindert werden.

$$\beta_p = \frac{9 \times f}{8 \times d + 3 \times t_p} \text{ aber } \beta_p \leq 1,0$$

## Schritt 8

Nachweis auf Abscheren je Scherfuge:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

Wenn das Gewinde der Schraube in der Scherfuge liegt ( $A = A_s$  = Spannungsquerschnittsfläche der Schraube)

- Für Stahlbauschrauben der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 und 8.8:  
 $\alpha_v = 0,6$
- Für Stahlschrauben der Festigkeitsklasse 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9 und Schrauben aus nichtrostendem Stahl und Aluminiumschrauben:  
 $\alpha_v = 0,5$

Wenn der Schaft der Schraube in der Scherfuge liegt ( $A$  ist die Schaftquerschnittsfläche der Schraube)

- $\alpha_v = 0,6$

$f_{ub}$  = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes





## Schritt 9

## Nachweis auf Abscheren je Scherfuge:

Wenn das Gewinde der Schraube in der Scherfuge liegt (A ist die Spannungsquerschnittsfläche  $A_s$  der Schraube)

Schraubengröße		<b>M 12</b>	<b>M 16</b>	<b>M 20</b>	<b>M 22</b>	<b>M 24</b>	<b>M 27</b>	<b>M 30</b>	<b>M 36</b>
Schaftquerschnitt	A	1,13	2,01	3,14	3,80	4,52	5,73	7,07	10,18
Dto. Passschrauben	A	1,33	2,27	3,46	4,15	4,91	6,16	7,55	10,75
Spannungsquerschnitt	$A_s$	0,84	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,17
Einheit		$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$	$\text{Cm}^2$



## Schritt 10

Nachweis auf Lochleibung:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

Dabei ist  $\alpha_b$  der kleinste Wert von  $\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}$  und 1,0; aber  $\leq 0,66$  für Langlöcher

In Krafrichtung

- Für am Rand liegende Schrauben  $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \times d_0}$
- Für innen liegende Schrauben  $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}$

Rechtwinkelig zur Krafrichtung

- Für am Rand liegende Schrauben:  $k_1$  ist der kleinere Wert von  $2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7$  oder 2,5
- Für innen liegende Schrauben:  $k_1$  ist der kleinere Wert von  $1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7$  oder 2,5

$f_u$ : charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Werkstoffe der verbundenen Teile

$f_{ub}$ : charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes

$d$ : Durchmesser des Verbindungsmittels

$d_0$ : Lochdurchmesser

$e_1, e_2, p_1, p_2$  siehe Tabelle 2-4



Schritt 11  
Nachweis des Nettoquerschnittes:

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$$

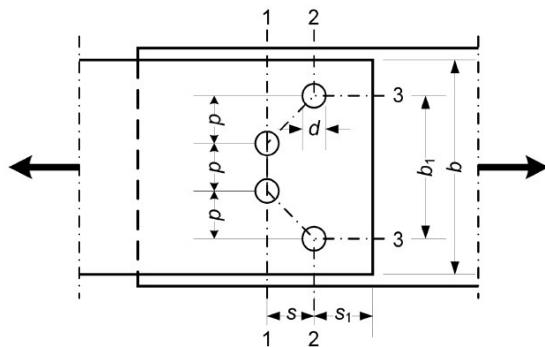
Dabei ist:

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{net,Rd,ser} = \frac{A_{net} \times f_o}{\gamma_{M1}}$$

Dabei ist:

$A_{net}$ :



$$A_{net} = \min:$$

$t(b - 2d)$	Risslinie 1
$t(b - 4d + 2s^2/(4p))$	Risslinie 2
$t(b_1 + 2 \times 0,65s_1 - 4d + 2s^2/(4p))$	Risslinie 3

- $d$  der Lochdurchmesser;
- $s$  der versetzte Lochabstand, d. h. der Abstand der Lochachsen zweier aufeinanderfolgender Löcher gemessen in einer Reihe längs der Bauteilachse;
- $p$  der Lochabstand derselben Lochachsen gemessene senkrecht zur Bauteilachse;
- $t$  die Blechdicke (oder wirksame Dicke in einem Bauteil im Bereich der Wärmeeinflusszone (WEZ)).

## Schritt 12

Nachweis des Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer vorgespannten Hochfesten Schraube:

$$F_{s,Rd} = \frac{n \times \mu}{\gamma_{Ms}} \times F_{p,C} \geq F_{v,Ed}$$

Dabei ist:

$F_{p,C}$ : die Vorspannkraft

$\mu$ : der Reibbeiwert

$n$ : die Anzahl der Reibflächen

Die Vorspannkraft  $F_{p,C}$  bei Hochfesten Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 und 10.9 mit kontrollierter Vorspannung sollte wie folgt angesetzt werden.

$$F_{p,C} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

Dabei ist:

$F_{p,C}$  die Vorspannkraft

$f_{ub}$  der charakteristische Wert für die Zugfestigkeit des Schraubenmaterials

$A_s$  die Spannungsquerschnittsfläche der Schraube

Summe aller Blechdicken mm	Reibbeiwert $\mu$
$12 \leq \Sigma t < 18$	0,27
$18 \leq \Sigma t < 24$	0,33
$24 \leq \Sigma t < 30$	0,37
$30 \leq \Sigma t$	0,40



## Schritt 13

Nachweis des Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer vorgespannten hochfesten Schraube unter kombinierter Beanspruchung:

Kategorie B: Bemessungswerte des Gleitwiderstandes im grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{n \times \mu (F_{p,c} - 0,8 \times F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{Ms,ser}} \geq F_{v,Ed}$$

Kategorie C: Bemessungswert des Gleitwiderstandes im grenzzustand der Tragfähigkeit

$$F_{s,Rd} = \frac{n \times \mu (F_{p,c} - 0,8 \times F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms}} \geq F_{v,Ed}$$

Dabei ist:

$F_{t,Ed,ser}$	Bemessungszugkraft pro Schraube im Gebrauchszustand
$F_{s,Rd,ser}$	Reduzierter Bemessungsgleitwiderstand im Gebrauchszustand
$\gamma_{Ms,ser}$	Teilsicherheitsbeiwert für den Gebrauchszustand
$F_{t,Ed}$	Bemessungszugkraft pro Schraube im Tragzustand
$F_{s,Rd}$	reduzierter Bemessungsgleitwiderstand im Tragzustand
$n$	Anzahl der Scherfugen
$\mu$	Reibbeiwert
$F_{p,d}$	planmäßige Vorspannkraft



Schritt 14  
Weitere Nachweise:

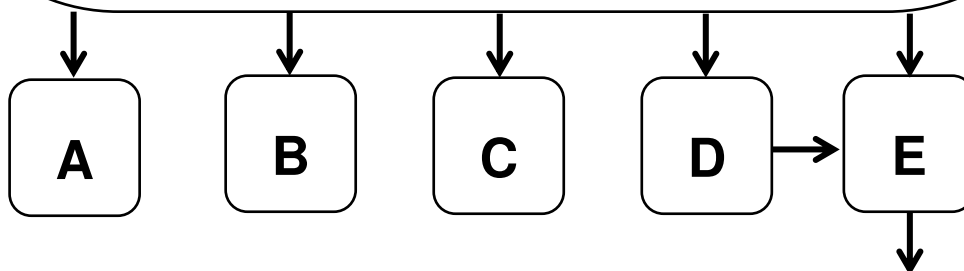
Wenn alle vorherigen Nachweise erfüllt sind sollte mit dem T-Stummel Prinzip fortgefahren werden.

Wenn ein Nachweis nicht aufgegangen sein sollte muss von Anfang an neu begonnen werden.

Schritt 1

Wahl der Kategorie der Schraubenverbindung mit Hilfe der nachfolgenden Tabelle: siehe Tabelle 2-3

Scherbeanspruchte Verbindungen		
Kategorie	Nachweise	Bemerkungen
A; Scher-/Lochleibungsverbindung	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Keine Vorspannung erforderlich. Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9. $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$
B; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed,ser} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} \cdot f_o / \gamma_{M1}$
C; Gleitfeste Verbindung im Grenzzustand der Tragfähigkeit	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$ $\Sigma F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. Kein Gleiten im Grenzzustand der Tragfähigkeit. $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$ $N_{net,Rd,ser} = A_{net} \cdot f_o / \gamma_{M1}$
Zugbeanspruchte Verbindungen		
Kategorie	Nachweis	Bemerkungen
D; nicht vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Alle Festigkeitsklassen von 4.6 bis 10.9.
E; vorgespannt	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Hochfeste vorgespannte Schrauben. (8.8- oder 10.9-Schrauben)
<b>Legende</b> $F_{v,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit $F_{v,Ed,ser}$ Bemessungswert der einwirkenden Abscherkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit $F_{v,Rd}$ Bemessungswert der Abschertragfähigkeit einer Schraube $F_{b,Rd}$ Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit einer Schraube $F_{s,Rd,ser}$ Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit $F_{s,Rd}$ Bemessungswert des Gleitwiderstandes einer Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit $F_{t,Ed}$ Bemessungswert der einwirkenden Zugkraft auf eine Schraube im Grenzzustand der Tragfähigkeit $F_{t,Rd}$ Bemessungswert der Zugtragfähigkeit einer Schraube $A_{net}$ Nettofläche, siehe 6.2.2.2 (nur Bauteile unter Zug) $B_{p,Rd}$ Bemessungswert der Beanspruchbarkeit auf Durchstanzen, siehe Tabelle 8.5		





E

## Schritt 2

Auswahl der Schrauben die zu der Verbindung passen, dazu bietet DIN EN 1999-1-1 Folgende Tabelle zur Hilfe:

Werkstoff	Verbindungsmittel	Legierung num. Bezeichnung EN AW-	Legierung chem. Bezeichnung EN AW-	Zustand oder Festigkeitsklasse	Durchmesser	$f_0$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>
Aluminium-Legierung	Voll-Niete <sup>1)</sup>	5019	AlMg5	H111	≤ 20	110	250
				H14,H34	≤ 18	210	300
		5754	AlMg3	H111	≤ 20	80	180
				H14/H34	≤ 18	180	240
	6082	AlSi1MgMn	T4	≤ 20	110	205	
			T6	≤ 20	240	300	
	Schrauben <sup>2)</sup>	5754 (AL1) <sup>3)</sup>	AlMg3	4)	≤ 10	230	270
					10 < d ≤ 20	180	250
		5019 (AL2) <sup>3)</sup>	AlMg5	4)	≤ 14	205	310
					14 < d ≤ 36	200	280
6082 (AL3) <sup>3)</sup>	AlSi1MgMn	4)	≤ 6	250	320		
			14 < d ≤ 36	260	310		
Stahl	Schrauben <sup>5)</sup>			4.6	≤ 39	240	400
				5.6	≤ 39	300	500
				6.8	≤ 39	480	600
				8.8	≤ 39	640	800
				10.9	≤ 39	900	1 000
nichtrostender Stahl	Schrauben <sup>6)</sup>	A2, A4		50	≤ 39	210	500
				70	≤ 39	450	700
				80	≤ 39	600	800

1) siehe 3.3.2.1 (3)  gestrichener Text 

2) siehe 3.3.2.1 (3)  gestrichener Text 

3) Werkstoffbezeichnung nach EN 28839

4) Keine Bezeichnung der Festigkeitsklasse in EN 28839

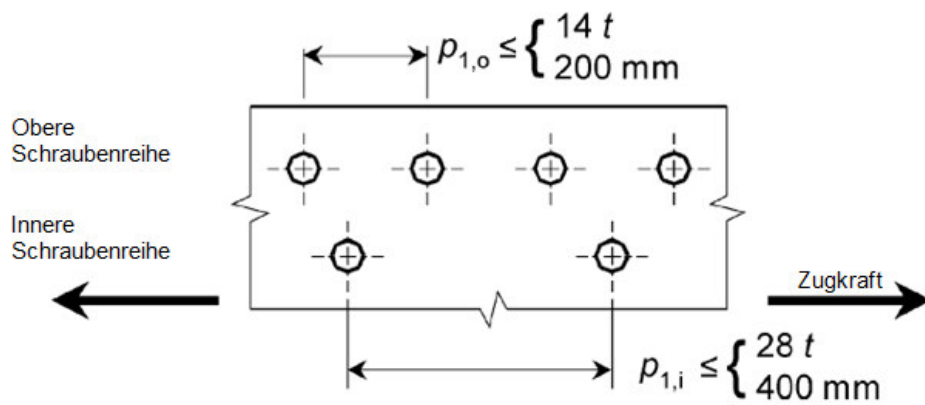
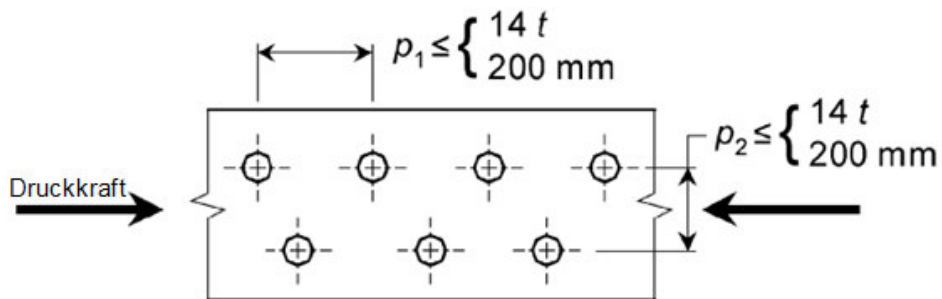
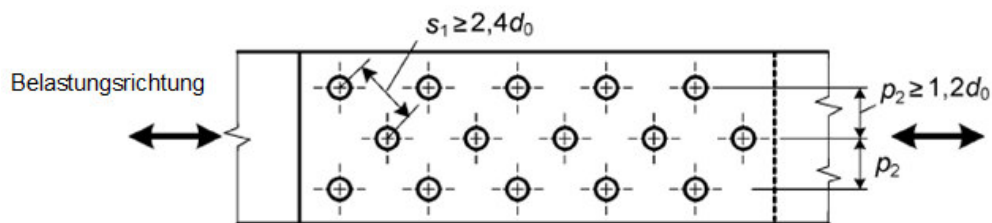
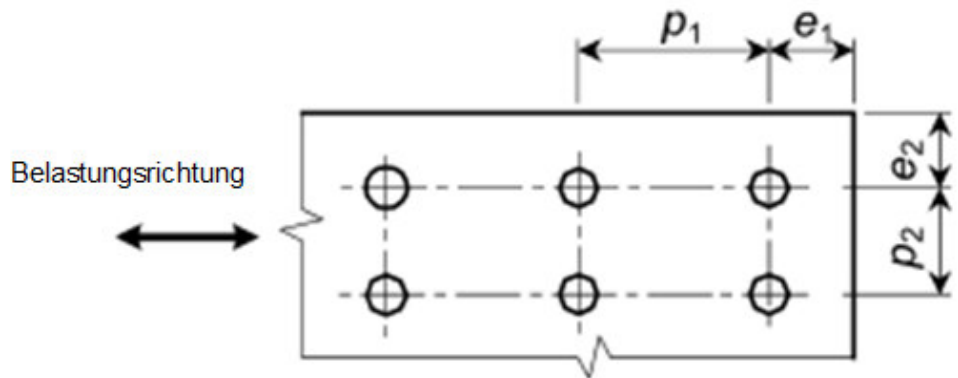
5) Festigkeitsklasse nach EN ISO 898-1

6) Bezeichnung und Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506-1

7) Die angegebenen Werte für Vollniete sind die jeweils kleineren Werte von EN 764 (gezogene Stäbe) oder EN 1301 (gezogener Draht), aus denen Vollniete durch Kaltverformung hergestellt werden. Für die 0,2 %-Dehngrenze legt EN 1301 zwar nur typische Werte fest, aber die oben aufgeführten Werte können alle als auf der sicheren Seite liegend betrachtet werden. Für die Bemessung von Verbindungen der Kategorie A (Lochleibungsverbindung) ist aber ohnehin die Zugfestigkeit die Grundlage zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube oder eines Nietes.



Schritt 3  
Wahl der Schraubenabstände:



Schritt 4  
Bemessung der Schraubenabstände:

1	2	3	4	5
Rand- und Lochabstände siehe Bilder 8.1 und 8.2	Minimum	Regelabstand	Maximum <sup>1) 2) 3)</sup>	
			Tragwerke aus Aluminiumwerkstoffen nach Tabelle 3.1a	
			Aluminium, das dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.	Aluminium, das nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.
Randabstand $e_1$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$2,0d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: $12r$ oder 150 mm
Randabstand $e_2$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$1,5d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: $12r$ oder 150 mm
Randabstand $e_3$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Randabstand $e_4$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Druckstäbe (Siehe Bild 2-10) Lochabstand $p_1$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	Druckstäbe: der kleinste Wert von: $14r$ oder 200 mm	Druckstäbe: Der kleinste Wert von: $14r$ oder 200 mm
Zugstäbe (Siehe Bild 2-11) Lochabstände $p_1, p_{1,0}, p_{1,1}$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	für die außen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: $14r$ oder 200 mm  Für die innen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: $28r$ oder 400 mm	1,5-faches der Werte von Spalte 4
Abstand $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	$3,0d_0$	Der kleinste Wert von: $14r$ oder 200 mm	Der kleinste Wert von: $14r$ oder 200 mm
<p>1) Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer: bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von örtlichem Beulen und Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen bei zugbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen.</p> <p>2) Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln sollte <math>\frac{p_1}{r}</math> nach 6.3 <math>\frac{p_1}{r}</math> gestrichener Text <math>\frac{p_1}{r}</math> unter Verwendung der Knicklänge <math>0,6 p_1</math> berechnet werden. Lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn <math>p_1/r</math> kleiner als 9 ist. <math>\frac{p_1}{r}</math> Der Randabstand quer zur Krafrichtung sollte den Anforderungen an den Widerstand gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Gurten entsprechen, siehe 6.1.1 – 6.1.5. <math>\frac{p_1}{r}</math> gestrichener Text <math>\frac{p_1}{r}</math></p> <p>3) <math>r</math> ist die Dicke des dünnsten, außenliegenden Blechs.</p> <p>4) Langlöcher werden nicht empfohlen, für Langlöcher der Kategorie A siehe 8.5.1(5)</p> <p>5) <math>\frac{p_2}{r}</math> Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen kann der minimale Lochabstand mit <math>p_2 = 1,2d_0</math> angenommen werden, wenn der Mindestabstand <math>s_1</math> zwischen zwei Verbindungsmitteln <math>\geq 2,4 d_0</math> beträgt.</p> <p>6) Für die Mindestwerte von <math>e_1</math> und <math>e_2</math> sollten keine Minustoleranzen sondern nur Plus-toleranzen festgelegt werden.</p>				



Schritt 4  
Bemessung der Schraubenabstände:

Beispiel:

$$e_1 \begin{cases} > 1,2 \times d_0 \\ < 4 \times t + 40 \end{cases}$$

$$e_2 \begin{cases} > 1,2 \times d_0 \\ < 4 \times t + 40 \end{cases}$$

$$p_1 \begin{cases} > 2,2 \times d_0 \\ < 14 \times t \text{ und } 200\text{mm} \end{cases}$$

$$p_1 \begin{cases} > 2,2 \times d_0 \\ < 14 \times t \text{ und } 200\text{mm} \end{cases}$$

Sollten Langlöcher vorgesehen sein ist Kapitel 2.3.2.1 zu beachten.



Schritt 5  
Nachweis Auf Zugbelastung:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_0}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$$

Dabei ist:

$k_2 = 0,9$  für Stahlschrauben

$k_3 = 0,50$  für Aluminiumschrauben

$k_2 = 0,63$  für senkschrauben aus Stahl



## Schritt 6

Nachweis auf Durchstanzen:

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$$

Dabei ist:

$d_m$  kleinster Wert des Mittelwert aus dem Eckmaß und der Schlüsselweite des Schraubenkopfes, der Schraubenmutter und dem Außendurchmesser der Unterlegscheibe

$t_p$  dicke des Bleches unter dem Schraubenkopf oder der Mutter

$f_u$  charakteristische Zugfestigkeit des angeschlossenen Bauteils



## Schritt 7

Kombinierter Nachweis:

Sollte eine Verbindung nicht nur auf Zug sondern auch auf Abscheren belastet sein, wird sie wie folgt nachgewiesen:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1,0$$



## Schritt 8

Nachweis auf Abscheren je Scherfuge:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

- Für Stahlbauschrauben der Festigkeitsklasse 4.6, 5.6 und 8.8:  $\alpha_v = 0,6$
- Für Stahlschrauben der Festigkeitsklasse 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9 und Schrauben aus nichtrostendem Stahl und Aluminiumschrauben:  $\alpha_v = 0,5$

Wenn der Schaft der Schraube in der Scherfuge liegt (A ist die Schaftquerschnittsfläche der Schraube)

- $\alpha_v = 0,6$

$f_{ub}$  = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Schraubenwerkstoffes



Als weiter Nachweise sind zu führen:

T-Stummel Nachweis

## 3.2 Algorithmus zur Bemessung von Nietverbindungen

### Schritt 1

#### Auswahl des Nietwerkstoffes

Werkstoff	Verbindungsmittel	Legierung num. Bezeichnung EN AW-	Legierung chem. Bezeichnung EN AW-	Zustand oder Festigkeitsklasse	Durchmesser	$f_0$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>	$f_u$ <sup>7)</sup> N/mm <sup>2</sup>			
Aluminium-Legierung	Voll-Niete <sup>1)</sup>	5019	AlMg5	H111	≤ 20	110	250			
				H14,H34	≤ 18	210	300			
		5754	AlMg3	H111	≤ 20	80	180			
				H14/H34	≤ 18	180	240			
		6082	AlSi1MgMn	T4	≤ 20	110	205			
				T6	≤ 20	240	300			
	Schrauben <sup>2)</sup>	5754 (AL1) <sup>3)</sup>	AlMg3	4)	≤ 10	230	270			
					10 < d ≤ 20	180	250			
					5019 (AL2) <sup>3)</sup>	AlMg5	4)	≤ 14	205	310
					14 < d ≤ 36			200	280	
6082 (AL3) <sup>3)</sup>	AlSi1MgMn	4)	≤ 6	250	320					
			14 < d ≤ 36	260	310					
Stahl	Schrauben <sup>5)</sup>			4.6	≤ 39	240	400			
				5.6	≤ 39	300	500			
				6.8	≤ 39	480	600			
				8.8	≤ 39	640	800			
				10.9	≤ 39	900	1 000			
nichtrostender Stahl	Schrauben <sup>6)</sup>	A2, A4		50	≤ 39	210	500			
				70	≤ 39	450	700			
				80	≤ 39	600	800			

1) siehe 3.3.2.1 (3) *gestrichener Text*

2) siehe 3.3.2.1 (3) *gestrichener Text*

3) Werkstoffbezeichnung nach EN 28839

4) Keine Bezeichnung der Festigkeitsklasse in EN 28839

5) Festigkeitsklasse nach EN ISO 898-1

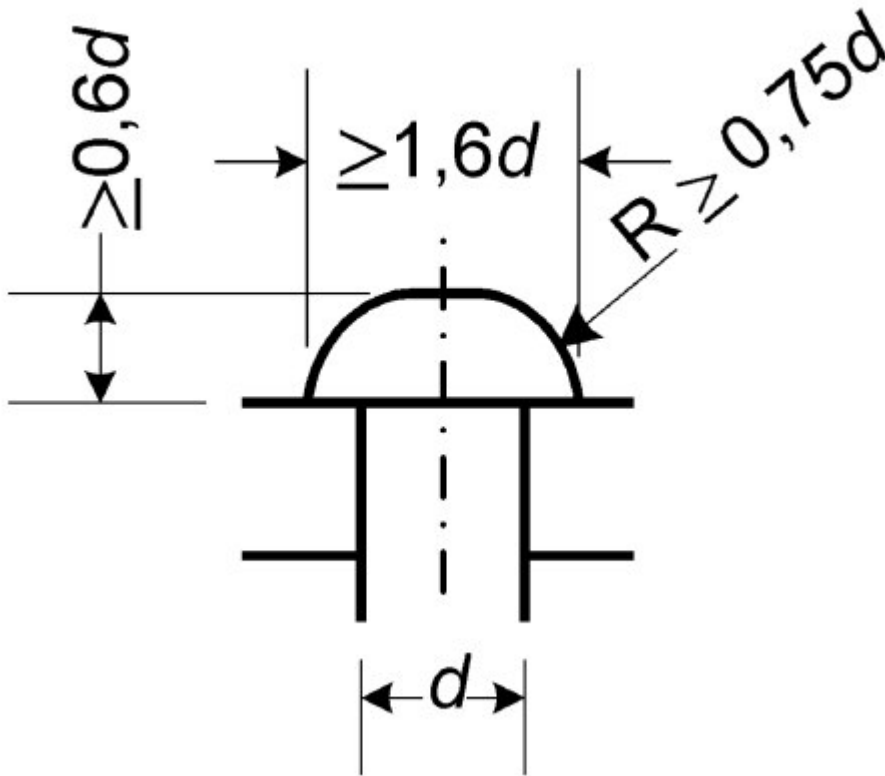
6) Bezeichnung und Festigkeitsklasse nach EN ISO 3506-1

7) Die angegebenen Werte für Vollniete sind die jeweils kleineren Werte von EN 764 (gezogene Stäbe) oder EN 1301 (gezogener Draht), aus denen Vollniete durch Kaltverformung hergestellt werden. Für die 0,2 %-Dehngrenze legt EN 1301 zwar nur typische Werte fest, aber die oben aufgeführten Werte können alle als auf der sicheren Seite liegend betrachtet werden. Für die Bemessung von Verbindungen der Kategorie A (Lochleibungsverbindung) ist aber ohnehin die Zugfestigkeit die Grundlage zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraube oder eines Nietes.



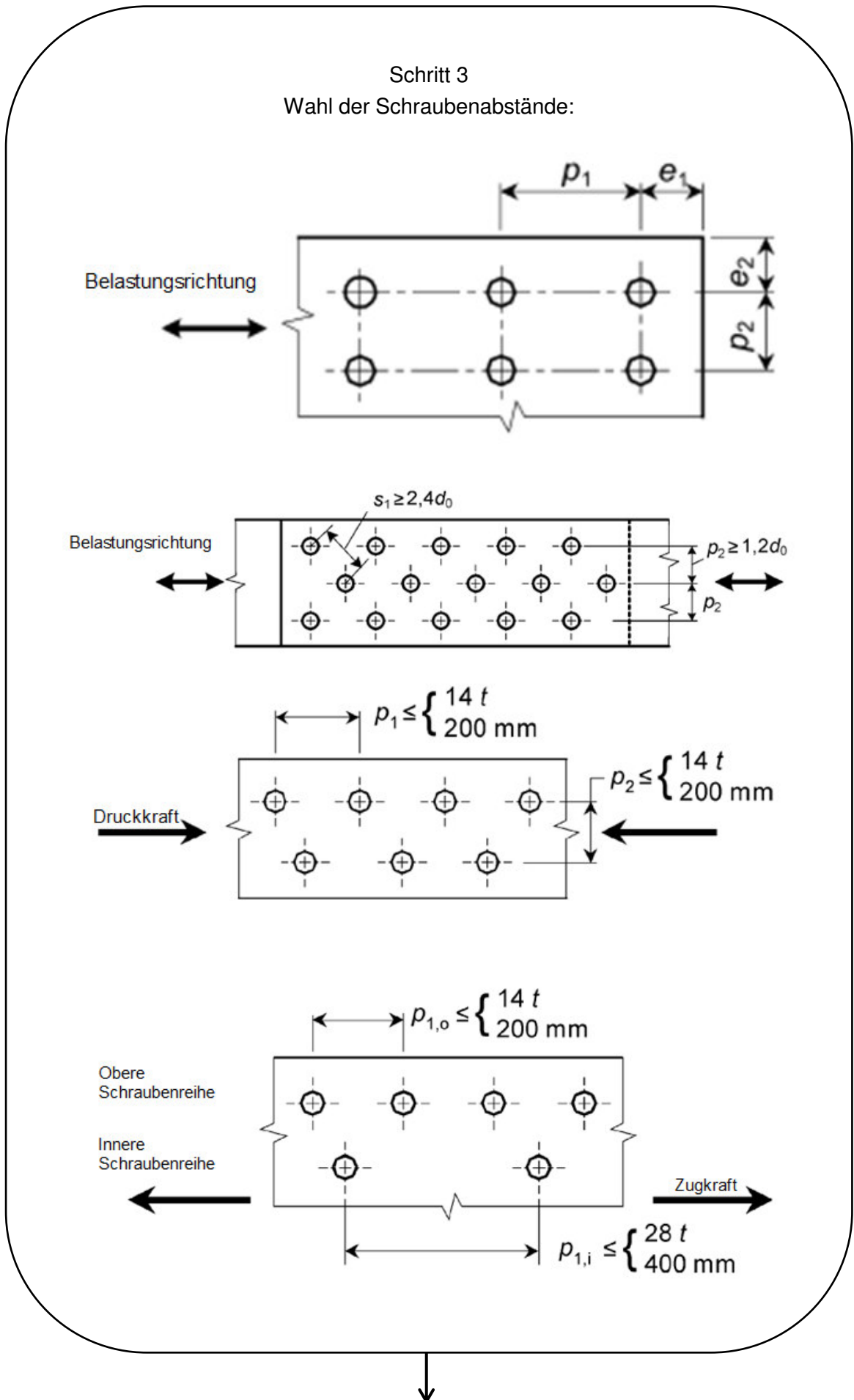
## Schritt 2

Überprüfung des Gewählten Niets:



- Höhe des Kopfes  $\geq 0,6 \times d$
- Kopfdurchmesser  $\geq 1,6 \times d$
- Radius  $\geq 0,75 \times d$
- Keine Ansenkung
- $d$  = Nenndurchmesser des massiven Schaftes
- Klemmlänge der Verbindung darf den Wert  $4,5 \times d$  bei geschlagenen Nieten und  $6,5 \times d$  für gepresste Nieten nicht überschreiten.







Schritt 4  
Bemessung der Schraubenabstände:

1	2	3	4	5
Rand- und Lochabstände siehe Bilder 8.1 und 8.2	Minimum	Regelabstand	Maximum <sup>1) 2) 3)</sup>	
			Tragwerke aus Aluminiumwerkstoffen nach Tabelle 3.1a	
			Aluminium, das dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.	Aluminium, das nicht dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzt ist.
Randabstand $e_1$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$2,0d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: $12r$ oder $150$ mm
Randabstand $e_2$	$1,2d_0$ <sup>6)</sup>	$1,5d_0$	$4r + 40$ mm	Der größte Wert von: $12r$ oder $150$ mm
Randabstand $e_3$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Randabstand $e_4$ für Langlöcher <sup>4)</sup>	Langlöcher werden nicht empfohlen Langlöcher der Kategorie A, Siehe 2.3.2.1			
Druckstäbe (Siehe Bild 2-10) Lochabstand $p_1$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	Druckstäbe: der kleinste Wert von: $14r$ oder $200$ mm	Druckstäbe: Der kleinste Wert von: $14r$ oder $200$ mm
Zugstäbe (Siehe Bild 2-11) Lochabstände $p_1$ , $p_{1,0}$ , $p_{1,1}$	$2,2d_0$	$2,5d_0$	für die außen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: $14r$ oder $200$ mm  Für die innen liegende Reihe von Verbindungsmitteln: Der kleinste Wert von: $28r$ oder $400$ mm	1,5-faches der Werte von Spalte 4
Abstand $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	$3,0d_0$	Der kleinste Wert von: $14r$ oder $200$ mm	Der kleinste Wert von: $14r$ oder $200$ mm
<p>1) Keine Beschränkung der Maximalwerte für Rand- und Lochabstände, außer: bei druckbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von örtlichem Beulen und Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen bei zugbeanspruchten Bauteilen zur Vermeidung von Korrosion von dem Wetter oder anderen korrosiven Einflüssen ausgesetzten Bauteilen.</p> <p>2) Der Widerstand druckbeanspruchter Bleche gegen lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln sollte <a href="#">§5</a> nach 6.3 <a href="#">§5</a> <a href="#">§5</a> gestrichener Text <a href="#">§5</a> unter Verwendung der Knicklänge <math>0,6 p_1</math> berechnet werden. Lokales Beulen zwischen den Verbindungsmitteln braucht nicht nachgewiesen zu werden, wenn <math>p_1/r</math> kleiner als <math>9\varepsilon</math> ist. <a href="#">§5</a> Der Randabstand quer zur Krafrichtung sollte den Anforderungen an den Widerstand gegen lokales Beulen von druckbeanspruchten einseitig gestützten Gurten entsprechen, siehe 6.1.1 – 6.1.5. <a href="#">§5</a> <a href="#">§5</a> gestrichener Text <a href="#">§5</a></p> <p>3) <math>r</math> ist die Dicke des dünnsten, außenliegenden Blechs.</p> <p>4) Langlöcher werden nicht empfohlen, für Langlöcher der Kategorie A siehe 8.5.1(5)</p> <p>5) <a href="#">§5</a> Bei versetzt angeordneten Schraubenreihen kann der minimale Lochabstand mit <math>p_2 = 1,2d_0</math> angenommen werden, wenn der Mindestabstand <math>s_1</math> zwischen zwei Verbindungsmitteln <math>\geq 2,4 d_0</math> beträgt.</p> <p>6) Für die Mindestwerte von <math>e_1</math> und <math>e_2</math> sollten keine Minustoleranzen sondern nur Plus-toleranzen festgelegt werden.</p>				



## Schritt 4

Bemessung der Schraubenabstände:

Beispiel:

$$e_1 \begin{cases} > 1,2 \times d_0 \\ < 4 \times t + 40 \end{cases}$$

$$e_2 \begin{cases} > 1,2 \times d_0 \\ < 4 \times t + 40 \end{cases}$$

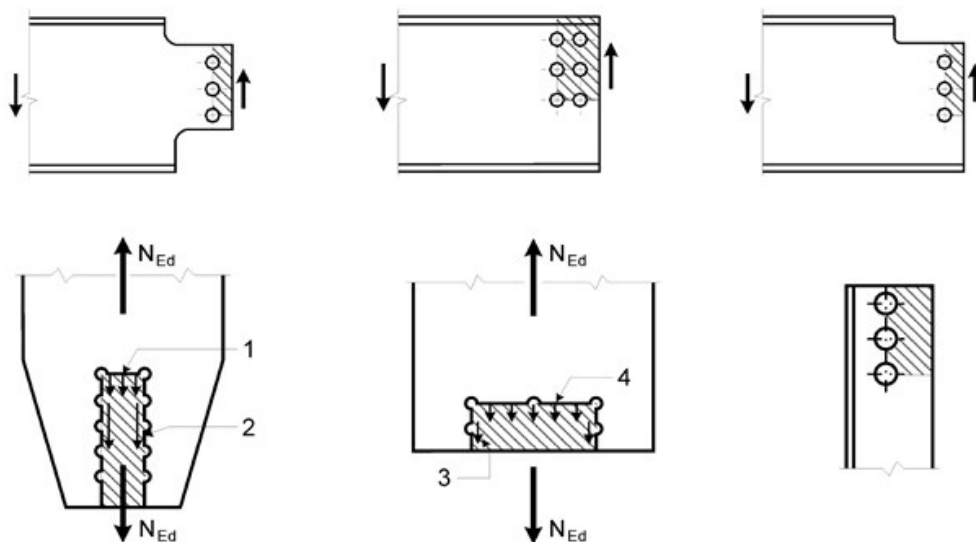
$$p_1 \begin{cases} > 2,2 \times d_0 \\ < 14 \times t \text{ und } 200\text{mm} \end{cases}$$

$$p_2 \begin{cases} > 2,2 \times d_0 \\ < 14 \times t \text{ und } 200\text{mm} \end{cases}$$

Sollten Langlöcher vorgesehen sein ist Kapitel 2.3.2.1 zu beachten.

## Schritt 5

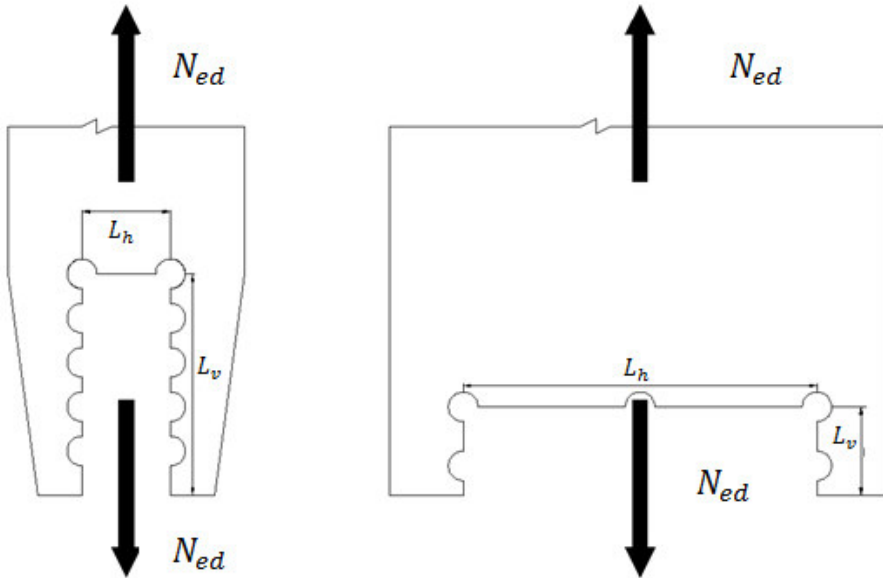
Nachweis des Blockversagens:



## Legende

- 1 Kleine Zugkraft
- 2 Große Zugkraft
- 3 Kleine Schubkraft
- 4 Große Schubkraft

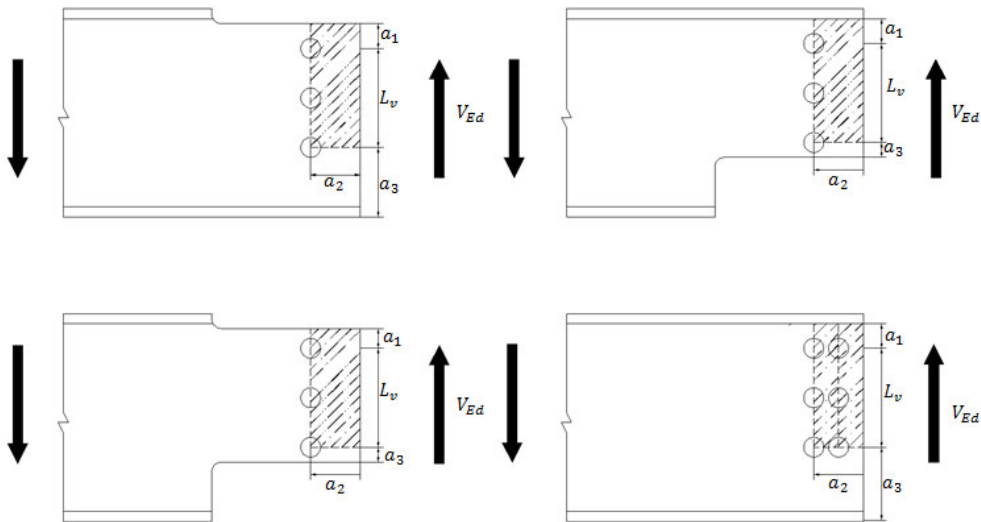
Schritt 5  
Nachweis des Blockversagens:



Symmetrische Nietgruppen unter zentrischer Belastung: ( $V_{eff,1,Rd}$ )

$$A_{nt} = [L_h - (n_h - 1,0) \times d_0] \times t$$

$$A_{nv} = 2 \times [L_v - (n_h - 0,5) \times d_0] \times t$$



Nietgruppen unter exzentrischer Belastung: ( $V_{eff,2,Rd}$ )

$$A_{nt} = [a_2 - (n_h - 0,5) \times d_0] \times t$$

$$A_{nv} = [a_1 + L_v - (n_v - 0,5) \times d_0] \times t$$

- $d_0$  Lochdurchmesser
- $n_h$  Anzahl der Schrauben in horizontaler Richtung
- $n_v$  Anzahl der Schrauben in vertikaler Richtung
- $t$  Blechstärke



## Schritt 5

Nachweis des Blockversagens:

Widerstand für Zentrische Belastung:

$$V_{eff.1Rd} = \frac{f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}} \geq N_{Ed}$$

Widerstand für exzentrische Belastung:

$$V_{eff.2Rd} = \frac{0,5 \times f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}} \geq V_{Ed}$$

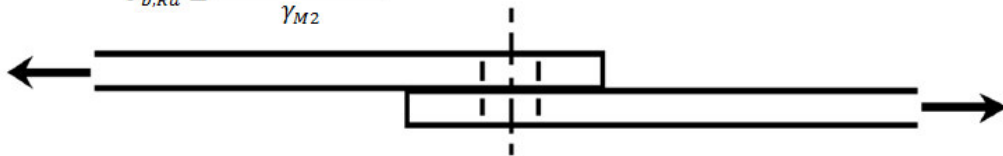
 $A_{nt}$  → der zugbeanspruchte Nettoquerschnitt $A_{nv}$  → der schubbeanspruchte Nettoquerschnitt

## Schritt 6

Bestimmung ob einschnittig oder Langer Anschluss:

Liegt eine einschnittige Verbindung vor muss der bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  wie folgt Bestimmt werden:

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$$



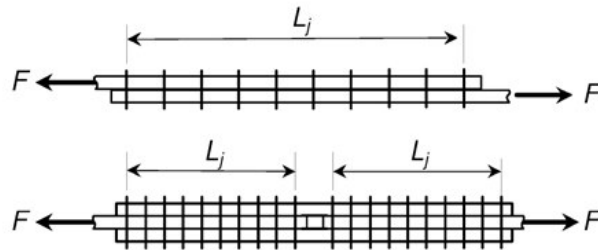
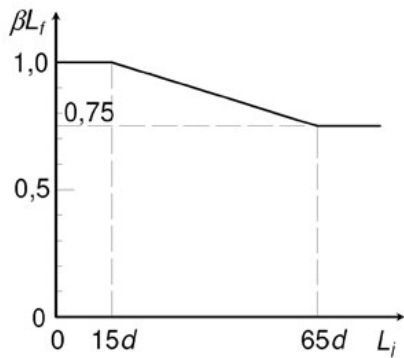
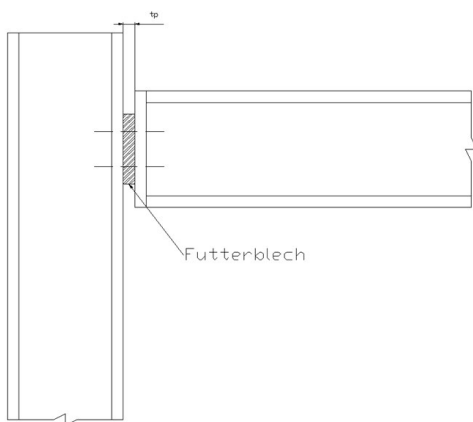
## Schritt 7

Bestimmung ob einschnittig oder Langer Anschluss:

Sollte der größte Abstand  $L_j$  zwischen zwei Nieten eines Anschlusses in Richtung der Kraftübertragung größer als  $15 \times d$  sein, muss der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  nachfolgenden Abminderungsbeiwert  $\beta_{Lf}$  multipliziert werden:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15 \times d}{200 \times d}$$

Jedoch gilt  $0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1$

Schritt 8  
Futterblech:

sofern die Dicke  $t_p$  des Futterbleches größer als ein Drittel des Nietdurchmessers  $d$  ist, muss der Wert der  $F_{v,Rd}$  mit dem Beiwert  $\beta_p$  abgemindert werden.

$$\beta_p = \frac{9 \times f}{8 \times d + 3 \times t_p} \text{ aber } \beta_p \leq 1,0$$

## Schritt 9

Nachwei des Nettoquerschnittes:

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

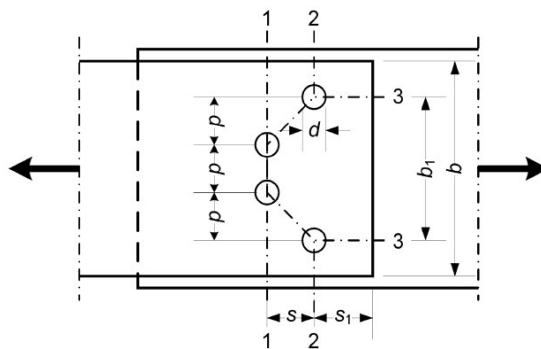
$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$$

Dabei ist:

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_o}{\gamma_{M1}}$$

Dabei ist:

 $A_{net}$ :

$$A_{net} = \min:$$

$t(b - 2d)$	Risslinie 1
$t(b - 4d + 2s^2/(4p))$	Risslinie 2
$t(b_1 + 2 \times 0,65s_1 - 4d + 2s^2/(4p))$	Risslinie 3

 $d$  der Lochdurchmesser; $s$  der versetzte Lochabstand, d. h. der Abstand der Lochachsen zweier aufeinanderfolgender Löcher gemessen in einer Reihe längs der Bauteilachse; $p$  der Lochabstand derselben Lochachsen gemessene senkrecht zur Bauteilachse; $t$  die Blechdicke (oder wirksame Dicke in einem Bauteil im Bereich der Wärmeeinflusszone (WEZ)).

## Schritt 10

Nachweis auf Abscheren:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ur} \times A_0}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

$f_{ur}$  = charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes

$A_0$  = Querschnittsfläche des Loches



## Schritt 11

Nachweis auf Lochleibung:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_{ur} \times d \times t}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

Dabei ist  $\alpha_b$  der kleinste Wert von  $\alpha_d, \frac{f_{ub}}{f_u}$  und 1,0; aber  $\leq 0,66$  für Langlöcher.

In Krafrichtung

- Für am Rand liegende Schrauben  $\alpha_d = \frac{e_1}{3 \times d_0}$
- Für innen liegende Schrauben  $\alpha_d = \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4}$

Rechtwinkelig zur Krafrichtung

- Für am Rand liegende Schrauben:  $k_1$  ist der kleinere Wert von  $2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7$  oder 2,5
- Für innen liegende Schrauben:  $k_1$  ist der kleinere Wert von  $1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7$  oder 2,5

$f_u$ : charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Werkstoffe der verbundenen Teile

$f_{ur}$ : charakteristischer Wert der Zugfestigkeit des Nietwerkstoffes

$d$ : Durchmesser des Verbindungsmittels

$d_0$ : Lochdurchmesser

$e_1, e_2, p_1, p_2$  sie Tabelle 2-4



## Schritt 12

## Nachweis auf Zug:

Aluminiumnieten sollten nur in Ausnahmefällen auf Zug belastet werden und auch nur wenn beide Köpfe der Nietverbindung die Abmessungen der vorangegangenen Abbildung entsprechen.

$$F_{t,Rd} = \frac{0,6 \times f_{ur} \times A_0}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$$



## Schritt 13

## Kombinierter Nachweis:

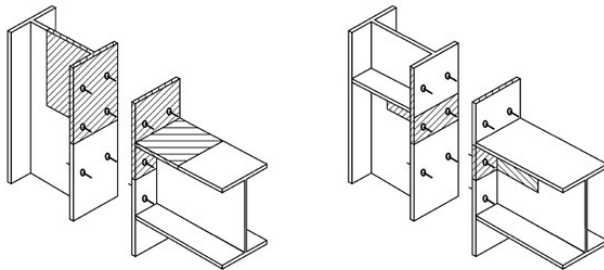
Sollte eine Nietverbindung Kombiniert auf Zug und Abscheren Beansprucht sein muss wie folgt Nachgewiesen werden.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \times F_{t,Rd}} \leq 1,0$$



### 3.3 Algorithmus T-Stummel

#### Schritt 1 Querschnittswerte des T-Stummel

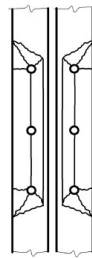
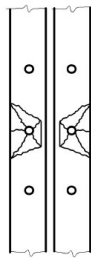
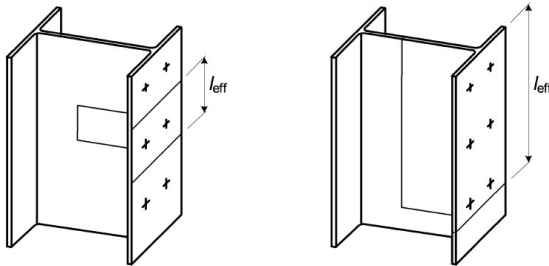


a)

b)

Dabei ist

- a) Unausgesteifte Riegel-Stützenverbindung
- b) Ausgesteifte Riegel-Stützenverbindung



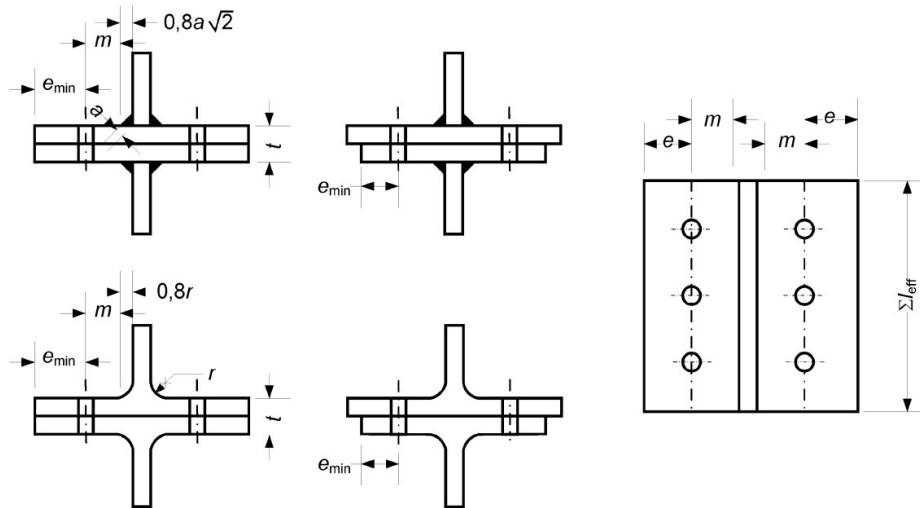
a) einzelne Schraubenreihen

b) Gruppe von Schraubenreihen

Wird eine einzelne Schraubenreihe nachgewiesen muss der Wert für  $L_{eff}$  mit den nachfolgenden Tabellen errechnet werden, sollten aber mehrere Schraubenreihen nachgewiesen werden muss die Summe von  $L_{eff}$  gebildet werden.  $\sum L_{eff}$ .



Schritt 1  
Querschnittswerte des T-Stummel



Wirksame Länge für unausgesteifte Flansche

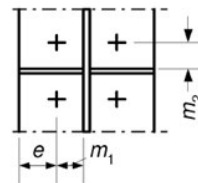
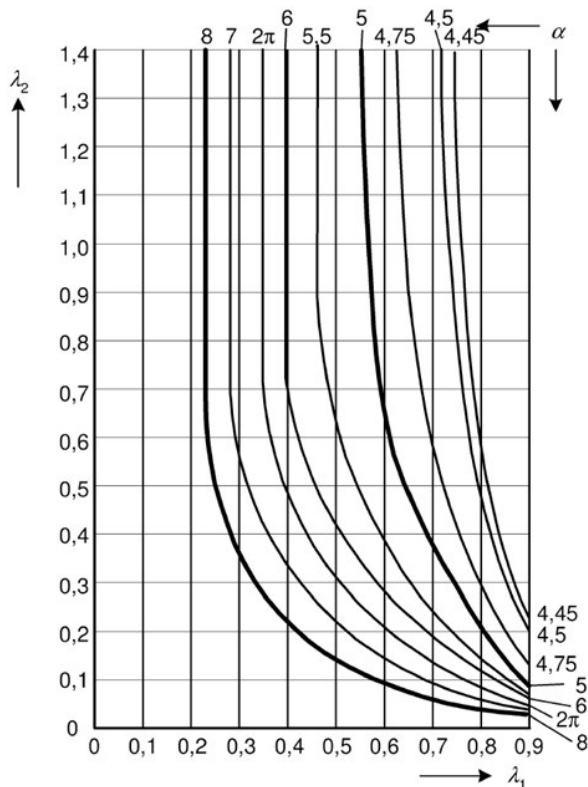
Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,nc}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,nc}$
Innere Schraubenreihe	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$P$
Äußere Schraubenreihe	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ aber $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ aber $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$	
ANMERKUNG Siehe Abbildung 2-8 bis 2-12				



Schritt 1  
Querschnittswerte des T-Stummel

Wirksame Länge für ausgesteifte Flansche

Lage der Schraubenreihe	Alleine betrachtete Schraubenreihe		Als Teil einer Gruppe von Schraubenreihen betrachtete Schraubenreihe	
	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,nc}$	Kreisförmige Anordnungen $l_{eff,cp}$	Andere Anordnungen $l_{eff,nc}$
Schraubenreihe neben einer Steife	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Andere innere Schraubenreihen	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Andere äußere Schraubenreihen	der kleinere Wert von: $2\pi m$	der kleinere Wert von: $4m + 1,25e$	der kleinere Wert von: $\pi m + p$	der kleinere Wert von: $2m + 0,625e + 0,5p$
	$\pi m + 2e_1$	$2m + 0,625e + e_1$	$2e_1 + p$	$e_1 + 0,5p$
Äußere Schraubenreihe neben einer Steife	der kleinere Wert von: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	nicht maßgebend	nicht maßgebend
Modus 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ aber $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ aber $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Modus 2:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$	

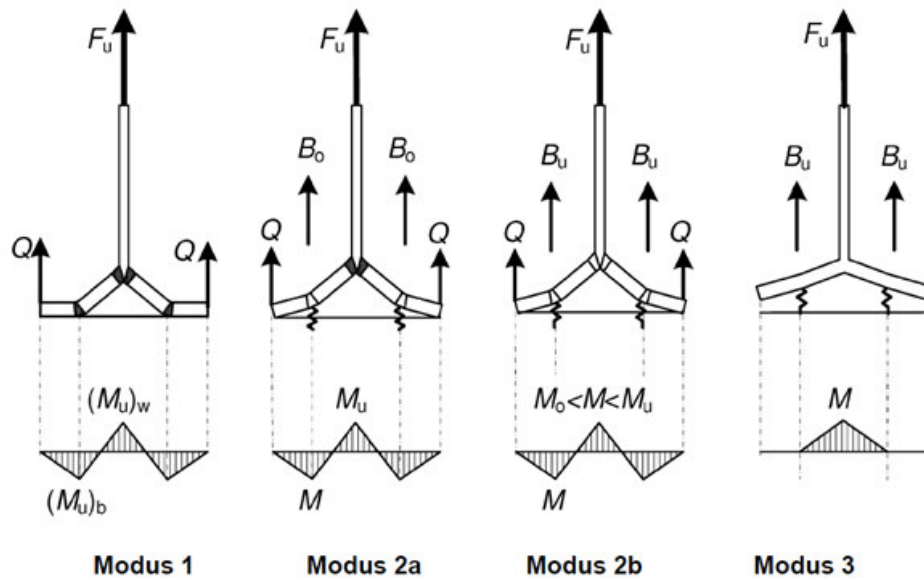


$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e}$$



Schritt 2  
Wahl der Versagensart



**Modus 1**

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{u,1})_w + 2 \times (M_{u,1})_b}{m}$$

In dieser Gleichung sollte  $(M_{u,1})_w$  mit  $p_{u,haz} < 1$  und  $(M_{u,1})_b$  mit  $p_{u,haz} = 1$

**Modus 2a**

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{u,2}) + n \times \sum B_o}{m + n}$$

**Modus 2b**

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{o,2}) + n \times \sum B_o}{m + n}$$

**Modus 3**

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \sum B_u$$



## Schritt 3

Berechnung Formeln für Modus 1-2b.

$$M_{u,1} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff1} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

Sollte der zu berechnende Querschnitt keine Schweißnaht enthalten ist für  $p_{u,haz}$  1 anzusetzen.

$$M_{u,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff2} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

Sollte der zu berechnende Querschnitt keine Schweißnaht enthalten ist für  $p_{u,haz}$  1 anzusetzen.

$$M_{o,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff2} \times p_{u,haz} \times f_o) \times \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

Sollte der zu berechnende Querschnitt keine Schweißnaht enthalten ist für  $p_{o,haz}$  1 anzusetzen.

$$n = e_{min} \quad \text{aber} \quad n \leq 1,25 \times m$$

$$\frac{1}{k} = \frac{f_o}{f_u} \times \left( 1 + \Psi \times \frac{f_u - f_o}{f_o} \right)$$

$$\Psi = \frac{\varepsilon_u - 1,5 \times \varepsilon_o}{1,5 \times (\varepsilon_u - \varepsilon_o)}$$

$$\varepsilon_o = \frac{f_o}{E}$$

Dabei ist:

$\varepsilon_u$  die Bruchdehnung des Flanschwerkstoffes

$B_o$  die übliche elastische Tragfähigkeit der Schraube

$$B_o \begin{cases} \frac{0,9 \times f_y \times A_s}{\gamma_{M2}} \\ \frac{0,6 \times f_o \times A_s}{\gamma_{M2}} \end{cases} \begin{array}{l} \text{für Stahlbauschrauben} \\ \text{für Aluminiumschrauben} \end{array}$$



Schritt 3  
Berechnung Formeln für Modus 1-2b.

Dabei ist:

$A_s$     Spannungsquerschnitt der Schraube

$l_{eff,1}$     der Wert für  $l_{eff}$  für Modus 1

$l_{eff,2}$     der Wert für  $l_{eff}$  für Modus 2

Schritt 4  
Berechnung Formeln für Modus 3.

Sollten in einer Verbindung wie in Modus 3 keinerlei Kontaktkräfte auftauchen, ist die Zugtragfähigkeit  $F_{u,Rd}$  eines T-Stummelflansches als der Kleineren der Beiden folgenden Werte zu bemessen.

1) Flanschversagen:

$$F_{u,Rd} = \frac{2 \times M_{u,1}}{m}$$

2) Schraubenversagen:

$$F_{u,Rd} = \sum B_u$$

Wobei:  $M_{u,1}$ ,  $m$  wie zuvor definiert sind und  $\sum B_u$  wie folgt

$B_u$     die in 2.3.5 angegebene Zugtragfähigkeit  $B_{t,Rd}$

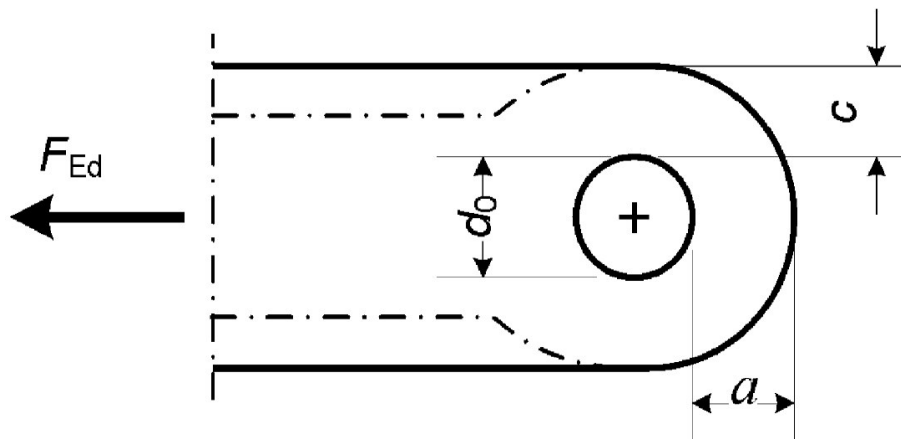
$B_{t,Rd}$     der kleinere Wert von  $F_{t,Rd}$  und  $B_{p,Rd}$

$\sum B_u$     der Gesamtwert von  $B_u$  für alle Schrauben im T-Stummel

### 3.4 Algorithmus zur Bemessung von Bolzenverbindungen

Schritt 1

Bemessung des Anschlussbleches durch Vorgabe des Lochdurchmessers  
oder der Abstände:



$$a \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{2 \times t \times f_0} + \frac{2 \times d_0}{3}$$

$$c \geq \frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{2 \times t \times f_0} + \frac{2 \times d_0}{3}$$

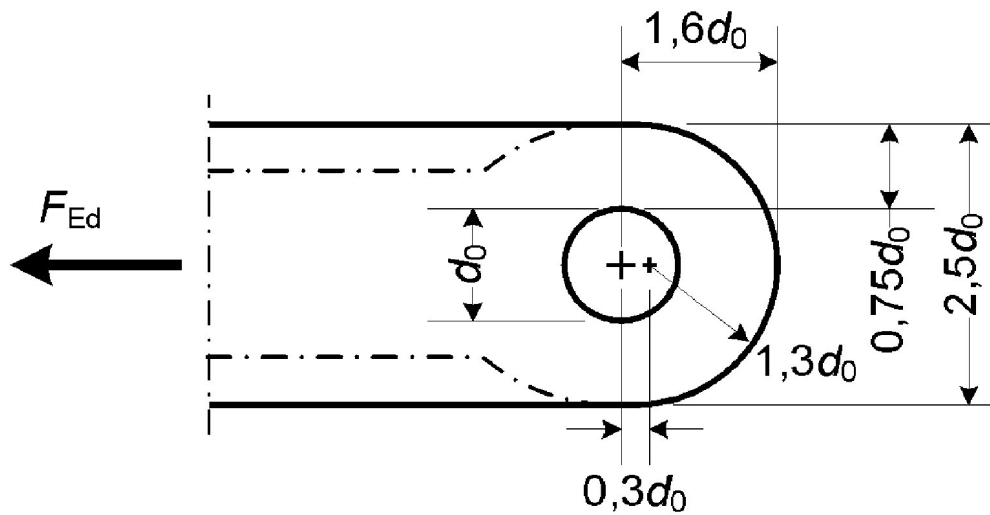
$t$  = Dicke des Bauteils

$d_0$  = Lochdurchmesser



## Schritt 1

Bemessung des Anschlussbleches durch Vorgabe des Lochdurchmessers  
oder der Abstände:



$$t \geq 0,7 \times \sqrt{\frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{f_0}}$$

$$d_0 \geq 1,75 \times \sqrt{\frac{F_{Ed} \times \gamma_{M1}}{f_0}}$$

$t$  = Dicke des Bauteils

$d_0$  = Lochdurchmesser





Schritt 2  
Bemessung des Bolzens:

Sollte keine Drehbarkeit eines Bolzens verlangt werden kann er wie eine einzelne Schraube bemessen werden, vorausgesetzt die Länge des Bolzens beträgt nicht mehr als dreimal so viel wie der Bolzendurchmesser. Sollte Drehbarkeit verlangt sein und das genannte Kriterium nicht eingehalten, wird ein Bolzen wie folgt bemessen:

Kriterium	Beanspruchbarkeit
Abscheren des Bolzens	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{Mp} \geq F_{v,Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$F_{v,Rd,ser} = 0,6 A f_{op} / \gamma_{M6,ser} \geq F_{v,Ed,ser}$
Lochleibung von Blech und Bolzen	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_{o,min} / \gamma_{M1} \geq F_{b,Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$F_{b,Rd} = 0,6 t d f_{o'} / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Biegung des Bolzens	$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{op} / \gamma_{M1} \geq M_{Ed}$
Ist die Austauschbarkeit des Bolzens vorgesehen, sollte diese Anforderungen ebenfalls erfüllt sein	$M_{Rd} = 0,8 W_{el} f_{op} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Interaktion von Abscheren und Biegung	$(M_{Ed} / M_{Rd})^2 + (F_{v,Ed} / F_{v,Rd})^2 \leq 1,0$
Dabei ist	
$d$	der Durchmesser des Bolzens;
$f_{o,min}$	der niedrigere Bemessungswert der Festigkeiten von Bolzen und verbundenem Bauteil;
$f_{up}$	die maximale Zugfestigkeit (Bruchfestigkeit) des Bolzens;
$f_{op}$	die Streckgrenze des Bolzens;
$t$	die Dicke des verbundenen Bauteils;
$A$	die Querschnittsfläche eines Bolzens.

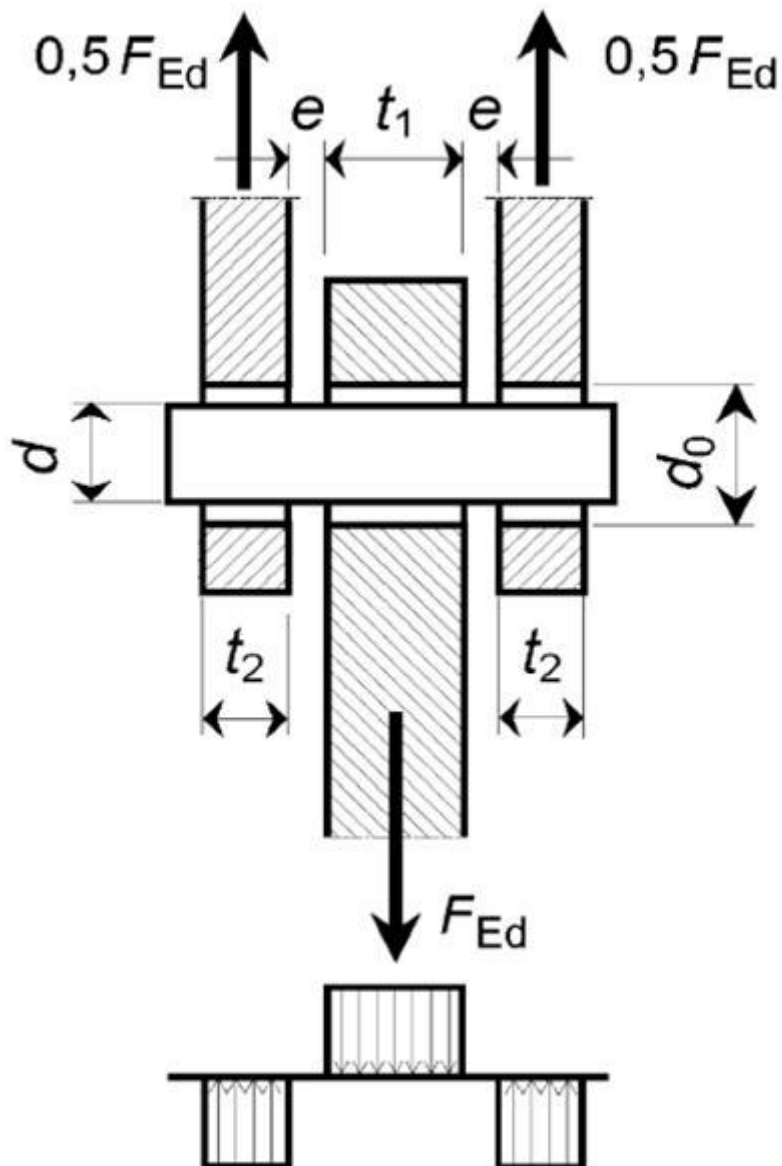
Das Moment was auf den Bolzen wirkt wird wie folgt errechnet:



## Schritt 2

## Bemessung des Bolzen:

Das Moment was auf den Bolzen wirkt wird wie folgt errechnet:



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed} \times (2 \times t_2 + 4 \times e + t_1)}{8}$$



## Schritt 2

## Bemessung des Bolzen:

Sollte für ein Bolzen eine mehrfache Montage und Demontage vorgesehen sein muss folgende Bedingung zusätzlich erfüllt werden.

$$\sigma_{h,Ed} \leq f_{h,Rd}$$

Dabei ist:

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \times \sqrt{\frac{F_{Ed,ser} \times (d_0 - d)}{d^2 \times t}} \times \sqrt{\frac{2 \times E_p \times E_{pl}}{E_p + E_{pl}}}$$

$$f_{h,Rd} = \frac{2,5 \times f_o}{\gamma_{M6,ser}}$$

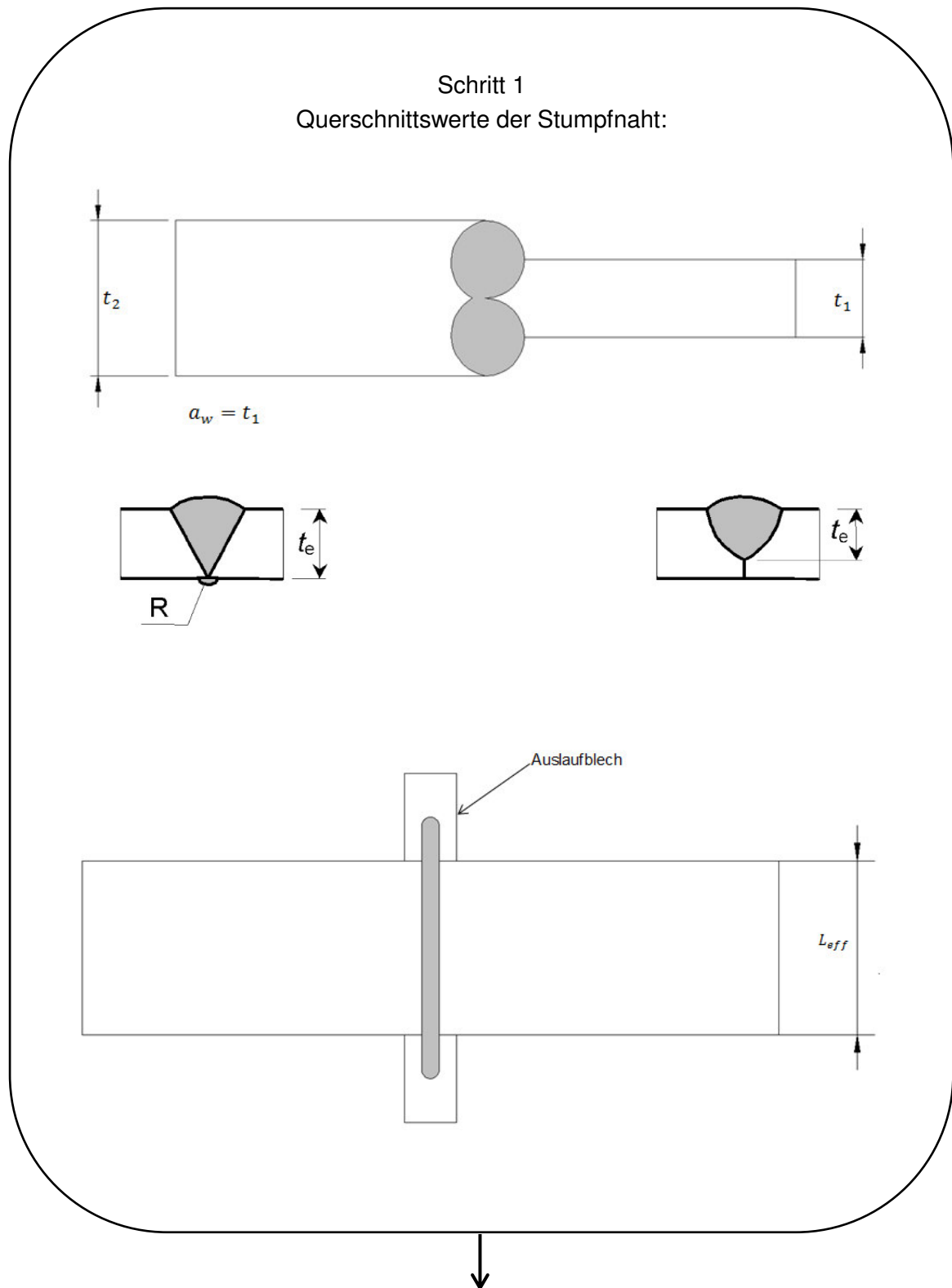
Dabei ist:

$d$	der Durchmesser des Bolzens
$d_0$	der Durchmesser des Bolzenloches
$F_{Ed,ser}$	der bemessungswert der Kraft, die bei der Beanspruchung mit den typischen Lastkombinationen für die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit übertragen werden.
$E_p, E_{pl}$	der Elastizitätsmodul des Bolzens bzw. des Werkstoffes



## 3.5 Algorithmus zur Bemessung von Schweißverbindungen

### 3.5.1 Nachweisführung von Stumpfnähten



Schritt 1  
Querschnittswerte der Stumpfnah

Dabei ist:

R      Wurzeldurchhang

$a_w$       Wirksame Schweißnahtdicke  $t_e, t_1$

Eine nicht durchgeschweißte Stumpfnah wie im rechten Bild zu sehen, ist nicht Zulässig. Ausnahme ist wenn die Schweißnaht an nicht belasteten oder Sekundärbauteilen liegt.

Die Länge der Stumpfnah kann als komplette Länge der gesamten Schweißnaht angesetzt werden sofern beim Schweißen Auslaufbleche angeordnet und verwendet werden.

$L_{eff}$       Komplette Länge der Schweißnaht

$A_w$       Wirksame Schweißnahtfläche  $a_w \times L_{eff}$

$W_w$       Widerstandsmoment in der Schweißnaht

$$W_{w,y} = \frac{L_{eff} \times a_w^2}{6} \quad W_{w,z} = \frac{a_w \times L_{eff}^2}{6}$$

$I_w$       Flächenträgheitsmoment 2. Grades der Schweißnaht

$$I_w = \sum (I_{eigen} + A_w \times z^2)$$

Dabei ist:

$I_{eigen}$       Flächenträgheitsmoment 2. Grades der Teilfläche

z      Abstand vom Eigenschwerpunkt zum Gesamtschwerpunkt



## Schritt 2

## Nachweisführung der Stumpfnah:

Zug oder Druckspannungen rechtwinkelig zur Schweißnaht

$$\sigma_{\perp Ed} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Schubspannung

$$\tau_{Ed} \leq \frac{1 \times f_w}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mw}}$$

Kombinierte Normal – und Schubspannungen:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times \tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

Dabei ist:

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht

$\sigma_{\perp Ed}$  die Normalspannung, rechtwinkelig zur Schweißnahtachse

$$\sigma_{\perp Ed} = \frac{F_{Ed}}{A_w} \quad \sigma_{\perp Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_w} \quad \sigma_{\perp Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z$$

$\tau_{Ed}$  die Schubspannung, parallel zur Schweißnahtachse

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_w}$$

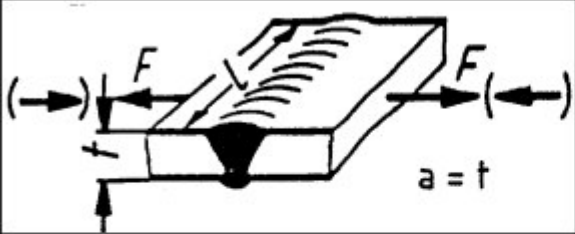
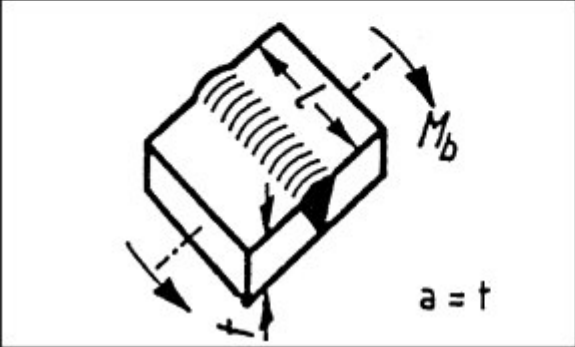
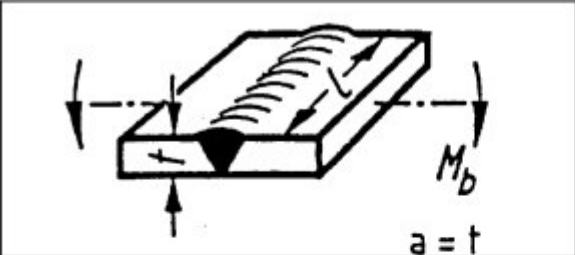
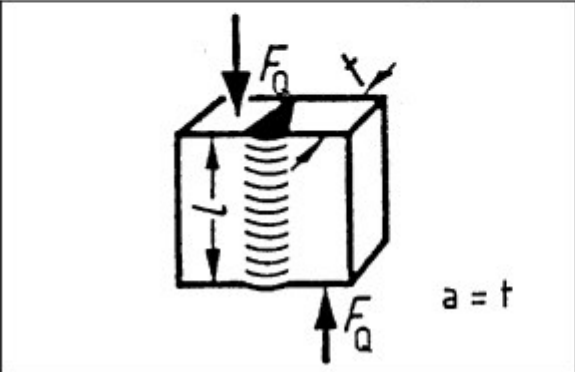
$\gamma_{Mw}$  der Teilsicherheitsbeiwert für Schweißverbindungen.



## Schritt 2

## Nachweisführung der Stumpfnaht:

Beispiele zur Berechnung der Anliegenden Spannungen

Belastungsschema	Spannung (Formel)
	$\sigma_{\perp} = (\pm) \frac{F}{a \cdot l}$
	$\sigma_{\perp} = \pm \frac{M_b \cdot 6}{a \cdot l^2}$
	$\sigma_{\perp} = \pm \frac{M_b \cdot 6}{l \cdot a^2}$
	$\bar{\tau}_{\parallel} = \frac{F_Q}{a \cdot l}$

Weiterer Nachweis der zu führen ist, ist der Nachweis der WEZ





## Schritt 1

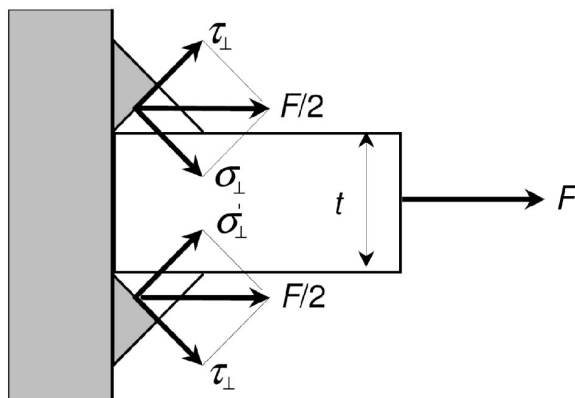
## Querschnittswerte der Kehlnaht:

Die Nahtdicke darf unter der Voraussetzung, dass Überwachungsregeln zur Qualitätssicherung festgelegt wurden, um den kleineren Wert von 20% und 2mm vergrößert werden. Somit gilt:  $a = 1,2 \times a$  oder  $a = a + 2mm$

Bei Kehlnähten mit planmäßigem Einbrand kann der zusätzliche Nahtdickenanteil berücksichtigt werden, vorausgesetzt, dass in einer Verfahrensprüfung nachgewiesen wurde, dass der Einbrand über die gesamte Länge sicher erreicht wird. Somit gilt:  $a = a + a_{pen}$ .

Des Weiteren gibt es zwei Besonderheiten die zu beachten sind:

**Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung rechtwinkelig zur Schweißnaht.**



$$a \geq \frac{1 \times \sigma_{Ed} \times t}{\frac{\sqrt{2} \times f_w}{\gamma_{Mw}}}$$

Dabei ist:

$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t \times b}$  die Normalspannung im angeschlossenen Bauteil

$F_{Ed}$  die Bemessungslast im angeschlossenen Bauteil

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht

$t$  die Dicke des angeschlossenen Bauteiles

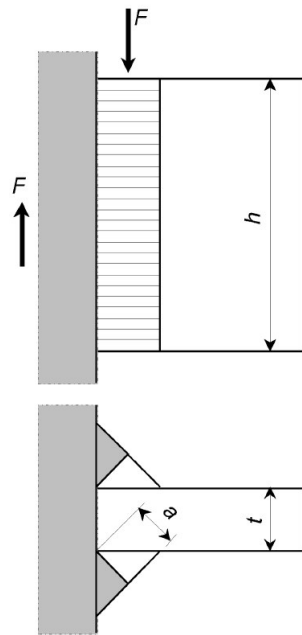
$b$  die Breite des angeschlossenen Bauteils



## Schritt 1

Querschnittswerte der Kehlnaht:

**Doppelkehlnahtanschluss mit Beanspruchung parallel zur Schweißnaht.**



$$a \geq \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{\tau_{Ed} \times t}{\frac{f_w}{\gamma_{Mw}}}$$

Dabei ist

$\tau_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t \times h}$  die Schubspannung im angeschlossenen Bauteil

$F_{Ed}$  die Bemessungslast im angeschlossenen Bauteil

$f_w$  die charakteristische Festigkeit der Schweißnaht

$t$  die Dicke des angeschlossenen Bauteils

$h$  die Höhe des angeschlossenen Bauteils



## Schritt 1

Querschnittswerte der Kehlnaht:

 $A_w$  wirksame Schweißnahtfläche  $\sum a_w \times L_{eff}$  $I_w$  Flächenträgheitsmoment 2. Grades der Schweißnaht

$$I_w = \sum (I_{eigen} + A_w \times z^2)$$

Dabei ist:

 $I_{eigen}$  Flächenträgheitsmoment 2. Grades der Teilfläche $z$  Abstand vom Eigenschwerpunkt zum Gesamtschwerpunkt

## Schritt 2

Nachweis der Kehlnaht:

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{MW}}$$

Dabei ist:

$$\sigma_{\perp Ed} = \frac{F_{Ed}}{A_w \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \left( \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z \right) / \sqrt{2}$$

$$\tau_{\perp Ed} = \frac{F_{Ed}}{A_w \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \left( \frac{F_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z \right) / \sqrt{2}$$

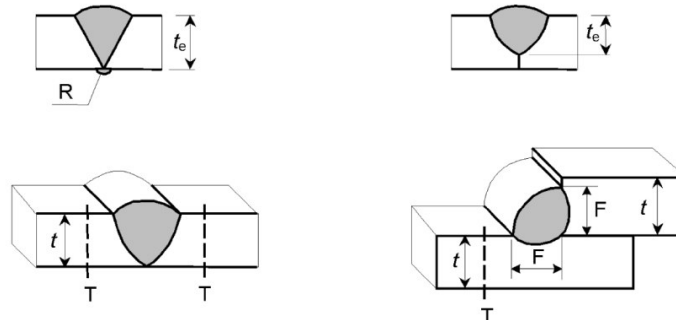
$$\tau_{\parallel Ed} = \frac{V_{z,ed}}{A_w}$$

Ein weiterer Nachweis der zu führen ist, ist der Nachweis der WEZ.

### 3.5.3 Nachweis der Wärmeeinflusszone

#### Nachweis der Wärmeeinflusszone

Im Nachweis der Wärmeeinflusszone, der Schweißverbindungen sind die belastenden Spannungen  $\sigma_{haz,Ed}$  und  $\tau_{haz,Ed}$  wie in den Algorithmen zuvor die belastenden Spannungen der jeweiligen Schweißnähte  $\sigma_{\perp Ed}$ ,  $\tau_{\perp Ed}$ ,  $\tau_{\parallel Ed}$  zu berechnen.



Linie F = WEZ in der Schmelzlinie; Linie T = WEZ am Schweißnahtübergang, voller Querschnitt,  
 $t_e$  = wirksame Nahtfläche, R = Wurzeldurchhang oder Wurzelüberhöhung

#### Unter Zugbeanspruchung rechtwinklig zu Versagensebene

$$\sigma_{haz,Ed} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$\sigma_{haz,Ed}$  der Bemessungswert der Normalspannung rechtwinklig zur Schweißnahtachse

$f_{u,haz}$  die charakteristische Festigkeit in der WEZ, siehe Tabelle 2-17 bis 2-20

$\gamma_{Mw}$  der Teilsicherheitsbeiwert für geschweißte Verbindungen

#### Unter Schubbeanspruchung

$$\tau_{haz,Ed} \leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Dabei ist

$\tau_{haz,Ed}$  der Bemessungswert der Schubspannung parallel zur Schweißnahtachse

$f_{v,haz}$  die charakteristische Schubfestigkeit in der WEZ,

$$f_{v,haz} = \frac{f_{u,haz}}{\sqrt{3}}$$



## Nachweis der Wärmeeinflusszone

**Kombinierter Nachweis der Wärmeeinflusszone**

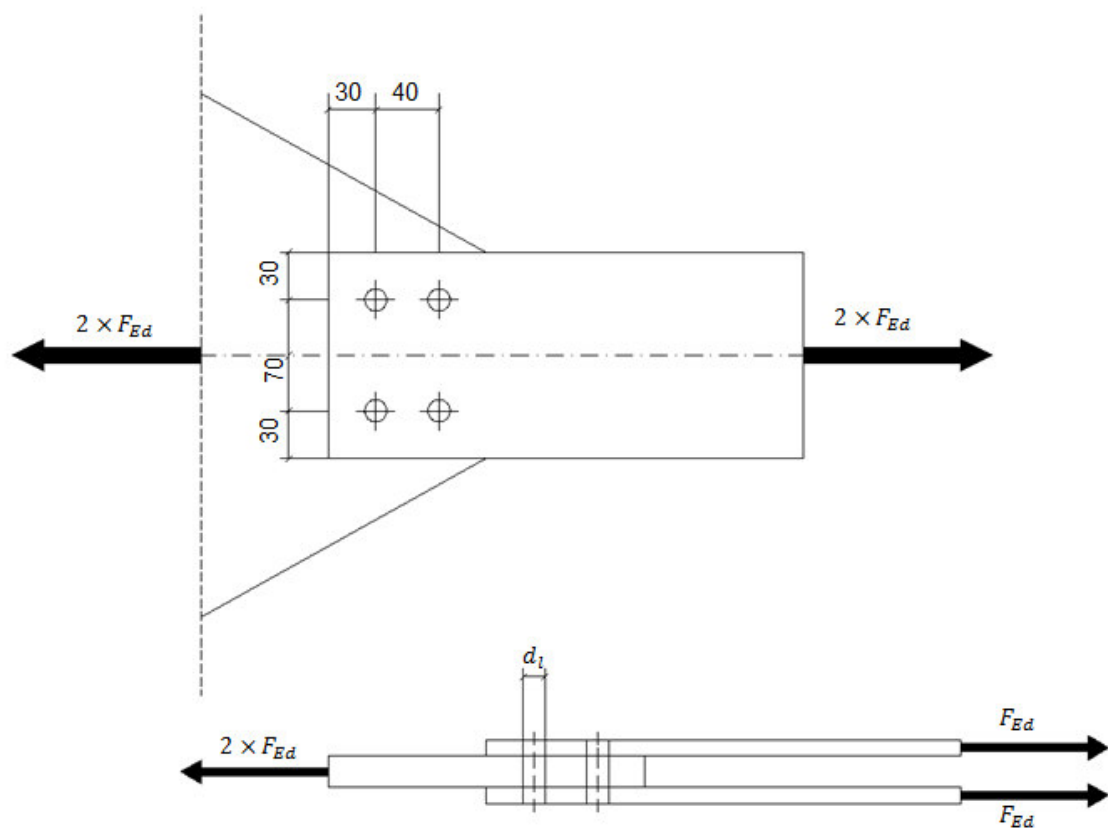
$$\sqrt{\sigma_{haz,Ed}^2 + 3 \times \tau_{haz,Ed}^2} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

Der Nachweis der Wärmeeinflusszone für die Schweißnähte ist damit abgeschlossen. Aufwändiger wird es, sollte der Grundwerkstoff nachgewiesen werden.

## 4 Beispielhafte Anwendung der Algorithmen

In diesem Kapitel wird es darum gehen, die zuvor aufgestellten Algorithmen zu erläutern und durch Beispiele zu erklären. Es wird darum gehen, die in einer Verbindung verwendeten Verbindungsmittel zu bemessen und nachzuweisen. In dieser Bachelorarbeit und in den folgenden Beispielen wird es nicht darum gehen, die Querschnitte der verbundenen Bauteile zu bemessen und nachzuweisen- Für Angaben zur Nachweisführung und Klassifizierung der Querschnitte der verbundenen Teile Siehe DIN EN 1999-1-1:2014-03 Abschnitt 6

### 4.1 Beispiel geschraubter Zugstab



**Gegeben:**

- Zugstab Flachmaterial  $b = 130 \text{ mm}$ ;  $t = 10 \text{ mm}$

- Knotenblech Flachmaterial  $t = 20 \text{ mm}$
- $d_l = 14 \text{ mm}$
- Material Zugstab und Fahnenblech EN AW 6061 T6
- $f_o = 24 \text{ KN/cm}^2$ ;  $F_{Ed} = 100 \text{ KN}$
- Schrauben vier Mal M12 - 4.6 **Neuwahl M12 – 5.6**

#### 4.1.1 Schritt Eins - Überprüfen der Schraubenabstände:

$$e_1 = 30 \text{ mm} \geq 2,0 \times d_l = 2,0 \times 14 = 28 \text{ mm}$$

$$e_1 = 30 \text{ mm} \leq 4 \times t + 40 \text{ mm} = 4 \times 10 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$p_1 = 40 \text{ mm} \geq 2,5 \times d_l = 2,5 \times 14 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

$$p_1 = 40 \text{ mm} \leq 14 \times t = 14 \times 10 \text{ mm} = 140 \text{ mm}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm} \geq 1,5 \times d_l = 1,5 \times 14 \text{ mm} = 21 \text{ mm}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm} \leq 4 \times t + 40 \text{ mm} = 4 \times 10 \text{ mm} + 40 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$p_2 = 70 \text{ mm} \geq 3 \times d_l = 3 \times 14 \text{ mm} = 42 \text{ mm}$$

$$p_2 = 40 \text{ mm} \leq 14 \times t = 14 \times 10 \text{ mm} = 140 \text{ mm}$$

Somit sind alle Abstände in der Verbindung erfolgreich nachgewiesen.

#### 4.1.2 Schritt Zwei - Nachweis gegen Blockversagen

Dabei ist zu beachten, dass es sich um den Grundwerkstoff handelt und nicht um die Schrauben.

$$V_{eff.1Rd} = \frac{f_u \times A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times f_o \times A_{nv}}{\gamma_{M1}} \geq F_{Ed}$$

$$A_{nt} = [L_h - (n_h - 1) \times d_o] \times t$$

$$A_{nt} = [7 \text{ cm} - (2 - 1) \times 1,4 \text{ cm}] \times 2$$

$$A_{nt} = 11,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 2 \times [L_v - (n_h - 1,0) \times d_o] \times t$$

$$A_{nv} = 2 \times [7 \text{ cm} - (2 - 1,0) \times 1,4 \text{ cm}] \times 2$$

$$A_{nv} = 22,4 \text{ cm}^2$$

$$V_{eff.1Rd} = \frac{29 \text{ KN/cm}^2 \times 11,2 \text{ cm}^2}{1,25} + \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right) \times 24 \text{ KN/cm}^2 \times 22,4 \text{ cm}^2}{1,1} \geq F_{Ed}$$

$$V_{eff.1Rd} = 542 \text{ KN}$$

$$\underline{542 \text{ KN} \gg 200 \text{ KN}}$$

$$\frac{200 \text{ KN}}{542 \text{ KN}} = 0,37\% \leq 1,0$$

Somit ist die Verbindung zu 37% ausgelastet und erfolgreich gegen Blockversagen nachgewiesen.

#### 4.1.3 Schritt Drei – Überprüfung, ob es sich um einen langen Anschluss handelt

$$L_j = 40 \text{ mm} \leq 15 \times d_l = 15 \times 14 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$$

Somit ist nachgewiesen, dass es sich nicht um einen langen Anschluss handelt.

#### 4.1.4 Schritt Vier - Nachweis gegen Abscheren je Scherfuge

Hierbei ist wichtig, darauf zu achten, ob die Schraube mit dem Gewinde oder mit einem Schaft in dem Loch ist. Je nach dem ist der richtige Querschnitt zu wählen. In unserem Fall ist es eine Schraube mit Schaft der in der Scherfuge vorliegt.

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 40 \text{ KN/cm}^2$$

$$A = A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 40 \text{ KN/cm}^2 \times 1,13 \text{ cm}^2}{1,25} = 21,69$$

$$\text{Kraft pro Schraube je Scherfuge; } F_{v,Ed} = \frac{2 \times 100}{8} = 25 \text{ KN}$$

$$F_{v,Rd} < F_{v,Ed}$$

$$\underline{21,69 \text{ KN} < 25 \text{ KN}}$$



Wir sehen, dass der Nachweis nicht aufgeht und somit neu dimensioniert werden muss. In unserem Fall wird es ausreichen, eine höhere Schraubenfestigkeit zu wählen, wir gehen von 4.6 auf 5.6.

Aufgrund dessen, dass die vorangegangenen Nachweise aufgegangen sind und somit bei der Neuwahl offensichtlich ebenso erfüllt sind, fangen wir mit der neuen Wahl erst bei dem Nachweis auf Abscheren je Scherfuge wieder an.

#### 4.1.5 Schritt Fünf - Nachweis auf Abscheren je Scherfuge mit Neuwahl der Festigkeitsklasse 5.6

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \times f_{ub} \times A}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$f_{ub} = 50 \text{ KN/cm}^2$$

$$A = A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \times 50 \text{ KN/cm}^2 \times 1,13 \text{ cm}^2}{1,25} = 27,12 \text{ KN}$$

$$\text{Kraft pro Schraube je Scherfuge; } F_{v,Ed} = \frac{2 \times 100}{8} = 25 \text{ KN}$$

$$F_{v,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$27,12 \text{ KN} < 25 \text{ KN}$$

$$\frac{25}{27,12} = 0,92\% < 1,0$$

Die Verbindung ist zu **92% ausgelastet** und somit erfolgreich gegen das Abscheren je Scherfuge nachgewiesen.

#### 4.1.6 Schritt Sechs - Nachweis auf Lochleibung

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

$$\alpha_{b,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{3cm}{3 \times 1,4cm} \\ 29KN/cm^2 \\ 50KN/cm^2 \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,r} = \min \{0,71 \\ 0,58\}$$

$$\alpha_{b,r} = 0,58$$

$$\alpha_{b,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{4cm}{3 \times 1,4cm} - \frac{1}{4} \\ 29KN/cm^2 \\ 50KN/cm^2 \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,i} = \min \{0,7 \\ 0,58\}$$

$$\alpha_{b,i} = 0,58$$

$$k_{1,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{3cm}{1,4cm} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1,r} = \min \{4,3 \\ 2,5\}$$

$$k_{1,r} = 2,5$$

$$k_{1,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right.$$

$$k_{1,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \times \frac{7cm}{1,4cm} - 1,7 \end{array} \right.$$

$$k_{1,i} = \min \{2,5 \\ 5,3\}$$

$$k_{1,i} = 2,5$$

Somit ergibt sich;

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 0,58 \times 29 \times 1,2 \times 2}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 80,73KN$$

$$\text{Kraft pro Lochleibung; } F_{v,Ed} = \frac{100}{2} = 50KN$$

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$\underline{80,73KN \geq 50KN}$$

$$\frac{50}{80,73} = 0,62\% < 1,0$$

**Die Verbindung ist zu 0,62% ausgelastet und somit erfolgreich gegen Lochleibung nachgewiesen.**

#### 4.1.7 Schritt Sieben - Nachweis der Nettoquerschnittsfläche

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$$

$$A_{net} = t \times (b - 2d)$$

$$A_{net} = 2 \times (13cm - 2 \times 1,4cm)$$

$$A_{net} = 20,4cm^2$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \times 20,4cm^2 \times 29 KN/cm^2}{1,25}$$

$$N_{net,Rd} = 426KN$$

$$N_{net,Rd,ser} = \frac{A_{net} \times f_o}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{net,Rd,ser} = \frac{20,4cm^2 \times 29 KN/cm^2}{1,1}$$

$$N_{net,Rd,ser} = 538KN$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

$$\underline{200KN \leq 426KN}$$

$$\frac{200}{426} = 0,47\% \leq 1,0$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$$

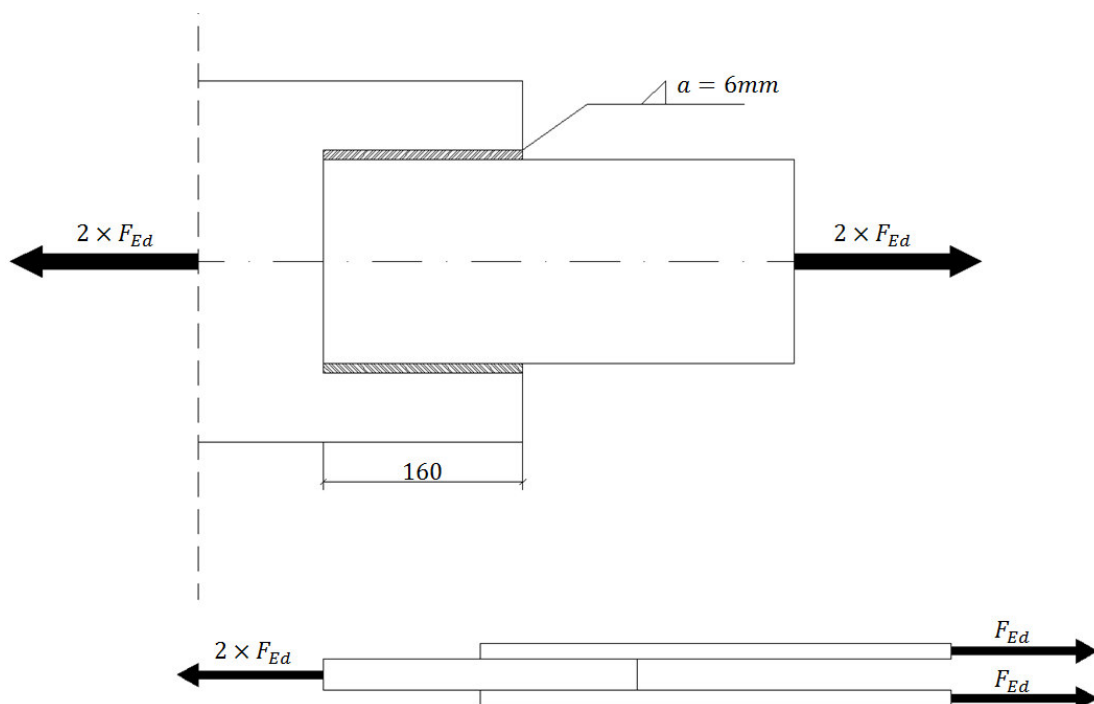
$$\underline{200KN \leq 538KN},$$

$$\frac{200}{538} = 0,37\% \leq 1,0$$

Die Verbindung ist zu 47% ausgelastet und somit erfolgreich im Nettoquerschnitt nachgewiesen.

Die Verbindungsmittel dieses Anschlusses sind damit erfolgreich nachgewiesen.

## 4.2 Nachweis geschweißter Zugstab mit Flankenkehlnaht



Gegeben;

- Legierung Grundwerkstoff EN AW 6061 T6 nach DIN EN 199-1-1:2014-03 Tabelle 3.2

$$f_{u,haz} = 17,5 \text{KN/cm}^2 \quad f_{o,haz} = 11,5 \text{KN/cm}^2$$

- Legierung Schweißzusatz EN AW 5356 Typ 5

$$f_w = 19 \text{KN/cm}^2$$

$$F_{Ed} = 200 \text{KN}$$

- Dicke des Angeschlossenen Blech  $t = 10 \text{mm}$
- Dicke des Grundblech  $t = 15 \text{mm}$
- Angewendetes Schweißverfahren WIG

#### 4.2.1 Schritt eins - Überprüfung und Ermittlung der Querschnittswerte

$$L_{w,eff} \geq 8 \times a_w$$

$$160 \text{mm} \geq 8 \times 6 \text{mm}$$

$$160 \text{mm} \geq 48 \text{mm}$$

$$A_w = \sum a_w \times L_{eff}$$

$$A_w = 2 \times 0,6 \text{cm} \times 16 \text{cm}$$

$$A_w = 19,2 \text{cm}^2$$

$$a \geq \frac{1 \times \sigma_{Ed} \times t}{\frac{\sqrt{2} \times f_w}{\gamma_{Mw}}}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t \times b}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{200 \text{KN}}{1 \text{cm} \times 16 \text{cm}}$$

$$\sigma_{Ed} = 12 \text{KN/cm}^2$$

$$0,5 \text{cm} \geq \frac{1 \times 12 \text{KN/cm}^2 \times 1 \text{cm}}{\frac{\sqrt{2} \times 19 \text{KN/cm}^2}{1,25}}$$

$$\underline{0,5 \text{cm} \geq 0,35 \text{cm}}$$

### 4.2.2 Schritt Zwei - Nachweis der Schweißnaht

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \frac{F_{ed}}{A_w \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \frac{200KN}{19,2cm^2 \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = 7,36KN/cm^2$$

$$\sqrt{7,36KN/cm^2^2 + 3 \times (7,36KN/cm^2^2)} \leq \frac{19KN/cm^2}{1,25}$$

$$14,73 \leq 15,2$$

$$\frac{14,738KN/cm^2}{15,2KN/cm^2} = 0,95\% \leq 1,0$$

Somit ist die Schweißnaht mit 0,95% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen

### 4.2.3 Schritt Vier - Nachweis der WEZ

$$\sigma_{haz,Ed} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{haz,Ed} = \frac{F_{ed}}{A_w}$$

$$\sigma_{haz,Ed} = \frac{200KN}{19,2cm^2}$$

$$\sigma_{haz,Ed} = 10,4 KN/cm^2$$

$$10,4KN/cm^2 \leq \frac{17,5 KN/cm^2}{1,25}$$

$$\underline{10,4KN/cm^2 \leq 14KN/cm^2}$$

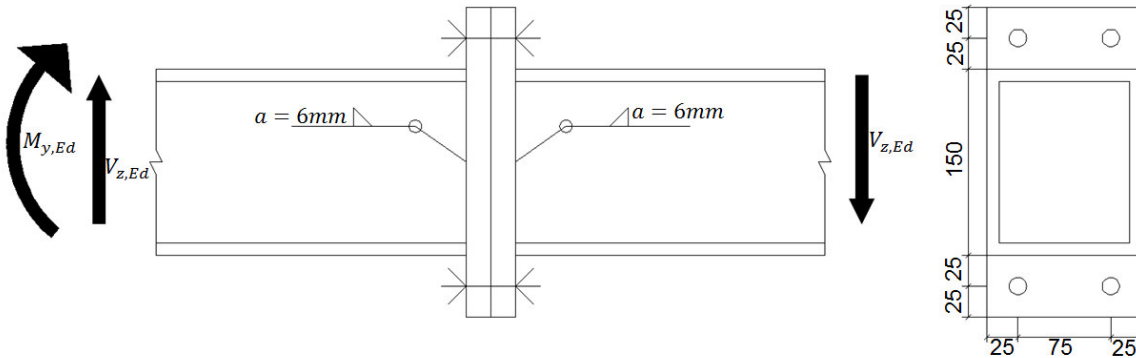
$$\frac{10,4KN/cm^2}{14KN/cm^2} = 0,74\% \leq 1,0$$

Somit ist die WEZ zu 74% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen

Die Verbindungsmittel dieses Anschlusses sind damit erfolgreich nachgewiesen.

## 4.3 Nachweis Kopfplattenanschluss der Schraubekategorie C so wie der Schweißnähte

### 4.3.1 Nachweis der Schrauben



Biegesteifer Anschluss realisiert durch zwei Kopfplatten mit der Dicke ( $t=20\text{mm}$ ) die mit vier hochfesten Schrauben gleitfest verbunden sind.

#### Gegeben:

- Bemessungslasten;  $V_{z,Ed} = 20\text{KN}$ ;  $M_{y,Ed} = 15\text{KNm} = 1500\text{KNcm}$
- Stahlschrauben;  $4 \times M12 - 10.9$
- Lochdurchmesser;  $d_l = 14\text{mm}$
- Material der Kopfplatten und dem Profil; EN AW 7020 T6
- 1 Scheibe Pro Mutter und Pro Kopf

#### 4.3.1.1 Schritt eins - Nachweis der Rand- und Lochabstände

$$e_1 = 25\text{mm} \geq 1,2 \times d_l = 1,2 \times 14\text{mm} = 17\text{mm}$$

$$e_1 = 25\text{mm} \leq 4 \times t + 40\text{mm} = 4 \times 20\text{mm} + 40\text{mm} = 120\text{mm}$$

$$p_1 = 200\text{mm} \geq 2,5 \times d_l = 2,5 \times 14\text{mm} = 35\text{mm}$$

$$p_1 = 200\text{mm} \leq 14 \times t = 14 \times 20\text{mm} = 280\text{mm}$$

$$e_2 = 25\text{mm} \geq 1,2 \times d_l = 1,2 \times 14\text{mm} = 17\text{mm}$$

$$e_2 = 25\text{mm} \leq 4 \times t + 40\text{mm} = 4 \times 20\text{mm} + 40\text{mm} = 120\text{mm}$$

$$p_2 = 75\text{mm} \geq 3 \times d_l = 3 \times 14\text{mm} = 42\text{mm}$$

$$p_2 = 75\text{mm} \leq 14 \times t = 14 \times 20\text{mm} = 280\text{mm}$$

**Somit sind alle Schraubenabstände nachgewiesen.**

#### **4.3.1.2 Schritt Zwei - Berechnung der Vorspannkraft**

$$F_{p,C} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

$$A_s = 0,843 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 100 \text{ KN/cm}^2$$

$$F_{p,C} = 0,7 \times 100 \text{ KN/cm}^2 \times 0,843 \text{ cm}^2$$

$$F_{p,C} = 59 \text{ KN}$$

#### **4.3.1.3 Schritt Drei - Berechnung der Zugkraft pro Schraube**

- Annahme: der obere Flansch des Kastenprofils wird als Drucklinie gesetzt, somit ergibt sich eine Hebelarm  $a$  von 175mm und eine Zugkraft je unteren Schrauben von :

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{2 \times a}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{1500 \text{ KN/cm}}{2 \times 17,5 \text{ cm}}$$

$$F_{t,Ed} = 43 \text{ KN}$$

#### **4.3.1.4 Schritt Vier - Nachweis der kombinierten Beanspruchung auf Zug und Abscheren**

- Anzahl der Reibflächen  $n = 1$
- Reibbeiwerte  $\sum t = 2 \times 20 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$ ;  $\mu = 0,4$
- Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,slu} = \gamma_{M,2} = 1,25$

Grenzgleitkraft der unteren Schrauben;

$$F_{s,Rd,Unten} = \frac{n \times \mu (F_{p,C} - 0,8 \times F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms}}$$

$$F_{s,Rd,Unten} = \frac{1 \times 0,4 (59 \text{ KN} - 0,8 \times 43 \text{ KN})}{1,25}$$

$$F_{s,Rd,Unten} = 7,87 \text{ KN}$$

Grenzgleitkraft der oberen Schrauben;

$$F_{s,Rd,Oben} = \frac{n \times \mu}{\gamma_{Ms}} \times F_{p,C}$$



$$F_{s,Rd,Oben} = \frac{1 \times 0,4}{1,25} \times 59KN$$

$$F_{s,Rd,Oben} = 18,9KN$$

Aufnehmbare Querkraft

$$\sum F_{s,Rd} = 2 \times F_{s,Rd,Oben} + 2 \times F_{s,Rd,Unten}$$

$$\sum F_{s,Rd} = 2 \times 18,9KN + 2 \times 7,87KN$$

$$\sum F_{s,Rd} = 53,54KN$$

$$\underline{53,54KN \geq 10KN}$$

$$\frac{V_{z,Rd}}{\sum F_{s,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{10}{53,54} = 0,19\% \leq 1$$

**Somit ist die Verbindung zu 0,19% ausgelastet und erfolgreich gegen Zug und Abscheren nachgewiesen.**

#### 4.3.1.5 Schritt Fünf - Nachweis der Lochleibungsbeanspruchung

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

$$\alpha_{b,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{2,5cm}{3 \times 1,4cm} \\ \frac{100KN/cm^2}{35KN/cm^2} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,r} = \min \{0,59, 2,85\}$$

$$\alpha_{b,r} = 0,59$$

$$\alpha_{b,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{20cm}{3 \times 1,4cm} - \frac{1}{4} \\ \frac{100KN/cm^2}{35KN/cm^2} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,i} = \min \{ 4,5 \\ 2,85 \}$$

$$\alpha_{b,i} = 2,85$$

$$k_{1,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{2,5cm}{1,2cm} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1,r} = \min \{ 4,1 \\ 2,5 \}$$

$$k_{1,r} = 2,5$$

$$k_{1,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right.$$

$$k_{1,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \times \frac{7,5cm}{1,2cm} - 1,7 \end{array} \right.$$

$$k_{1,i} = \min \{ 2,5 \\ 7 \}$$

$$k_{1,i} = 2,5$$

Somit ergibt sich;

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 0,59 \times 35KN/cm^2 \times 1,2cm \times 2cm}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 99,1KN$$

Belastende Abscherkraft;

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{M_{y,Ed}}{z}\right)^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{n}\right)^2}$$

Dabei ist:

z Abstand zwischen den Schrauben rechtwinkelig zur Belastungsrichtung

n Anzahl der Schrauben in der Verbindung

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{1500\text{KN/m}}{20\text{cm}}\right)^2 + \left(\frac{20\text{KN}}{4}\right)^2}$$

$$F_{v,Ed} = 75,2\text{KN}$$

Nachweis;

$$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$$

$$F_{v,Ed} = 75,2\text{KN} \leq 4 \times F_{b,Rd} = 99,1\text{KN}$$

$$\underline{75,2\text{KN} \leq 396,4\text{KN}}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{75,2\text{KN}}{396,4\text{KN}} = 0,18\% \leq 1$$

**Somit ist die Verbindung zu 18% ausgelastet und erfolgreich gegen Lochleibung nachgewiesen.**

#### 4.3.1.6 Schritt Sechs - Nachweis gegen Durchstanzen

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$$

$$d_m = \frac{e + s}{2}$$

$$d_m = \frac{23,91\text{mm} + 22\text{mm}}{2}$$

$$d_m = 22,95\text{ mm} = 2,3\text{cm}$$

e Eckmaß des Schraubenkopfes

s Schlüsselweite des Schraubenkopfes

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times 2,3cm \times 2cm \times 35KN/cm^2}{1,25}$$

$$B_{P,Rd} = 274,44KN \geq F_{t,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{2 \times a}$$

$$\underline{242,8KN \geq 47KN}$$

$$\frac{47KN}{242,8KN} = 0,19\% \leq 1,0$$

**Somit ist die Verbindung Zu 19% ausgelastet und erfolgreich gegen Durchstanzen Nachgewiesen.**

### 4.3.2 Nachweis der Schweißnähte

Gegeben:

Schweißverbindung Typ 5 Zusatzlegierung EN AW 5356

$$a_w = 6mm$$

$$L_{w,1} = 150mm$$

$$L_{w,2} = 125mm$$

#### 4.3.2.1 Schritt eins - Überprüfung und Ermittlung der Querschnittswerte

$$L_{w,eff} \geq 8 \times a_w$$

$$125mm \geq 8 \times 6mm$$

$$125mm \geq 48mm$$

$$A_w = \sum a_w \times L_{eff}$$

$$A_w = 2 \times 0,6cm \times 15cm + 2 \times 0,6cm \times 12,5cm$$

$$A_w = 33cm^2$$

$$I_w = \sum (I_{eigen} + A_w \times z^2)$$

$$I_w = 2 \times \left( \frac{12,5cm \times 0,6cm^3}{12} + (12,5cm \times 0,6cm) \times 7,8cm^2 \right) + 2 \times \left( \frac{0,6cm \times 15cm^3}{12} + (15cm \times 0,6cm) \times 0 \right)$$

$$I_w = 913,05cm^4 + 337,5cm^4$$

$$I_w = 1250,55 \text{ cm}^4$$

#### 4.3.2.2 Schritt Zwei - Nachweis der Schweißnaht

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \left( \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z \right) / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \left( \frac{1500 \text{ KNcm}}{1250,55 \text{ cm}^4} \times 7,8 \text{ cm} \right) / \sqrt{2}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = 6,62 \text{ KN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel Ed} = \frac{V_{z,ed}}{A_w}$$

$$\tau_{\parallel Ed} = \frac{20 \text{ KN}}{33 \text{ cm}^2}$$

$$\tau_{\parallel Ed} = 0,6 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sqrt{6,62 \text{ KN/cm}^2 + 3 \times (6,62 \text{ KN/cm}^2 + 0,6 \text{ KN/cm}^2)} \leq \frac{26 \text{ N/cm}^2}{1,25}$$

$$\underline{13,28 \text{ N/cm}^2 < 20,8 \text{ N/cm}^2}$$

$$\frac{13,28 \text{ N/cm}^2}{20,8 \text{ N/cm}^2} = 0,64\% \leq 1,0$$

Die Naht ist zu 64% ausgelastet und somit erfolgreich nachgewiesen.

#### 4.3.2.3 Schritt Drei - Nachweis der WEZ

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} = \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z$$

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} = \frac{1500 \text{ KNcm}}{1250,55 \text{ cm}^4} \times 7,8 \text{ cm}$$

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} = 9,4 \text{ KN/cm}^2$$

$$9,4 \text{ KN/cm}^2 \leq \frac{28 \text{ KN/cm}^2}{1,25}$$

$$\underline{9,4 \text{ KN/cm}^2 < 22,4}$$

$$\tau_{haz,Ed} \leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{haz,Ed} = \frac{V_{z,ed}}{A_w}$$

$$\tau_{haz,Ed} = \frac{20KN}{33cm^2}$$

$$\tau_{haz,Ed} = 0,6KN/cm^2$$

$$0,6KN/cm^2 \leq \frac{f_{u,haz}/\sqrt{3}}{1,25}$$

$$0,6KN/cm^2 \leq \frac{28/\sqrt{3}}{1,25}$$

$$\underline{0,6KN/cm^2 \leq 12,9KN/cm^2}$$

#### **Kombinierter Nachweis;**

$$\sqrt{\sigma_{haz,Ed}^2 + 3 \times \tau_{haz,Ed}^2} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sqrt{9,4^2 + 3 \times 0,6^2} \leq \frac{28 KN/cm^2}{1,25}$$

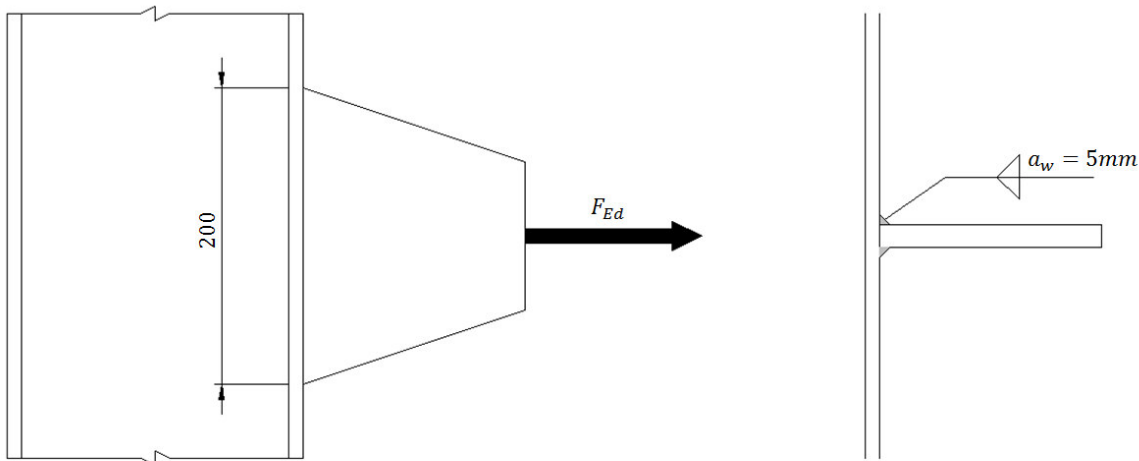
$$\underline{9,5 KN/cm^2 \leq 22,4}$$

$$\frac{9,5KN/cm^2}{22,4KN/cm^2} = 0,42\% \leq 1,0$$

**Somit ist die WEZ zu 0,42% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen**

Die Verbindungsmittel dieses Anschlusses sind damit erfolgreich nachgewiesen.

## 4.4 Nachweis einer Kehlnaht



### Gegeben:

- Legierung Grundwerkstoff EN AW 6061 T6 nach DIN EN 199-1-1:2014-03 Tabelle 3.2

$$f_{u,haz} = 17,5 \text{ KN/cm}^2$$

- Legierung Schweißzusatz EN AW 5356 Typ 5

$$f_w = 19 \text{ KN/cm}^2$$

$$F_{Ed} = 250 \text{ KN}$$

- Dicke des angeschlossenen Blecht  $t = 15 \text{ mm}$
- Angewendetes Schweißverfahren WIG

### 4.4.1 Schritt eins - Überprüfung und Ermittlung der Querschnittswerte

$$L_{w,eff} \geq 8 \times a_w$$

$$200 \text{ mm} \geq 8 \times 5 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} \geq 40 \text{ mm}$$

$$A_w = \sum a_w \times L_{eff}$$

$$A_w = 2 \times 0,5 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

$$A_w = 20 \text{ cm}^2$$

$$a \geq \frac{1 \times \sigma_{Ed} \times t}{\frac{\sqrt{2} \times f_w}{\gamma_{Mw}}}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{t \times b}$$

$$\sigma_{Ed} = \frac{250KN}{1,5cm \times 20cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 8,33KN/cm^2$$

$$0,5cm \geq \frac{1 \times 8,33KN/cm^2 \times 1,5cm}{\frac{\sqrt{2} \times 19KN/cm^2}{1,25}}$$

$$\underline{0,5cm \geq 0,37cm}$$

#### 4.4.2 Schritt Zwei - Nachweis der Schweißnaht

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \frac{F_{ed}}{A_w \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \frac{250KN}{20cm^2 \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = 8,845KN/cm^2$$

$$\sqrt{8,84KN/cm^2^2 + 3 \times (8,84KN/cm^2^2)} \leq \frac{19KN/cm^2}{1,25}$$

$$17,68 \geq 15,2$$

Das heißt, dass der Anschluss mit den gewählten Parametern nicht halten wird. Wir werden eine Neuwahl der Legierung durchführen.

#### Neuwahl:

Legierung Grundwerkstoff EN AW 7020 T6 nach DIN EN 199-1-1:2014-03 Tabelle 3.2

$$f_{u,haz} = 28KN/cm^2$$

Legierung Schweißzusatz EN AW 5356 Typ 5

$$f_w = 26KN/cm^2$$



Aufgrund dessen, dass die Überprüfung der Querschnittswerte mit der zuvor gewählten Legierung erfolgreich nachgewiesen wurde, ist sie mit der getroffenen Neuwahl offensichtlich nachgewiesen und es wird ab Schritt Zwei neu begonnen.

#### 4.4.3 Schritt Drei - Nachweis der Schweißnaht mit neu gewählter Legierung

$$\sqrt{\sigma_{\perp Ed}^2 + 3 \times (\tau_{\perp Ed}^2 + \tau_{\parallel Ed}^2)} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \frac{F_{ed}}{A_w \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = \frac{250 \text{KN}}{20 \text{cm}^2 \times \sqrt{2}}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \tau_{\perp Ed} = 8,845 \text{KN/cm}^2$$

$$\sqrt{8,84 \text{KN/cm}^2 + 3 \times (8,84 \text{KN/cm}^2)} \leq \frac{26 \text{KN/cm}^2}{1,25}$$

$$\underline{17,68 \text{KN/cm}^2 < 20,8 \text{KN/cm}^2}$$

$$\frac{17,68 \text{KN/cm}^2}{20,8 \text{KN/cm}^2} = 0,85\% \leq 1,0$$

Somit ist die Schweißnaht mit 0,85% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen

#### 4.4.4 Schritt Vier - Nachweis der WEZ

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} \leq \frac{f_{u,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} = \frac{F_{ed}}{A_w}$$

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} = \frac{250 \text{KN}}{20 \text{cm}^2}$$

$$\sigma_{\text{haz,Ed}} = 12,5 \text{KN/cm}^2$$

$$12,5 \text{KN/cm}^2 \leq \frac{28 \text{KN/cm}^2}{1,25}$$

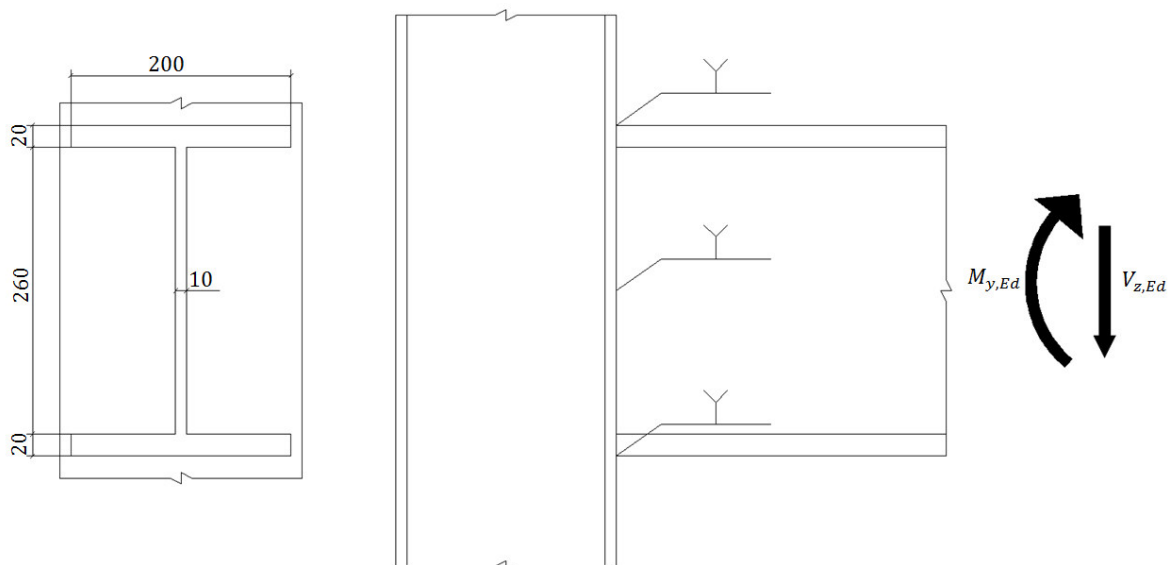
$$\underline{12,5 \text{KN/cm}^2 < 22,4 \text{KN/cm}^2}$$

$$\frac{12,5 \text{KN/cm}^2}{22,4 \text{KN/cm}^2} = 0,56\% \leq 1,0$$

Somit ist die WEZ zu 56% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen

Die Verbindungsmittel dieses Anschlusses sind damit erfolgreich nachgewiesen.

## 4.5 Nachweis einer Stumpfnah



### Gegeben:

- Ein Aluminiumprofil mit der Legierung EN AW 6082 T6 wird an eine ausreichend ausgesteifte Stütze mittels einer Stumpfnah vollflächig angeschweißt.

$$f_{u,haz} = 18,5 \text{KN/cm}^2$$

- Ein Schweißzusatzwerkstoff der Legierung EN AW 5356 Typ 5 wird verwendet

$$f_w = 21 \text{KN/cm}^2$$

- Das angewendete Schweißverfahren ist das MIG Verfahren
- Das belastende Moment  $M_{y,Ed}$  Beträgt  $130 \text{KNm}$
- Die belastende Querkraft  $V_{z,Ed}$  Beträgt  $160 \text{KN}$

### 4.5.1 Schritt eins - Ermittlung und Überprüfung der Querschnittswerte

$$a_{w,Flansch} = 2 \text{cm}$$

$$a_{w,Steg} = 1 \text{cm}$$

$$L_{eff,Flansch} = 20 \text{cm}$$

$$L_{eff,Steg} = 28 \text{cm}$$

$$A_w = a_w \times L_{eff}$$

$$A_{w,Flansch} = 2cm \times 20cm$$

$$A_{w,Flansch} = 40cm^2$$

$$A_{w,Steg} = 1cm \times 28cm$$

$$A_{w,Steg} = 28cm^2$$

$$I_w = \sum (I_{eigen} + A_w \times z^2)$$

$$I_w = 2 \times \left( \frac{20cm \times 2cm^3}{12} + (20cm \times 2cm) \times 14cm^2 \right) + \left( \frac{1cm \times 26cm^3}{12} \right)$$

$$I_w = 15706,7cm^4 + 1464,7cm^4$$

$$I_w = 17171,4cm^4$$

#### 4.5.2 Schritt Zwei - Nachweis der Stumpfnähte

In den folgenden Nachweisen wird die Belastung der Biegung nur den Flanschen, und die Belastung des Schubes nur dem Steg zugeteilt.

Nachweis der Flanschnaht:

$$\sigma_{\perp Ed} \leq \frac{f_w}{\gamma M_w}$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z$$

$$\sigma_{\perp Ed} = \frac{13000 \text{ KNcm}}{17171,4cm^4} \times 15cm$$

$$\sigma_{\perp Ed} = 11,35KN/cm^2$$

$$11,35KN/cm^2 \leq \frac{f_w}{\gamma M_w}$$

$$11,35KN/cm^2 \leq \frac{21KN/cm^2}{1,25}$$

$$\underline{11,35KN/cm^2 \leq 16,8KN/cm^2}$$

$$\frac{11,35KN/cm^2}{16,8KN/cm^2} = 0,68\% \leq 1,0$$

**Somit ist die Flanschnaht zu 68% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen.**

Nachweis der Stegnaht:

$$\tau_{Ed} \leq \frac{1 \times f_w}{\sqrt{3} \times \gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_{w,steg}}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{160KN}{28cm^2}$$

$$\tau_{Ed} = 5,7KN/cm^2$$

$$5,7KN/cm^2 \leq \frac{1 \times 21KN/cm^2}{\sqrt{3} \times 1,25}$$

$$\underline{5,7KN/cm^2 \leq 9,7KN/cm^2}$$

$$\frac{5,7KN/cm^2}{9,7KN/cm^2} = 0,59\% \leq 1,0$$

Somit ist die Stegnaht zu 59% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen.

Somit sind die Schweißnähte erfolgreich nachgewiesen.

### 4.5.3 Schritt Drei - Nachweis der WEZ

$$\sigma_{haz,Ed} \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\sigma_{haz,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_w} \times z$$

$$\sigma_{haz,Ed} = \frac{13000 KNcm}{17171,4cm^4} \times 15cm$$

$$\sigma_{haz,Ed} = 11,35KN/cm^2$$

$$11,35KN/cm^2 \leq \frac{f_{u,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$$11,35KN/cm^2 \leq \frac{18,5KN/cm^2}{1,25}$$

$$\underline{11,35KN/cm^2 \leq 14,8KN/cm^2}$$

$$\frac{11,35KN/cm^2}{14,8KN/cm^2} = 0,77\% \leq 1,0$$

$$\tau_{haz,Ed} \leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}}$$

$$\tau_{haz,Ed} = \frac{V_{z,ed}}{A_w}$$

$$\tau_{haz,Ed} = \frac{160KN}{28cm^2}$$

$$\tau_{haz,Ed} = 5,7KN/cm^2$$

$$5,7KN/cm^2 \leq \frac{f_{u,haz}/\sqrt{3}}{1,25}$$

$$5,7KN/cm^2 \leq \frac{18,5/\sqrt{3}}{1,25}$$

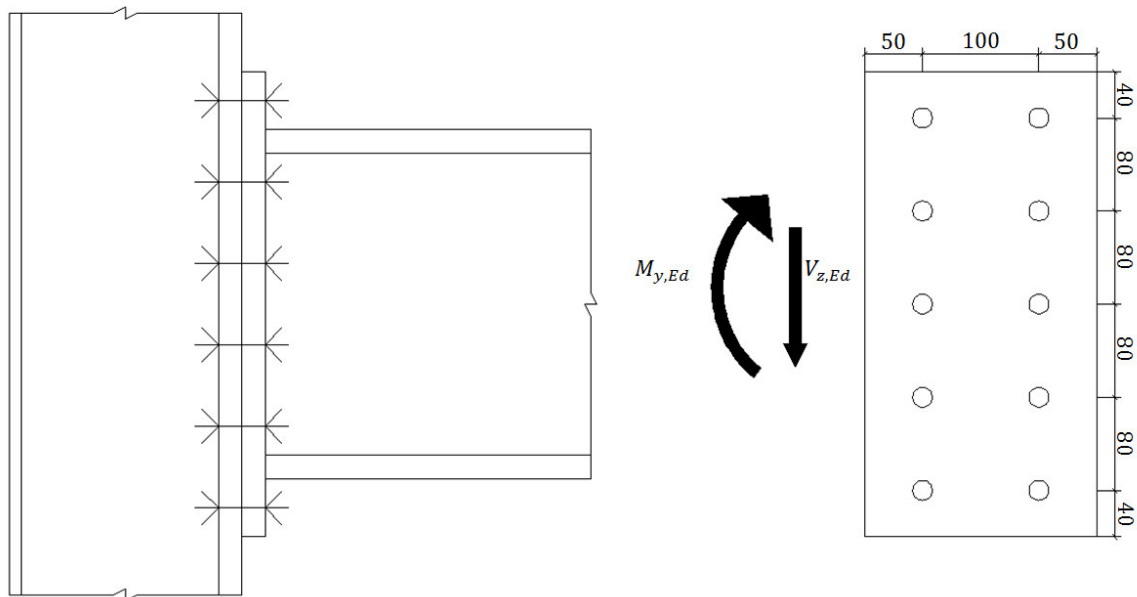
$$\underline{5,7KN/cm^2 \leq 8,5KN/cm^2}$$

$$\frac{5,7KN/cm^2}{8,5KN/cm^2} = 067\% \leq 1,0$$

**Somit ist die WEZ erfolgreich nachgewiesen.**

Die Verbindungsmittel dieses Anschlusses sind damit erfolgreich nachgewiesen.

## 4.6 Nachweis eines Stirnplattenanschlusses mit der Schraubekategorie C



In diesem Beispiel handelt es sich ausschließlich um die Schraubenverbindung und das Anwenden des T-Stummel Prinzips.

### Gegeben:

- Bemessungslasten;  $V_{z,Ed} = 180\text{KN}$ ;  $M_{y,Ed} = 120\text{KNm} = 20000\text{KNcm}$
- Stahlschrauben;  $10 \times M16 - 10.9$
- Lochdurchmesser;  $d_l = 17\text{mm}$
- Material der Kopfplatten und dem Strangpressprofil; EN AW 7020 T6
- 1 Scheibe Pro Mutter und Pro Kopf
- Dicke der Kopfplatte;  $t_{pl} = 20\text{mm}$
- Dicke des Stützenflansch;  $t_{sfl} = 20\text{mm}$
- Dicke des Riegeflansch;  $t_{rfl} = 20\text{mm}$
- Radius des Riegel;  $r = 15\text{mm}$

### 4.6.1 Schritt eins - Nachweis der Rand- und Lochabstände

$$e_1 = 40\text{mm} \geq 1,2 \times d_l = 1,2 \times 17\text{mm} = 20,4\text{mm}$$

$$e_1 = 40\text{mm} \leq 4 \times t + 40\text{mm} = 4 \times 25\text{mm} + 40\text{mm} = 140\text{mm}$$

$$p_1 = 80\text{mm} \geq 2,5 \times d_l = 2,5 \times 17\text{mm} = 42,5\text{mm}$$

$$p_1 = 80\text{mm} \leq 14 \times t = 14 \times 25\text{mm} = 350\text{mm}$$

$$e_2 = 50\text{mm} \geq 1,2 \times d_l = 1,2 \times 17\text{mm} = 20,4\text{mm}$$

$$e_2 = 50\text{mm} \leq 4 \times t + 40\text{mm} = 4 \times 25\text{mm} + 40\text{mm} = 140\text{mm}$$

$$p_2 = 100\text{mm} \geq 3 \times d_1 = 3 \times 17\text{mm} = 51\text{mm}$$

$$p_2 = 100\text{mm} \leq 14 \times t = 14 \times 25\text{mm} = 350\text{mm}$$

**Somit sind alle Schraubenabstände nachgewiesen.**

#### 4.6.2 Schritt Zwei - Berechnung der Vorspannkraft

$$F_{p,C} = 0,7 \times f_{ub} \times A_s$$

$$A_s = 1,57 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 100 \text{ KN/cm}^2$$

$$F_{p,C} = 0,7 \times 100\text{KN/cm}^2 \times 1,57\text{cm}^2$$

$$F_{p,C} = 109,8\text{KN}$$

#### 4.6.3 Schritt Drei - Berechnung der Zugkraft pro Schraube

- Es wird angenommen, dass die oberen Schrauben die volle Zugkraft  $F_{t,Ed}$  aufnehmen.

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{a * n_z}$$

$$a = 400\text{mm} \text{ (Hebelarm)}$$

$$n_z = 4 \text{ (Anzahl der auf Zug belasteten Schrauben)}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{12000\text{KNcm}}{40\text{cm} \times 4}$$

$$F_{t,Ed} = 75\text{KN}$$

#### 4.6.4 Schritt Vier - Nachweis der kombinierten Beanspruchung auf Zug und Abscheren

- Anzahl der Reibflächen  $n = 1$
- Reibbeiwerte  $\sum t = 20\text{mm} + 20\text{mm} = 40\text{mm}$ ;  $\mu = 0,4$
- Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_{M,slu} = \gamma_{M,2} = 1,25$

Grenzleitkraft der unteren Schrauben;

$$F_{s,Rd,Oben} = \frac{n \times \mu (F_{p,C} - 0,8 \times F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms}}$$

$$F_{s,Rd,Oben} = \frac{1 \times 0,4(109,8KN - 0,8 \times 75KN)}{1,25}$$

$$F_{s,Rd,Oben} = 16KN$$

Grenzleitkraft der oberen Schrauben;

$$F_{s,Rd,Unten} = \frac{n \times \mu}{\gamma_{Ms}} \times F_{p,C}$$

$$F_{s,Rd,Unten} = \frac{1 \times 0,4}{1,25} \times 109,8KN$$

$$F_{s,Rd,Unten} = 35KN$$

Aufnehmbare Querkraft

$$\sum F_{s,Rd} = 4 \times F_{s,Rd,Oben} + 6 \times F_{s,Rd,Unten}$$

$$\sum F_{s,Rd} = 4 \times 16KN + 6 \times 36KN$$

$$\sum F_{s,Rd} = 254KN$$

$$\underline{274KN \geq 180KN}$$

$$\frac{V_{z,Rd}}{\sum F_{s,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{180}{233} = 0,77\% \leq 1$$

Somit ist die Verbindung zu 0,77% ausgelastet und erfolgreich gegen Zug und Abscheren nachgewiesen.



### 4.6.5 Schritt Fünf - Nachweis auf Lochleibung

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}} \geq F_{v,Ed}$$

$$\alpha_{b,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \times d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{3}{3 \times 1,7} \\ \frac{100KN/cm^2}{35KN/cm^2} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,r} = \min \{0,58 \\ 2,85\}$$

$$\alpha_{b,r} = 0,58$$

$$\alpha_{b,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \times d_0} - \frac{1}{4} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{8}{3 \times 1,7} - \frac{1}{4} \\ \frac{100KN/cm^2}{35KN/cm^2} \end{array} \right.$$

$$\alpha_{b,i} = \min \{1,32 \\ 2,85\}$$

$$\alpha_{b,i} = 1,32$$

$$k_{1,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1,r} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,8 \times \frac{5}{1,7} - 1,7 \\ 2,5 \end{array} \right.$$

$$k_{1,r} = \min \{6,5 \\ 2,5\}$$

$$k_{1,r} = 2,5$$

$$k_{1,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \times \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right.$$

$$k_{1,i} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \times \frac{7}{1,7} - 1,7 \end{array} \right.$$

$$k_{1,i} = \min \{4,1 \\ 4,4\}$$

$$k_{1,i} = 2,5$$

Somit ergibt sich;

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \times \alpha_b \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \times 0,58 \times 35 \text{KN/cm}^2 \times 1,6 \text{cm} \times 2 \text{cm}}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 130 \text{KN}$$

Da es sich um eine einschnittige Verbindung handelt, muss die Lochleibungskraft die folgende Bedingung erfüllen:

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \times f_u \times d \times t}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} \leq \frac{1,5 \times 35 \text{KN/cm}^2 \times 1,6 \text{cm} \times 2 \text{cm}}{1,25}$$

$$130 \text{KN} \leq 134,4 \text{KN}$$

Kraft pro Lochleibung;

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{M_{y,Ed}}{z}\right)^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{n}\right)^2}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{\left(\frac{12000 \text{KNcmm}}{40 \text{cm}}\right)^2 + \left(\frac{180}{10}\right)^2}$$

$$F_{v,Ed} = 301 \text{KN}$$

$$F_{b,Rd} \geq F_{v,Ed}$$

$$130KN \times 10 \geq 301KN$$

$$\underline{1300KN \geq 301KN}$$

$$\frac{301KN}{1300KN} = 023\% < 1,0$$

**Somit ist die Verbindung zu 23% ausgelastet und erfolgreich gegen Lochleibung nachgewiesen.**

#### 4.6.6 Schritt Sechs - Nachweis der Nettoquerschnittsfläche

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$$

$$A_{net} = t \times (b - 2d)$$

$$A_{net} = 2cm \times (20cm - 2 \times 1,7cm)$$

$$A_{net} = 33,2cm^2$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \times 33,2cm^2 \times 35KN/cm^2}{1,25}$$

$$N_{net,Rd} = 836,6KN$$

$$N_{net,Rd,ser} = \frac{A_{net} \times f_o}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{net,Rd,ser} = \frac{33,2cm^2 \times 29KN/cm^2}{1,1}$$

$$N_{net,Rd,ser} = 875,3KN$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$$

$$F_{v,Ed} = 301KN$$

$$\underline{301KN \leq 836,6KN}$$

$$\frac{301KN}{836,6KN} = 0,36\% \leq 1,0$$

$$\sum F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd,ser}$$

$$301KN \leq 875,3KN,$$

$$\frac{301KN}{875,3KN} = 0,34\% \leq 1,0$$

Die Verbindung ist zu 36% ausgelastet und somit erfolgreich nachgewiesen.

#### 4.6.7 Schritt Sieben - Nachweis gegen Durchstanzen

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{M2}} \geq F_{t,Ed}$$

$$d_m = \frac{e + s}{2}$$

$$d_m = \frac{29,95mm + 27mm}{2}$$

$$d_m = 22,95 \text{ mm} = 2,9cm$$

e Eckmaß des Schraubenkopfes

s Schlüsselweite des Schraubenkopfes

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times 2,9cm \times 2cm \times 35KN/cm^2}{1,25}$$

$$B_{P,Rd} = 306,1KN \geq F_{t,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{4 \times a}$$

$$382,6KN \geq \frac{12000KNcm}{40cm \times 4}$$

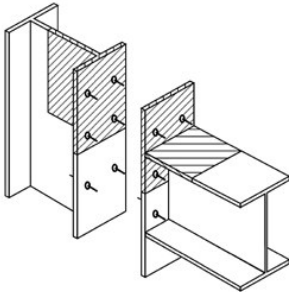
$$306,1KN \geq 75$$

$$\frac{75KN}{306,1KN} = 0,25\% \leq 1,0$$

Die Verbindung ist zu 25% ausgelastet und somit erfolgreich gegen Durchstanzen nachgewiesen.

## 4.6.8 Nachweis des T-Stummel

### 4.6.8.1 Querschnittswerte des T-Stummel



a)

Dabei ist

a) Unausgesteifte Riegel-Stützenverbindung

$$L_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2m + 0,625e + 0,5p \\ e_1 + 0,5p \end{array} \right.$$

$$L_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2 \times 3,3cm + 0,625 \times 5 + 0,5 \times 8 \\ 4 + 0,5 \times 8 \end{array} \right.$$

$$L_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} 13,7cm \\ 8cm \end{array} \right.$$

$$L_{eff} = 8cm$$

$$\sum L_{eff} = 3 \times 8cm$$

$$\sum L_{eff} = 24cm$$

### 4.6.8.2 Berechnung der Beiwerte

$$\frac{1}{k} = \frac{f_o}{f_u} \times \left( 1 + \Psi \times \frac{f_u - f_o}{f_o} \right)$$

$$\Psi = \frac{\varepsilon_u - 1,5 \times \varepsilon_o}{1,5 \times (\varepsilon_u - \varepsilon_o)}$$

$$\varepsilon_o = \frac{f_o}{E}$$

$$\varepsilon_o = \frac{280 \text{ N/mm}^2}{70000 \text{ N/mm}^2}$$

$$\varepsilon_o = 4 \times 10^{-3}$$

$$\Psi = \frac{\varepsilon_u - 1,5 \times \varepsilon_o}{1,5 \times (\varepsilon_u - \varepsilon_o)}$$

$$\Psi = \frac{7 - 1,5 \times 4 \times 10^{-3}}{1,5 \times (7 - 4 \times 10^{-3})}$$

$$\Psi = 0,67$$

$$\frac{1}{k} = \frac{280 \text{ N/mm}^2}{350 \text{ N/mm}^2} \times \left( 1 + 0,67 \times \frac{350 \text{ N/mm}^2 - 280 \text{ N/mm}^2}{280 \text{ N/mm}^2} \right)$$

$$\frac{1}{k} = 0,94$$

$$B_o = 90 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sum B_u = \min \left\{ \begin{array}{l} B_{P,Rd} \\ F_{t,Rd} \end{array} \right.$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \times f_{ub} \times A_0}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \times 100 \text{ KN/cm}^2 \times 2,01 \text{ cm}^2}{1,25}$$

$$F_{t,Rd} = 145 \text{ KN}$$

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$B_{P,Rd} = \frac{0,6 \times \pi \times 2,9 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm} \times 35 \text{ KN/cm}^2}{1,25}$$

$$B_{P,Rd} = 382,6 \text{ KN}$$

$$\sum B_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 382,6 \times 6 \\ 145 \times 6 \end{array} \right.$$

$$\sum B_u = \min \left\{ \begin{array}{l} 2296 \text{ KN} \\ 870 \text{ KN} \end{array} \right.$$

$$\sum B_u = 870 \text{ KN}$$

$$F_{u,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{a}$$

$$a = 400 \text{ mm (Hebelarm)}$$

$$F_{u,Ed} = \frac{12000 \text{ KNcm}}{40 \text{ cm}}$$

$$F_{u,Ed} = 300 \text{ KN}$$

**Stütze;**

$$M_{u,1} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff1} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

$$M_{u,1} = 0,25 \times 2^2 \times (24cm \times 1 \times 35 KN/cm^2) \times 0,94 \times \frac{1}{1,25}$$

$$M_{u,1} = 631,7KNcm$$

$$M_{u,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff1} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

$$M_{u,2} = 0,25 \times 2^2 \times (24cm \times 1 \times 35 KN/cm^2) \times 0,94 \times \frac{1}{1,25}$$

$$M_{u,2} = 631,7KNcm$$

$$M_{o,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff2} \times p_{u,haz} \times f_o) \times \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{o,2} = 0,25 \times 2^2 \times (24cm \times 1 \times 28 KN/cm^2) \times 0,94 \times \frac{1}{1,25}$$

$$M_{o,2} = 505,3KNcm$$

**Riegel;**

$$M_{u,1} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff1} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

$$M_{u,1} = 0,25 \times 2^2 \times (24cm \times 0,8 \times 35 KN/cm^2) \times 0,94 \times \frac{1}{1,25}$$

$$M_{u,1} = 505,3KNcm$$

$$M_{u,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff1} \times p_{u,haz} \times f_u) \times \frac{1}{k} \times \frac{1}{\gamma_{M2}}$$

$$M_{u,2} = 0,25 \times 2^2 \times (24cm \times 0,8 \times 35 KN/cm^2) \times 0,94 \times \frac{1}{1,25}$$

$$M_{u,2} = 505,3KNcm$$

$$M_{o,2} = 0,25 \times t_f^2 \times \sum (l_{eff2} \times p_{u,haz} \times f_o) \times \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{o,2} = 0,25 \times 2^2 \times (24cm \times 0,8 \times 28 KN/cm^2) \times 0,94 \times \frac{1}{1,25}$$

$$M_{o,2} = 404,3KNcm$$

**4.6.8.3 Nachweisführung des Riegel**

Modus 2a;

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{u,2}) + n \times \sum B_o}{m + n}$$

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (505,3KNcm) + 5cm \times (6 \times 90KN/cm^2)}{4,5cm + 5cm}$$

$$F_{u,Ed} = 300KN \leq F_{u,Rd} = 390,6KN$$

$$\underline{300KN \leq 390,6KN}$$

Modus 2b;

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} \equiv \frac{2 \times (M_{o,2}) + n \times \sum B_o}{m + n}$$

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} \equiv \frac{2 \times (404,3KNcm) + 5cm \times (6 \times 90KN/cm^2)}{4,5cm + 5cm}$$

$$F_{u,Ed} = 300KN \leq F_{u,Rd} = 369,3KN$$

$$\underline{300KN \leq 369,3KN}$$

Modus 3

$$F_{u,Rd} = \min \left\{ \frac{2 \times M_{u,1}}{\sum B_u} \right.$$

$$F_{u,Rd} = \min \left\{ \frac{2 \times 505,3}{3,3} \right.$$

$$F_{u,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} 306 \\ 870 \end{array} \right.$$

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd}$$

$$\underline{300KN \leq 306KN}$$

$$\frac{300KN}{306KN} = 0,98\% \leq 1,0$$

**Somit ist der Riegel zu 0,98% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen.**



**4.6.8.4 Nachweis der Stütze**

Modus 2a;

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (M_{u,2}) + n \times \sum B_o}{m + n}$$

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} = \frac{2 \times (631,7KNcm) + 5cm \times (6 \times 90KN/cm^2)}{4,5cm + 5cm}$$

$$F_{u,Ed} = 300KN \leq F_{u,Rd} = 417,2KN$$

$$\underline{300KN < 417,2KN}$$

Modus 2b;

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} \equiv \frac{2 \times (M_{o,2}) + n \times \sum B_o}{m + n}$$

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd} \equiv \frac{2 \times (505,3KNcm) + 5cm \times (6 \times 90KN/cm^2)}{4,5cm + 5cm}$$

$$F_{u,Ed} = 300KN \leq F_{u,Rd} = 390,6KN$$

$$\underline{300KN < 390,6KN}$$

Modus 3

$$F_{u,Rd} = \min \left\{ \frac{2 \times M_{u,1}}{\sum B_u} \right.$$

$$F_{u,Rd} = \min \left\{ \frac{2 \times 631,7}{3,3} \right.$$

$$F_{u,Rd} = \min \left\{ \frac{382,8}{870} \right.$$

$$F_{u,Ed} \leq F_{u,Rd}$$

$$\underline{300KN < 382,8KN}$$

$$\frac{300KN}{382,8KN} = 0,78\% \leq 1,0$$

**Somit ist die Stütze zu 0,78% ausgelastet und erfolgreich nachgewiesen.**

Die Verbindungsmittel dieses Anschlusses sind damit erfolgreich nachgewiesen.

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Wie den vorangegangenen Beispielen zu entnehmen, hat im Aluminiumbau die sorgfältige Auswahl der miteinander zu verbindenden Legierungen eine hohe Einflussnahme auf die gesamte Verbindung.

Die unterschiedlichen Festigkeitswerte der Legierungen dürfen ebenso wenig wie die Wirtschaftlichkeit außer Acht gelassen werden und es bedarf einer Ausgewogenheit dieser zwei Komponenten. Durch das Schweißen der Verbindungen entfestigt der Werkstoff in der Wärmeeinflusszone was ein deutlicher Nachteil gegenüber geschraubter oder genieteter Verbindungen ist. Dieser Nachteil kann natürlich, wie auch angewendet in den von mir gezeigten Beispielen, durch die Wahl einer höheren Legierung kompensiert werden. Fälschlicherweise erscheint dies im ersten Moment als eher geringfügiges Problem, jedoch bringt es folgende Problematiken mit sich. Der ganze Prozess zur Herstellung der zu verbinden Produkte wird aufgrund der höheren Legierungen weitaus umfangreicher und die anfallenden Kosten steigen.

Obwohl Aluminium im Volksmund auch das Material mit der unbegrenzten Formbarkeit genannt wird (mit dem Prozess des Strangpressen können die Unterschiedlichsten Formen entstehen), sind die Legierungen welche sich zum Strangpressen eignen, einen hohen Umformgrad sowie hohe Pressgeschwindigkeiten aufweisen auf Grund ihrer spezifischen Eigenschaften begrenzt.

In der Abbildung 5-39 werden nicht alle Konstruktionslegierungen nach DIN EN 1999-1-1:2014-03 Tabelle 3.2 angezeigt, sondern nur die Legierungen die sich auch im Strangpressprozess verarbeiten lassen. Des Weiteren wird in der Abbildung die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Legierungen beim Strangpressen dargestellt. Die weiteren Legierungen die in der Tabelle 3.2 der DIN EN 1999-1-1:2014-03 angegeben sind lassen sich nur in Form von Bändern und Blechen herstellen.

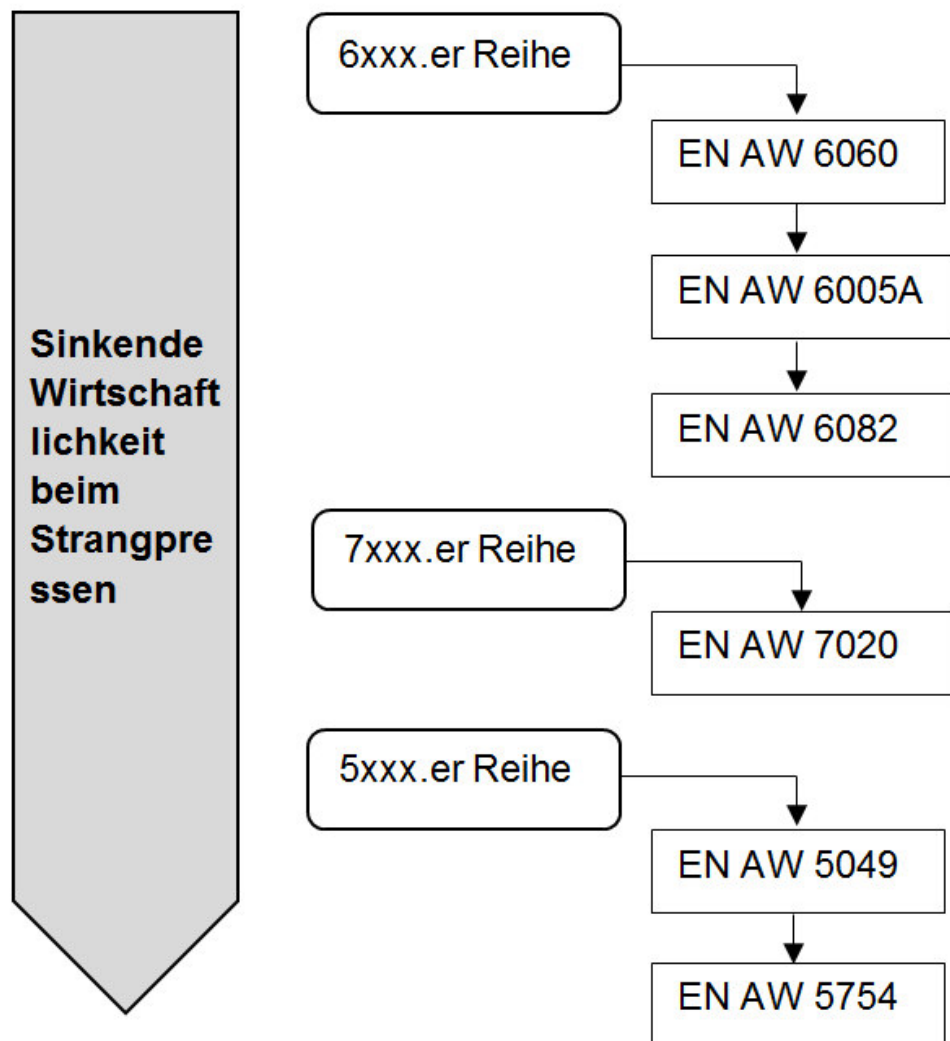
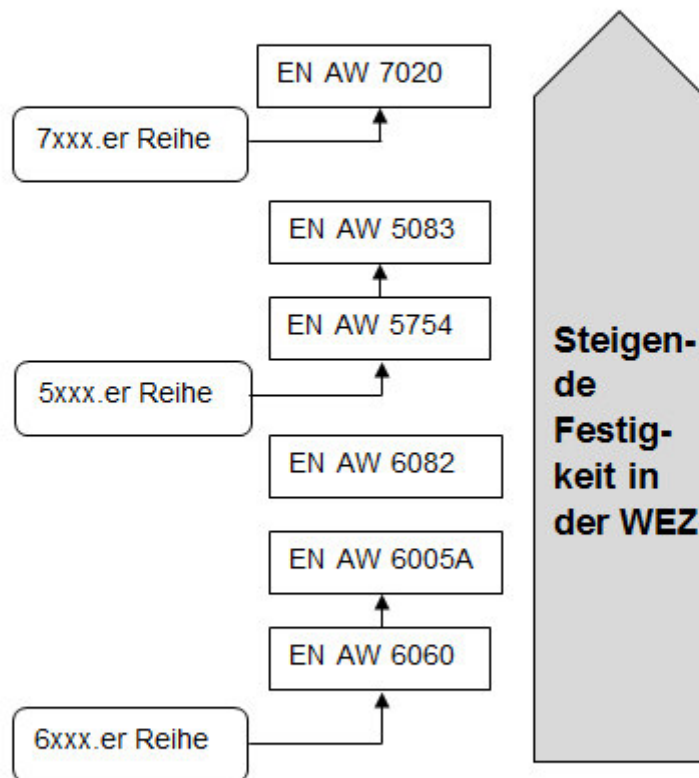


Abbildung 5-5-41: Wirtschaftlichkeit beim Strangpressen



**Abbildung 5-42: Steigende Festigkeit in der WEZ bei Strangpressprofilen**

Somit stellen wir fest, dass Entfestigen der WEZ in den Verbindungen im Aluminiumbau in Folge von Schweißarbeiten keine unlösbare Problematik darstellt, sondern eine Frage der Wirtschaftlichkeit zufolge hat. Denn nicht nur die Wahl der Legierung des Grund- und Zusatzwerkstoff und die Herstellung des Profils sind aufwendig, sondern auch die Herstellung der Verbindung mittels Schweißen ist weitaus umfangreicher in ihrer Umsetzung als eine vergleichbare Verbindung durch Schrauben, Nieten oder Bolzen.

Beim Schweißen von Aluminiumverbindungen müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Der Werkstoff muss schweißgeeignet sein und darf daher nicht zu Heißrissbildung neigen.
- Es muss die notwendige Festigkeit erreicht werden, ein benötigtes Umformvermögen gewährleistet und ein ausreichende Korrosionsbeständigkeit gegeben sein.

- Die durch das Schweißen eingebrachte Wärme führt je nach Werkstoff und Energie zu einer Entfestigung der Wärmeeinflusszone.
- Es hat eine hohe Affinität zum Sauerstoff, was die Bildung einer mehr oder weniger stark ausgeprägten Oxidhaut zu Folge hat.
- Es hat eine höhere Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnung was hohe Schrumpfspannungen zu Folge hat.

Die vorangegangenen Aufzählungen sollen aufzeigen, dass eine Änderung der Legierung nicht zwingend erforderlich ist, sondern dass auch die Möglichkeit einer Veränderung der Querschnittswerte der Schweißnaht bestünde. Problematisch hierbei wären die oben aufgezählten Punkte, die bei der Umsetzung ausreichend beachtet werden müssten um eine Verbindung erfolgreich bemessen und nachweisen zu können.

Dadurch, dass bei einer Schweißverbindung die Wärmeeinflusszone großen Einfluss auf die gesamte Tragfähigkeit der verbundenen Querschnitte hat, bringt in den meisten Fällen eine Schraub- oder eine Nietverbindung weniger aufwendige Vorbereitung mit sich.

Beim Bemessen solch einer Verbindung, kann die Problematik wie im Beispiel 4.1 auftreten. In diesem Fall wurde die Festigkeitsklasse der Schraube zu gering gewählt, sodass sie den belastenden Kräften nicht standhalten konnten. Dies könnte man jedoch durch die Wahl von Schrauben einer höheren Festigkeitsklasse kompensieren.

Schlussfolgernd ist zu sagen, dass sich im Vorfeld umfassende Gedanken über das Bauwerk und seine Anschlüsse gemacht werden sollten, damit die passende und wirtschaftlichste Verbindung erfolgreich angewendet werden kann. Schweißverbindungen sind unter Berücksichtigung alle notwendigen Aspekte demnach umsetz- und anwendbar.

## 6 Abschluss

Diese Bachelorarbeit hat gezeigt wie weitreichend die mechanischen Einflüsse im Aluminiumbau hinsichtlich ihrer Auswirkung auf das Tragverhalten der Bauwerke und Ihrer Verbindungen sind. Die Anforderungen die daraus an den Tragwerksplaner gestellt werden, erfordern umfangreiche Kenntnisse in vielen Bereichen (von der Werkstoffkunde über die Bemessung des Aluminiumbaus).

Der technische Fortschritt und die damit verbundenen sinkenden Produktionskosten bei steigender Durchführbarkeit führen dazu, dass der Aluminiumbau aus dem heutigen Bauwesen nicht mehr wegzudenken ist. Architekten und Tragwerksplaner greifen auch durch die detaillierten Regelungen innerhalb des Eurocode-Programms immer öfter auf Konstruktionen aus Aluminium zurück.

Der Tragwerksplaner soll mit Hilfe dieser Bachelorarbeit und den durch das Lesen erworbenen Kenntnissen und Beispielen in der Lage sein, zu Erkennen wie er einen Möglichst großen Nutzen durch die Anwendung von Aluminiumlegierungen als Konstruktionswerkstoff bekommt. Des Weiteren soll er in der Lage sein die anfallenden Schwächen des Werkstoffs in den Verbindungen zu erkennen und sorgsam damit umzugehen um ein Erfolgreiches Ergebnis in der Bemessung und der Nachweisführung zu erzielen.

Ein Zusammenspiel aller Aspekte ist nahezu unmöglich. Mit Hilfe des in dieser Bachelorarbeit abgebildeten Leitfadens ist es einem Tragwerksplaner möglich mit allen dazugehörigen Informationen die bestmöglichen Verbindungsmittel in seine Tragwerksplanung einzubringen und erfolgreich zu Bemessen

## Literatur

- [1] Professor Dr.-Ing. Günther Valtinat: Aluminium im Konstruktiven Ingenieurbau: Bauingenieur-Praxis: Ernst und Sohn Verlag, 2003
  
- [2] Dipl.-Ing. Wolfgang W. Seidel, Prof. Dr.-Ing. Frank Hahn, Prof. Dr.-Ing. Bernd Thoden: Werkstofftechnik: Werkstoffe – Eigenschaften – Prüfung – Anwendung: 8., neu bearbeitete Auflage, Carl Hanser Verlag München, 2010
  
- [3] Schneider: Bautabelle für Ingenieure: mit Berechnungshinweisen und Beispielen: 20 Auflage; Werner Verlag
  
- [4] Unterlagen der GSI SLV Hauptgebiet 2 Abschnitt 2.20 Aluminium und Aluminiumlegierungen

## Normen

- DIN EN 1999-1-1 Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken: Allgemeine Bemessungsregeln, 2014-03
- DIN EN 1999-1-1/NA Nationaler Anhang zum Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken Teil 1-1 Allgemeine Bemessung, Deutschland, 2013-05
- DIN EN 1090-3 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken, 2008-09
- DIN EN 1993-1-1 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, Deutsche Fassung
- DIN EN 1990-3 Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken



## Programme

- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010
- Autodesk AutoCAD 2010

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hennef, den 09.Oktober.2015

Marcel Convent