

Mehrschraubenverbindungen mit PC Bolt

Dresden, 15. Juni 2007

Prof. Dr.-Ing. **Berthold Schlecht**

Dr.-Ing. **Willi Gründer**

Dipl.-Ing. **Tobias Schulze**

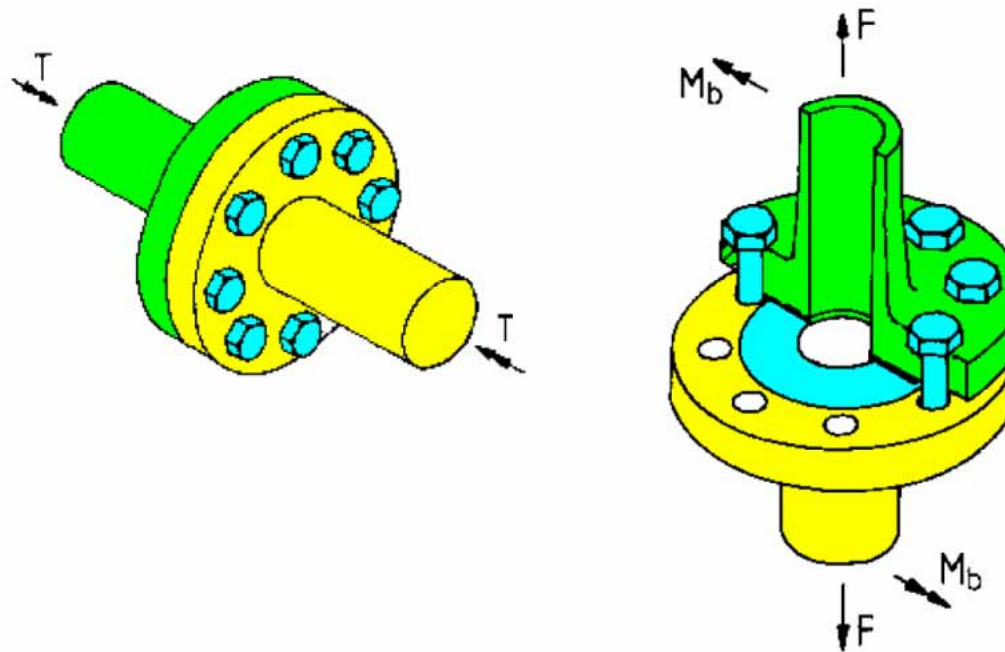
DriveConcepts
Software für die Antriebstechnik





Mehrschraubenverbindung

- Nur teilweise Berechnung nach VDI 2230 möglich
- Grundlage ist die Überführung in eine Einschraubenverbindung
- Ermittlung der maximalen Schraubebelastung
Abhängig von Elastizität des Flansches, Balkens...
Erfassung durch Balkentheorie, FEM
- Einschraubenberechnung nach VDI 2230



Einteilung Schraubenverbindungen



Einschraubenverbindungen		Mehrschraubenverbindungen						Schraubenv
zentrisch oder exzentrisch		in einer Ebene	rotations-symmetrisch			symmetrisch		Schrauben-achsen
Zylinder oder prismatischer Körper	Balken	Balken	Blindflansch	Flansch mit Dichtring	Flansch mit Flächenauflage	rechteckige Mehrschraubenverbindung	Kragflansch	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	Geometrie in Ebene
F_y M_z M_x F_x F_z	F_y M_z F_x	F_y M_z F_x	F_y P M_z M_x	F_y P M_z M_x	F_y M_y M_z M_x F_x F_z	F_y M_y M_z M_x F_x F_z	F_y M_y M_z M_x F_x F_z	Belastung relevante Lasten
Axialkraft F_A Querkraft F_Q Moment M_B	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Moment in der Balkenhauptebene M_z	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Moment in der Balkenhauptebene M_z	Axialkraft F_A (Rohrkraft) Moment M_B Innendruck P	Axialkraft F_A (Rohrkraft) Moment M_B Innendruck P	Axialkraft F_A Torsionsmoment M_T Moment M_B	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Torsionsmoment M_T Moment M_B	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Torsionsmoment M_T Moment M_B	Kräfte und Momente
VDI 2230		Bedingt nach VDI 2230			DIN 2505 AD-Merkbl. B7 VDI 2230	Bedingt nach VDI 2230		
Balkenbiegetheorie (VDI 2230) mit Zusatzbedingungen			Plattentheorie		Bedingt nach Ersatzmodellen			Berechnung
Finite Elemente Methode (FEM)								

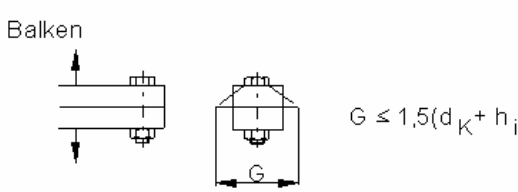
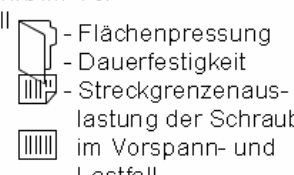


PC Bolt bietet analog zu dieser Einteilung Berechnungsmodule an

- Modul Balkenverbindung
- Modul Zylinderverbindung
- Modul rotat.-sym. Mehrschraubenverbindungen
- Modul Apparateflansch
- Modul Blindflansch
- Modul Kreisplatte
- Modul Rechteckflansch
- Modul Kragflansch

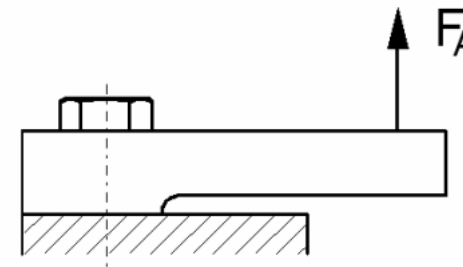
Für die einzelnen Module sind an der TU Berlin verschiedene Berechnungsverfahren entwickelt wurden.



Modul: Balkenverbindung	
Theorie	Neuendorf, K.: Ein Balkenmodell ... Diss. TU Berlin
Geometrie	Balken  $G \leq 1,5(d_K + h_p)$
Schraubenzahl	eine oder mehrere (max. 9)
Betriebslasten	- Kräfte - Momente - Streckenlasten
Schraubenvorgabe	- Nachrechnen, Abmaße extern vorgeben - Nachrechnen einer Normschraube
Ergebnisse	- nichtlineares Verhalten - Schraubenkraft - Biegelinie, Klaffpunkt im Vorspann- und Lastfall  <ul style="list-style-type: none"> - Flächenpressung - Dauerfestigkeit - Streckgrenzenauslastung der Schraube im Vorspann- und Lastfall
Besonderheiten	- Wahlweise 2 Balken oder Balken auf Unterlage

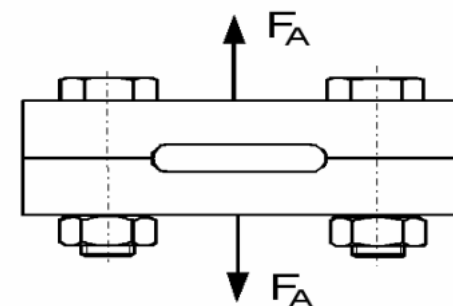
Gruppe 1:

Ein Balken ist auf eine unendlich starr angenommene Platte geschraubt



Gruppe 2:

Die Verbindung besteht aus zwei völlig symmetrischen Balken und wird symmetrisch belastet (in Planung)



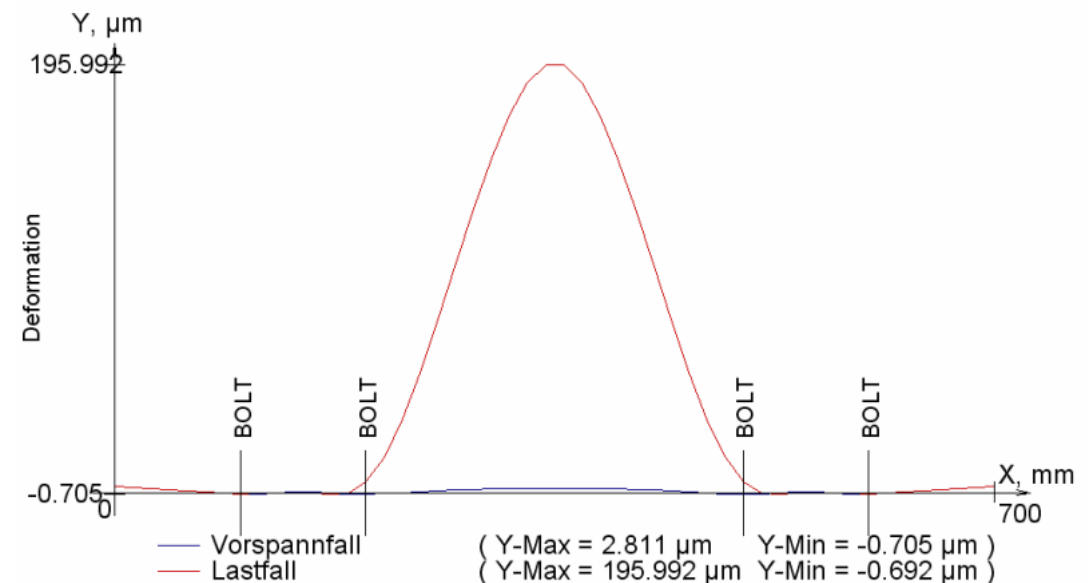


Theorie des Berechnungsmodells

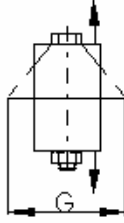


- Diskretisierung des Balkens mit finiten Balkenelementen
- Knoten an Lasteinleitungsstellen
- Berechnung Steifigkeiten aus Geometrie und Einbindung in DGL.
- Nichtlineares Verhalten bei Klaffen wird iterativ erfasst

Ergebnisse

- Verformungsdiagramm
- Schraubenbelastungen



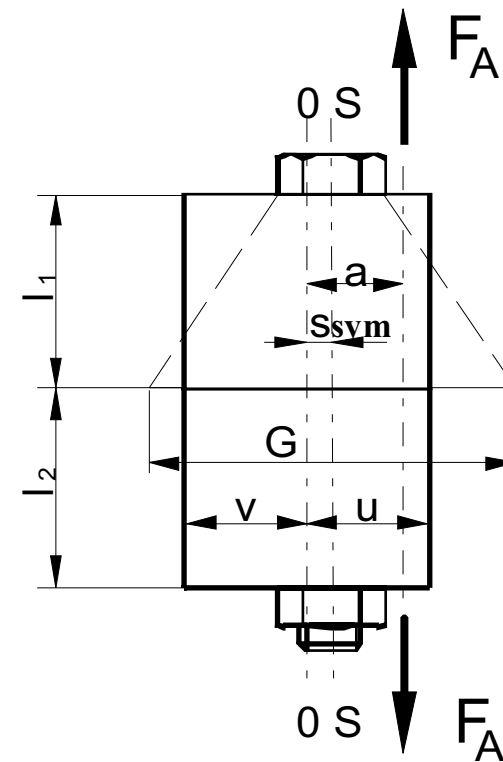


Geometrie	Zylinder  $G \leq d_K + h_{\min}$
Schraubenzahl	eine
Betriebslasten	Betriebskraft F_A und Exzentrizität a oder Betriebsmoment M_B
Schraubenvorgabe	<ul style="list-style-type: none"> - Nachrechnen, Abmaße extern vorgeben - Nachrechnen einer Normschraube - Dimensionieren und Optimieren
Ergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> - lineares Verhalten - Schraubenkräfte - Sicherheiten <div style="display: flex; align-items: center; margin-left: 20px;">  <ul style="list-style-type: none"> - Flächenpressung - Dauerfestigkeit </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-left: 20px; margin-top: 10px;">  <ul style="list-style-type: none"> - Streckgrenzenauslastung der Schraube im Vorspann- und Lastfall </div>



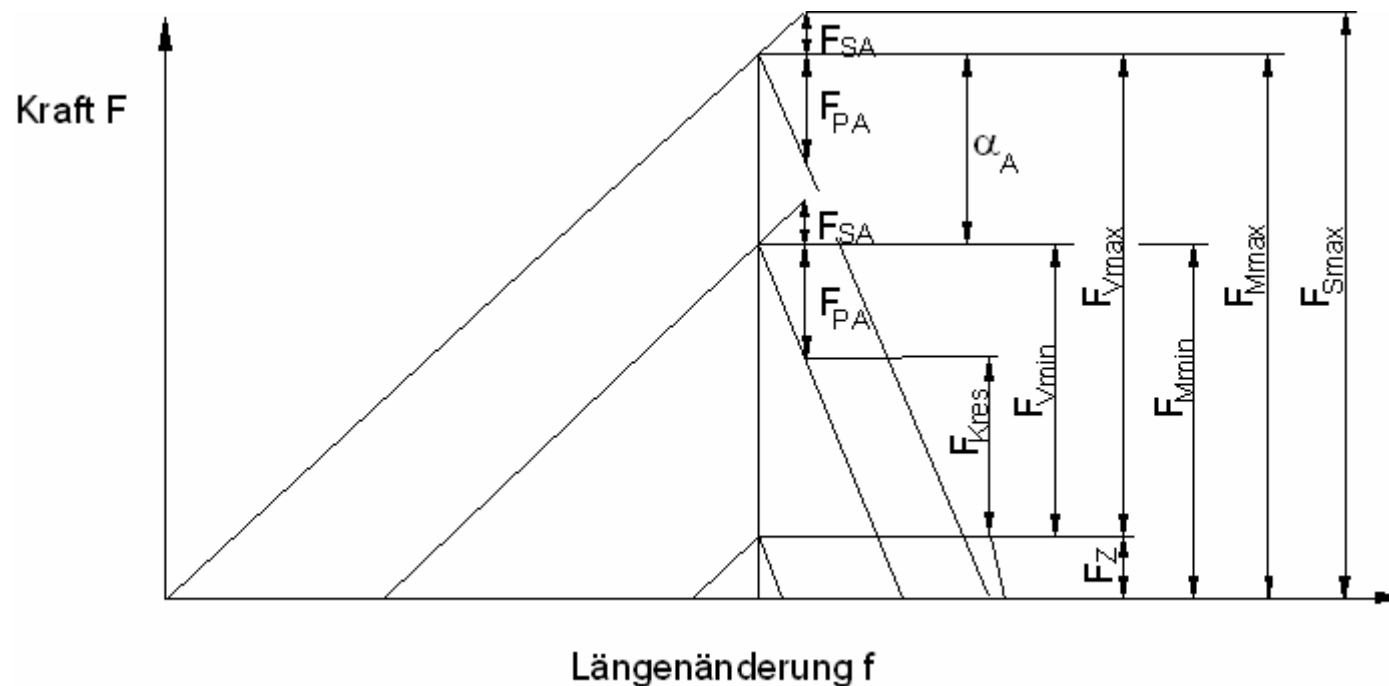
Geltungsbereich

- Nachrechnung und Dimensionierung
- Einschraubenberechnung
- Stahlschrauben M4 bis M39
- Zulässige Balkenbreite $dk + h_{min}$
(Schraubenkopfdurchmesser plus Balkenhöhe)
- Zentrische und exzentrische Axialkräfte
Querkräfte parallel zur Trennfuge
Biegemoment

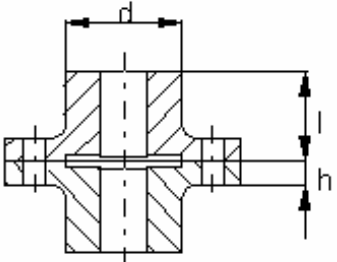


Theorie der Modellvorstellung

- Berechnungsansatz nach VDI 2230
- Grundlage für Berechnungsansätze aller anderen Module
- Ausgangspunkt Federmodell und Verspannungsdiagramm



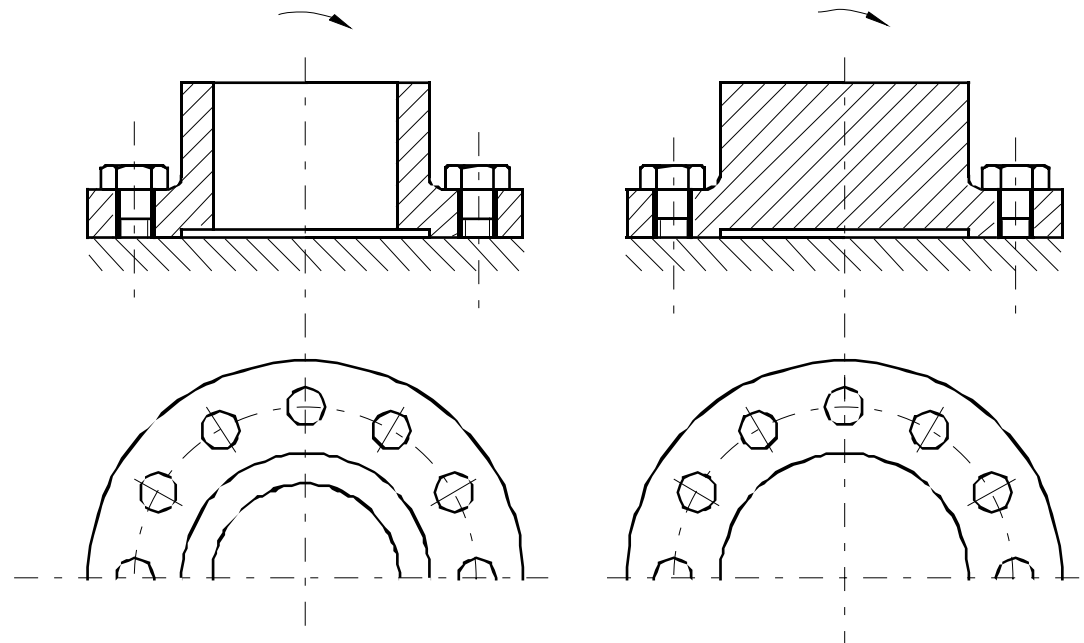


Modul: rotat.-sym. Mehrschraubenverb.	
Theorie	Untersuchungen zum Tragverhalten von Mehrschraubenverbindungen Diss. TU-Berlin Grothe, K.-H.
Geometrie	Flansch mit Flächenauflage 
Schraubenzahl	$z = \frac{d_l \cdot \pi}{d_K + h} \quad (\text{geradzahlig})$
Betriebslasten	- Betriebsmomente - (zentr. Axialkraft)
Schraubenvorgabe	- Nachrechnen, Abmaße extern vorgeben - Nachrechnen einer Normschraube



Geltungsbereich

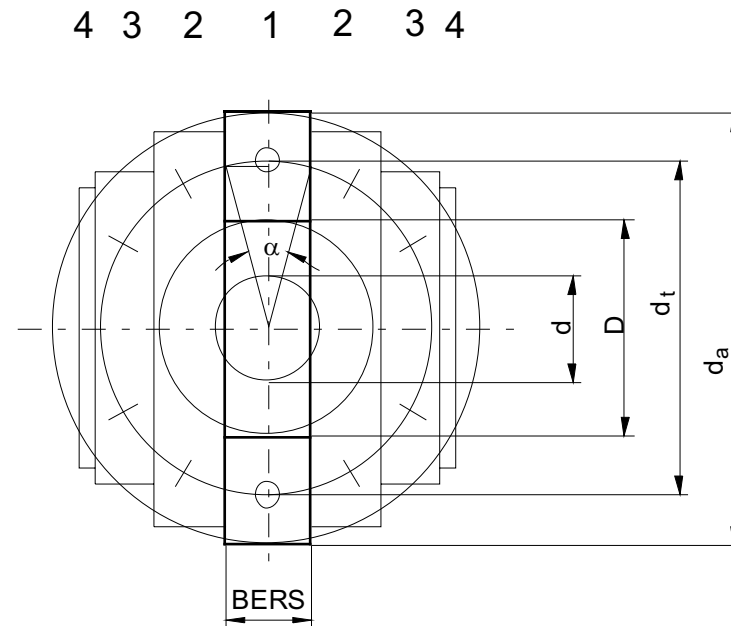
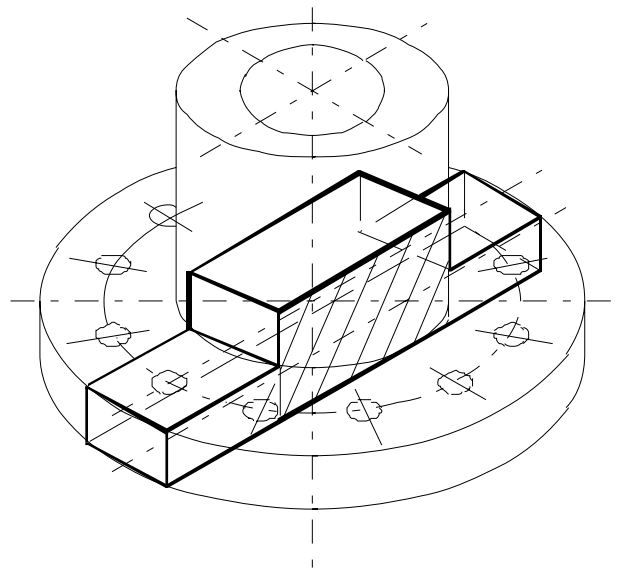
- Nachrechnung
- Rotationssymmetrischer Flansch sowie symmetrische Schraubenanordnung
- Belastung nur durch Biegemoment
- Verbindung gleicher Flansche oder Flansch auf starrer Platte
- Vollflansch oder Rohrflansch





Theorie der Modellvorstellung

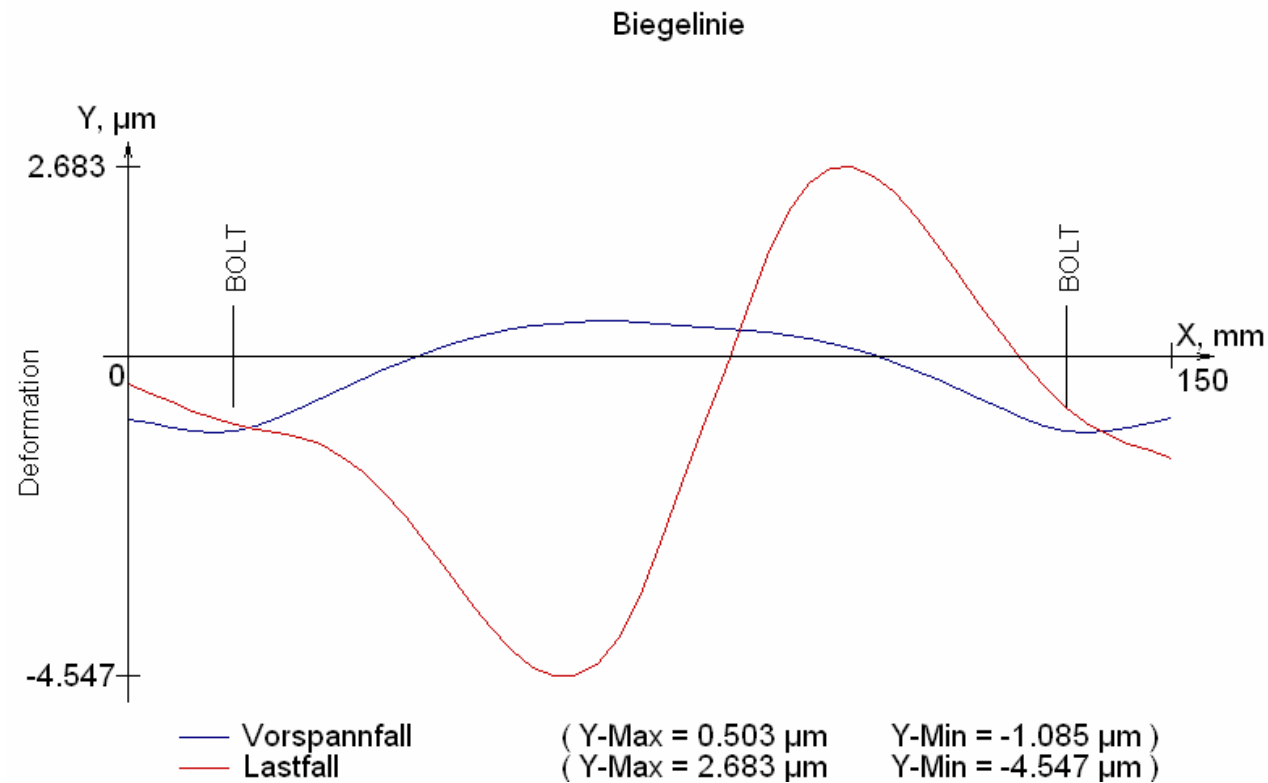
- Berechnungsgrundlage ist Dissertation „Untersuchungen zum Tragverhalten von Mehrschraubenverbindungen“, Grothe K.-H.
- Berücksichtigung der Flanschnachgiebigkeit durch elastische Balkenelemente
- Aufteilung Momentanteil erfolgt nach Teilkreisdurchmesser und Ersatzbreite

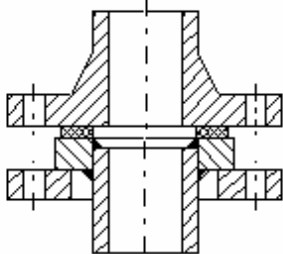




Ergebnisse

- Verformungsdiagramm
- Schraubenbelastungen

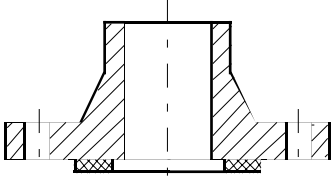
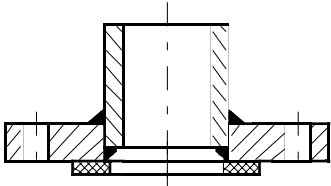
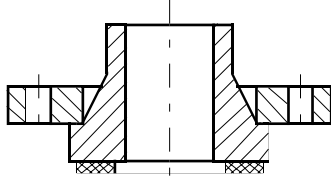
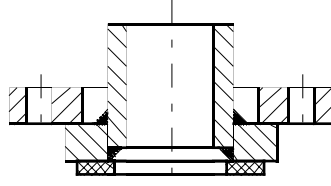


Modul: Apparateflansch		
Theorie	DIN 2505 VDI 2230 Juli 86	AD Merkblatt B7
Geometrie	Flansch mit Dichtring	
Schraubenzahl	beliebig (allg. durch 4 ganzzahlig teilbar)	
Betriebslasten	<ul style="list-style-type: none"> - Innendruck - Rohrzugkräfte - Rohrmomente 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorspannung - Temperatur
Schraubenvorgabe	<ul style="list-style-type: none"> - Nachrechnen, Abmaße extern vorgeben - Nachrechnen einer Normschraube - Dimensionieren 	



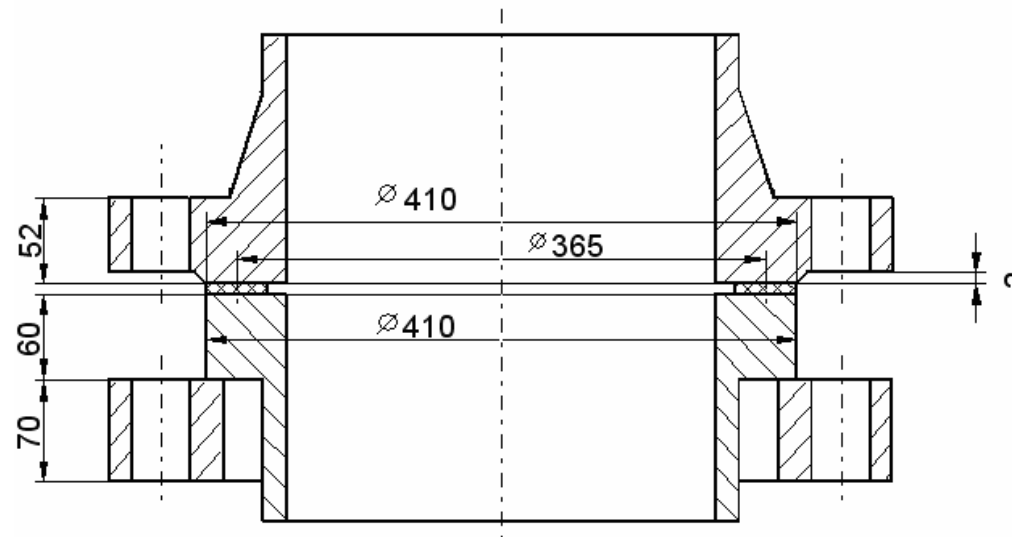
Geltungsbereich

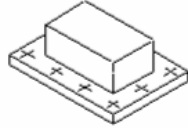



- Nachrechnung
- Verbindung von rotationssymmetrischer Flanschteilen mit Dichtring
- Belastung durch Innendruck, Zugkraft und Biegung möglich
- Berücksichtigung von Vorspannungen
- Es können die im Rohrleitungs- und Apparatebau typischen Flanschgeometrien verwendet werden (alle Kombinationen)

Vorschweißflansch	Aufschweißflansch	Losflansch mit Vorschweißbund	Losflansch mit Aufschweißbund
			

Theorie der Modellvorstellung

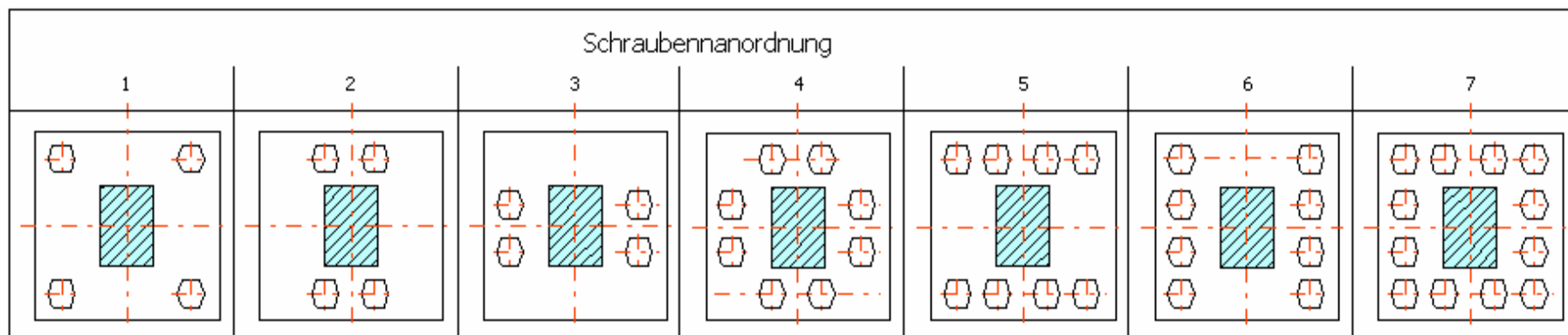
- Berechnungsgrundlage sind DIN 2505 und AD-Merkblatt B 7 /44 sowie Technischen Regeln für Dampfkessel TRD 309/45
- Kombination mit der VDI-Richtlinie 2230
- Bestimmung Schraubenkräfte nach notwendiger Dichtkraft unter Berücksichtigung der Entlastung durch Betriebskräfte
- Berechnung Flanschnachgiebigkeiten nach VDI 2230
- Spannungsanalyse der Flansche in der kritischen Ebene



Modul: Rechteckflansch	
Theorie	Balkenbiegung, FEM (teilweise noch unveröff.)
Geometrie	Rechteckflansch mit Flächenauflage 
Schraubenzahl	beliebig, (ganzzahlig durch 4 teilbar)
Betriebslasten	- Biegemoment (- Axiallast vorher.)
Schraubenvorgabe	- Nachrechnen, Abmaße extern vorgeben - Nachrechnen einer Normschraube
Ergebnisse	- Schraubenkräfte der max. und min. belasteten (-entlasteten) Schraube der gewählten Symmetrieachse mit - Biegelinie im Vorspann- und Lastfall - Sicherheiten  - Flächenpressung  - Dauerfestigkeit  - Streckgrenzenüberschreitung
Besonderheiten	- Starre Unterlage

Geltungsbereich

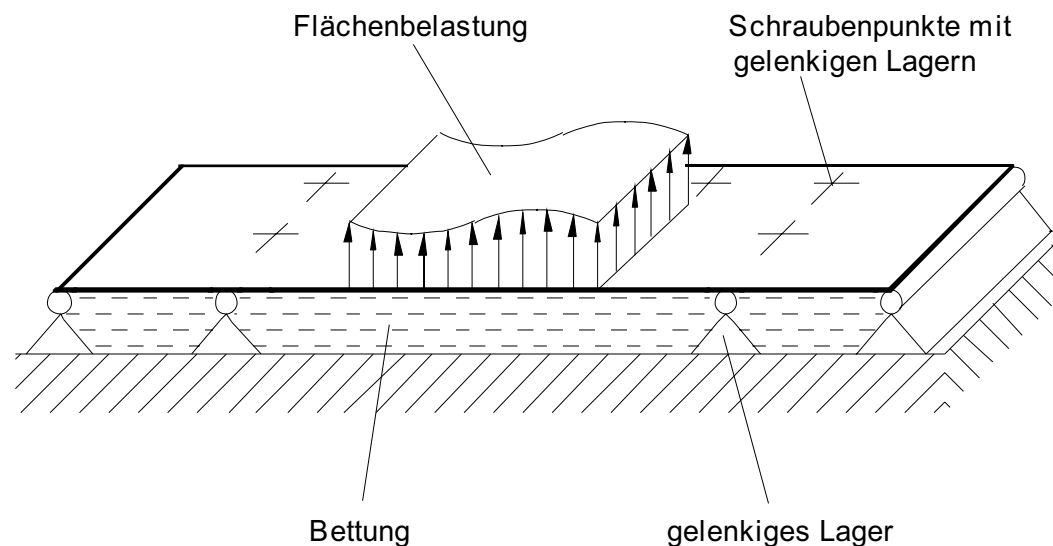
- Nachrechnung
- Längskräfte und Biegemomente (Hauptbiegeachsen und Diagonale)
- Klaffen ist möglich
- Maximale Schraubenanzahl ist 12
- Schraubenanordnung und Anzahl sind auf folgende Fälle beschränkt





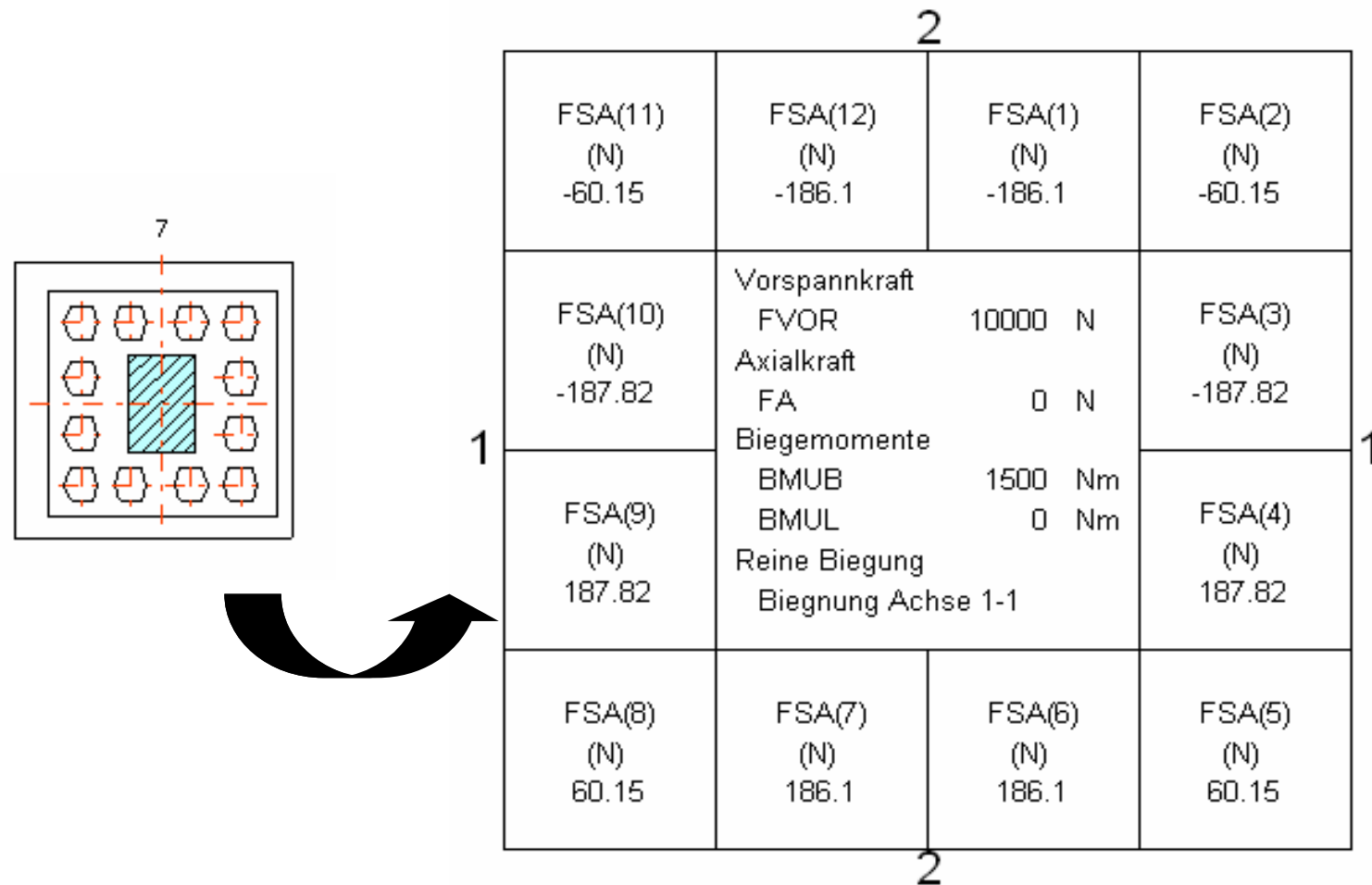
Theorie der Modellvorstellung

- Berechnungsgrundlagen sind Theorie der Platten nach KIRCHHOFF oder Balkenmodell (manuelle Auswahl)
- Ermittlung Flanschnachgiebigkeiten mit Mehrstellenverfahren nach ZURMÜHL R.
- Berücksichtigung verschiedener Belastungen durch Superpositionsprinzip



Ergebnisse

- Schraubenkräfte



- Bis jetzt existiert kein Berechnungsstandard der den Einfluss der Flanschelastizität auf die Lastverteilung berücksichtigt
- PC Bolt bietet Näherungsverfahren zur Berücksichtigung der Elastizität
- Es wird eine große Anzahl an Verbindungsarten angeboten