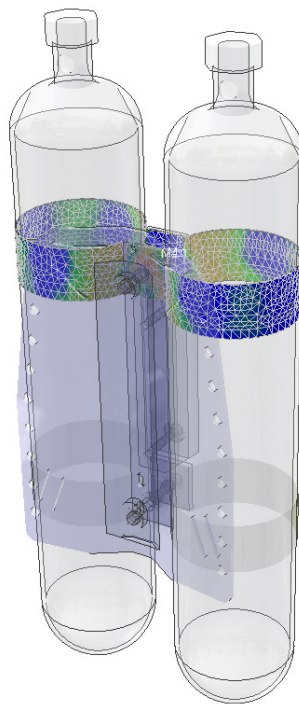


Blue Steel



Bericht_0609

„Mechanische Spannungen“

Anregung

Die Sicherheit des Tauchsports beginnt im Kopf und endet in der korrekten Funktionalität des Tauchequipment. Das Tauchequipment besteht aus vielen einzelnen von einander abhängigen Teilsystemen. Wobei das Versagen eines einzelnen Teilsystems katastrophale Folgen hervorrufen kann. Teilsysteme des Tauchequipment sind z.B. elektronische Einheiten, korrekte Buchführung aber auch mechanische Verbindungen. Die mechanischen Verbindungen sollen das Thema in diesem Bericht sein. Oft werden mechanische Verbindungen leichtsinnig rein optisch oder nach Gefühl auf ihre Sicherheit beurteilt: „stabiles Aussehen“, „starkes Anziehen“ oder teures Material ist nicht gleich sicherer Halt! Ein wichtiger Punkt hierzu, sind mechanische Spannungen in Bauteilen. Mechanische Spannungen sind nicht direkt sichtbar, abhängig von der Krafteinleitung, den Materialeigenschaften und der Bauteilgeometrie. Ein stark unter Spannungen stehendes Bauteil ist z.B. die Schelle in Doppelpaketen von Tauchflaschen. Diese wird auf Zug und Biegung beansprucht. Sie besteht aus einer Geometrie mit Löchern, Rundungen und Kanten. Änderungen in der Geometrie bieten Angriffsflächen für den aus Zug und Biegung resultierenden Kraftfluss im Bauteil. Spannungen tragen die Einheit Kraft pro Fläche. Das heißt bei großen Kräften und kleinen Flächen sind die Spannungen maximal. Die nachfolgenden Seiten sollen das Verhalten von mechanischen Spannungen in Bauteilen darstellen und somit die optimale Befestigungsart, sowie die Befestigungspositionen von belasteten Bauteilen erklären. Des Weiteren wird die Belastung der Schelle aus der Doppel 8,5l Flaschenkonfiguration, wie sie bei Blue Steel erhältlich ist, aus den statischen Gegebenheiten des Systems analysiert. Weitergehend wird aus den ermittelten Werten die Schelle entsprechend belastet und der Spannungsverlauf analysiert. Auf Grund der Analyse und der resultierenden Logik, welche auf die zuvor kennengelernten Spannungsverläufen in Bauteilen basiert, kann die optimale Befestigungsart und Position der Schelle offengelegt werden. Die nachfolgenden Berechnungen und Analysen wurden mit hohen Sicherheiten beaufschlagt und müssten für eine exakte Aussage über die Ausgangsgrößen in der Tiefe betrachtet werden. Für die Aussage über die Sicherheit, sowie über die optimale Befestigungsart und Position der Schelle sind die Berechnungen und Analysen jedoch weitestgehend hinreichend.

Die grundlegende Anregung zu diesem Bericht ist, dass das Blue Steel Team sich verpflichtet fühlt alle eventuellen Sicherheitslücken im Tauchequipment offenzulegen und diese auf ihre korrekte Funktionalität zu prüfen. Routine führt schnell zur Vernachlässigung des Details oder zu Aussagen wie „das sieht stabil aus also muss es gut sein“! Dies soll der erste Bericht sein welcher solche Aussagen in Frage stellt. Für weitere Anregungen wie Themen bzgl. Sicherheit im Tauchequipment oder Fragen bzw. Hinweise zu diesem Bericht setzt sich das Blue Steel Team gerne mit euch zusammen und findet eine Lösung.

Ein nächster Punkt könnte z.B. sein: Maximale Anzugsmomente von Schrauben. Sind die bekannt?
 Oder wird folgendes Anzugsverfahren genutzt „schön fest anziehen, so dass muss halten“.
 Denkt daran „nach fest kommt ab“!

Jetzt aber zunächst das Thema „Mechanische Spannungen“

Euer Blue Steel Team „Wir leben Lösungen“

Inhalt

1	Mechanische Spannungen	5
1.1	Zusammengesetzte Normalspannungen.....	6
1.2	Visualisierung von Spannungen durch Finite-Elemente-Methode (FEM)	6
2	Lastannahmen für Schellenanalyse	11
2.1	Kräfte und Verformungsverhältnisse	12
3	Spannungsanalyse	12
3.1	Spannungsanalyse_Model_1.....	13
3.1.1	Materialdaten für Modell_1-_3	14
3.1.2	Lastannahmen für Modell_1-_3.....	14
3.1.3	Lagerbedingungen für Modell_1.....	14
3.1.4	Maximale Hauptspannungen und Sicherheitsfaktoren Modell_1	15
3.2	Spannungsanalyse Model_2.....	16
3.2.1	Materialdaten	16
3.2.2	Lastannahmen.....	16
3.2.3	Lagerbedingungen Modell_2	16
3.2.4	Maximale Hauptspannungen und Sicherheitsfaktoren Modell_2	17
3.3	Spannungsanalyse Model_3.....	18
3.3.1	Materialdaten	18
3.3.2	Lastannahmen.....	18
3.3.3	Lagerbedingungen.....	18
3.3.4	Maximale Hauptspannungen und Sicherheitsfaktoren Modell_3	19
3.4	Vergleich der Verlaufsformen Modell_1-_3.....	20
3.5	Vergleich der Zahlen Modell_1-_3.....	21
4	Quintessenz.....	22
4.1	Modell_1	22

4.2	Model_2	23
4.3	Model_3	24
4.4	Modell_ Vorschlag	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Zugspannungen	5
Abbildung 2	Druckspannungen	5
Abbildung 3	Biegespannungen	6
Abbildung 4	Superpositionsprinzip (Maschinenelemente / Konstruktion – Festigkeit und Dimensionierung Prof. Dirk Hennings)	6
Abbildung 5	Vergleichsspannungen Fall 1	7
Abbildung 6	Vergleichsspannungen Fall 2	7
Abbildung 7	Vergleichsspannungen Fall 3	8
Abbildung 8	Vergleichsspannungen Fall 4	8
Abbildung 9	Vergleichsspannungen Fall 5	9
Abbildung 10	Vergleichsspannungen Fall 6	9
Abbildung 11	Kraftfluss durch Entlastungskerbe bei Nuten	10
Abbildung 12	Vergleichsspannungen Fall 7	10
Abbildung 13	Vergleichsspannungen Fall 8	10
Abbildung 14	Netzrelevanz für Modell_1-_3	13
Abbildung 15	Lagerbedingungen Modell_1	14
Abbildung 16	Max. Hauptspannungen Modell_1	15
Abbildung 17	Sicherheitsfaktor Modell_1	15
Abbildung 18	Lagerbedingungen Modell_2	16
Abbildung 19	Max. Hauptspannungen Modell_2	17
Abbildung 20	Sicherheitsfaktor Modell_1	17
Abbildung 21	Lagerbedingungen Modell_3	18
Abbildung 22	Max. Hauptspannungen Modell_3	19
Abbildung 23	Sicherheitsfaktor Modell_3	19
Abbildung 24	Modell_1 Max. Spannungen	
Abbildung 25	Modell_1 Sicherheitsfaktor	20
Abbildung 28	Modell_3 Max. Spannungen	
Abbildung 29	Modell_3 Sicherheitsfaktor	20

Abbildung 30 Lastaufnahme Modell_1	22
Abbildung 31 Lastaufnahme Modell_2	23
Abbildung 32 Spannungsverlauf in gekerbten Bauteilen	24

1 Mechanische Spannungen

Wird ein Bauteil unter Zug, Druck oder Biegung beansprucht entstehen mechanische Spannungen. Treten im Bauteil Kanten oder Knicke auf, wird der Spannungsverlauf beeinflusst und es entstehen Spannungsspitzen(Maxima). Mechanische Spannungen tragen die Einheit Kraft pro Fläche F/A [N/mm^2] und sorgen für die Deformation eines Bauteils. Übersteigen die Spannungen im Bauteil die maximale Zugfestigkeit des Werkstoffes, führen diese zur plastischen Deformation. Der Werkstoff wird verfestigt und verliert seine Elastizität. Das Bauteil wird zerstört.

Der Spannungsverlauf im Bauteil ist Abhängigkeit von der Art der Belastung:

Eine im Querschnittschwerpunkt angreifende Normalkraft F verursacht eine in allen Punkten des Querschnitts wirkende konstante Normalspannung σ_Z bzw. σ_D .

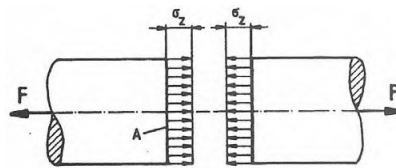


Abbildung 1 Zugspannungen

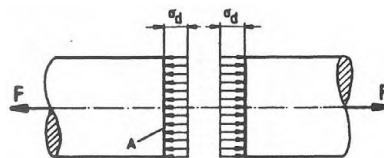


Abbildung 2 Druckspannungen

Das Biegemoment M_b ruft in dem Balken eine über den Querschnitt linear verteilte Biegespannung $\sigma_b(z)$ hervor. Dabei sind drei Bereiche zu unterscheiden:

- $\sigma_b(z) > 0$ Zugspannungen
- $\sigma_b(z) = 0$ neutrale Faser
- $\sigma_b(z) < 0$ Druckspannungen

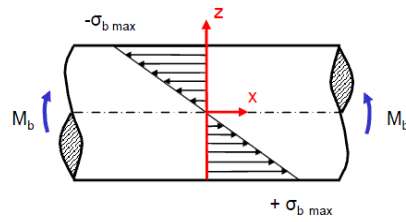


Abbildung 3 Biegespannungen

1.1 Zusammengesetzte Normalspannungen

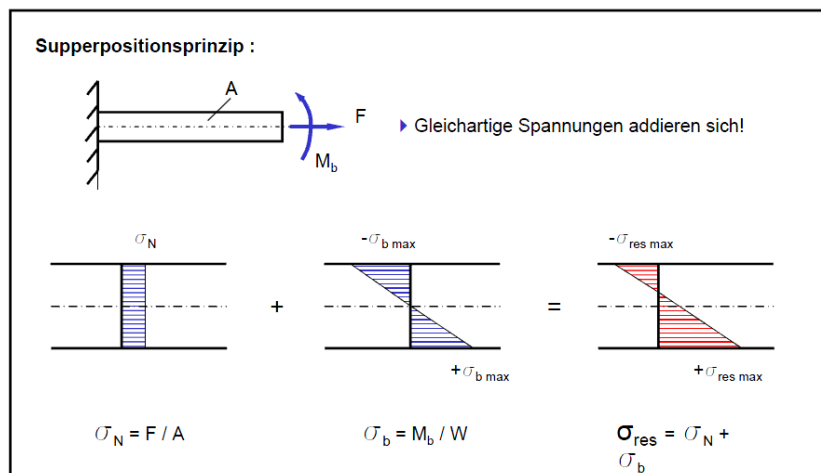
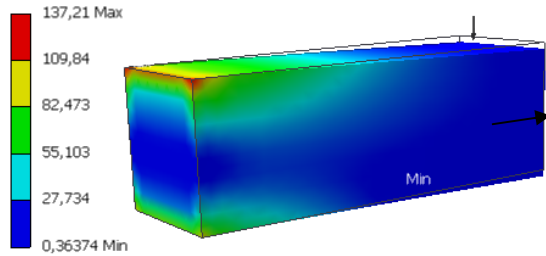


Abbildung 4 Superpositionsprinzip (Maschinenelemente / Konstruktion – Festigkeit und Dimensionierung Prof. Dirk Hennings)

1.2 Visualisierung von Spannungen durch Finite-Elemente-Methode (FEM)

Nachfolgend wird ein Balken auf Zug und Biegung beansprucht. Der Balken ist am vorderen Ende eingespannt und hat an dieser Stelle das maximale Moment.

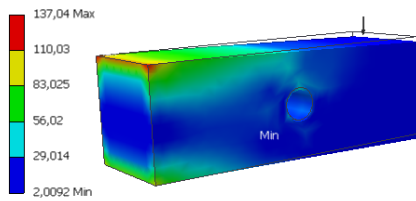
Vergleichsspannung
Typ: Vergleichsspannung
Einheit: MPa
14.06.2009 15:25



Hier wird deutlich, dass die maximalen Spannungen sich im Randbereich befinden. Die Normalspannungen und Biegespannungen addieren sich und bilden die maximale Vergleichsspannung im oberen linken Randbereich.

Abbildung 5 Vergleichsspannungen Fall 1

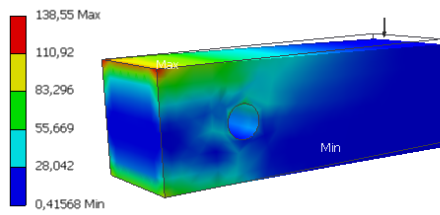
Vergleichsspannung
Typ: Vergleichsspannung
Einheit: MPa
14.06.2009 15:28



Unter gleichen Beanspruchungen wird ein Loch durch die Mitte des Bauteils simuliert. Es wird deutlich, dass der Kraftfluss gestört wird aber die Spannungen nicht gravierend ansteigen. ($\sigma(z) = 0$ neutrale Faser)

Abbildung 6 Vergleichsspannungen Fall 2

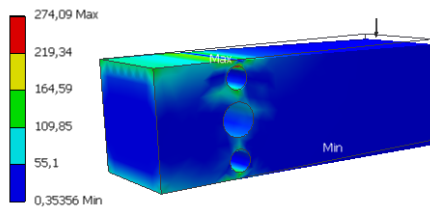
Vergleichsspannung
 Typ: Vergleichsspannung
 Einheit: MPa
 14.06.2009 15:32



Durch das Verschieben des Loches in den vorderen Bereich des Bauteils steigt die Spannung weiterhin nur geringfügig an.
 $(\sigma_b(z) = 0 \text{ neutrale Faser})$

Abbildung 7 Vergleichsspannungen Fall 3

Vergleichsspannung
 Typ: Vergleichsspannung
 Einheit: MPa
 14.06.2009 15:34

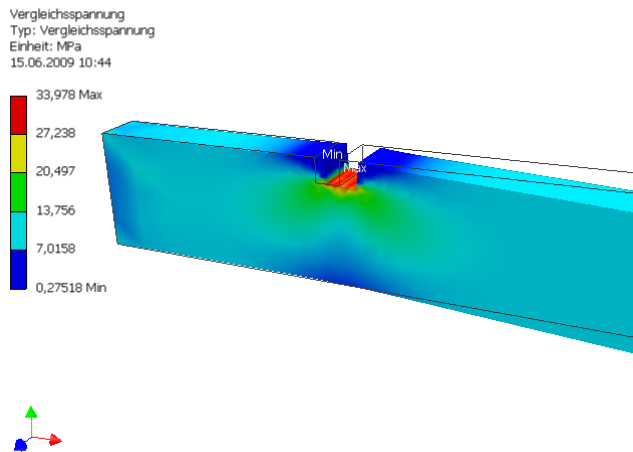


Hier werden nun zwei weitere Löcher im oberen und unteren Bereich des Bauteils hinzugefügt. Es ist ein deutlicher Spannungsanstieg zu registrieren.

$\sigma_b(z) > 0$ Zugspannungen
 $\sigma_b(z) = 0$ neutrale Faser
 $\sigma_b(z) < 0$ Druckspannungen

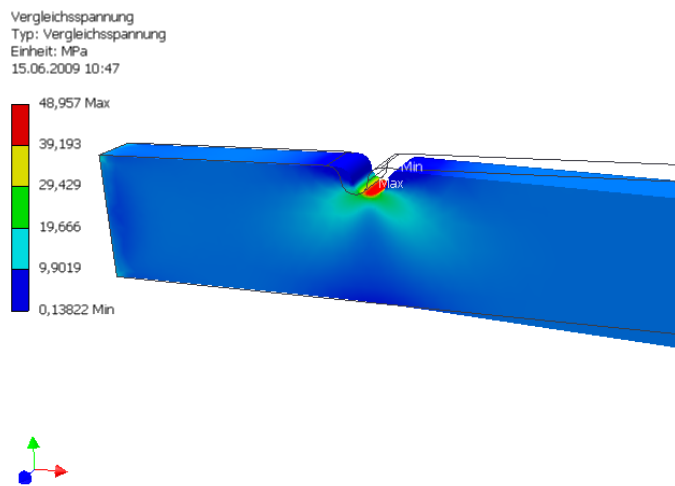
Abbildung 8 Vergleichsspannungen Fall 4

Bauteile welche auf Biegung beansprucht werden, sollten möglichst in der Mitte befestigt sein. Hier sind die Spannungen relativ klein und somit das Risiko der Bauteilerstörung am geringsten. Ein weiterer wichtiger Punkt ist der Spannungsverlauf bei Kerben, Nuten oder Kanten in Bauteilen. Der Kraftfluss wird gestört und es resultiert eine Erhöhung der tatsächlichen Spannung. Folglich ein Beispiel für diesen Punkt:



Das Bauteil wird auf Zug beansprucht.
 Die maximalen Spannungen liegen im Bereich der Aussparung.

Abbildung 9 Vergleichsspannungen Fall 5



Ein Abrunden der Kanten im maximalen Spannungsbereich führt zur Konzentration der Spannungen im Scheitelpunkt. Der Angriffspunkt der Fläche verkleinert sich und die Spannungen steigen an.
 Spannungen = $F/A = \text{Kraft}/\text{Fläche}$

Abbildung 10 Vergleichsspannungen Fall 6

Eine Methode zur Spannungsreduzierung in Kerben ist, den Kraftfluss durch Entlastungskerben schon vor der Kerbe umzuleiten. Entlastungskerben sorgen für einen sanfteren Kraftfluss.

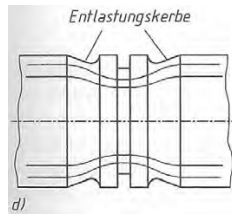
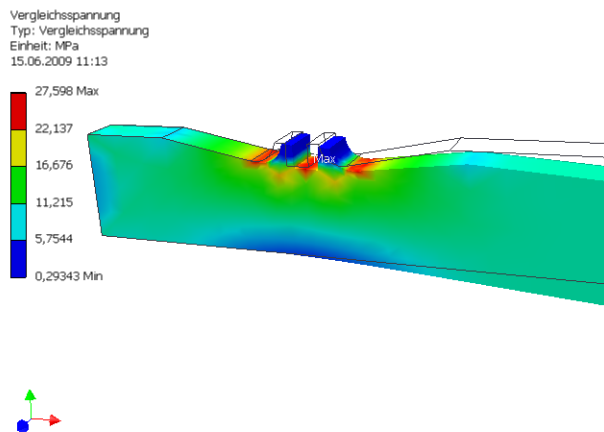
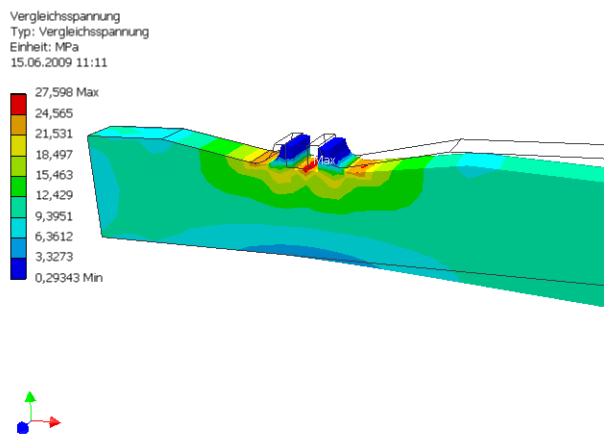


Abbildung 11 Kraftfluss durch Entlastungskerbe bei Nuten



Spannungsreduzierung gegenüber
 Abbildung 9 bei gleicher Last durch
 sanftes Umleiten des Kraftflusses.

Abbildung 12 Vergleichsspannungen Fall 7

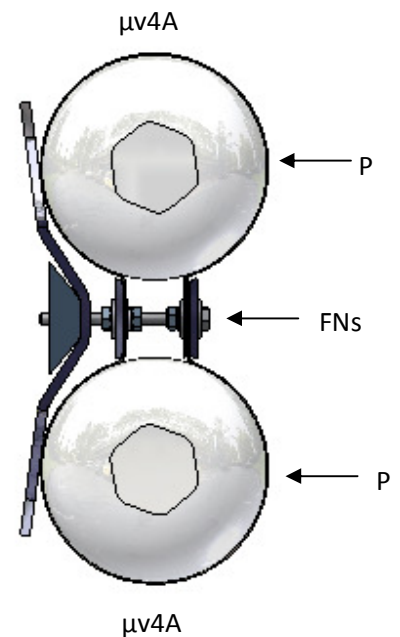
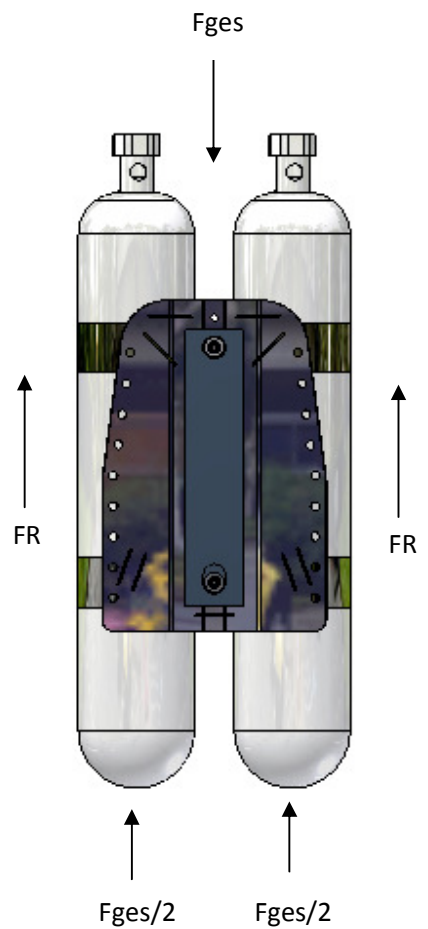
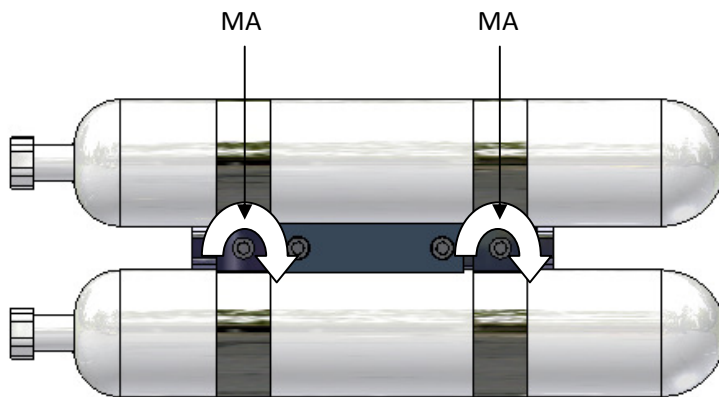


wie Abbildung 12 nur mit
 abgestuftem Spannungsverlauf zur
 Verdeutlichung des Verlaufes.

Abbildung 13 Vergleichsspannungen Fall 8

2 Lastannahmen für Schellenanalyse

Belastung Schellen gez.:	28,8 Kg
Anwendungsfaktor KA,S,D mittelstark (Stoß, Dynamik)	2,2
F_{ges}	622 N
$(F_{ges}) \leq FR * 2$	622 N
$2 * FR \leq FN_s * \mu v4A$	
$\mu v4A$	0,15
Schraubverbindungen	2
$FN_s = FR / 4 * \mu v4A$	1036 N
$F_{ps} = P * A_s$	
$A_s =$	47325,723000 mm ²
$P = FN_s / A_s$	0,022 Mpa
Schraubenberechnung (nach VDI 2230)	
$M_A = FN_s [r_2 \tan(\alpha + p') + \mu v4A * r_a]$	
Schraube: DIN EN 24017 M8 x 100	
$P =$ Steigung	1,25
$r_a = 0,25(D_k + D_i) \sim 0,7 * D$	
$D =$ Gewindenenddurchmesser	8 mm
$r_a =$ mittlerer Auflageradius	5,6 mm
$r_2 =$ Flankendurchmesser	3,594 mm
$\alpha = \arctan(P / 2 * \pi * r_2)$	3,17 °
μ_s	0,2
$p' = \arctan(\mu_s)$	11,31
$M_A =$ Anzugsmoment	1,83 Nm
$S_v =$ Sicherheitsfaktor	3,0
$M_{A_s} =$ hinreichendes Anzugsmoment	5,49 Nm



2.1 Kräfte und Verformungsverhältnisse

Anziehverfahren:

Die Funktionstüchtigkeit einer Verschraubung wird maßgeblich durch die Genauigkeit des Aufbringens der benötigten Vorspannkraft bestimmt.

Anziehverfahren	Streuung Fv	Anziehungsfaktor KA	Anzugsmoment [Nm]
Anziehen von Hand	≥+/-60%	4	22,0
Anziehen mit Schlagschrauber oder Impulsschrauber	,+/- 43-60%	2,5-4	22,0
Drehmomenten gesteuertes Anziehen mit einfachen Drehmomentenschlüssel	,+/-26-43%	1,7-2,5	13,7
Drehmomenten gesteuertes Anziehen mit signalgebenden Drehmomentenschlüssel	,+/-23-28%	1,6-1,8	9,9
Hydraulisches Anziehen	,+/-17-23%	1,4-1,6	8,8
Streckgrenz- oder drehwinkelgesteuertes Anziehen	,+/-5-12%	1,2	6,6

3 Spannungsanalyse

In der Spannungsanalyse werden drei verschiedene Schellenmodelle untersucht. Die Modelle weichen in der Gestalt und, oder der Verbindungsart von einander ab. Die Belastungen bleiben unverändert.

Modell_1

Verbindungsart: Kraftschlüssig

Modell_2

Verbindungsart: Formschlüssige Verbindung der Schelle (Durchgangsgewinde)

Modell_3

Verbindungsart: Kraftschlüssig + Geometrieoptimierung

3.1 Spannungsanalyse_Model_1

Geometrie und Netz

Begrenzungsrahmenmaße	331,0 mm
331,0 mm	142,5 mm
142,5 mm	60,0 mm
60,0 mm	
Teilemasse	0,7877 kg
Teilevolumen	9,749e+004 mm ³
Netzrelevanzeinstellung	-20
Knoten	123904
Elemente	74271

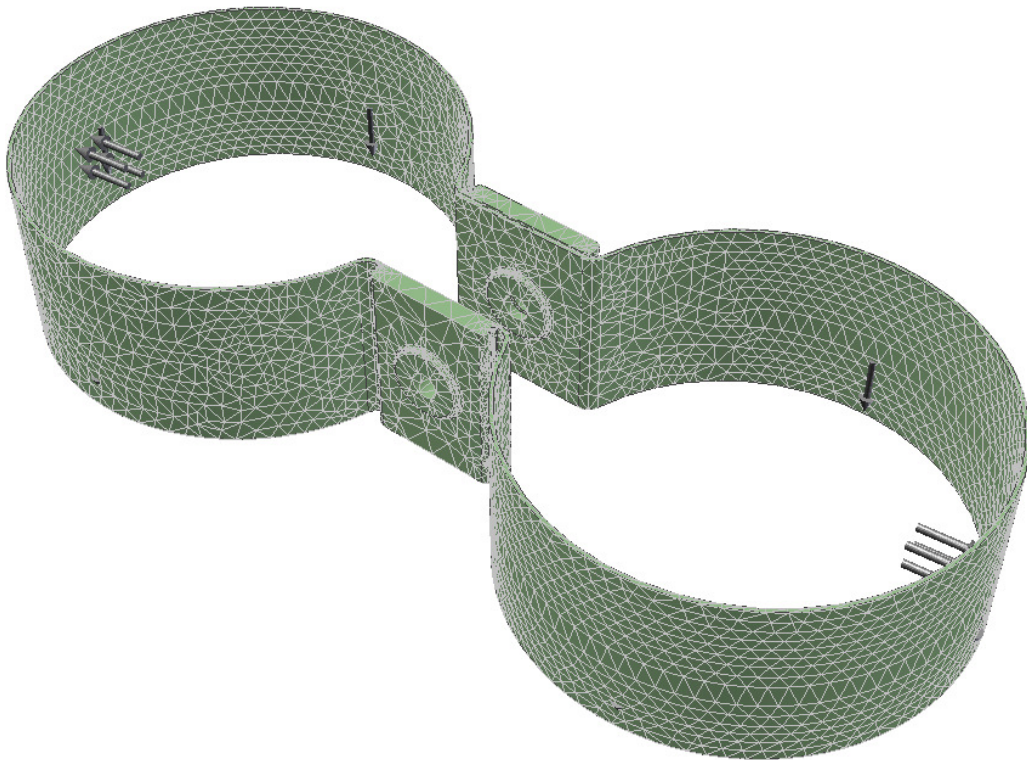


Abbildung 14 Netzrelevanz für Modell_1-_3

3.1.1 Materialdaten für Modell_1-3

Edelstahl	1.4571: (V4A)
Elastizitätsmodul	1,93e+005 MPa
Poissonsche Zahl	0,3
	8,08e-006
Massendichte	kg/mm ³
Zug-Streckgrenze	250,0 MPa
Zugfestigkeit	540,0 MPa

3.1.2 Lastannahmen für Modell_1-3

Name	Typ	Größe	Vektor
Kraft 1	Oberflächenkraft	103,7 N	0,0 N
			0,0 N
			-103,7 N
Kraft 2	Oberflächenkraft	103,7 N	0,0 N
			0,0 N
			-103,7 N
Kraft 3	Oberflächenkraft	103,7 N	0,0 N
			2,0 N
			-103,7 N
Druck 1	Flächenpressung	2,2e-002 MPa	-
Druck 2	Flächenpressung	2,2e-002 MPa	-

3.1.3 Lagerbedingungen für Modell_1

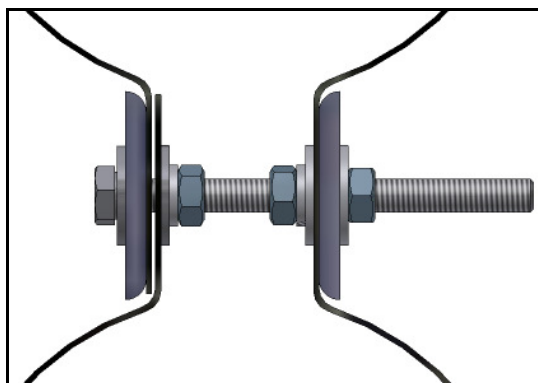


Abbildung 15 Lagerbedingungen Modell_1

3.1.4 Maximale Hauptspannungen und Sicherheitsfaktoren Modell_1

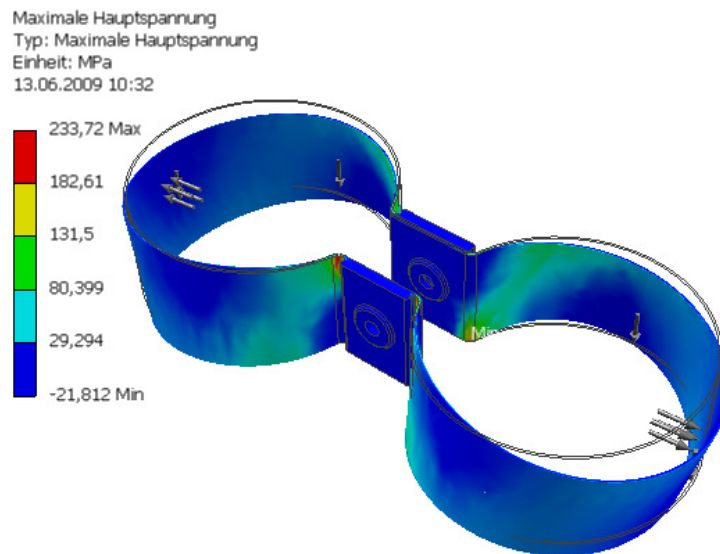


Abbildung 16 Max. Hauptspannungen Modell_1

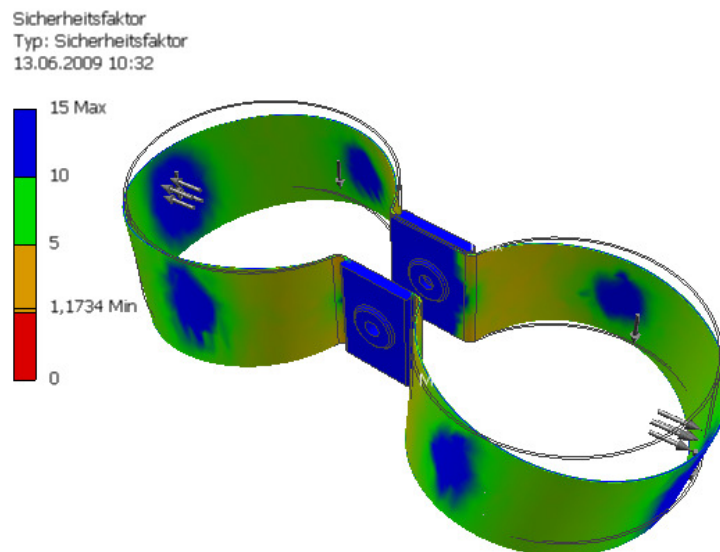


Abbildung 17 Sicherheitsfaktor Modell_1

3.2 Spannungsanalyse Model_2

Netz und Geometrie:

wie: Model_1 + Gewindebohrungen



3.2.1 Materialdaten

wie: Model_1

3.2.2 Lastannahmen

wie: Model_1

3.2.3 Lagerbedingungen Modell_2

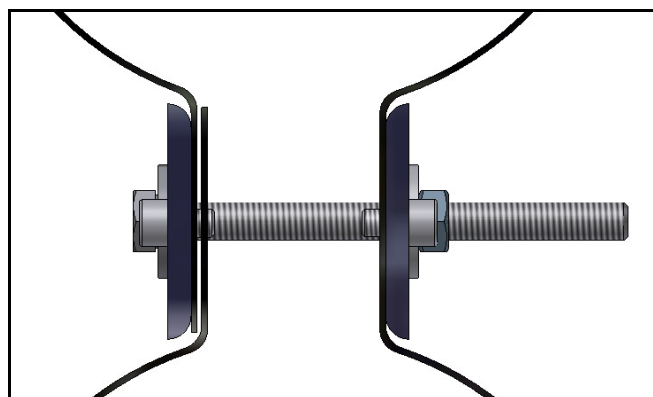


Abbildung 18 Lagerbedingungen Modell_2

3.2.4 Maximale Hauptspannungen und Sicherheitsfaktoren Modell_2

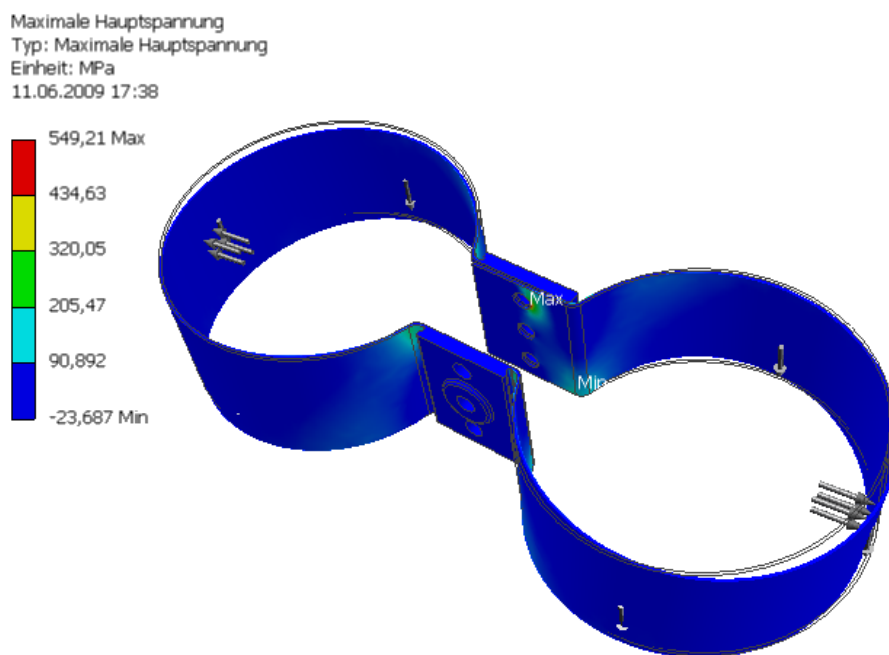


Abbildung 19 Max. Hauptspannungen Modell_2

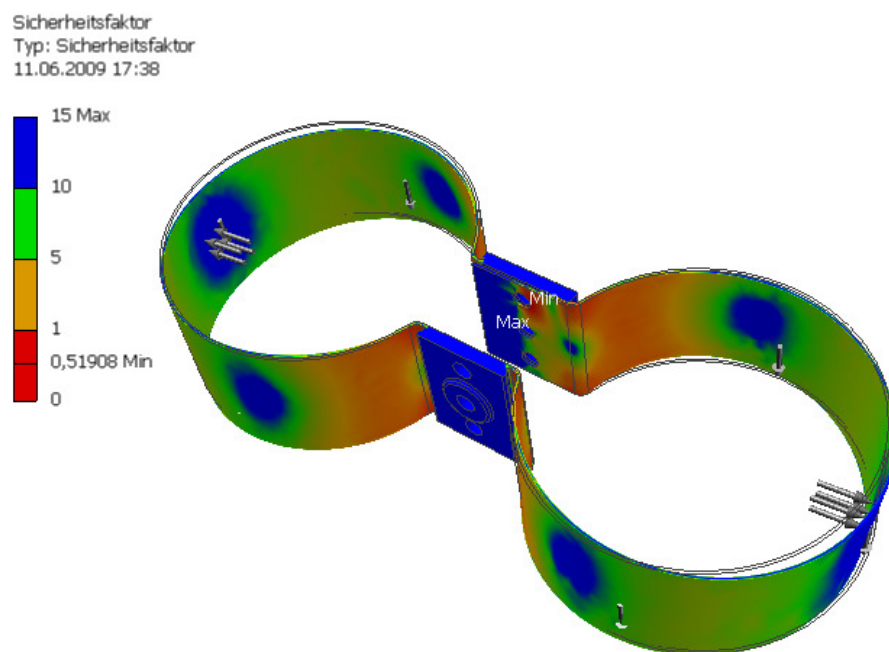
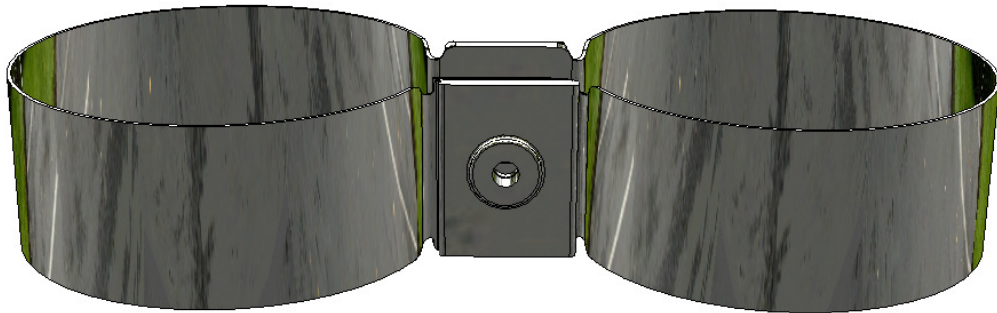


Abbildung 20 Sicherheitsfaktor Modell_1

3.3 Spannungsanalyse Model_3

Geometrie und Netz

wie: Model_1 nur mit abgerundeten Eckverbindungen im maximalen Spannungsbereich.



3.3.1 Materialdaten

wie: Model_1

3.3.2 Lastannahmen

wie: Model_1

3.3.3 Lagerbedingungen

wie: Model_1

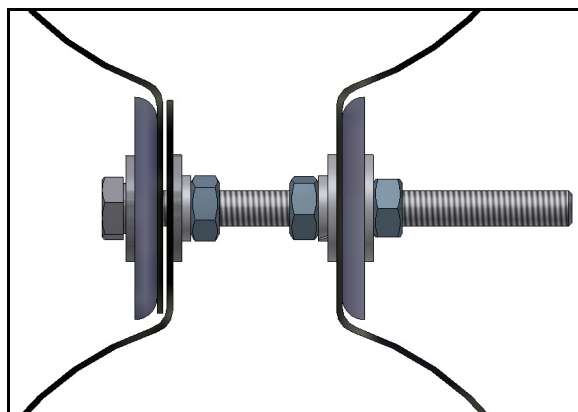


Abbildung 21 Lagerbedingungen Modell_3

3.3.4 Maximale Hauptspannungen und Sicherheitsfaktoren Modell_3

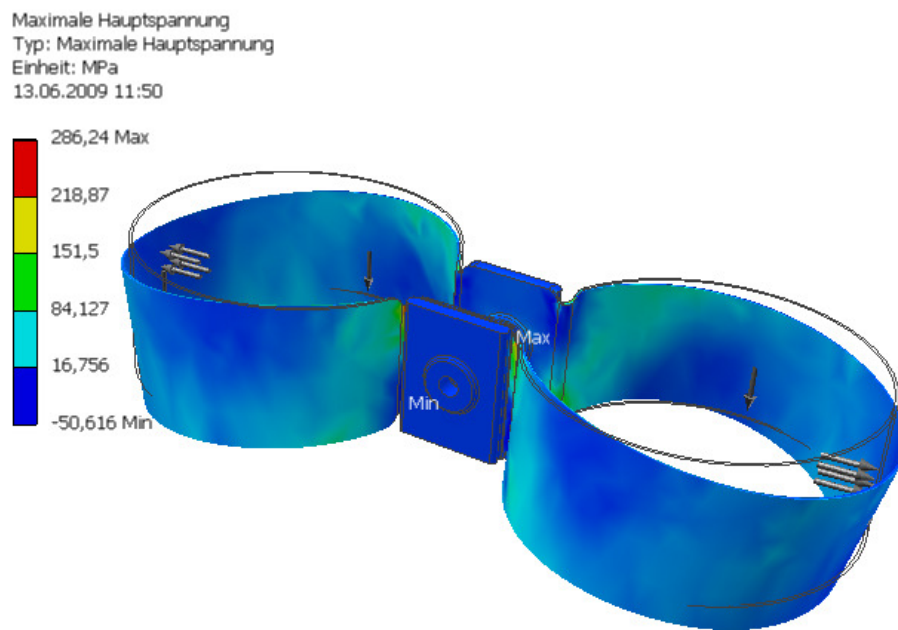


Abbildung 22 Max. Hauptspannungen Modell_3

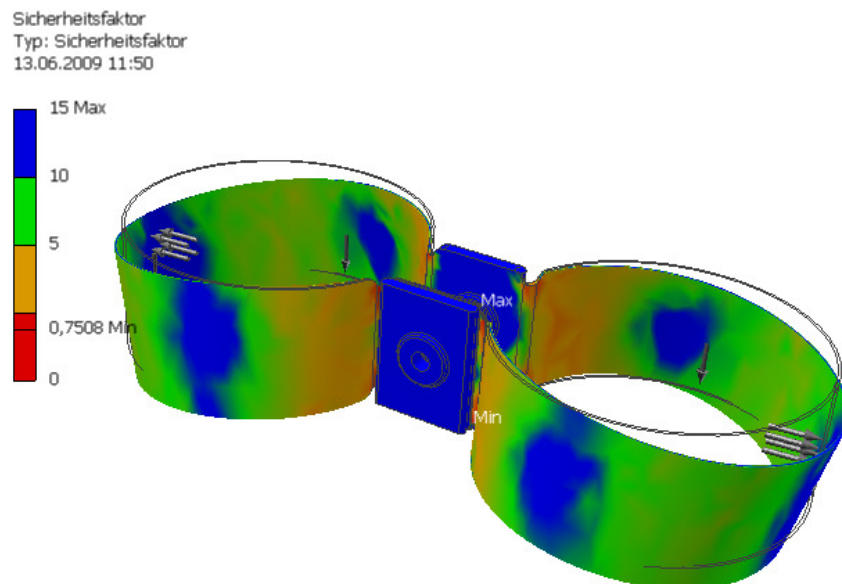


Abbildung 23 Sicherheitsfaktor Modell_3

3.4 Vergleich der Verlaufsformen Modell_1-3

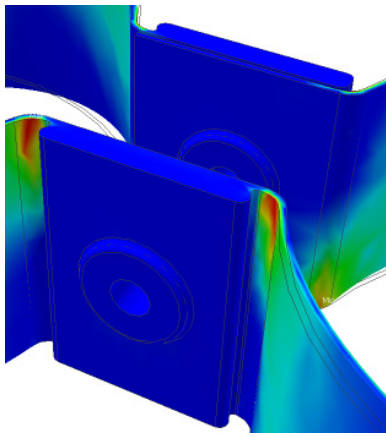


Abbildung 24 Modell_1 Max. Spannungen

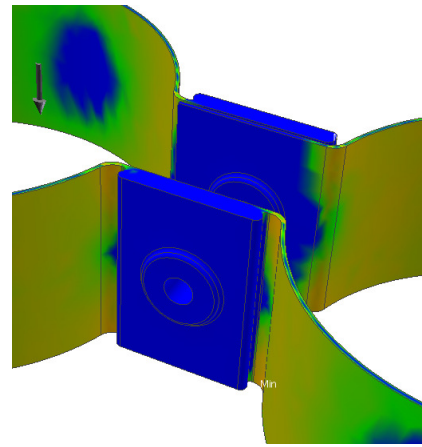


Abbildung 25 Modell_1 Sicherheitsfaktor

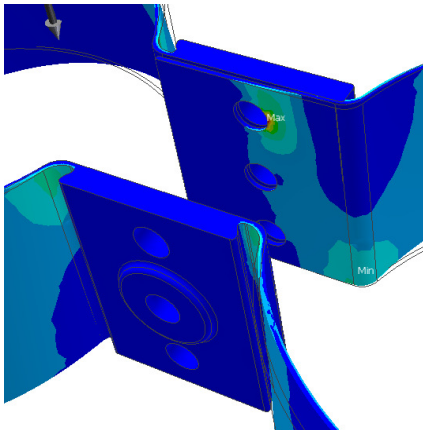


Abbildung 26 Modell_2 Max. Spannungen

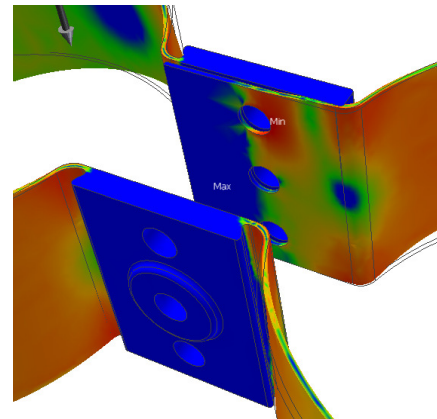


Abbildung 27 Modell_2 Sicherheitsfaktor

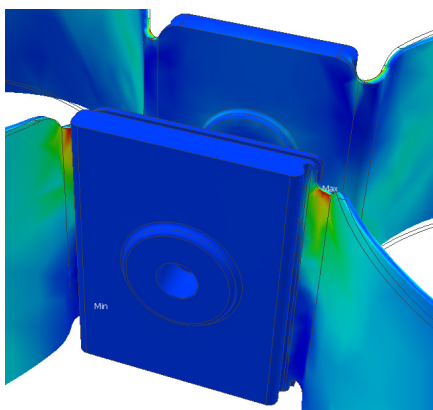


Abbildung 28 Modell_3 Max. Spannungen

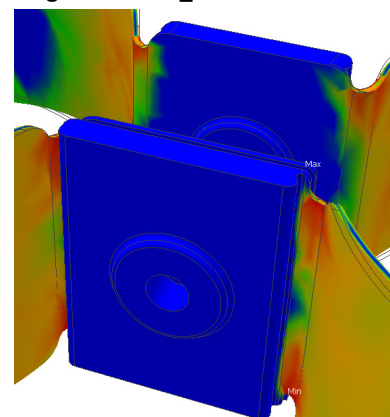


Abbildung 29 Modell_3 Sicherheitsfaktor

3.5 Vergleich der Zahlen Modell_1-3

Name	Minimum	Maximum
Vergleichsspannung	6,936e-010 MPa	213,1 MPa
Maximale Hauptspannung	-21,81 MPa	233,7 MPa
Minimale Hauptspannung	-236,9 MPa	23,93 MPa
Deformation	0,0 mm	3,091 mm
Sicherheitsfaktor	1,173	-



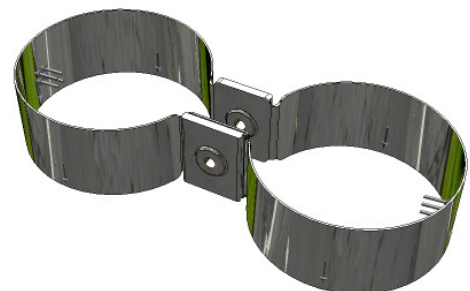
Modell_2

Name	Minimum	Maximum
Vergleichsspannung	8,792e-003 MPa	481,6 MPa
Maximale Hauptspannung	-23,69 MPa	549,2 MPa
Minimale Hauptspannung	-322,1 MPa	27,91 MPa
Deformation	0,0 mm	3,613 mm
Sicherheitsfaktor	0,5191	-



Modell_3

Name	Minimum	Maximum
Vergleichsspannung	4,751e-008 MPa	333,0 MPa
Maximale Hauptspannung	-50,62 MPa	286,2 MPa
Minimale Hauptspannung	-345,1 MPa	35,67 MPa
Deformation	0,0 mm	2,778 mm
Sicherheitsfaktor	0,7508	-



4 Quintessenz

Modell_1-3 wurden unter gleichen Voraussetzungen bzgl. der Krafteinleitungen untersucht. Die Ergebnisse sind auf Art der Verbindung und dessen resultierenden Lagerungen zurückzuführen.

4.1 Modell_1

Die Schelle nach Modell_1 ist eine -Kraftschlüssige Verbindung-. Die beidseitig anliegenden Unterlegscheiben/Loch erzeugen durch die Krafteinleitung eine reibschlüssige Flächenpressung. Hierdurch wird eine Lochleibung durch die Kraftflussumleitung reduziert und der Gewindebolzen entlastet. Des Weiteren erfolgt die Krafteinleitung im Mittelpunkt der Fläche und somit im Spannungsarmen Bereich. (siehe Kap.1)

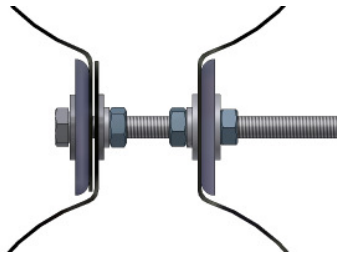
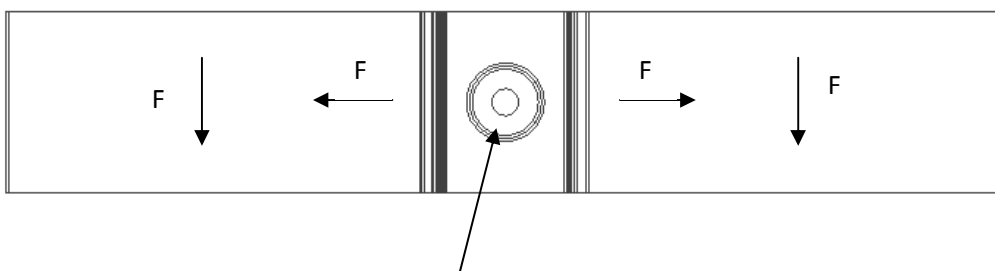


Abbildung 30 Lastaufnahme Modell_1



sanfte Umleitung des Kraftflusses und mittige Lagerung führt zur Entlastung von Bolzen und Bohrung.

4.2 Modell_2

Die Schelle nach Modell_2 ist eine -Formschlüssige Verbindung-. Die beidseitig neben den Löchern positionierten Schrauben werden über ein Durchgangsgewinde befestigt und dienen dazu, dass Schellenende bzw. das Verstärkungsblech in Position zu halten. Die Kraftübertragung erfolgt in dieser Konfiguration über die mittlere Gewindestange und belastet diesen stark auf Scherrung. Die beiden äußeren Verbindungsschrauben werden ebenfalls auf Scherrung belastet und liegen in Nähe des maximalen Spannungsverlaufs der Schelle. Modell_2 ist die ungünstigste Konfiguration was die Deformation und Sicherheit betrifft. (siehe Kap. 1)

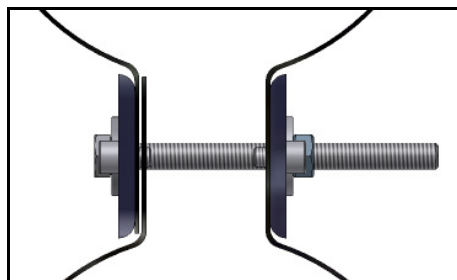
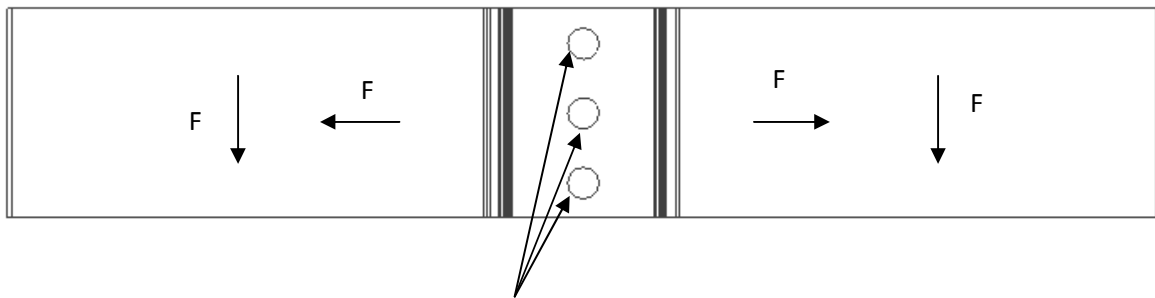


Abbildung 31 Lastaufnahme Modell_2



Direkte Kräfteinleitung auf Bolzen und Bohrung sowie die Lage der beiden äußeren Bohrungen im erhöhten Spannungsverlauf führen zum maximalen Anstieg der Spannungen.

4.3 Model_3

Das Modell_3 wurde unter denselben Voraussetzungen wie Modell_1 untersucht. Eine sanftere Ableitung des Kraftflusses in den Eckbereichen der Maxima ist fehlgeschlagen. Der Grund hierfür ist zu einem die Belastungsart der Schelle (Zug +Biegung) und zum anderen die Tatsache, dass ein Einbringen von Kerben immer zum Spannungsanstieg führt. (Zur Erinnerung noch einmal Abbildung 4)

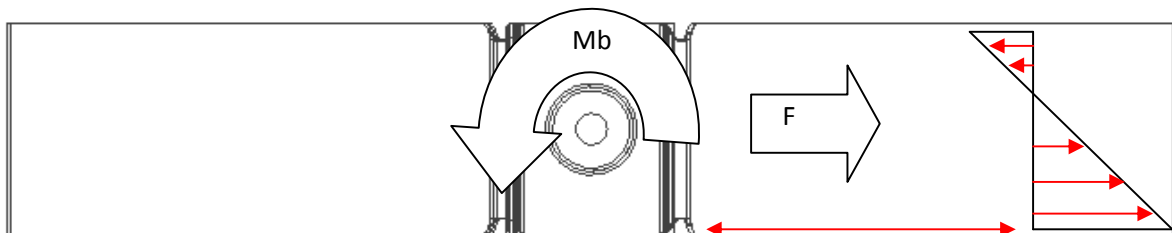
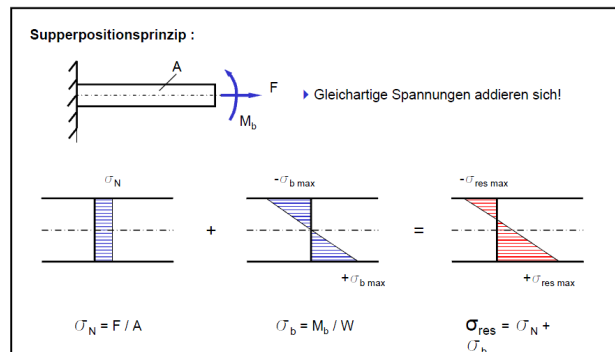
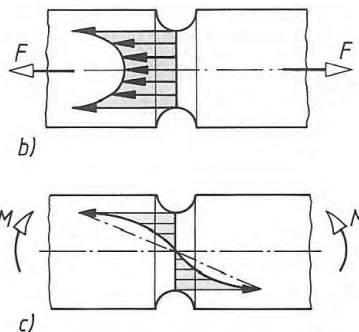


Abbildung 32 Spannungsverlauf in gekerbten Bauteilen



b) Spannungsverteilung im Zugstab bei Kerben

c) Spannungsverlauf im Biegestab bei Kerben

4.4 Modell_Vorschlag

Modell_1 hat sich als die sicherste Konfiguration erwiesen. Dennoch bietet diese Konfiguration eine aufwändige Montage. Des Weiteren besteht bei einer vollständigen Demontage die Gefahr des Aufspringens der Schelle. Als Vorschlag damit Modell_1 auch zur komfortableren Demontage beitragen kann, ist es möglich bei gleichbleibender Lagerung die beiden äußeren Bohrungen zu entlassen und somit die Schellenverbindung auch bei der Demontage zur gewährleisten. Eine weitere Möglichkeit ist die -Stoffschlüssige Verbindungsart- (Schweißen). Der negative Faktor dieser Verbindungsart ist die Wärmeeinleitung in das Material, welcher zur Veränderung des Gefüges führt. Eine Veränderung des Gefüges führt zu unbekanntem Zugfestigkeitswerten des Materials und somit zur unbekanntem Sicherheit der Verbindung. Ein Wiederherstellen des Ausgangsgefüges kann über die Rekristallisation des Gefüges (Spannungsarmglühen) realisiert werden. Hierbei muss das Gefüge für eine bestimmte Zeit auf eine bestimmte Temperatur gebracht werden. Die Kristalle fließen in ihre Ausgangslage zurück und die Eigenspannungen im Material werden abgebaut. Eine Voraussetzung hierfür ist, ein gleichmäßiges Einleiten der Wärme in das Material. Zeigt das Material stark abweichende Dickenverhältnisse auf, ist die gleichmäßige Wärmeeinleitung nur sehr schwer zu realisieren und führt zur unberechenbaren Sicherheit der Schelle.

Die in diesem Bericht angenommenen Lasten resultieren aus hohen Sicherheitsfaktoren. Der Sicherheitsfaktor für die Lastaufnahme ist 2,2. Der Sicherheitsfaktor in der Berechnung ist dreifach. Der Sicherheitsfaktor für das Anzugsverfahren ist 4. Diese Beaufschlagung bedeutet, dass die Spannungsanalyse der Schelle mit maximaler Beanspruchung durchgeführt wurde.

Mit anderen Worten: „wahrscheinlich halten alle Schellen“.

Nur ist **wahrscheinlich** eine Aussage?

Die Blue Steel Schelle hält garantiert! siehe Bericht...!

Das gesamte System ist der Taucher mit seinem Tauchequipment und die sichere Funktionalität einzelner Teilsysteme rettet Leben!

Das Blue Steel Team wünscht allen Tauchsportfreunden einen schönen und sorglosen Tauchgang!

Sie haben Fragen?

Sie haben Anregungen zur weiteren Themen?

„Wir leben Lösungen“

B. Ing Ronny Tabel