



Daniel Burkert

„Literaturrecherche und Anwendungsmöglichkeiten  
zur Verwendung von Langlöchern im Stahlbau,  
längs zur Krafrichtung“

„Literature search and application possibilities  
for the use of long holes in the steel construction,  
along to the strength direction“

eingereicht als

Bachelorarbeit

an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA**  
**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

Fakultät Stahl- und Metallbau

Mittweida, den 30.06.2015

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. M.Rahal

Zweitprüfer: Dr. R.Taupitz

## Bibliographische Beschreibung

Burkert, Daniel:

Literaturrecherche und Anwendungsmöglichkeiten zur Verwendung  
von Langlöchern im Stahlbau, längs zur Krafrichtung

Erscheinungsjahr 2015 / 103 Seiten, Mittweida, Hochschule Mittweida,

Fachbereich Stahl- und Metallbau

Sprache: deutsch

Bachelorarbeit, 30.06.2015

## Referat:

Die Bachelorthesis hat das Ziel, zu untersuchen welche technischen Regeln und Anwendungsrichtlinien zur Verwendung von Langlöchern, im Allgemeinen, sowie im speziellen für Langlöcher parallel in Krafrichtung, im Stahlbau vorliegen.

Das Ergebnis der Recherche und Untersuchung soll sein Anwendungsmöglichkeiten und Verfahrensweisen für die Verwendung von Langlöchern, speziell längs zur Krafrichtung, aufzuzeigen und zu erarbeiten, da die Verwendung von Langlöchern im Stahl- Metallbau die Montage von Bauwerken vereinfacht und diese dadurch wirtschaftlich und effizienter gestellt werden können.

## Inhaltsverzeichnis:

	Seite	
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	
1.1	Themenerarbeitung	6
1.2	Zielsetzung der Bachelorarbeit	7
1.3	Aufbau der Bachelorarbeit	7
1.4	Abgrenzung der Bachelorarbeit	7
1.5	Verwendete Formelzeichen	8
1.6	Verwendete Abkürzungen / Fußnoten	11
<b>2.</b>	<b>Grundlagen und Technische Regeln</b>	
2.1	Aufbau und Gegebenheiten bei Schraubverbindungen	12
2.1.1	Formschluss	12
2.1.2	Kraftschluss	13
2.2	Eurocode	15
2.3	Nachweiskonzept Eurocode	16
2.4	Einteilung Schraubenverbindung	18
2.4.1	Kategorie A Scher- / Lochleibungsverbindungen	19
2.4.2	Kategorie B Gleitfeste Verbindungen im GZG	19
2.4.3	Kategorie C Gleitfeste Verbindungen im GZT	20
2.4.4	Kategorie D - Zugverbindung nicht vorgespannt	22
2.4.5	Kategorie E - Zugverbindung vorgespannt	23
2.5	Langlochverbindungen	24
2.6	Hybridverbindungen	
2.6.1	Sicherung durch Verschweißen	24
2.6.2	Sicherung durch Verkleben	25
2.6.3	Sicherung durch Herstellung von Schlupffreiheit mit Injektionsharz	25
2.7	Konstruktive Maßnahmen	
2.7.1	Grundmaterialeinsätze	26
2.7.2	Justierschrauben (definierte Kraftrichtung)	27
2.7.3	Verkeilung / Verzahnung	27
2.7.4	Verbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben	28

---

3.	Untersuchungen zu Langlochverbindungen	
3.1	Recherchen bezüglich Konstruktiver Grundlagen	
3.1.1	DIN EN 1090-2	30
3.1.2	DIN EN 18800-7	30
3.1.3	DIN EN 1993-1-8	31
3.1.4	DAST - Richtlinie 023 Langlochverbindungen mit Schrauben	31
3.1.5	DIN EN 1993-1-9	32
3.1.6	DIN EN 1090-3 (Aluminium)	32
3.1.7	Bericht Nr. 132 / GAV-Nr. FG 25	32
3.1.8	Arbeitshilfe 5.2	33
3.1.9	Verformungskegel / Druckflächen	34
3.1.10	Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn	34
3.1.11	Zusammenfassung Konstruktive Grundlagen	34
3.2	Weitere Bemessungsrelevante Grundlagen	
3.2.1	DIN EN 1993-1-8	36
3.2.2	DIN EN 1993-1-1	38
3.2.3	Lochleibungseffekt	38
3.3	Schraubverbindungen	
3.3.1	Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn	39
3.3.2	ESDEP (European Steel Design Education Programme)	39
3.3.3	DIN EN 1090-2	40
3.3.4	DIN EN 1993-1-8	40
3.3.5	DIN EN 1993-1-8 / NA	43
3.4	Kontaktflächen Haftreibungswerte	
3.4.1	DIN EN 1090-2	43
3.4.2	DIN EN 1993-1-8	43
3.4.3	Bericht Nr. 132 / GAV-Nr. FG 25	44
3.5	Vorspannkraftverluste DIN EN 18800-7	45
3.6	Injektionsschraubverbindungen (besondere Verbindungsmittel)	
3.6.1	DIN EN 1993-1-8	45
3.6.2	DIN EN 1090-2	47
3.6.3	Scherverbindungen mit Injektionsschrauben	47
3.6.4	Zusammenfassung Injektionsschraubverbindung	48

3.7	Schweißverbindungen DIN EN 1993-1-8	48
3.8	Klebeverbindungen	
3.8.1	Kleben von Stahl und Edelstahl Rostfrei / MB 382	49
3.8.2	Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn	51
3.8.3	Berechnung von Klebeverbindungen	52
3.8.4	Kleben im Stahlbau / J.Meinz	52
3.8.5	Zusammenfassung Kleben	56
3.9	Hertzsche Pressung Zylinder / Ebene	57
3.10	Berechnungsprogramme	57
	Literatur und Quellenverzeichnis	58
	Weiterführende Literatur	63
	Bildnachweise	67
<b>Anlagen</b>		
A	1. Konstruktive Empfehlungen	71
	2. Biegebeanspruchung Schrauben	
	3. Pressflächenermittlung Auslagerungsträger	
B	Hybridverbindung - Schweißen	77
C	Hybridverbindung - Kleben	80
D	Hybridverbindung - Injektionsharz	84
E	Grundmaterialeinsätze	88
F	Justierschrauben mit definierter Krafrichtung	91
G	Verkeilung/Verzahnung	94
H	Verbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben	97
	1. Verbindungen nach Kategorie B (GZG)	
	2. Verbindungen nach Kategorie C (GZT)	
	3. Auslagerungsträger	
	Eidesstattliche Erklärung	103

# 1. Einleitung

## 1.1. Themenerarbeitung

Im Stahl- und Metallbau kommt es bei Konstruktionen und Bauwerken immer wieder zu Differenzen zwischen der Statik und technischen Dokumentationen mit ihren Idealabmessungen und –maßen und den Bautoleranzen, Klimaeinflüsse, Baugrundbeschaffenheiten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist auch der Wunsch nach Vereinfachung des Montageaufwandes.

Da nicht jede Metallkonstruktion als Gesamtwerk vorgefertigt und transportiert werden kann, bedarf es im Stahl und Metallbau einfacher anzuwendender Verbindungsmöglichkeiten für kleine Stahl- und Metallbaugruppen. Schraubverbindungen sind hierfür sehr geeignet. Während für die Statik ein Lochspiel gleich Null von Vorteil ist, kann es für die Montage nicht groß genug sein, da gerade im Baubereich Rohbauwerke mit größeren Toleranzen, als im Stahlbau angewandt, gearbeitet wird.

Um die Anwendbarkeit von Schraubverbindungen zu vereinfachen, sind in den Regeln der Technik, Eurocode 3 / DIN-EN 1993-1-8 und DIN-EN 1090-2, Verfahrensweisen und Richtlinien, zu finden. Hierbei könnten Langlöcher für den Ausgleich von Bautoleranzen, eine verbindungstechnische Lösung darstellen.

Auf Grund der Geometrie von Langlöchern und dem daraus resultierenden differenten Tragverhalten im Vergleich zu Löchern, gestalten sich die rechnerischen Nachweise der Verbindung deutlich schwieriger.

Dabei führen Versuche und Abnahmen im Einzelfall, auf Grundlage der gängigen Regeln der Technik, durchaus zum gewünschten Ergebnis, sind aber meist schwer reproduzierbar und daher nicht allgemeingültig anwendbar.

Hier einen anwenderfreundlichen und einfach zu realisierenden Lösungsansatz zu finden, soll das Ziel dieser Bachelorthesis sein.

## 1.2. Zielsetzung der Bachelorarbeit

Im Rahmen dieser Bachelorthesis erfolgt eine Untersuchung der bestehenden Technischen Regeln und Anwendungsrichtlinien zur Verwendung von Langlöchern, im Allgemeinen, sowie im Speziellen für Verbindungen mit Langlöchern parallel zur Krafrichtung. Im Ergebnis dieser Untersuchung sollen hierbei Verfahrensweisen für die Verwendung und Auslegung von Langlöchern parallel zur Krafrichtung erarbeitet und sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, um dadurch Verbindungen im Stahl- und Metallbau wirtschaftlich und effizienter gestalten zu können.

## 1.3. Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Bachelorthesis wird hauptsächlich in drei Teile gegliedert.

Im ersten Teil werden

die Grundlagen von Schraubverbindungen,

die geltenden Technischen Regeln,

die Schraubverbindungen und Langlochverwendung

im Allgemeinen und die dabei auftretenden technischen Sachverhalte zueinander betrachtet.

Im zweiten Teil der Bachelorthesis erfolgt darauf aufbauend, eine Aufstellung und Analyse der Essenz aus der Literatur- und Internetrecherche.

Der dritte Teil befasst

sich mit den einzelnen Anwendungsmöglichkeiten und Verfahren.

## 1.4. Abgrenzung der Bachelorarbeit

Die Thesis beschränkt sich auf die theoretische Betrachtung des Themas.

Technische Versuche mittels Prüfständen und Erprobungsreihen die zu Untermauerung der erarbeiteten Grundlagen dienen könnten, werden auf Grund der Komplexität und der stofflichen Menge des Themengebietes im Rahmen dieser Thesis nicht durchgeführt werden.

Weiterhin wird in dieser Bachelorthesis auf den Sachverhalt der Schraubennormung und Verwendung nicht explizit eingegangen. Alle Betrachtungen in dieser Thesis erfolgen auf Grundlage üblichen Stahlbau Materialdicken ab  $t = 4$  mm aufwärts.

Die Benennung und Erläuterungen der Schraubverbindungskategorie D und E sind aufgrund der Komplettübersicht mit aufgeführt.

Eine nähere Betrachtung erfolgt im Zuge dieser Bachelorarbeit nicht.

## 1.5. Verwendete Formelzeichen

Formelzeichen		Einheiten
$\beta$	Beiwert Verhältnis Blechdicken verbundener Bleche (allg.)	
$\beta_L$	Abmessungsverhältnis Gesamtdicke/Scheibendurchmesser	
$l_k$	Gesamtdicke Schraubverbindung / Verspannungsdicke	mm
$d_w$	Scheibendurchmesser Schraube	mm
$y$	Abmessungsverhältnis Randabstand / Scheibendurchmesser	
$D_A''$	doppelter kleinsten Randabstand oberhalb der Trennfuge	mm
$F_{v,Ed}$	Einwirkende Abscherkraft	kN
$F_{v,Rd}$	Grenzabscherkraft	kN
$F_{b,Rd}$	Grenzlochleibungskraft	kN
$F_{v,Ed,ser}$	Einwirkende Gleitkraft im GZG	kN
$F_{s,Rd,ser}$	Grenzgleitwiderstand im GZG	kN
$F_{s,Rd}$	Grenzgleitkraft	kN
$N_{net,Rd}$	$= 0,9 * A_{net} * f_u / \gamma_{M2}$ Grenzzugkraft des Nettoquerschnitts	kN
$A_{net}$	Nettoquerschnitt	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
$A_S$	Spannungsquerschnittsfläche Schraube (Schraubenschaft)	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
$f_u / f_{ud}$	(Zug) Festigkeit (Schrauben)Werkstoff / charakteristische	$\frac{N}{mm^2}$
$f_y / f_{yd}$	Streckgrenze Werkstoff / charakteristische	$\frac{N}{mm^2}$
$\gamma$	Teilsicherheitsbeiwert (allgemein)	
$F_{t,Ed}$	Zugkraft	kN
$F_{t,Rd,ser}$	Zugkraft	kN
$F_{t,Rd}$	Grenzzugkraft	kN
$B_{p,Rd}$	Grenzdurchstanzkraft	kN
$F_{p,C} / F_{p,Cd}$	(Mindest) Vorspannkraft	kN
$F_{p,C}^*$	Abgeminderte Vorspannkraft	kN
$t / t_p$	Dicke Material	mm/cm



---

$d$	Durchmesser (Schaft der Schraube ohne Gewinde)	mm/cm
$\beta_p$	Abminderungsbeiwert für $F_{v,Rd}$ bei Futterblechen $\frac{1}{3}d$	
$F_{b,Rd,rsin}$	Lochleibungstragfähigkeit Injektionsharz	kN
$f_{b,rsin}$	Festigkeit Injektionsharz (Herstellerangabe)	N
$t_{b,rsin}$	effektive Lochleibungsdicke bei Injektionsschrauben	mm
$k_t$	Beiwert für GZG / GZT bei Injektionsschrauben	
$k_s$	Beiwert	
$m$	Differenz Lochspiel bei Injektionsschrauben	mm
$\beta_{Lf}$	Abminderungsbeiwert Lange Anschlüsse in Krafrichtung	
$L_j$	Abstand zwischen ersten und letzten VM langer Anschluss	mm
$\mu$	Reibzahl	
$n$	Anzahl	
$N_{Ed}$	Einwirkende Normalkraft	kN
$V_{Ed}$	Einwirkende Querkraft / Vertikalkraft	kN
$A_{nv}$	schubbeanspruchte Netto-Querschnittsfläche	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
$A_{nt}$	zugbeanspruchte Netto-Querschnittsfläche	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
$V_{eff,1,Rd}$	Widerstand Blockversagen symmetrische Anordnung	kN
$V_{eff,2,Rd}$	Widerstand Blockversagen exzentrische Anordnung	kN
$N_{u,Rd}$	Tragfähigkeit effektiven Nettoquerschnitt	kN
$\beta_w$	Korrelationsbeiwert Schweißnahtberechnung	
$F_{w,Ed}$	einwirkenden Kräfte auf Schweißnaht je Längeneinheit	kN
$F_{w,Rd}$	Tragfähigkeit der Schweißnaht je Längeneinheit.	kN
$f_{vw,d}$	Scherfestigkeit der Schweißnaht	$\frac{kN}{cm^2}$
$N_{net,Rd}$	Bemessungswert der Zugtragfähigkeit	kN
$M_{A,handfest}$	Schrauben Anziehmoment (Handfest)	Nm
$M_{A,Soll}^*$	Anziehmoment (modifiziertes Drehmoment-Verfahren)	Nm
$F_{b,Rd,quer}$	Lochleibungstragfähigkeit Quer zum Langloch	kN
$A$	Fläche	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>
$A_{erf}$	Erforderliche Mindestfläche	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>

---

---

$\tau_{zul,K} / \tau_{dK}$	Widerstandswert $R_d$ Klebeverbindung	$\frac{kN}{cm^2}$
$\tau_B$	charakteristischer Wert der Produkteigenschaften des Klebers	$\frac{kN}{cm^2}$
$\eta$	Umrechnungsbeiwert	
$\gamma_{MK}$	Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoff und Produkteigenschaft	
$\gamma_{m,\dots}$	Teilsicherheitsfaktoren Klebeverbindung	
$A_{mod}$	Umgebungseinflussfaktor	
$A_{\dots}$	Einflussfaktoren	
$a$	Pressflächenbreite (2x) HERTZsche Pressung	mm / cm
$\sigma_0$	Grenzspannung HERTZsche Pressung	$\frac{N}{mm^2}$
$e_1$	kleinster Randabstand Mitte Langloch in Krafrichtung	mm
$e_2$	kleinster Randabstand rechtwinklig zur Krafrichtung	mm
$e_4$	kleinster Randabstand in Krafrichtung	mm
$p_1$	kleinster Langlochabstand in Krafrichtung	mm
$p_2$	kleinster Langlochabstand rechtwinklig zur Krafrichtung	mm
$d_0$	Lochlänge in Krafrichtung	mm
$d_{0,Ab}$	Abdecklochlänge in Krafrichtung	mm
$d_{Dz}$	Durchmesser Druckzylinder (Lastausbreitung)	mm
$d_L$	Lochlänge rechtwinklig zur Krafrichtung	mm
$\Delta d$	Lochspiel (in Krafrichtung / rechtwinklig zu Krafrichtung)	mm
$d_{Sa}$	Außendurchmesser Unterlegscheibe	mm
$d_{Si}$	Innendurchmesser Unterlegscheibe	mm
$L_L$	Länge Abdeck- Unterlegplatte in Krafrichtung	mm
$L_B$	Breite Abdeck- Unterlegplatte rechtwinklig zur Krafrichtung	mm
$t_v$	Materialdicke gesamte Verbindung	mm
$t_{Ab}$	Materialdicke Abdeck- und Unterlegblech	mm
$\sigma_{Material}$	Streckgrenze Material	N/mm <sup>2</sup>
$F_{LL}$	Kraft je Langloch	N
$n$	Anzahl (Langlöcher in Krafrichtung)	
$SBF$	Schraubenbiegebeanspruchungsfaktor	
$L1$	Faktorfläche im Bezug auf tatsächlichen Verformungskegel	mm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>

---

---

$L_2$	Reibfläche, Druckzylinder nach Petersen	$\text{mm}^2/\text{cm}^2$
$h_{\text{SBF}}$	Abstand Einleitungsfuge - Bemessungspunkt Schraube	$\text{mm} / \text{cm}$
$M_{\text{SBF}}$	Moment auf Grund Schraubenbiegebelastung	$\text{kNcm}$
$W_S$	Widerstandsmoment Schraubenspannungsquerschnitt	$\text{cm}^3$
$F_{p,C,red}$	Reduzierte Vorspannkraft	$\text{kN}$
$F_{N,Rd}$	Normalkraft für Reibung	$\text{N}$
$A_R$	Reibfläche	$\text{mm}^2/\text{cm}^2$
$A_{RM}$	Reibfläche Mitte Verbindungsbaugruppe	$\text{mm}^2/\text{cm}^2$
$A_E$	Einleitungsfläche	$\text{mm}^2/\text{cm}^2$

## 1.6. Verwendete Abkürzungen / Fußnoten

EC	Eurocode
(Zahl-Zahl)	Literatur- und Quellenverzeichnis (Themengebiet-Nummer)
(W-Zahl)	siehe Weiterführende Literatur
NA	Nationaler Anhang
GZG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
GZT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
LL	Langloch

## 2. Grundlagen und Technische Regeln

### 2.1 Aufbau und Gegebenheiten bei Schraubverbindungen

Um Baugruppen und Einzelteile die getrennt gefertigt worden sind sicher miteinander verbinden zu können, bedarf es verschiedener Verbindungsmittelarten die auf Grundlage der physikalischen Wirkprinzipien, Formschluss, Kraftschluss und Stoffschluss basieren.

Diesen Verbindungen führen zu einer Einschränkung der Beweglichkeiten einzelner Baugruppen und Einzelteile zueinander. Im Stahlbau handelt es sich in der Regel um Verbindungen, welche die Beweglichkeit zwischen Teilen untereinander verhindern sollen, wobei zwischen lösbaren und nicht lösbaren Verbindungen unterschieden wird.

Von diesen drei bekannten physikalischen Wirkprinzipien kommen bei den lösbaren Schraubverbindungen der Formschluss und der Kraftschluss zur Anwendung.

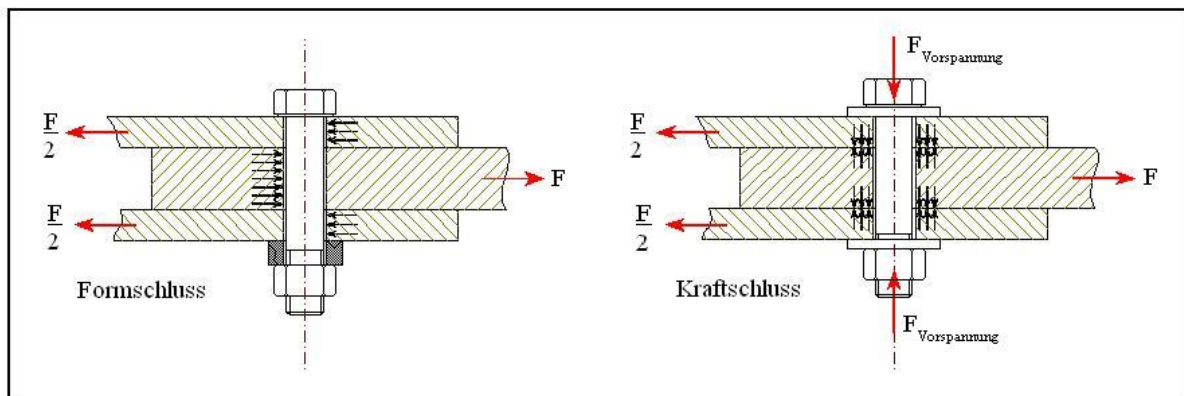


Bild 2-1 physikalische Wirkprinzipien bei Schraubverbindungen

#### 2.1.1 Formschluss

Beim Formschluss wird die Kraft direkt durch das ineinandergreifen von mindestens zwei Bauteilen z.B. die in der Lochung eingebrachte Schraube, übertragen. Bei Belastung wirken Zug- und Druckkräfte rechtwinklig zu den Flächen der Verbindungspartner.

Durch die Schraube oder den Bolzen kommt es zur Sperrung der Zug- und Druckrichtung. Dabei auftretende Verformungen und Belastungen können zum Versagen der Verbindung, durch Abscheren der Schraube oder Materialversagen durch Lochleibung, führen.

Was im Extremfall den Verlust der Stabilität eines Bauwerkes zur Folge haben kann.

Es bedarf somit einer Eingrenzung der zulässigen Abweichungen und einer konstruktiven Ausbildung der Kraftüberleitungsstelle, um Versagen des Formschlusses zu verhindern. Im Bezug auf Langlochverbindungen ist mit dem physikalischen Wirkprinzip Formschluss, ohne

eine weitere Fixierung, eine reduzierte Kraftübertragung nur quer zum Langloch möglich.

Die übertragbare Kraft kann mit Hilfe der Hertzschen Pressung System Zylinder gegen Ebene ermittelt werden (Bild 2-2).

Einfache Schraubverbindungen für Kraftübertragung parallel in Langlochrichtung, sind mit dem reinen physikalischen Wirkprinzip Formschluss, nur am Ende des Langloches und an dieser Einbaustelle nur in eine Krafrichtung realisierbar.

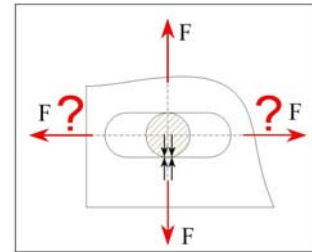


Bild 2-3 / Hertz'sche Pressung

Dieser Sachverhalt führt die Verwendung von Langlöchern zum Absurdum, da es gerade den gewünschten Anwendungsmöglichkeiten eines Langloches widerspricht. Es wird somit immer mindestens ein weiteres physikalischen Wirkprinzip benötigt, um die Kraftübertragung sicher zu stellen. Dies kann durch Hybridverbindungen, mit dem physikalischen Wirkprinzip Stoffschluss erfolgen. Dazu zählen: zusätzliches verschweißen der Anschlussmetalle, einbringen und ausfüllen der Hohlräume durch Harze, einbringen von Klebeschichten in die zu verbindenden Teile. Diese führt aber wiederum dazu, dass derartige Verbindungen nicht mehr zerstörungsfrei gelöst werden können.

Zerstörungsfreie Sicherungsmaßnahmen können durch zusätzliche Verkeilungen oder Keilverbindungen (Formschluss, Kraftschluss) und dem einbringen von Materialidentischen Langlocheinlegern (Formschluss) erfolgen.

## 2.1.2 Kraftschluss

Beim Kraftschluss wird durch eine kontrollierte Vorspannung der Schraubkombination eine Normalkraft auf die zu verbindenden Flächen aufgebracht. Die auf Grund der Beschaffenheit der Oberflächen der zu verbindenden Bauteile bestehenden Strukturen bewirken eine Verzahnung der Reibflächen. Solange die durch die zusätzlich

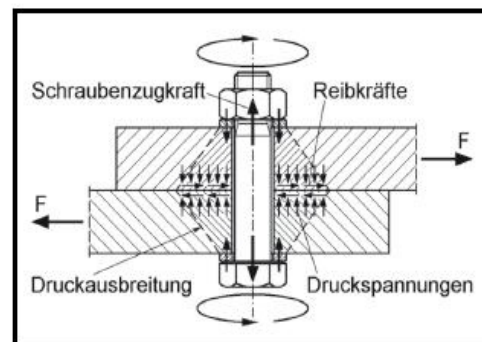


Bild 2-3 / Vorgespannte Schraubverbindung

aufgebrachte Normalkraft und die Verzahnung entstandene Haftreibungskraft höher als die eingeleitete Zug- oder Druckkraft liegt, wird das Gleiten (Versagensfall) der Bauteile verhindert (Bild 2-3). „Die druckbeanspruchte Zone verbreitert sich, ausgehend vom Schraubenkopf oder der Mutter, zur Trennfuge hin und hat die Form eines Rotationsparaboloids. (Bild 2-4) Die aus der Vorspannung resultierende Verformung der Platte weist ebenfalls eine parabolische Begrenzung auf. Für die vereinfachte Berechnung der Nachgiebigkeit werden Verspannungs- und Verformungskörper gleichgesetzt und in einem

weiteren Schritt durch einen Ersatz Verformungskegel (Rötscher-Kegel) gleicher Nachgiebigkeit ersetzt. Bei schlanker Geometrie der verspannten Teile tritt der Fall ein, dass der Verformungskegel den seitlichen Rand der Klemmkörper eher erreicht als die Trennfuge. Dann teilt sich der Verformungskörper in zwei Bereiche, den Verformungskegel und die Verformungshülse auf. (2-1/W-1) Bild 2-4.

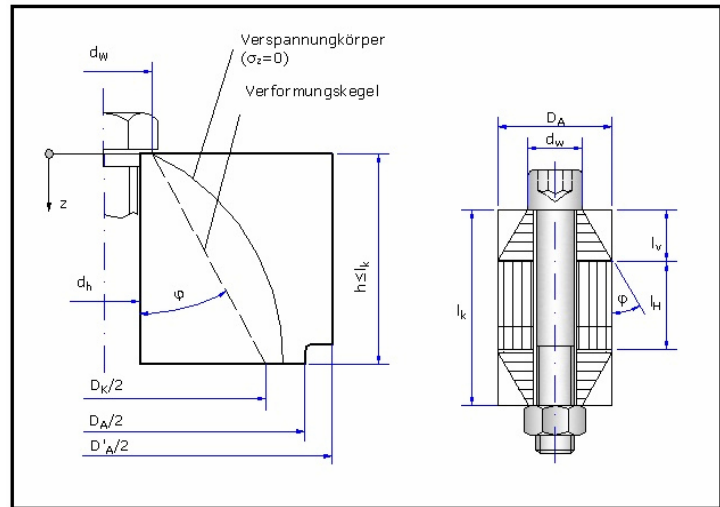


Bild 2-4 / Verspannungskörper und Berechnungsmodell an einer Schraubverbindung

Die VDI 2230 Richtlinie - Blatt 1<sup>(W-2)</sup> führt dazu aus: „bei Berechnungen in Näherung der Abmessungsverhältnissen für Durchsteckschraubverbindungen

$$\beta_L = \frac{l_K}{d_w} = 0.5 \dots 4 \quad \text{und} \quad y = \frac{D_A''}{d_w} = 4 \dots 6$$

von einem Winkel  $\varphi$   $\tan \varphi = 0,6$  ca.  $31^\circ$  aus.“<sup>(2-2)</sup>  $D'_A$  stellt dabei den doppelten kleinsten Randabstand der Platten oberhalb der Trennfuge dar. Im Stahlbau wird der Winkel der Lastausbreitung üblicherweise mit  $45^\circ$  angenommen.<sup>(2-3)</sup> (Bild 2-5) Zur Berechnung der Kraft übertragenden Reibfläche wird die Hälfte der Gesamtdicke des Verbindungsaufbaus zum Außendurchmesser der Unterlegscheibe hinzugerechnet und zur Berechnung der Fläche der Druckhülse herangezogen.

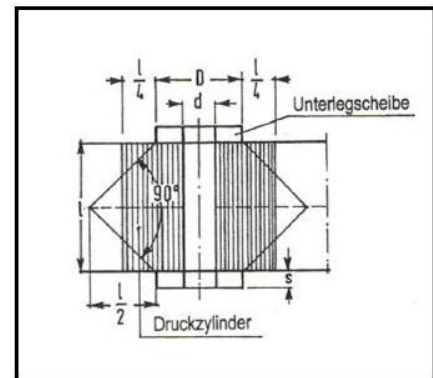


Bild 2-5 Druckzylinder nach Petersen

Es ergibt sich ein theoretischer Verformungskegel von  $\varphi = \text{ca. } 26,6^\circ$ .

Eine zeichentechnische Voruntersuchung bestätigt diese einfach anzuwendende Variante, zur Ermittlung der Reibflächengröße, auch bei Verbindungen mit annäherndem symmetrischen Aufbau und zusätzlicher Unterlegplatte.

Bei Langlochverbindung ist unter Berücksichtigung der Festigkeiten der zu verbindenden Teile auf Grund der konstruktiven Gegebenheiten, siehe Bild 2-6, Pressflächenvergleich Loch und Langloch, bei handelsüblicher Unterlegscheiben, nur eine abgeminderte Vorspannung möglich, da es sonst zu plastischen Verformungen im Bereich der Einleitungsfläche im Bauteil kommt. „Weiterhin kommt es im Laufe der Einsatzdauer einer vorgespannten Schraubverbindung zu Kriechverformungen die zu einem Vorspannkraftverlust führen. Dabei werden die elastischen Verformungen aus dem Vorspann in plastische Verformungen

umgewandelt. Dabei ist unerheblich, in welcher Komponente der Verschraubung das Kriechen stattfindet.<sup>“(2-4)</sup> Diese Verformungen sind im Bereich der Pressflächen und Druckausbreitung zu finden. Aus diesem Sachverhalt ist zu erkennen, dass bei Langlochverbindungen mit vorgespannten Schraubenkombinationen größere Unterlegscheiben zwingend zur Anwendung kommen sollten um eine bessere Kraftverteilung zu generieren.

Die bei Schraubverbindungen hauptsächlich angewandten zwei physikalischen Wirkprinzipien (Formschluss, Kraftschluss) führen zu einer Reihe Berechnungs- und Nachweisrichtlinien die sich in den gängigen Regeln der Technik widerspiegeln. Bei dynamischen Systemen (Maschinen, Fahrzeuge) kommen Schrauben mit Festigkeiten 8.8 und höher zum Einsatz. Die Berechnung von Schraubverbindungen erfolgen auf Grundlage der VDI Richtlinie 2230 Blatt 1 und 2. Für statische Systeme können Schrauben ab der Festigkeiten 4.6 und höher verwendet werden. Die Berechnung und Nachweisführung im Bauwesen, wozu der Stahl- und Metallbau gezählt wird, erfolgt auf der Grundlage des Eurocode.

## 2.2 Eurocode

Am 25.03.1957 wurde durch die Regierungen der Länder Belgien, Bundesrepublik Deutschland, Luxemburg, Niederlanden, Frankreich und Italien mit den Römischen Verträgen, die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) gegründet, aus dieser sich die heutige Europäische Union (EU) entwickelt hat. Diese Europäische Wirtschaftsgemeinschaft hatte als erklärtes Ziel die Handelshemmnisse zwischen den Mitgliedstaaten auszuräumen, damit ein freier Personen-, Dienstleistungs-, Waren- und Kapitalverkehr untereinander erfolgen kann. Diesbezüglich wurde es auch zwingend erforderlich dass die Normungen und Technische Regeln der einzelnen Mitgliedstaaten angeglichen werden, damit vergleichbare Standards und Anwendungsrichtlinien, z.B. für Berechnungsmethoden, entstehen. Am 01.07.2012 wurde der Eurocode in der Bundesrepublik Deutschland nach langer Entwicklungsarbeit und Planung eingeführt. Der Eurocode harmonisiert die technischen

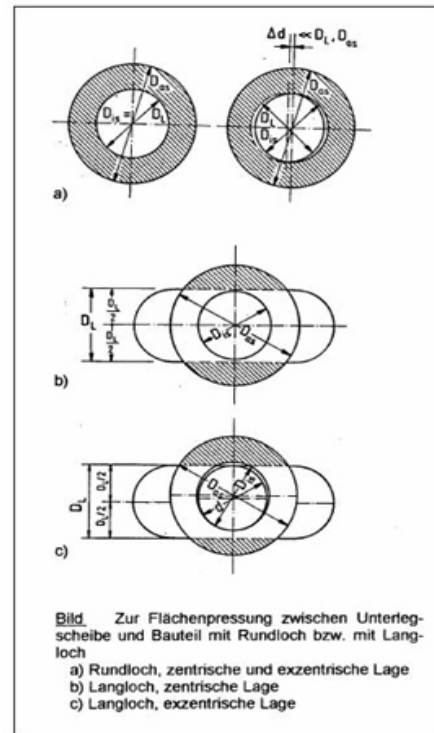


Bild 2-6 / Pressflächen Langloch- und Lochschraubverbindungen

Standards im Bauwesen. Dieses Grundkonzept ist ein großer Schritt hinsichtlich der Vereinheitlichung und wird ergänzt durch zusätzliche Nationale Anhänge die auf Belange und gesonderte Regeln der einzelnen Mitgliedstaaten eingehen. Dieses System ist vergleichbar mit der in der Bundesrepublik Deutschland praktizierten Bauordnung mit ihren 16 Länderbauordnungen.

Auf Grund der immer weiter fortschreitenden Entwicklung und Spezialisierung im Bauwesen und der damit einhergehenden immer umfangreicher werdenden Vorschriften und Anwendungsverfahren ist eine Aufspaltung in einzelnen Bereiche zwingend notwendig.

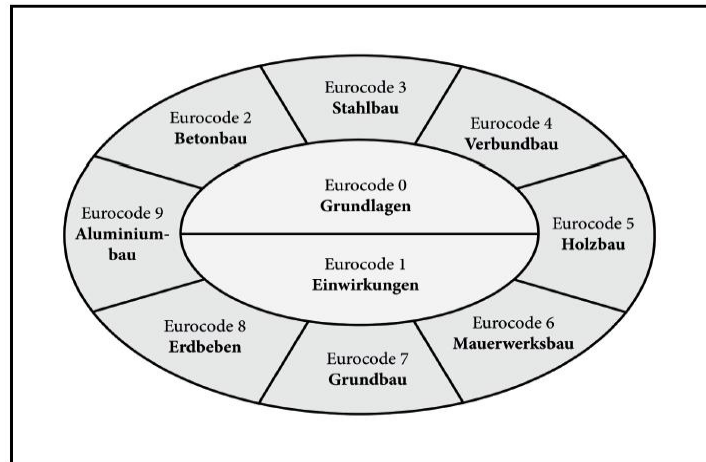


Bild 2-7 / Übersicht Eurocode

Für das Gesamtkonzept des

Eurocodes bilden die Teile, Grundlagen und Einwirkungen die Basis, für die weitere Anwendungen der Nachweisführungen in den, auch ineinander greifenden und, oder vernetzten, einzelnen Abschnitten.

## 2.3 Nachweiskonzept Eurocode

„Grundsätzliches Ziel bei Planung, von Konstruktion und Ausführung von Bauwerken ist die Sicherstellung einer angemessenen Zuverlässigkeit gegen Versagen und die Gewährleistung des vorgegebenen Nutzungszwecks für die vorgesehene Dauer unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Das Sicherheits- und Bemessungskonzept beruht auf dem Nachweis, dass die Anforderungen und sog. Grenzzustände nicht überschritten werden.

Man unterscheidet Grenzzustände der Tragfähigkeit, Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit und Anforderungen an die Dauerhaftigkeit.“<sup>(2-5)</sup>

- „Die Grenzzustände, die die Sicherheit von Personen und/oder die Sicherheit des Tragwerks betreffen, sind als Grenzzustände der Tragfähigkeit einzustufen.“<sup>(2-6 / W-3)</sup>
- „Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit, die Funktion des Tragwerks oder eines seiner Teile unter normalen Gebrauchsbedingungen oder das Wohlbefinden der Nutzer oder das Erscheinungsbild des Bauwerks betreffen, sind als Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit einzustufen.“<sup>(2-7 / W-3)</sup>

Unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit werden Art und Intensität von Belastungen auf ein Bauwerk einwirken betrachtet. Für die vorwiegende Ruhende Belastung



(z.B. Stahlbauhallen) erfolgen die Nachweise nach Normung DIN EN 1993-1-8 / + NA.

Für die nicht vorwiegend ruhende Belastung (z.B. Masten, Krananlagen) erfolgen die Nachweise zusätzlich unter Betrachtung der Normung DIN EN 1993-1-9 / +NA bezüglich der Ermüdungsfestigkeit. Das Sicherheits- und Nachweiskonzept des EC basiert darauf das Einwirkungen durch Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma_F$ )<sup>(W-4 / W-5)</sup> erhöht werden.

Dabei wird unterschieden in:

- Quasi-ständige Einwirkssituationen (Langzeitauswirkung)
- Häufige Einwirkssituationen (Auftreten reversibler Auswirkungen)
- Seltene Einwirkssituationen (Auftreten irreversibler Auswirkungen)

Diese Einwirkung werden unter Berücksichtigung von Kombinationsbeiwerten ( $\Psi$ )<sup>(W-6 / W-7)</sup>

als Charakteristische Einwirkung

für die Untersuchung und

Berechnung einzelner Lastfälle

gebildet. Diese

Charakteristischen Einwirkungen

führen auf Grund von Form- und

Werkstoffeigenschaften bei

Bauteilen, Schweißnähte und

Verbindungsmitel, die einen

Widerstand gegen die

Einwirkung bilden, zu

Spannungen und Verformungen.

Der Widerstandswert eines

Bauteiles wird im Nachweiskonzept durch Teilsicherheitsbeiwerte ( $\gamma_M$ )<sup>(W-8 / W-9)</sup> in einen

Charakteristischen Widerstandswert abgemindert.

Der Nachweis ist erbracht wenn die charakteristische Einwirkung kleiner als

der charakteristische Widerstandswert ist.

Dieses Nachweissystem wird für Schraubverbindungen auf Grund der,

in den Eigenschaften reproduzierbaren, genormten Materialien verwendet.

Schraubverbindungen statischer Systeme werden auf Grund Ihrer Belastungs- und

Anwendungsart, Scher- und Zugverbindung, im EC 3 DIN EN 1993-1-8 in den

verschiedenen Kategorien eingeteilt.

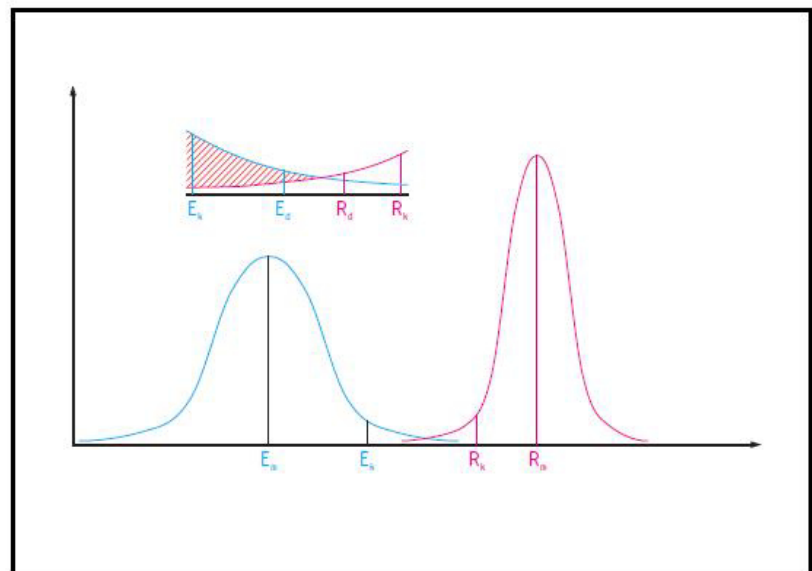


Bild 2-8 / Sicherheits- und Nachweiskonzept Eurocode

E = Einwirkung / R = Widerstand

## 2.4 Einteilungen von Schraubenverbindung<sup>(2-8)</sup>

Kategorie	SFK	Nachweiskriterium	Anmerkung
<b>Scherverbindungen</b>			
<b>A</b>	4.6 – 10.9	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	- keine Vorspannung - Nachweis der Scher- und Lochleibungsfestigkeit im GZT
<b>B</b>	8.8 – 10.9	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	- vorgespannte Verbindung - kein Gleiten im GZG - Nachweis der Scher- und Lochleibungsfestigkeit im GZT
<b>C</b>	8.8 – 10.9	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	- vorgespannte Verbindung - kein Gleiten im GZT - Nachweis der Lochleibungsfestigkeit im GZT - Nachweis Nettoquerschnitt
<b>Zugverbindungen</b>			
<b>D</b>	4.6 – 10.9	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	- Nachweis Zugfestigkeit und Durchstanzen im GZT - nicht bei häufig veränderlichen Zugkräften, jedoch bei Wind
<b>E</b>	8.8 – 10.9	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	- kontrolliert vorgespannt - Nachweis Zugfestigkeit und Durchstanzen im GZT

Bild 2-9 / Nachweiskriterien für Aschraubverbindungsarten nach EC 3 / DIN EN 1993-1-8 / Tab.3.2

Zuzüglich zu dieser Einteilung sind die Materialeigenschaften der Verbindungsmittel und Verbindungsteile zu beachten.

Schraubverbindungen mit Edelstahl (VA) sind in den Kategorien B, C und E nur bedingt verwendbar, da die verwendeten Werkstoffe eine Neigung zum Kaltverschweißen, dem so genannten „Fressen“, aufweisen.

### 2.4.1 Kategorie A - Scher-/Lochleibungsverbindungen

Es können Schrauben der Festigkeitsklassen 4.6 bis 10.9 verwendet werden.

Ein Vorspannen der Schrauben ist nicht nötig. Schraubverbindungen der Kategorie A sind für vorwiegend ruhende Belastung und für Materialien die zum Kaltverschweißen neigen, geeignet. Die möglichen Versagensarten sind das Abscheren der Schrauben / infolge

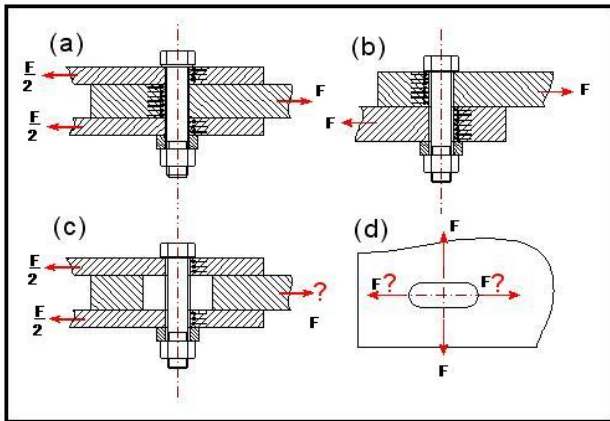


Bild 2-10 / (a) 2 schnittige Verbindung / (b) 1 schnittige Verbindung  
(c) Langloch im Schnitt /  
(d) mögliche Kraftübertragung im Langloch

Lochleibungsdruck / aufweiten der Löcher im Material / Nettoquerschnittsversagen des Materials / Blech. Es ist keine besondere Oberflächenbehandlungen (strahlen / aufrauen / gleitfeste Anstriche) notwendig. Die einwirkende Scherkraft darf den Bemessungswert der Schertragfähigkeit der Schraube und den Lochleibungswiderstand des Bleches nicht überschreiten. Kräfte die parallel zu einem Langloch übertragen werden sollen, benötigen zusätzliche

Maßnahmen und Sicherung. Diese Zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen können über Hybridverbindungen durch Verschweißen oder Kleben (stoffschlüssig), das Ausbilden einer Schlupffreien Verbindung durch Ausfüllen der Hohlräume mit Injektionsharz, durch Einfügen von Einsätzen aus Grundmaterial in das Langloch oder das Verkeilen der Bauteile (form- und kraftschlüssig) realisiert werden Die zu letzt genannten Verbindungsarten stellen die einzigen Verbindungen, die ohne Zerstörung lösbar sind, dar.

### 2.4.2 Kategorie B Gleitfeste Verbindungen im GZG (Gebrauchstauglichkeit)

Es dürfen nur Schrauben verwendet werden die der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 entsprechen. Auf diese Schraubverbindungen wird eine kontrollierte Vorspannung aufgebracht. Mögliche Versagensarten sind Gleiten im GZG, Abscheren der Schrauben, und in Folge des Lochleibungsdruckes das Aufweiten der Löcher im Material / Blech / Verbindungsflasche. Die Oberflächenbehandlungen der Kraftübertragungsflächen und oder Gleitflächen (strahlen / aufrauen / gleitfeste Anstriche) muss unter Beachtung, DIN EN 1090-2<sup>(2)</sup> / Abschnitt 8.4 / Vorbereitung von Kontaktflächen für gleitfeste Verbindungen und DIN EN 1993-1-8 / Abschnitt 3.9 Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten 8.8 und 10.9 Schrauben, erfolgen. Die einwirkende Scherkraft darf im Grenzzustand der Gebrauchs-

Tauglichkeit (GZG) den Bemessungswert des Gleitwiderstandes nicht überschreiten. Die einwirkende Abscherkraft im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) darf den Bemessungswert der Schertragfähigkeit der Schraube und Lochleibungswiderstand des Bleches nicht überschreiten. Bei Langlöchern können Kräfte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit auf Grund der geringeren Pressfläche für die Kraftübertragung, wie im Bild 2-6 aufgezeigt, unter

Berücksichtigung von Abminderungsfaktoren, siehe DIN EN 1993-1-8 / Abschnitt 3.9 / Gleitfeste Verbindungen mit 8.8 und 10.9 Schrauben / Tabelle 3.6, übertragen werden. Scher- und Lochleibungskräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit können in Längsrichtung des Lang-

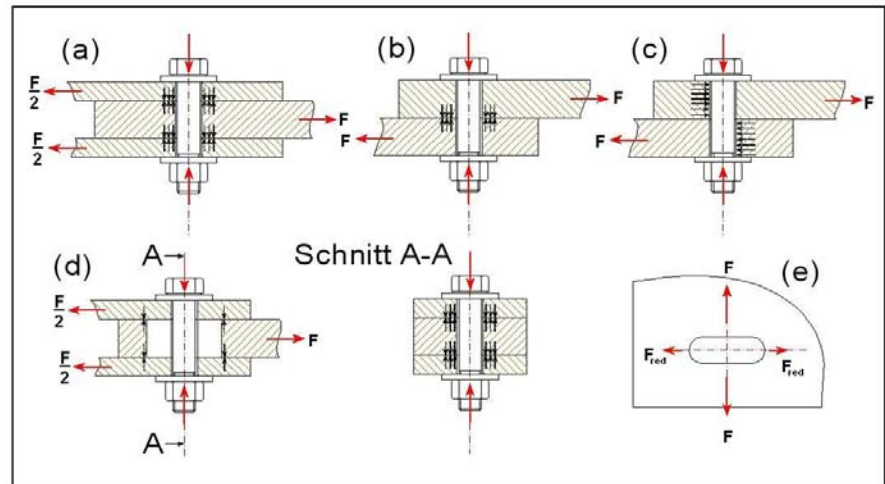


Bild 2-11 / (a) 2 schnittige Verbindung / (b) 1 schnittige Verbindung /  
(c) Versagenfall bei Überschreitung Gleitfestigkeit im GZG  
(d) Langloch Schnitt / (e) mögliche Kraftübertragung Langloch im GZG

loches ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen nicht übertragen werden, da kein Nachweis für die Scher- und Lochleibungsfestigkeit erbracht werden kann. (Siehe auch Ausführungen zur Kategorie A.) In Anbetracht des Sachverhaltes das sich ein irreversibles Versagen eines Bauwerkes ankündigen und gewisse Resttrageigenschaften aufweisen soll(te), stellen die in DIN EN 1090-2 / Punkt 6.6.1 benannten kurzen Langlöcher auf Grund der geringen Länge eine vertretbare Alternative dar. Die im Versagensfall auftretenden Verschiebungen und Exzentrizitäten des Bauwerkes müssen dabei beachtet werden.

Sicherungsmaßnahmen können wie im Kategorie A beschrieben, ausgeführt werden.

Weiterhin ist es möglich durch vergrößern der Reibflächen den Gleitwiderstand zu erhöhen. Dabei ist zu beachten, dass durch die eingebrachten Kräfte die Kantenpressung am Lochrand, die Materialbelastbarkeit nicht überschritten wird, um ein Fließen des Werkstoffes zu verhindern.

### 2.4.3 Kategorie C Gleitfeste Verbindungen im GZT (Tragfähigkeit)

Es können nur Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9. verwendet werden, da eine kontrollierte Vorspannung auf Schraubverbindungen dieser Kategorie aufgebracht wird. Mögliche Versagensarten sind das Gleiten im GZT, infolge des Lochleibungsdruckes

das Aufweiten der Löcher im Material und das Versagen des Nettoquerschnittes des Anschlussblechs.

(siehe DIN EN 1993-1-1, 6.2).

Die Oberflächenbehandlungen der Gleitflächen (strahlen / aufrauen / gleitfeste Anstriche) ist unter Beachtung, DIN EN 1090-2 / Abschnitt 8.4 / Vorbereitung von Kontaktflächen für Gleitfeste Verbindungen und DIN EN 1993-1-8 / Abschnitt 3.9 /

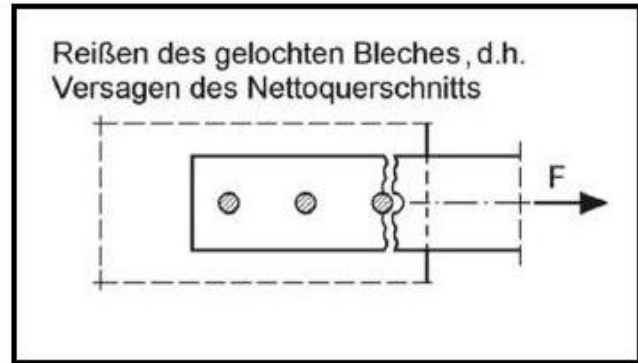


Bild 2-12 / Versagensfall Nettoquerschnitt

Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten 8.8 und 10.9 Schrauben, erforderlich.

Die einwirkende Scherkraft darf im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) den Bemessungswert des Gleitwiderstandes und den Lochleibungswiderstand des Materials nicht überschreiten. Bei Langlöchern können Kräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit auf Grund der geringeren Pressfläche für die Kraftübertragung, wie im Bild 2-7 aufgezeigt, unter Berücksichtigung von Abminderungsfaktoren, siehe DIN EN 1993-1-8 / Abschnitt 3.9 / Gleitfeste Verbindungen mit hochfesten 8.8 und 10.9 Schrauben / Tabelle 3.6, übertragen werden. Lochleibungskräfte im Grenzzustand der Tragfähigkeit können in Längsrichtung des Langloches ohne zusätzliche Sicherungsmaßnahmen nicht übertragen werden, da kein Nachweis für die Lochleibungsfestigkeit erbracht werden kann. (Siehe auch Ausführungen zur Kategorie A.) In Anbetracht des Sachverhaltes das sich irreversibles Versagen eines Bauwerkes ankündigen und gewisse Resttrageigenschaften aufweisen soll(te), stellen die in DIN EN 1090-2 / Punkt 6.6.1 benannten kurzen Langlöcher auf Grund der geringen Länge eine vertretbare Alternative dar. Die im Versagensfall auftretenden Verschiebungen und Exzentrizitäten des Bauwerkes müssen dabei beachtet werden.

Sicherungsmaßnahmen können wie im Kategorie A beschrieben, ausgeführt werden.

„Bei Schraubverbindungen mit Rundlöchern hat in der Baupraxis die Kategorie A die mit Abstand größte Bedeutung. Gleitfeste Verbindungen nach den Kategorien B und C kommen nur selten zum Einsatz, weil sie eine Behandlung der Reibflächen zur Sicherstellung der Reibung erfordern. Bezüglich des Tragverhaltens bieten sie bei ermüdungsbeanspruchten Verbindungen, d.h. bei häufig veränderlichen Beanspruchungen, Vorteile.“<sup>(2-9)</sup> Einfache Langlochverbindungen mit Kraftübertragung längs zum Langloch sind aber nur durch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen realisierbar.

„Geschraubte Verbindungen können auch so konstruiert werden, dass Kräfte in Richtung der Schraubenachse auftreten. Die Schrauben werden dann durch Zugkräfte beansprucht, welche die kennzeichnende Beanspruchung der Verbindung ist. Bei dieser Verbindungsart können Abstützkräfte auftreten, die Auswirkungen auf die Schraubenzugkräfte und auf die Beanspruchungen der Anschlussbleche haben.“ (2-10)

Dabei können folgende Versagensarten auftreten:

- a) Überschreiten der maximalen Schraubenzugkräfte
- b) Überschreiten der maximalen Blechbiegemomente
- c) Durchstanzen der Schraubenköpfe oder der Mutter durch die Anschlussbleche

Geschraubten Verbindungen mit Zugbeanspruchten Schrauben werden in der Regel für die Bemessung in die zwei folgende Kategorien unterschieden

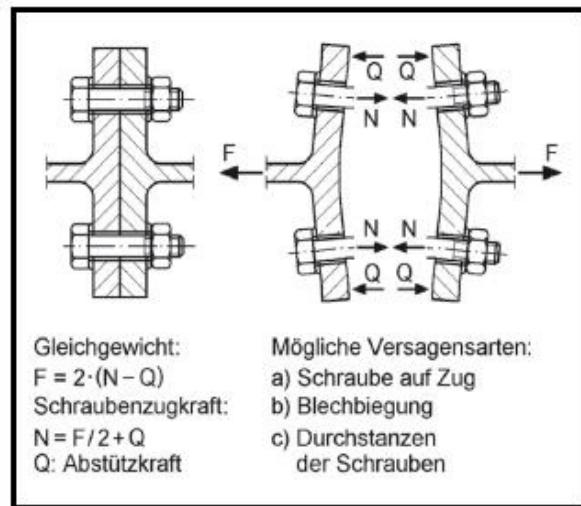


Bild 2-13 Versagensarten Zugbeanspruchter Schrauben

### 2.4.4 Kategorie D - Zugverbindung nicht vorgespannt

Es können Schrauben der Festigkeit 4.6 bis 10.9 Schraubverbindung dieser Kategorie keine Vorspannung aufgebracht wird. Die Verwendung dieser Kategorie für die Nachweisführung bei Zugverbindungen mit häufig veränderlichen Beanspruchungen ist nicht erlaubt. Wird die Verbindung durch normale (wechselnde) Windlasten beansprucht ist die Nachweisführung dagegen erlaubt. Die einwirkende Zugkraft darf die Zugfestigkeit der Schraube nicht übersteigen. Die einwirkende Zugkraft darf den Widerstand des Materials gegen Durchstanzen und

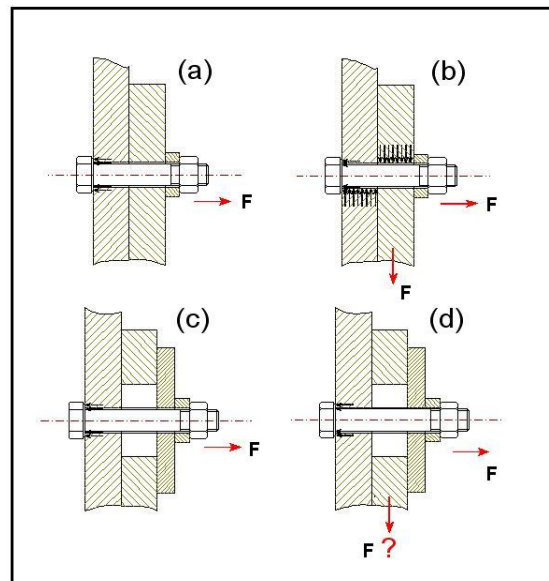


Bild 2-14 / (a) Zugverbindung  
 (b) kombinierte Beanspruchung  
 (c) Zugbeanspruchung Langlochverbindung  
 (d) kombinierte Beanspruchung Langlochverbindung

Verformen im Grenzzustand der Tragfähigkeit ebenfalls nicht überschreiten. Dabei ist auf die verminderte Pressfläche, siehe Bild 2-6 bei Langlöchern zu achten. Kräfte können quer zum Langloch übertragen werden. Kräfte parallel in Längsrichtung des Langloches können ohne zusätzliche Maßnahmen und Sicherung nicht übertragen werden. Sicherungsmaßnahmen können wie in Kategorie A vorgeschlagen angewandt werden.

Durch konstruktive Gestaltung und konsequente Zuordnung der Belastungsarten zu einzelnen Schrauben ist die Anwendung von Langlöchern ohne weitere Sicherungsmaßnahmen möglich. (Bild 2-15)

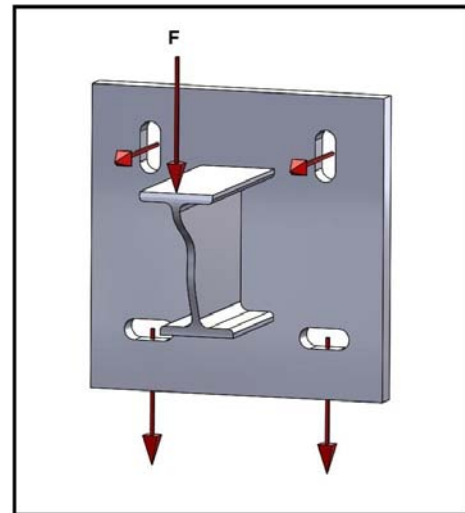


Bild 2-15 / Kräfteaufschlüsselung  
Trägeranschluss

### 2.4.5 Kategorie E - Zugverbindung vorgespannt

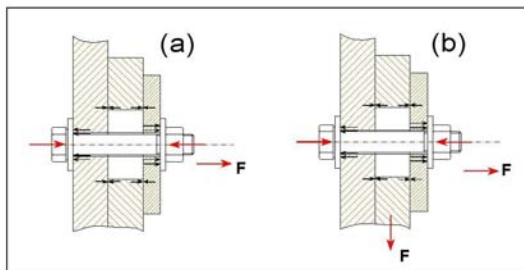


Bild 2-16 / (a) Zugbeanspruchung Langlochverbindung  
(b) kombinierte Beanspruchung Langlochverbindung

Es dürfen nur Schrauben der Festigkeit 8.8 bis 10.9 verwendet werden da eine kontrollierte Vorspannung aufgebracht wird.

Die einwirkende Zugkraft darf die Zugfestigkeit der Schraube nicht übersteigen.

Die einwirkende Zugkraft darf den Widerstand des Materials gegen Durchstanzen und

Verformen im Grenzzustand der Tragfähigkeit nicht überschreiten. Dabei ist auf die verminderte Pressfläche, siehe Bild 2-6 bei Langlöchern zu achten. Im Zustand der Gleitfestigkeit können Kräfte sowohl quer wie auch parallel zum Langloch übertragen werden. Kräfte parallel in Längsrichtung des Langloches können im Versagensfall ohne zusätzliche Maßnahmen und Sicherung nicht übertragen werden. In Anbetracht des Sachverhaltes das sich irreversibles Versagen eines Bauwerkes ankündigt und gewisse Resttrageigenschaften aufweisen soll(te), stellen die in DIN EN 1090-2 / Punkt 6.6.1 benannten kurzen Langlöcher auf Grund der geringen Länge eine vertretbare Alternative dar. Die im Versagensfall auftretenden Verschiebungen und Exzentrizitäten des Bauwerkes müssen dabei beachtet werden.

Sicherungsmaßnahmen können wie im Kategorie A beschrieben, ausgeführt werden.

Weiterhin ist es möglich durch Vergrößerung der Reibflächen den Gleitwiderstand zu



erhöhen. Dabei ist zu beachten, dass durch die eingebrachten Kräfte die Kantenpressung am Lochrand die Materialbelastbarkeit nicht übersteigt um ein Fließen des Werkstoffes zu verhindern.

## 2.5 Langlochverbindungen

Unter Betrachtung der technischen Grundlagen und Regeln sind Langlöcher, (quer und) längs zur Krafrichtung für den Ausgleich von Differenzen eine praktikable Lösung. Wie im Einzelnen schon betrachtet, bedarf es dabei bei den Verbindungskategorien A und D immer zusätzlicher Sicherungs- und oder Konstruktionsmaßnahmen um eine Verbindung so zu gestalten, dass sie den gestellten Anforderungen entspricht.

Die Verbindungskategorien B, C und E können durch zusätzliche Maßnahmen im Versagensfall abgesichert werden.

Sicherungsmaßnahmen können geschehen durch:

## 2.6 Hybridverbindungen

### 2.6.1 Hybridverbindung - Schweißen (Anlage B)

Die Vorteile dieser Verbindung stellt unter anderem die freie Justierbarkeit und das vorliegen einer schlupffreien Verbindung nach dem einbringen der Schweißungen dar.

Diese Verbindung ist für alle schweißbaren Materialien z.B. unbeschichteten Stahl,

Aluminium und Chrom-Nickelstähle geeignet Nach dem Einbringen und abkühlen der Schweißnähte ist die Verbindung sofort voll belastbar.

Die Nachteile dieser Verbindung liegen im hohen technischen Aufwand, um die geforderte Qualität der Schweißverbindung zu gewährleisten. Weiterhin müssen die Teile dicht miteinander verschweißt werden um Kapillarwirkungen und Korrosion zu vermeiden. Die Ausführung sollte möglichst in symmetrische Bauweise erfolgen.

Für verzinkte Stahlbauteile ist diese Verbindungsart nur bedingt geeignet da die

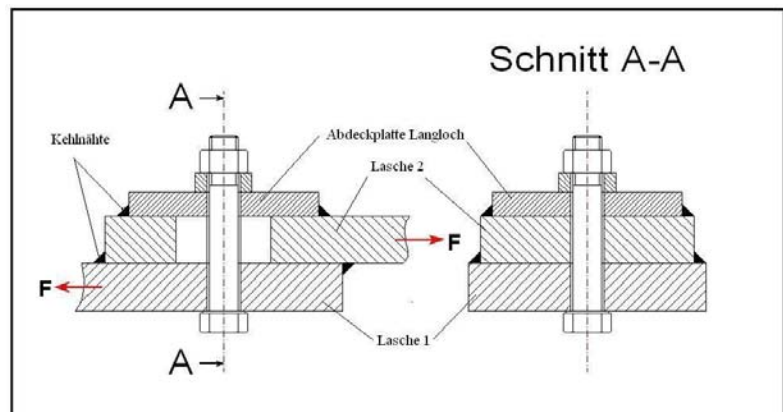


Bild 2-17 / Schnitt - Sicherung und Kraftübertragung durch Schweißnähte



Zinkschutzschicht vor dem Schweißen entfernt werden sollte (weniger Belastung für den Schweißer) oder beziehungsweise an der Schweißstelle verbrennt (Nachbearbeitung nötig). Diese Verbindung lässt sich nicht zerstörungsfrei trennen.

## 2.6.2 Hybridverbindung - Kleben (Anlage C)

Die Vorteile dieser Verbindung sind, die freie Justierbarkeit sowie der Eignung für beschichtete und unbeschichtete Materialien. Dabei können Verbindungen unterschiedlicher Metalle ermöglicht werden. Die Vorbereitungszeit ist im Gegensatz zum Schweißen geringer.

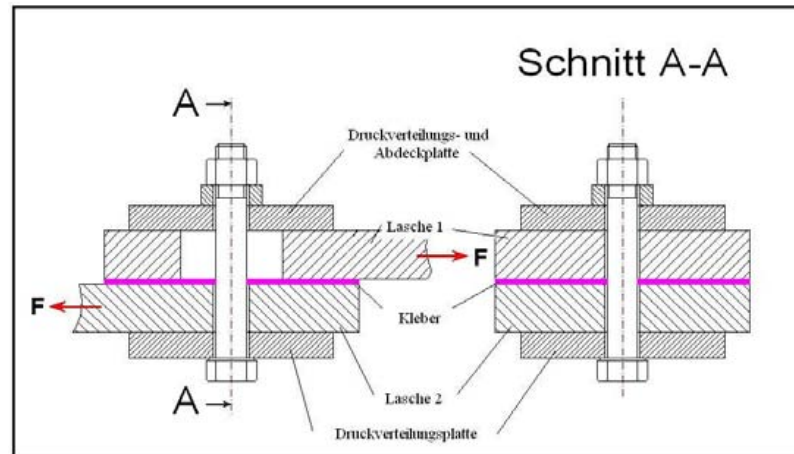


Bild 2-18 / Schnitt - Sicherung und Kraftübertragung durch Klebeverbindung

Die Nachteile dieser Verbindungsart sind unter anderem in den Berechnungs- und Bemessungsvorgaben zu finden. Auf Grund des noch in der Entwicklung befindlichen Sachverhaltes Kleben im Stahlbau erfolgen einfach gehaltene Rechenansätze mit hohen Teilsicherheitsbeiwerten, weit auf der sicheren Seite.

Deshalb ist zum momentanen Zeitpunkt immer eine Zustimmung im Einzelfall nötig.

Witterungseinflüsse und Chemische Einwirkungen können die eingesetzten Klebkomponenten negativ beeinflussen. Hinzu kommt die, gegenüber Stahl, geringere Temperaturbeständigkeit und somit ein Versagen der Verbindung im Brandfall.

Diese Verbindung ist nicht zerstörungsfrei trennbar.

Das Bauwerk / die Verbindung muss bis zur vollen Tragfähigkeit des Klebers in seiner Lage gesichert werden. Es können nur geringe Kräfte übertragen werden.

## 2.6.3 Hybridverbindung - Injektionsharz (Anlage D)

Die Vorteile dieser Verbindung sind die freie Justierbarkeit und das nach Einbringen und Aushärtung des Injektionsharzes eine schlupffreie Passverbindung vorliegt.

Die Nachteile der Verbindung sind der hohe Vorbereitungs Aufwand sowie

Witterungseinflüsse und chemische Einwirkungen die die Injektionsharzkomponenten

negativ beeinflussen.

Hinzu kommt die, gegenüber Stahl, geringere Temperaturbeständigkeit und somit ein Versagen der Verbindung im Brandfall. Diese Verbindung ist nicht zerstörungsfrei trennbar und zählt zu den besonderen Verbindungsmitteln und erfordert eine Zustimmung im Einzelfall. Das Bauwerk / die Verbindung muss bis zur vollen Tragfähigkeit des Harzes in seiner Lage gesichert werden.

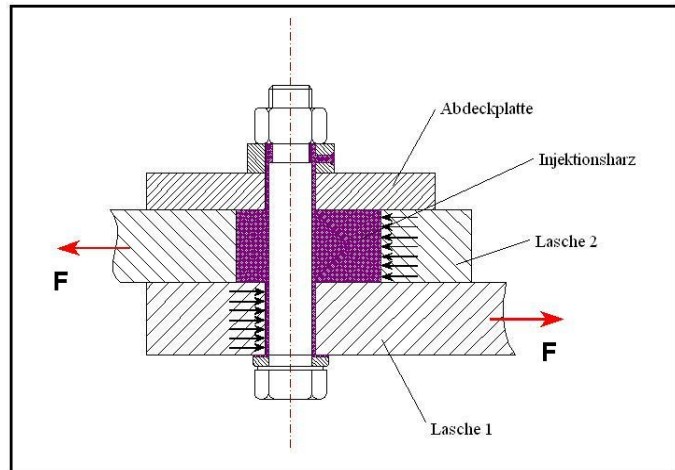


Bild 2-19 / Schnitt Langlochverbindung mit Injektionsharz

## 2.7 Konstruktive Maßnahmen

### 2.7.1 Grundmaterialeinsätze (Anlage E)

Die Vorteile dieser Verbindung sind unter anderem die einfache Nachweisführung. Auf Grund dessen das als Füllmaterial der selbe Werkstoff verwendet wird führt dazu, dass nach einbringen die Verbindung sofort belastbar ist. Diese Verbindung ist zerstörungsfrei lösbar. Nachteilig auf die Justierbarkeit und

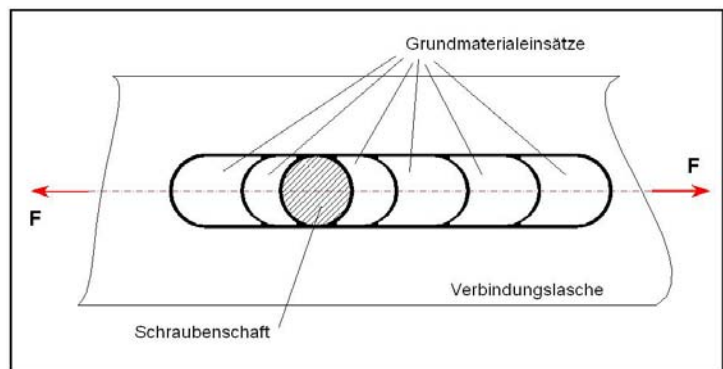


Bild 2-20 Grundmaterialeinsätze

Wirtschaftlichkeit wirken sich, die viele kleine Einzeleinsätze aus. Abdeckplatten werden benötigt um zu verhindern, dass die Grundmaterialeinsätze herausfallen.

Bei geringen Randabständen kann es zum aufdrücken der seitlichen Materialbereiche / Lochleibungseffekt kommen.

## 2.7.2 Justierschrauben mit definierter Krafrichtung (Anlage F)

Diese Verbindungsart hat zum Vorteil, dass sie unter voller Belastung, frei justierbar ist.

Es handelt sich dabei um eine zerstörungsfrei lösbare Verbindung, die hohe Kräfte übertragen kann

Die Nachteile dieser Verbindungsart liegen im hoher Fertigungsaufwand.

Weiterhin eignet sich diese Verbindungsart nur für große Schraubendurchmessern.

Für jede Krafrichtung wird eine separate Justierschraube benötigt.

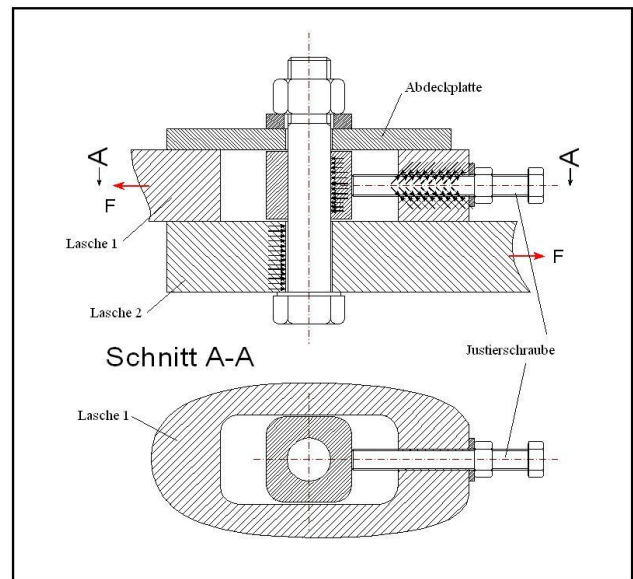


Bild 2-21 / Langloch mit Justierschraube

## 2.7.3 Verkeilung/Verzahnung (Anlage G)

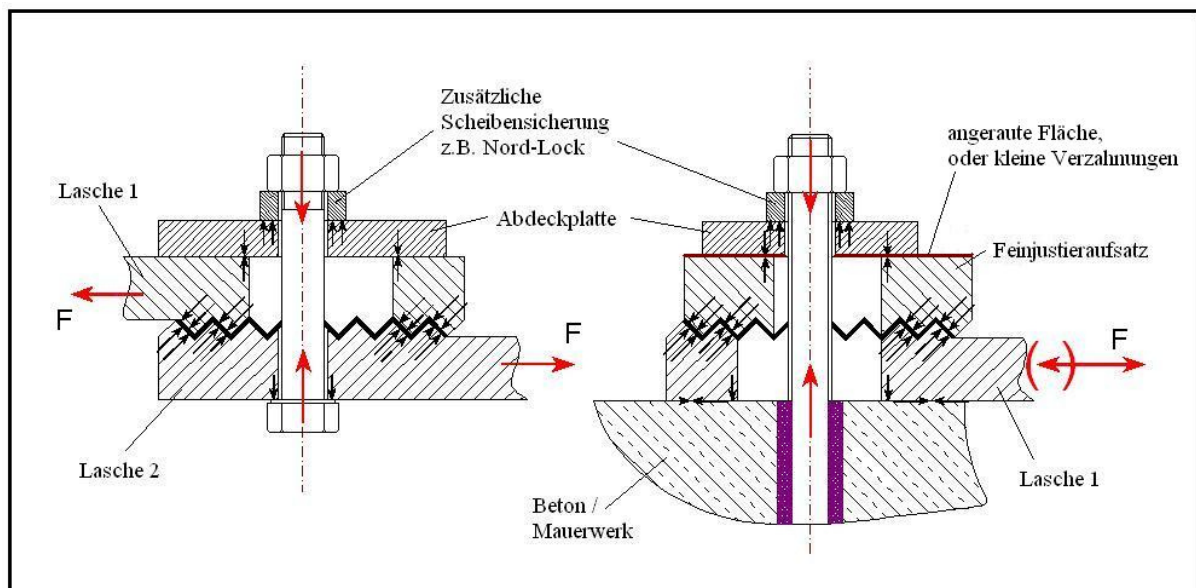


Bild 2-22 / Verkeilung / Verzahnung zur Kraftübertragung

Eine durch das Ingenieurbüro Taupitz bereits in der Praxis angewandte Möglichkeit der Sicherung von Kraftübertragung parallel zum Langloch kann durch die Verkeilung und Verzahnung von Bauteilen erreicht werden. Bei steigender Belastung bewirkt die Verzahnung ein auseinander pressen der Laschen. Dadurch wird die Schraube ähnlich einer dem Kraftlaufbild einer vorgespannten Verbindung beansprucht. Bei wechselnden Belastungen ist

des deshalb notwendig die Schraubverbindung mit einer zusätzlichen Sicherung, z.B. Nordlock Sperrscheibe, zu versehen. Die Vorteile der Verbindung sind die freie Justierbarkeit und die zerstörungsfrei Lösbarkeit Verbindung.

Durch die Verzahnung können hohe Kräfte übertragen werden.

Nachteilig sind dabei, der hohe Fertigungsaufwand, Fertigungsbedingte Kerben (abstellbar durch Herstellung durch Schmieden), kleine Verzahnungen die schlecht Feuerverzinkbar sind, große Verzahnungen aber wieder rum einen Feinjustieraufsatz benötigen. hohen Aufbau wegen zusätzlicher Justierplatte mit Langloch.

In der Schraube werden durch die Verzahnung zusätzliche Biegespannungen indiziert.

## 2.7.4 Verbindung mit hochfesten vorgespannten Schrauben

### (Anlage H)

Verwendung von Verbindungen mit hochfesten vorgespannten Schrauben und Abminderungen der übertragbaren Kräfte und Einwirkungen und daraus erforderlichen Anzahlerhöhungen der Verbindungsmittel

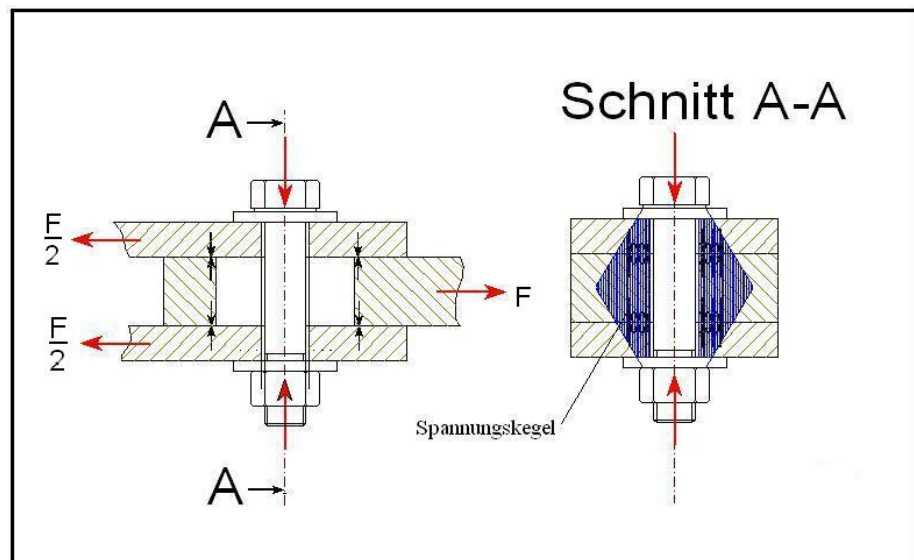


Bild 2-23 / Vorgespannte Schraubverbindung

oder einer Vergrößerung der Pressflächen / Reibflächen durch Auslagerung der Pressfläche in den Materialvollbereich, um größere Kräfte übertragen zu können.

Die Vorteile der Verbindung sind die freie Justierbarkeit und die zerstörungsfrei Lösbarkeit der Verbindung. Weiterhin wird durch das Aufbringen von Vorspannung der Reibwiderstand erhöht. Diese Verbindung ist mit üblichem Montagewerkzeug realisierbar.

Nachteilig für diese Verbindungsart ist, dass geprüfte und geeichte Werkzeuge immer verwendet werden müssen. Es kommt zur Kantenpressung im Langloch auf Grund der geringeren Pressflächen siehe Bild 2-6. Dies führt zur Abminderung der Vorspannkraft. Eine Umgehung der Kantenpressung ist z.B. durch ausgelagerte Druckkräfte realisierbar.

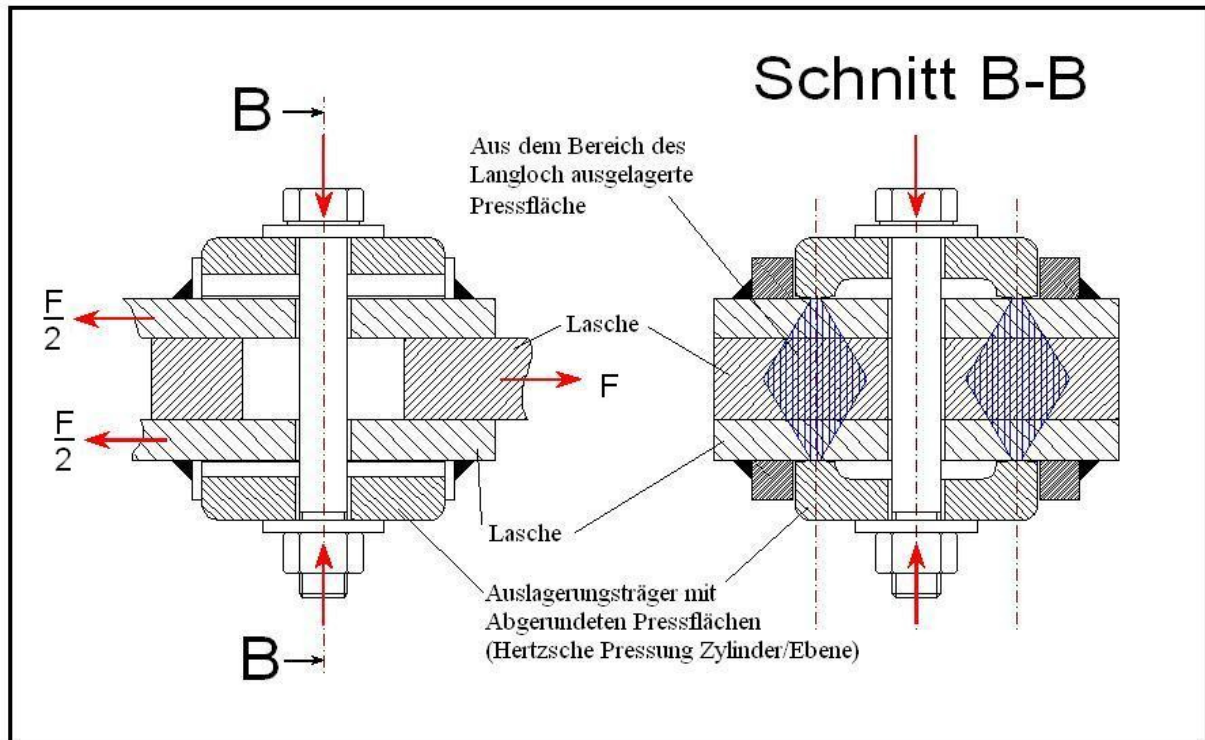


Bild 2-24 Ausgelagerte Pressflächen zur Erhöhung der Gleittragfähigkeit

Ein höherer Fertigungsaufwand ist nötig um die Auslagerung der Druckzone aus dem Langlochbereich mit voller Vorspannkraft nutzbar machen zu können

Konstruktiv sollte der Auslagerungsträger für die Pressfläche einen großen Radius aufweisen, (Bild 2-26)

Der Nachweis erfolgt über die Hertzische Pressung da dadurch größere Pressflächen generiert und höhere Kräfte übertragen werden können.

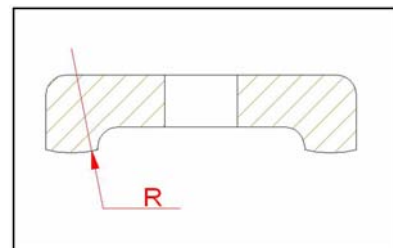


Bild 2-25 / Radius Auslagerungsträger



### 3. Untersuchungen zu Langlochverbindungen

#### 3.1 Recherchen bezüglich konstruktiver Grundlagen

##### 3.1.1 DIN EN 1090-2

###### (6.6.1) Maße Langlöchern <sup>(3-1)</sup>

Die Begriffe „kurz“ und „lang“ bei Langlöchern werden unter Bezugnahme auf zwei Arten von Löchern verwendet, die bei der Bemessung vorgespannter Schrauben unterschieden werden. Diese Begriffe können auch zur Bezeichnung des Lochspiels nicht vorgespannter Schrauben verwendet werden. Eine Detaillierte Übersicht ist in der Arbeitshilfe 5.2 „Ausführungen von Stahlbauten – Geschraubte Verbindungen – Allgemeines“ zu finden.

Nenn Durchmesser $d$ der Schraube oder des Bolzens (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 und größer
Normale runde Löcher <sup>a</sup>	1 <sup>b,c</sup>		2					3
Übergroße runde Löcher	3	4				6	8	
Kurze Langlöcher (in der Länge) <sup>d</sup>	4	6				8	10	
Lange Langlöcher (in der Länge) <sup>d</sup>	1,5 $d$							
<sup>a</sup> Bei Anwendungsfällen, wie z. B. bei Türmen und Masten, muss das Nennlochspiel für normale runde Löcher um 0,5 mm abgemindert werden, sofern nichts anderes festgelegt wird. <sup>b</sup> Bei beschichteten Verbindungsmitteln kann das Nennlochspiel von 1 mm um die Überzugdicke des Verbindungsmittels erhöht werden. <sup>c</sup> Unter Bedingungen nach EN 1993-1-8 dürfen Schrauben mit Nenndurchmessern von 12 und 14 mm oder Senkschrauben auch mit 2 mm Lochspiel eingesetzt werden. <sup>d</sup> Bei Schrauben in Langlöchern muss das Nennlochspiel in Querrichtung gleich dem für normale runde Löcher festgelegten Lochspiel beim entsprechenden Durchmesser sein.								

Bild 3-1 / Nennlochspiel / Langlochabmessungen nach Norm

###### (8.2.4) Unterlegbleche / Scheiben <sup>(3-2)</sup>

Bei Anschlüssen mit Langlöchern und übergroßen Löchern müssen Unterlegbleche eingesetzt werden. Die maximale Gesamtdicke des Unterlegbleches sollte nicht größer 12 mm sein.

Bei planmäßig mit dem Drehmomentverfahren vorgespannten Garnituren, darf nur ein zusätzliches Unterlegblech auf der Seite, auf der gedreht wird, verwendet werden.

##### 3.1.2 DIN 18800-7 (abgelöst durch Eurocode)

###### (8.1 / 8.2) Unterlegbleche <sup>(3-3)</sup>

Die Mindestdicke für Unterlegbleche aus Stahl unter den (Unterleg-)Scheiben sollte  $\geq 4$  mm

Betragen. Unterlegbleche müssen mindestens dieselbe Nennfestigkeit aufweisen wie das in der Verbindung verwendete Bauteil. Statischen Nachweis für Unterlegbleche sind bei Überbrückung eines Langloches oder eines planmäßig übergroßen Loches notwendig.

### 3.1.3 DIN EN 1993-1-8

#### (3.5) Randabstände für Langlöcher<sup>(3-4)</sup>

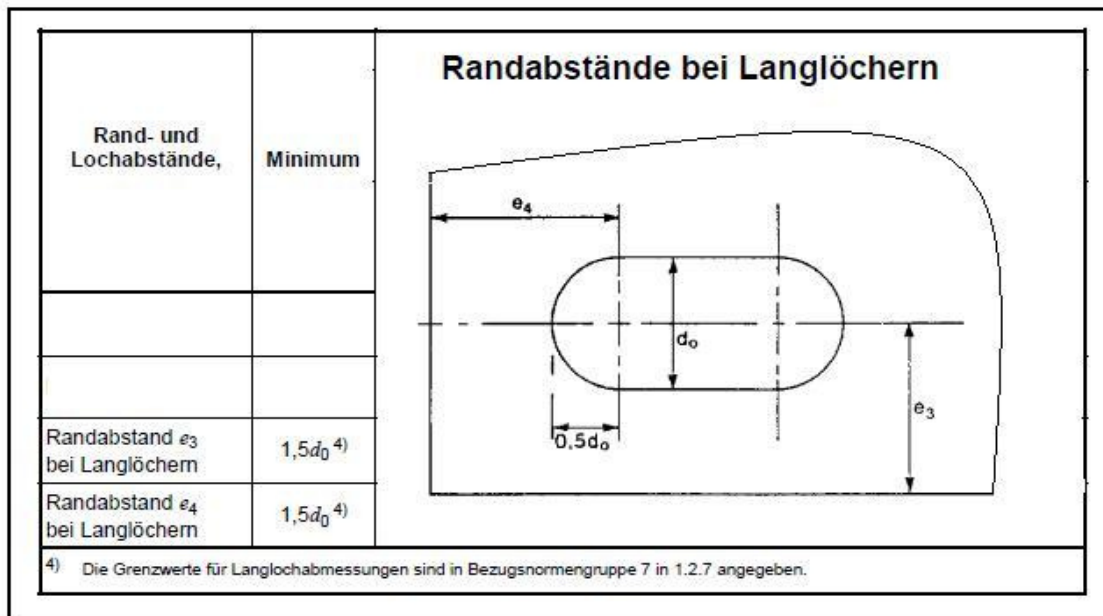


Bild 3-2 Randabstände Langloch DIN EN 1993-1-8

### 3.1.4 DASt - Richtlinie 023 Langlochverbindungen mit Schrauben <sup>(3-5)</sup>

Die DASt Richtlinie – 023 Langlochverbindungen mit Schrauben beinhaltet eine Verfahrensweise für die Anwendung von SL Verbindungen (Kategorie A) mit Langlöchern quer zur Krafrichtung.

#### 2.3 Geometrische Randbedingungen

Die Geometrischen Randbedingungen gelten für Langlochabmaße im Bereich

$1,0 < d_L / d \leq 2,5$ . Abmessungen (siehe Bild 3-3). Die maximale Anzahl der in Krafrichtung mit einem Abstand  $p_1$  hintereinander angeordneten Langlöcher beträgt vier.

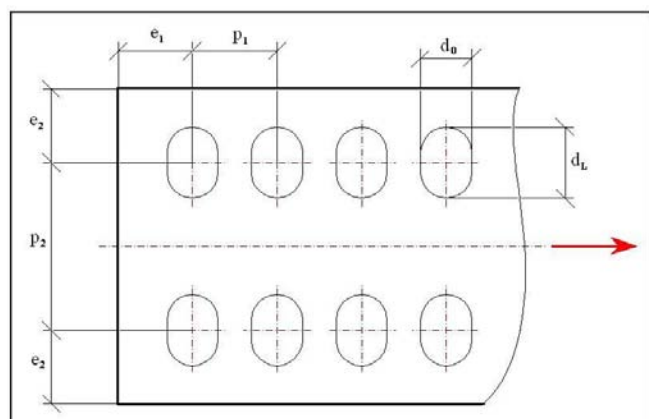


Bild 3-3 / Rand und Lochabstände

kleinster Randabstandin Krafrichtung:  $e_1 = 2,0 * d$ 

senkrecht zur Krafrichtung:

$$e_2 = 0,5 * (2,0 * d_0 + d_L)$$

kleinster Lochabstandin Krafrichtung:  $p_1 = 2,5 * d_0$ 

senkrecht zur Krafrichtung:

$$p_2 = 2,0 * d_0 + d_L$$

3.1.5 DIN EN 1993-1-9 <sup>(3-6)</sup>**(8) Ermüdungsnachweis (Tabelle 8.1)**

Allgemein gilt für geschraubte Verbindungen (vorgespannt, Injektion) für die aufgeführten Kerbfälle folgende Mindestabstände:

$$\text{Lochabstand vom Rand in Krafrichtung: } e_1 \geq 1,5 * d$$

$$\text{Lochabstand vom Rand senkrecht zur Krafrichtung: } e_2 \geq 1,5 * d$$

$$\text{Lochabstand in Krafrichtung: } p_1 \geq 2,5 * d$$

$$\text{Lochabstand senkrecht zur Krafrichtung: } p_2 \geq 2,5 * d$$

3.1.6 DIN EN 1090-3 (Aluminium) <sup>(3-7)</sup>**(6.6) Löcher für mechanische Verbindungsmittel**

„Bei Langlöchern muss deren Istlänge für Schraubendurchmesser  $< 20$  mm mit einer Abweichung von  $\pm 1$  mm und für Schraubendurchmesser  $\geq 20$  mm mit einer Abweichung von  $\pm 2$  mm festgelegt werden. Die Breite darf  $(d + 1)$  mm nicht überschreiten.

Bei kurzen Langlöchern darf deren Länge nicht mehr als  $1,5 (d + 1)$  mm und bei langen Langlöchern nicht mehr als  $2,5 (d + 1)$  mm betragen. Langlöcher dürfen nur in einem Anschlussstück einer Verbindung vorhanden sein.“

## 3.1.7 Bericht Nr. 132 / GAV-Nr. FG 25

(Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V. Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG25 / „Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen“ / Günther Valtinat / siehe auch Daten CD / Ordner Unterlagen / GAV 132)

**(3) Störung des Vorspannkraftausbreitungskegels durch Langlöcher**

Bei rechnerischen und experimentellen Voruntersuchungen zum Forschungsvorhaben FG 25 wurde festgestellt, dass bei Langlöchern und bei exzentrisch sitzenden Schrauben und



Scheiben die Flächenpressung in den Segmentflächen so hoch ist, dass ein bleibender Eindruck entsteht und durch kKriechen ein Vorspannkraftverlust zu erwarten ist. Die Verwendung von größeren Unterlegscheiben führte zu keiner wesentlichen Verbesserung. (3-8)

**(8.4) Beurteilung und Vorschläge für die Anwendung** (3-9)

Bei Verwendung feuerverzinkter Bauteile mit Langlöchern (quer und längs zur Krafrichtung) bei denen die Kraftübertragung durch vorgespannte Schraubverbindungen und Reibung erfolgt, ist es erforderlich, dass zwischen Unterlegscheibe und demjenigen Bauteil, das das Langloch enthält, eine zusätzliche Lastverteilende Platte mit einer Minstdicke von

→  $0,75 \cdot d$  ( $d = \varnothing$  Schaffdurchmesser Hochfeste Schraube 10.9)

und einer Mindestabmessung von →  $80 \times 80 \text{ mm}^2$  verwendet wird.

Das Lochspiel darf 2 mm nicht überschreiten.

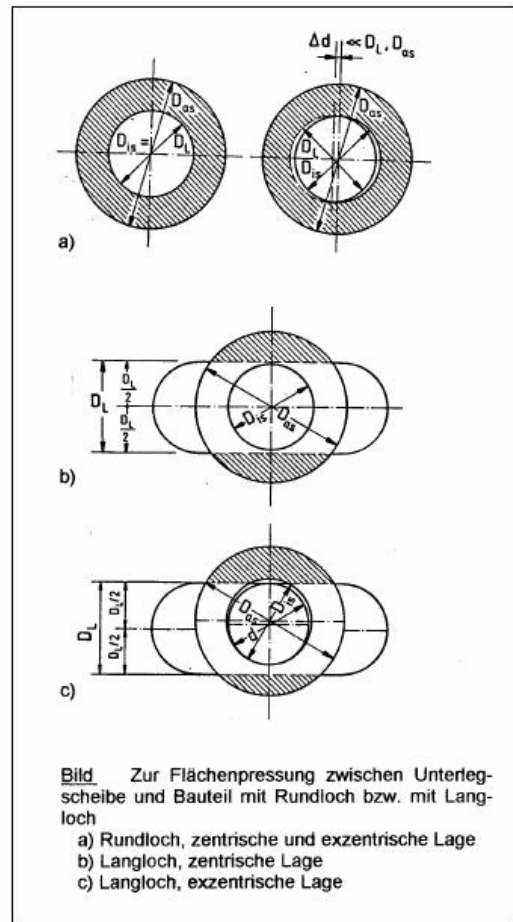


Bild 3-4 Pressflächen Langloch- und Lochschraubverbindungen

3.1.8 Arbeitshilfe 5.2 (3-10)

Nenndurchmesser d [mm] von Schrauben oder Bolzen		12	14	16	18	20	22	24	27	30	36
Lochspiel $\Delta d$	Normale runde Löcher <sup>a</sup>	1 <sup>b,c</sup>		2						3	
	Übergroße runde Löcher	3		4				6		8	
	Kurze Langlöcher <sup>d</sup>	4		6				8		10	
	Lange Langlöcher <sup>d</sup>	1,5 d									
Lochlänge $\varnothing d_0$	Normale runde Löcher <sup>a</sup>	13	15	18	20	22	24	26	30	33	39
	Übergroße runde Löcher	15	17	20	22	24	26	30	35	38	44
	Kurze Langlöcher <sup>d</sup>	16	18	22	24	26	28	32	37	40	46
	Lange Langlöcher <sup>d</sup>	30	35	40	45	50	55	60	67,5	75	90

<sup>a</sup> Bei Anwendungsfällen, wie z. B. bei Türmen und Masten, muss das Nennlochspiel für normale runde Löcher um 0,5 mm abgemindert werden, sofern nichts anderes festgelegt wird.  
<sup>b</sup> Bei beschichteten Verbindungsmitteln kann das Nennlochspiel von 1 mm um die Überzugdicke erhöht werden.  
<sup>c</sup> Schrauben mit Nenndurchmessern 12 und 14 mm oder Senkschrauben dürfen nach DIN EN 1993-1-8 auch mit einem Lochspiel von 2 mm eingesetzt werden, sofern  $F_{v,Rd} \leq F_{b,Rd}$  ist und wenn zusätzlich für FK 8.8 und 10.9 die Abschertragfähigkeit auf  $0,85 F_{v,Rd}$  abgemindert wird.  
<sup>d</sup> Bei Schrauben in Langlöchern muss das Lochspiel in Querrichtung gleich dem für normale runde Löcher festgelegten Lochspiel beim entsprechenden Durchmesser sein.

Bild 3-5 / Nennlochspiel und Nennlochdurchmesser bei Schrauben und Bolzen

Die Arbeitshilfe des Bauforum Stahl ([www.bauforumstahl.de](http://www.bauforumstahl.de)) stellt eine Zusammenfassung

der grundlegenden konstruktiven Ausführungen zu Schraubverbindungen / Loch und Langlochabmessungen im Stahlbau, nach den Normen DIN EN 1090-2 / DIN EN 1993-1-8 / DIN EN 1993-1-8 NA anwenderfreundlich dar. (siehe Bild 3-5 / Daten - CD / Unterlagen)

“Lange Langlöcher müssen entweder in einem Arbeitsgang gestanzt oder durch Bohren oder Stanzen zweier Löcher mit anschließendem manuellem Brennschneiden hergestellt werden. Grate an Löchern müssen vor dem Zusammenbau entfernt werden. Werden Löcher in einem Arbeitsgang durch zusammen geklemmte Teile gebohrt, die nach dem Bohren nicht getrennt werden, ist das Entgraten nur an den außenliegenden Lochrändern erforderlich.“<sup>(3-11)</sup>

### 3.1.9 Verformungskegel / Druckflächen

Siehe auch Punkt 2.1.2. Im Stahlbau wird der Winkel der Lastausbreitung üblicherweise mit  $45^\circ$  angenommen (Bild 3-6). Zur Berechnung der kraftübertragenden Reibfläche wird die Hälfte der Gesamtdicke des Verbindungsaufbaues zum Außendurchmesser der Unterlegscheibe hinzugerechnet und zur Berechnung der Fläche der Druckhülse herangezogen. Es ergibt sich ein theoretischer Verformungskegel von  $\varphi = 26,6^\circ$ .

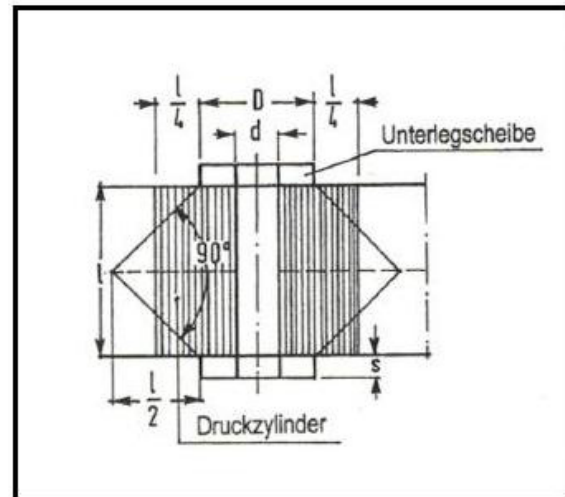


Bild 3-6 / Druckzylinder nach Petersen

### 3.1.10 Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn

#### (3.2.5) Runde Scheiben an Langlöcher

##### **Langloch mit zusätzlicher oder reiner Zugbeanspruchung**

„Bemerkenswert ist, dass EN 1993-1-8 zur Zugtragfähigkeit von Schraubengarnituren in Langlöchern überhaupt keine Angaben macht. Ohne Frage darf die Zugtragfähigkeit der Schraube nicht ohne speziell angefertigte, das Langloch überbrückende Unterlegbleche auf beiden Seiten voll in Anspruch genommen werden.“<sup>(3-12)</sup>

### 3.1.11 Zusammenfassung Konstruktive Grundlagen

Genormte Langlöcher werden in Kurze und Lange unterschieden. Auch wenn sich dem Anwender nicht sofort erschließt in wie weit diese Einteilung gerade bei kurzen Langlöchern

---

sinnvoll erscheint, wird der Bezug erkennbar bei der Betrachtung der übertragbaren Kräfte in gleitfesten Verbindungen sowie bei der Anwendung von Injektionsschraubverbindungen (besondere Verbindungsmittel) die ein größeres Lochspiel benötigen.

„Der Gebrauch von Lang- oder übergroßen Löchern reduziert die Klemmkräfte in den Verbindungsmitteln. Diese Reduzierung ist auf das plastische Fließen der Stahlplatten unter dem Schraubenkopf und der Schraubenmutter zurückzuführen. Die Reduzierung beeinflusst auch die Reibungszahl. Die Auswirkungen auf die Reibungszahl und die Reduktion der Klemmkräfte führen zu einer 15%-igen Reduzierung des Gleitwiderstandes bei übergroßen und kurzen Langlöchern und sogar zu einer 30%-igen Reduzierung bei langen Langlöchern.“<sup>(3-13)</sup>

Bei Langlochverbindungen mit zusätzlicher Verkeilung ist zu beachten, dass größere Verzahnungen verwendet werden sollten, um zu verhindern, dass durch aufgebrauchte Schutzschichten der Verkeilungseffekt aufgehoben wird.

Langlöcher sollten, um Schmutz- und Wasseransammlungen zu vermeiden, immer abgedeckt werden. Abdeckbleche die auch gleichzeitig als Unterlegbleche, fungieren sollten für Schraubverbindungen der Kategorie A und D die Mindeststärke von  $t = 4$  mm und eine Maximalstärke von  $t = 12$  mm aufweisen.

Für Vorgespannte Schraubverbindungen der Kategorie B, C und E sollte in Anlehnung an den Bericht Nr. 132 (GAV) die Abdeck- und Unterlegplatte  $0,75 \times d$  zur besseren Lastverteilung aufweisen. Dabei sollte einerseits beachtet werden, dass die Unterlegplatte mindestens  $t = 4$  mm, aber auch nicht dicker gewählt werden sollte als die in der Verbindung vorherrschenden Bauteildicken. Auf Grund dessen sollten Unterlegbleche, kleiner  $0,75 \times d$ , statisch nachgewiesen werden. Dies kann im weiteren, zur Abminderungen der übertragbaren Kräfte führen.

Kommen Unterlegbleche gleich und größer  $0,75 \times d$  zur Anwendung, ist anzunehmen dass bei einschnittigen Schraubverbindungen auf Grund der konstruktiven Größen und den vorherrschenden langen Schraube(n), zu den normalen Scher- und/oder Zugbelastungen, der Schraube, zusätzliche Biegebeanspruchungen auftreten. Auf die in der Normung spärlich eingegangenen Mindestrand- und Mindestlochabstände sollte immer noch die Betrachtung der möglichen übertragbaren Kräfte beachtet werden..

Da Langlöcher immer abgedeckt sein sollten, wird es zu größeren Abständen kommen.

Für vorgespannte Verbindungen ergeben sich aus den Verformungskegelbereichen weiterhin zu beachtende Mindestabstände. Um überlange Anschlüsse zu vermeiden, sollten nicht mehr als vier Verbindungen in einer Reihe in Krafrichtung angeordnet werden.

Dabei ist DIN EN 1993-1-8 / Punkt 3.7 und 3.8 für Verbindungsmittel Gruppen und Lange Anschlüsse zu beachten.

Eine Empfehlung zur Anwendung von Mindestrand- und Mindestlanglochabstände unter Berücksichtigung eventueller Druckbereichsausbildungen, einen Ermittlungsansatz für zur Bestimmung der zusätzlichen Biegebeanspruchung der Schraube und ein Ermittlungsansatz für Pressfläche / Druckzylinder für nicht vorgespannte und vorgespannte Langlochschaubverbindungen mit Kraftübertragung parallel zum Langloch erfolgt in Anlage A.

## 3.2 Weitere Bemessungsrelevante Grundlagen

### 3.2.1 DIN EN 1993-1-8

#### (3.7 / 3.8) Verbindungsmittel Gruppen / Lange Anschlüsse <sup>(3-14)</sup>

Die Beanspruchungen in einer Verbindungsgruppe können gleichmäßig auf alle einzelnen Verbindungsmittel aufgeteilt werden. Dabei ist von der Tragfähigkeit des geringsten Verbindungsmittels (Abschertragfähigkeit / Lochleibungstragfähigkeit) auszugehen. Bei langen Anschlüssen muss wenn der Abstand  $L_j$  (siehe Bild 3-7)

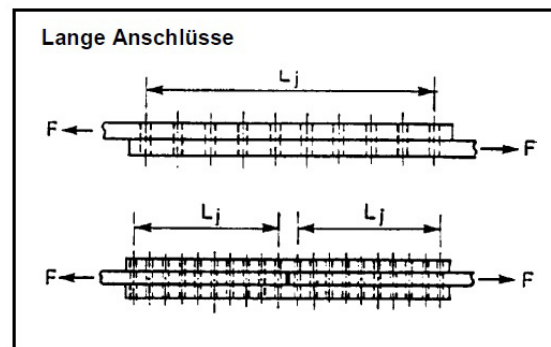


Bild 3-7 / Lange Anschlüsse

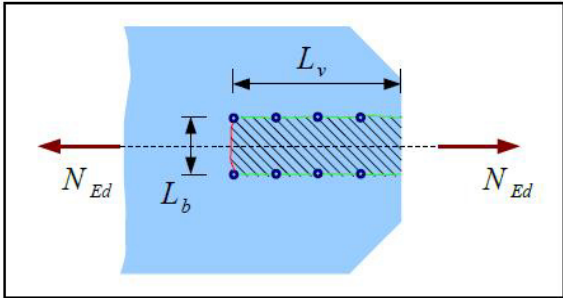
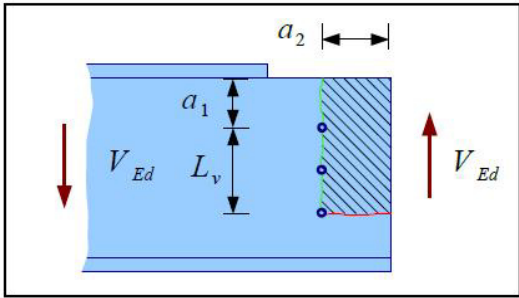
größer  $15d$  ist, die Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$

mit einem Beiwert  $\beta_{L_f}$  abgemindert werden. Dabei gilt  $1,0 \geq \beta_{L_f} \leq 0,75 \rightarrow \beta_{L_f} = \frac{L_j - 15d}{200d}$

Lange Anschlüsse sollten bei Langlochverbindungen vermieden werden.

Bei Verbindungsgruppen ist weiterhin das Blockversagen und die Anschlusssituation nach DIN EN 1993-1-8 / 3.10 zu untersuchen.

**(3.10.2) Blockversagen Schraubengruppen** <sup>(3-15 / 3-16)</sup>

Symmetrische Anordnung	Exzentrische Anordnung
	
<p>Bild 3-8 / Blockversagen Symmetrische Anordnung</p>	<p>Bild 3-9 / Blockversagen Exzentrische Anordnung</p>
$V_{eff,1,Rd} = \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \geq N_{Ed}$	$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 * f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y * A_{nv}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$

**(3.10.3) Zugbelastung bei Einseitig angeschlossener Winkel und unsymmetrisch angeschlossener Bauteile** <sup>(3-17)</sup>

Einseitig mit einer Schraubverbindung oder einer Schraubenreihe angeschlossene Winkel und Bauteile dürfen wie ein zentrisch belasteter Winkel oder Bauteil bemessen werden, wenn die Tragfähigkeit  $N_{u,Rd}$  mit einem effektiven Nettoquerschnitt bestimmt wird.

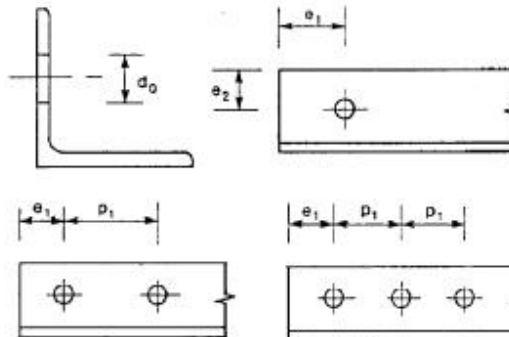
<p>mit 1 Schraube: <math>N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}}</math></p> <p>mit 2 Schrauben: <math>N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}</math></p> <p>mit 3 oder mehr Schrauben: <math>N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}</math></p>													
<p><b>Abminderungsbeiwerte <math>\beta_2</math> und <math>\beta_3</math></b></p>													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Lochabstand</th> <th><math>p_1</math></th> <th><math>\leq 2,5 d_0</math></th> <th><math>\geq 5,0 d_0</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 Schrauben</td> <td><math>\beta_2</math></td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>3 Schrauben oder mehr</td> <td><math>\beta_3</math></td> <td>0,5</td> <td>0,7</td> </tr> </tbody> </table>		Lochabstand	$p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$	2 Schrauben	$\beta_2$	0,4	0,7	3 Schrauben oder mehr	$\beta_3$	0,5	0,7
Lochabstand	$p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$										
2 Schrauben	$\beta_2$	0,4	0,7										
3 Schrauben oder mehr	$\beta_3$	0,5	0,7										

Bild 3-10 / Nettoquerschnitt Tragfähigkeit

$\beta_2$  und  $\beta_3$  Abminderungsbeiwerte in Abhängigkeit vom Lochabstand  $p_1$ .

Für Zwischenwerte von  $2,5 * d_0 \leq p_1 \leq 5,0 * d_0$  darf der Wert interpoliert werden

Siehe hierzu auch DIN EN 1993-1-1 / Punkt 6.2.3 <sup>(W-11)</sup>



## 3.3 Schraubverbindungen

### 3.3.1 Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn

#### (3.3) Handfestes Anziehen

„Um das handfeste Anziehen ggf. mit Hilfe einer objektiven Drehmomentkontrolle quantifizieren und damit in eine Arbeitsanweisung umsetzen zu können, sollten – sofern der Schraubenhersteller nicht selber Anziehmomente empfiehlt – die Handfest-Anziehmomente nach Tabelle (Bild 3-14) verwendet werden. Sie sind so gewählt, dass sie in leicht geölten schwarzen Schraubengarnituren knapp 10% der Mindestvorspannkraft für eine 10.9-HV-Schraube erzeugen, wodurch eine Schraube mit niedrigst-zulässiger Festigkeit (4.6) im Spannungsquerschnitt des Gewindes mit ca. 25% bis 30% der Streckgrenze beansprucht wird.“ (3-21)

Schraube	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
$M_{A,handfest} (Nm)$	15	35	60	90	110	165	220	350

Bild 3-14 Handfest Anziehdrehmomente

#### (4.5.2) Modifiziertes Drehmoment Vorspannverfahren nach DIN EN 1993-1-8 / NA (3-22)

Schrauben Anziehdrehmoment:  $M_{A,Soll}^* = 0,15 * d * F_{p,C}^*$

Für eine sinnvolle planmäßige Gebrauchstauglichkeitsvorspannung sollte

$F_p = 0,5 * F_{p,C}^*$  mit  $M = 0,5 * M_{A,Soll}^*$  nicht unterschreiten.

$$\text{Daraus wird abgeleitet} \rightarrow F_{p,C}^* = \frac{M_{A,handfest}}{0,15 * d}$$

### 3.3.2 ESDEP (European Steel Design Education Programme)

„Der Gebrauch von Lang- oder übergroßen Löchern reduziert die Klemmkräfte in den Verbindungsmitteln. Diese Reduzierung ist auf das plastische Fließen der Stahlplatten unter dem Schraubenkopf und der Schraubenmutter zurückzuführen. Die Reduzierung beeinflusst auch die Reibungszahl. Die Auswirkungen auf die Reibungszahl und die Reduktion der Klemmkräfte führen zu einer 15%-igen Reduzierung des Gleitwiderstandes bei übergroßen und kurzen Langlöchern und sogar zu einer 30%-igen Reduzierung bei langen Langlöchern.“ (3-23)



Aufgrund dessen ist für den Nachweis der zusätzlichen Schraubenbiegebeanspruchung der Wert  $F_{p,C,red}$  bei

Kurze Langlöcher (nach Normung) mit  $\rightarrow F_{p,C,red} = (0,7 * f_{ub} * A_S) * 0,85$  und bei

Lange Langlöcher (nach Normung) mit  $\rightarrow F_{p,C,red} = (0,7 * f_{ub} * A_S) * 0,7$  anzusetzen.

### 3.3.3 DIN EN 1090-2

#### (8.5) Anziehen planmäßig vorgespannter Schrauben <sup>(3-24)</sup>

Mindestvorspannkraft  $F_{p,C} = 0,7 * f_{ub} * A_S$

Die Vorspannkraft wird für alle gleitfesten vorgespannten Verbindungen angesetzt.

Dabei ist darauf zu achten, dass es bei Langlöchern, auf Grund der geringeren Pressfläche, schneller zu Verformungen kommt.

Somit muss unter Berücksichtigung der Flächenpressung eine Abminderung der Vorspannkraft erfolgen.

### 3.3.4 DIN EN 1993-1-8

#### (3.1/ 3.1.1) Festigkeitsklassen Schraubverbindungen <sup>(3-25)</sup>

Die Streckgrenzen  $f_{yb}$  und die Zugfestigkeiten  $f_{ub}$  sind für Schrauben der verschiedenen Festigkeitsklassen.

Für die Bemessung sind in der Regel diese Werte als charakteristische Werte anzusetzen.

Nennwerte der Streckgrenze $f_{yb}$ und der Zugfestigkeit $f_{ub}$ von Schrauben				
Schraubenfestigkeitsklasse	4.6	5.6	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	800	1000

Bild 3-15 / Nennwerte Schraubenfestigkeiten

#### (3.3) Ankerschrauben <sup>(3-26)</sup>

Für Ankerschrauben dürfen die Stahlsorten, welche den Anforderungen der Bezugsnormengruppe 1 in DIN EN 1993-1-8, 1.2.1 und der Bezugsnormengruppe 4 in DIN EN 1993-1-8, 1.2.4 entsprechen sowie Stahlsorten von Bewehrungsstählen, welche den Anforderungen nach EN 10080 entsprechen, verwendet werden. Dabei darf der Nennwert der Streckgrenze bei scherbbeanspruchten Ankerschrauben den Wert 640 N/mm<sup>2</sup> nicht überschreiten. Ohne Scherbbeanspruchung liegt die obere Grenze bei 900 N/mm<sup>2</sup>.



(3.6.1)<sup>(3-27)</sup>

Beanspruchbarkeit einzelner Verbindungsmittel mit Scher- und/oder Zugbeanspruchung	
Versagenskriterium	Schrauben
Abscheren je Scherfuge	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{vb} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>— wenn das Gewinde der Schraube in der Scherfuge liegt (<math>A</math> ist die Spannungsquerschnittsfläche <math>A_s</math> der Schraube):             <ul style="list-style-type: none"> <li>— für Festigkeitsklassen 4.6, 5.6 und 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>— für Festigkeitsklassen 4.8, 5.8, 6.8 und 10.9: <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> </li> <li>— wenn der Schaft der Schraube in der Scherfuge liegt (<math>A</math> ist die Schaftquerschnittsfläche der Schraube): <math>\alpha_v = 0,6</math></li> </ul>
Lochleibung <sup>1), 2), 3)</sup>	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei <math>\alpha_b</math> der kleinste Wert ist von <math>\alpha_d \cdot \frac{f_{vb}}{f_u}</math> oder 1,0;</p> <p>in Krafrichtung: — für am Rand liegende Schrauben: <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}</math>,</p> <p>— für innen liegende Schrauben: <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}</math></p> <p>quer zur Krafrichtung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— für am Rand liegende Schrauben:             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_1</math> ist der kleinste Wert von <math>2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7</math>, <math>1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> und 2,5</li> </ul> </li> <li>— für innen liegende Schrauben:             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>k_1</math> ist der kleinste Wert von <math>1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7</math> oder 2,5</li> </ul> </li> </ul>
Zug <sup>2)</sup>	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{tb} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>wobei <math>k_2 = 0,63</math> für Senkschrauben, sonst <math>k_2 = 0,9</math>.</p>
Durchstanzen	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$
Kombination von Scher-/Lochleibung und Zug	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$
<sup>1)</sup> Die Lochleibungstragfähigkeit $F_{b,Rd}$ wird <ul style="list-style-type: none"> <li>— bei großem Lochspiel statt normalem Lochspiel mit dem Beiwert 0,8 abgemindert;</li> <li>— bei Langlöchern mit Längsachse quer zur Krafrichtung mit dem Beiwert 0,6 gegenüber normalem Lochspiel abgemindert.</li> </ul> <sup>2)</sup> Bei Senkschrauben <ul style="list-style-type: none"> <li>— wird bei der Bestimmung der Lochleibungstragfähigkeit <math>F_{b,Rd}</math> die Blechdicke <math>t</math> als Dicke des maßgebenden Verbindungsbleches abzüglich der Hälfte der Senkung, angesetzt;</li> <li>— gelten bei der Bestimmung der Zugtragfähigkeit <math>F_{t,Rd}</math> die Regeln der Bezugsgnomengruppe 4 in 1.2.4; andernfalls sollte eine entsprechende Anpassung der Zugtragfähigkeit <math>F_{t,Rd}</math> erfolgen.</li> </ul> <sup>3)</sup> Bei schräg angreifenden Schraubenkräften darf die Lochleibungstragfähigkeit getrennt für die Kraftkomponenten parallel und senkrecht zum Rand nachgewiesen werden.	

Bild 3-16 Nachweisübersicht Scher- Zug- Lochleibungsverbindungen

Zu 1. Tabelle Bild 3-16 ist in weiterer Betrachtung anzumerken, dass kurze Langlöcher in Bezug auf die Fläche gesehen, zu Löchern mit großem Lochspiel nur ein geringfügiges anders Lochbild aufweisen. Weiterhin ist davon auszugehen das es sich bei der

in der Norm benannten Bezeichnung Langloch um ein normal langes Langloch handelt. Im Eurocode wird an anderer Stelle explizit zwischen kurzen und langen Langloch unterschieden wird. Die Lochleibungstragfähigkeit für kurze Langlöcher parallel in Kraft- richtung sollte, in Anlehnung an Tabelle Bild 3-16, mit dem Faktor 0,6 abgemindert werden.

Für Schrauben mit geschnittenem Gewinde, z. B. Ankerschrauben oder Zugstangen, die aus Rundstahl gefertigt werden, dürfen die Werte aus Tabelle Bild 3-16 verwendet werden, sofern die Ausführung DIN EN 1090 entspricht. Wenn nicht, dann sind die Werte in der Regel mit dem Faktor 0,85 abzumindern.

M12 und M14 Schrauben dürfen auch mit einem Lochspiel von 2 mm eingesetzt werden, wenn der Bemessungswert der Abschertragfähigkeit kleiner gleich dem Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit ist und wenn zusätzlich für Schrauben der Festigkeitsklassen 8.8 und 10.9 die Abschertragfähigkeit  $F_{v,Rd}$  mit dem Faktor 0,85 abgemindert wird.

In einschnittigen Anschlüssen mit nur einer Schraubenreihe müssen beidseitig Unterlegscheiben und bei Schrauben mit der Festigkeitsklassen 8.8 oder 10.9 gehärtete Unterlegscheiben verbaut werden. Dabei ist die Lochleibungstragfähigkeit  $F_{b,Rd}$  der Schrauben auf:  $F_{b,Rd} \leq 1,5 * f_u * d * t / \gamma_{M2}$  zu begrenzen. <sup>(3-28)</sup>

**(2.2) Teilsicherheitsbeiwerte** <sup>(3-29)</sup>

Teilsicherheitsbeiwerte für Anschlüsse	
Beanspruchbarkeit von Bauteilen und Querschnitten	$\gamma_{M0}$ , $\gamma_{M1}$ und $\gamma_{M2}$ siehe EN 1993-1-1
Beanspruchbarkeit von Schrauben	$\gamma_{M2}$
Beanspruchbarkeit von Nieten	
Beanspruchbarkeit von Bolzen	
Beanspruchbarkeit von Schweißnähten	
Beanspruchbarkeit von Blechen auf Lochleibung	
Gleitfestigkeit	$\gamma_{M3}$
— im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Kategorie C)	
— im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (Kategorie B)	$\gamma_{M3,ser}$
Lochleibungsbeanspruchbarkeit von Injektionsschrauben	$\gamma_{M4}$
Beanspruchbarkeit von Knotenanschlüssen in Fachwerken mit Hohlprofilen	$\gamma_{M5}$
Beanspruchbarkeit von Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M6,ser}$
Vorspannung hochfester Schrauben	$\gamma_{M7}$
Beanspruchbarkeit von Beton	$\gamma_c$ siehe EN 1992

Bild 3-17 Teilsicherheitsbeiwerte

Widerstandswerte von Materialien werden durch Teilsicherheitsbeiwerte  $\gamma_M$  abgemindert.

folgende Werte werden empfohlen:

$$\gamma_{M2} = 1,25; \gamma_{M3} = 1,25 \text{ und } \gamma_{M3,ser} = 1,1; \gamma_{M4} = 1,0; \gamma_{M5} = 1,0; \gamma_{M6,ser} = 1,0; \gamma_{M7} = 1,1.$$

Für ermüdungsbeanspruchte Anschlüsse gelten zusätzlich die Grundsätze in EN 1993-1-9.

### 3.3.5 DIN EN 1993-1-8 / NA <sup>(3-31)</sup>

#### NDP zu 3.4.2(1) Anmerkung

Für die Kategorien B, C und E ist das kombinierte Vorspannverfahren nach DIN EN 1090-2 mit der vollen Vorspannkraft  $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$  anzuwenden.

Für nicht voll vorgespannte Verbindungen darf eine Vorspannkraft von bis zu  $F_{p,C}^* = 0,7 f_{yb} A_s$  angewandt werden.

Vorspannverfahren siehe DIN –EN 1993-1-8 / NA / Anhang A. <sup>(W-15)</sup>

Zur Sicherung von Schraubengarnituren ist eine Vorspannung von  $0,5 * F_{p,C}^*$  ausreichend.

## 3.4 Kontaktflächen Haftreibungswerte

### 3.4.1 DIN EN 1090-2

#### (8.4) Kontaktflächen für gleitfeste Verbindungen <sup>(3-32)</sup>

Die Kontaktflächen müssen so vorbereitet werden, dass die geforderte Haftreibungszahl erzielt wird. Die Haftreibungszahl wird anhand des in DIN EN 1090-2 Anhang G festgelegten Verfahrens ermittelt. Für die in Tabelle Bild 3-18 benannten Oberflächenbehandlungsarten darf ohne Versuch

angenommen werden, dass damit mindestens die Haftreibungszahlen der festgelegten Gleitflächenklassen erzielt werden.

Für Reibflächen anzunehmende Einstufungen		
Oberflächenbehandlung	Gleitflächenklasse	Haftreibungszahl $\mu$
Oberflächen mit Kugeln oder Sand gestrahlt, loser Rost entfernt, nicht körnig.	A	0,50
Oberflächen mit Kugeln oder Sand gestrahlt:		
a) spritzaluminiert oder mit einem zinkbasiertem Produkt spritzverzinkt;	B	0,40
b) mit Alkali-Zink-Silikat-Anstrich mit einer Dicke von 50 $\mu\text{m}$ bis 80 $\mu\text{m}$		
Oberflächen mittels Drahtbürsten oder Flammstrahlen gereinigt, loser Rost entfernt	C	0,30
Oberflächen im Walzzustand	D	0,20

Bild 3-18 / Gleitflächenklasse und Haftreibungszahl

### 3.4.2 DIN EN 1993-1-8

#### (3.9) Gleitfeste Verbindungen <sup>(3-33)</sup>

Bei Scher- und bei kombinierten Scher- Zugverbindungen mit vorgespannten hochfesten Schrauben wird der Gleitwiderstand wie folgt berechnet:

	Scherverbindung	Kombiniert Scher- Zug
Kategorie B (GZG)	$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C}$	$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}}$
Kategorie C (GZT)	$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$	$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$
Mindestvorspannkraft	$F_{p,C} = 0,7 * f_{ub} * A_S$	$F_{t,Rd}$ und $F_{t,Rd,ser}$ siehe Punkt 3.6.1 DIN EN 1993-1-8

Zahlenwerte $k_s$	
Beschreibung	$k_s$
Schrauben in Löchern mit normalem Lochspiel	1,0
Schrauben in übergroßen Löchern oder in kurzen Langlöchern, deren Längsachse quer zur Krafrichtung liegt	0,85
Schrauben in großen Langlöchern, deren Längsachse quer zur Krafrichtung liegt	0,7
Schrauben in kurzen Langlöchern, deren Längsachse parallel zur Krafrichtung liegt	0,76
Schrauben in großen Langlöchern, deren Längsachse parallel zur Krafrichtung liegt	0,63

Reibungszahl $\mu$ für vorgespannte Schrauben	
Gleitflächenklassen (siehe Bezugsnormengruppe 7 in 1.2.7)	Reibungszahl $\mu$
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

Bild 3-19 / Reibungszahlen / Gleitflächenklasse / Beiwerte

### 3.4.3 Bericht Nr. 132 / GAV-Nr. FG 25

Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V. Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG25 / „Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen“ / Günther Valtinat <sup>(3-33)</sup>

#### Reibwerte

Für gleitfeste Verbindungen feuerverzinkter Bauteile bei Fassaden Unterkonstruktionen mit Langlöchern können unter Einhaltung der vorgenannten Bedingungen (siehe Punkt 3.1.7) folgende Reibwerte angesetzt werden.

**Feuerverzinkt ohne Reibflächenbehandlung** Reibwert:  $\mu = 0,15$

**Mit Alkali-Silikat-Zinkstaub-Beschichtung** Reibwert:  $\mu = 0,5$

(siehe hierzu auch DIN 18800 Teil 1 / Ausgabe 11/90 / Element 812)

### 3.5 Vorspannkraftverluste DIN 18800-7 (abgelöst durch Eurocode)

#### (8.4) Vorbereitung der Kontaktflächen für Schraubenverbindungen <sup>(3-34)</sup>

Zu beachtende Vorspannkraftverluste

auf Grund der gewählten und aufgetragenen Beschichtung.

Eignungshinweise für Beschichtungen/Beschichtungssysteme auf Kontaktflächen planmäßig vorgespannter Scher-Lochleibungs-Verbindungen (SLV/SLVP)		
Eignungsvermerk	Beschichtungen/Beschichtungssysteme	
Vorspannkraftverlust bei zwei zusammengespannten beschichteten Kontaktflächen ≤ 10 %: In SLV/SLVP für Beanspruchung auf Zug und Abscheren/Lochleibung geeignet	ASI	BN 918300 Blatt 85
	EP-Zinkstaub	BN 918300 Blatt 87
Vorspannkraftverlust bei zwei zusammengespannten beschichteten Kontaktflächen ≤ 30 %: In SLV/SLVP für Beanspruchung auf Abscheren/Lochleibung geeignet	EP-/PUR-System	BN 918300 Blatt 87
	1K-PUR-GB-Stoff-Norm 689.04	BN 918300 Blatt 89
	1K-PUR-System	BN 918300 Blatt 89
	EP-high-solid-Beschichtung	Einzelprüfung
	1K- und 2K-ESI	BN 918300 Blatt 86
	AK-Zinkphosphat Sollschichtdicke ≤ 120 µm	BN 918300 Blatt 72
	AY-Hydro-Zinkphosphat	Einzelprüfung
	EPE-Zinkstaub	BN 918300 Blatt 77

Bild 3-20 / Vorspannkraftverluste

### 3.6 Injektionsschraubverbindungen (besondere Verbindungsmittel)

#### 3.6.1 DIN EN 1993-1-8

##### (3.6.2) Injektionsschrauben <sup>(3-35)</sup>

Injektionsschrauben können bei Schraubverbindungen der Kategorie A, B und C als Alternative zu normalen Schraub- und Nietverbindungen verwendet werden.

In Verbindungsart, nach Kategorie A, darf neben den normalen Schraubennachweisen der Einwirkwert die Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes nicht überschreiten.

Die Bemessungswerte der einwirkenden Scherkraft in Verbindungen der Kategorie B im GZG und in der Kategorie C im GZT dürfen die Bemessungswerte des Gleitwiderstandes der Verbindung sowie der Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes, die für die jeweiligen

Grenzzustände gelten, nicht überschreiten.

Zusätzlich darf, als wäre keine Injektion vorhanden, in der Regel der Bemessungswert der einwirkenden Scherkraft in Verbindungen der Kategorie B und C im Grenzzustand der Tragfähigkeit weder den Bemessungswert der Schertragfähigkeit der Schraube noch den Bemessungswert der Lochleibungstragfähigkeit des Materials überschreiten.

Die Lochleibungstragfähigkeit des Injektionsharzes kann wie folgt ermittelt werden:

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_t * k_s * t_{b,resin} * \beta * f_{b,resin}}{\gamma_{M4}} \quad \text{Dabei gilt für:}$$

$k_t$  - 1,0 im GZG (lange Einwirkungsdauer)  
 - 1,2 im GZT

$k_s$  - 1,0 bei Löchern mit normalem Lochspiel  
 1,0 - 0,1  $m$  bei übergroßen Löchern

$m$  - die Differenz zwischen normalem Lochspiel und übergroßem Lochspiel in mm.

Bei kurzen Langlöchern nach Bezugsnormengruppe 7 in DIN EN 1993-1-8 / 1.2.7,  
 $m = 0,5 \times$  (Differenz, in mm, zwischen Lochlänge und Lochweite).

$\beta$  - Beiwert in Abhängigkeit siehe Bild 3-21

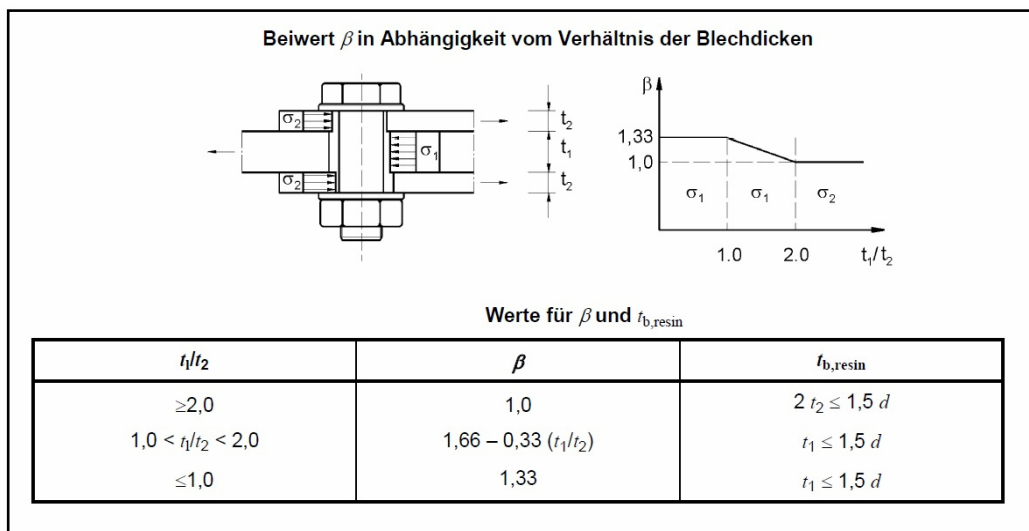


Bild 3-21 / Bemessung Injektionsharz / Beiwerte

Bei Schrauben die eine größere Klemmlänge als  $3d$  aufweisen, sollte die effektive Lochleibungsdicke ( $t_{b,resin}$ ) der Injektionsschrauben maximal auf den Wert  $3d$  begrenzt werden.<sup>(3-36)</sup> siehe Bild 3-22

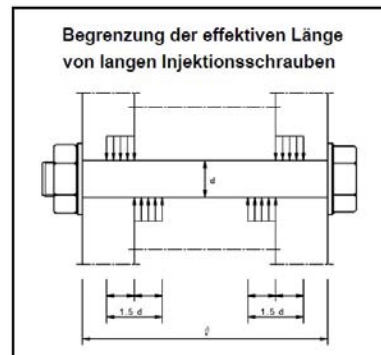


Bild 3-22 / Tragende Breite



### 3.6.2 DIN EN 1090-2

#### (Anhang K) / Sechskant-Injektions-Schrauben<sup>(3-37)</sup>

Injektions-Schrauben dürfen in nicht und/oder vorgespannten Verbindungen eingesetzt werden. Das Ausfüllen des Nennlochspiels, welches 2mm, ab M27 3 mm, betragen sollte, erfolgt durch ein kleines Loch im Kopf der Schraube, wie in Bild 3-23 gezeigt. Nach der Injektion und dem vollständigen Aushärten des Harzes ist die Verbindung schlupffrei. Es darf angenommen werden, dass die Muttern durch das Harz ausreichend gesichert sind.

Um eine komplette Luftentleerung sicher zu stellen bedarf es besonderer Unterlegscheiben. Die rechnerisch zulässige Flächenpressung des Harzes sollte analog zum Verfahren der Bestimmung der Haftreibungszahl nach DIN EN 1090-2

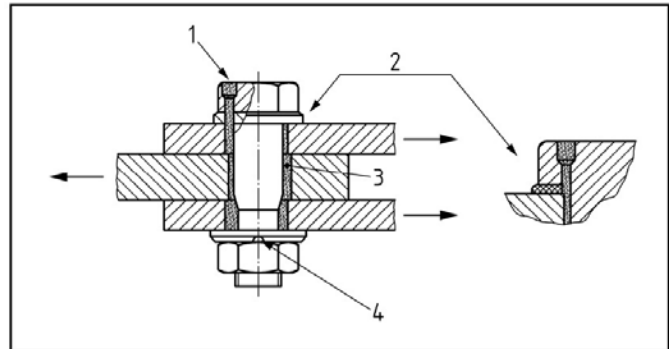


Bild 3-23 / 1 Injektionsöffnung / 2 Gefaste Scheibe / 3 Harz  
4 Luftauslassöffnung

Anhang G bestimmt werden.

Das Harz muss ausgehärtet sein bevor das Tragwerk belastet wird.<sup>(W-13)</sup>

### 3.6.3 Scherverbindungen mit Injektionsschrauben<sup>(3-38)</sup>

Zeitschriftenartikel / bauinformation.de / Fraunhofer IRB

#### (4.2) Einfluss der Temperatur auf die Eigenschaften<sup>(3-39)</sup>

„Die mechanischen Eigenschaften der Injektionsharze hängen stark von der Temperatur ab. Ihre Festigkeit fällt in der Regel bei Temperaturen ab etwa 70°C stark ab.

Das bedeutet, dass die Harze eine geringere Hitzebeständigkeit haben, was im möglichen Brandfall aufgrund des damit verbundenen niedrigen Feuerwiderstandes von Nachteil ist. Mit dem Ausfall des Injektionsmittels im Brandfall geht die Tragfähigkeit der Scherverbindung aber nicht verloren, es kann nur der Schlupf eintreten, der ohne Injektionsmittel zu erwarten wäre.“

#### (4.3) Auswirkungen des Kontaktes mit anderen Substanzen<sup>(3-40)</sup>

„Bei den meisten Harzen ist ein Abfall der Festigkeit zu beobachten, wenn sie mit Wasser in Berührung kommen, womit die Wetterunabhängigkeit nicht ohne weiteres gegeben ist. Auch Ihr Verhalten unter Einwirkung anderer Substanzen kann für den jeweiligen Anwendungsfall von Bedeutung sein.“

**(4.4) Schwinden<sup>(3-41)</sup>**

„Das Schwinden der Injektionsharze beträgt teilweise bis zu 10%“

**Zusammenfassung:****(6.1) Einordnung zwischen Verbindungen**

SL – Injektionsverbindungen erreichen nicht die Tragfähigkeit von SLP - Verbindungen.

Der eingetretene Schlupf liegt aber zwischen den entsprechenden SL und SLP Verbindungen.

**(6.4) Anwendung in der Praxis:**

Injektionsschraubverbindungen können helfen die Vorteile großer Lochspiele zu erhalten oder noch zu steigern, gleichzeitig aber die Stabilität des Bauwerkes zu gewährleisten.

Die Beanspruchung durch Temperatur sowie die örtlichen Gegebenheiten dürfen dabei nicht außer Acht gelassen werden, da sie einen großen Einfluss auf die Beständigkeit der Injektionsschraubenverbindung haben.

### 3.6.4 Zusammenfassung Injektionsschraubverbindung

Verbindungen mittels Injektionsschrauben stellen insoweit eine Alternative dar, dass dadurch schlupffreie Verbindungen realisiert werden können.

Aufgrund der technischen Eigenschaften des Injektionsharzes, den technischen und Umweltbedingungen und Gegebenheiten an der Einbaustelle kommt diese Verbindungsart aber eher selten zum Einsatz. Unter Betrachtung des Sachverhaltes der Wetterbeständigkeit des Brandfalls, ist ersichtlich, dass bei dieser Verbindungsart maximal nur mit kurzen Langlöchern nach DIN EN 1090-2 gearbeitet werden kann, um ein Versagen der Konstruktion zu verhindern. Injektionsharze sind meistens Zweikomponenten Harze auf Epoxidharzbasis dem weitere Füllstoffe beigemischt werden können. Für die Beständigkeit und Alterung dieser Injektionsharze liegen keine wissenschaftlichen Erkenntnisse vor, da es sich um ein neues Verfahren handelt.

## 3.7 Schweißverbindungen DIN EN 1993-1-8

**(4) Schweißverbindungen**

„Die Bestimmungen beziehen sich auf schweißbare Baustähle, die den Anforderungen nach EN 1993-1-1 entsprechen und Erzeugnisdicken von 4 mm oder mehr aufweisen.“<sup>(3-42)</sup>

Bei Langloch-Hybridverbindungen sollte der einfachen Handhabung halber auf Kehlnähte zurückgegriffen werden. Die wirksame Kehlnahtlänge muss länger als 30 mm oder das 6fache



der Nahtdicke betragen, je nach dem welcher Wert größer ist.

Die wirksame Nahtdicke sollte mindestens 3 mm betragen. <sup>(3-43)</sup>

Exzentrische Schweißnahtanschlüsse sollten vermieden werden. Da bei Langloch-Hybridverbindungen Kräfte in einer bestimmten Richtung abgetragen werden sollen, kann der Nachweis der Schweißnaht mit dem Vereinfachten Verfahren erfolgen.

**(4.5.3.3) Vereinfachtes Verfahren** <sup>(3-44)</sup>

Als alternatives Verfahren zum richtungsbezogenen Verfahren darf die Tragfähigkeit einer Kehlnaht als ausreichend angenommen werden, wenn an jedem Punkt längs der Naht die resultierende aller auf die wirksame Kehlnahtfläche einwirkenden Kräfte je Längeneinheit folgende Bedingung erfüllt:

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-bottom: 10px;"> <math>F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}</math> </div> $F_{w,Rd} = f_{vw,d}$ $f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$	Norm und Stahlsorte			Korrelationsbeiwert $\beta_w$
	EN 10025	EN 10210	EN 10219	
	S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
	S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
	S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
	S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0	

Bild 3-24 / Schweißnaht Nachweise

**3.8 Klebeverbindungen**

**3.8.1 Kleben von Stahl und Edelstahl Rostfrei / MB 382** <sup>(3-45)</sup>

Bei Klebstoffverbindungen ist darauf zu achten, dass Klebstoffe bei lang anhaltender Belastung zum Kriechen neigen. Kurzzeitige Belastungen können dagegen sehr gut bewältigt werden.

**(4.5) Beständigkeit**

Die Beständigkeit und das Langzeitverhalten von Klebeverbindungen sind in denjenigen Bereichen von Bedeutung, in denen das Versagen der Klebung zum Versagen der Konstruktion führt und Folgeschäden nach sich zieht.

Für das Langzeitverhalten einer Klebverbindung sind folgende Faktoren bestimmend:

- Alterungsverhalten der Klebstoffe
- zeitabhängiges mechanisches Verhalten in Form des Kriechens unter Last
- Beständigkeit der Adhäsion unter dem Einfluss der zu erwartenden Einsatzbedingungen

Die Mechanismen, die zu einer Verringerung der Festigkeit eines geklebten Verbundes führen können, sind in vier Grundtypen unterteilen:

- korrosive Unterwanderung
- temperaturinduzierte Schädigung
- feuchtigkeitsinduzierte Schädigung durch Quellung und Hydrolyse (Spaltung einer chemischen Bindung durch Reaktion mit Wasser)
- Adhäsionsverlust (Enthaftung)

#### **(4.5.1) Temperatur**

Einfache normale Stahlbauteile können von ihrer Güte her gesehen, ohne weitere Festigkeitseinbußen, bis zu 400°C ertragen. Klebstoffe hingegen können aufgrund ihrer Bestandteile in den meisten Fällen, mit bereits hohen Verlusten bei der Festigkeit, nur ca. 120°C bis 150°C ertragen. Im Temperaturbereich unter null, können Klebverbindungen, bei ausreichend gegebener plastischer Verformbarkeit, bis zu -55°C überstehen.

Darüber hinaus ist mit Festigkeitsabfall und Versprödung zu rechnen.

#### **(6.1.1) Vorbereitung der Fügeteile**

Die Vorbereitung der Klebestelle hat einen wesentlichen Einfluss auf die späteren Eigenschaften der Klebeverbindung. Daher ist eine Vorbereitung der Klebeflächen unumgänglich. Dies kann geschehen durch:

- mechanische Reinigung (z.B. Schmirgeln, Strahlen Schleifen, bürsten)
- Wischentfettung mit lösungsmittelgetränkten Tüchern
- Tauchentfettung im Ultraschallbad
- Dampfentfettung mit Lösungsmitteln
- Waschen mit alkalischen wässrigen Lösungen
- Hochdruckwasserstrahlen
- Beizen (nichtrostende Stähle)

„Beim Kleben verzinkter Stahlteile ist die Art des Verfahrens zu berücksichtigen, mit dem der Zinküberzug aufgebracht wurde. Bei der Stückverzinkung von Bauteilen bilden sich Oberflächen mit zum Teil großen Kristalliten aus. Diese Kristallite sind für das Kleben von Bedeutung, da sie aufgrund ihrer Vorzugsrichtungen lokale Spannungsspitzen

in der Klebschicht hervorrufen können. In der Praxis führt dies zu stark schwankenden Haftfestigkeiten. Bei der Bandverzinkung (Schmelztauch- oder elektrolytisches Verfahren) entstehen vergleichsweise kleine Kristallite. Diese Oberflächen weisen in der Praxis gute Haftfestigkeiten auf. Grundsätzlich gilt sowohl für die Stück- als auch für die Bandverzinkung, dass frische Oberflächen für eine Klebung oftmals ungünstig sind. Die sich unter der Bewitterung bildende Deckschicht ist noch sehr dünn und chemisch nicht stabil. Des Weiteren ist zu beachten, dass bestimmte Spaltprodukte aus Klebstoffen (z.B. Essigsäure aus acetatvernetzenden 1K-RTV-Silikon-Klebstoffen) als Elektrolyt wirken und zu einer Schädigung der Zinkschicht bis hin zu ihrem vollständigen Abbau führen können. Mit dem Verlust des Korrosionsschutzes geht, begünstigt durch das saure Medium, eine beschleunigte Korrosion des Grundwerkstoffs einher.“<sup>(3-46)</sup>

### 3.8.2 Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn

#### (3.3.1) Übersicht Klebstoffe<sup>(3-47)</sup>

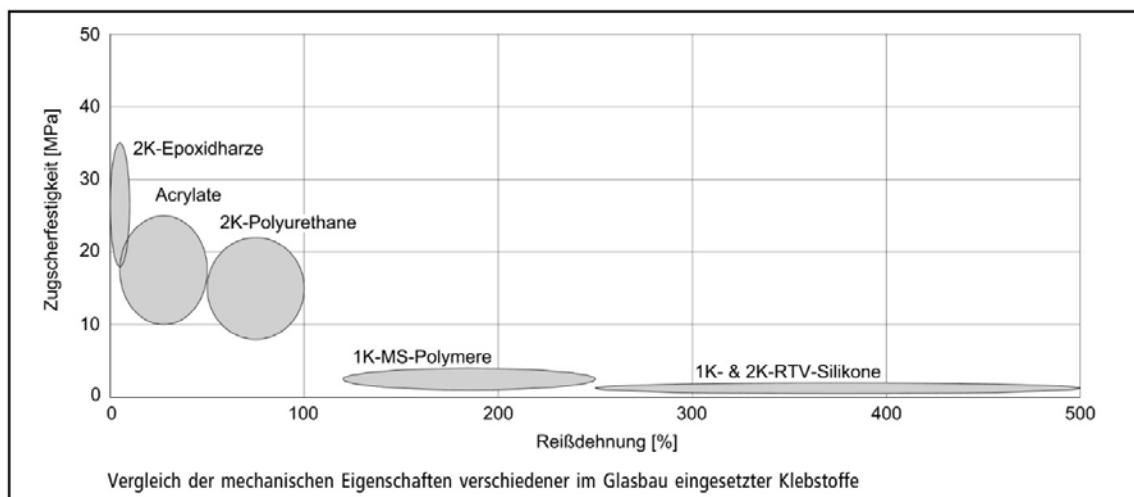


Bild 3-25 Übersicht Klebstoffeigenschaften Zugscherfestigkeit / Reißdehnung

An Hand, der aus dem Glasbau entlehnten Übersicht ist erkennbar, dass Klebstoffe, mit geringer Reiß- / Bruchdehnung, die größeren Zug- und Scherfestigkeiten aufweisen. Da Anwendungen von Klebeanwendungen im Stahlbau so gut wie nie vorkommen, sind verlässliche relevante Anwenderdaten nicht vorhanden. Im Gegensatz zum Maschinenbau erfolgen Lastannahmen im Stahlbau immer mit dem Hintergrund, dass die in Ausnahmesituationen auf ein Bauwerk einwirkenden Belastungen auch über den angenommenen liegen können, ohne dass das Bauwerk dabei irreparabel beschädigt wird. Eine Absicherung dieser Fälle würde zu einem unwirtschaftlichen und monumentalen Baustil führen.

### 3.8.3 Berechnung von Klebeverbindungen <sup>(3-48)</sup>

Im Maschinenbau erfolgt die Berechnung von Klebeverbindungen nach dem Kraft-durch-Fläche-Prinzip. Auf eventuelle Sicherheitsbeiwerte kann dabei verzichtet werden, da die einwirkenden Kraftgrößen für den normalen Gebrauch vorher kalkulierbar sind und ein Versagen ausgeschlossen werden kann.

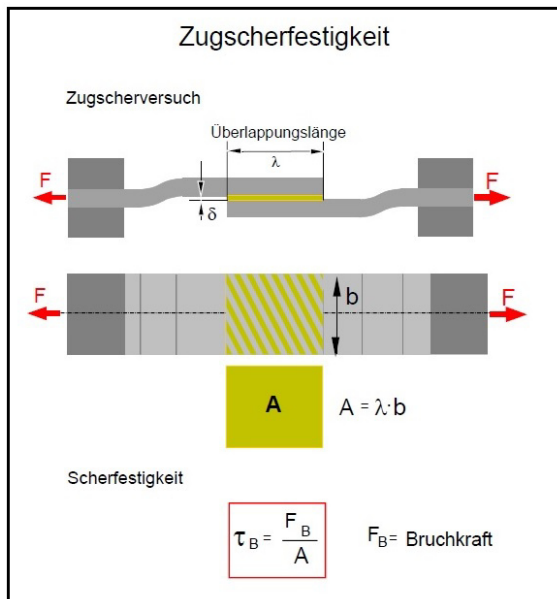


Bild 3-26 Nachweis Klebeschicht

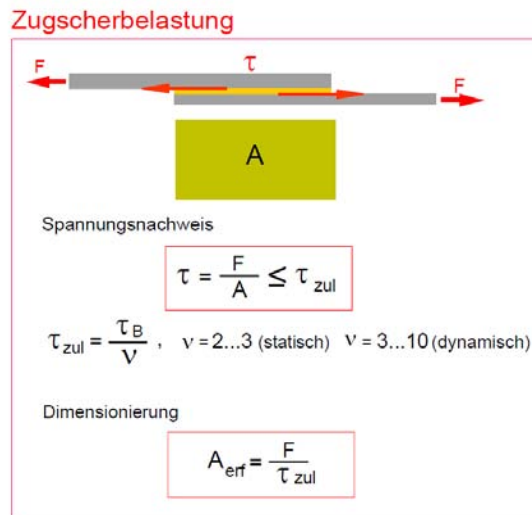


Bild 3-27 / Ermittlung erforderlicher Gegebenheiten

$\tau_B$  wird vom Kleberhersteller unter Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften der Bauteile sowie der vorhandenen Schichtdicke, der Überlappungslänge und der Aushärtebedingungen angegeben.

### 3.8.4 Kleben im Stahlbau / J.Meinz

*„Wie mit Klebeanwendungen im Automobil- und Flugzeugbau eindrucksvoll demonstriert wird, sind Klebeverbindungen ohne weiteres dazu in der Lage, dynamische und kurzzeitig statisch wirkende Belastungen dauerhaft und sicher zu übertragen. Große statisch wirkende Dauerlasten hingegen, die als Belastungsart neben dynamischen Belastungen in den meisten Konstruktionen des Bauwesens den Regelfall darstellen, sind auf Grund der Kriech Eigenschaften vieler Klebstoffe als äußerst problematisch anzusehen. Klebeanwendungen im Bauwesen sind somit nur möglich, wenn geringe oder gar keine statischen Dauerlasten zu übertragen sind“ <sup>(3-49)</sup>*

## Hybridverbindungen

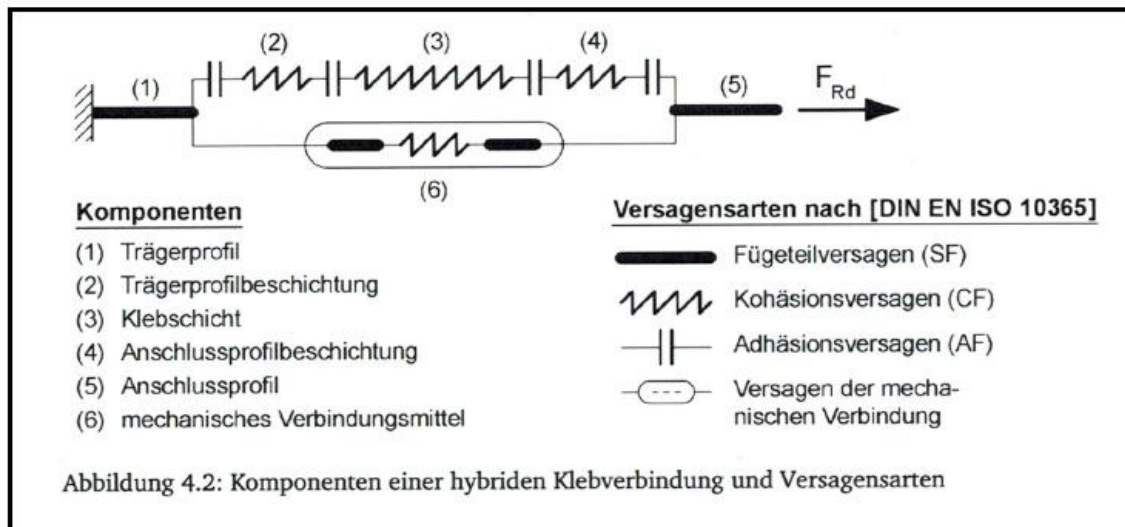


Bild 3-28 Federmodell Hybridverbindung

„Wie dem dargestellten Modell zu entnehmen ist, sind beide Verbindungsarten parallel geschaltet und beteiligen sich im Verhältnis ihrer Steifigkeiten am Lastabtrag. Dieser Sachverhalt hat zur Folge, dass bei Versagen einer der beiden Verbindungen nicht zwangsläufig die Gesamtkonstruktion versagen muss (Redundanz). Da eine strukturelle Klebverbindung jedoch im Regelfall, verglichen mit mechanischen Verbindungen wie z.B. Schraubverbindungen, ein wesentlich steiferes Verformungsverhalten zeigt, ist davon auszugehen, dass sich ein mechanisches Verbindungsmittel in einer Hybridklebverbindung kaum am Lastabtrag beteiligt. Im Gebrauchszustand trägt somit hauptsächlich die Klebung, weshalb die Komponente (6) beim Nachweis der Tragfähigkeit nicht berücksichtigt zu werden braucht. Ist hingegen der Klebstoff sehr nachgiebig oder zeigt unter statischer Dauerlast ein großes Kriechpotential, wird sich die Klebverbindung dem Lastabtrag nach und nach entziehen. Berücksichtigt man bei diesen Überlegungen noch Temperatur- und Alterungseffekte, so wird deutlich, dass von einer gleichzeitigen Lastübertragung durch Klebverbindungen und mechanische Verbindungsmittel nicht ausgegangen werden kann. Beide Verbindungsarten sind somit getrennt voneinander zu behandeln, wobei im Anwendungsbereich des strukturellen Klebens primär die Klebung zum Verbund der Fügeteile dienen sollte. Ein zusätzlich angeordnetes mechanisches Verbindungsmittel kann jedoch, auch wenn es nicht unmittelbar am Lastabtrag beteiligt ist, andere wichtige Funktionen übernehmen. Wird für das potentielle Versagen, z. B. im Brandfall oder im Grenzzustand der Tragfähigkeit, eine gewisse Resttragfähigkeit gewünscht, ist dies durch die Redundanz hybrider Verbindungen gut realisierbar. Auch kann es sinnvoll sein, mechanische Verbindungsmittel konstruktiv zur Aufnahme schädlicher Klebschichtbeanspruchungen anzuordnen.“ (3-50 / W-10)

## Bemessungswerte für Klebstoffeigenschaften

Das im Eurocode angewandte Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten auf der Einwirkungs- und Widerstandsseite lässt sich auch auf den Nachweis von Klebeverbindungen anwenden. Dabei liegen die Teilsicherheits- und Umrechnungsbeiwerte meist weit auf der sicheren Seite. Der Konzeptvorschlag zur Bemessung von Klebeverbindungen im Stahlbau wurde aus dem Buch von Jörg Meinz „Kleben im Stahlbau“<sup>(3-51)</sup> Seite 22 bis 40 entnommen. Für die Widerstandsseite des Eurocode Nachweiskonzeptes  $E_d \leq R_d$  ist folgendes

Grundkonzept aufgeführt:

$$\tau_{zul,K} = \eta * \frac{\tau_B}{\gamma_{MK}}$$

$\tau_{zul,K} / \tau_{dK} =$  Widerstandswert  $R_d$  Klebeverbindung

$\tau_B$  = charakteristischer Wert der Produkteigenschaften des Klebers

$\gamma_{MK}$  = Teilsicherheitsbeiwert für die Baustoff und Produkteigenschaft, der ungünstige Abweichungen von den charakteristischen Werten, Streuungen des Umrechnungsbeiwertes  $\eta$  und Unsicherheiten in den geometrischen Eigenschaften und im Tragwerksmodell abdeckt

$\eta$  = Umrechnungsbeiwert, der die Auswirkungen der Lastdauer, Volumen und die Maßstabeffekte, Feuchtigkeits- und Temperatureinflüsse usw. im Mittel berücksichtigt

zu  $\gamma_{MK}$  :

In DIN V ENV 1999-1-1 (Aluminiumbaunorm) wird  $\gamma_{MK} = 3,0$  angegeben.

“Der Teilsicherheitsbeiwert wird in dieser Norm als hoch bezeichnet und mit der potentiell großen Streubreite der Klebefestigkeit begründet.“

Eine genauere Erfassung der Einflussfaktoren auf den Bemessungswert der Klebstofftragfähigkeit ist im Eurocomp Design Code verankert.

$\gamma_{MK}$  wird dabei wie folgt ermittelt:  $\gamma_{MK} = \gamma_{m,1} * \gamma_{m,2} * \gamma_{m,3} * \gamma_{m,4} \geq 1,5$

Der Mindestwert von 1,5 wird auf Grund der Sprödeheit der Klebstoffe gefordert.

Erfolgt der Nachweis einer Verbindung mit Hilfe von Versuchen sollte mindestens  $\gamma_{MK} \geq 2,0$

Die Werte für die Teilsicherheitsfaktoren  $\gamma_{m,\dots}$  sind der Tabelle 4.1 / Bild 3-29 zu entnehmen.

$\gamma_{m,1}$	Quelle der Klebstoffkennwerte ...	... aus Datenblättern, Handbüchern	1,50
		... aus Versuchen	1,25
$\gamma_{m,2}$	Methode des Klebstoffauftrages...	... manuell, ohne Kontrolle der Klebschichtdicke	1,50
		... manuell, mit Kontrolle der Klebschichtdicke	1,25
		... bewährte Auftragsmethode mit reproduzierbaren Und kontrollierbaren Prozessparametern	1,00
$\gamma_{m,3}$	Art der Belastung ...	... Langzeitbelastung	1,50
		... Kurzzeitbelastung	1,00
$\gamma_{m,4}$	Umgebungsbedingungen ...	... Betriebsbedingungen abweichend von den Klebstofftestbedingungen	2,00
		... Klebstoffkennwerte wurden unter Betriebsbedingungen ermittelt	1,00

Bild 3-29 / Teilsicherheitsfaktoren - Kleben

**zu  $\eta$ :**

Da ausgehärteter Klebstoff in erster Näherung ein Kunststoff ist, sind auch Regelungen zur Bemessung von Kunststoffbauteilen für Klebeverbindungen von Interesse.

In der Empfehlung „Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen“ erfolgt im Vergleich zum Eurocomp Design Code eine weitaus differenziertere und realitätsnähere Erfassung von Effekten und Sicherheitsfaktoren zur Ermittlung der Widerstandswerte von Kunststoffeigenschaften. Im Rahmen dieser Empfehlung wird der Umrechnungsbeiwert

in folgender Gleichung angegeben:  $\eta = \frac{1}{A_{\text{mod}}}$  mit  $A_{\text{mod}} = A_1 * A_2 * A_3$

Die Einflussfaktoren A... sind werkstoffspezifisch und erfassen den Einfluss aus der Einwirkungsdauer, der Umgebungstemperatur und dem Medieneinfluss (Bewitterung, Feuchtigkeit, Chemikalien) Sie werden in der Empfehlung „Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen“ jeweils getrennt für die Materialeigenschaften Festigkeit, E-Modul und Dehngrenze angegeben. Für Kunststoffe, die als Reaktionsprodukte üblicherweise struktureller Klebstoffe vorkommen, gibt Tabelle 4.2 / Bild 3-30 einige Angaben aus dieser Norm wieder. In der Empfehlung „Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen“ wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die dort angegebenen Werte der Einflussfaktoren lediglich Richtwerte darstellen, die aus Erfahrungsberichten zusammengetragen worden sind. Für den Teilsicherheitsbeiwert auf der Widerstandsseite  $\gamma_{MK}$  werden in Abhängigkeit vom

untersuchten Grenzzustand und der betrachteten Materialeigenschaften  $\eta$ -freie Werte zwischen 1,0 bis 1,5 vorgeschlagen.

(Tabelle 4.2) Einflussfaktoren für zwei ausgewählte Duroplast-Kunststoffe

Einflussfaktor	Einfluss...	Kunststoffbezeichnung	Einflussfaktoren der Materialeigenschaft		
			Festigkeit	E- / G-Modul	Dehngrenze
A <sub>1</sub>	... infolge Belastungsdauer Bis zu 20 Jahre	EP	1,5	2,0	1,0
		PU	2,1	4,4 Schub	1,0
		EP		3,4 Druck	
A <sub>2</sub>	... infolge Medieneinfluss	EP	k.A.	k.A.	1,0
		PU	1,2	1,2	1,0
A <sub>3</sub>	... infolge Temperatur	EP	k.A.	k.A.	1,0
		PU	1,1	1,1	1,0

EP: Epoxydharz PU: Polyurethan k.A.: keine Angaben, Versuche erforderlich

Bild 3-30 / Einflussfaktoren - Kleben

(Ende Anlehnung an Buchauszug)

### 3.8.5 Zusammenfassung Kleben

In reinen Klebeverbindungen, die zu meist an dünnen Bauteildicken oder Blechen angebracht werden, treten neben der Hauptbelastung Zugbeanspruchung, aufgrund der Verformung der Bauteile durch Zug oder Druck, im Anfangs- und Endbereich einer Klebung weiterhin Schubspannungen auf. Dies erfordert im Grunde genommen für die reine Klebung einen Interaktionsnachweis. <sup>(W-15 / W-16)</sup> Da es in dieser Thesis darum geht eine Schraubverbindung zusätzlich zu sichern und im Stahlbau üblicherweise mit Bauteildicken  $t \geq 4mm$  gearbeitet wird, bleibt dieser Sachverhalt im weiterem unbeachtet. Eine Langlochsicherung durch Kleben kann eine Alternative zu anderen aufwendigern Sicherungsverfahren wie z.B. das Schweißen aufgrund der einfachen Handhabung der wenigen benötigten technischen Mittel darstellen. Nachteilig wirken sich dabei nur der nötige Schutz vor Witterungseinflüssen und das Verhalten im Brandfall aus. Weiterhin ist jeder Versuch der Berechnung immer noch ein Tanz mit vielen Unbekannten, was die Teilsicherheitsbeiwerte für die Berechnungen und Nachweise verkompliziert und die ganze Anwendung unwirtschaftlich gestaltet.



### 3.9 HERTZsche Pressung Zylinder / Ebene

Um die Kantenpressung und einen fließenden Langlochseitenbereich zu vermeiden sowie größere Kräfte übertragen zu können und somit größere Reibflächen zu ermöglichen, bietet sich eine Auslagerung der Pressflächen für vorgespannte Schraubverbindungen an. Dabei darf die eingebrachte Vorspannung die zulässigen Grenzspannungen für die verwendeten Materialien im Bereich der Flächenpressung nicht überschritten werden.

Ein passendes Berechnungstool für die HERTZsche Pressung ist im Internet unter:[http://www.ingenieurpraxis.de/din\\_18800/hertzsche\\_pressung\\_zylinder\\_ebene\\_1.php](http://www.ingenieurpraxis.de/din_18800/hertzsche_pressung_zylinder_ebene_1.php) zu finden.

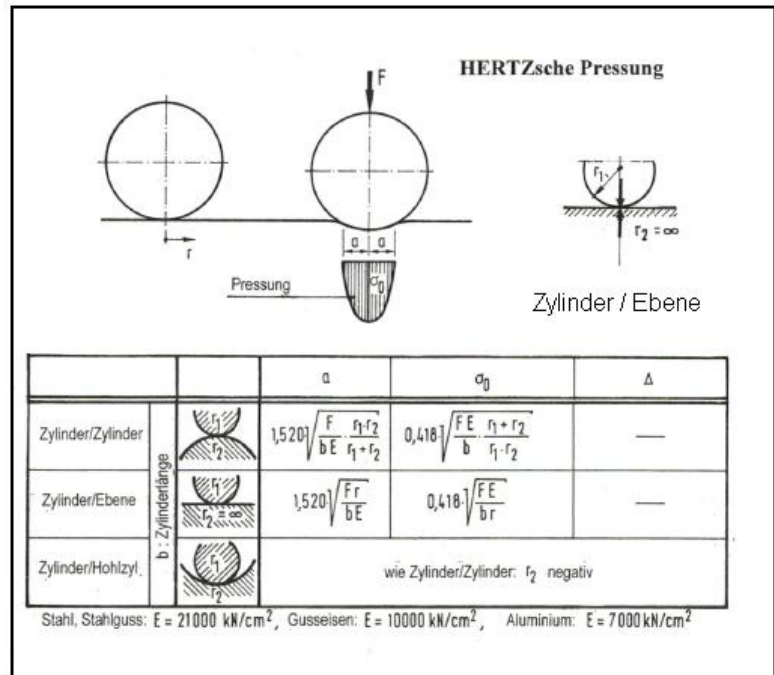


Bild 3-31 Hertzische Pressung

zulässige Grenzspannungen für Lager im Bauwesen in N/mm <sup>2</sup>		
Material	LF H	LF HZ
GG-15	500	600
St 37	650	800
St 52	850	1050
GS 52	850	1050
C 35 N	800	1000

Bild 3-32

### 3.10 Berechnungsprogramme

Da es eine Fülle an Anwendungs- und Berechnungsprogrammen am Markt gibt, ist es für den Anwender nur noch in speziellen Fällen nötig, händisch einen Nachweis zu führen.

Im Zuge der Recherche wurde exemplarisch das Softwareprodukt 4H-EC3BV Basisverbindungen der Firma pcae GmbH untersucht. Mit diesem Programm ist es möglich die Nachweise für vorgespannte Langlochverbindung in Langlöchern parallel zur Krafrichtung nach den gültigen Regeln der Technik zu berechnen.

---

## Literatur- und Quellenverzeichnis

- (2-1) [http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.tedata.com/uploads/pics/3k\\_3t\\_4\\_3\\_3\\_i03.gif&imgrefurl=http://www.tedata.com/2208.0.html&h=202&w=414&tbnid=Rslx1Xmq2QGwTM:&zoom=1&tbnh=120&tbnw=246&usg=\\_\\_dYAWGrPhPr1fIJMyyv46qDqlg4A=&docid=v2YVe5Py08TrKM&sa=X&ei=UOzaVKb1GJTvaIzSgoAD&ved=0CCMQ9QEwAA](http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.tedata.com/uploads/pics/3k_3t_4_3_3_i03.gif&imgrefurl=http://www.tedata.com/2208.0.html&h=202&w=414&tbnid=Rslx1Xmq2QGwTM:&zoom=1&tbnh=120&tbnw=246&usg=__dYAWGrPhPr1fIJMyyv46qDqlg4A=&docid=v2YVe5Py08TrKM&sa=X&ei=UOzaVKb1GJTvaIzSgoAD&ved=0CCMQ9QEwAA)  
Ordner Unterlagen / Datei Maschinenelemente.doc
- (2-2) VDI 2230 Blatt 1 / Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen, Zylindrische Einschraubverbindungen / Dezember 2014 / Punkt 5.1.2.1 / Seite 46/47
- (2-3) [https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203\\_2014/script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf](https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203_2014/script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf) / Seite 6 (Datei script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf)
- (2-4) Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. / Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25 / Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen / Günther Valtinat / Punkt 3 / Seite 4 / siehe auch Ordner Unterlagen
- (2-5) Schneider / Bautabellen für Ingenieure / Auflage 21 / Bundesanzeiger Verlag GmbH Köln / 2014 / ISBN 978-3-8462-0304-0 / Seite 3.3 / Punkt 2
- (2-6) DIN-EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010 / DIN Deutsches Institut für Normung e. V / Punkt 3.3 / Seite 27
- (2-7) DIN-EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010 / DIN Deutsches Institut für Normung e. V / Punkt 3.4 / Seite 27
- (2-8) DIN-EN 1993-1-8 / EC3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 / DIN Deutsches Institut für Normung e. V
- (2-9) Merkblatt 322 Geschraubte Verbindungen im Stahlbau / Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Punkt 1.4 / Seite 6
- (2-10) Merkblatt 322 Geschraubte Verbindungen im Stahlbau / Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Punkt 4.4 / Seite 23
- (3-1) DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Punkt 6.6.1 / Seite 40
- (3-2) DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Punkt 8.2.4 / Seite 61
- (3-3) DIN 18800-7:2002-09 / Stahlbauten Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation DIN Deutsches Institut für Normung e. V. / Punkt 8.1 / 8.2 / Seite 22
- (3-4) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.5 / Seite 27

- 
- (3-5) DASt – Richtlinie 023 / Langloch-Verbindungen mit Schrauben / April 2010 / Deutscher Ausschuss für Stahlbau
- (3-6) DIN EN 1993-1-9 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung / Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009/ Punkt 8 / Seite 23
- (3-7) DIN EN 1090-3 / 2008-09 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 3: Technische Regeln für die Ausführung von Aluminiumtragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-3 / 2008 DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- (3-8) Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuss Verzinken e. V. / Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25 / Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen / Günther Valtinat / Punkt 3 / Seite 4 / siehe auch Ordner Unterlagen
- (3-9) Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuss Verzinken e. V. / Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25 / Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen / Günther Valtinat / Punkt 8.4 / Seite 12 / siehe auch Ordner Unterlagen / oder Übersicht Unterlagen Wissenspool: <http://www.gav-verzinken.de/index.php?id=14>
- (3-10) Arbeitshilfe 5.2 Ausführung von Stahlbauten – Geschraubte Verbindungen - Allgemeines / Bauforum Stahl / Düsseldorf / [http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/publikationen/arbeitshilfen/Arbeitshilfe\\_05-02.pdf](http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/publikationen/arbeitshilfen/Arbeitshilfe_05-02.pdf)
- (3-11) Arbeitshilfe 5.2 Ausführung von Stahlbauten – Geschraubte Verbindungen - Allgemeines / Bauforum Stahl / Düsseldorf / [http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/publikationen/arbeitshilfen/Arbeitshilfe\\_05-02.pdf](http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/publikationen/arbeitshilfen/Arbeitshilfe_05-02.pdf) / Seite 2
- (3-12) Stahlbaukalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 Seite 304 / Punkt 3.2.5
- (3-13) ESDEP (European Steel Design Education Programme) CD-Rom / Stahl-Informationen-Zentrum / ISIS - Innovative Software für Information und Schulung GmbH / Berlin / beziehbar über TIB Technische Informationsbibliothek Hannover / Nr.: YA 232
- (3-14) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.7 und 3.8 / Seite 34
- (3-15) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.10.2 / Seite 36
- (3-16) [https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203\\_2014/EC3-Teil-2-uebung-2.pdf](https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203_2014/EC3-Teil-2-uebung-2.pdf) / Ordner Unterlagen / Datei Blockversagen\_EC3-Teil-2-uebung-2
- (3-17) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.10.3 / Seite 37/38
-

- 
- (3-18) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 6.2.4.1 / Seite 74
- (3-19) DIN EN 1993-1-1 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009 / Punkt 6.2.3 / Seite 53
- (3-20) Schmidt, Zwätz, Bär, Kathage, Hüller, Kammel, Volz / Ausführungen zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2 / 2012 / Ernst & Sohn Verlag / ISBN: 978-3-433-02941-1
- (3-21) Stahlbaukalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 Seite 307 / Punkt 3.3
- (3-22) Stahlbaukalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 Seite 322 / Punkt 4.5.2
- (3-23) ESDEP (European Steel Design Education Programme) CD-Rom / Stahl-Informationen-Zentrum / ISIS - Innovative Software für Information und Schulung GmbH / Berlin / beziehbar über TIB Technische Informationsbibliothek Hannover / Nr.: YA 232
- (3-24) DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Punkt 8.5 / Seite 63
- (3-25) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.1 und 3.1.1 / Seite 23
- (3-26) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.3 / Seite 24
- (3-27) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.6.1 / Tabelle 3.4
- (3-28) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.6.1
- (3-29) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 2.2 / Seite 21
- (3-30) DIN EN 1993-1-8/NA / Nationaler Anhang / National festgelegte Parameter / EC 3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8 / Bemessung von Anschlüssen / Dezember 2010 / Punkt NDP zu 3.4.2(1) / Seite 6
- (3-31) DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Punkt 8.4 / Seite 62
- (3-32) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -
-

- 
- Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.9 / Seite 34/35
- (3-33) Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V. /Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25 / Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-Unterkonstruktionen / Günther Valtinat / Punkt 8.4 / Seite 12 / siehe auch Ordner Unterlagen / oder Übersicht Unterlagen Wissenspool: <http://www.gav-verzinken.de/index.php?id=14>
- (3-34) DIN 18800-7:2002-09 / Stahlbauten Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation DIN Deutsches Institut für Normung e. V. / Punkt 8.4 / Seite 24
- (3-35) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.6.2 ff / Seite 32
- (3-36) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.6.2.2 ff / Seite 33
- (3-37) DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Anlage K / Seite 196 ff
- (3-38) Scherverbindungen mit Injektionsschrauben / Scheer, Reim / Bauingenieur (Zeitschrift) ISSN 0005-6650 / Jahrgang 71 / Nr. 9 / 1996 Seite 385-393 Artikel beziehbar über Fraunhofer IRB-Bibliothek / IRB Z 92 / Seite 393
- (3-39) Scherverbindungen mit Injektionsschrauben / Scheer, Reim / Bauingenieur (Zeitschrift) ISSN 0005-6650 / Jahrgang 71 / Nr. 9 / 1996 Seite 385-393 Artikel beziehbar über Fraunhofer IRB-Bibliothek / IRB Z 92 / Seite 387
- (3-40) Scherverbindungen mit Injektionsschrauben / Scheer, Reim / Bauingenieur (Zeitschrift) ISSN 0005-6650 / Jahrgang 71 / Nr. 9 / 1996 Seite 385-393 Artikel beziehbar über Fraunhofer IRB-Bibliothek / IRB Z 92 / Seite 387
- (3-41) Scherverbindungen mit Injektionsschrauben / Scheer, Reim / Bauingenieur (Zeitschrift) ISSN 0005-6650 / Jahrgang 71 / Nr. 9 / 1996 Seite 385-393 Artikel beziehbar über Fraunhofer IRB-Bibliothek / IRB Z 92 / Seite 387
- (3-42) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 4 / Seite 42
- (3-43) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 4 / Seite 42
- (3-44) DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 4.5.3.3 / Seite 48
- (3-45) Merkblatt 382 Kleben von Stahl und Edelstahl Rost/ Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Punkt 4.5 / Seite 17
- (3-46) Merkblatt 382 Kleben von Stahl und Edelstahl Rost/ Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Punkt 6.6.1 / Seite 22

- (3-47) Stahlbalkalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 / Seite 596 / Bild 9
- (3-48) Klebeverbindungen / Maschinenelemente [http://www.mb.uni-siegen.de/inko\\_schwarz/download/me2b/me-07-folien-kleben.pdf](http://www.mb.uni-siegen.de/inko_schwarz/download/me2b/me-07-folien-kleben.pdf) / Seite 15 / 16
- (3-49) Kleben im Stahlbau / J. Meinz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 5 / Punkt 2.1
- (3-50) Kleben im Stahlbau / J. Meinz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 21 / Punkt 4.3
- (3-51) Kleben im Stahlbau / J. Meinz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 22 / Punkt 4.4
  
- (A-1) Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 539
- (A-2) Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 1128 / 1129

## Weiterführende Literatur & Informationen

- (W-1) DUBBEL / Taschenbuch für den Maschinenbau / Auflage 23 / Springer Verlag 2011 / ISBN 978-3-642-17305-9 / Seite G 37 ff / Punkt 1.6.6
- (W-2) VDI 2230 Blatt 1 / Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen, Zylindrische Einschraubverbindungen / Dezember 2014 / Punkt 5
- (W-3) DIN-EN 1990 Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung; Deutsche Fassung EN 1990:2002 + A1:2005 + A1:2005/AC:2010 / DIN Deutsches Institut für Normung e. V / Punkt 3
- (W-4) Schneider / Bautabellen für Ingenieure / Auflage 21 / Bundesanzeiger Verlag GmbH Köln / 2014 / ISBN 978-3-8462-0304-0 / Seite 3.5 / Punkt 4.5 / Tafel 3.5a
- (W-5) DIN-EN 1990/NA, Tabelle NA.A.1.2(A)-(C)
- (W-6) Schneider / Bautabellen für Ingenieure / Auflage 21 / Bundesanzeiger Verlag GmbH Köln / 2014 / ISBN 978-3-8462-0304-0 / Seite 3.4 / Punkt 4 / Tafel 3.5b
- (W-7) DIN-EN 1990/NA, Tabelle NA.A.1.1
- (W-8) Schneider / Bautabellen für Ingenieure / Auflage 21 / Bundesanzeiger Verlag GmbH Köln / 2014 / ISBN 978-3-8462-0304-0 / Seite 8.7 / Punkt 1.7 / Tafeln 8.7
- (W-9) DIN-EN 1993-1-1/ Punkt 6.1
- (W-10) Kleben im Stahlbau / J. Mainz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1
- (W-11) DIN-EN 1993-1-1/ Punkt 6.2.3
- (W-12) Kulak, L., Fisher J.W., and Struik J.H. – Design criteria for bolted and riveted joints – 2nd edition – John Wiley and Sons 1987
- (W-13) Scherverbindungen mit Injektionsschrauben / Scheer, Reim / Bauingenieur (Zeitschrift) ISSN 0005-6650 / Jahrgang 71 / Nr. 9 / 1996 Seite 385-393  
Artikel beziehbar über Frauenhofer IRB-Bibliothek / IRB Z 92
- (W-14) Stahlbaukalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 / Seite 596 / Punkt 3.3.1 ff
- (W-15) Kleben im Stahlbau / J. Mainz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 26 ff
- (W-16) Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 629 – 636

## Literatur & Informationen ohne Verwendung in der Thesis

### Normen / Bücher / Zeitschriften

- 1 DIN 24041 Lochplatten – Maße / DIN Deutsches Institut für Normung e.V.  
DIN 24041:2000-12
- 2 DIN ISO 8146 Schiffbau; Augenplatten mit Langloch; Identisch mit ISO 8146  
Ausgabe 1985 / DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- 3 Thiele und Lohse / Stahlbau - Teil 1 / 23. Auflage / Teubner Stuttgart 1997 /  
ISBN 3-519-15254-1
- 4 Thiele, Lohse / Stahlbau Teil2 / 19.Auflage / 1997 / B.G. Teubner Stuttgart-  
Leipzig / ISBN: 3-519-15255-X
- 5 Kindmann, Stracke / Verbindungen im Stahl- und Verbundbau / 2. Auflage / 2009 /  
Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH &  
Co.KG, Berlin / ISBN: 978-3-433-02916-9
- 6 Kindmann, Krahwinkel / Stahl- und Verbundkonstruktionen / 1999 / B.G.Teubner  
Stuttgart-Leipzig / ISBN: 3-519-05266-0
- 7 Androic´,Dujmovic´,Dzéba / Beispiele nach EC3 – Bemessung und Konstruktion  
von Stahlbauten / 1996 / Werner Verlag / ISBN 3-8041-1057-6
- 8 Neumann, Weinbrenner / Frick/ Knöll – Baukonstruktionslehre 1/ 33.Auflage /  
2002 / B.G. Teubner Stuttgart-Leipzig-Wiesbaden / ISBN: 3-51945250-2  
Seite 291 → Langlöcher in Pfostenverbindern von Fassaden zum Ausgleich von  
Längenausdehnungen auf Grund Wärmeschwankungen
- 9 Kuhlmann / Stahlbaukalender 2013 / Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und  
technische Wissenschaften GmbH & Co.KG, Berlin / ISBN: 978-3-433-02994-7
- 10 Bericht Nr. 75 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e. V.  
Der Reibwert belasteter und unbelasteter feuerverzinkter HV-Verbindungen in  
Abhängigkeit von der Zeit / W.Zimmermann und F.S. Rostásy / Stuttgart
- 11 Merkblatt 382 Kleben von Stahl und Edelstahl Rostfrei / Ausgabe 2012 /  
ISSN 0175-2006 / Stahl-Informationen-Zentrum / Düsseldorf / Seite 22
- 12 Prof.-Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / Stahlbaukalender 2012 / Wilhelm Ernst & Sohn  
Verlag / ISBN 978-3-433-02988-6
- 13 Stahlbauhandbuch, Band 1, Teil A / 3.Auflage Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH  
Köln / ISBN: 3-923726-42-2 / Seite 550 und 551 / Vorgespannte  
Klebeverbindungen
- 14 Stahlbauhandbuch, Band 2 / 2.Auflage Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH Köln /



ISBN: 3-923726-09-0

- 15 Prof.-Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / Stahlbaukalender 2008 / Wilhelm Ernst & Sohn Verlag / ISBN 9783433018729 / Seite 848 - 851 / Glas im Konstruktiven Ingenieurbau / Langlochanwendung Vertikal-Glaspunkthaltern / Firma Glasline
- 16 Neumann, Weinbrenner / Frick/ Knöll – Baukonstruktionslehre 1 / 33.Auflage 2002 B.G. Teubner Stuttgart-Leipzig-Wiesbaden / ISBN: 3-51945250-2 / Seite 291 Langlöcher in Pfostenverbindern von Fassaden zum Ausgleich von Längenausdehnungen auf Grund Wärmeschwankungen
- 17 Schmidt, Zwätz, Bär, Kathage, Hüller, Kammel, Volz / Ausführungen von Stahlbauten – Kommentare zu DIN EN 1090-1 und DIN EN 1090-2 1 Auflage – 2012 / Ernst & Sohn Verlag Berlin / ISBN 978-3-433-02941-1

### Internet

- 18 Einführung EC3 / <http://www.bbik.de/assets/files/Seminare/EC3.pdf>
- 19 UE-03 Verbindungsmittel / [http://tudresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/Fakultaet\\_bauingenieurwesen/bauko/studium/dateien\\_lehre/UE03%20Verbindungsmittel.pdf](http://tudresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/Fakultaet_bauingenieurwesen/bauko/studium/dateien_lehre/UE03%20Verbindungsmittel.pdf)
- 20 TGL VEzeichnis Uni Weimar / <https://www.uni-weimar.de/de/universitaet/struktur/zentrale-einrichtungen/universitaetsbibliothek/recherche/normen/tgl-verzeichnis/>
- 21 Tgl-19340-4-mrz-1983 / <https://www.bbr-server.de/bauarchivddr/archiv/tglarchiv/tgl10001bis20000/tgl19001bis20000/tgl-19340-4-mrz-1983.pdf>
- 22 Nord-Lock Drehmomentempfehlungen. / <http://www.nord-lock.com/de/nord-lock/wedge-locking/washers/torque-guidelines/>
- 23 Hertzsche Pressung tr-sp\_anhang-4 / [https://www.vdv.de/tr-sp\\_anhang-4.pdf?forced=true](https://www.vdv.de/tr-sp_anhang-4.pdf?forced=true)
- 24 Technische Gestaltung Hertzsche Pressung / <http://www.tedata.com/622.0.html>
- 25 Hertzsche Pressung / [http://www.gmg-ing.de/Publications/FB\\_103.pdf](http://www.gmg-ing.de/Publications/FB_103.pdf)
- 26 Hertzsche Pressung (Definition) / [http://de.wikipedia.org/wiki/Hertzsche\\_Pressung](http://de.wikipedia.org/wiki/Hertzsche_Pressung)
- 27 2580390\_hybridf\_\_gen\_von\_metallwerkstoffen\_rev02 / [http://www.umformtechnik.net/binary\\_data/2580390\\_hybridf\\_\\_gen\\_von\\_metallwerkstoffen\\_rev02.pdf](http://www.umformtechnik.net/binary_data/2580390_hybridf__gen_von_metallwerkstoffen_rev02.pdf)
- 28 Schraubverbindung / <http://www.peterknoedel.de/lehre/FHA-Stahl/Skript/GrA/Ansch/Schr.pdf>
- 29 Langloch Definition / <http://de.wikipedia.org/wiki/Langloch>

- 30 Kraftschluß Definition / <http://de.wikipedia.org/wiki/Kraftschluss#Kraftschluss>
- 31 Dast Injektionsschrauben / <http://dstvadmin.de/archiv/07012008093055.pdf>
- 32 Langloch vorgespannt / Word Doc / [http://www.mysnip.de/forum-archiv/thema-1558-819674/Langlochverbindungen\\_vorgespannt.html](http://www.mysnip.de/forum-archiv/thema-1558-819674/Langlochverbindungen_vorgespannt.html)
- 33 GAV Wissenspool / <http://www.gav-verzinken.de/index.php?id=14>
- 34 [script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf](https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203_2014/script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf) / [https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203\\_2014/script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf](https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203_2014/script-stahlbau-teil-6-2-teilweise.pdf)
- 35 Ausführung geschraubter Verbindungen nach DIN EN 1090-2 / <https://www.uni-due.de/imperia/md/content/iml/vortrag-stbkaltag-2011-schmidt-stranghoener.pdf>

## Bildnachweise

- Bild 2-1 Daniel Burkert
- Bild 2-2 Daniel Burkert
- Bild 2-3 Merkblatt 322 Geschraubte Verbindungen im Stahlbau / Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Seite 22
- Bild 2-4 [http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.tedata.com/uploads/pics/3k\\_3t\\_4\\_3\\_3\\_i03.gif&imgrefurl=http://www.tedata.com/2208.0.html&h=202&w=414&tbnid=Rslx1Xmq2QGwtM:&zoom=1&tbnh=120&tbnw=246&usg=\\_\\_dYAWGrPhPr1fIJMyyv46qDqlg4A=&docid=v2YVe5Py08TrKM&sa=X&ei=UOzaVKb1GJTvaIzSgoAD&ved=0CCMQ9QEwAA](http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.tedata.com/uploads/pics/3k_3t_4_3_3_i03.gif&imgrefurl=http://www.tedata.com/2208.0.html&h=202&w=414&tbnid=Rslx1Xmq2QGwtM:&zoom=1&tbnh=120&tbnw=246&usg=__dYAWGrPhPr1fIJMyyv46qDqlg4A=&docid=v2YVe5Py08TrKM&sa=X&ei=UOzaVKb1GJTvaIzSgoAD&ved=0CCMQ9QEwAA)  
Ordner Unterlagen / Datei Maschinenelemente.doc
- Bild 2-5 Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 539
- Bild 2-6 Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V. /Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25 / Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassadenunterkonstruktionen / Günther Valtinat / Bild 1 / Seite 4
- Bild 2-7 <http://www.bbik.de/assets/files/Seminare/EC3.pdf> / Seite 4
- Bild 2-8 Stahlbau-1+2\_02-2012 / PDF Datei / Punkt 3.1.1.2 / Seite 3-2  
[http://www.tuhh.de/sdb/lehre/veranstaltungen/stb1/Stahlbau-1+2\\_02-2012.pdf](http://www.tuhh.de/sdb/lehre/veranstaltungen/stb1/Stahlbau-1+2_02-2012.pdf)
- Bild 2-9 DIN-EN 1993-1-8 / EC3 Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009 / DIN Deutsches Institut für Normung e. V / Tab.3.2 / Seite 26
- Bild 2-10 Daniel Burkert
- Bild 2-11 Daniel Burkert
- Bild 2-12 Merkblatt 322 Geschraubte Verbindungen im Stahlbau / Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Seite 21
- Bild 2-13 Merkblatt 322 Geschraubte Verbindungen im Stahlbau / Ausgabe 2012 / ISSN 0175-2006 / Stahl-Informations-Zentrum / Düsseldorf / Seite 23
- Bild 2-14 Daniel Burkert
- Bild 2-15 Daniel Burkert
- Bild 2-16 Daniel Burkert
- Bild 2-17 Daniel Burkert
- Bild 2-18 Daniel Burkert
- Bild 2-19 Daniel Burkert
- Bild 2-20 Daniel Burkert
- Bild 2-21 Daniel Burkert
- Bild 2-22 Daniel Burkert

- 
- Bild 2-23 Daniel Burkert
- Bild 2-24 Daniel Burkert
- Bild 2-25 Daniel Burkert
- Bild 3-1 DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Punkt 6.6.1 / Seite 40
- Bild 3-2 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.5 / Seite 27
- Bild 3-3 Daniel Burkert in Anlehnung Bild 1 / DASt – Richtlinie 023 / Langlochverbindungen mit Schrauben / April 2010 / Deutscher Ausschuß für Stahlbau
- Bild 3-4 Bericht Nr. 132 des Gemeinschaftsausschuß Verzinken e.V. /Forschungsvorhaben GAV-Nr. FG 25 / Gleitfeste Vorgespannte Verbindungen mit Langlöchern bei feuerverzinkten Stahlbauteilen für Fassaden-unterkonstruktionen / Günther Valtinat / Bild 1 / Seite 4
- Bild 3-5 Arbeitshilfe 5.2 Ausführung von Stahlbauten – Geschraubte Verbindungen - Allgemeines / Bauforum Stahl / Düsseldorf / [http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/publikationen/arbeitshilfen/Arbeitshilfe\\_05-02.pdf](http://www.bauforumstahl.de/upload/documents/publikationen/arbeitshilfen/Arbeitshilfe_05-02.pdf) / Seite 1
- Bild 3-6 Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 539
- Bild 3-7 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.8 / Seite 34
- Bild 3-8 [https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203\\_2014/EC3-Teil-2-uebung-2.pdf](https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203_2014/EC3-Teil-2-uebung-2.pdf) / Ordner Unterlagen / Datei Blockversagen \_EC3-Teil-2-uebung-2
- Bild 3-9 [https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203\\_2014/EC3-Teil-2-uebung-2.pdf](https://www.bbik.de/assets/files/Seminare/Eurocode%203_2014/EC3-Teil-2-uebung-2.pdf) / Ordner Unterlagen / Datei Blockversagen \_EC3-Teil-2-uebung-2
- Bild 3-10 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Punkt 3.10.3 / Seite 38
- Bild 3-11 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+ AC2009 / Tabelle 6.2 / Seite 74
- Bild 3-12 DIN EN 1993-1-1 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009 / Punkt 6.2.3 / Seite 53
- Bild 3-13 Daniel Burkert
- Bild 3-14 Stahlbaukalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 / Seite 307 / Punkt 3.3
- Bild 3-15 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten -

- Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 3.1 / Seite 24 / modifiziert auf Grundlage Nationaler Anhang DIN EN 1993-1-8
- Bild 3-16 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 3.6.1 / Seite 31/32 (modifiziert)
- Bild 3-17 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 2.2 / Seite 21
- Bild 3-18 DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Punkt 8.4 / Seite 62
- Bild 3-19 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 3.9 / Seite 35
- Bild 3-20 DIN 18800-7:2002-09 / Stahlbauten Teil 7: Ausführung und Herstellerqualifikation /DIN Deutsches Institut für Normung e. V. / Punkt 8.4 / Seite 24
- Bild 3-21 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 3.6.2.2 / Seite 33
- Bild 3-22 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 3.6.2.2 / Seite 33
- Bild 3-23 DIN-EN 1090-2 / Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2008+A1:2011 / Anlage K / Seite 196
- Bild 3-24 DIN EN 1993-1-8 / Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005+AC2009 / Punkt 4.5.3.2 / 4.5.3.3 / Seite 48
- Bild 3-25 Stahlbaukalender 2011 / Prof.Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann / 2011 / Ernst & Sohn / Verlag für Architektur und Technische Wissenschaften / ISBN: 978-3-433-02955-8 / Seite 596 / Bild 9
- Bild 3-26 [http://www.mb.uni-siegen.de/inko\\_schwarz/download/me2b/me-07-folienkleben.pdf](http://www.mb.uni-siegen.de/inko_schwarz/download/me2b/me-07-folienkleben.pdf) / Seite 15
- Bild 3-27 [http://www.mb.uni-siegen.de/inko\\_schwarz/download/me2b/me-07-folienkleben.pdf](http://www.mb.uni-siegen.de/inko_schwarz/download/me2b/me-07-folienkleben.pdf) / Seite 26
- Bild 3-28 Kleben im Stahlbau / J. Mainz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 21/ Punkt 4.3 / Abbildung 4.2
- Bild 3-29 Kleben im Stahlbau / J. Mainz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 24 / Tabelle 4.1
- Bild 3-30 Kleben im Stahlbau / J. Mainz / Weißensee Verlag Berlin / 2010 / ISBN 978-3-89998-184-1 / Seite 25/ Tabelle 4.2

- Bild 3-31 Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 1128 / 1129
- Bild 3-32 [http://www.ingenieur-praxis.de/din\\_18800/hertzsche\\_pressung\\_zyylinder\\_ebene\\_2.php](http://www.ingenieur-praxis.de/din_18800/hertzsche_pressung_zyylinder_ebene_2.php)
- Bild A-1 Daniel Burkert
- Bild A-2 Daniel Burkert
- Bild A-3 Daniel Burkert
- Bild A-4 Daniel Burkert
- Bild A-5 Daniel Burkert
- Bild B-1 Daniel Burkert
- Bild C-1 Daniel Burkert
- Bild D-1 Daniel Burkert
- Bild E-1 Daniel Burkert
- Bild F-1 Daniel Burkert
- Bild G-1 Daniel Burkert
- Bild H-1 Daniel Burkert
- Bild H-2 Daniel Burkert

# Anlage A

1. Konstruktive Empfehlungen
2. Biegebeanspruchung Schrauben
3. Pressflächenermittlung Auslagerungsträger

# Anlage A

## 1. Konstruktive Empfehlungen

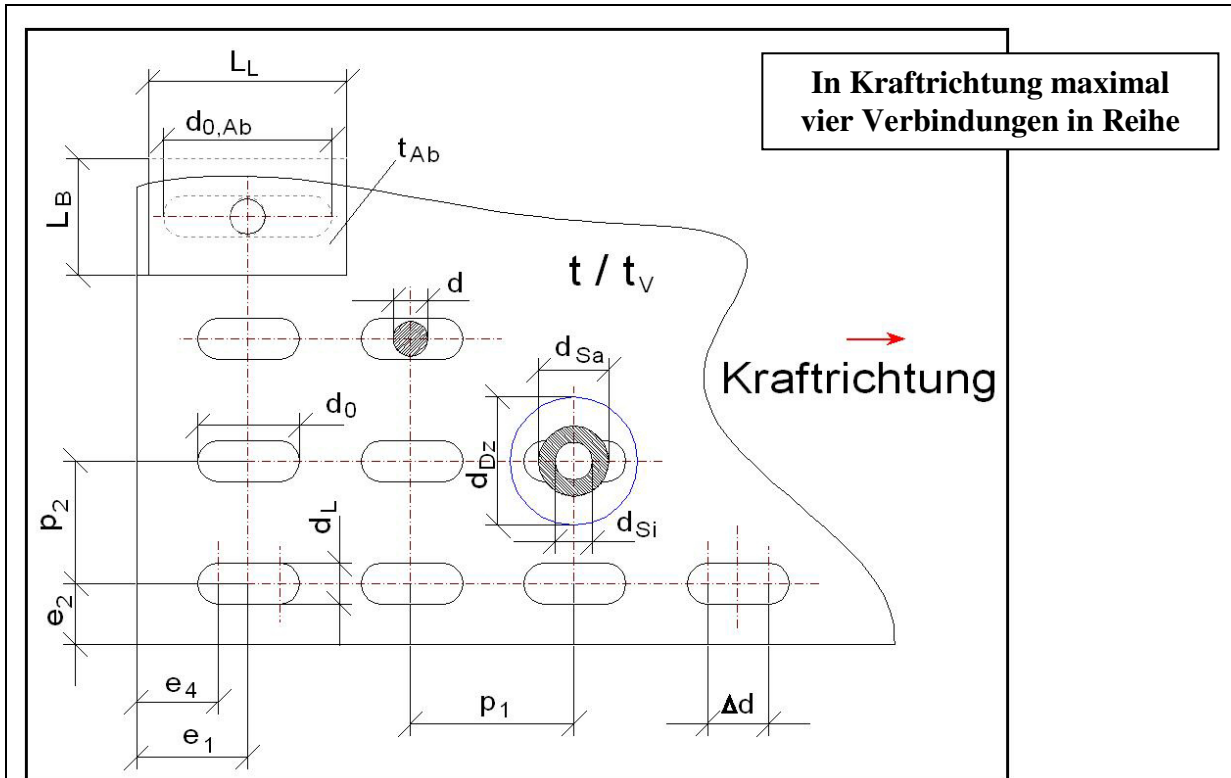


Bild A-1 / Mindestrand- und Langlochabstände / Bezeichnung in Anlehnung an DASt 023 und Arbeitshilfe 5.2

- $e_1$  = kleinster Randabstand Mitte Langloch in Krafrichtung (mm)
- $e_2$  = kleinster Randabstand rechtwinklig zur Krafrichtung (mm)
- $e_4$  = kleinster Randabstand in Krafrichtung (mm)
- $p_1$  = kleinster Langlochabstand in Krafrichtung (mm)
- $p_2$  = kleinster Langlochabstand rechtwinklig zur Krafrichtung (mm)
- $d$  = Schaftdurchmesser Schraube (mm)
- $d_0 = \Delta d + d$  = Lochlänge in Krafrichtung (mm)
- $d_{0,Ab} = d_L + 2 \times \Delta d$  = Abdecklochlänge in Krafrichtung (mm)
- $d_{Dz}$  = Durchmesser Druckzylinder (Verformungskegel / mm)
- $d_L = \Delta d + d$  = Lochlänge rechtwinklig zur Krafrichtung (mm)
- $\Delta d$  = Lochspiel (in Krafrichtung) (mm)
- $d_{Sa}$  = Außendurchmesser Unterlegscheibe (mm)
- $d_{Si}$  = Innendurchmesser Unterlegscheibe (mm)
- $F_{LL}$  = Kraft je Langloch (N)
- $\sigma_{Material}$  = Streckgrenze Material Anschlussblech (N/mm<sup>2</sup>)
- $L_L$  = Länge Abdeck- Unterlegplatte in Krafrichtung (mm)
- $L_B$  = Breite Abdeck- Unterlegplatte rechtwinklig zur Krafrichtung (mm)
- $n$  = Anzahl der Langlöcher in Krafrichtung
- $t$  = Materialdicke Anschlussblech (mm)
- $t_V$  = Materialdicke gesamte Verbindung inklusiv  $t_{Ab}$  (mm)
- $t_{Ab}$  = Materialdicke Abdeck- und Unterlegblech (mm)

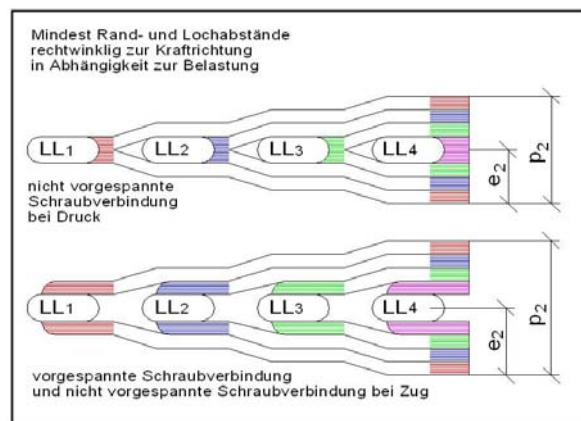


Bild A-2 Mindestabstände in Abhängigkeit zur Spannung



## Mindestrandabstände

<b>Tab.A1</b>	Nicht vorgespannte Verbindungen		Vorgespannte Verbindungen
e <sub>1</sub>	1,5 * d <sub>L</sub> + 0,5 * d <sub>0</sub>		-
e <sub>2</sub>	Kurze Langlöcher	1,5 * d <sub>L</sub>	1,5 * d <sub>L</sub> mit der Bedingung 0,5 * (d <sub>sa</sub> + 0,5 * t <sub>v</sub> ) oder $0,5 * \left( \frac{F_{LL}}{\sigma_{Material}} * n + d_L \right)$ der größere Wert gilt
	Lange Langlöcher	2,0 * d <sub>L</sub>	
e <sub>4</sub>	2,0 * d <sub>L</sub>		2,0 * d <sub>L</sub> mit der Bedingung 0,5 * (d <sub>sa</sub> + 0,5 * t <sub>v</sub> ) der Größere Wert gilt

## Mindestlochabstände Schraubenreihe

<b>Tab.A2</b>	Nicht vorgespannte Verbindungen		Vorgespannte Verbindungen
p <sub>1</sub>	3 * d <sub>L</sub> + d <sub>0</sub>		3,0 * d <sub>L</sub> + d <sub>0</sub> mit der Bedingung d <sub>sa</sub> + 0,5 * t <sub>v</sub> der Größere Wert gilt
p <sub>2</sub>	Kurze Langlöcher	4,0 * d <sub>L</sub>	5,0 * d <sub>L</sub> mit der Bedingung d <sub>sa</sub> + 0,5 * t <sub>v</sub> und $\frac{F_{LL}}{\sigma_{Material}} * n + d_L$ der Größere Wert gilt
	Lange Langlöcher	5,0 * d <sub>L</sub>	
	mit der Bedingung $\frac{F_{LL}}{\sigma_{Material}} * n + d_L$ der größere Wert gilt		

## Mindestdicke Abdeck- und Unterlegplatten

<b>Tab.A3</b>	Nicht vorgespannte Verbindungen	Vorgespannte Verbindungen
t <sub>Ab</sub>	$4mm \leq 0,5 * t \leq 12mm$	$4mm \leq 0,75 * d \leq 12mm$ wenn $0,75 * d \geq 12mm$ dann Verbindungsschraube zusätzlich auf Biegebeanspruchung mit SBF * F überprüfen

## Mindestmaße Abdeck- und Unterlegplatten für Einzellochanwendung

Tab.A4	Nicht vorgespannte Verbindungen		Vorgespannte Verbindungen
L <sub>L</sub>	$d_L + 2 * \Delta d + 10 \text{ mm}$		$80 \text{ mm} \leq d_L + 2 * \Delta d + 10 \text{ mm}$ mit der Bedingung $d_{Sa} + t_v$ der Größere Wert gilt
L <sub>B</sub>	Kurze Langlöcher	$80 \text{ mm} \leq 4 * d_L$	$80 \text{ mm} \leq 4 * d_L$ mit der Bedingung $d_{Sa} + t_v$ der Größere Wert gilt
	Lange Langlöcher	$80 \text{ mm} \leq 5 * d_L$	

## Mindestmaße Abdeck- und Unterlegplatten für Mehrlochanwendung

Tab.A5	Nicht vorgespannte Verbindungen		Vorgespannte Verbindungen
L <sub>L</sub>	$d_L + 2 * \Delta d + 10 \text{ mm}$		$d_L + 2 * \Delta d + 10 \text{ mm}$ mit der Bedingung $d_{Sa} + t_v$ der Größere Wert gilt Abstände anpassen
L <sub>B</sub>	$4 * d_L - 2 \text{ mm}$		$4 * d_L - 2 \text{ mm}$ mit der Bedingung $d_{Sa} + t_v$ der Größere Wert gilt Abstände anpassen

**Für jedes Langloch ist eine separate Abdeck- und Unterlegplatte zu verbauen.  
Können die Mindestabstände und Maße aus Konstruktiven Gegebenheiten nicht  
eingehalten werden, müssen die Kräfte dementsprechend reduziert werden.**

## 2. Biegebeanspruchung Schrauben (für einschnittige Schraubverbindungen)

Der Nachweis für die vorgespannte Schraube

im Zustand GZG (Kategorie B) und GZT (Kategorie C) erfolgt mit  $\frac{M_{SBF}}{W_S} + \frac{F_{p,C,red}}{A_S} \leq 0,7 * f_{ub}$

wobei  $F_{p,C,red}$  (3.3.2) für  $F_{s,Rd,ser}$  (Kategorie B) und  $F_{s,Rd}$  (Kategorie C) steht.

Für  $W_S$  = Widerstandsmoment und  $A_S$  = Fläche wird zur Berechnung der Spannungsquerschnitt der gewählten Schraube zu Grunde gelegt.

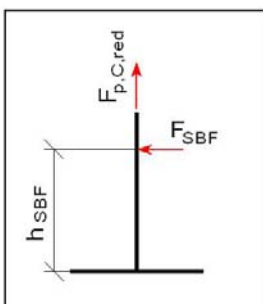


Bild A-3 System

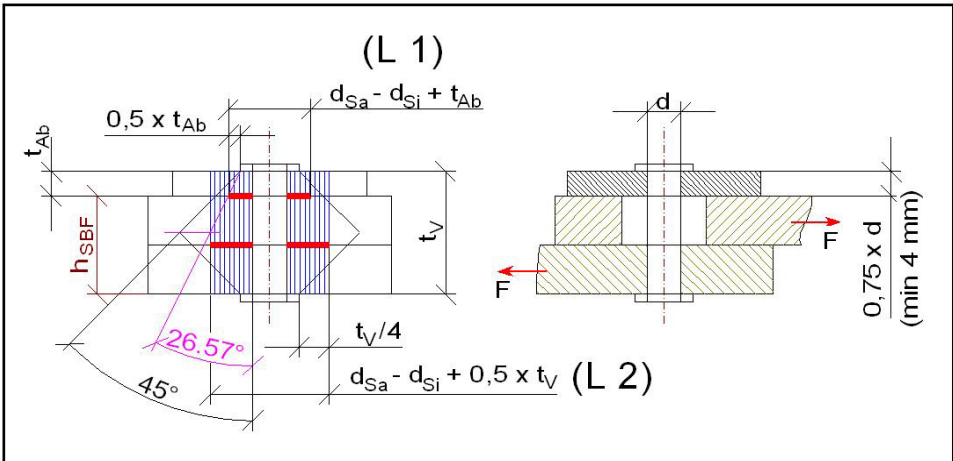


Bild A-4 / Ermittlung Faktor für Biegebeanspruchung

Die zusätzliche Biegebeanspruchung der Schraube berechnet sich aus  $F * SBF * h_{SBF}$

F = Charakteristische Einwirkung

SBF = Schraubenbiegebeanspruchungsfaktor  $SBF = \frac{L1}{(L1 + L2)}$

L1 = Faktorfläche im Bezug auf den tatsächlichen Verformungskegel

L2 = Reibfläche, Druckzylinder nach Petersen, Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten<sup>(A-1)</sup>

h<sub>SBF</sub> = Abstand Einleitungsfuge - Bemessungspunkt Schraube

### 3. Pressflächenermittlung Auslagerungsträger

$$F_{N,Rd} = F_{p,C} / 2$$

$$a = 1,520 * \sqrt{\frac{F * r}{b * E}} \quad (A-2)$$

Einleitungsfläche  $A_E = 2a * b$

Pressfläche Mitte Verbindung

$$A_{RM} = A_E + (2a + 0,5t_v) * (b + 0,5t_v)$$

$$A_R = \frac{A_{RM} * 2}{t_v} * (t_v - h_{SBF})$$

Wenn der Verformungskegel von

26,6° den Rand eher erreicht als die Tennfuge, muss dies bei der Flächenermittlung berücksichtigt und die Fläche reduziert werden.

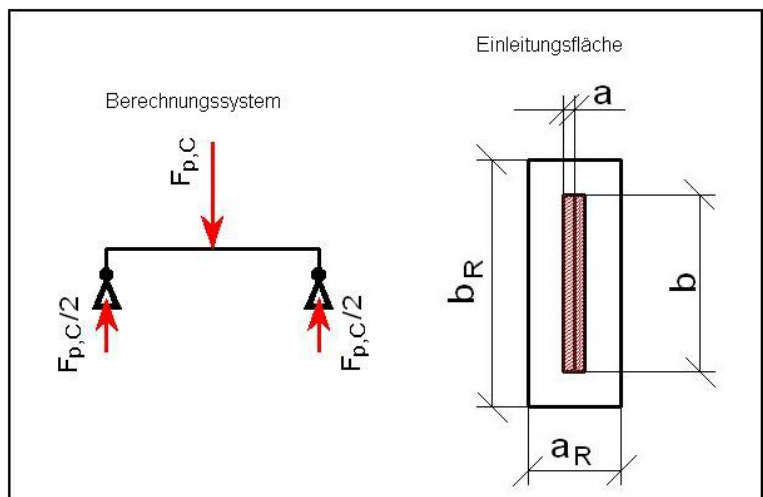


Bild A-5 System Auslagerungsträger / Einleitungsfläche Hertzische Pressung

- a = Breite Pressfläche
- b = Länge Auslagerungsträger
- A<sub>E</sub> = Einleitungsfläche
- A<sub>RM</sub> = Pressfläche mitte Verbindung
- A<sub>R</sub> = Pressfläche Scherfuge
- t<sub>v</sub> = Gesamtdicke Verbindung
- h<sub>SBF</sub> = Abstand Scherfugesfuge

## Literaturverzeichnis:

- (A-1) Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 539
- (A-2) Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen / 4.Auflage / 2013 / Springer Vieweg Verlag / ISBN 978-3-528-38837-9 / Seite 1128 / 1129

## Verwendete Quellen:

DIN EN 1090-2	3.1.1
DIN EN 18800-7	3.1.2
DIN EN 1993-1-8	3.1.3
DASt - Richtlinie 023 Langlochverbindungen mit Schrauben	3.1.4
DIN EN 1993-1-9	3.1.5
DIN EN 1090-3 (Aluminium)	3.1.6
Bericht Nr. 132 / GAV-Nr. FG 25	3.1.7
Arbeitshilfe 5.2	3.1.8
Verformungskegel / Druckflächen	3.1.9
Stahlbaukalender 2011 / Ernst & Sohn	3.1.10
Zusammenfassung Konstruktive Grundlagen	3.1.11
ESDEP (European Steel Design Education Programme)	3.3.2
Schneider / Bautabellen für Ingenieure / Auflage 21	
Stahlbau, Grundlagen der Berechnung und baulichen Ausbildung von Stahlbauten / C.Petersen	

## Bildnachweise:

- Bild A-1 Daniel Burkert
- Bild A-2 Daniel Burkert
- Bild A-3 Daniel Burkert
- Bild A-4 Daniel Burkert
- Bild A-5 Daniel Burkert

# Anlage B

Hybridverbindung - Verschweißen

# Anlage B

## Hybridverbindung – Schweißen

Erforderliche Nachweise:

- Schraube im Montagezustand mit Statische Eigenlasten, Lagesicherung durch handfeste Verschraubung der Verbindung im GZT
- Schweißnähte für Hauptlasten

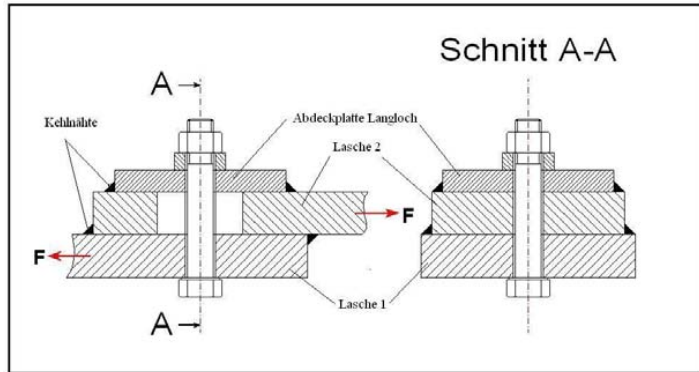
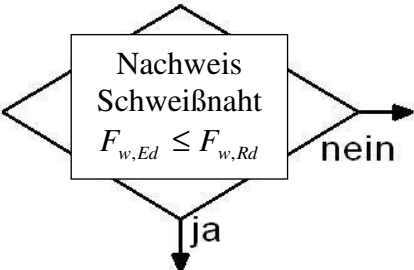


Bild B-1 / Schnitt - Sicherung und Kraftübertragung durch Schweißnähte

### Nachweisführung

		Quelle:	
<b>1</b>	Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Für Vereinfachung der Nahteinbringung unterschiedliche Breiten und möglichst symmetrisch Aufbau wählen Anlage A-1 3.3.4 3.7	
<b>2</b>	<u>Nachweis Schraubverbindung</u> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">                         Nachweis Schraube(n)  <math>F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}</math> </div> <div style="margin-left: 10px;">                         Schritt 1                          Größere Schrauben wählen                     </div> </div>	$F_{v,Rd} = F_{s,Rd}$ $\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}$ Handfest angezogene Schraubverbindung dabei gilt $F_{p,C} = \frac{M_{A,handfest} * f_{ub}}{0,15 * d * f_{yb}}$	2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2 3.4.3
<b>3</b>	<u>Nachweis Bauteile</u> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px;">                         Nachweis Material  <math>\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}</math> </div> <div style="margin-left: 10px;">                         Schritt 1                          Größere Material-Abmessung und Dicken wählen                     </div> </div>	Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen	3.2.1 3.2.2

<p><b>4</b> Ermittlung vorhandener Schweißnahtlänge parallel zur Krafrichtung, Ermittlung und Festlegung Schweißnahtdicke</p>	<p>Kehlnahtlänge min. 30 mm oder <math>6 \cdot a_w</math></p> <p>Schweißnahtdicke min. <math>a_w = 3 \text{ mm}</math> für offene Profile und Flacherzeugnisse <math>t \geq 3 \text{ mm}</math> gilt zusätzlich <math>\min a_w \geq \sqrt{\max t} - 0,5</math> für</p>	<p>3.7</p>
<p><b>5</b> <u>Nachweis Schweißnähte</u></p> <div style="text-align: center;">  </div>	<p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p> <p><math>F_{Ed} = F_{w,Ed}</math> Einwirkung <math>F_{w,Rd} =</math> Widerstand</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <math display="block">F_{w,Rd} = f_{vw,d}</math> <math display="block">f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}</math> </div>	<p>3.7</p>
<p>Zu Beachten ist:</p> <p style="text-align: center;"><b>Anschluss und Abdeckbleche müssen komplett dicht verschweißt werden um das Eindringen von Medien in die Verbindung auszuschließen.</b></p>		

Bildnachweis:

Bild B-1 Daniel Burkert

# Anlage C

Hybridverbindung - Kleben



# Anlage C

## Hybridverbindung – Kleben

Erforderliche Nachweise:

- Kleber für Hauptlast
- Schraube für Montagefall und Versagensfall Klebeverbindung als gleitfeste Verbindung im GZT (Kategorie C) mit kurzen Langlöchern

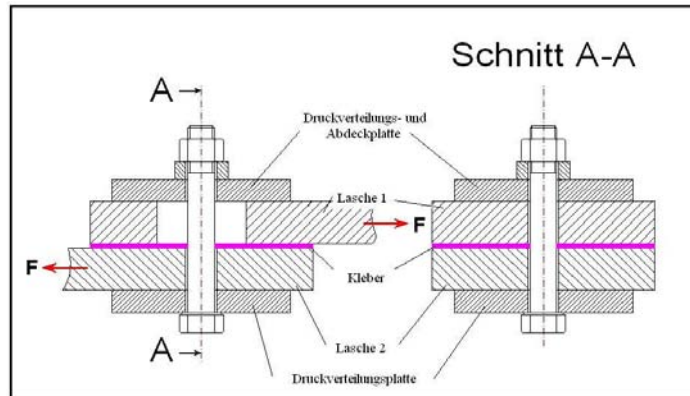
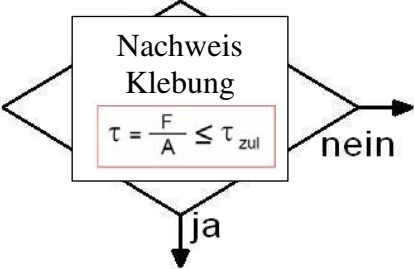
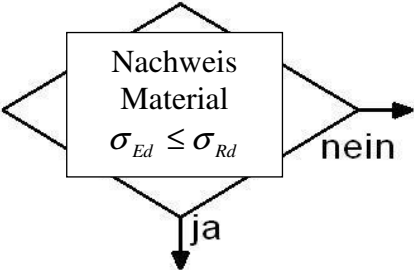
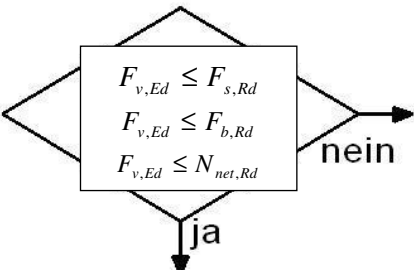
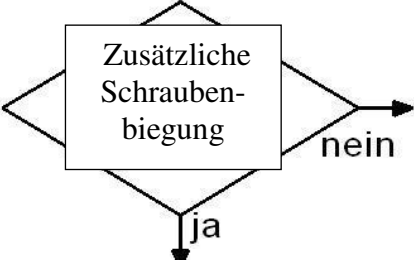


Bild C-1 / Schnitt - Sicherung und Kraftübertragung durch Klebeverbindung

Für die Schraubverbindung gilt der Fall Montagezustand nur dann wenn sämtliche auf die Verbindung einwirkenden Kräfte klar definierbar und die Umgebungseinflüsse auf die Klebung vorher bestimmbar sind. Bei der Nachweisführung muss beachtet werden, dass Schraubverbindungen mit langen Langlöchern parallel in Krafrichtung nur an den Enden von Langlöchern Lochleibungskräfte übertragen werden können. **Aufgrund dessen werden kurze Langlöcher gewählt** da diese im Versagensfall der Verbindung nur zu geringen Exzentrizitäten führen.

### Nachweisführung

		Quelle:
<p><b>1</b> Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;"> <p>Dimensionierung der erforderlichen Klebefläche</p> <math display="block">A_{\text{erf}} = \frac{F}{\tau_{\text{zul}}}</math> <math display="block">\tau_{\text{zul}} = \frac{\tau_B}{V}, \quad v = 2 \dots 3 \text{ (statisch)}</math> <math display="block">v = 3 \dots 10 \text{ (dynamisch)}</math> </div> <p>Bild C-2 / erforderliche Klebefläche</p>	<p>Anlage A-1 3.3.4 3.8.3</p>
<p><b>2</b> <u>Nachweis Schraubverbindung</u></p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;"> </div> <p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	$F_{v,Rd} = F_{s,Rd}$ $\Rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}$ <p>Handfest angezogene Schraubverbindung dabei</p> $\text{gilt } F_{p,C} = \frac{M_{A,\text{handfest}} * f_{ub}}{0,15 * d * f_{yb}}$	<p>2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2 3.4.3</p>

<p><b>3</b> <u>Nachweis Klebverbindung</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Material- abmessung und Dicken wählen</p>	$\tau_{zul} = \eta * \frac{\tau_B}{\gamma_{MK}}$ <p><math>\tau_B =</math> Produkteigenschaft</p> $\gamma_{MK} = \gamma_{m,1} * \gamma_{m,2} * \gamma_{m,3} * \gamma_{m,4} \geq 1,5$ $\eta = \frac{1}{A_{mod}} \text{ mit}$ $A_{mod} = A_1 * A_2 * A_3$	<p>3.8.3</p> <p>3.8.4</p>
<p><b>4</b> <u>Nachweis Bauteile</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen</p>	<p>3.2.1</p> <p>3.2.2</p>
<p><b>5</b> <u>Nachweis Schraubverbindung</u> <u>Bei Versagen Klebverbindung</u> <u>mit (kurzen) Langlöchern</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	$\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}$ <p>dabei gilt <math>F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s</math></p> $\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * t}{\gamma_{M2}} * 0,6$ $\rightarrow N_{net,Rd} = \frac{A_{net} * f_y}{\gamma_{M0}}$ <p>Vorspannkraftverluste sind zu berücksichtigen</p>	<p>2.4</p> <p>3.2.2</p> <p>3.3.3</p> <p>3.3.4</p> <p>3.3.5</p> <p>3.4.1</p> <p>3.4.2</p> <p>3.4.3</p> <p>3.5</p>
<p>Für einschnittige vorgespannte Verbindungen gilt weiterhin</p>		
<p><b>6</b> <u>Nachweis Schraubbiegung</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	$\frac{M_{SBF}}{W_s} + \frac{F_{p,C,red}}{A_s} \leq 0,7 * f_{ub}$ <p><math>F_{p,C,red} =</math> siehe 3.3.2</p> <p><math>W_s =</math> Widerstandsmoment</p> <p><math>A_s =</math> Spannungsquerschnitt Schraube</p>	<p>3.3.2</p> <p>Anlage A-2</p>
<p>Zu Beachten ist: <b>Im GZT sollten zur Absicherung des Falles des Versagens der Gleitfuge nur kurze Langlöcher verwendet werden. Der Versagendfall ist statisch zu überprüfen.</b></p>		

## Bildnachweis:

Bild C-1 Daniel Burkert

# Anlage D

Hybridverbindung - Injektionsharz

# Anlage D

## Hybridverbindung – Injektionsharz

Erforderliche Nachweise:

- Injektionsharz für Hauptlast
- Schraube für Montagefall und Versagensfall als gleitfeste Verbindung im mit kurzen Langlöchern
- Lochleibung Injektionsharz wenn der Injektionsharz zur Sicherung eines Langloches dient

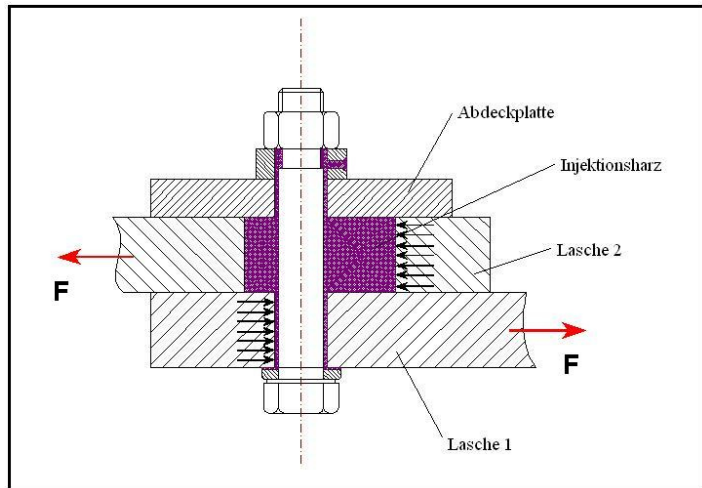
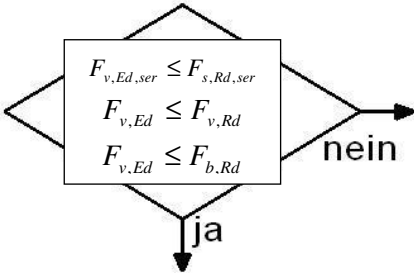
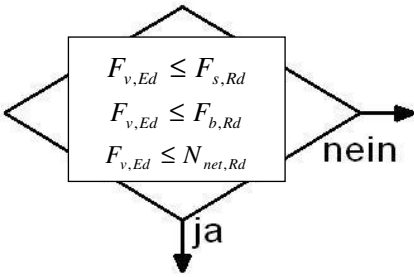
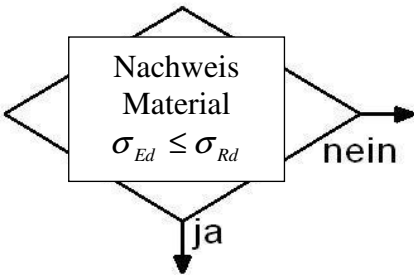


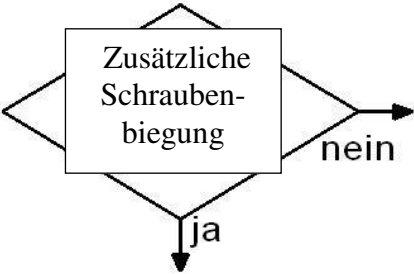
Bild D-1 / Schnitt Langlochverbindung mit Injektionsharz

### Nachweisführung für Kategorie A,B und C

Quelle:

<p><b>1</b> Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten</p>		<p>Anlage A-1 3.3.4 3.6.2</p>
<p><b>2</b> <u>Nachweis Schraubverbindung und Injektionsharz Kategorie A</u></p> <div style="text-align: center;"> </div>	<p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung Schrauben und Dicken wählen</p> <p>Bei Langloch <math>F_{b,Rd}</math> durch <math>F_{b,Rd,rsin}</math> ersetzen</p> <p><math display="block">\rightarrow F_{b,Rd,rsin} = \frac{k_t * k_s * t_{b,rsin} * \beta * f_{b,rsin}}{\gamma_{M4}}</math></p>	<p>2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2 3.4.3 3.6.1 3.6.2</p>

<p><b>2</b> <u>Nachweis Schraubverbindung und Injektionsharz Kategorie B</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Material-Abmessung Schrauben und Dicken wählen</p>	<p><math>\rightarrow F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3,ser}} * F_{p,C}</math>                  dabei gilt <math>F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s</math>  <math>\rightarrow F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A_S}{\gamma_{M2}}</math>                  dabei gilt Scherfuge im Schaft der Schraube  <math>\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * t}{\gamma_{M2}} * 0,6</math>                  Vorspannkraftverluste sind zu berücksichtigen</p> <p>Bei Langloch <math>F_{b,Rd}</math> durch <math>F_{b,Rd,re sin}</math> ersetzen  <math>\rightarrow F_{b,Rd,re sin} = \frac{k_t * k_s * t_{b,re sin} * \beta * f_{b,re sin}}{\gamma_{M4}}</math></p>	<p>2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2 3.4.3 3.6.1 3.6.2</p>
<p><b>2</b> <u>Nachweis Schraubverbindung und Injektionsharz Kategorie C</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Material-Abmessung Schrauben und Dicken wählen</p>	<p><math>\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}</math>                  dabei gilt <math>F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s</math>  <math>\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * t}{\gamma_{M2}} * 0,6</math>  <math>\rightarrow N_{net,Rd} = \frac{A_{net} * f_y}{\gamma_{M0}}</math>                  Vorspannkraftverluste sind zu berücksichtigen</p> <p>Bei Langloch <math>F_{b,Rd}</math> durch <math>F_{b,Rd,re sin}</math> ersetzen  <math>\rightarrow F_{b,Rd,re sin} = \frac{k_t * k_s * t_{b,re sin} * \beta * f_{b,re sin}}{\gamma_{M4}}</math></p>	<p>2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2 3.4.3 3.6.1 3.6.2</p>
<p><b>3</b> <u>Nachweis Bauteile</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Material-Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen</p>	<p>3.2.1 3.2.2</p>

Für einschnittige vorgespannte Verbindungen gilt weiterhin			
<p><b>4</b> <u>Nachweis Schraubbiegung</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	$\frac{M_{SBF}}{W_S} + \frac{F_{p,C,red}}{A_S} \leq 0,7 * f_{ub}$ <p><math>F_{p,C,red}</math> = siehe 3.3.2  <math>W_S</math> = Widerstandsmoment  <math>A_S</math> = Spannungsquerschnitt                  Schraube</p>	<p>3.3.2 Anlage A-2</p>
<p>Zu Beachten ist:</p> <p style="text-align: center;"><b>Wenn der Versagen der Injektionsverbindung nicht ausgeschlossen werden kann, sollten nur kurze Langlöcher verwendet werden. Der Versagensfall ist statisch zu überprüfen.</b></p>			

Bildnachweis:

Bild D-1 Daniel Burkert

# Anlage E

Grundmaterialeinsätze



# Anlage E

## Grundmaterialeinsätze

Erforderliche Nachweise:

- Scher- und Lochleibungs-  
festigkeitsnachweis im GZT
- Lochleibungseffekt (3.2.3)

Diese Schraubverbindung eignet sich hervorragend für Verbindungen der Kategorie A. Kategorie B und C siehe Anlage H.

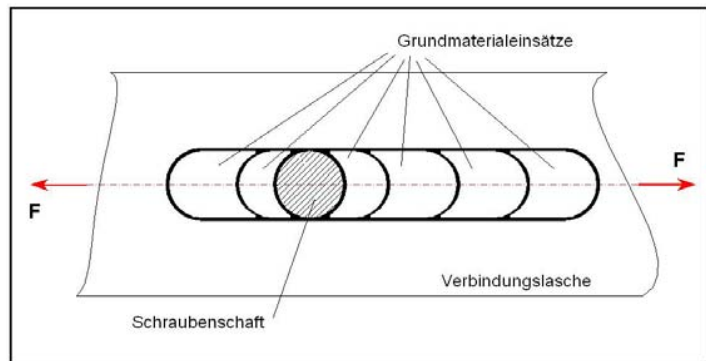
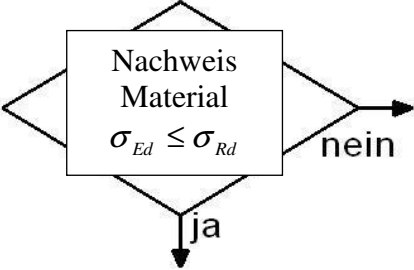
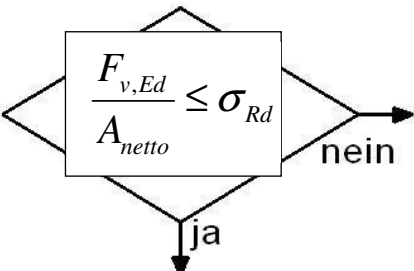


Bild E-1 / Grundmaterialeinsätze

### Nachweisführung für Kategorie A

		Quelle:	
<b>1</b>	Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Anlage A-1 3.3.4	
<b>2</b>	<p><u>Nachweis Schraubverbindung</u></p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <math display="block">F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}</math> <math display="block">F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}</math> </div> <div style="text-align: center;"> <p>nein →</p> <p>ja ↓</p> </div> </div> <p>Schritt 1 Größere Material-Abmessung Schrauben und Dicken wählen</p>	$F_{v,Rd} = F_{s,Rd}$ $\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}$ <p>Handfest angezogene Schraubverbindung dabei</p> $\text{gilt } F_{p,C} = \frac{M_{A,handfest} * f_{ub}}{0,15 * d * f_{yb}}$ $\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * t}{\gamma_{M2}} * 0,6$ <p>dabei gilt Scherfuge im</p>	<p>2.4</p> <p>3.3.1</p> <p>3.3.3</p> <p>3.3.4</p> <p>3.4.1</p> <p>3.4.2</p> <p>3.4.3</p>

		Schaft der Schraube	
<p><b>3</b> <u>Nachweis Bauteile</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen</p>	<p>3.2.1 3.2.2</p>
<p><b>4</b> <u>Nachweis Lochleibungseffekt</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	<p><math>F_{v,Ed}</math> = Einwirkung <math>\sigma_{Rd}</math> = Spannung aus Materialwiderstand <math>A_{netto} = (e_3 - \frac{d_L}{2}) * t</math></p>	<p>3.2.3</p>
<p>Zu Beachten ist: <b>Abdeckbleche sind zwingend zu verwenden</b></p>			

Bildnachweis:

Bild E-1 Daniel Burkert

# Anlage F

Justierschrauben mit definierter Krafrichtung

# Anlage F

## Justierschrauben mit definierter Krafrichtung

Erforderliche Nachweise:

- Laschen / Bleche
- Flächenpressung Aufnahme
- Knicknachweis Justierschraube
- Gewindeaufnahme der
- Justierschraube
- Nettoquerschnitt Lasche 1

Diese Schraubverbindung ist eher untypisch für den Stahlbau, eignet sich aber hervorragend

für Verbindungen der Kategorie A. Durch den Zentrischen Kraftabtrag kann auf Grund der nicht vorhandenen Belastung an den Lochenden der Lochleibungsnachweis entfallen.

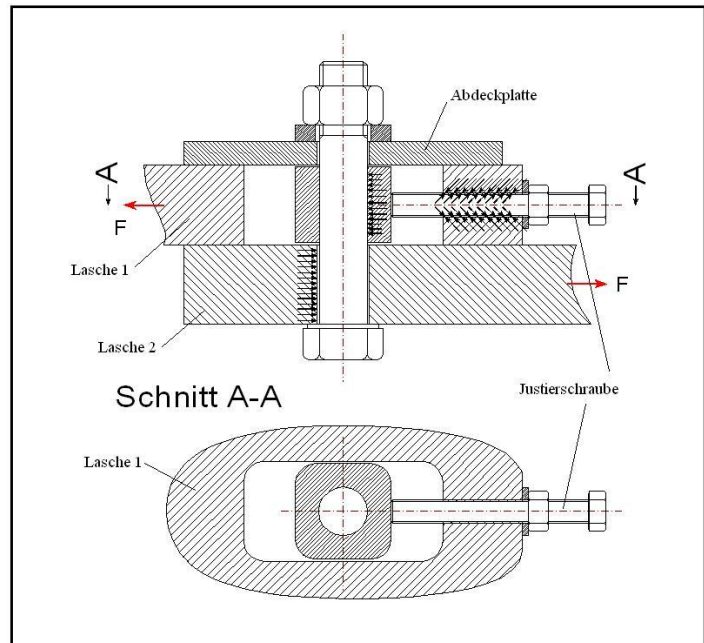
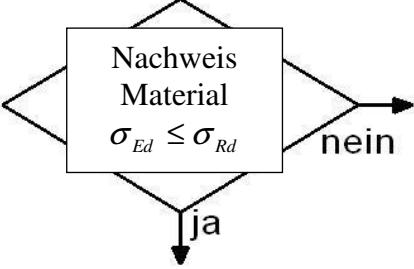


Bild F-1 / Langloch mit Justierschraube

### Nachweisführung für Kategorie A

		Quelle:
<b>1</b>	Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Anlage A-1 3.3.4
<b>2</b>	<p><u>Nachweis Schraubverbindung</u></p> <div style="text-align: center;"> </div> <p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung Schrauben und Dicken wählen</p>	$F_{v,Rd} = F_{s,Rd}$ $\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}$ Handfest angezogene Schraubverbindung dabei
		2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2

	$\text{gilt } F_{p,C} = \frac{M_{A,handfest} * f_{ub}}{0,15 * d * f_{yb}}$	3.4.3
<p><b>3</b> <u>Nachweis Bauteile</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen Knicken der Justierschraube u.s.w.</p>	3.2.1 3.2.2
<p>Zu Beachten ist:</p> <p style="text-align: center;"><b>Abdeckbleche sind zwingend zu verwenden</b></p>		

**Bildnachweis:**

Bild F-1 Daniel Burkert

# Anlage G

Verkeilung / Verzahnung

# Anlage G

## Verkeilung / Verzahnung

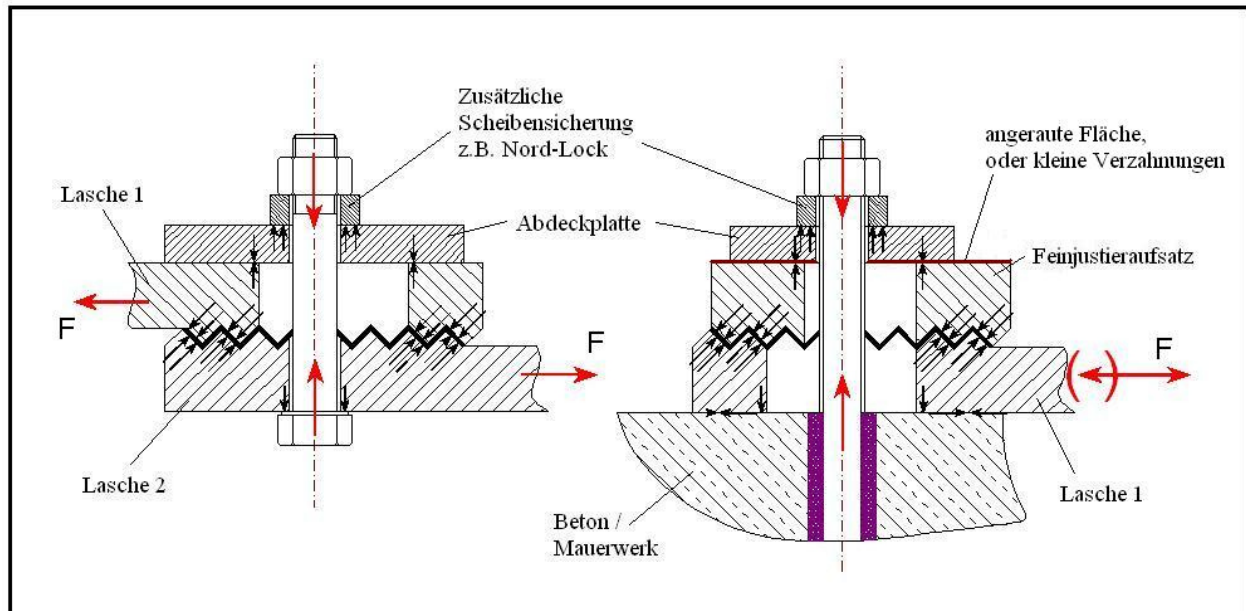


Bild G-1 Verkeilung / Verzahnung zur Kraftübertragung

Erforderliche Nachweise:

- Laschen / Bleche
- Flächenpressung / Abscherwiderstand Verkeilung / Zähne

Für Verbindungen der Kategorie A. Durch den Zentrischen Kraftabtrag kann auf Grund der nicht vorhandenen Belastung an den Lochenden der Lochleibungsnachweis entfallen.

Bei wechselnder Belastung muss die Verbindung zusätzlich z.B. Nord-Lock gesichert werden

Für die Berechnung der Verzahnung erfolgt unter Beachtung des Verformungswinkels eine Eingrenzung der Fläche für die Nachweise.

### Nachweisführung für Kategorie A

<u>Nachweisführung für Kategorie A</u>		Quelle:
<b>1</b>	Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Anlage A-1 3.3.4

<p><b>2</b></p>	<p><u>Nachweis Schraubverbindung</u></p>	<p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung Schrauben und Dicken wählen</p>	<p><math>F_{v,Rd} = F_{s,Rd}</math>   <math>\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}</math>                       Handfest angezogene Schraubverbindung dabei                       gilt <math>F_{p,C} = \frac{M_{A,handfest} * f_{ub}}{0,15 * d * f_{yb}}</math></p>	<p>2.4 3.3.1 3.3.3 3.3.4 3.4.1 3.4.2 3.4.3</p>
<p><b>3</b></p>	<p><u>Nachweis Bauteile</u></p>	<p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen Widerstand gegen abscheren der Verzahnung</p>	<p>3.2.1 3.2.2</p>
<p><b>4</b></p>	<p><u>Nachweis Schraubbiegung</u></p>	<p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	<p><math>\frac{M_{SBF}}{W_S} + \frac{F_{p,C,red}}{A_S} \leq 0,7 * f_{ub}</math>   <math>F_{p,C,red} =</math> siehe 3.3.2   <math>W_S =</math> Widerstandsmoment  <math>A_S =</math> Spannungsquerschnitt                      Schraube</p>	<p>Anlage A-2 3.3.2</p>
<p>Zu Beachten ist:   <b>Abdeckbleche sind zwingend zu verwenden</b></p>				

Bildnachweis:

Bild G-1 Daniel Burkert



# Anlage H

1. Verbindungen nach Kategorie B (GZG)
2. Verbindungen nach Kategorie C (GZT)
3. Auslagerungsträger

# Anlage H

## Verbindung mit Hochfesten Schrauben

Erforderliche Nachweise:

- Schraube als gleitfeste Verbindung im GZG / GZT mit kurzen Langlöchern
- Scher- und Lochleibungsnachweise
- Zugtragfähigkeit Nettoquerschnitt

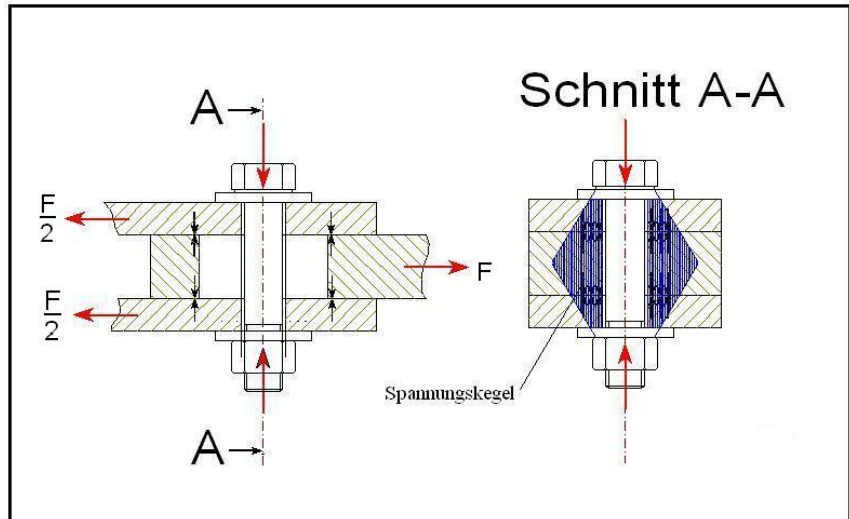


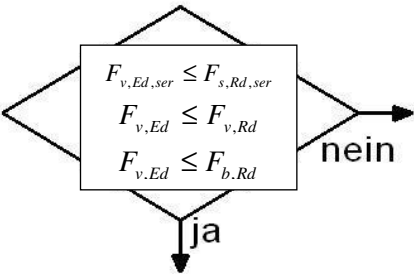
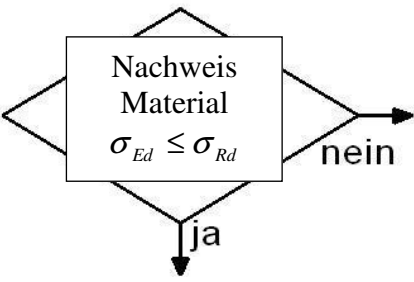
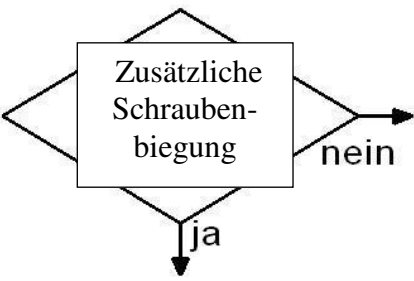
Bild H-1 / zweiseitige vorgespannte Schraubverbindung

Bei der Nachweisführung muss beachtet werden, dass bei Schraubverbindungen mit Langlöchern parallel in Kraftrichtung nur an den Enden von Langlöchern Lochleibungskräfte übertragen werden können.

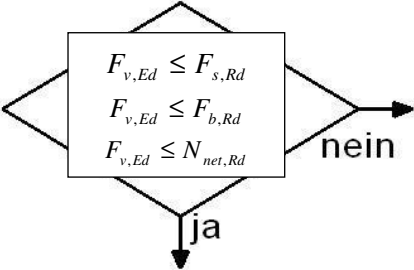
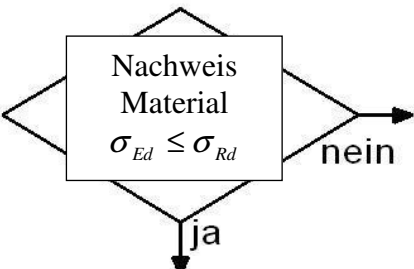
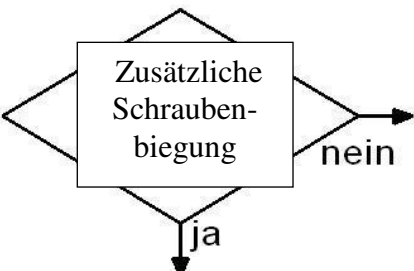
Aufgrund dessen sollte bei nicht klar ermittelbaren Belastungen nur kurze Langlöcher gewählt werden, da diese im Versagensfall der Verbindung nur zu geringen Exzentrizitäten führen. Der Versagensfall ist statisch mit zu überprüfen.

### 1. Verbindungen nach Kategorie B (GZG)

Nachweisführung		Quelle:
<b>1</b>	Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Anlage A-1 3.3.4
<b>2</b>	<u>Nachweis Schraubverbindung</u> <u>Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit</u>	$\rightarrow F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3,ser}} * F_{p,C}$ dabei gilt $F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$
		2.4 3.2.2 3.3.3

 <p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	$\rightarrow F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A_S}{\gamma_{M2}}$ <p>dabei gilt Scherfuge im Schaft der Schraube</p> $\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * t}{\gamma_{M2}} * 0,6$ <p>Vorspannkraftverluste sind zu berücksichtigen</p>	<p>3.3.4 3.3.5 3.4.1 3.4.2 3.4.3 3.5</p>
<p><b>3</b> <u>Nachweis Bauteile</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen</p>	<p>3.2.1 3.2.2</p>
<p>Für einschnittige vorgespannte Verbindungen gilt weiterhin</p>		
<p><b>4</b> <u>Nachweis Schraubbiegung</u></p>  <p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	$\frac{M_{SBF}}{W_S} + \frac{F_{p,C,red}}{A_S} \leq 0,7 * f_{ub}$ <p><math>F_{p,C,red}</math> = siehe 3.3.2 <math>W_S</math> = Widerstandsmoment <math>A_S</math> = Spannungsquerschnitt Schraube</p>	<p>Anlage A-2 3.3.2</p>
<p>Zu Beachten ist: <b>Im GZG sollten zur Absicherung des Falles des Versagens der Gleitfuge nur kurze Langlöcher verwendet werden. Der Versagendfall ist statisch zu überprüfen.</b></p>		

## 2. Verbindungen nach Kategorie C (GZT)

Nachweisführung		Quelle:
<b>1</b>	Festlegung der Abmaße der Verbindung aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Anlage A-1 3.3.4
<b>2</b>	<p><u>Nachweis Schraubverbindung</u> Im Grenzzustand der <u>Tragfähigkeit</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p> <p> <math display="block">\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{k_s * n * \mu}{\gamma_{M3}} * F_{p,C}</math>                     dabei gilt <math>F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s</math> </p> <p> <math display="block">\rightarrow F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * t}{\gamma_{M2}} * 0,6</math> </p> <p> <math display="block">\rightarrow N_{net,Rd} = \frac{A_{net} * f_y}{\gamma_{M0}}</math>                     Vorspannkraftverluste sind zu berücksichtigen                 </p> <p>2.4 3.2.2 3.3.3 3.3.4 3.3.5 3.4.1 3.4.2 3.4.3 3.5</p>
<b>3</b>	<p><u>Nachweis Bauteile</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Material-Abmessung und Dicken wählen</p> <p>Nachweise der Bauteile nach den gängigen Regeln der Technik / zu beachten sind: Nettoquerschnitt, Verbindungsmittel Gruppen, lange oder unsymmetrische Anschlüsse, Blockversagen</p> <p>3.2.1 3.2.2</p>
Für einschnittige vorgespannte Verbindungen gilt weiterhin		
<b>4</b>	<p><u>Nachweis Schraubbiegung</u></p> 	<p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p> <p> <math display="block">\frac{M_{SBF}}{W_s} + \frac{F_{p,C,red}}{A_s} \leq 0,7 * f_{ub}</math> </p> <p> <math>F_{p,C,red}</math> = siehe 3.3.2  <math>W_s</math> = Widerstandsmoment  <math>A_s</math> = Spannungsquerschnitt Schraube                 </p> <p>Anlage A-2 3.3.2</p>
<p>Zu Beachten ist:</p> <p><b>Im GZT sollten zur Absicherung des Falles des Versagens der Gleitfuge nur kurze Langlöcher verwendet werden. Der Versagendfall ist statisch zu überprüfen.</b></p>		

### 3. Auslagerungsträger

Kantenpressung im Langloch auf Grund der geringeren Pressflächen führen zur Abminderung der Vorspannkraft. Umgehung der Kantenpressung durch auslagern der Druckkräfte. aus dem Langlochbereich um die volle Vorspannkraft nutzbar machen zu können.

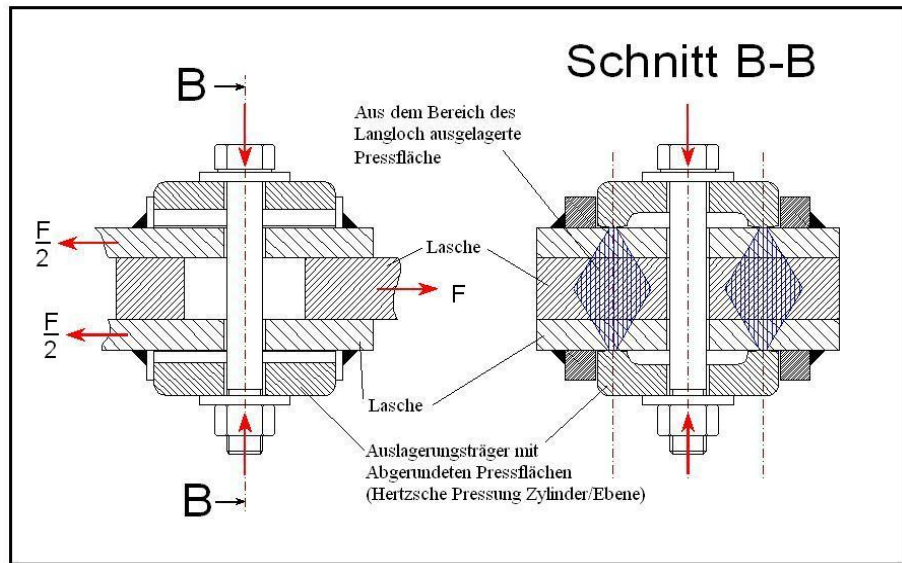


Bild H-2 / zweiseitige vorgespannte Verbindung mit ausgelagerten Druckbereich

Konstruktiv sollte der Auslagerungsträger für die Pressfläche einen großen Radius aufweisen, (Nachweis über Hertzische Pressung) da dadurch größere Pressflächen generiert und höhere Kräfte übertragen werden können.

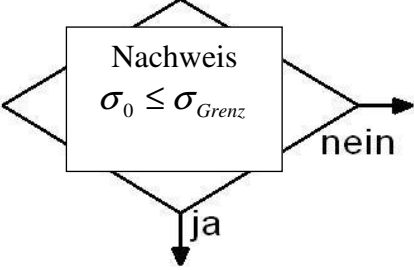
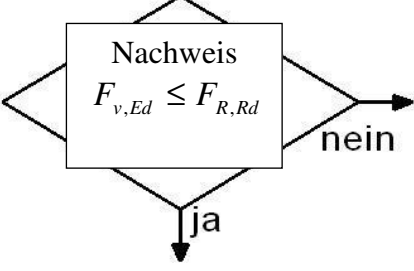
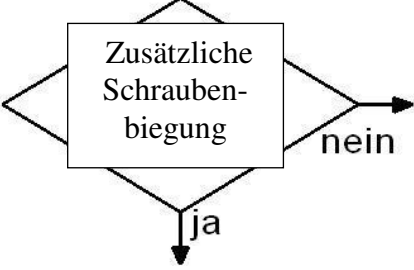
#### Nachweisführung

GZG → siehe 1. Verbindungen nach Kategorie B

GZT → siehe 2. Verbindungen nach Kategorie C

#### Zusätzliche Nachweise

		Quelle:
<b>5</b>	Festlegung der Abmaße des Auslagerungsträgers aufgrund der berechneten und vorhandener Kräfte für Montagelasten und Hauptlasten	Anlage A-1 2.4.7 3.3.4
<b>6</b>	<p><u>Nachweis Auslagerungsträger</u></p> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-right: 10px;"> <p style="text-align: center;">Nachweis Material</p> <math display="block">\sigma_{Ed} \leq \sigma_{Rd}</math> </div> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;">nein →</div> <div style="margin-bottom: 10px;">↓ ja</div> </div> </div> <p>Schritt 5 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweise des Auslagerungsträgers nach den gängigen Regeln der Technik</p>

<p><b>7</b> <u>Nachweis Pressung</u> <u>Auslagerungsträger</u> <u>Verbindungsmaterial</u></p>  <p>Nachweis <math>\sigma_0 \leq \sigma_{Grenz}</math></p>	<p>Schritt 1 und 5 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p>Nachweis erfolgt durch Hertzsche Pressung den Berechnungsmodell Zylinder / Ebene <math>\rightarrow \sigma_0 = 0,418 * \sqrt{\frac{F * E}{b * r}}</math> <math>\rightarrow \sigma_{grenz}</math> siehe 3.9</p>	<p>3.9</p>
<p><b>8</b> <u>Nachweis Gleitwiderstand</u></p>  <p>Nachweis <math>F_{v,Ed} \leq F_{R,Rd}</math></p>	<p>Schritt 5 Größere Material- Abmessung und Dicken wählen</p>	<p><math>\rightarrow F_{R,Rd} = n * A_R * \mu * F_{N,Rd}</math> Dabei gilt <math>\rightarrow A_R =</math> Pressfläche <math>\rightarrow F_{N,Rd} =</math> Einwirkung durch Auslagerungsträger n = Anzahl der Scherfugen</p>	<p>Anlage A-3 3.4.2 3.4.3</p>
<p>Für einschnittige vorgespannte Verbindungen gilt weiterhin</p>			
<p><b>9</b> <u>Nachweis Schraubbiegung</u></p>  <p>Zusätzliche Schrauben- biegung</p>	<p>Schritt 1 Größere Schrauben wählen</p>	<p><math>\frac{M_{SBF}}{W_S} + \frac{F_{p,C,red}}{A_S} \leq 0,7 * f_{ub}</math> <math>F_{p,C,red} =</math> siehe 3.3.2 <math>W_S =</math> Widerstandsmoment <math>A_S =</math> Spannungsquerschnitt Schraube</p>	<p>Anlage A-2 3.3.2</p>
<p>Zu Beachten ist: <b>Langlochverbindungen sollten immer abgedeckt sein. durch Festlegungen im Zuge der Konstruktion ist der Anschlusses so einzusetzen das im Gebrauchsfall keine Schmutz und Wassereinlagerungen in die Verbindung geschehen können.</b></p>			

Bildnachweise:

Bild H-1 Daniel Burkert

Bild H-2 Daniel Burkert

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Bachelorarbeit selbstständig, ohne Benutzung anderer als der benannten Quellen und Hilfsmittel, sowie ohne Hilfe Dritter, erstellt habe.

Alle wörtlich und oder sinngemäß entnommen Stellen sind als solche einzeln kenntlich gemacht und mit Quellenangabe benannt.

Diese Bachelorarbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

Eine Veröffentlichung diese Bachelorarbeit ist bisher nicht erfolgt.

Mir ist bewusst, dass eine falsche Eidesstattliche Erklärung sowie nicht klar gekennzeichnete Verwendung geistigen Eigentums anderer, rechtliche Folgen nach sich zieht.

Mittweida, den 30.06.2015



## Mein Dank

gilt

Gott der als stiller Begleiter in Höhen und Tiefen  
des Studienalltages.

gilt

meiner Familie, die es ermöglicht hat,  
Freiräume für das Studium zu schaffen.

gilt

Herrn Axel und Herrn Hans-Peter Nowotnik  
die es durch Freistellungen und  
die Machbarkeit der an den Semesterwochenplan  
angepasste Stundenweise Arbeit  
ermöglicht haben, in der von Ihnen geführten Firma  
zu arbeiten um das Studium zu finanzieren und zu absolvieren.

gilt

Herrn Dr. R.Taupitz für den Zeiteinsatz für die Betreuung der Thesis

gilt

Den Professoren und  
Angestellten der Hochschule Mittweida,  
die auch Studenten mit  
nicht geradlinigen Ausbildungsweg und Lebenszwängen  
die Möglichkeit der Aus und Weiterbildung ermöglichen.