

Programm

STIRNPL

für PCs unter Windows 95/98/ME/NT 4.0/2000

**Biegesteife Stirnplattenverbindungen
nach DIN 18800**

Benutzer-Handbuch

Fassung Oktober 2001

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung
Der ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH ist es nicht gestattet, dieses Benutzer-Handbuch
oder Teile daraus auf jedwede Art zu vervielfältigen.

**© ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH
Am Zellweg 2 • D-93464 Tiefenbach**

Telefon: 0 96 73 / 17 75 oder 17 76

Telefax: 0 96 73 / 17 70

E-Mail: info@dlubal.com

Internet: <http://www.dlubal.de>



1.	Einleitung	1
1.1	ÜBER STIRNPL FÜR WINDOWS	1
1.2	DAS STIRNPL-TEAM	1
1.3	LEISTUNGSÜBERSICHT FÜR STIRNPL.....	2
2.	Installation von STIRNPL	3
2.1	SYSTEMANFORDERUNGEN	3
2.2	INSTALLATIONSVORGANG	3
3.	Theoretische Grundlagen	4
3.1	AUSFÜHRUNGSARTEN DER STIRNPLATTENVERBINDUNG.....	4
3.2	VERMAßUNG DER STIRNPLATTE	5
3.3	BEANSPRUCHUNG DER STIRNPLATTENVERBINDUNG	7
3.4	BEANSPRUCHBARKEITEN DER VERBINDUNGSMITTEL	9
3.4.1	Verbindungsmittel Stirnplatte.....	9
3.4.2	Verbindungsmittel Schrauben	9
3.4.3	Verbindungsmittel Schweißnähte	10
3.5	BERECHNUNG DER VERBINDUNGSMITTEL.....	11
3.5.1	Dimensionierung der Schweißnähte	11
3.6	DIMENSIONIERUNG DER SCHRAUBEN	15
3.6.1	Berechnung der Schrauben im Druckbereich auf Abscheren.....	16
3.6.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Schrauben im Zugbereich.....	16
3.7	BERECHNUNG VON ÜBERSTEHENDEN STIRNPLATTENVERBINDUNGEN.....	18
3.8	BERECHNUNG NACH VALTINAT [6] („DAST-RINGBUCH“ [1]) UND LINDNER [4]	19
3.9	BERECHNUNG VON BÜNDIGEN STIRNPLATTENVERBINDUNGEN	21
3.10	BERECHNUNG DER VERBINDUNG AUF LOCHLEIBUNG	23
3.11	SONDERFALL DER BEANSPRUCHUNG DURCH NORMAL- UND QUERKRAFT (MOMENT GLEICH NULL)	24
4.	Arbeiten mit STIRNPL	26
4.1	STIRNPL STARTEN.....	26
4.2	MASKEN.....	26
4.3	EINGABEMASKEN	27
4.3.1	Maske 1.1 Basisangaben	27
4.3.2	Maske 1.2 Geometrie und Schweißnähte	29
4.3.3	Maske 1.3 Schrauben.....	30
4.3.4	Maske 1.4 Belastung	31
4.4	ERGEBNISMASKEN	32
4.4.1	Maske 2.1 Stirnplattenübersicht	32
4.4.2	Maske 2.2 Abmessungen.....	33
4.4.3	Maske 2.3 Nachweis der Bauteile	34
4.4.4	Maske 2.4 Nachweis der Schweißnähte	35
5.	Beispiel.....	36
6.	Notation	46
	Anhang A: Literatur.....	48





1. Einleitung

1.1 Über STIRNPL für Windows

Sehr verehrte Anwenderinnen und Anwender von RSTAB und STIRNPL!

Am Anfang dieses Handbuches möchten wir noch ein paar grundsätzliche Worte zu STIRNPL für Windows sagen, sowie einige Hinweise anbringen. Egal, ob Sie schon kundiger Benutzer einer Vorgängerversion sind oder das erste Mal mit STIRNPL arbeiten – die praxisorientierte Entwicklung, welche nur durch die konstruktive Zusammenarbeit mit vielen unserer Kunden und Geschäftspartnern möglich war, ermöglicht praktisch jedem den zügigen Einstieg und das schnelle Zurechtfinden im Programm. Die zahlreichen wertvollen Hinweise aus der alltäglichen Ingenieurspraxis trugen bereits bei STIRNPL 2.xx zu einer ständigen Weiterentwicklung und Verbesserung bei und sind selbstverständlich auch in STIRNPL für Windows in vollem Umfang zum Tragen gekommen.

STIRNPL für Windows ist nun, im Gegensatz zu STIRNPL 2.xx vollkommen in RSTAB 5 für Windows integriert. STIRNPL präsentiert sich Ihnen in der Windows-Fassung nicht nur rein optisch als ein fester Bestandteil von RSTAB. Die Ergebnisse können in das Ausdruckprotokoll von RSTAB eingebunden werden, mit der Folge, dass sich Ihre gesamten Berechnungen in optisch ansprechender und vor allem auch einheitlicher Form gestalten und präsentieren lassen.

Viel Erfolg bei der Arbeit mit RSTAB und STIRNPL wünscht Ihnen

Ihr Team von ING.-SOFTWARE DLUBAL GMBH

1.2 Das STIRNPL-Team

Folgende Personen waren an der Entwicklung von STIRNPL für Windows beteiligt:

- **Programmkoordinierung:**
Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Dipl.-Ing. Juergen Brockmann
Ing. Pavel Bartoš
- **Programmierung:**
Radovan Kotrla
Dr.-Ing. Jaroslav Lain
- **Programmkontrolle:**
Dipl.-Ing. Georg Dlubal
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
Dipl.-Ing. (FH) Walter Rustler
- **Handbuch und Hilfesystem:**
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Entenmann
Dipl.-Ing. Bernd Kohl

1.3 Leistungsübersicht für STIRNPL

Für die Berechnung von biegesteifen Stirnplattenverbindungen mit hochfesten Schrauben wurde ein Programm entwickelt, daß als Ergebnis der Berechnung folgende charakteristische Größen ausgibt:

Ergebnisse

- Schraubennennendurchmesser
- Schnittgrößen für verschiedene Lastfälle und Knoten
- Stirnplattendicke
- Wurzelmaß der Flansch- und Stegkehlnähte
- Photorealistische Ausgabe der Plattenabmessungen mit Lage der Schraubenlöcher und Anschweißmaße des Trägerprofils
- alternativ kann das Programm auch nur zur Schweißnahtberechnung eines biegesteifen Anschlusses benutzt werden
- Beim Verfahren "plastisch - plastisch" kann der Kopfplattenstoß nach DIN 18800 T2 [3] Element 759 für die $\lambda = 1,25$ -fachen Grenzschnittgrößen bemessen werden.

Voraussetzungen

- Lochspiel der Schrauben muß kleiner gleich 2mm sein
- der Schaft der Schrauben muß in der Scherfuge liegen
- Wenn das Verhältnis $I_{\text{Steg}} / I_{\text{ges}}$ wesentlich größer als 0,15 ist, so ist in der Zugzone eine zusätzliche Schraubenreihe (horizontal) anzuordnen

Biegesteife Anschlüsse werden heutzutage im wesentlichen nur noch als biegesteife Stirnplattenverbindungen ausgeführt, da sie bei der Konstruktion, der Fertigung, dem Transport und der Montage wesentliche Vorteile bieten.

- keine Schweißkantenvorbereitung am Trägerende bei Verwendung von Kehlnähten
- Stahlskelettkonstruktionen mit biegesteifen Knoten können als gerade Stabelemente ausgeführt werden
- die volle Tragfähigkeit des Profils kann übertragen werden
- keine Herstellung gleitfester Berührungsflächen erforderlich

Ihre Anwendung finden sie z.B. für Anschlüsse von Rahmenecken, Anschlüsse von Träger an Stützen oder Trägerstöße.

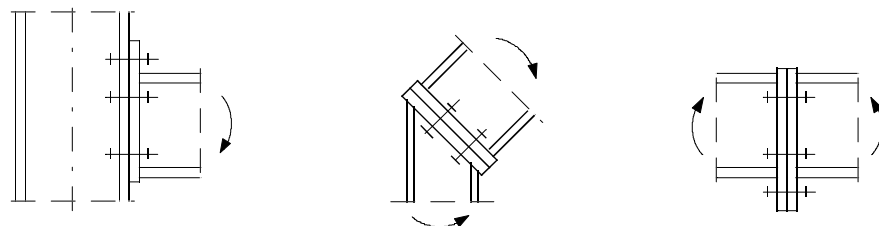


Bild 1: Anwendungsbeispiele

Der traditionelle Laschenstoß zum Stoßen von Trägern findet im Hochbau relativ selten Anwendung, da er den Querschnitt des Profils durch die notwendigen Anschlußlöcher schwächt und daher ein Stoß im höchstbelasteten Querschnittsteil nicht möglich ist. Außerdem ist er durch die größere Anzahl von Schrauben arbeits- und kostenintensiver.

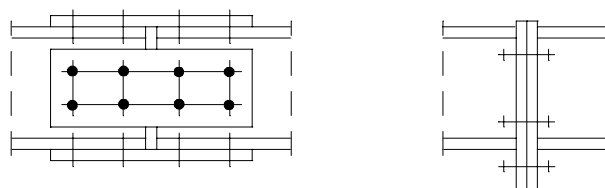


Bild 2: Ausführungsmöglichkeiten von Trägerstößen



2. Installation von STIRNPL

2.1 Systemanforderungen

Folgende Mindestvoraussetzungen sollte Ihr Rechner für die Nutzung der Möglichkeiten von RSTAB 5 und DYNAM für Windows erfüllen.

- Benutzeroberfläche Windows 95 / 98 / NT 4.0 / WIN 2000 / ME
- Prozessor mit 400 MHz
- 64 Megabyte Arbeitsspeicher
- CD-ROM- und 3,5-Zoll-Diskettenlaufwerk für die Installation
- 2 Gigabyte Gesamtfestplattenkapazität, davon zirka 150 Megabyte für die Installation
- Grafikkarte mit 4 Megabyte und einer Auflösung von 1024 x 768 Pixel

Mit Ausnahme des Betriebssystems sprechen wir aber bewusst keine Produktempfehlungen aus, da RSTAB und seine Zusatzmodule grundsätzlich auf allen Systemen laufen, die vorgenannte Leistungsanforderungen erfüllen. Da RSTAB und DYNAM in der Regel sehr rechenintensiv genutzt werden, soll natürlich nicht verschwiegen werden, dass hier in einem vernünftigen Rahmen durchaus gilt: Je mehr desto besser!

2.2 Installationsvorgang

Das Zusatzmodul STIRNPL ist vollkommen in RSTAB integriert, und wird bei erworbener Lizenz, d.h. mit der entsprechenden Autorisierung automatisch bei der RSTAB Installation mitinstalliert. Bei fehlender Autorisierung, wird bei der gewählten Installationsart [*Standard*] das Zusatzmodul STIRNPL als Demo Version installiert. Dies gilt auch für alle anderen grundsätzlich verfügbaren, nicht erworbenen, Windows – Zusatzmodule.



3. Theoretische Grundlagen

3.1 Ausführungsarten der Stirnplattenverbindung

Bei der Ausführung der Stirnplattenverbindung wird zwischen bündigen und überstehenden Stirnplatten unterschieden. Beide Verbindungsarten können in Abhängigkeit von der Profilbreite mit 2 oder 4 vertikalen Schraubenreihen ausgeführt werden. Die überstehende Stirnplatte besitzt dabei eine höhere Tragfähig- und Verformungssteifigkeit als die bündige Ausführung.

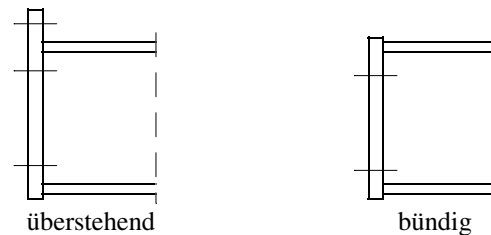


Bild 3: Ausführungsarten von Stirnplattenverbindungen

Als Berechnungsgrundlage wurde zum einen das "DASSt-Ringbuch" [1] und Lindner [4] und zum anderen "Thomson/Agerskov" [2] herangezogen, wobei letztere nur die Berechnung von überstehenden Stirnplatten vorsieht. Die Tragfähigkeit und Deformationseigenschaften hängen dabei von folgenden variablen Größen ab:

- Art des Anschlusses (überstehend - bündig, 2- oder 4-reihig)
- Trägerprofil
- Größe und Anordnung der Schrauben
- Dicke der Stirnplatte
- Material der Stirnplatte und des Trägers

Eine Berechnung der Verbindungsmittel nach der Elastizitätstheorie ist wegen des komplexen Zusammenhangs der variablen Größen nicht möglich. Die Berechnung erfolgt daher im Fließstadium, was zudem ein optimales Abstimmen des Tragverhaltens von Schraubengröße und Plattendicke ermöglicht.

Beide Berechnungsgrundlagen basieren auf statischen Gleichgewichtsmodellen, die durch Traglastversuche verfeinert wurden. Die Traglastversuche des "DASSt-Ringbuches" wurden dabei zu einem umfassenden Katalog mit Regelausführungen für Walzprofile zusammengefaßt, die in der Praxis ihre Anwendung finden.

Die Berechnungsgrundlage nach "Thomson/Agerskov" ermöglicht durch vereinfachte Annahmen eine direkte und schnelle Bestimmung von Schraube und Stirnplattendicke, während die Berechnung nach dem "DASSt-Ringbuch" mit einem größerem Rechenaufwand verbunden ist.

Um möglichst alle in der Praxis auftretenden Fälle zu erfassen, wurde die Berechnung auch auf einfachsymmetrische Profile und einer kombinierten Beanspruchung von Moment und Normal- und Querkraft erweitert.

3.2 Vermaßung der Stirnplatte

Alle im nachfolgenden aufgeführten Mindestmaße der Stirnplatte wurden mit Ausnahme der Maße für die Schrauben M12, M22 und M36 und des Randabstandes w_3 aus [1] übernommen. Letzteres Maß wurde auf das 1,5-fache des Lochdurchmessers erhöht, um eine höhere Beanspruchbarkeit der Verbindung auf Lochleibung zu erzielen. Die Mindestmaße berücksichtigen die DIN-Vorgaben [3] für Rand- und Lochabstände, die für eine problemlose Montage erforderlichen Freiräume zwischen Schraubenkopf und Stahlkonstruktion und die Walztoleranzen der Normprofile. **Alle Maße wurden auf volle 5mm aufgerundet. Lediglich der Lochabstand w_2 wurde kleiner ausgeführt als es die Normung vorsieht, was aber auf Grund der geführten Traglastversuche gerechtfertigt ist.**

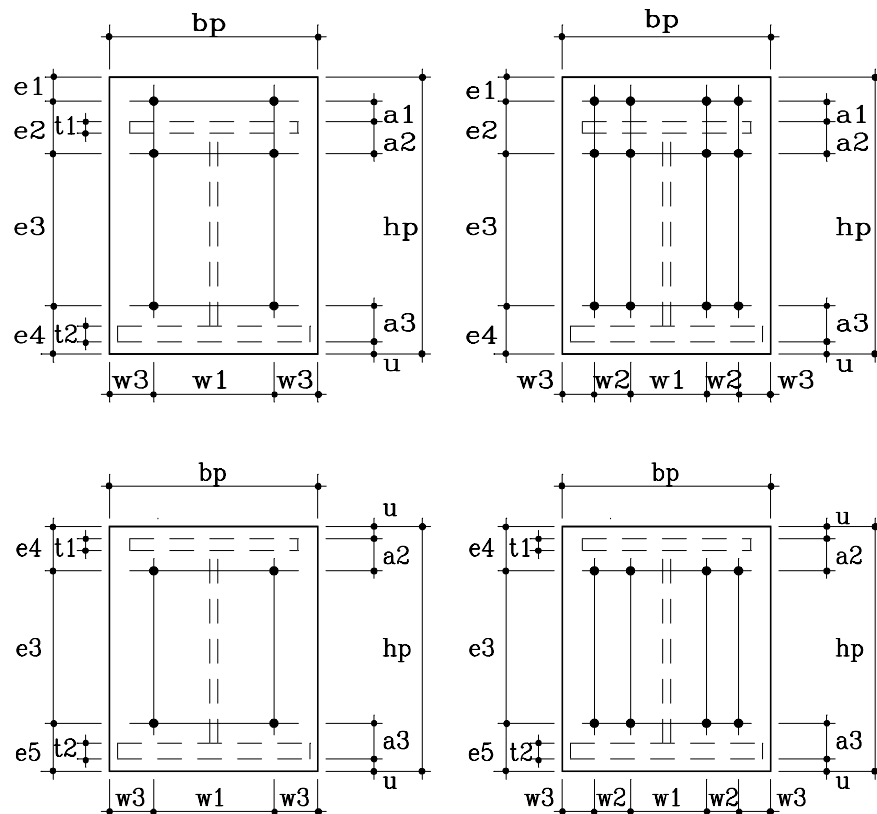


Bild 4: Vermaßung der Stirnplattenausfhrungen

Schraube	a_1 [mm]	e_1 [mm]	w_1 [mm]	w_2 [mm]	w_3 [mm]
M12	25	20	50	35	20
M16	30	25	70	40	30
M20	40	30	90	45	35
M22	45	30	100	50	35
M24	50	35	110	55	40
M27	60	40	130	65	45
M30	60	45	130	70	50
M36	70	50	140	80	55

Tabelle 1: Mindestmaße der Stirnplattenausfhrungen in mm

Abweichend von den angegeben Werten ist das Maß w_1 bei Trgerstegdicken $>10\text{mm}$ um 10mm zu erhöhen.



Erfolgt die Berechnung nach der Berechnungsgrundlage "Thomsen\Agerskov", so ist der Randabstand e_1 auf den Wert von a_1 zu vergrößern, da das Berechnungsmodell hier gleiche Hebelarme voraussetzt.

Zusätzlich ist für die Maße a_1 , w_1 , und \ddot{u} zu prüfen, ob sie der Schraubenunterlegscheibe und der Kehlnaht ausreichend Platz bieten.

Der Mindestplattenüberstand \ddot{u} ergibt sich in Abhängigkeit zur Profilhöhe h nach [1] wie folgt:

$\ddot{u} = 10\text{mm}$ für $h \leq 200\text{mm}$

Für das Walzprofil HEB 200 ist \ddot{u} zu 20mm zu wählen.

$\ddot{u} = 20\text{mm}$ für $200\text{mm} < h < 400\text{mm}$

$\ddot{u} = 30\text{mm}$ für $h \geq 400\text{mm}$

Alle anderen Maße ergeben sich aus den aufgeführten Mindestmaßen und den Profilabmessungen.

Abstand, Abmessung	Art der Verbindung	Berechnungsformel
a2	bündig/ überstehend	$a2 = a1 + t1 - 1 + \Delta$
a3	bündig/ überstehend	$a3 = a1 + t2 - 1 + \Delta$
e2	überstehend	$e2 = a1 + a2$
e3	bündig/ überstehend	$e3 = h - a2 - a3 \geq 2,2 \cdot d_1$
e4	bündig	$e4 = a2 + \ddot{u}$
	überstehend	$e4 = a3 + \ddot{u}$
e5	bündig	$e5 = a3 + \ddot{u}$
e6	bündig überstehend	$e6 = a1 + a3$
hp	bündig	$hp = h - 1 + 2 \cdot \ddot{u} + \Delta$
	überstehend	$hp = h - 1 + \ddot{u} + a1 + e1 + \Delta$
	beidseitig überstehend	$hp = h - 1 + 2 \cdot (a1 + e1) + \Delta$
bp	2-reihig	$bp = w1 + 2 \cdot w3$
	4-reihig	$bp = w1 + 2 \cdot (w2 + w3)$

Tabelle 2: Berechnungsformeln für die Plattenmaße

Die Größe Δ stellt ein Ausgleich zum Aufrunden der Maße auf volle 5mm dar und bewegt sich im Bereich von 1 bis 4mm.

Sollte die berechnete Plattenbreite kleiner sein als die Breite der Trägerflansche, so ist sie ebenso breit auszuführen. Die horizontalen Loch- und Randabstände sind dementsprechend sinnvoll zu vergrößern. Andererseits sollte die Plattenbreite, in Abhängigkeit zur Schraubengröße, die Breite der Trägerflansche nicht zu sehr überschreiten, um noch ein gleichmäßiges Tragverhalten der Stirnplatte über deren Breite voraussetzen zu können. Richtwerte dazu wurden aus dem Anschlußkatalog des "DAS-Ringbuches" entnommen.

Art der Verbindung in der Zugzone	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
überstehend	15	15	20	25	30	35	40	40
bündig	20	30	40	50	60	7	80	80

Tabelle 3: Maximaler, seitlicher Plattenüberstand ($b_P/2 - b/2$) in mm

3.3 Beanspruchung der Stirnplattenverbindung

Die Beanspruchung der Verbindung erfolgt durch die Schnittgrößen $M_{y,d}$, $V_{z,d}$ und N_d , die aufgrund der Bemessungswerte F_d der Einwirkungen entstehen.

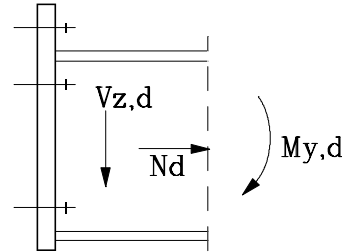


Bild 5: Beanspruchung der Verbindung

Die Bemessungswerte F_d sind die mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_F und gegebenenfalls mit einem Kombinationsbeiwert ψ vervielfachten charakteristischen Werte F_k der Einwirkungen [3].

Je nach Art des Tragsicherheitsnachweises können sich unterschiedliche Schnittgrößen ergeben. Erfolgt der Nachweis des Trägerprofils nach dem Verfahren Plastisch-Plastisch, so ist zusätzlich für die Verbindung nachzuweisen, daß sie im vollplastischen Zustand die 1,25-fachen Grenzschnittgrößen der durch sie verbundenen Teile aufnehmen kann. Auf den Nachweis einer Überfestigkeit von 30% des Grundmaterials kann somit verzichtet werden [3].

Die Berechnungsgrundlagen [1], [2] weisen den Anschluß als solchen nicht in seiner Gesamtheit nach, sondern zerlegen ihn in einzelne Elemente, die als T-Verbindung bezeichnet werden.

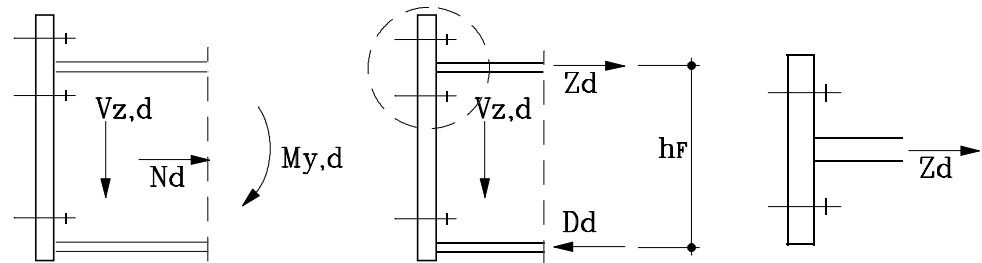


Bild 6: Aufbereitetes Berechnungsmodell

Die T-Verbindung setzt voraus, daß die Beanspruchung durch eine resultierende Zugkraft im Trägerflansch erfolgt. Daher ist es zunächst erforderlich, die tatsächliche Beanspruchung in eine äquivalente Beanspruchung aus Zug- und Druckkraft zu überführen.

$$Z_d = \frac{|M_{y,d}|}{h_F} + \frac{N_d}{2} > 0 \text{ (Zugkraft)}$$

$$D_d = \frac{|M_{y,d}|}{h_F} - \frac{N_d}{2} \geq 0 \text{ (Druckkraft)}$$

$$\text{mit } h_F = h - \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Eine solche Ersatzbeanspruchung kann nur angenommen werden, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

- Das Moment wird vornehmlich durch die Flansche übertragen (als Kriterium dient hierzu nach [1] $I_{\text{Steg}}/I_{\text{ges}} \leq 0,15$) und es wirken nur geringe Normalkräfte.



Das geforderte Verhältnis der Flächenträgheitsmomente wird von den gängigen Walzprofilen näherungsweise erfüllt, siehe Valtinat [6], S. 419.

- Die in den Flanschen wirkenden Ersatznormalkräfte übersteigen nicht deren Beanspruchbarkeit[3].

Diese Bedingung läßt jedoch nur verhältnismäßig geringe Schnittgrößen zu, so daß eine Übertragung des vollen Trägermoments nicht möglich wäre.

Die geführten Traglastversuche zeigen jedoch, daß selbst bei Übertragung des vollplastischen Trägermoments die mit Hilfe der T-Verbindung bemessenen Verbindungsmittel nicht versagen. Dieses liegt daran, daß die Schrauben im Bereich des Zugflansches den Momentenanteil des Steges mit übernehmen (sog. T-Verbindung). Das Modell der Aufteilung in ein Kräftepaar (Zugschrauben am Zugflansch, Pressung am Druckflansch) trifft nur zu, wenn der Steganteil am Biegemoment klein ist [1], [6].

Daraus folgt die obige Beschränkung auf $I_{\text{Steg}}/I_{\text{ges}} \leq 0,15$.

So kann davon ausgegangen werden, daß die Annahme einer Ersatzbeanspruchung durch Ersatznormalkräfte in den Flanschen des Profils berechtigt ist, selbst wenn dazu die rechnerische Grundlage fehlt.

Eine exakte Bemessung der Verbindungsmittel ist möglich, wenn die Berechnung der Ersatznormalkräfte über den Spannungsverlauf des Profils erfolgt. Somit wird ein Teil der Beanspruchung rechnerisch auch durch den Steg abgetragen, was im Stegbereich eine zusätzliche Schraubenreihe erfordert. Genauere Angaben lassen sich hierzu in [4] finden.

Für Träger, deren Verhältnis $I_{\text{Steg}}/I_{\text{ges}}$ wesentlich größer als 0,15 und/ oder die eine große Steghöhe besitzen, sollte vom Anwender eine zusätzliche horizontale Schraubenreihe gewählt werden (um ein Auseinanderklaffen der Stirnplatten zu vermeiden).

3.4 Beanspruchbarkeiten der Verbindungsmittel

Grundlage für die Bestimmung der zulässigen Beanspruchbarkeiten der Verbindungsmittel bilden deren Festigkeitswerte und charakteristischen Größen. Die Berechnung der Beanspruchbarkeiten erfolgt nach DIN 18800 [3].

3.4.1 Verbindungsmittel Stirnplatte

Material	Erzeugnisdicke t [mm]	Streckgrenze $f_{v,k} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
St 37	$t \leq 40$	240
	$40 < t \leq 80$	215
St 52	$t \leq 40$	360
	$40 < t \leq 80$	325

Tabelle 4: Streckgrenze nach [3]

3.4.2 Verbindungsmittel Schrauben

Festigkeitsklasse	Streckgrenze $f_{y,b,k} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	Streckgrenze $f_{u,b,k} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
10.9	900	1000

Tabelle 5: Zugfestigkeit und Streckgrenze von HV-Schrauben nach [3]

Schraube	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
$A_{Sp} [mm^2]$	84,3	157	245	303	353	459	561	817
Vorspannkraft FV [kN]	50	100	160	190	220	290	350	510

Tabelle 6: Spannungsquerschnitt und Vorspannkraft für HV-Schrauben nach [5]

Beanspruchbarkeit auf Zug [3]

$$N_{R,d,1} = A_{Sch} \cdot \frac{f_{y,b,k}}{\gamma_M \cdot 1,1}$$

$$N_{R,d,2} = A_{Sp} \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M \cdot 1,25}$$

Für hochfeste Schrauben ist immer die kleinere Beanspruchbarkeit $N_{R,d,2}$ maßgebend.

Beanspruchbarkeit auf Abscheren

$$V_{a,R,d} = A_{Sch} \cdot \tau_{a,R,d} = A_{Sch} \cdot \alpha_a \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M}$$

mit $\alpha_a = 0,55$ für Schrauben der Festigkeitsklasse 10.9

Die Länge der Schraube ist dabei so zu wählen, daß das Gewinde außerhalb der Scherfuge liegt.

Beanspruchbarkeit auf Lochleibung

$$V_{l,R,d} = d_p \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Für $e_2 \geq 1,5 d_1$ und $e_3 \geq 3,0 d_1$ gilt, wenn der Randabstand in Kraftrichtung e_1 maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 1,1 \cdot \frac{e_1}{d_1 - 0,30} \leq 3$$

und, wenn der Lochabstand in Kraftrichtung e maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 1,8 \cdot \frac{e}{d_1} - 0,77 \leq 3.$$

Für $e_2 = 1,2 d_1$ und $e_3 = 2,4 d_1$ gilt, wenn der Randabstand in Kraftrichtung e_1 maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 0,73 \cdot \frac{e_1}{d_1} - 0,20 \leq 2$$

und, wenn der Lochabstand in Kraftrichtung e maßgebend ist,

$$\alpha_1 = 0,72 \cdot \frac{e}{d_1} - 0,51 \leq 2.$$

Der Abstand e_1 darf höchstens mit $3,0 d_1$ und der Abstand e höchstens mit $3,5 d_1$ in Rechnung gestellt werden.

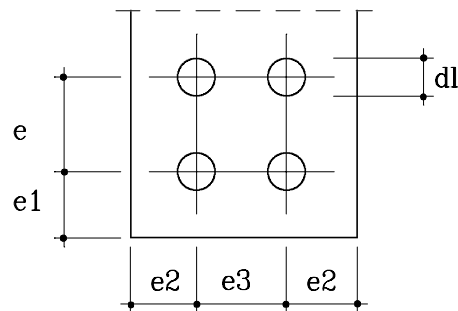


Bild 7: Rand- und Lochabstände

3.4.3 Verbindungsmittel Schweißnähte

Grenzschnittnahtspannungen $\sigma_{w,R,d}$ und $\tau_{w,R,d}$ für Kehlnähte

$$\sigma_{w,R,d} = \alpha_w \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

$$\text{St37 : } \sigma_{w,R,d} = \tau_{w,R,d} = 0,95 \cdot \frac{240}{1,1} = 207,27 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{St52 : } \sigma_{w,R,d} = \tau_{w,R,d} = 0,80 \cdot \frac{360}{1,1} = 261,82 \text{ N/mm}^2$$

(siehe [3] Element 829).

3.5 Berechnung der Verbindungsmittel

3.5.1 Dimensionierung der Schweißnähte

Bis zur Version STIRNPL 1.1 wurde die Normalkraft unabhängig von der Größe der Normalkraft ausschließlich durch die Stegnaht aufgenommen, sofern ein Moment wirkt. Für den Fall einer Beanspruchung mit einer hohen Normalkraft und einem kleinen Moment, führt diese Beschränkung zu großen Stegnähten und unverhältnismäßig kleinen Flanschnähten. Mit der Version 2.0 wird diese Beschränkung aufgehoben, so daß für alle Fälle der Beanspruchung eine homogene Verteilung der Schweißnahtgrößen auf Steg und Flansch gewährleistet ist.

Unabhängig von der gewählten Berechnungsgrundlage und der Art der Verbindung können vorab die Schweißnähte berechnet werden. Die Querkraft $V_{z,d}$ wird dabei vollständig der Stegnaht a_s zugewiesen, während die Normalkraft N_d und das Moment $M_{y,d}$ je nach Größe und Auslastung der Nähte durch Steg- und Flanschnaht aufgenommen wird.

Die Berechnung erfolgt für den plastischen Zustand der Nähte und wird iterativ durchgeführt, um eine optimale Auslastung der Nähte zu gewährleisten.

Die Nahtgrößen müssen dabei folgenden Bedingungen erfüllen:

Stegnaht:

$$2 \text{ mm} \leq a_{s\min} \leq 0,7 \cdot s \quad \text{nach [3]}$$

$$a_s \geq 3 \text{ mm}$$

Flanschnähte:

$$2 \text{ mm} \leq a_{f\min} \leq 0,7 \cdot t \quad \text{nach [3]}$$

$$a_f \geq 4 \text{ mm} \quad \text{für Profilhöhen} < 300 \text{ mm}$$

$$a_f \geq 5 \text{ mm} \quad \text{für Profilhöhen} \geq 300 \text{ mm}$$

Die Grenzwerte $0,7 \cdot s$ und $0,7 \cdot t$ müssen bei Schnittgrößen, die annähernd den Grenzschnittgrößen des Profils entsprechen, überschritten werden.

Die Steg- und Flanschnähte werden dabei so gewählt, daß folgende Beziehung gilt:

$$\frac{a_s}{S} \approx \frac{a_{f1}}{t_1} \approx \frac{a_{f2}}{t_2} \approx x_a$$

Die Schweißnähte werden auf volle mm aufgerundet.

Nr.	Fallbeschreibung	Beanspruchung	Aufnahme durch
I	hohes Moment, geringe Normalkraft	$V_{z,d}$	gesamte Stegnaht
		N_d	Stegnahtanteil
		$M_{y,d}$	Stegnahtanteil, gesamte Flanschnaht
II	geringes Moment, hohe Normalkraft	$V_{z,d}$	gesamte Stegnaht
		N_d	gesamte Stegnaht, Flanschnahtanteil
		$M_{y,d}$	Flanschnahtanteil

Tabelle 7: Fallunterscheidung für die Schweißnahtberechnung

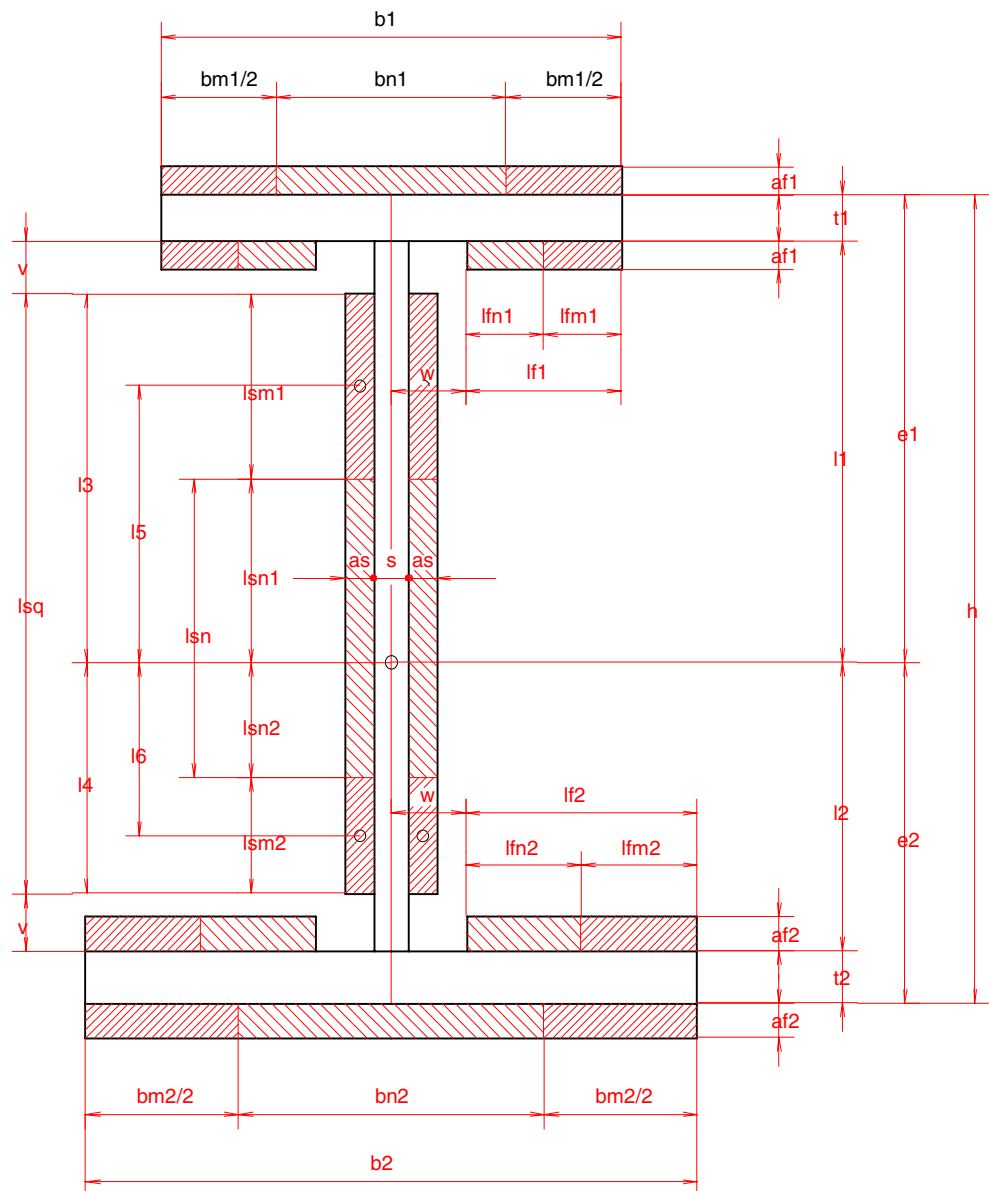


Bild 8: Bezeichnungen der Schweißnahtlängen

Berechnung der Schweißnahtlängen

Schweißnahtlänge [mm]	Berechnung	Bemerkung
e_1	-	$e_1 = h/2$ für Walzprofile
e_2	$h - e_1$	
l_1	$e_1 - t_1$	
l_2	$e_2 - t_2$	
v	$v = 0$ $v = r$ ¹⁾ $v = 5\text{mm}$ ³⁾	St 37 mit Rundungsansatz St 37 ohne Rundungsansatz oder St 52 ²⁾ Blechträger aus St 37 oder St 52
w	$r + s/2$ $5\text{mm} + s/2$	Walzprofil Blechträger
l_{SQ}	$l_1 + l_2 - 2 \cdot v$	
l_3	$l_1 - v$	
l_4	$l_{SQ} - l_3$	
l_{SN}	$\frac{ N }{2 \cdot a_s \cdot \sigma_{\perp}}$	$l_{SN} \leq l_{SQ}$ für Fall I) $l_{SN} \geq l_{SQ}$ für Fall II) $\Rightarrow l_{SN} = l_{SQ}$
l_{SN1}	$l_{SN} \cdot l_3 / l_{SQ}$ ⁴⁾	
l_{SN2}	$l_{SN} - l_{SN1}$	
l_{SM1}	$l_3 - l_{SN1}$	$l_{SM1} = 0$ für Fall II)
l_{SM2}	$l_4 - l_{SN2}$	$l_{SM2} = 0$ für Fall II)
l_5	$l_{SN1} + l_{SM1}/2$	
l_6	$l_{SN2} + l_{SM2}/2$	
l_{F1}	$b_1/2 - w$	
l_{F2}	$b_2/2 - w$	
l_{FN1}	$x_F \cdot l_{F1}$	$l_{FN1} = 0$ für Fall II)
l_{FN2}	$x_F \cdot l_{F2}$	$l_{FN2} = 0$ für Fall II)
l_{FM1}	$l_{F1} - l_{FN1}$	
l_{FM2}	$l_{F2} - l_{FN2}$	
b_{N1}	$x_F \cdot b_1$	$b_{N1} = 0$ für Fall II)
b_{N2}	$x_F \cdot b_2$	$b_{N2} = 0$ für Fall II)
b_{M1}	$b_1 - b_{N1}$	
b_{M2}	$b_2 - b_{N2}$	

Tabelle 8: Berechnung der Schweißnahtlängen

- 1) Es wird angenommen, daß die Rundung mit der Stegnahtdicke a_s durchgeschweißt wurde. Rechnerisch wird jedoch nur die auf den Steg projizierte Nahtlänge berücksichtigt.
- 2) Bei St 52 darf die Rundung nicht durchgeschweißt werden.
- 3) Um Nahtanhäufungen im Bereich des Stoßes von Steg- und Flanschblech zu vermeiden, werden jeweils 5mm Freiraum angesetzt.
- 4) Die Nahtlängen l_{SN1} und l_{SN2} werden im Verhältnis der Nahtlängen vom Schwerpunkt des Profils zum jeweiligen Ende der Naht zur Gesamtlänge der Naht aufgeteilt.



Berechnung des Faktors x_F

Ist die Normalkraft so groß, daß sie nicht allein durch die Stegnaht übertragen werden kann, so wird der notwendige Flächenanteil A_{wFN} der Flanschnaht bestimmt, um den Restanteil der Normalkraft aufnehmen zu können. Der Faktor x_F gibt dabei das Verhältnis dieses Flächenanteils zur gesamten Flanschnahtfläche A_{wF} an.

$$x_F = \frac{A_{wFN}}{A_{wF}} \quad 0 \leq x_F \leq 1$$

$$\text{mit } A_{wFN} = \frac{|N_d| - N_{R,d,S}}{\sigma_{w,R,d}} \quad 0 \leq A_{wFN} \leq A_{wF}$$

$$A_{wF} = A_{wF1} + A_{wF2}$$

$$\text{mit } A_{wF1} = a_{F1} \cdot (b_1 + 2 \cdot l_{F1})$$

$$A_{wF2} = a_{F2} \cdot (b_2 + 2 \cdot l_{F2})$$

$$x_F = 0 \quad \Rightarrow \quad \text{Fall I)}$$

$$x_F < 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Fall II)}$$

$$x_F = 1 \quad \Rightarrow \quad M_{y,d} = 0$$

Aufnahme der Querkraft $V_{z,d}$

Die Querkraft wird ausschließlich durch die Stegnaht aufgenommen und erzeugt in ihr eine parallele Schubspannung $\tau_{||}$.

$$\tau_{||} = \frac{|V_{z,d}|}{2 \cdot a_S \cdot l_{SQ}}$$

Querkraftbeanspruchbarkeit der Stegnaht:

$$V_{z,R,d} = 2 \cdot a_S \cdot l_{SQ} \cdot \tau_{||} = V_{z,d}$$

Aufnahme der Normalkraft N_d

Die Normalkraft wird je nach Größe entweder nur durch die Stegnaht aufgenommen oder bei größerer Normalkraft auch durch die Flanschnaht.

Dazu wird zunächst die erforderliche Schweißnahtlänge l_{SN} bestimmt, die notwendig ist, um die Normalkraft übertragen zu können.

$$l_{SN} = \frac{|N_d|}{2 \cdot a_S \cdot \sigma_{\perp}} \leq l_{SQ}$$

Die Normalkraft erzeugt in der Steg- und Flanschnaht eine senkrechte Normalspannung σ_{\perp} , die zusätzlich zur Schubspannung wirkt. Nach [3] muß daher aus beiden Spannungen eine Vergleichsspannung gebildet werden, die bei voller Nahtauslastung der Grenzschweißnahtspannung entspricht.

$$\sigma_{w,v} = \sigma_{w,R,d} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{||}^2} \Rightarrow$$

$$\sigma_{\perp} = \sqrt{\sigma_{w,R,d}^2 - \tau_{||}^2}$$

Normalkraftbeanspruchbarkeit der Stegnaht:

$$N_{R,d,S} = 2 \cdot a_S \cdot l_{SN} \cdot \sigma_{\perp}$$

Ist die Normalkraftbeanspruchbarkeit der Stegnaht kleiner als die wirkende Normalkraft, so muß die Flanschnaht den Restbetrag aufnehmen.

Normalkraftbeanspruchbarkeit der Flanschnaht:

$$\begin{aligned} N_{R,d,F} &= [A_{wF1} + A_{wF2}] \cdot \sigma_{w,R,d} \\ \text{mit} \quad A_{wF1} &= a_{F1} \cdot (2 \cdot l_{FN1} + b_{N1}) \\ A_{wF2} &= a_{F2} \cdot (2 \cdot l_{FN2} + b_{N2}) \end{aligned}$$

Gesamte Normalkraftbeanspruchbarkeit:

$$N_{R,d} = N_{R,d,S} + N_{R,d,F}$$

Aufnahme des Momentes $M_{y,d}$

Wird zur Übertragung der Normalkraft nicht die volle Stegnaht genutzt, so wird die Restfläche zur Übertragung des Momentes herangezogen.

Momentenbeanspruchbarkeit der Stegnaht:

$$\begin{aligned} M_{y,R,d,S} &= W_{pl,w,S} \cdot \sigma_{\perp} \\ \text{mit} \quad W_{pl,w,S} &= a_S \cdot (2 \cdot l_5 \cdot l_{SM1} + 2 \cdot l_6 \cdot l_{SM2}) \end{aligned}$$

Momentenbeanspruchbarkeit der Flanschnaht:

$$\begin{aligned} M_{y,R,d,F} &= W_{pl,w,F} \cdot \sigma_{w,R,d} \\ \text{mit} \quad W_{pl,w,F} &= a_{F1} \cdot (2 \cdot l_1 \cdot l_{FM1} + 2 \cdot e_1 \cdot b_{M1}) + a_{F2} \cdot (2 \cdot l_2 \cdot l_{FM2} + 2 \cdot e_2 \cdot b_{M2}) \end{aligned}$$

Die Nahtlängen t_1 und t_2 bleiben unberücksichtigt, da bei geringen Überständen der Stirnplatte in der Breite keine tragenden Kehlnähte geschweißt werden können.

Gesamte Momentenbeanspruchbarkeit:

$$M_{y,R,d} = M_{y,R,d,S} + M_{y,R,d,F}$$

Nachweis der Schweißnahtverbindung

$$\begin{aligned} \tau_{\parallel} &\leq \sigma_{w,R,d} \\ \sigma_{w,v} &\leq \sigma_{w,R,d} \\ |V_{Z,d}| &\leq V_{Z,R,d} \\ |N_d| &\leq N_{R,d} \\ |M_{y,d}| &\leq M_{y,R,d} \end{aligned}$$

3.6 Dimensionierung der Schrauben

Die Stirnplattenverbindung erfolgt mit hochfesten, planmäßig vorgespannten Schrauben nach DIN 6914 der Festigkeitsklasse 10.9. Die Verbindung wird nicht als gleitfest ausgeführt, wodurch eine entsprechende Vorbereitung der Berührungsflächen entfällt. Bei der Ausführung der Verbindung sind folgende Punkte zu beachten:

- Das Lochspiel der Schraube darf nicht mehr als 2mm betragen
- Die Klemmlänge der Schraube ist so zu bemessen, daß der Gewindeteil der Schraube außerhalb der Scherfuge liegt.

Die Berechnung der Schrauben erfolgt in vereinfachter Form, d.h. die Schrauben im Zugbereich nehmen die Zugkraft Z_d auf, während die Schrauben im Druckbereich die Vertikalkraft $V_{z,d}$ durch Abscheren und Lochleibung übertragen [1]. Die Druckkraft D_d wird durch Kontakt am Druckflansch aufgenommen und beanspruchen die Schrauben daher nicht.



3.6.1 Berechnung der Schrauben im Druckbereich auf Abscheren

Der erforderliche Schaftquerschnitt $A_{\text{Sch min}}$ der Schrauben ergibt sich zu:

$$A_{\text{Sch min}} = \frac{V_{z,d} \cdot \gamma_M}{\alpha_a \cdot f_{z,b,k} \cdot n_D}$$

$$A_{\text{Sch}} \geq A_{\text{Sch min}}$$

3.6.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Schrauben im Zugbereich

Im **Gebrauchszustand** sollte zwischen der Stirnplatte und der Anschlußebene keine Klaffung auftreten. Die unter [1] durchgeführten Traglastversuche haben gezeigt, daß diese Bedingung ausreichend erfüllt ist, wenn die auf eine im Gebrauchszustand entfallende Zugkraft einer Schraube 80% (Lastfall H) bzw. 90% (Lastfall HZ) der initialen Vorspannkraft der Schraube nicht übersteigt. Da die neue Normung eine Unterscheidung der Beanspruchung nach Lastfällen nicht mehr vorsieht, wurde die zulässige Zugkraft zu 90% der Vorspannkraft angenommen.

Die auf eine Schraube entfallende Zugkraft im Gebrauchszustand läßt sich wie folgt bestimmen:

$$Z = \frac{\frac{M_y}{h_s} + \frac{N}{2}}{n_Z} \leq 0,9 \cdot F_v$$

Daraus läßt sich die erforderliche Vorspannkraft $F_{v \min}$ ermitteln.

$$F_{v \min} = \frac{\frac{M_y}{h_s} + \frac{N}{2}}{0,9 \cdot n_Z} = \frac{\frac{M_y}{h_s} + \frac{N}{2}}{\alpha} \leq F_v$$

Bei vierreihigen Verbindungen wird die zulässige Zugkraft der äußeren Schrauben um 20% abgemindert, damit dieser weichere Teil der Verbindung keine zu starke Verformungen erfährt.

Art des Anschlusses	Schraubenreihen n	α
überstehend	2	$4 \cdot 0,9 = 3,6$
	4	$(4+4 \cdot 0,8) \cdot 0,9 = 6,48$
bündig	2	$2 \cdot 0,9 = 1,8$
	4	$(2+2 \cdot 0,8) \cdot 0,9 = 3,24$

Tabelle 9: α -Werte

Der Hebelarm h_s ergibt sich in Abhängigkeit des Anschlusses (s. Bild 9).

Überstehender Anschluß: $h_s \approx h_F$

bündiger Anschluß: $h_s = h - t_D/2 - a_Z$

Die Gebrauchsschnittgrößen F (M_v und N) werden annähernd aus den Bemessungsschnittgrößen berechnet.



$$F = \frac{F_d}{\gamma_F}$$

$$\text{mit } \gamma_F = \frac{F_d}{\gamma_F} = \frac{(\gamma_{FG} \cdot \mu + \gamma_{FQ}) \cdot \lambda}{\mu + 1}$$

$$\mu = \frac{G}{Q}$$

$\gamma_{FG} = 1,35$ für ständige Einwirkungen nach [3]

$\gamma_{FQ} = 1,50$ für veränderliche Einwirkungen nach [3]

λ : Faktor um den die Bemessungsschnittgrößen beim Verfahren
Plastisch-Plastisch erhöht wurden
(nach Element 759 DIN 18800 T2 [3] ist $\lambda = 1,25$)

3.7 Berechnung von überstehenden Stirnplattenverbindungen

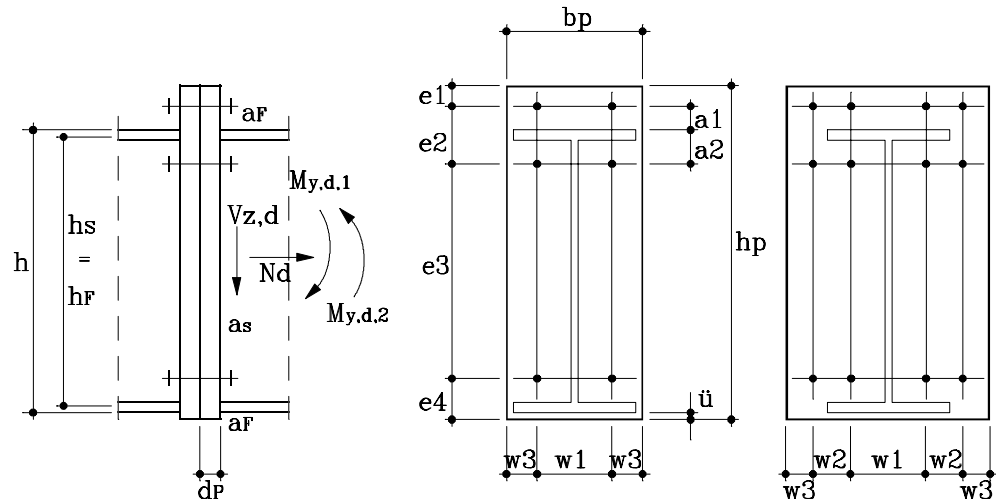


Bild 9: Ausführung und Bezeichnungen der überstehenden Stirnplattenverbindung

Die Berechnung der Verbindung bei Beanspruchung durch das Umkehrmoment $M_{y,d,2}$ erfolgt nach Abschnitt 8.

Die aus den Bemessungsschnittgrößen resultierende Zugkraft Z_d wird über die Schweißnähte in die Stirnplatte eingeleitet. Diese wiederum überträgt die Kraft durch Biegung und die am Plattenende auftretenden Abstützkräfte in die Schrauben (siehe Bild 10).

Die übertragbare Zugkraft der T-Verbindung hängt dabei von der Größe der Schrauben und der Dicke der Stirnplatte ab. Wird die Schraube zu stark bemessen, tritt ein vorzeitiges Versagen der Stirnplatte ein (siehe Bild 10a). Umgekehrt führt eine zu dick bemessene Stirnplatte zum vorzeitigen Bruch der Schrauben (siehe Bild 10c). Bild 10b zeigt das optimale Verhältnis von Schraube und Stirnplatte.

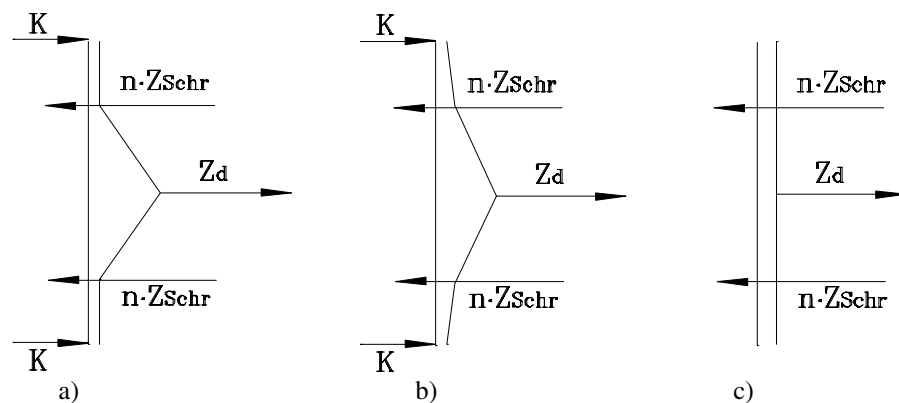


Bild 10: Verformungsverhalten der Stirnplatte
 a) Schwache Platte, starke Schrauben
 b) Schrauben und Stirnplatte gleichmäßig ausgenutzt
 c) starke Platte, schwache Schrauben ($K=0$)

3.8 Berechnung nach Valtinat [6] („DAST-Ringbuch“ [1]) und Lindner [4]

Um eine Berechnung nach der Berechnungsgrundlage des "DAST-Ringbuches" durchführen zu können, muß die Verbindung folgende Voraussetzungen erfüllen:

- vorwiegend ruhende Beanspruchung der zu verbindenden Bauteile
- Träger- und Stirnplattenmaterial aus St 37

Soll eine Berechnung mit dem Verbindungsmittel St 52 erfolgen, so werden die rechnerischen Hebelarme nach [4] bestimmt.

Berechnungsmodell T-Verbindung

Aufgrund der symmetrischen Anordnung der Schrauben zum Zugflansch, ergibt sich auch eine symmetrische Beanspruchung von Schrauben und Stirnplatte.

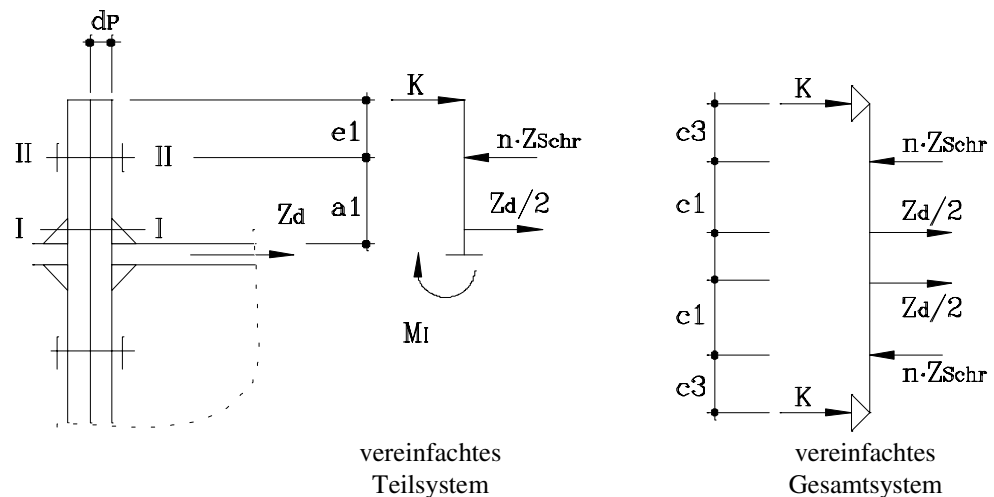


Bild 11 : Berechnungsmodell T-Verbindung

Abweichend von dem geometrischen Hebelarm a_1 wird der verkürzte Hebelarm c_1 eingeführt. Er berücksichtigt die günstige Wirkung einer Unterlegscheibe und das Wirken der Zugkräfte im Schwerpunkt der Schweißnähte. Die Berechnung erfolgt nach [1] und [4].

Bei der Beanspruchbarkeit der Stirnplatte werden wegen der behinderten Querbiegung der Platte die plastischen Momente um 10% erhöht.

Plastische Momente der Stirnplatte:

$$\text{Schnitt I - I : } M_{Ipl} = 1,1 \cdot \frac{b_p \cdot d_p^2 \cdot f_{y,k,P}}{4 \cdot \gamma_M}$$

$$\text{Schnitt II - II : } M_{IIpl} = 1,1 \cdot \frac{(b_p - n \cdot d_1) \cdot d_p^2 \cdot f_{y,k,P}}{4 \cdot \gamma_M}$$

Beanspruchbarkeit auf Schub

Eine kombinierte Wirkung von Normal- und Schubspannung und die Schwächung der Platte durch die Schraubenlöcher bleibt unberücksichtigt.

$$F_{Schub} = b_p \cdot d_b \cdot \frac{f_{y,k,P}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M}$$

Beanspruchung der T-Verbindung

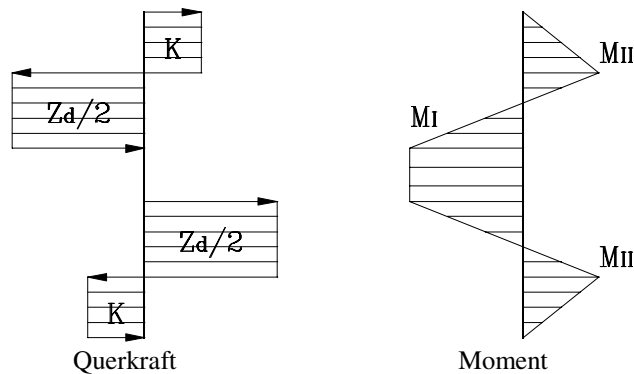


Bild 12: Beanspruchung der T-Verbindung (Fall b)

Bei der Beanspruchung der T-Verbindung gilt es nach [4] 2 Fälle zu unterscheiden:

a) Es tritt keine Kontaktkraft auf:

$$M_I = c_1 \cdot \frac{Z_d}{2} \leq M_{Ipl}$$

$$M_{II} = 0$$

$$K = 0$$

$$Z_{Schr} = \frac{Z_d / 2}{n}$$

b) Es tritt eine Kontaktkraft auf:

$$K = \frac{\frac{Z_d}{2} \cdot c_1 - M_{Ipl}}{c_3} > 0$$

$$M_I = M_{Ipl} \text{ (Fließgelenkbildung)}$$

$$M_{II} = K \cdot c_3$$

$$Z_{Schr} = \frac{Z_d / 2 + K}{n}$$

Nachweis der T-Verbindung

$$M_{II} \leq M_{IIpl}$$

$$K \leq F_{Schub}$$

$$Z_d/2 \leq F_{Schub}$$

$$Z_{Schr} \leq N_{R,d,2}$$

Im Schnitt I-I ist ein Nachweis der Stirnplatte auf Biegung nicht nötig, da das Moment M_I im Beanspruchungsfall a) kleiner und im Fall b) gleich dem plastischen Moment ist.

Die Berechnung innerhalb des Programmes erfolgt in der Form, daß, ausgehend von den zuvor ausgewählten Schrauben und der kleinsten Blechdicke, die Stirnplattendicke solange erhöht wird, bis die obigen Nachweise erbracht sind. Dabei werden die Blechdicken 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60 und 80 mm verwendet:

Anschließend wird geprüft, ob die auf eine Schraube entfallende Zugkraft Z_{Schr} die Beanspruchbarkeit der Schraube $N_{R,d,2}$ nicht übersteigt und die erforderliche Stirnplattendicke kleiner oder gleich der größten Blechdicke ist. Ist dies der Fall, so ist die T-Verbindung nachgewiesen, ansonsten wird eine größere Schraube gewählt und die Berechnung erneut durchgeführt.

3.9 Berechnung von bündigen Stirnplattenverbindungen

Die Berechnung erfolgt nach Valtinat [6] ("DAST-Ringbuch" [1]) und Lindner [4]. Es gelten daher die gleichen Voraussetzungen, wie unter Abschnitt 7.1 aufgeführt.

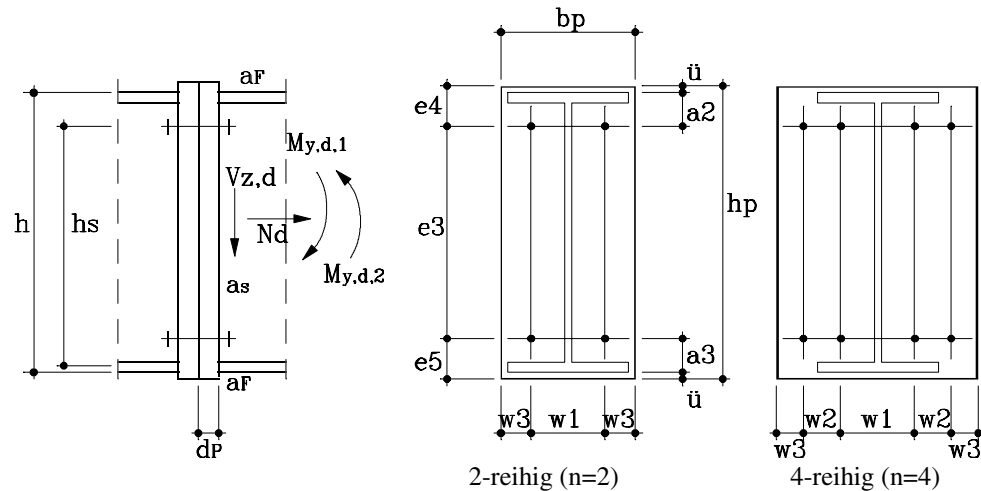


Bild 15: Ausführung und Bezeichnungen der bündigen Stirnplattenverbindung

Berechnungsmodell

Es kann ein ähnliches Berechnungsmodell verwendet werden, wie für überstehende Stirnplattenverbindungen.

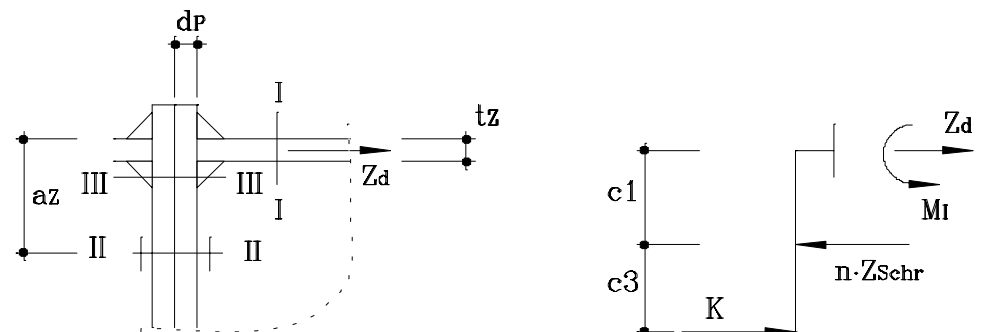


Bild 16: Berechnungsmodell

Abweichend von dem geometrischen Hebelarm a_z wird der verkürzte Hebelarm c_1 eingeführt, siehe [1] und Lindner [4].

Beanspruchbarkeit der Stirnplatte und des Trägerflansches

Wegen der behinderten Querbiegung von Stirnplatte und Trägerflansch können die plastischen Momente um 10% erhöht werden.

Trägerflansch:

$$\text{Schnitt I - I: } M_{Ipl} = 1,1 \cdot \frac{b_z \cdot t_z^2}{4} \cdot \frac{f_{y,k,T}}{\gamma_M} \cdot \left[1 - \left(\frac{Z_d \cdot \gamma_M}{b_z \cdot t_z \cdot f_{y,k,T}} \right)^2 \right] \geq 0$$

Der Klammerausdruck berücksichtigt das gemeinsame Wirken von Moment und Längskraft im Zugflansch. Ist er kleiner Null, so wird angenommen, daß der Flansch bereits voll durchplastiziert ist. Das plastische Moment M_{Ipl} ist dann Null.

Plastische Momente der Stirnplatte:

$$\text{Schnitt II - II : } M_{IIpl} = 1,1 \cdot \frac{(b_P - n \cdot d_I) \cdot d_P^2 \cdot f_{y,k,P}}{4 \cdot \gamma_M}$$

$$\text{Schnitt III - III : } M_{IIIpl} = 1,1 \cdot \frac{b_P \cdot d_P^2 \cdot f_{y,k,P}}{4 \cdot \gamma_M}$$

Schubbeanspruchbarkeit der Stirnplatte

Eine kombinierte Wirkung von Normal- und Schubspannung und die Schwächung der Platte durch die Schraubenlöcher bleibt unberücksichtigt.

$$F_{\text{Schub}} = b_P \cdot d_P \cdot \frac{f_{y,k,P}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M}$$

Beanspruchung des Berechnungsmodells

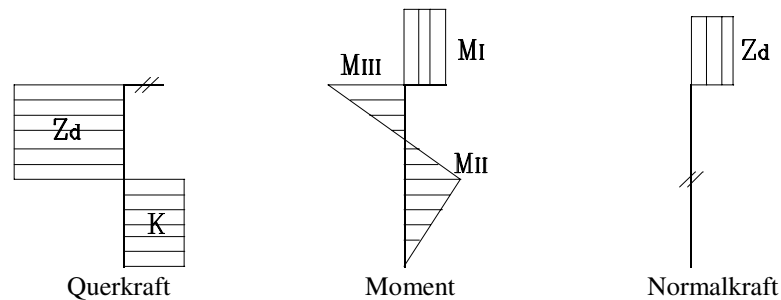


Bild 17: Beanspruchung des Berechnungsmodells (Fall b)

a) Es tritt keine Kontaktkraft auf:

$$M_I = M_{III} = c_1 \cdot Z_d \leq M_{pl}'$$

$$M_{II} = 0$$

$$K = 0$$

$$Z_{\text{Schr}} = \frac{Z_d}{n}$$

b) Es tritt eine Kontaktkraft auf:

$$K = \frac{Z_d \cdot c_1 - M_{pl}'}{c_3} > 0$$

$$M_I = M_{III} = M_{pl}' \quad (\text{Bildung des Fließgelenks})$$

$$M_{II} = K \cdot c_3$$

$$Z_{\text{Schr}} = \frac{Z_d + K}{n}$$

mit M_{pl}' als Kleinstwert aus M_{Ipl} und M_{IIIpl}

Nachweis des Berechnungsmodells

$$M_{II} \leq M_{IIpl}$$

$$K \leq F_{\text{Schub}}$$

$$Z_d \leq F_{\text{Schub}}$$

$$Z_{\text{Schr}} \leq N_{R,d,2}$$

Die Berechnung innerhalb des Programms erfolgt analog zur Berechnung von überstehenden Stirnplatten.

3.10 Berechnung der Verbindung auf Lochleibung

Die Berechnung erfolgt nach DIN 18800 T1 [3].

Es ist nachzuweisen, daß die Schrauben im Druckbereich der Verbindung und die Stirnplattendicke zur Übertragung der Vertikalkraft $V_{z,d}$ ausreichen.

Da die Lochleibung je nach Art der Verbindung und Wirkrichtung der Querkraft sowohl zur Plattenmitte als auch zum Plattenrand auftreten kann, wird bei der Berechnung der Beanspruchbarkeit der jeweils ungünstigste Fall angenommen. Er ergibt sich, wenn der Wert α_1 nach Kap. 5 am kleinsten ist.

Berechnung von α_1

Für alle Verbindungen gilt: $w_3 \approx 1,5 \cdot d_1$

$w_2 < 3,0 \cdot d_1$ (Wurzelmaß bei 4-reihiger Verbindung)

$w_1 > 3,0 \cdot d_1$

Art der Platte im Druckbereich	Anzahl Schrauben im Druckbereich	α_1
	$n_D = 2$	$\alpha_1 = \min \begin{cases} 1,10 \cdot \frac{e'}{d_1} - 0,30 \leq 3 \\ 1,08 \cdot \frac{e}{d_1} - 0,77 \leq 3 \end{cases}$
	$n_D = 4$	$\alpha_1 = \min \begin{cases} 0,73 \cdot \frac{e'}{d_1} - 0,20 \leq 2 \\ 0,72 \cdot \frac{e}{d_1} - 0,51 \leq 2 \end{cases}$
	$n_D = 4$	$\alpha_1 = \min \begin{cases} \frac{1,10 \cdot \frac{e_1}{d_1} - 0,30 + 1,08 \cdot \frac{e_2}{d_1} - 0,77}{2} \leq 3 \\ \frac{1,08 \cdot \frac{e}{d_1} - 0,77 + 1,08 \cdot \frac{e_2}{d_1} - 0,77}{2} \leq 3 \end{cases}$
	$n_D = 8$	$\alpha_1 = \min \begin{cases} \frac{0,73 \cdot \frac{e_1}{d_1} - 0,20 + 0,72 \cdot \frac{e_2}{d_1} - 0,51}{2} \leq 2 \\ \frac{0,72 \cdot \frac{e}{d_1} - 0,51 + 0,72 \cdot \frac{e_2}{d_1} - 0,51}{2} \leq 2 \end{cases}$

Tabelle 10: Berechnungsformeln für α_1

Nachweis der Verbindung auf Lochleibung

$$V_{z,d} \leq n_D \cdot V_{l,R,d} \quad \text{mit } V_{l,R,d} = d_p \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M}$$

Im allgemeinen wird diese Bedingung erfüllt sein, ansonsten wird vom Programm die Stirnplattendicke erhöht.

3.11 Sonderfall der Beanspruchung durch Normal- und Querkraft (Moment gleich Null)

Die Berechnung der Verbindung erfolgt analog zu den bisher aufgeführten Berechnungsmodellen. Dazu wird die vorhandene Normalkraft N_d in eine Ersatzbeanspruchung umgewandelt und zwar in der Form, daß sie je zur Hälfte den Flanschen zugewiesen wird.

$$Z_d = \frac{N_d}{2} > 0 \quad (\text{Zugkraft})$$

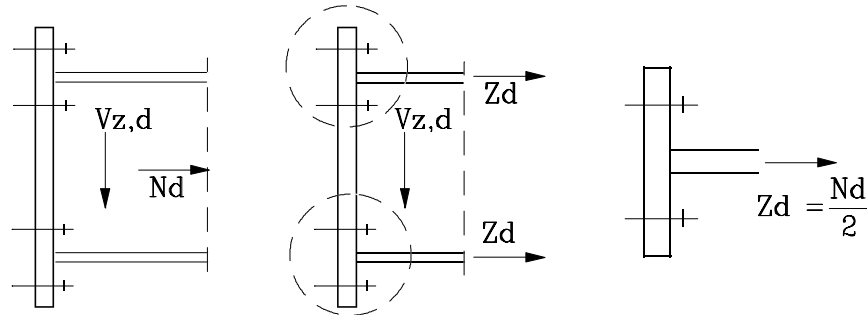


Bild 18: Ersatzbeanspruchung Z_d

Eine Berechnung wird nur für doppelsymmetrische Profile zugelassen. Dies stellt in der Praxis keine Einschränkung dar, da für eine reine Zugkraftbeanspruchung in der Regel kein Grund besteht ein Profil einfachsymmetrisch auszuführen.

Ein vereinfachter Nachweis der Schrauben, wie unter Abschnitt 6.2 beschrieben, kann aufgrund der fehlenden Druckzone nicht erfolgen. Die Querkraft wird daher allen Schrauben zugewiesen, was den Nachweis folgender Interaktionsbedingung nach [3] notwendig macht:

$$\left(\frac{Z_{\text{Schr}}}{N_{R,d,2}} \right)^2 + \left(\frac{V_{z,d} / n_{\text{ges}}}{V_{a,R,d}} \right)^2 \leq 1$$

Der Nachweis der Interaktionsbedingung kann entfallen, wenn einer der beiden Klammerausdrücke kleiner als 0,25 ist.

Bei dem Nachweis der Verbindung auf Lochleibung nach Abschnitt 9 sind alle Schrauben als tragend anzusetzen.

Berechnung der Schweißnähte

Vereinfachend wird die Querkraft nur der Stegnaht zugewiesen, während die Normalkraft durch Steg- und Flanschnaht aufgenommen wird.

**Aufnahme der Querkraft $V_{z,d}$**

$$V_{z,d} = 2 \cdot a_s \cdot \tau_{w,R,d} \cdot l_{SQ} \quad \Rightarrow \quad a_{S \min} = \frac{V_{z,d}}{2 \cdot \tau_{w,R,d} \cdot l_{SQ}}$$

Ausgehend von der gewählten Stegnahtdicke ($a_s \geq a_{S \min}$) wird die tatsächliche Schubspannung τ_{\parallel} bestimmt.

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,d}}{2 \cdot a_s \cdot l_{SQ}}$$

Aufnahme der Normalkraft N_d

$$N_d = 2 \cdot a_s \cdot l_{SQ} \sigma_{\perp} + a_F \cdot (b_1 + b_2 + 2 \cdot l_{FM2}) \cdot \sigma_{w,R,d} \quad \text{mit} \quad \sigma_{\perp} = \sqrt{\sigma_{w,R,d}^2 - \tau_{\parallel}^2}$$

$$\Rightarrow \quad a_{F \min} = \frac{N_d - 2 \cdot a_s \cdot l_{SQ} \cdot \sigma_{\perp}}{(b_1 + b_2 + 2 \cdot l_{FMI} + 2 \cdot l_{FM2}) \cdot \sigma_{w,R,d}}$$

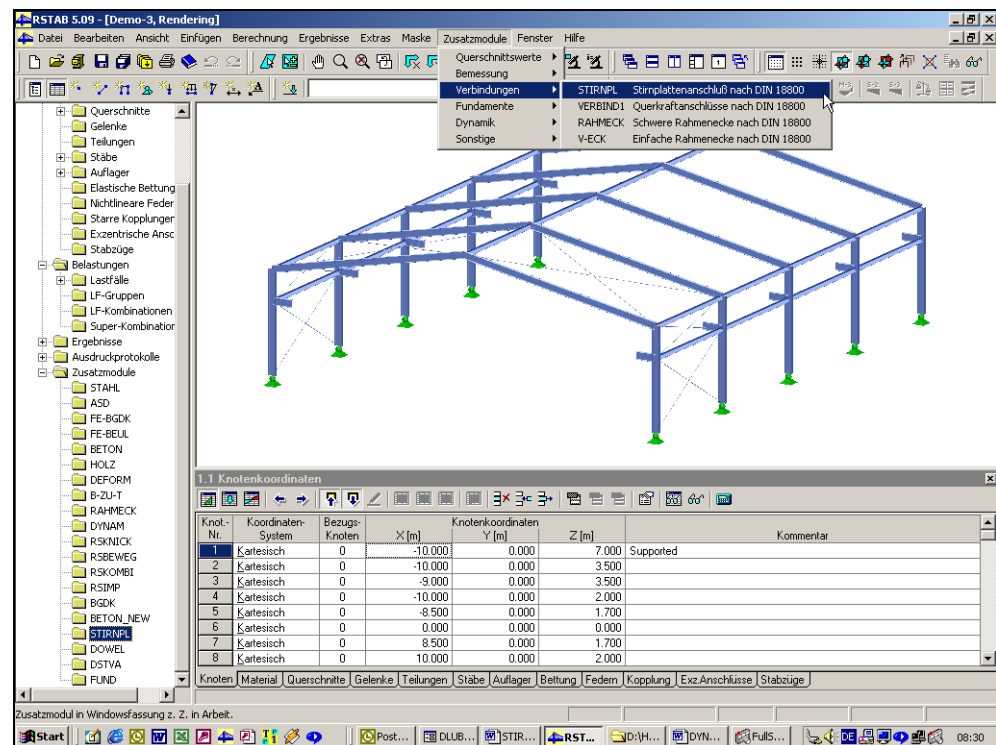
Die Bezeichnungen der Schweißnahtlängen und die Grenzwerte der Schweißnähte sind aus Abschnitt 6.1 zu entnehmen.



4. Arbeiten mit STIRNPL

4.1 STIRNPL starten

Das Modul STIRNPL kann entweder aus dem Pulldownmenü *Zusatzmodule* → Verbindungen → *STIRNPL* aufgerufen werden oder über den entsprechenden Eintrag unter [Zusatzmodule] im *Position-* beziehungsweise *Projekt-Navigator* (links in der RSTAB-Oberfläche).

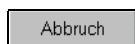
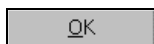


Aufruf von STIRNPL über das Pulldownmenü Zusatzmodule oder den Navigator

4.2 Masken

Sowohl die Eingaben zur Definition der *Stirnplatten-Fälle* als auch die numerische Ausgabe der Ergebnisse auf dem Bildschirm geschehen in Masken.

Links sehen Sie nach dem Aufruf von *STIRNPL* den *STIRNPLATTEN*-Navigator, der alle aktuell anwählbaren Masken anzeigt. Unterhalb der Titelleiste befinden sich die zwei Pulldownmenüs *Datei* und *Hilfe*. Zu den darin enthaltenen Funktionen lesen Sie bitte Kapitel 4.x. Die Ansteuerung aller Masken kann wahlweise durch Anklicken des entsprechenden Eintrages im *STIRNPLATTEN*-Navigator oder sequentielles Durchblättern geschehen. Geblättert werden kann entweder mit den Tasten [F2] und [F3] oder durch Anklicken der Buttons [<<] und [>>]. Mit [Grafik] wechseln Sie in die grafische Ergebnisanzeige, in welcher automatisch die aktuelle Renderingdarstellung der berechneten *STIRNPLATTE* eingestellt ist. [OK] sichert vor dem Verlassen von *STIRNPL* die Eingaben und Ergebnisse, während [Abbruch] ein Beenden ohne Sicherung zur Folge hat. [Hilfe] beziehungsweise die Taste [F1] aktivieren die Online-Hilfe.



4.3 Eingabemasken

In den Eingabemasken sind alle für die Berechnung notwendigen Angaben zu treffen und die gewünschten Parametereinstellungen vorzunehmen.

4.3.1 Maske 1.1 Basisangaben

Nach dem Aufruf von STIRNPL wird das STIRNPL-Fenster mit der Maske *1.1 Basisangaben* eingeblendet.

Stab Nr.	Stab-seite	Knoten Nr.	Querschnitt-Bezeichnung	Anmerkung
5	Anfang	5	IPE 450	1)
5	Ende	6	IPE 450	1)

Maske 1.1 Basisangaben

Hier wählen Sie zunächst den aktuellen STIRNPL-Fall – falls bereits vorhanden – mit Hilfe der Listbox aus.

Berechnung

Details

Den aktuellen STIRNPL -Fall können Sie zudem mit einem *Kommentar* versehen. Bevor Sie die [Berechnung] starten, bietet Ihnen [Details] eine Vielzahl von Einstellmöglichkeiten hinsichtlich der Berechnung.

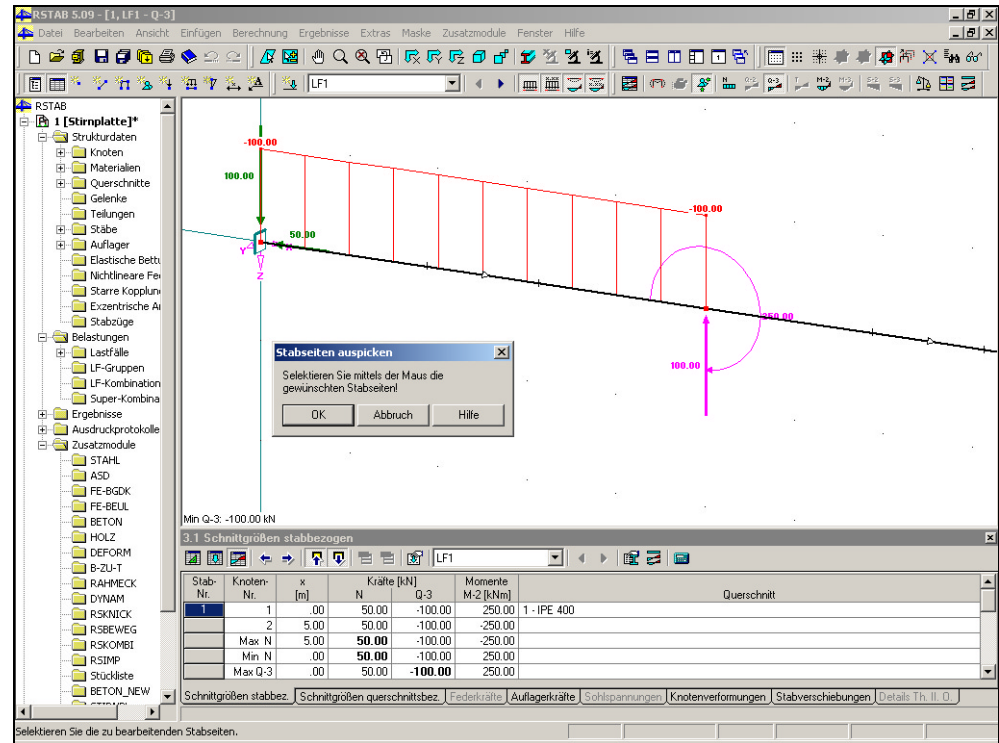
STIRNPL, Details



Pick

Anordnung der Verbindung an: STIRNPL bietet hier zwei Möglichkeiten an, die gewünschten Stabnummern dem Stabanfang, Stabende oder beiden Stabseiten zuzuordnen. Die Stabnummern sind entweder manuell an der entsprechenden Stelle einzutragen, oder durch die komfortablere *Pick* Funktion grafisch auszuwählen.

Durch drücken des *Pick* Buttons erscheint der Arbeitsbereich von RSTAB.



Arbeitsbereich von RSTAB nach dem Drücken des Buttons *Pick*

Alle Stäbe der in RSTAB definierten Struktur sind nun symbolisch in drei Segmente unterteilt. Dadurch wird es möglich entweder ein Stabende oder ein Stabanfang auszuwählen, ein anklicken der Stabmitte selektiert den gesamten Stab. Um mehrere Stabenden, Stabanfänge und Stäbe auszuwählen, können Sie gleichzeitig die *Shift*-Taste drücken. Nachdem Sie Ihre gewünschte Auswahl getroffen haben, verlassen Sie den Arbeitsbereich, indem Sie im angezeigten Meldungsfeld auf *OK* klicken. In tabellarischer Form, erfolgt für die ausgewählten Stäbe in der Maske 1.1. *Basisangaben* eine Zuordnung der Stabseite, Knotennummer und der Querschnittsbezeichnung. Interaktive Anmerkungen unterstützen Sie hierbei.

Stabseite entfernen

Stabseite neuer Stirnplatte zuweisen

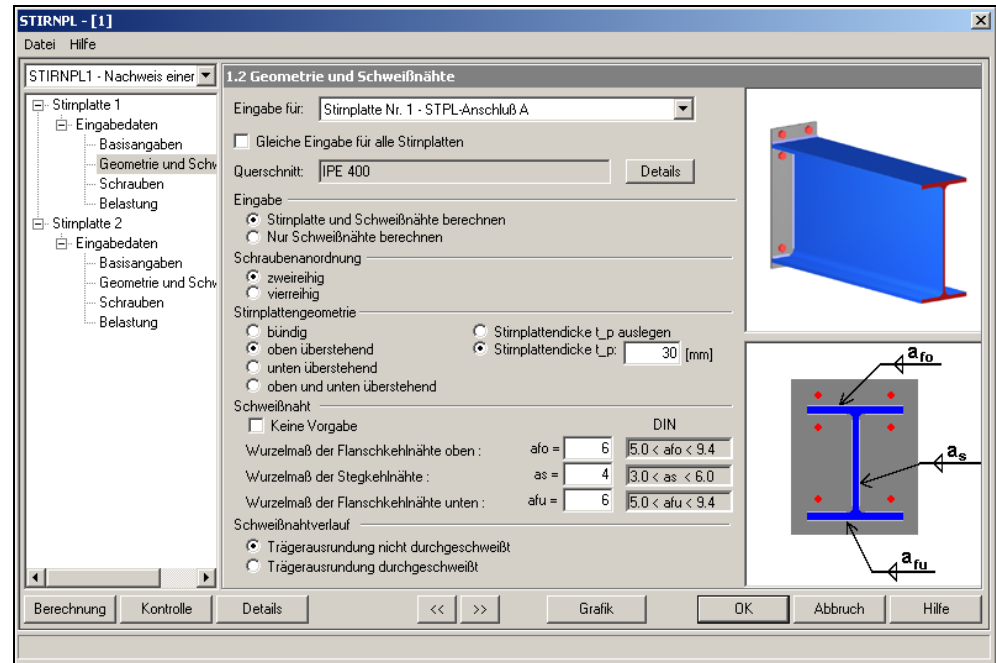
Mit dem Button *Stabseite entfernen*, lassen sich die Stabseiten die unter *Zuordnung* aufgelistet sind komplett entfernen, stellen Sie hierzu den Cursor in die zu entfernende Zeile.

Durch die Funktion *Stabseite neuer Stirnplatte zuweisen*, lässt sich eine unter *Zuordnung* aufgelistete Stabseite einer neuen Stirnplatte zuweisen, dadurch wird im Navigator automatisch eine neue Stirnplatte angelegt.

Unter dem Punkt *Kommentar*, können Sie persönliche Anmerkungen vornehmen.

4.3.2 Maske 1.2 Geometrie und Schweißnähte

Zu Beginn dieser Maske *1.2 Geometrie und Schweißnähte* finden Sie eine *Listbox* mit allen Stirnplatten inklusive der Bezeichnung die Sie in der Maske *1.1 Basisangaben* eingetragen haben. Sie können nun für die jeweils ausgewählte Stirnplatte die zugehörigen Parameter dieser Maske vorgeben. Durch aktivieren der *Checkbox* „Gleiche Eingabe für alle Stirnplatten“ gelten diese Parametereinstellungen für alle aufgeführten Stirnplatten der Listbox bzw. des Navigators.

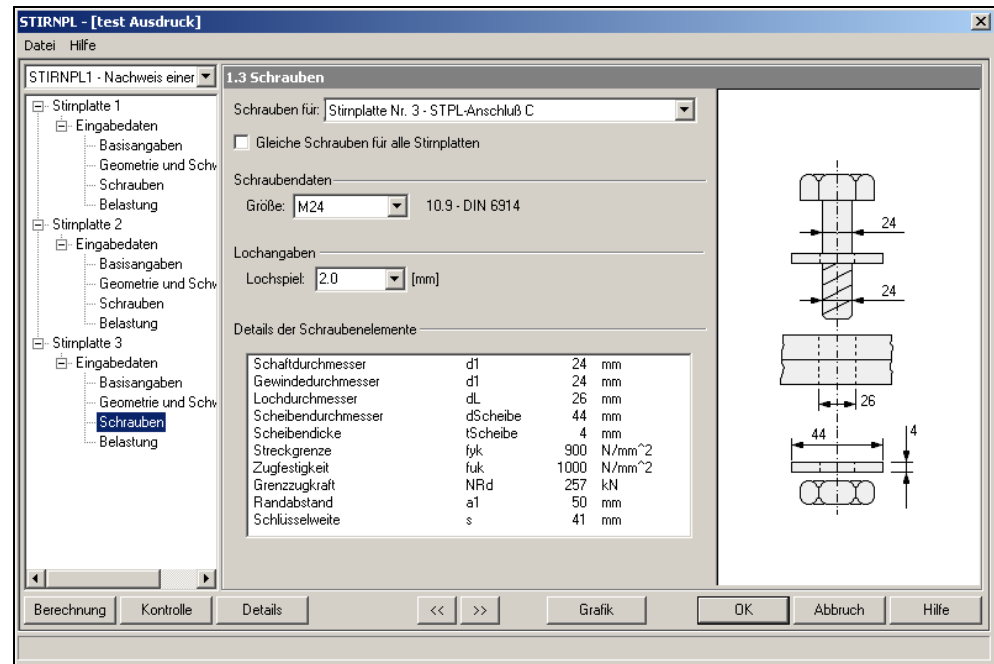


Maske 1.2 Geometrie und Schweißnähte

Über die einzelnen Steuerelemente können Ein- und Angaben zur Schweißnaht, Schraubenanordnung, Stirnplattengeometrie und zum Schweißnahtverlauf gemacht werden. Jede dieser gemachten Eingaben bedeutet eine Veränderung in der rechtseitigen Grafik. Weiter kann man sich die Stirnplattendicke und die Schweißnähte entweder auslegen lassen, indem man keine Vorgabe macht, oder die Stirnplattendicke und die Schweißnähte werden vom Anwender festgelegt.



4.3.3 Maske 1.3 Schrauben



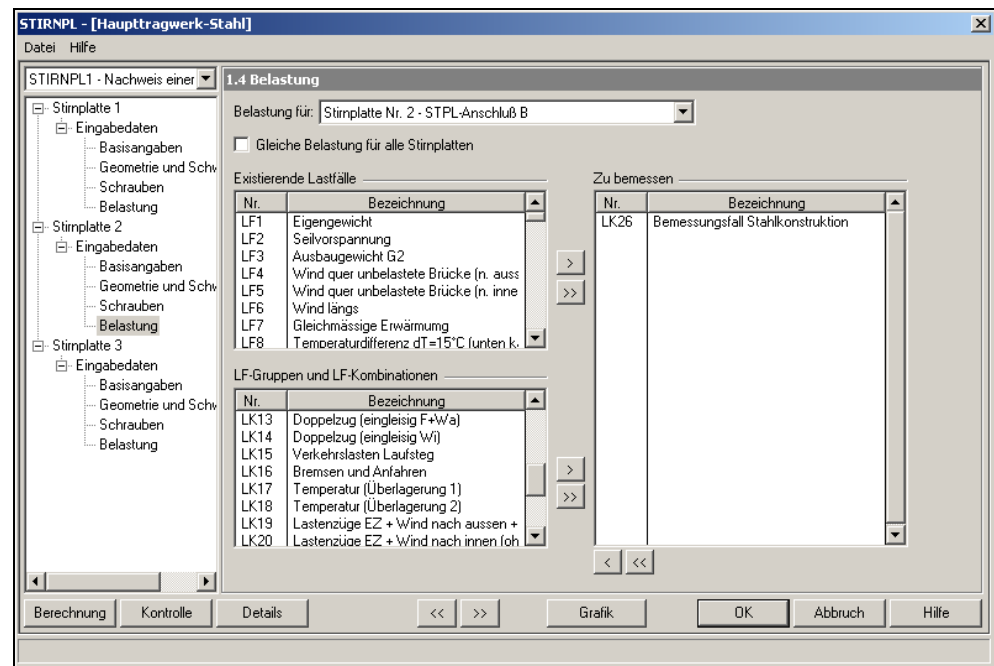
Maske 1.3 Schrauben

Auch diese Maske *1.3 Schrauben* beginnt wieder mit der *Listbox* und der *Checkbox*, deren Funktionen bereits in der Maske *1.2 Geometrie und Schweißnähte* vorgestellt wurden. Durch aktivieren der *Checkbox* „Gleiche Schrauben für alle Stirnplatten“ gelten diese Parametereinstellungen für alle aufgeführten Stirnplatten der *Listbox* bzw. des Navigators.

Über die einzelnen *Steuerelemente* können Ein- und Angaben zu den Schrauben und den Schraubenlöcher gemacht werden. Jede dieser gemachten Eingaben bedeutet eine Veränderung in der rechtseitigen Grafik. In einem *Listenfeld* „Details der Schraubenelemente“ der Maske sind die Details der Schraubenelemente übersichtlich zusammengestellt.

4.3.4 Maske 1.4 Belastung

Neben der bekannten *Listbox* befindet sich in dieser Maske *1.4 Belastung* ebenfalls eine *Checkbox*, durch das abhacken werden jene Lastfälle, Lastfallgruppen und Lastfallkombinationen, die für diese Stirnplatte ausgewählt wurden, auch automatisch für die folgenden Stirnplatten berücksichtigt. Darunter finden Sie die Listen *Existierende Lastfälle*, *LF-Gruppen* und *LF-Kombinationen* sowie *Zu bemessen*. Die zur Bemessung heranzuziehenden Lastfälle, Lastfall-Gruppen und Lastfall-Kombinationen markieren Sie zunächst durch Anklicken in der linken Liste und bringen Sie mit [>] in die rechte Liste. [>>] überträgt alles aus der linken Liste nach rechts. Analog dazu entfernen Sie mit [<] einzeln oder mit [<<] alles aus der Bemessungsliste.



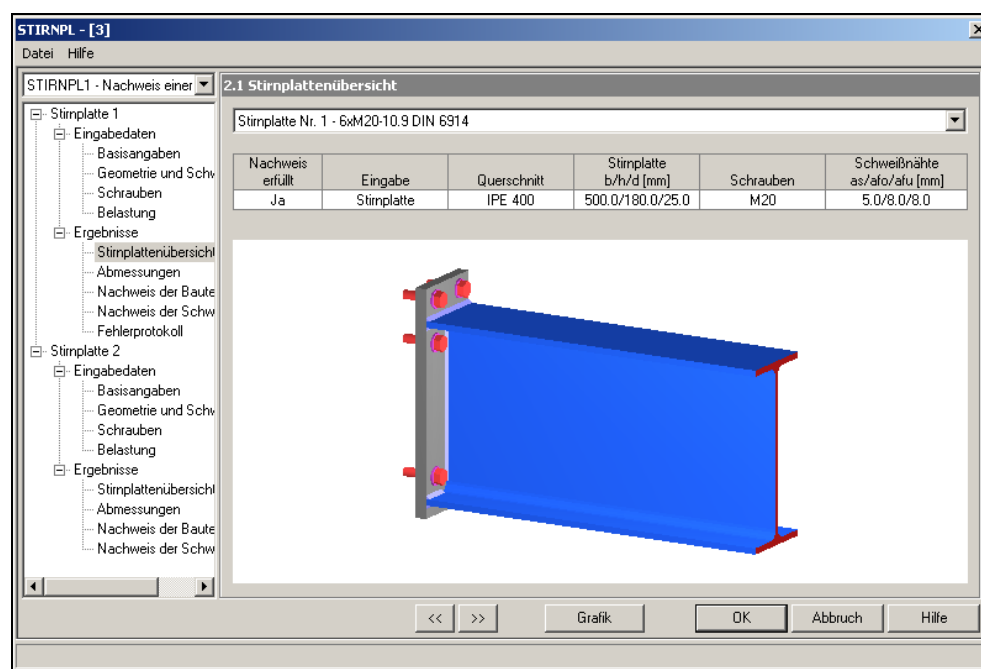
Maske 1.4 Belastung

4.4 Ergebnismasken

In den Ergebnismasken sind detailliert sämtliche Ergebnisse der Auslegung und der Nachweise einsehbar.

4.4.1 Maske 2.1 Stirnplattenübersicht

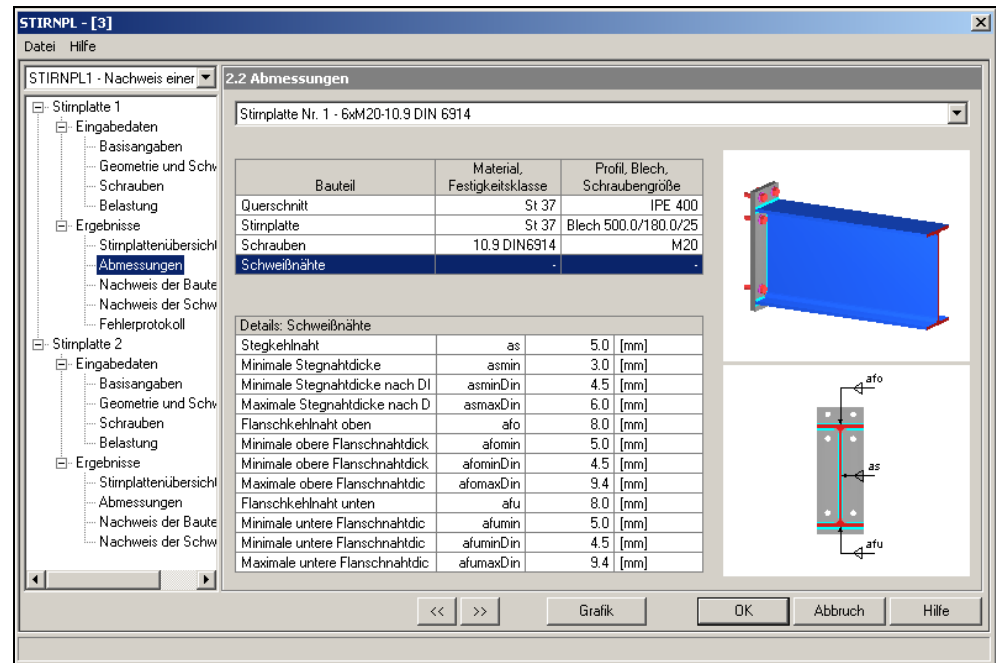
Die *Maske 2.1 Stirnplattenübersicht* bietet Ihnen einen ersten Überblick über die ausgelegten Stirnplatten. Mittels der *Listbox* sind die jeweiligen Stirnplatten anwählbar. Sollte der Nachweis mit den gemachten Angaben und der zugewiesenen Belastung nicht erfüllt sein, so erscheint in der ersten Spalte dieser Tabelle ein rotes Nein. Zudem erhalten Sie neben der grafischen Darstellung Informationen über den Querschnitt, die Stirnplattenabmessungen, die Schrauben und die Schweißnähte.



Maske 2.1 Stirnplattenübersicht

4.4.2 Maske 2.2 Abmessungen

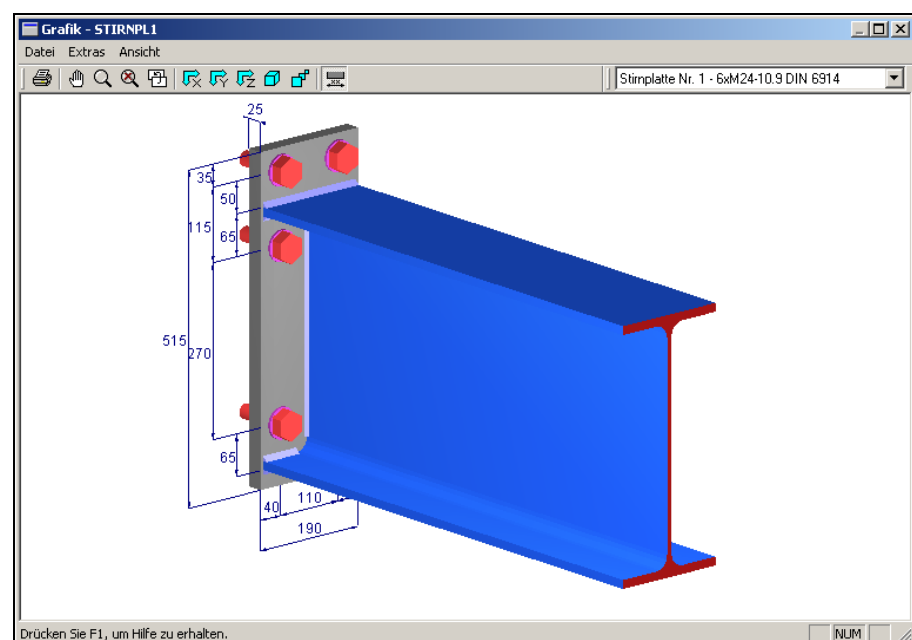
Die Maske 2.2 *Abmessungen* beinhaltet ebenfalls wieder die bekannte *ListBox*. Durch anklicken eines entsprechenden Bauteils in der oberen Tabelle, erhalten Sie detailliert alle zugehörigen Abmessungen in der unteren Tabelle, parallel dazu erläutert die rechtseitige Grafik sämtliche Bezeichnungen.



Maske 2.2 Abmessungen



Der Button *Grafik* öffnet die 3D Renderingdarstellung der kompletten Stirnplattenverbindung. Mittels der *Checkbox* kann wieder die Stirnplattennummer ausgewählt werden. Das Pulldownmenü und die Werkzeugleiste bieten die aus RSTAB bekannten Möglichkeiten. Die 3D Renderingdarstellung der Stirnplattenverbindung kann mittels des Buttons *Vermassung* automatisch vermaßt werden.

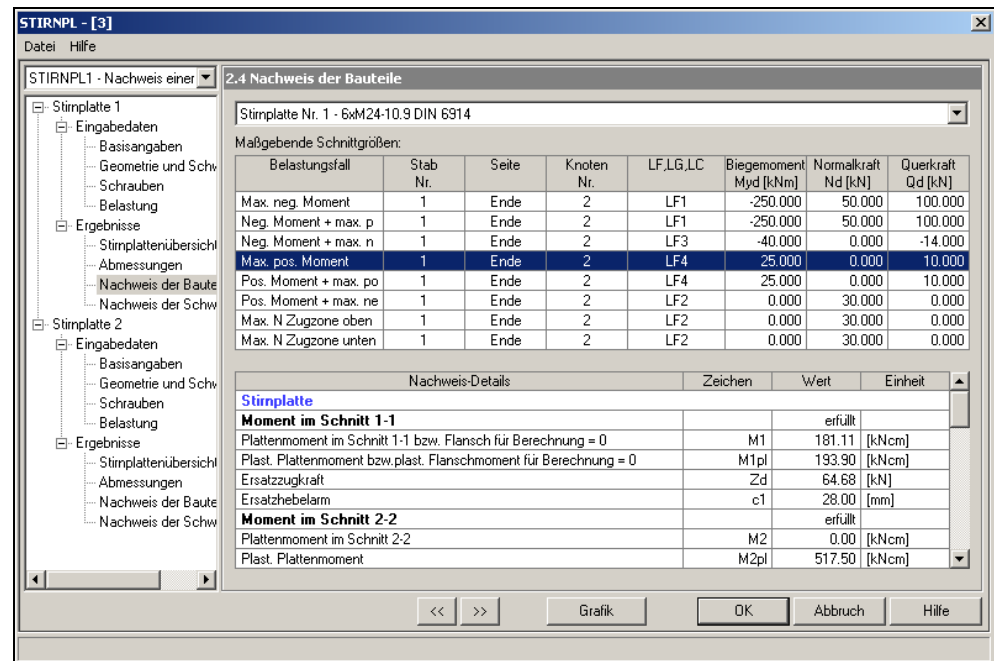


3D Renderingdarstellung der Stirnplattenverbindung



4.4.3 Maske 2.3 Nachweis der Bauteile

In dieser Maske befindet sich die *Listbox* und zwei Tabellen.



Maske 2.3 Nachweis der Bauteile

Die untere der beiden Tabellen beinhaltet sämtliche Nachweise. In ihr werden zeilenweise die Beanspruchungen den Beanspruchbarkeiten gegenüber gestellt. Falls einer der Nachweise nicht erfüllt werden konnte, so wird die entsprechende Zeile rot unterlegt. Die Tabelle ist so aufgebaut, dass zuerst die Nachweise für das maximale negative Moment mit der jeweils maximalen positiven und negativen Querkraft vorangestellt sind und anschließend die Nachweise für das maximale positive Moment mit der jeweils maximalen positiven und negativen Querkraft erscheinen. Zudem wird die maximale Normalkraft für die Zugzone oben und unten ausgegeben. Neben den Werten für das Biegemoment, die Normalkraft und die Querkraft des entsprechenden Belastungsfalls, erhalten Sie in der oberen Tabelle Angaben über die Stabnummer, Knotennummer, Stabseite und den entsprechenden zugehörigen Lastfall. Klicken Sie nun in dieser oberen Tabelle in eine Zeile, so erscheinen für diesen Nachweis in der unteren Tabelle sämtliche Eingangs- und Zwischenwerte mit Bezeichnung, die zur Berechnung der Beanspruchung bzw. der Beanspruchbarkeit erforderlich waren bzw. angefallen sind.

4.4.4 Maske 2.4 Nachweis der Schweißnähte

Mittels der Listbox, besteht wieder die Möglichkeit die jeweilige Stirnplattennummer auszuwählen.

STIRNPL - [3]

2.3 Nachweis der Schweißnähte

Stirnlplatte Nr. 1 - 6xM20-10.9 DIN 6914

Maßgebende Schnittgrößen:

Belastungsfall	Stab Nr.	Seite	Knoten Nr.	LF, LG, LC	Biegemoment Myd [kNm]	Normalkraft Nd [kN]	Querkraft Qd [kN]
Max. neg. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Neg. Moment + max. p	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Neg. Moment + max. n	1	Ende	2	LF3	-125.000	0.000	-50.000
Max. pos. Moment	1	Ende	2	LF4	25.000	0.000	5.000
Pos. Moment + max. po	1	Ende	2	LF4	25.000	0.000	5.000
Pos. Moment + max. ne	1	Ende	2	LF2	0.000	30.000	0.000
Max. N Zugzone oben	1	Ende	2	LF2	0.000	30.000	0.000
Max. N Zugzone unten	1	Ende	2	LF2	0.000	30.000	0.000

Nachweis-Details

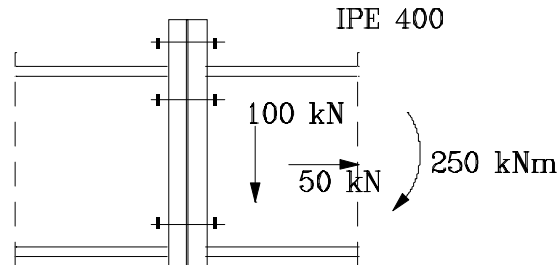
Zeichen	Wert	Einheit
Biegemoment	erfüllt	
Biegemoment	Myd	-250.00 [kNm]
Momentenbeanspruchbarkeit	MyRd	255.29 [kNm]
Plast. Widerstandsmoment Stegnahtanteil	WplwS	272.42 [cm ³]
Plast. Widerstandsmoment Flanschnahtanteil	WplwF	962.13 [cm ³]
Schweißnahtlänge	lsm1	153.31 [mm]
Schweißnahtlänge	lsm2	153.31 [mm]
Schweißnahtlänge	lfm1	64.70 [mm]
Schweißnahtlänge	lfm2	64.70 [mm]

Maske 2.4 Nachweis der Schweißnähte

Die Maske 2.4 Nachweis der Schweißnähte entspricht genau dem Aufbau der Maske 2.3 Nachweis der Bauteile. Zeilenweise werden die Beanspruchungen den Beanspruchbarkeiten gegenübergestellt. Nicht erfüllte Nachweise sind deutlich rot gekennzeichnet.

5. Beispiel

Gemäß der Abbildung soll ein IPE 400 gestoßen werden. Der Nachweis des Profils und damit die Bestimmung der Schnittgrößen erfolgte nach dem Verfahren Elastisch-Plastisch. Bei den Schnittgrößen handelt es sich um Bemessungsschnittgrößen. Ausgehend von den durch das Programm bestimmten Verbindungsmitteln soll die Verbindung nachgewiesen werden.



auszuführender Trägerstoß

Profil	: IPE 400
$M_{y,d}$: - 250 kNm
$V_{z,d}$: 100 kN
N_d	: 50 kN
Material	: St 37 (Träger und Kopfplatte), $\gamma_M = 1,1$
Art der Stirnplatte	: überstehend, 2 vertikale Schraubenreihen
Schweißnähte	: Kehlnähte, Rundung nicht durchgeschweißt
Lochspiel d_l	: 2mm
$\mu = \frac{G}{Q} = 1$: Verhältnis Eigengewicht zu Verkehrslasten

Verbindungsmittel (bestimmt durch das Programm)

Schrauben M20 - DIN 6914 - 10.9, planmäßig vorgespannt
 Stirnplatte $d_p = 25\text{mm}$ - St 37

Berechnung der Mindestmaße der Stirnplatte

Aus Tabelle 1 ergibt sich:

$$\begin{aligned} a_1 &= 40\text{mm} & e_1 &= 30\text{mm} \\ w_1 &= 90\text{mm} (s < 10\text{mm}) & w_3 &= 35\text{mm} \end{aligned}$$

$$\ddot{u} = 30\text{mm} (h=400\text{mm})$$

$$a_2 = a_3 = a_1 + t - 1 + \Delta = 40 + 13,5 - 1 + 2,5 = 55\text{mm}$$

$$e_2 = a_1 + a_2 = 40 + 55 = 95\text{mm}$$

$$e_4 = a_2 + \ddot{u} = 55 + 30 = 85\text{mm}$$

$$h_p = h - 1 + \ddot{u} + a_1 + e_1 + \Delta = 400 - 1 + 30 + 40 + 30 + 1 = 500\text{mm}$$

$$e_3 = h_p - e_1 - e_2 - e_4 = 500 - 30 - 95 - 85 = 290\text{mm}$$

$$b_p = w_1 + 2 \cdot w_3 = 90 + 2 \cdot 35 = 160\text{mm} < b = 180\text{mm}$$

$$\Rightarrow w_1 = 100\text{mm} \quad w_3 = 40\text{mm} \quad (\text{neu gewählt})$$

Berechnung der Schweißnähte

Schweißnahtlängen nach Tabelle 8:

$$l_{SQ} = h - 2 \cdot (t+r) = 400 - 2 \cdot (13,5+21) = 331\text{mm}$$

$$l_{FM1} = l_{FM2} = l_{FM} = b/2 - r - s/2 = 180/2 - 21 - 8,6/2 = 64,7\text{mm}$$

$$l_4 = l_5 = l = h/2 - t = 400/2 - 13,5 = 186,5\text{mm}$$

$$a_{S \min} = \sqrt{\frac{N_d^2 + V_{z,d}^2}{4 \cdot I_{SQ}^2 \cdot \sigma_{w,R,d}^2}} = \sqrt{\frac{(50^2 + 100^2) \cdot 1000^2}{4 \cdot 331^2 \cdot 207,27^2}} = 0,815 \text{ mm} < 3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow a_{S \min} = 3 \text{ mm}$$

gewählt: $a_S = 4 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,d}}{2 \cdot a_s \cdot I_{SQ}} = \frac{100}{2 \cdot 0,4 \cdot 33,1} = 3,776 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_{\perp} = \sqrt{\sigma_{w,R,d}^2 - \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{20,727^2 - 3,776^2} = 20,380 \text{ kN / cm}^2$$

$$l_{SN} = \frac{N_d}{2 \cdot a_s \cdot \sigma_{\perp}} = \frac{50}{2 \cdot 0,4 \cdot 20,380} \cdot 10 = 30,67 \text{ mm}$$

$$l_{SN1} = l_{SN2} = l_{SN} / 2 = 30,67 / 2 = 15,34 \text{ mm}$$

$$l_{SM1} = l_{SM2} = l_{SM} = (331 - 30,67) / 2 = 150,17 \text{ mm}$$

$$a_{F \min} = \frac{M_{y,d} - a_s \cdot [2 \cdot l_{SM1} \cdot (l_{SN1} + l_{SM1} / 2) + 2 \cdot l_{SM2} \cdot (l_{SN2} + l_{SM2} / 2)] \cdot \sigma_{\perp}}{[2 \cdot l_4 \cdot l_{FM1} + 2 \cdot l_5 \cdot l_{FM2} + (l_4 + t_1) \cdot b_1 + (l_5 + t_2) \cdot b_2] \cdot \sigma_{w,R,d}}$$

$$a_{F \min} = \frac{25000 - 0,4 \cdot [4 \cdot 15,017 \cdot (1,534 + 15,017 / 2)] \cdot 20,380}{[4 \cdot 18,65 \cdot 6,47 + 2 \cdot 20 \cdot 18] \cdot 20,727} \cdot 10 = 8,253 \text{ mm}$$

gewählt : $a_F = 9 \text{ mm}$

Berechnung der Ersatzbeanspruchung

$$h_F = h - t = 400 - 13,5 = 386,5 \text{ mm}$$

$$Z_d = \frac{M_{y,d}}{h_F} + \frac{N_d}{2} = \frac{25000}{38,65} + \frac{50}{2} = 671,83 \text{ kN}$$

$$D_d = \frac{M_{y,d}}{h_F} - \frac{N_d}{2} = \frac{25000}{38,65} - \frac{50}{2} = 621,83 \text{ kN} > 0 \text{ (Druckkraft)}$$

Nachweis der Schrauben auf Abscheren

$$A_{Sch \min} = \frac{V_{z,d} \cdot \gamma_M}{\alpha_a \cdot f_{u,b,k} \cdot n_D} = \frac{100 \cdot 1,1}{0,55 \cdot 100 \cdot 2} = 1 \text{ cm}^2$$

$$A_{Sch} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{Sch}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 20^2 = 314 \text{ mm}^2 > 100 \text{ mm}^2$$



Gebrauchstauglichkeitsnachweis der Schrauben im Zugbereich

$$\gamma_{\bar{F}} = \frac{F_d}{F} = \frac{(\gamma_{FG} \cdot \mu + \gamma_{FQ}) \cdot \lambda}{\mu + 1} = \frac{(1,35 \cdot 1 + 1,50) \cdot 1}{1 + 1} = 1,425$$

$$h_s \approx h_F = 386,5 \text{ mm}$$

$$M_y \approx \frac{M_{y,d}}{\gamma_{\bar{F}}} = \frac{25000}{1,425} = 17544 \text{ kNcm}$$

$$N \approx \frac{N_d}{\gamma_{\bar{F}}} = \frac{50}{1,425} = 35,09 \text{ kN}$$

$$\alpha = 3,6$$

$$F_{v \min} = \frac{\frac{M_y}{h_s} + \frac{N}{2}}{\alpha} = \frac{\frac{17544}{38,65} + \frac{35,09}{2}}{3,6} = 130,96 \text{ kN}$$

$$F_v = 160 \text{ kN} > 130,96 \text{ kN}$$

Nachweis der T-Verbindung nach "DASt-Ringbuch" [1], Valtinat [6]

$$c_1 = a_1 - a_F \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{d_2 + d_P}{4} = 40 - 9 \cdot \frac{\sqrt{2}}{3} - \frac{37 + 25}{4} = 20,257 \text{ mm}$$

$$c_3 = e_1 = 30 \text{ mm} \quad (\text{für St 37})$$

Beanspruchbarkeit der Stirnplatte

$$M_{Ipl} = 1,1 \cdot \frac{b_P \cdot d_P^2 \cdot f_{y,k,P}}{4 \cdot \gamma_M} = 1,1 \cdot \frac{18 \cdot 2,5^2 \cdot 24}{4 \cdot 1,1} = 675 \text{ kNcm}$$

$$M_{IIpl} = 1,1 \cdot \frac{(b_P - n \cdot d_1) \cdot d_P^2 \cdot f_{y,k,P}}{4 \cdot \gamma_M} = 1,1 \cdot \frac{(18 - 2 \cdot 2,2) \cdot 2,5^2 \cdot 24}{4 \cdot 1,1} = 510 \text{ kNcm}$$

$$F_{Schub} = b_P \cdot d_P \cdot \frac{f_{y,k,P}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_M} = 18 \cdot 2,5 \cdot \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 1,1} = 566,85 \text{ kN}$$

Beanspruchung

$$K = \frac{\frac{Z_d}{d} \cdot c_1 - M_{Ipl}}{c_3} = \frac{\frac{671,83}{2} \cdot 2,026 - 675}{3} = 1,855 \text{ kN} > 0$$

$$M_{II} = K \cdot c_3 = 1,855 \cdot 3 = 5,565 \text{ kNcm}$$

$$Z_{Schr} = \frac{Z_d / 2 + K}{n} = \frac{671,83 / 2 + 1,855}{2} = 168,885 \text{ kN}$$

Nachweis der Verbindung

$$M_{II} = 5,565 \text{ kNcm} < M_{IIpl} = 510 \text{ kNcm}$$

$$K = 1,855 \text{ kN} < F_{Schub} = 566,85 \text{ kN}$$

$$Z_d / 2 = 336 \text{ kN} < F_{Schub} = 566,85 \text{ kN}$$

$$Z_{Schr} = 168,89 \text{ kN}$$

$$N_{R,d,2} = A_{Sp} \cdot \frac{f_{u,b,k}}{\gamma_M \cdot 1,25} = 2,45 \cdot \frac{100}{1,1 \cdot 1,25} = 178,18 \text{ kN}$$

$$Z_{Schr} \leq N_{R,d,2}$$

Nachweis der Schrauben auf Lochleibung

$$\alpha_1 = \min \begin{cases} 1,10 \cdot \frac{e_4}{d_1} - 0,30 = 1,10 \cdot \frac{85}{22} - 0,30 > 3 \rightarrow 3 \\ 1,08 \cdot \frac{e_3}{d_1} - 0,77 = 1,08 \cdot \frac{290}{22} - 0,77 > 3 \rightarrow 3 \end{cases}$$

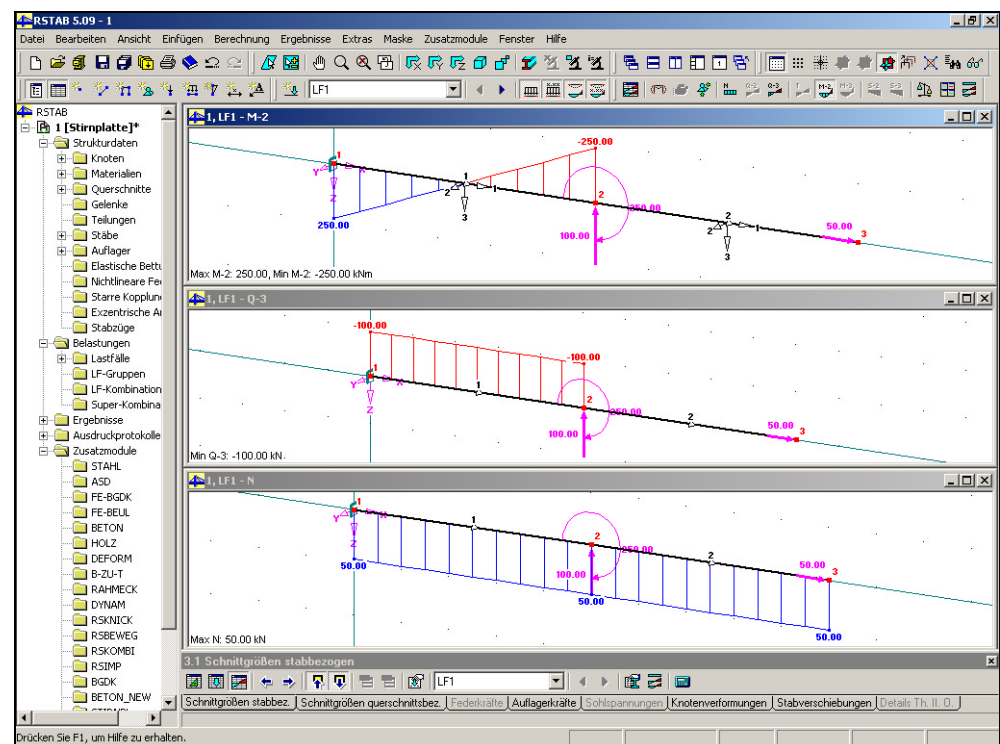
$$\alpha_1 = 3$$

$$V_{l,R,d} = d_p \cdot d_{Sch} \cdot \alpha_1 \cdot \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = 2,5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \frac{24}{1,1} = 327 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 100 \text{ kN} < n_D \cdot V_{l,R,d} = 2 \cdot 327 \text{ kN} = 654 \text{ kN}$$

Berechnung mit STIRNPL

Der beschriebene Trägerstoß wird wie im folgenden Bild in RSTAB als Struktur definiert. Dabei wird der Lastfall LF 1 ($M_{y,d}$, $V_{z,d}$, N_d) ohne Eigengewicht eingegeben.



Schnittgrößenverläufe in RSTAB



Der Nachweis soll für die Stirnplattenverbindung am Stabende des Stabes 1 geführt werden. Dieses Stabende kann nun entweder in der Maske 1.1 Basisangaben gepickt oder manuell eingetragen werden.

STIRNPL - [1]

Stirnplatte 1 - Nachweis einer

1.1 Basisangaben

Stirnplatte: Bezeichnung:

Nr.: Handbuch - Beispiel

Anordnung der Verbindung an:

Stabanfang der Stäbe:

Stabende der Stäbe:

Beiden Stabseiten:

Zuordnung

Stab Nr.	Stab-seite	Knoten Nr.	Querschnitt-Bezeichnung	Anmerkung
1	Ende	2	IPE 400	1)

Anmerkung:

1) Berechnung erfolgt für: Stab Nr.: 1, am Ende.

Kommentar:

STIRNPL

Biegesteife Stirnplatten-Verbindungen

Anordnung der Verbindung am Stabende des Stabes 1

Gemäß den Vorgaben, wird in der Maske 1.2 Geometrie und Schweißnähte eine zweireihige oben überstehende Stirnplatte definiert. Die Dicken der Stirnplatte und Schweißnähte werden hier vom Anwender festgelegt.

STIRNPL - [1]

Stirnplatte 1 - Nachweis einer

1.2 Geometrie und Schweißnähte

Eingabe für:

☒ Gleiche Eingabe für alle Stirnplatten

Querschnitt: IPE 400

Eingabe:

☒ Stirnplatte und Schweißnähte berechnen

☐ Nur Schweißnähte berechnen

Schraubenanordnung:

☒ zweireihig

☐ viereihig

Stirnplattengeometrie:

☐ bündig

☒ oben überstehend

☐ unten überstehend

☐ oben und unten überstehend

Schweißnaht:

☐ Keine Vorgabe

Wurzelmaß der Flanschkehlnähte oben: afo = 9 5,0 < afo < 9,4

Wurzelmaß der Stegkehlnähte: as = 4 3,0 < as < 6,0

Wurzelmaß der Flanschkehlnähte unten: afu = 9 5,0 < afu < 9,4

Schweißnahtverlauf:

☒ Trägerausrundung nicht durchgeschweißt

☐ Trägerausrundung durchgeschweißt

STIRNPL

Biegesteife Stirnplatten-Verbindungen

Maske 1.2 Geometrie und Schweißnähte

Um die Schraubengröße durch das Programm bestimmen zu lassen, wird unter den *Schraubendaten* mittels der *Pfeil nach unten Taste* „Keine Vorgabe“ ausgewählt.

STIRNPL - [1]

Stirnplatte 1 - Nachweis einer

1.3 Schrauben

Schrauben für: Stirnplatte Nr. 1 - Handbuch - Beispiel

☒ Gleiche Schrauben für alle Stirnplatten

Schraubendaten

Größe: Keine Vorgabe 10.9 - DIN 6914

Lochangaben

Lochspiel: 2.0 [mm]

Details der Schraubenelemente

Schaftdurchmesser	-	mm
Gewindedurchmesser	d1	mm
Lochdurchmesser	dL	mm
Scheibendurchmesser	dScheibe	mm
Scheibendicke	tScheibe	mm
Streckgrenze	f _{yk}	N/mm ²
Zugfestigkeit	f _{uk}	N/mm ²
Grenzzugkraft	N _{Rd}	kN
Randabstand	a1	mm
Schlüsselweite	s	mm

Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Schraubengröße und Lochspiel

In der Maske *1.4 Belastung* wird der in RSTAB definierte Lastfall LF1 ausgewählt.

STIRNPL - [1]

Stirnplatte 1 - Nachweis einer

1.4 Belastung

Belastung für: Stirnplatte Nr. 1 - Handbuch - Beispiel

☒ Gleiche Belastung für alle Stirnplatten

Existierende Lastfälle

Nr.	Bezeichnung
-----	-------------

Zu bemessen

Nr.	Bezeichnung
LF1	

LF-Gruppen und LF-Kombinationen

Nr.	Bezeichnung
-----	-------------

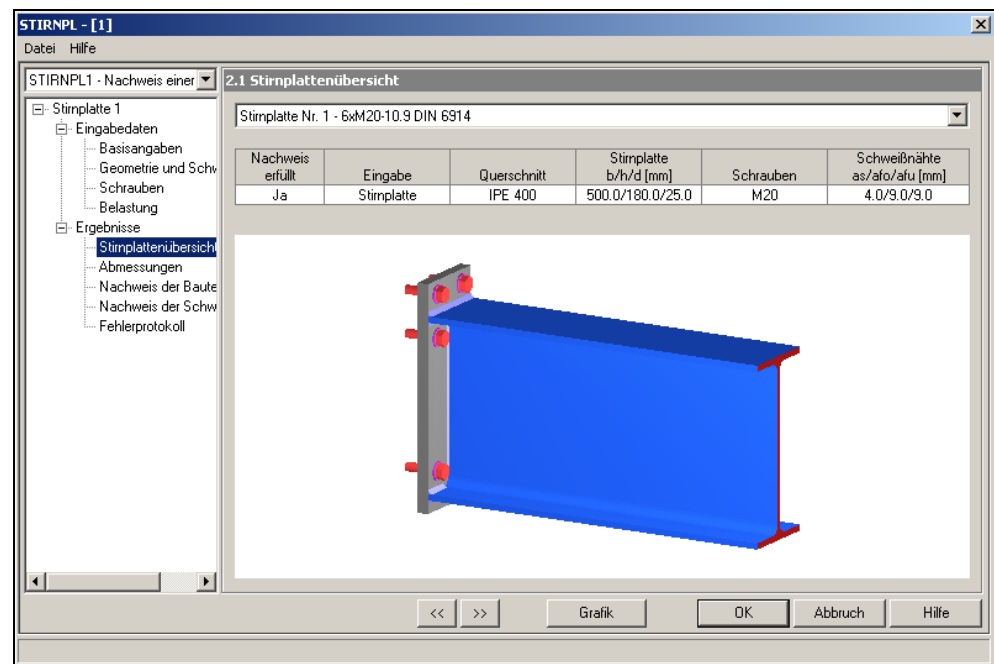
Berechnung Kontrolle Details << >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Belastung

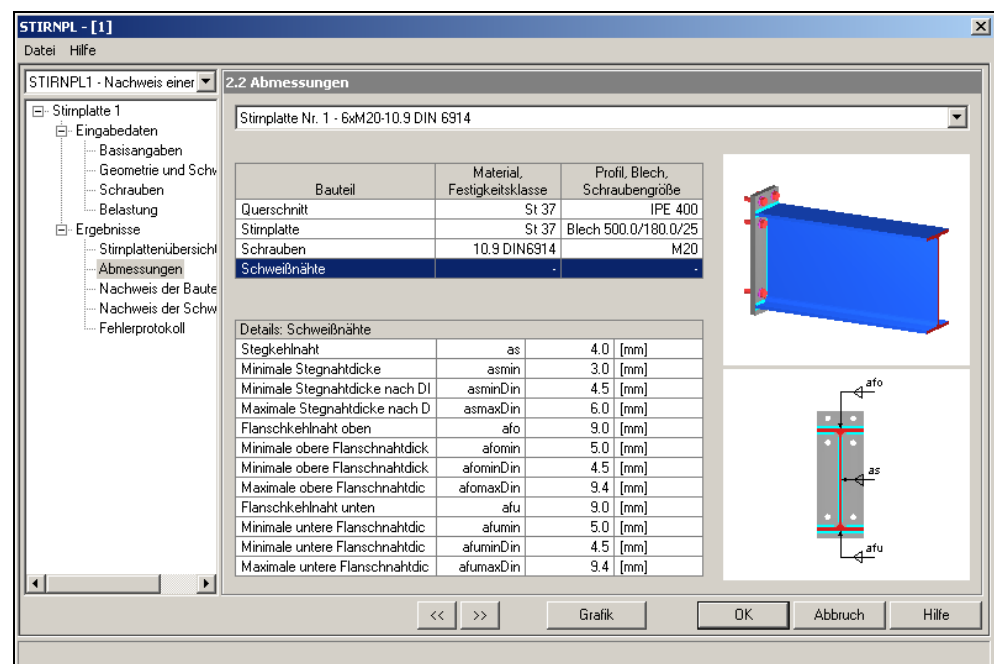


STIRNPL – Ergebnisse

Ausgelegt und Nachgewiesen, wurde eine Stirnplatte mit den Abmessungen $b/h/d = 500/180/25$ [mm], sowie die Schrauben M 20 und die Schweißnähte $as/afo/afu = 4/9/9$ [mm].



Stirnplattenübersicht



Details der Schweißnähte

Nachweis der Stirnplatte:

STIRNPL - [1]

Datei Hilfe

STIRNPL1 - Nachweis einer

Stirnplatte 1

Eingabedaten

Basisangaben

Geometrie und Schw

Schrauben

Belastung

Ergebnisse

Stirnplattenübersicht

Abmessungen

Nachweis der Bauteile

Nachweis der Schw

Fehlerprotokoll

2.4 Nachweis der Bauteile

Stirnplatte Nr. 1 - 6xM20-10.9 DIN 6914

Maßgebende Schnittgrößen:

Belastungsfall	Stab Nr.	Seite	Knoten Nr.	LF, LG, LC	Biegemoment Myd [kNm]	Normalkraft Nd [kN]	Querkraft Qd [kN]
Max. neg. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Neg. Moment + max. p	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Neg. Moment + max. n	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Max. pos. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Pos. Moment + max. po	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Pos. Moment + max. ne	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000

Nachweis-Details	Zeichen	Wert	Einheit
Moment im Schnitt 1-1			
Plattenmoment im Schnitt 1-1 bzw. Flansch für Berechnung = 0	M1	675.00	[kNcm]
Plast. Plattenmoment bzw. plast. Flanschmoment für Berechnung = 0	M1pl	675.00	[kNcm]
Ersatzzugkraft	Zd	671.83	[kN]
Ersatzhebelarm	c1	20.26	[mm]
Moment im Schnitt 2-2			
Plattenmoment im Schnitt 2-2	M2	5.48	[kNcm]
Plast. Plattenmoment	M2pl	510.00	[kNcm]
Ersatzzugkraft	Zd	671.83	[kN]

Nachweis der Stirnplatte $d_p = 25 \text{ mm}$ - St 37

Ersatzzugkraft $Z_d = 671.83 \text{ kN}$
 Verkürzte Hebelarme $c_1 = 20.26 \text{ mm}$ $c_3 = 30.00 \text{ mm}$
 Moment im Schnitt 1-1: $M_1 = 675.00 \text{ kNcm} = M_{1pl} = 675.00 \text{ kNcm}$
 Moment im Schnitt 2-2: $M_2 = 5.48 \text{ kNcm} < M_{2pl} = 510.00 \text{ kNcm}$
 Plattenquerkraft: $F_Q = 335.92 \text{ kN} < F_{QR} = 566.85 \text{ kN}$
 Abstützkraft: $K = 1.83 \text{ kN} < F_{QR} = 566.85 \text{ kN}$



Nachweis der Schrauben:

STIRNPL - [1]

Datei Hilfe

STIRNPL1 - Nachweis einer

2.4 Nachweis der Bauteile

Stirnplatte Nr. 1 - 6xM20-10.9 DIN 6914

Maßgebende Schnittgrößen:

Belastungsfall	Stab Nr.	Seite	Knoten Nr.	LF, LG, LC	Biegemoment Myd [kNm]	Normalkraft Nd [kN]	Querkraft Qd [kN]
Max. neg. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Neg. Moment + max. p	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Neg. Moment + max. n	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Max. pos. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Pos. Moment + max. po	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000
Pos. Moment + max. ne	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000

Nachweis-Details

Zeichen	Wert	Einheit
Schrauben - 6xM20-10.9 DIN 6914		
Zugkraft		erfüllt
Zugkraft	NSchrd	168.87 [kN]
Zugbeanspruchbarkeit	NSchRd	178.18 [kN]
Interaktionsnachweis für Schrauben	Inakt	0
Abscherkraft		erfüllt
Abscherkraft	Vad	50.00 [kN]
Beanspruchbarkeit Abscheren	VaRd	157.08 [kN]
Anzahl Schrauben für Querkraftübertragung	nq	2

<< >> Grafik OK Abbruch Hilfe

Nachweis der Schrauben

Schraubenzugkraft	NSchrd	= 168.87 kN	<	NSchRd	= 178.18 kN
Schraubenabscherkraft	Vad	= 50.00 kN	<	VaRd	= 157.08 kN
Lochleibungskraft	Vld	= 50.00 kN	<	VIRd	= 327.27 kN
erf. Vorspannkraft	Fverf	= 130.96 kN	<	Fv	= 160.00 kN

Nachweis der Schweißnähte:

STIRNPL - [1]									
Datei Hilfe									
STIRNPL1 - Nachweis einer									
2.3 Nachweis der Schweißnähte									
Stirnplatte Nr. 1 - 6xM20-10.9 DIN 6914									
Maßgebende Schnittgrößen:									
Belastungsfall	Stab Nr.	Seite	Knoten Nr.	LF, LG, LC	Biegemoment Myd [kNm]	Normalkraft Nd [kN]	Querkraft Qd [kN]		
Max. neg. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000		
Neg. Moment + max. p	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000		
Neg. Moment + max. n	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000		
Max. pos. Moment	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000		
Pos. Moment + max. po	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000		
Pos. Moment + max. ne	1	Ende	2	LF1	-250.000	50.000	100.000		
Nachweis-Details					Zeichen	Wert	Einheit		
Normalkraft					Nd	50.00	[kN]		
Normalkraftbeanspruchbarkeit					NRd	50.00	[kN]		
Spannung durch Nd					sigw	20.38	[kN/cm²]		
Vergleichsspannung					sigwv	20.73	[kN/cm²]		
Grenzschnittpunktspannung					sigwRd	20.73	[kN/cm²]		
Stegsnahtfläche für Nd					AwNS	2.45	[cm²]		
Flanschnahtfläche für Nd					AwNF	0.00	[cm²]		
Schweißnahtlänge					lsn1	15.33	[mm]		
Schweißnahtlänge					lsn2	15.33	[mm]		

Nachweis der Schweißnähte

Schubspannung	τ_w	=	3.776 kN/cm²	<	$\sigma_w R_d$	=	20.73 kN/cm²
Beanspruchbarkeit	$V_z R_d$	=	100.00 kN	=	V_{zd}	=	100.00 kN
Normalspannung	σ_w	=	20.380 kN/cm²	<	$\sigma_w R_d$	=	20.73 kN/cm²
Vergleichsspannung	σ_{wv}	=	20.727 kN/cm²	=	$\sigma_w R_d$	=	20.73 kN/cm²
Momentenbeanspruchbarkeit	$M_y R_d$	=	268.63 kNm	>	M_{yd}	=	250.00 kNm



6. Notation

a	idealisierter Hebelarm
a_F	Wurzelmaß der Flanschkehlnaht
a_S	Wurzelmaß der Stegkehlnaht
a_Z	Stirnplattenmaß im Zugbereich (a_2 oder a_3)
$a_1 - a_3$	Stirnplattenmaße
A_{Sch}	Schaftquerschnitt der Schraube
A_{Sp}	Spannungsquerschnitt der Schraube
b_Z	Breite des Trägerflansches im Zugbereich
b_P	Breite der Stirnplatte
c, c_1, c_3	rechnerisch verkürzte Hebelarme
d_1	Lochdurchmesser
d_P	Stirnplattendicke
d_{Sch}	Schaftdurchmesser der Schraube
d_2	Außendurchmesser der Unterlegscheibe
D_d	Ersatzdruckkraft
$e_1 - e_5$	Stirnplattenmaße
$f_{y,k}$	Streckgrenze
$f_{y,b,k}$	Streckgrenze der Schraube
$f_{u,b,k}$	Zugfestigkeit der Schraube
F_{Schub}	Schubbeanspruchbarkeit der Stirnplatte
F_v	Vorspannkraft einer Schraube
h	Trägerhöhe
h_F	Schwerpunktastand der Flansche
h_P	Höhe der Stirnplatte
h_s	Abstand zwischen den Schwerpunkten der Schrauben im Zugbereich und des Druckflansches
K	Abstützkraft der Stirnplatte
l_{SQ}, l_{SN}, l_{FM}	Schweißnahtlängen
M_{pl}	plastisches Moment
M_y	Biegemoment
M_I, M_{II}, M_{III}	Biegemomente der Stirnplatte bzw. des Trägerflansches
n	Anzahl der vertikalen Schraubenreihen
n_{ges}	Gesamtanzahl der Schrauben
n_D	Anzahl der Schrauben im Druckbereich
n_Z	Anzahl der Schrauben im Zugbereich
N	Normalkraft
N_R	Zugbeanspruchbarkeit einer Schraube
r	Radius bei Walzprofilen
s	Stegdick
t_Z	Dicke des Trägerflansches im Zugbereich
t_1, t_2	Trägerflanschdicken
\ddot{u}	Plattenüberstand
$V_{a,R}$	Beanspruchbarkeit einer Schraube auf Abscheren
$V_{l,R}$	Beanspruchbarkeit einer Schraube auf Lochleibung
V_z	Vertikalkraft
$w_1 - w_3$	horizontale Stirnplattenmaße



Z_d	Ersatzzugkraft
Z_{Schr}	Zugkraft einer Schraube
$\alpha_a, \alpha_l, \alpha_w$	Abminderungsfaktoren
$\gamma_M = 1,1$	Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstandsgrößen
$\gamma_{\bar{F}}$	mittlerer Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen
μ	Verhältnis der ständigen zu den veränderlichen Einwirkungen
σ	Normalspannung
$\sigma_{w,R}, \tau_{w,R}$	Grenzscheißnahtspannungen
τ	Schubspannung

Nebenzeichen

Index d	Bemessungswert einer Größe
Index k	charakteristischer Wert einer Größe
Index D	Druckbereich
Index P	Platte
Index T	Träger
Index Z	Zugbereich



Anhang A: Literatur

- [1] Typisierte Verbindungen im Stahlhochbau, 2. Aufl.;
Deutscher Stahlbauverband DSTV in Zusammenarbeit mit dem
deutschen Ausschuß für Stahlbau; Stahlbau-Verlags-GmbH: Köln 1979
- [2] Thomsen, K./ Agerskov, H.: Versuche zur Ermittlung des
Tragverhaltens von Kopfplattenstößen;
Der Stahlbau 8/1973, S. 236-246
- [3] DIN 18800, Teil 1 und 2
Ausgabe November 1990
- [4] Lindner, J.: Stahlbau 1 bis 4 Vorlesungsskripten; Berlin 1989
- [5] DIN 18800, Teil 7: Stahlbauten; Herstellen, Eignungsnachweise zum
Schweißen - Ausgabe November 1990
- [6] Valtinat, G.: Schraubenverbindungen, Stahlbau Handbuch Band 1;
Stahlbau-Verlags-GmbH: Köln 1982, Seite 402-425