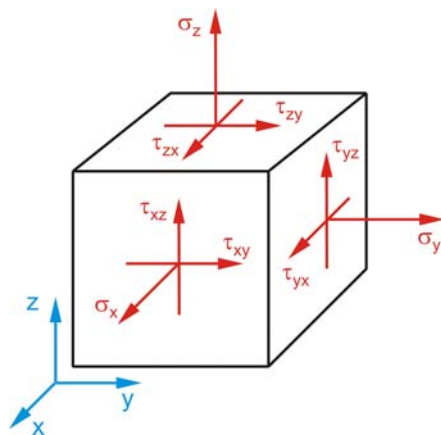


## 4 Bedeutung der errechneten Spannung- und Verformungswerte

### 4.1 Spannungen

Mehrachsigen Spannungszustand umrechnen zum Vergleich mit Werkstoffkennwerten, die bei einachsiger Beanspruchung ermittelt werden.



Komponenten des Spannungstensors

$$\begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{zx} = \tau_{xz}$$

In den Ebenen der Hauptnormalspannungen

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

sind die zugehörigen Schubspannungen Null.

Bild 28: Spannungskomponenten

### 4.2 Festigkeitshypothesen und Vergleichsspannungen

- Normalspannungshypothese (Hauptnormalspannungshypothese)

Größte Normalspannung ist maßgebend für Versagen  $\Rightarrow$  Trennbruch.

Spröbruchgefährdete Teile, z. B. aus Grauguss bei Zug, durchgehärteter Stahl

$$\sigma_v = \sigma_1 \quad (11)$$

- Dehnungshypothese (Hauptdehnungshypothese)

Größte Dehnung ist maßgebend für Versagen  $\Rightarrow$  Trennbruch.

Spröbruchgefährdete Teile, z. B. aus Grauguss bei Zug.

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_1 = \frac{\sigma_v}{E} \quad (12)$$

$$\sigma_v = \sigma_1 - \nu (\sigma_2 + \sigma_3) \quad (13)$$

- Schubspannungshypothese (Hauptschubspannungshypothese)

Größte Schubspannung ist maßgebend für Versagen  $\Rightarrow$  plastisches Verformen, Dauerbruch.  
Werkstoffe mit ausgeprägter Streckgrenze, wie weicher Stahl.

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (14)$$

$$\sigma_v = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (15)$$

- Gestaltänderungsenergiehypothese (v. Mises u. a.)  
 Gestaltänderungsenergie ist maßgebend für Versagen  $\Rightarrow$  plastisches Verformen, Dauerbruch.  
 Walzstahl, geschmiedeter Stahl, auch im vergüteten Zustand

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (16)$$

- Erweiterte Schubspannungshypothese, Versagen tritt ein, wenn der größte Mohrsche Kreis die Versagensgrenze tangiert  $\Rightarrow$  Gleitbruch

### 4.3 Spannungsanzeigen in CATIA

Typen	Kriterien				
	Hauptneigung	Hauptwert	Hauptwert (absoluter Wert)	Tensorkomponente	von Mises
Berandung					X
Diskontinuierliches ISO	X	X	X	X	X
Durchschnittliches ISO	X	X	X	X	X
Symbol		X			
Text	X	X	X	X <sup>1)</sup>	X

<sup>1)</sup> „Steuerelement für symmetrische Spannung“ – Spannungswerte  $\sigma$  bzw.  $\tau$  werden an den Knoten sofort nach Filteränderung angezeigt, ohne erst das Auswahlfenster schließen zu müssen.

### 4.4 CATIA-Benennungen und -Kurzzeichen:

- „Hauptneigung“ – Hauptschubspannung (ISO-Scherung) nach Versagenshypothese für duktile Werkstoffe, z. B. Stahl mit ausgeprägter Streckgrenze

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (17)$$

- „Hauptwert“ – Hauptnormalspannungen nach Versagenshypothese für spröbruchgefährdete Werkstoffe, z. B. Grauguss mit Lamellengraphit. Mittels Filter Auswahl der anzuzeigenden Hauptspannung (RMT  $\rightarrow$  Objekt ...  $\rightarrow$  Definition  $\rightarrow$  Register Darstellung  $\rightarrow$  Hauptwert  $\rightarrow$  Mehr >>  $\rightarrow$  Filter Komponente: )

3D-Elemente                      C11 =  $\sigma_1$ ,   C22 =  $\sigma_2$ ,   C33 =  $\sigma_3$

2D-Elemente, nur                C11 =  $\sigma_1$ ,   C22 =  $\sigma_2$

WH Zwickau (FH) Maschinenbau/Kfz-Technik Werkzeugmaschinen	<b>CATIA V5 – FEM-Simulation</b>	<b>WZM/UZAW</b> Prof. Dr.-Ing. habil. W. Klepzig
--	----------------------------------	---

- „Tensorkomponente“ – Normal- und Schubspannungen im aktuellen **GSA**-Achsen-System (RMT → Objekt ... → Definition → Register Darstellung → Tensorkomponente →  → Filter Achsen-System:  → Typ: Benutzer → Achsen-System im Baum selektieren →  )
- „Von Mises“ –  $\sigma_v$  nach Gestaltänderungsenergiehypothese gem. (16) bzw. mit den Tensor-komponenten

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2}{2} + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)} \quad (18)$$

- „Symbol“ – Pfeile als Spannungsvektoren, ermöglicht nur Anzeige der Hauptspannungen (Alle, C11 =  $\sigma_1$ , C22 =  $\sigma_2$ , C33 =  $\sigma_3$ , C11 + C22, C11 + C33, C22 + C33)
- Diskontinuierliches und durchschnittliches ISO  
 In der Regel mit „Durchschnittliches ISO“, d. h., geglättete Durchschnittswerte der einzelnen Elementknoten. „Diskontinuierliches ISO“ weist nicht geglättete und damit höhere Werte aus.

## 4.5 Verschiebungen

C1 =  $v_x$ , C2 =  $v_y$ , C3 =  $v_z$  im aktuellen **GSA**-Achsen-System

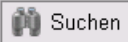
## 5 Lagerungs-, Kopplungs- und Lastbedingungen

### 5.1 Allgemeines

Lagerung von Bauteilen und Kopplung zwischen Bauteilen über Verbindungsnetze erfolgt durch Einschränkungen der Knotenfreiheitsgrade. Kann durch diese Einschränkungen der reale Fall nicht hinreichend genau abgebildet werden, weichen die berechneten Verformungen und insbesondere die Spannungen im Bereich der Lagerung/Kopplung von den realen Werten mehr oder weniger stark ab. So gibt es wegen der Elastizität aller Bauteile in praxi weder feste Einspannungen noch starre Auflager, wie z. B. starre Flächenloslager. Die Werkstoffe verformen sich dreidimensional. Wird diese dreidimensionale Verformung durch Knotenfixierung verhindert, werden größere als die tatsächlichen Spannungen errechnet.





Analog gilt das für die Einleitung von Belastungen über die Knoten.

Mit zusätzlichen **virtuellen Teile** können Randbedingungen auf Bauteile übertragen werden. Virtuelle Teile sind masselose Objekte, die praktisch Bauteile ohne Geometrie darstellen. Sie verbinden einen Punkt mit der Bauteilgeometrie. An diesem automatisch erzeugten bzw. selektierten Punkt – Steueroutine genannt – können Lagerungs- und/oder Lastbedingungen definiert werden. Damit lassen sich Bauteillagerungen u. U. besser der Realität anpassen. Virtuelle Teile vergrößern allerdings die Gesamtknotenanzahl und damit die Berechnungszeit sowie den Speicherbedarf.

[CATIA-Hilfe lestug.pdf](#) →  „Virtuelle Teile“

### 5.2 Lagerungsrandbedingungen

Tabelle 2: Lagerungsrandbedingungen für Bauteilgeometrie und virtuelle Teile (teilweise)

Befehl		Stützelemente	Körper lokal versteift	elast. Verformbarkeit der Teile berücksichtigt	Übertragung Zug, Druck, Momente (Fläche xy)	Bemerkung, Anwendung
Sym-bol	Benennung					
	<b>Feste Einspannung</b> ( <i>Clamps</i> )	Punkt, Kurve, Fläche, Gruppierung, virtuelles Teil	eingespannte Stützelemente	Stützelemente nein	alle F und M	Fixierung aller Knotenpunkte auf dem Stützelement; Schweiß-, Klebverbindungen, sonstige Fixierung
	<b>Flächenloslager/Gleitlager</b> ( <i>Surface Slider</i> )	Fläche, Gruppierung	nein	ja, mit Ausnahme $\perp$ Stützelement	$\pm F_z$ $\pm M_x, \pm M_y$	Gleiten entlang einer kongruenten, starren Fläche, z. B. Abstützen von Bauteilen, Symmetrierandbedingung
	<b>Erweiterte Bedingung</b> ( <i>Advanced Restraints</i> )	Punkt, Kurve, Fläche, Gruppierung, virtuelles Teil	Stützelemente in Richtung Fixierung	nicht in fixierter Richtung	je nach Freiheitsgradenzug	Universelle, benutzerdefinierte Sperrung der Freiheitsgrade
	<b>Isostatische Randbedingung</b> ( <i>Isostatic Restraint</i> )	gesamtes Simulationsmodell (Körper, Baugruppe)	nein	ja	keine	Starrkörperverschiebung ausgeschlossen, dabei elastische Verformung der Körper uneingeschränkt, für Frequenzanalysen o. Körper auf sehr weichen Unterlagen