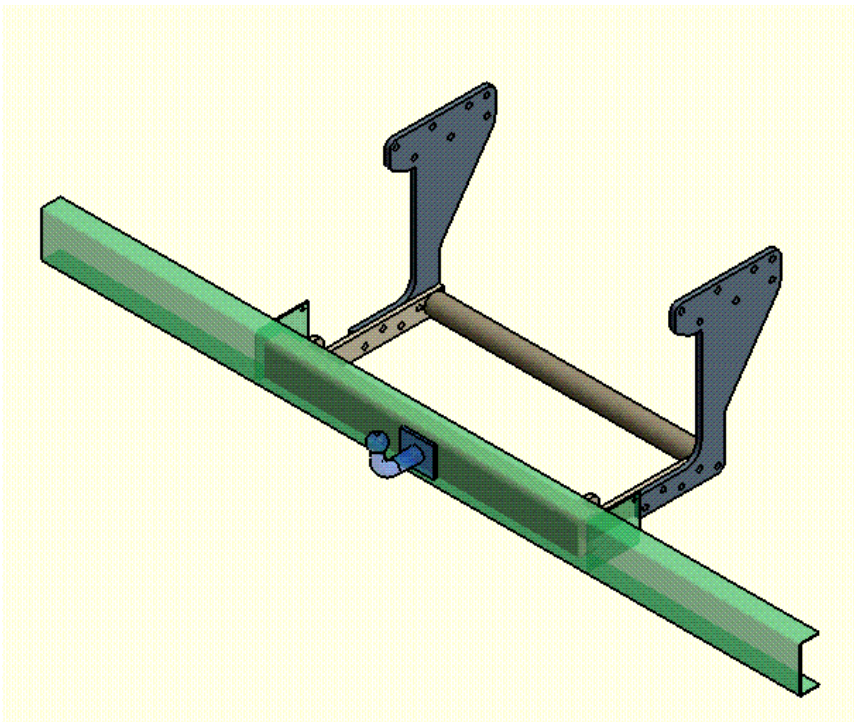


## Kupplungsanbindung an LKW Rahmen Betriebsfestigkeit



Rimmele engineering gmbh  
Allmeindstrasse 16  
CH - 8716 Schmerikon

Tel.: +41 (0)55 282 41 05  
Fax.: +41 (0)55 282 31 00

E-Mail: info@rimmele-engineering.ch

**Bericht:**  
Kupplungsanbindung

**Verfasser:**  
Adrian Oberberger, Dipl. Masch.-Ing. FH  
Rimmele engineering gmbh

**Kunde:**  
Carrosseriespenglerei Treichler

**Index:**  
1

## Nachweis Festigkeit Kupplungsanbindung an LKW Rahmen

Im folgenden Bericht wird die Struktur der Kupplungsanbindung an einen LKW mit Hilfe einer FE-Analyse untersucht. Für die Anbindung wird ein Festigkeitsnachweis geführt.

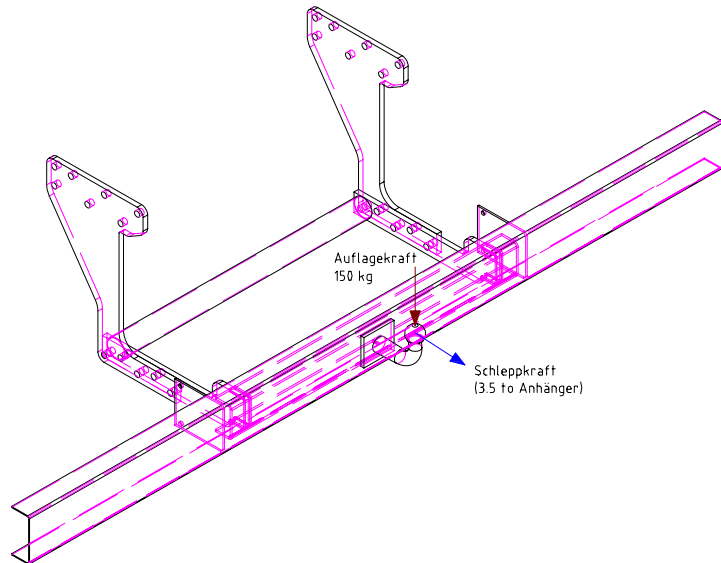
Der Nachweis basiert auf der FE-Analyse und Handrechnungen, die mit dem Programm Mathcad 14 von Mathsoft erstellt wurden.

Das Rechnungsmodell basiert auf Angaben der Carrosseriespenglerei Robert Treichler, 5737 Menziken

### Angewendete Dokumente

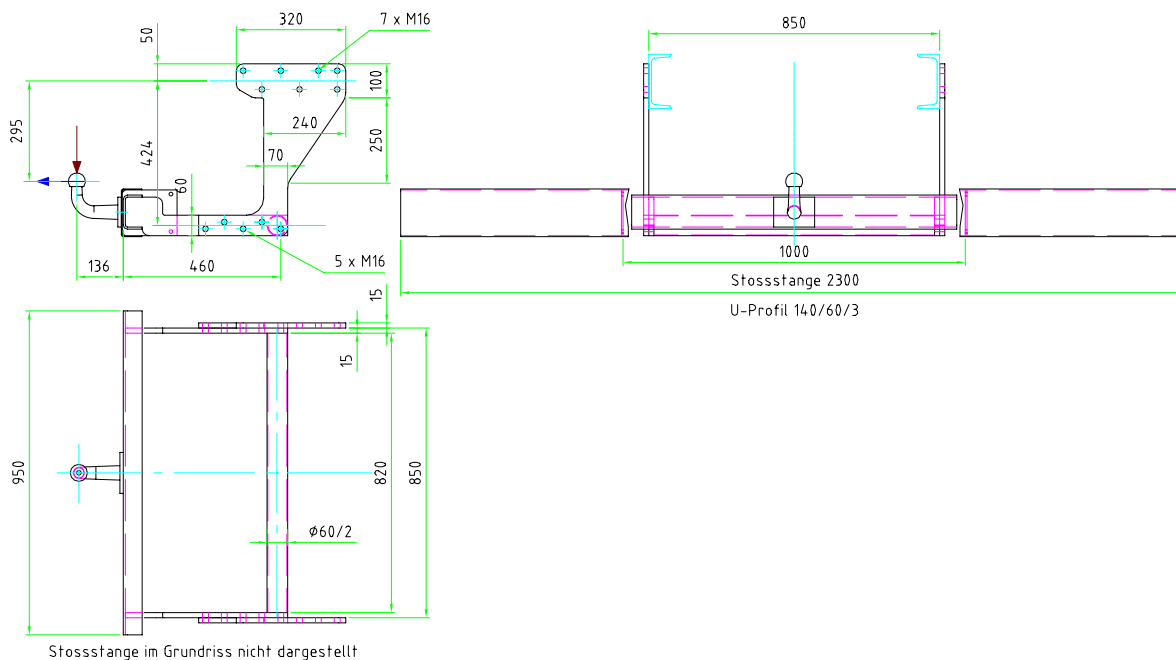
FKM-Richtlinie, Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile

Es werden ausschliesslich SI-Einheiten verwendet.



### Systemgrenzen

Es wird nur die gezeigte Struktur untersucht. Die Anschlusskonstruktion wird als starr angenommen. Die Schraubenverbindung wird zur Symulation als feste Verbindung zwischen den Teilen definiert.



## Lasten

Stützlast (Auflagebelast):  $F_{St} := 1500 \cdot N$

Schleppkraft 20% 3.5to:  $F_{Sc} := 7000 \cdot N$

## Bauteilnachweis

### Anhänge Struktur

Vergleichsspannung aus FE Analyse (siehe Anhang):  $\sigma_{vm,max} := 294 \cdot \frac{N}{mm^2}$

### statischer Festigkeitsnachweis FKM Richtlinie

Bauteildicke/Durchmesser :  $d := 15 \cdot mm$      $d_{eff} := d$      $d_{eff} = 15 \cdot mm$

Rauheit Oberfläche:  $R_z := 12.5 \cdot \mu m$

**Spannungskennwerte:**  $\sigma_{max,ex.x} := \sigma_{vm,max}$

**Werkstoffkennwerte:** S355JR / St52-2 / 1.0045:

Norm Zugfestigkeit:  $R_{m,N} := 510 \cdot \frac{N}{mm^2}$     Norm Dehngrenze:  $R_{e,N} := 355 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Werkstoffkonstanten:

$a_{d,m} := 0.15$	nach Tabelle 3.2.1
$a_{d,p} := 0.3$	nach Tabelle 3.2.1
$d_{eff,N,m} := 40 \cdot mm$	nach Tabelle 3.2.1
$d_{eff,N,p} := 40 \cdot mm$	nach Tabelle 3.2.1

technologischer Grössenfaktor:

$$K_{d,m} := \frac{1 - 0.7686 \cdot a_{d,m} \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{7.5 \cdot mm}\right)}{1 - 0.7686 \cdot a_{d,m} \cdot \log\left(\frac{d_{eff,N,m}}{7.5 \cdot mm}\right)} \quad K_{d,m} = 1.054$$

$$K_{d,p} := \frac{1 - 0.7686 \cdot a_{d,p} \cdot \log\left(\frac{d_{eff}}{7.5 \cdot mm}\right)}{1 - 0.7686 \cdot a_{d,p} \cdot \log\left(\frac{d_{eff,N,p}}{7.5 \cdot mm}\right)} \quad K_{d,p} = 1.054$$

Anisotropiefaktor:  $K_A := 1$

Druckfestigkeitsfaktor:  $f_\sigma := 1$

Temperaturfaktor:  $K_{T,m} := 1$   $K_{T,p} := K_{T,m}$

Zugfestigkeit Bauteil:  $R_m := K_{d,m} \cdot K_A \cdot R_{m,N}$   $R_m = 537.337 \cdot \frac{N}{mm^2}$

Dehngrenze Bauteil:  $R_p := K_{d,p} \cdot K_A \cdot R_{e,N}$   $R_p = 396.89 \cdot \frac{N}{mm^2}$

### Konstruktionskennwerte:

E-Modul:  $E := 210000 \cdot \frac{N}{mm^2}$  nach Tabelle 3.3.1

ertragbare Gesamtdehnung:  $\epsilon_{ertr} := 0.05$  nach Tabelle 3.3.1

plastische Stützzahl:  $\eta_{pl,\sigma x} := \min\left(\sqrt{\frac{E \cdot \epsilon_{ertr}}{R_p}}, 1.5\right)$   $\eta_{pl,\sigma x} = 1.5$

Nichtlinearität Konstante:  $K_{NL} := 1$

Konstruktionsfaktor:  $K_{SK,\sigma x} := \frac{1}{\eta_{pl,\sigma x} \cdot K_{NL}}$   $K_{SK,\sigma x} = 0.667$

**statische Bauteilfestigkeit:**  $\sigma_{SK,x} := f_\sigma \cdot \frac{R_m}{K_{SK,\sigma x}}$   $\sigma_{SK,x} = 806 \cdot \frac{N}{(mm^2)}$

### Sicherheitsfaktoren

$j_m := 1.5$  (Sicherheitsfaktor auf Zugfestigkeit Tab 1.5.1)

$j_p := 1.5$  (Sicherheitsfaktor auf Fließgrenze Tab 1.5.1)

$j_{ges} := \max\left(\frac{j_p}{K_{T,p}}, \frac{j_m}{K_{T,m}} \cdot \frac{R_m}{R_p}\right)$   $j_{ges} = 2.031$  Gesamtsicherheitsfaktor

### Nachweis:

statische Ausnutzung:  $a_{SK,\sigma x} := \frac{\sigma_{max.ex.x} \cdot j_{ges}}{\sigma_{SK,x}}$   $a_{SK,\sigma x} = 0.741 < 1$

## Ermüdungs- Festigkeitsnachweis FKM Richtlinie

### Spannungskennwerte:

Biegemittelspannung:  $\sigma_{m.x} := 0 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$   $\sigma_{m.x} = 0 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

Biegeausschlagsspannung:  $\sigma_{a.x} := \sigma_{vm.max}$   $\sigma_{a.x} = 294 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

### Werkstoffkennwerte:

Werkstoffkennwerte: S355JR / St52-2 / 1.0045:

Wechselspannungsfaktor:  $f_{W,\sigma} := 0.45$  nach Tabelle 4.2.1

Wechselspannungsfestigkeit:  $\sigma_{W.zd} := f_{W,\sigma} \cdot R_m$   $\sigma_{W.zd} = 241.802 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$

### Konstruktionskennwerte:

Formzahl:  $K_{t,d} := 1$   
 $a_G := 0.5$   $b_G := 2700$  nach Tabelle 4.3.2

Spannungsgefälle Normalspannung:  $G_\sigma := \frac{1}{\sigma_{vm.max}} \cdot \frac{\sigma_{vm.max}}{200 \cdot \text{mm}}$   $G_\sigma = 0.005 \cdot \frac{1}{\text{mm}}$  GL 4.3.16

Stützzahl für Normalspannungen:  $\eta_\sigma := 1 + G_\sigma \cdot \text{mm} \cdot 10^{-\left(a_G - 0.5 + \frac{R_m}{b_G \cdot \text{MPa}}\right)}$  Gl. 4.3.13 - 4.3.14  
 $\eta_\sigma = 1.003$

Kerbwirkungszahl:  $K_f := 2$

Mittlere Rauheit Oberfläche:  $R_z = 12.5 \cdot \mu\text{m}$

Konstante:  $a_{R,\sigma} := 0.22$  nach Tabelle 4.3.4

$R_{m,N.min} := 400 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$  min. Zugfestigkeit

Rauheitsfaktor Normalspannung:  $K_{R,\sigma} := 1 - a_{R,\sigma} \cdot \log\left(\frac{R_z}{\mu\text{m}}\right) \cdot \log\left(2 \cdot \frac{R_m}{R_{m,N.\text{min}}}\right)$   $K_{R,\sigma} = 0.896$

Randschichtfaktor:  $K_V := 1$  Schutzschichtfaktor:  $K_S := 1$

Konstante für nicht linearelastisches Verhalten:  $K_{NLE} := 1$

Konstruktionsfaktoren:  $K_{WK,\sigma} := \left[ \left(1 + \frac{1}{K_f}\right) \cdot \left(\frac{1}{K_{R,\sigma}}\right) - 1 \right] \cdot \frac{1}{K_V \cdot K_S \cdot K_{NLE}}$   $K_{WK,\sigma} = 0.673$

### Bauteil Ermüdungsfestigkeit:

Bauteil Wechselfestigkeit:  $\sigma_{WK,x} := \frac{\sigma_{W,zd}}{K_{WK,\sigma}}$   $\sigma_{WK,x} = 359.118 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Mittelspannungsempfindlichkeit:  $a_M := 0.35$   $b_M := -0.1$

$$M_\sigma := a_M \cdot 10^{-3} \cdot \frac{R_m}{\text{MPa}} + b_M \quad M_\sigma = 0.088$$

Vergleichsspannungsverhältnis:  $R_\sigma := \frac{\sigma_{m,x} - \sigma_{a,x}}{\sigma_{m,x} + \sigma_{a,x}}$   $R_\sigma = -1$

Mittelspannungsfaktor:  
nach Gl 4.4.9 - 4.4.13  $K_{AK,\sigma} := \frac{1}{1 + M_\sigma \cdot \frac{\sigma_{m,x}}{\sigma_{a,x}}}$   $K_{AK,\sigma} = 1$

Bauteil Dauerfestigkeit:  $\sigma_{AK,x} := K_{AK,\sigma} \cdot \sigma_{WK,x}$   $\sigma_{AK,x} = 359.118 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Betriebsfestigkeitsfaktor:  $K_{BK,\sigma} := 1$  (für den Nachweis der Dauerfestigkeit)

Bauteil Betriebsfestigkeit:  $\sigma_{BK,x} := K_{BK,\sigma} \cdot \sigma_{AK,x}$   $\sigma_{BK,x} = 359.118 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

### Sicherheitsfaktoren

$j_D := 1.2$  (Grundsicherheitsfaktor Tabelle 2.5.1)

### Nachweis:

dynamische Ausnutzung:  $a_{BK,\sigma x} := \frac{\sigma_{a,x} \cdot j_D}{\sigma_{BK,x}}$   $a_{BK,\sigma x} = 1 < 1$

**Auswertung:**

Die Ausnutzung des Materiales unter Berücksichtigung der Sicherheitsfaktoren ergibt folgende Werte:

**statische Betrachtung:**

Gesamtsicherheitsfaktor  $j_{ges} = 2.031$

Materialausnutzung  $a_{SK.\sigma x} = 0.741 < 1$  74% Auslastung mit Faktor 2 Sicherheit  
(26% Belastungsreserve)

**dynamische Betrachtung Lebensdauer:**

Gesamtsicherheitsfaktor  $j_D := 1.2$

Materialausnutzung  $a_{BK.\sigma x} = 1 < 1$  100% Auslastung mit Faktor 1.2 Sicherheit  
(Lebensdauer > 1000000 Lastwechsel bei max. Last)

**Schlussfolgerung:**

**Die Sturktur erfüllt die Anforderungen bezüglich Belastungen und Lebensdauer.**

erstellt Schmerikon, 25.Aug. 2009

dipl. Masch. Ing FH  
Adrian Oberberger

# FE Analyse von Kupplung Anhängung

**Autor:** Adrian Oberberger, Rimmele Engineering GmbH  
**Analyse erstellt am:** Wednesday, August 19, 2009 8:01:24 AM  
**Letzte Änderung der Analyse:** Tuesday, August 25, 2009 8:50:54 AM  
**Bericht erstellt am:** Tuesday, August 25, 2009 8:50:54 AM

**Der folgenden Struktur-Analyse ist eine Auflagekraft von 150 kg (1500 N) und eine Anhängerzugkraft von 20% des Anhängergesamtgewichts 3500 kg entspricht 700 kg (7000 N) zugrundegelegt.**

## Geometrie und Netz

Mit der unten aufgeführten Relevanzeinstellung wurde die Feinheit des in dieser Analyse verwendeten Netzes gesteuert. Zur Referenz: Die Einstellung -100 erzeugt ein grobes Netz, schnelle Lösungen und Ergebnisse, die eine beträchtliche Unbestimmtheit aufweisen können. Eine Einstellung von +100 erzeugt ein feines Netz, führt zu längeren Lösungszeiten und einer geringeren Unbestimmtheit der Ergebnisse. Die Standard-Referenzeinstellung ist Null.

FEA1.ipt Statistik	
Begrenzungsrahmenmaße	808. mm 507. mm 2300 mm
Teilemasse	57.29 kg
Teilevolumen	7.299e+006 mm <sup>3</sup>
Netzrelevanzeinstellung	80
Knoten	43737
Elemente	22392

Die Begrenzungsrahmenmaße geben die Längen in globaler X-, Y- und Z-Richtung an.

## Materialdaten

Bei dieser Analyse wird vom folgenden Materialverhalten ausgegangen:

- Linear - Spannung ist direkt proportional zur Belastung.
- Konstant - Alle Eigenschaften sind temperaturunabhängig.
- Homogen - Eigenschaften ändern sich im Volumen des Teils nicht.
- Isotrop - Die Materialeigenschaften sind in allen Richtungen identisch.

Steel	
Elastizitätsmodul	2.1e+005 MPa
Poissonsche Zahl	0.3
Massendichte	7.85e-006 kg/mm <sup>3</sup>
Zug-Streckgrenze	207. MPa *
Zugfestigkeit	345. MPa *

**\*Entgegen den Angaben wird St52 eingesetzt (S355). Die Streckgrenze beträgt für die verarbeitete Materialdicke 355 MPa. Die Zugfestigkeit 520 MPa !**



# Belastungen und Abhängigkeiten

Die folgenden Belastungen und Abhängigkeiten wirken auf bestimmte Regionen des Teils. Regionen wurden durch die Auswahl von Flächen, Zylindern, Kanten oder Scheitelpunkten definiert.

Belastungs- und Abhängigkeitsdefinitionen				
Name	Typ	Größe	Vektor	
Kraft 1	Oberflächenkraft	1500 N	-1.321e-012 N -1500 N 4.287e-028 N	
Kraft 2	Oberflächenkraft	7000 N	7000 N 1.636e-012 N 0. N	
Abhängigkeit Festgelegt 1	Kante - Abhängigkeit Festgelegt	0. mm	0. mm 0. mm 0. mm	
Abhängigkeit Festgelegt 2	Kante - Abhängigkeit Festgelegt	0. mm	0. mm 0. mm 0. mm	
Abhängigkeit Festgelegt 3	Fläche - Abhängigkeit Festgelegt	0. mm	0. mm 0. mm 0. mm	
Abhängigkeitsreaktionen				
Name	Kraft	Vektor	Moment	Moment-Vektor
Abhängigkeit Festgelegt 1	3501 N	-3050 N -1717 N 30.41 N	1.414e+006 N·mm	7212 N·mm -3.628e+004 N·mm -1.414e+006 N·mm
Abhängigkeit Festgelegt 2	3582 N	-3169 N -1668 N -26.42 N	1.451e+006 N·mm	-7914 N·mm 3.686e+004 N·mm -1.451e+006 N·mm
Abhängigkeit Festgelegt 3	4947 N	-777.3 N 4885 N -3.994 N	2.785e+005 N·mm	-2.149e+004 N·mm -5.26e+004 N·mm 2.727e+005 N·mm

Anmerkung: Vektordaten entsprechen den globalen X-, Y- und Z-Komponenten.

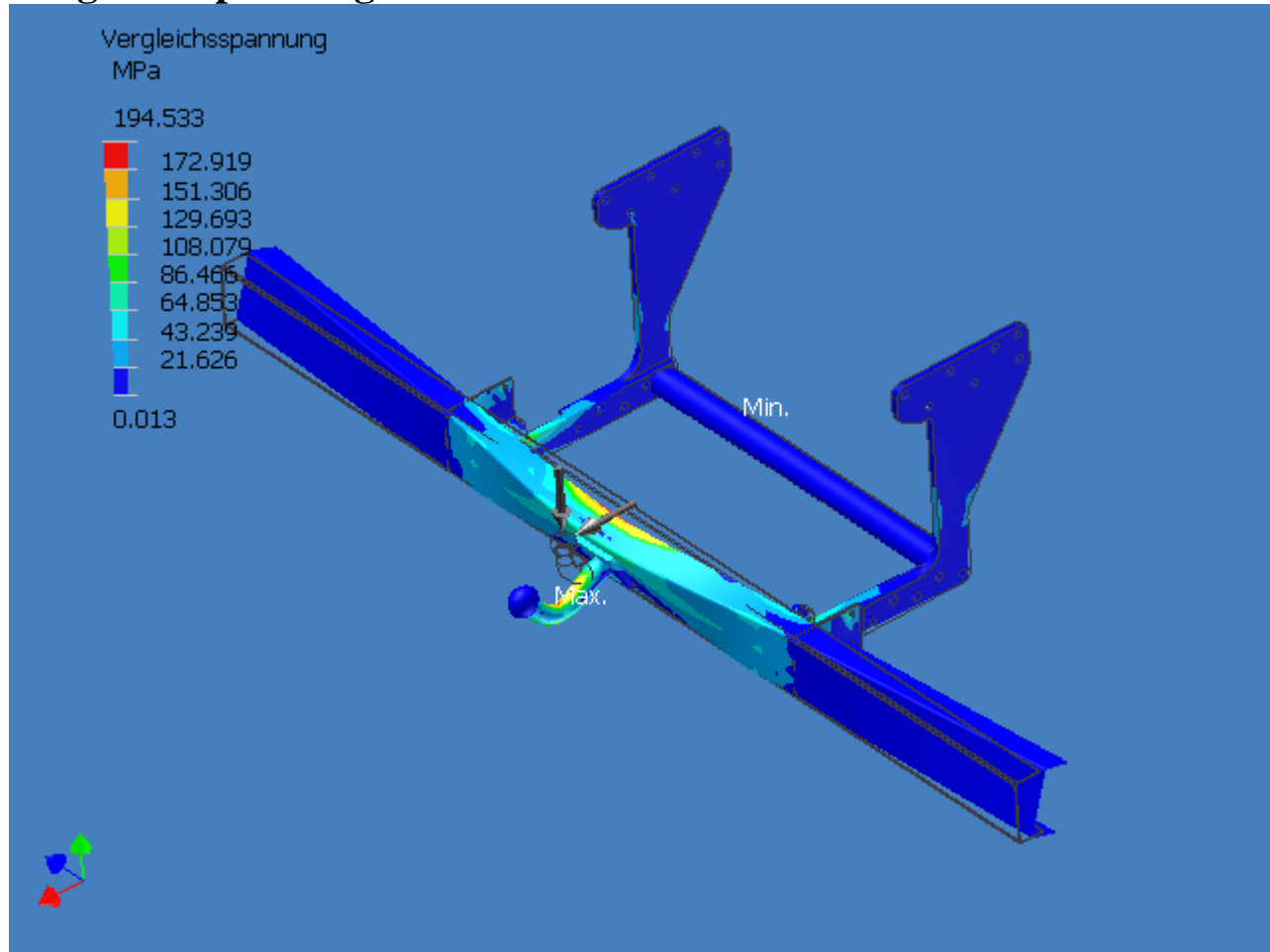
## Ergebnisse

In der Tabelle unten sind alle strukturellen Ergebnisse der Analyse aufgeführt. Der folgende Abschnitt stellt Zahlen zur Verfügung, die die einzelnen Ergebnisse verteilt über die Fläche des Teils zeigen.

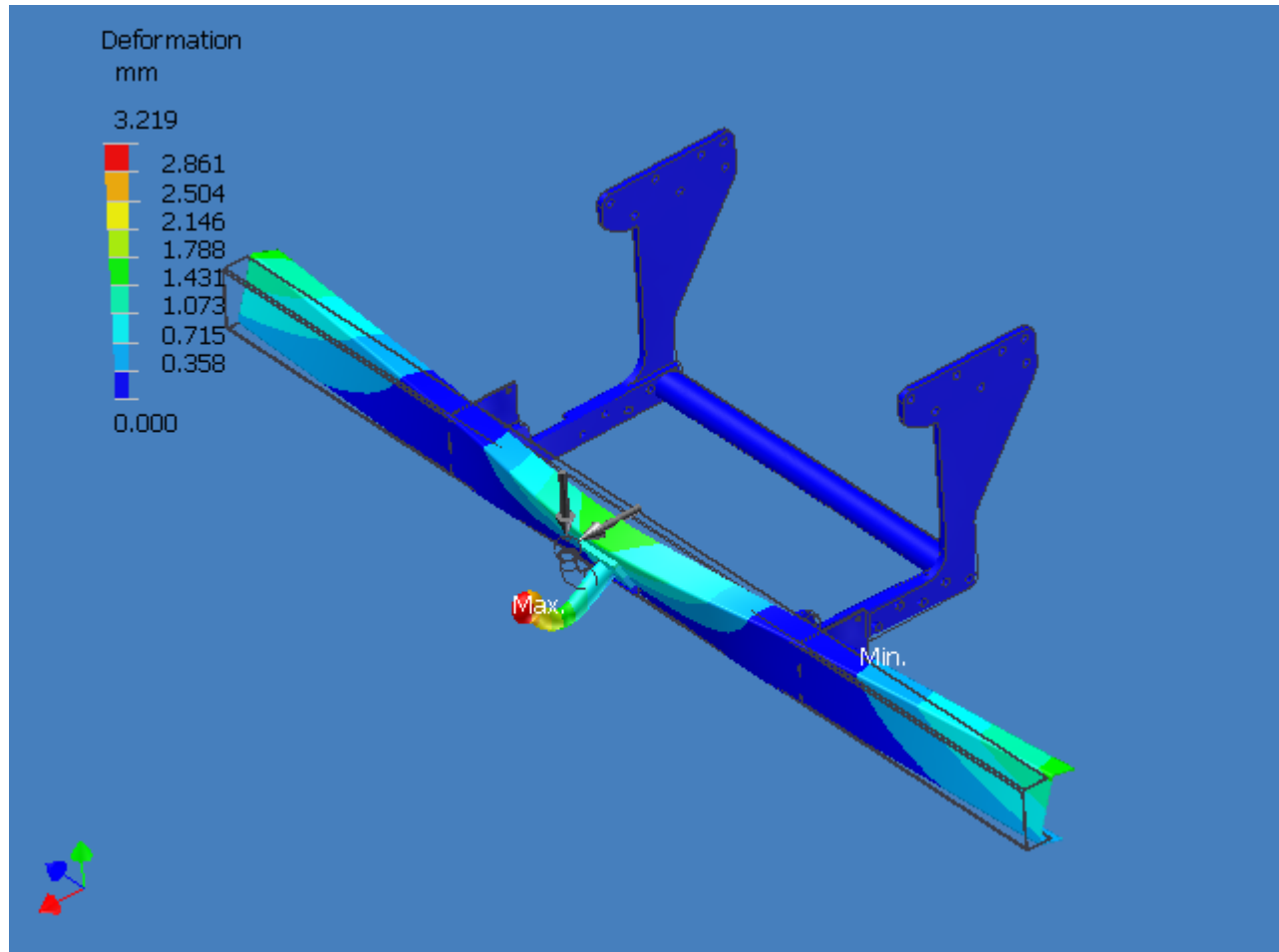
Der Sicherheitsfaktor wurde unter Verwendung der maximalen Entsprechung der Spannungsbruchtheorie für verformbare Materialien berechnet. Die Spannungsgrenze wurde durch Zug-Streckgrenze des Materials angegeben.

Strukturelle Ergebnisse		
Name	Minimum	Maximum
Vergleichsspannung	1.256e-002 MPa	194.5 MPa
Deformation	0. mm	3.219 mm
Sicherheitsfaktor	1.064	

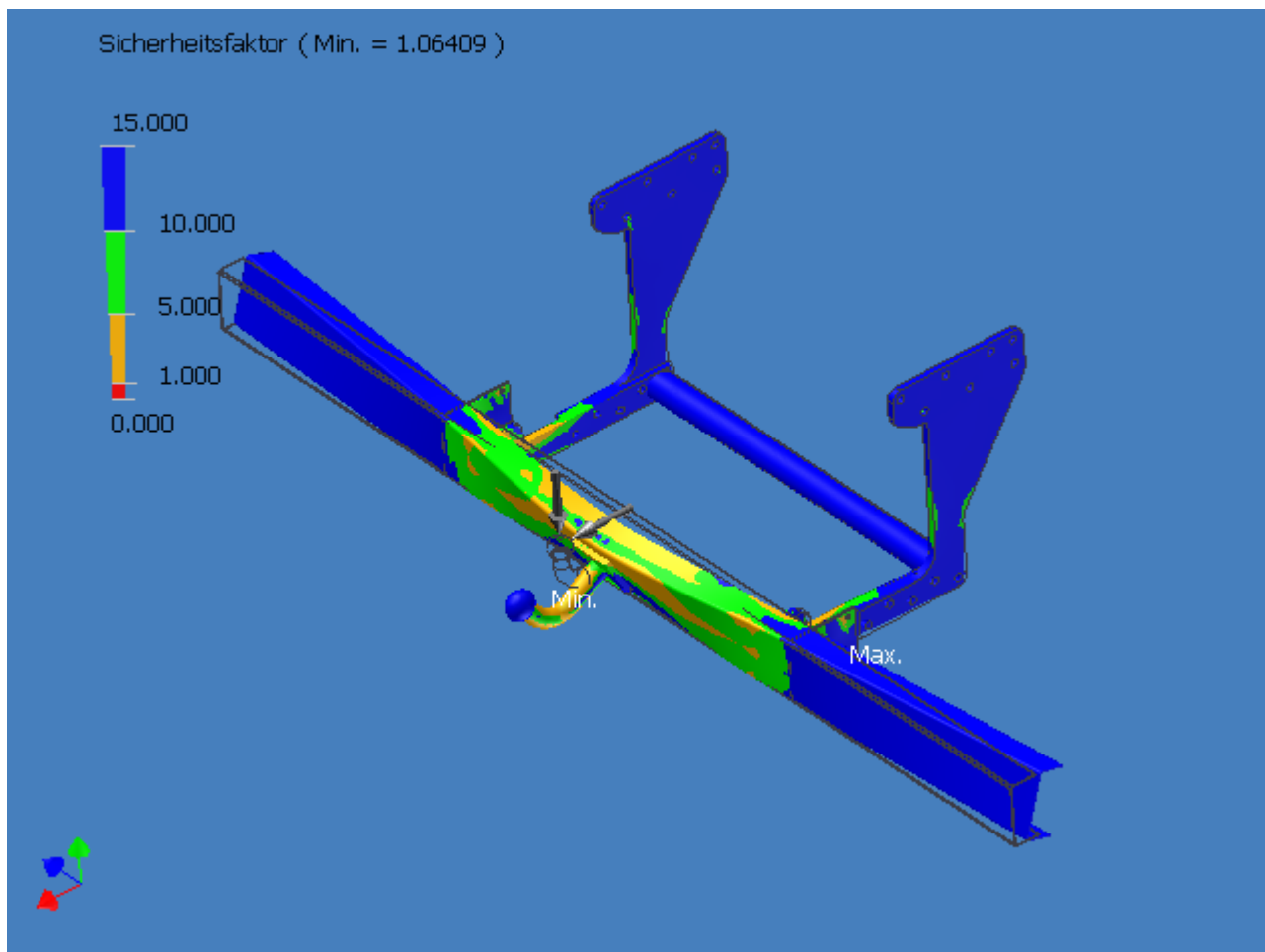
## Vergleichsspannung



## Deformation



# Sicherheitsfaktor



**Die Chassisstruktur des Fahrzeuges und die Schraubverbindungen wurden als starr angenommen!**

**Die örtlichen Maximalspannungen sind deutlich unterhalb der Dehngrenze des Materials.  
Die maximale Spannung wurde im Kupplungsteil ermittelt. Dieses ist ein geprüftes Normteil!**

# Untersuchung bei 50° abgewinkelt angreifender Zugkraft

## Belastungen und Abhängigkeiten

Die folgenden Belastungen und Abhängigkeiten wirken auf bestimmte Regionen des Teils. Regionen wurden durch die Auswahl von Flächen, Zylindern, Kanten oder Scheitelpunkten definiert.

Belastungs- und Abhängigkeitsdefinitionen				
Name	Typ	Größe	Vektor	
Kraft 1	Oberflächenkraft	1500 N	-1.321e-012 N	-1500 N 4.287e-028 N
Kraft 3	Oberflächenkraft	7000 N	4500 N	-3.963e-012 N 5362 N
Abhängigkeit Festgelegt 1	Kante - Abhängigkeit Festgelegt	0. mm	0. mm	0. mm 0. mm
Abhängigkeit Festgelegt 2	Kante - Abhängigkeit Festgelegt	0. mm	0. mm	0. mm 0. mm
Abhängigkeit Festgelegt 3	Fläche - Abhängigkeit Festgelegt	0. mm	0. mm	0. mm 0. mm
Abhängigkeitsreaktionen				
Name	Kraft	Vektor	Moment	Moment-Vektor
Abhängigkeit Festgelegt 1	2151 N	-1848 N -1089 N -171.1 N	8.556e+005 N·mm	5.551e+004 N·mm -8268 N·mm -8.537e+005 N·mm
Abhängigkeit Festgelegt 2	2384 N	-2048 N -1202 N -214.5 N	9.637e+005 N·mm	4.639e+004 N·mm 3.803e+004 N·mm -9.618e+005 N·mm
Abhängigkeit Festgelegt 3	6283 N	-601.8 N 3791 N -4974 N	1.586e+006 N·mm	-4.215e+005 N·mm 1.501e+006 N·mm 2.954e+005 N·mm

Anmerkung: Vektordaten entsprechen den globalen X-, Y- und Z-Komponenten.

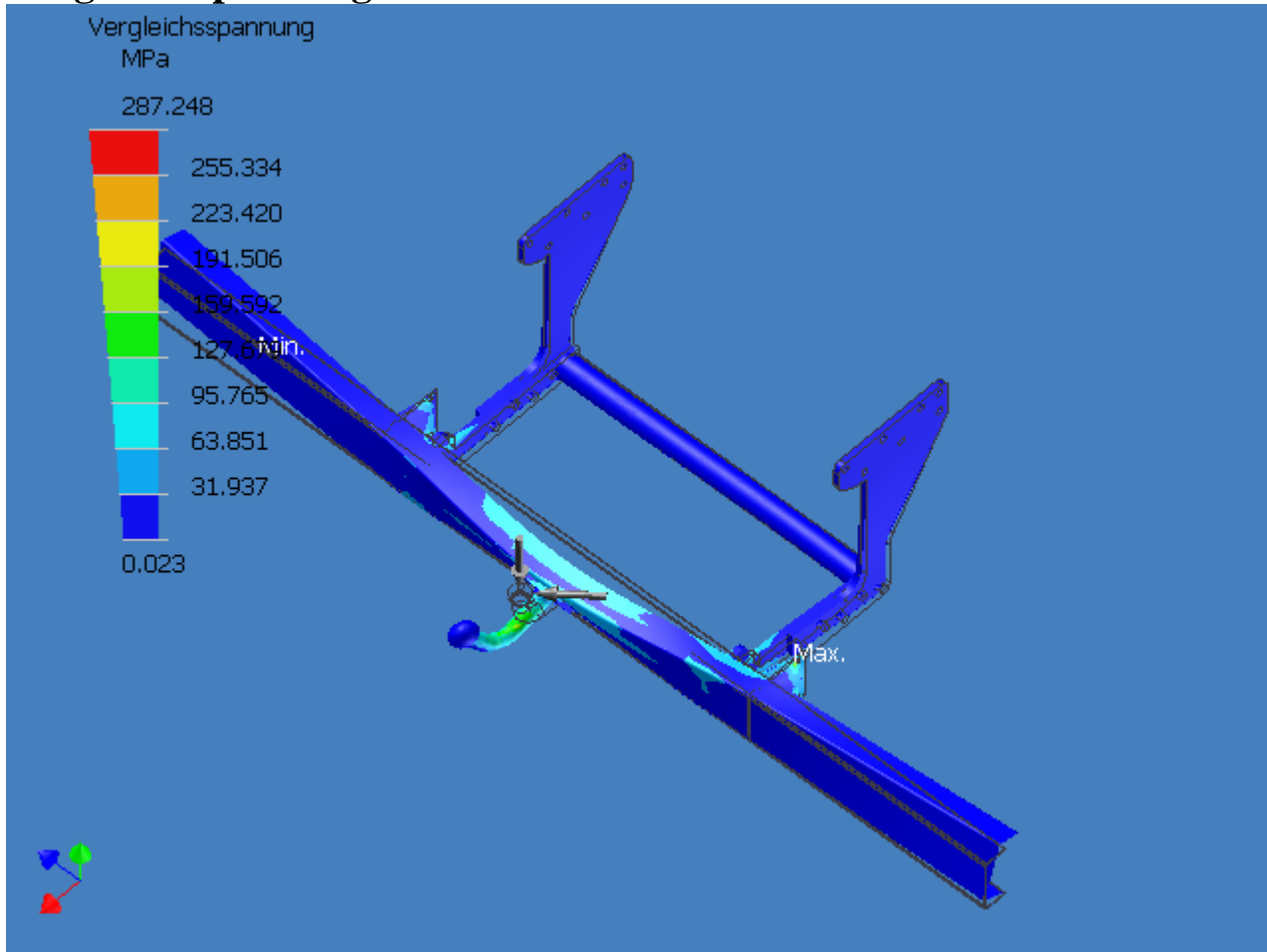
## Ergebnisse

In der Tabelle unten sind alle strukturellen Ergebnisse der Analyse aufgeführt. Der folgende Abschnitt stellt Zahlen zur Verfügung, die die einzelnen Ergebnisse verteilt über die Fläche des Teils zeigen.

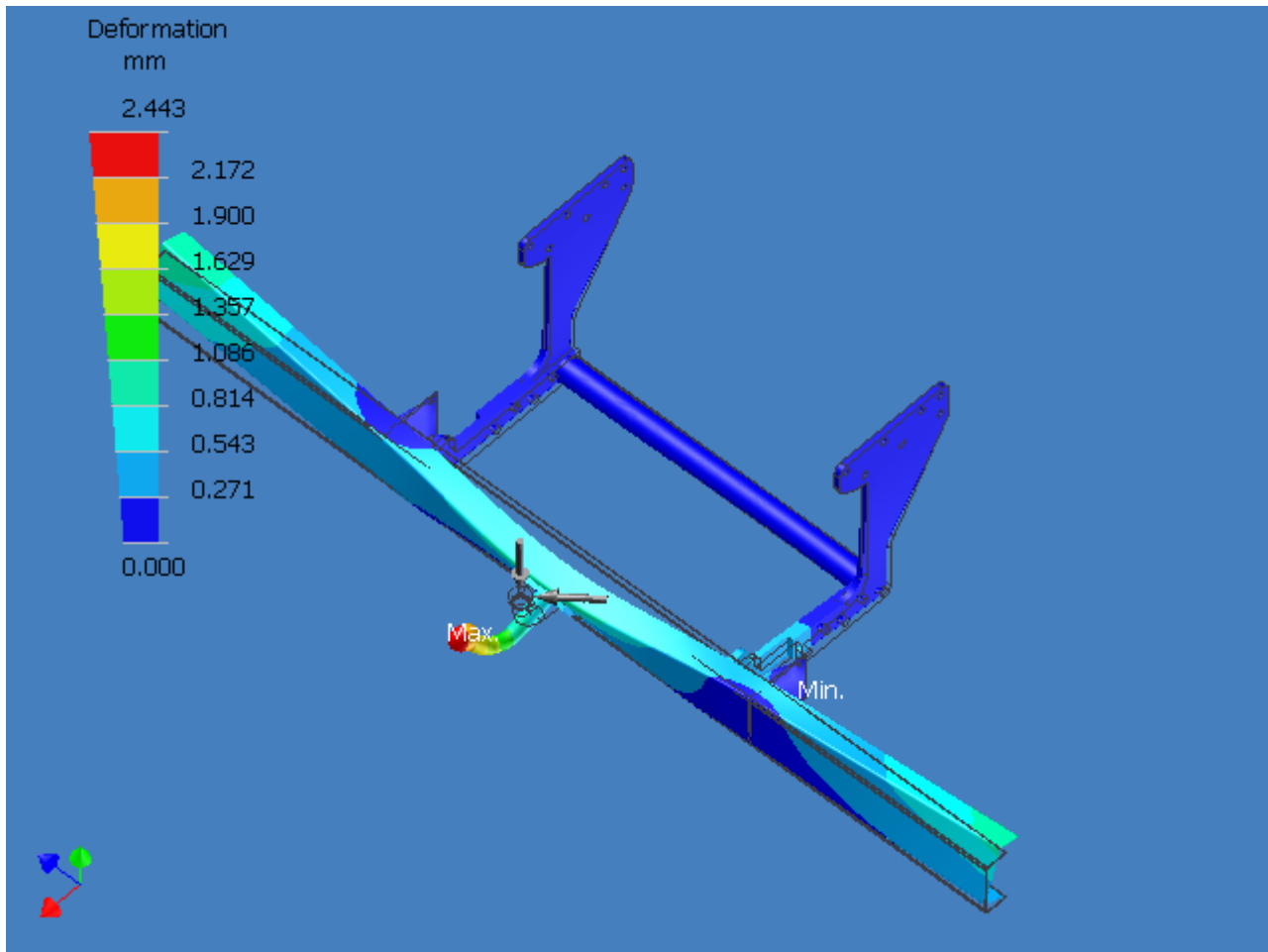
Der Sicherheitsfaktor wurde unter Verwendung der maximalen Entsprechung der Spannungsbruchtheorie für verformbare Materialien berechnet. Die Spannungsgrenze wurde durch Zug-Streckgrenze des Materials angegeben.

Strukturelle Ergebnisse		
Name	Minimum	Maximum
Vergleichsspannung	2.298e-002 MPa	287.2 MPa
Deformation	0. mm	2.443 mm
Sicherheitsfaktor	0.7206	-

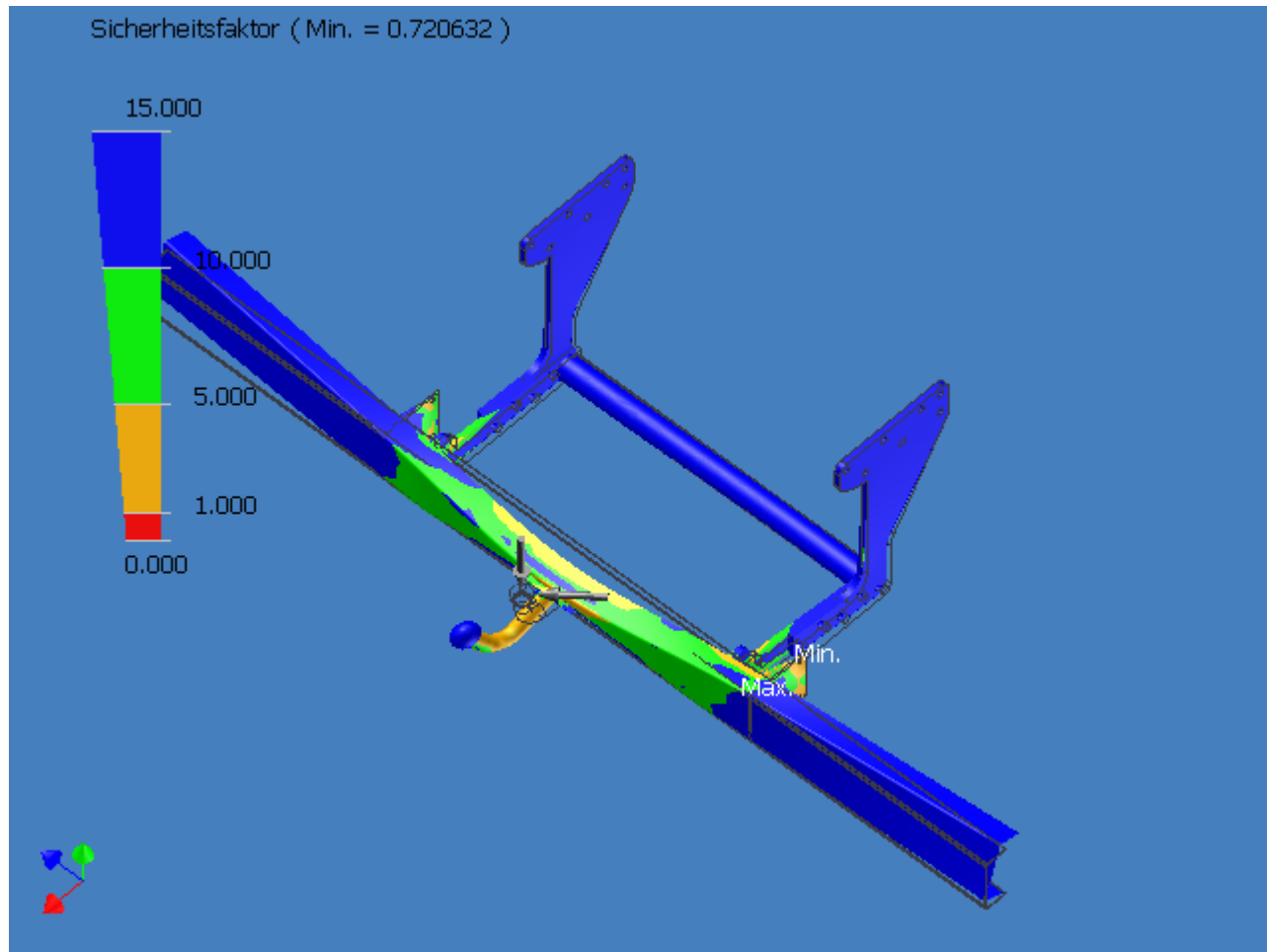
# Vergleichsspannung



# Deformation



## Sicherheitsfaktor



**Die Chassisstruktur des Fahrzeuges und die Schraubverbindungen wurden als starr angenommen!**

**Die örtlichen Maximalspannungen sind deutlich unterhalb der Dehngrenze des Materials.  
Die maximale Spannung an der Halteplatte der Stossstange wird in Wirklichkeit kleiner ausfallen, da die Anschlusskonstruktion über Deformation ein Teil der Spannungen entlasten wird.**

**Die relevanten Strukturteile stehen unter zulässigen Materialspannungen.**