

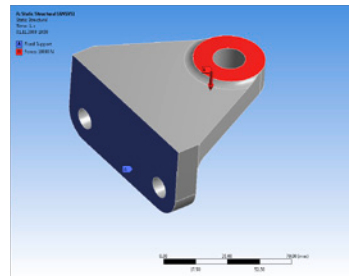
7

Erster Start

Für den ersten Berechnungsgang ist es empfehlenswert, ein einfaches, überschaubares Modell zu verwenden, um erst einmal die grundlegenden Funktionen kennenzulernen. Gönnen Sie sich diese Zeit und widerstehen Sie der Versuchung, gleich mit einem eigenen Modell zu beginnen. Sie können sich so besser auf die Handhabung konzentrieren und sind nicht von der physikalisch anspruchsvolleren eigenen Aufgabenstellung abgelenkt.

Ablauf üben

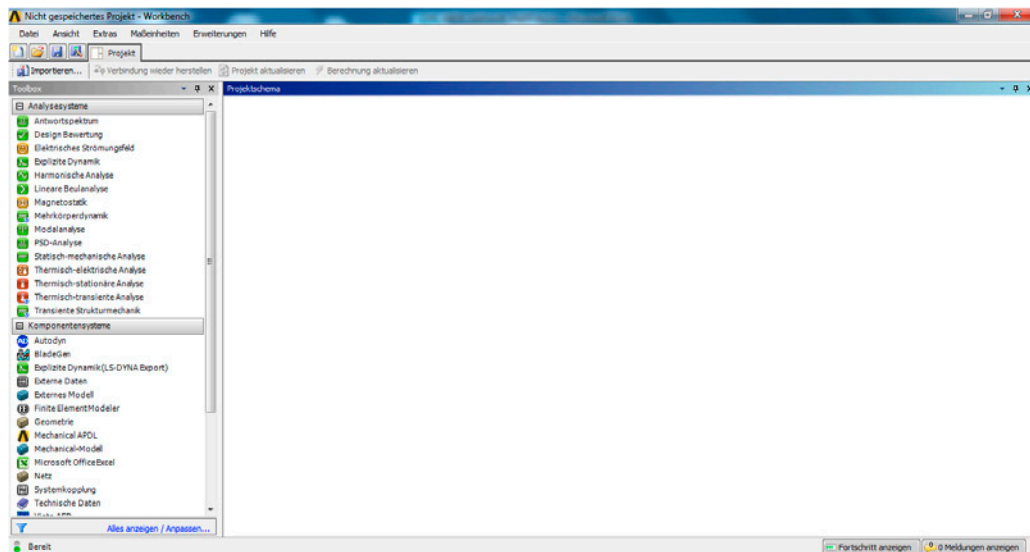
Ein kleiner Winkelhalter aus Stahl soll in einer linear statischen Analyse auf Spannungen und Verformungen berechnet werden. Vereinfacht wird angenommen, dass er in der Anlagefläche komplett fixiert wird. Auf das etwas vorstehende Auge soll eine Kraft von 1 kN nach unten wirken.



■ 7.1 Analyse definieren

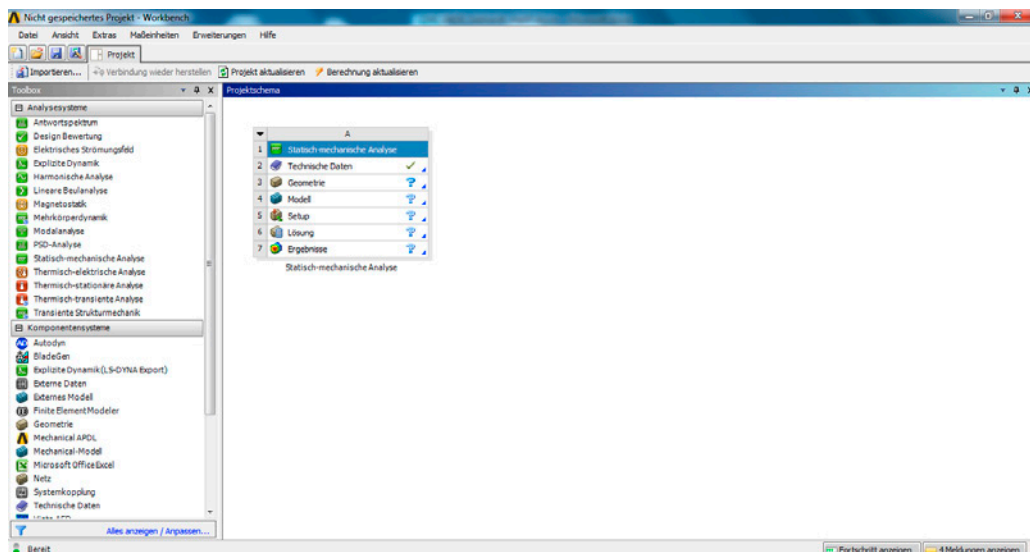
Starten Sie ANSYS Workbench über das Windows-Startmenü **START/PROGRAMME/ANSYS 13/ANSYS WORKBENCH**. Daraufhin erscheint der in der folgenden Abbildung dargestellte Projektmanager.

Wie geht's los?



Analyse definieren

Auf der linken Seite der Abbildung werden die verfügbaren Analysearten dargestellt. Für den Winkelhalter definieren wir eine statisch-mechanische Analyse. Mit einem Doppelklick auf **STATISCHE STRUKTURMECHANISCHE ANALYSE** unterhalb von **ANALYSEN-SYSTEME** wird eine neue Analyse – im Projektmanager „System“ genannt – angelegt. Statt des Doppelklicks kann im Projektbereich (großer leerer Bereich rechts) mit der rechten Maustaste mit **NEU: ANALYSENSYSTEME/STATISCH STRUKTURMECHANISCHE ANALYSE** ebenfalls ein neues System angelegt werden. Ebenso kann der Analysetyp **STATISCH STRUKTURMECHANISCHE ANALYSE** von links per Drag & Drop nach rechts in den Projektbereich gezogen werden.

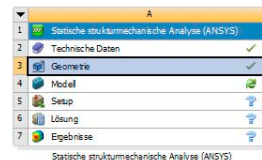


Jedes System besteht aus den folgenden Komponenten, die in Kapitel 8 noch genauer beschrieben werden: Projektkomponenten

- **ANALYSE-ART:** Hier wird festgelegt, welche Physik und welches numerische Verfahren verwendet werden.
- **TECHNISCHE DATEN:** Hiermit werden Materialdaten für das Bauteil oder die Baugruppe beschrieben. Es wird ein Standardmaterial verwendet, sofern die Materialdaten vom CAD-System nicht mit übernommen werden. Daher ist diese Komponente auch ohne eine Materialauswahl durch den Anwender mit einem grünen Haken versehen.
- **GEOMETRIE:** Hier können die nativen Dateien eines CAD-Systems eingeladen, ein neutrales Format wie IGES, STEP, Parasolid und ACIS importiert oder eine Geometrie mit dem ANSYS DesignModeler neu erstellt werden. Auch die Übernahme eines in einem CAD-System geladenen Modells ist möglich.
- **MODELL:** Alle Definitionen, die neben der Geometrie notwendig sind, um ein FE-Modell zu beschreiben, wie z. B. die Vernetzungseinstellungen, Kontakte oder auch lokale Koordinatensysteme, werden unter dem Begriff Modell zusammengefasst.
- **SETUP:** Die Analyse-Einstellungen, die Belastung und die sonstigen Randbedingungen werden in den Setup-Einstellungen zusammengefasst.
- **LÖSUNG:** Die Rückmeldungen des Gleichungslösers sind unter der Lösung verfügbar.
- **ERGEBNISSE:** Unter **ERGEBNISSE** sind die durch die FEM-Analyse ermittelten Resultate zu finden.

Gehen Sie die einzelnen Komponenten von oben nach unten mit der rechten Maustaste durch, um das System für die erste Berechnungsaufgabe zu definieren. Die Analyseart wurde mit dem Anlegen des Systems schon definiert und sollte nicht nachträglich verändert werden. Das Material wird standardmäßig als Stahl definiert, deshalb können in diesem ersten Ablauf die Materialdaten so verwendet werden.

- Klicken Sie mit der rechten Maustaste auf **GEOMETRIE** und wählen Sie unter **GEOMETRIE IMPORTIEREN/DURCHSUCHEN** die STEP-Datei *halter_verrundet.stp* aus. Die Beispieldaten finden Sie unter <http://downloads.hanser.de>.

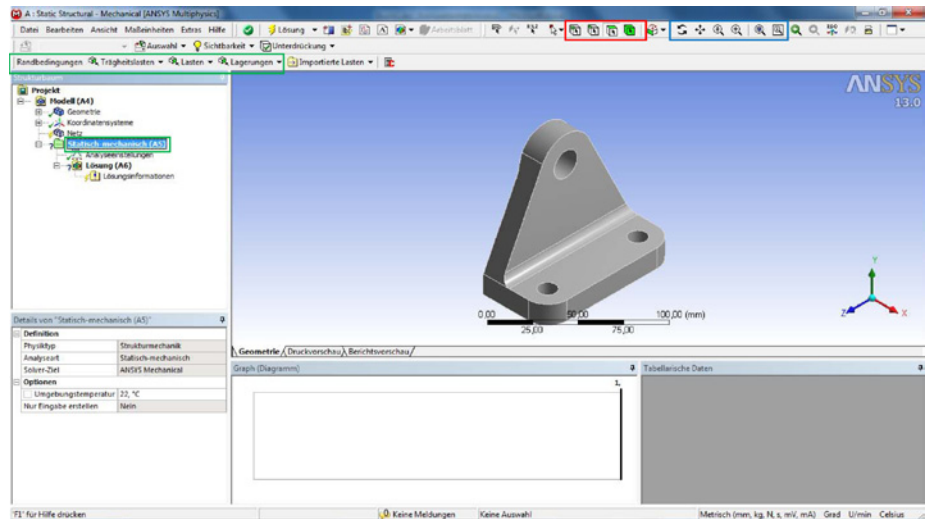


TIPP: Bevor Sie in die Definition einzelner Komponenten wie Modelle, Lasten oder Ergebnisse einsteigen, sollten Sie Ihr Projekt speichern, auch wenn in den ersten Projektphasen noch wenige Projektdaten sicherungswürdig erscheinen. Im Hintergrund werden mit dem Speichern des Projekts Pfade für temporäre Dateien festgelegt und andere Einstellungen getätigt, die für einen reibungslosen Projektablauf sorgen. Verwenden Sie dazu kein Netzlaufwerk und nicht den Desktop, sondern ein Verzeichnis auf Ihrer lokalen Festplatte.

■ 7.2 Berechnungsmodell und Lastfall definieren

Nachdem das Projekt gespeichert und die Geometriezuordnung abgeschlossen ist, können Sie mit der rechten Maustaste auf **MODELL** klicken und über **BEARBEITEN** das Berechnungsmodell und den Lastfall definieren. Dazu öffnet sich das Fenster der Mechanical-Applikation.

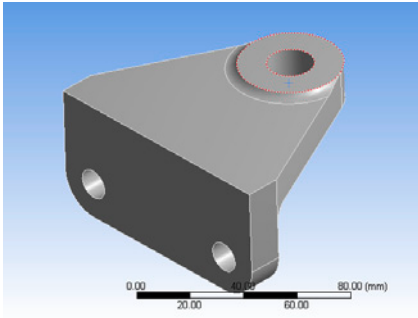
Das Berechnungsmodell, bestehend aus Geometrie, Koordinatensystemen und Netz, kann mit den Default-Einstellungen verwendet werden, sodass hier keine weiteren Ergänzungen vorzunehmen sind. Um Lasten und Lagerungen zu definieren, wählen Sie im Strukturbaum den Lastfall **STATISCH-MECHANISCH** an. Für eine einfachere Definition wählen Sie bei den folgenden Schritten zuerst die Geometrie, dann die zugehörige Randbedingung.



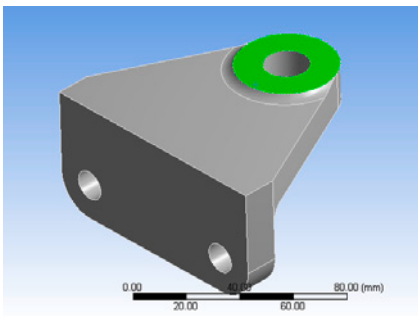
Ansicht verändern

Der Selektionsfilter (roter Rahmen) ist per Default auf Flächenselektion eingestellt. Mit den Funktionen zur Ansichtsteuerung (blauer Rahmen) oder einer Space-Mouse können Sie Ihr Modell drehen, schieben, skalieren, zoomen oder einpassen. Wenn Sie die **DREHEN**-Funktion (blauer Rahmen, ganz links) verwenden, wird der Selektionsfilter aufgehoben, sodass nach dem Drehen der Selektionsfilter **FLÄCHE** wieder aktiviert werden muss. Um dies zu vermeiden, kann man statt der **DREHEN**-Funktion das Bauteil mit der mittleren Maustaste (Mausrad) drehen, ohne dass der Selektionsfilter neu aktiviert werden muss.

Fährt man mit der Maus über das Modell, wird das geometrische Element, das mit einem Linksklick selektiert werden kann, mit einer Markierung hervorgehoben.



Wird der Linksklick ausgeführt, wird die selektierte Geometrie grün dargestellt.



In der Statusleiste am unteren Rand des Mechanical-Applikationsfensters werden die Anzahl der selektierten Flächen und der Flächeninhalt angezeigt (eine Fläche ausgewählt; Flächeninhalt ca. = 992 mm²).

Kraftangriff selektieren

Wählen Sie aus der kontextsensitiven Funktionsleiste direkt oberhalb des Grafikfensters unter **LASTEN** die Funktion **KRAFT**. Alternativ können Sie im Strukturbaum oder im Grafikfenster durch die rechte Maustaste **EINFÜGEN/KRAFT** auswählen und die Krafterbedingung definieren.

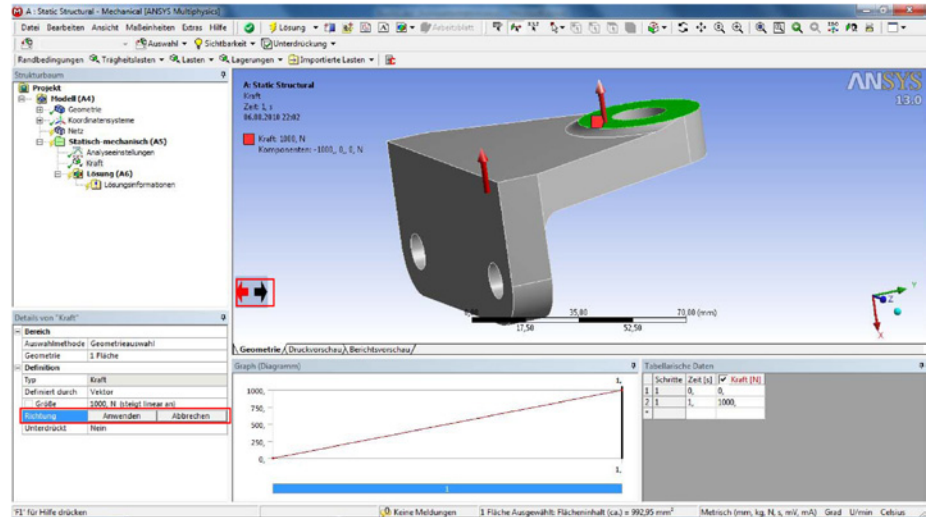
Während der Kraftdefinition wird im Strukturbaum die Kraft mit einem blauen Fragezeichen versehen, solange noch nicht alle erforderlichen Angaben gemacht sind. Ist die Kraft vollständig definiert, z. T. auch über Default-Einstellungen, wird dies durch einen grünen Haken im Strukturbaum visualisiert.

Im Detailfenster unten links erwartet ANSYS Workbench unter **GRÖSSE** den Wert der Kraft im eingestellten Einheitensystem. Für die Strukturmechanik hat sich das Einheitensystem mm/kg/N bewährt, deshalb ist es empfehlenswert, im Menü **MASSEINHEITEN** dieses Einheitensystem einzustellen. Tragen Sie die Zahl 1000 ein und bestätigen Sie mit der Eingabetaste. Die Checkbox vor **GRÖSSE** bleibt leer.

Die nächste zu definierende Eigenschaft ist die Krafterichtung. Bei einer einzelnen selektierten Fläche wird die Kraft mit einer Default-Richtung versehen. Für eine Zylinderfläche ist sie die Richtung der Achse, bei einer ebenen Fläche die Richtung der Flächennormale. So wird auch in diesem Fall die Flächennormale verwendet, um die Default-Richtung nach oben zu definieren. Mit einem Klick auf **ZUM ÄNDERN KLICKEN** im Detailfenster

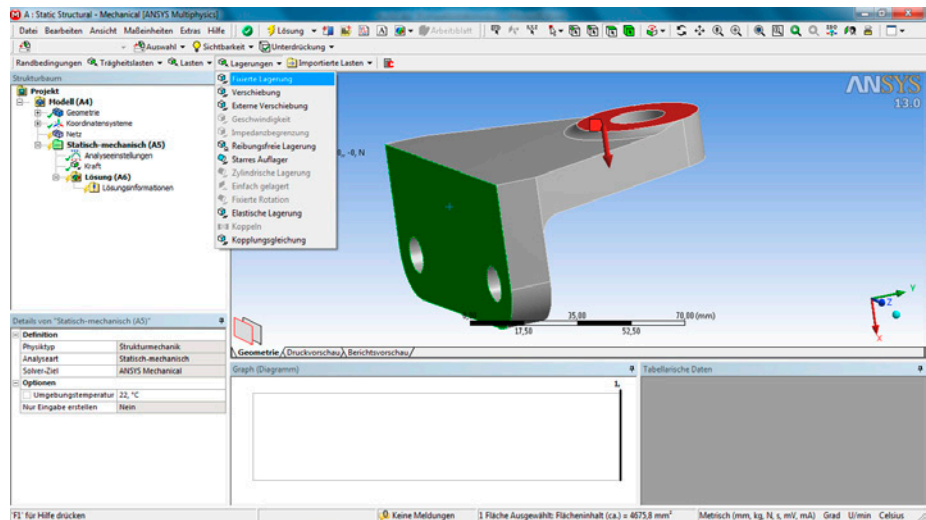
Orientieren der Kraft

könnten am CAD-Modell eine andere Fläche, Kante oder zwei Punkte angewählt werden, welche die Richtung (nicht den Ort) der Krafteinleitung bestimmt. Der zweite rote Pfeil zeigt die gerade aktuell gefundene, aber noch nicht zugewiesene Kraftrichtung. Nachdem die Flächennormale der Ringfläche des Auges zur Richtungsdefinition verwendet werden kann, kann mit einem Klick auf die beiden rot-schwarzen Pfeile im CAD-Fenster die Kraftrichtung einfach umgedreht werden. Mit ANWENDEN wird die temporäre Richtung übernommen und die Kraftdefinition abgeschlossen (siehe nachfolgende Abbildung).

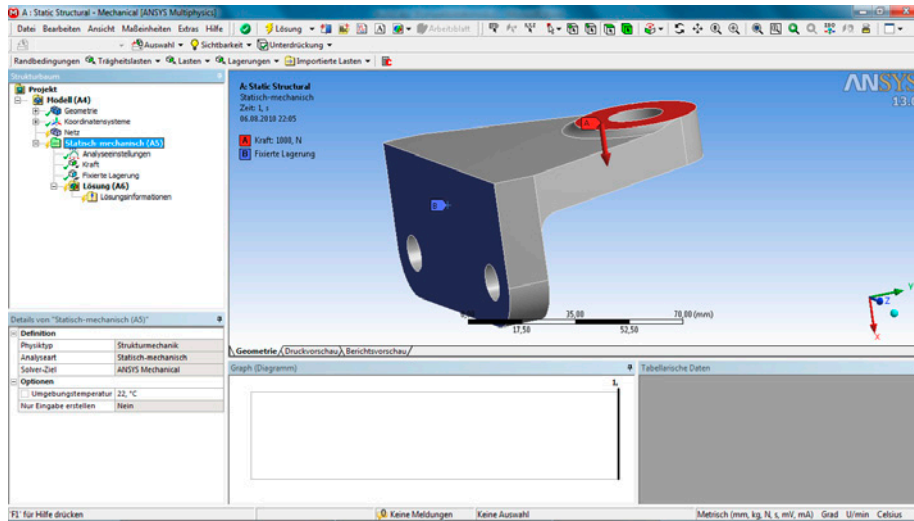


Lagerung definieren

Ähnlich wird auch die fixierte Lagerung definiert. Selektieren Sie die Anlagefläche, wählen Sie im Kontextmenü unter **LAGERUNGEN** oder über die rechte Maustaste unter **EINFÜGEN** die **FIXIERTE LAGERUNG**, um das Bauteil dort einzuspannen (siehe nachfolgende Abbildung). Weitere Angaben zur Lagerung sind im Detailfenster unten links nicht erforderlich.



Nachdem im Strukturbaum lediglich die gerade definierte Lagerung markiert wird, wird auch nur diese im Grafikfenster angezeigt. Um alle definierten Randbedingungen zu sehen, können mit der CTRL/STRG-Taste im Strukturbaum zusätzliche Randbedingungen oder mit einem Klick auf **STATISCH-STRUKTURMECHANISCH** der gesamte Lastfall markiert werden (siehe nachfolgende Abbildung).



Im Strukturbaum sollte jetzt alles grün angehakt sein, bis auf Netz und Lösung, die mit einem gelben Blitz versehen sind, der symbolisiert, dass diese noch berechnet werden müssen. Sind darüber hinaus unvollständig definierte Randbedingungen (erkennbar an einem blauen Fragezeichen) definiert, löschen Sie diese (anklicken, rechte Maustaste). Mit **DATEI/PROJEKT SPEICHERN** wird die bisherige Definition der Berechnung gespeichert.

Die Berechnung kann gestartet werden, indem Sie in der oberen Icon-Leiste oder im Baum mit der rechten Maustaste auf **STATISCH-STRUKTURMECHANISCH/LÖSUNG** gehen und die Funktion **LÖSUNG** oder oben in der Icon-Leiste **LÖSUNG** wählen. Vernetzung und Berechnung werden mit den Standardeinstellungen in einem Schritt durchgeführt. Ein Fortschrittsbalken zeigt den Status der Analyse an. Nach kurzer Zeit ist der Strukturbaum komplett mit grünen Haken versehen und die Berechnung abgeschlossen.

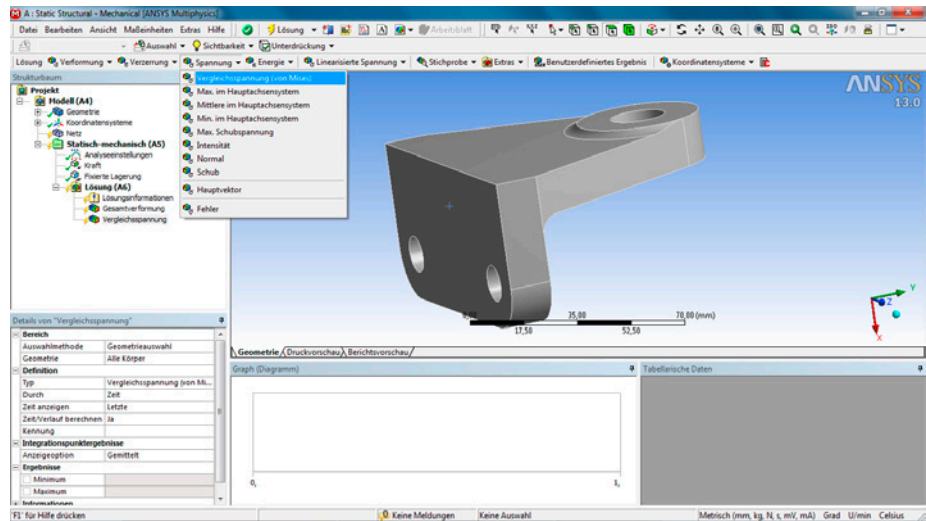
Definition kontrollieren

7.3 Ergebnisse erzeugen und prüfen

Um ein Berechnungsergebnis zu definieren, wählen Sie im Strukturbaum **LÖSUNG** und im Kontextmenü oder über die rechte Maustaste unter **EINFÜGEN** eine der Ergebniskategorien wie **VERFORMUNG**, **DEHNUNG**, **SPANNUNG**, **ENERGIE**, **LINEARISIERTE SPANNUNG**, **STICHPROBE**, **EXTRAS** oder **BENUTZERDEFINIERTER ERGEBNISSE**. Für den Winkelhalter

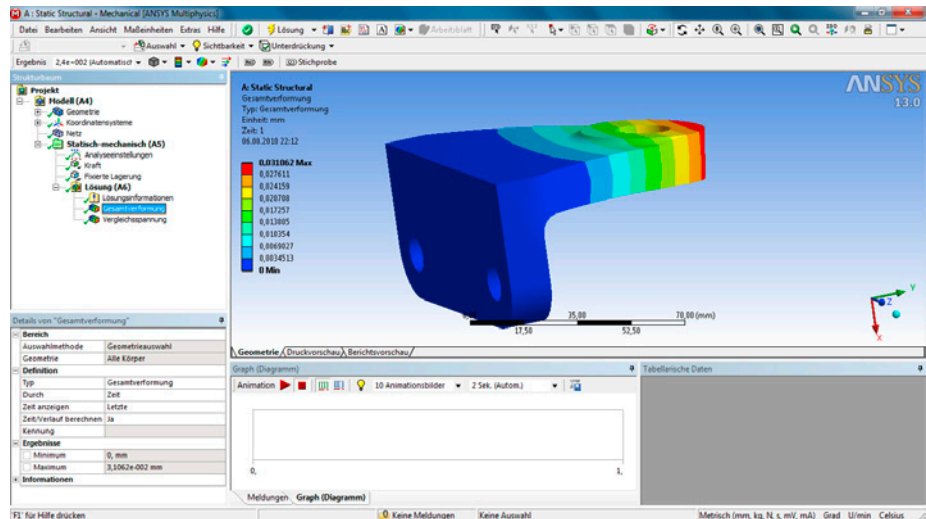
Ergebnisse erzeugen

sollten mindestens zwei Ergebnisse, nämlich die Gesamtverformung (VERFORMUNG/ GESAMT) und die Von-Mises-Vergleichsspannung, definiert werden.



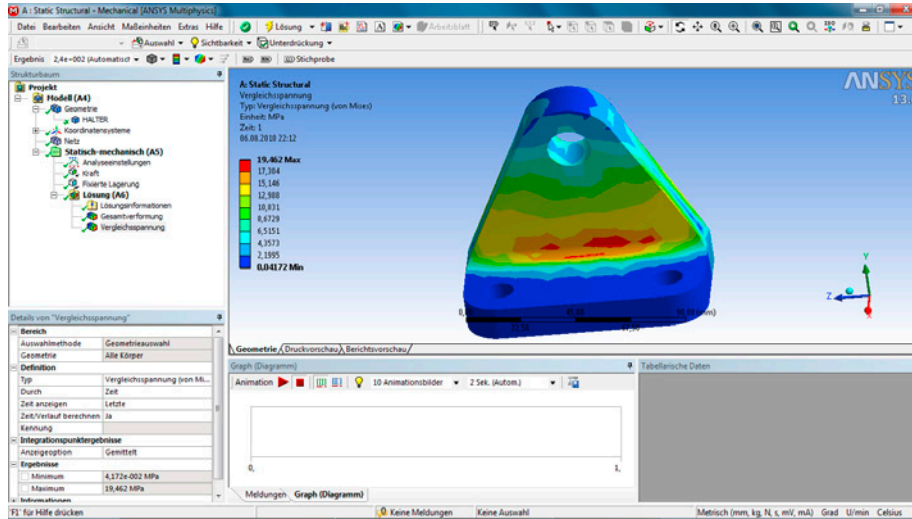
Ergebnis prüfen

Mit einem erneuten Klick auf **LÖSUNG** oben in der Mitte der Icon-Leiste werden die Ergebnisse aktualisiert. Das erste visualisierte Berechnungsergebnis jeder statisch-mechanischen Analyse sollte die Verformung sein, um eine Plausibilitätsprüfung durchführen zu können: Verformt sich das Bauteil so wie erwartet (in diesem Fall nach unten)? Ist die Verformung in einer realistischen Größenordnung?



Der Winkel verformt sich in Kraftrichtung, die Größe der Verformung mit 0,03 mm scheint realistisch. Die Verteilung der Verformung wird durch abgestufte Farbbänder dargestellt, deren Grenzlinien (z. B. zwischen Blau und Hellblau) glatt und rund sind. Damit ist ein erster grober Anhaltswert auch bezüglich der Genauigkeit des verwendeten Netzes gegeben.

Bei der Darstellung der Spannungen sieht man einen Maximalwert von ca. 20 MPa, der an der Innenseite des Winkels auftritt (siehe nachfolgende Abbildung).



Das Spannungsmaximum erscheint nicht mit einer glatten Verteilung, sondern die Abgrenzung der verschiedenen Farben ist grob und gezackt. Dies deutet auf eine unzureichende Vernetzung für eine Spannungsbewertung hin. Genauere Spannungen können berechnet werden, indem in der Kerbe eine feinere Vernetzung definiert wird. Dazu stehen zwei Methoden zur Verfügung:

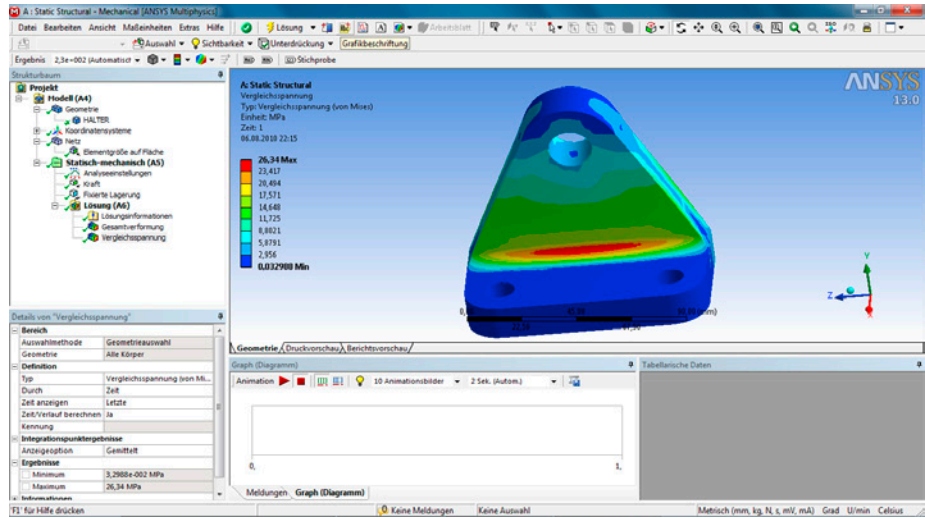
- die manuelle Vernetzung, bei der der Anwender selbst definiert, wo und wie das Netz lokal verdichtet wird
- die adaptive Vernetzung, bei der das System die Vernetzung automatisch so weit verfeinert, bis eine voreingestellte Genauigkeitsschranke erreicht wird

Genauigkeit steigern

Nähere Informationen zur Vernetzung finden sich in Abschnitt 8.5.6, die Grundlagen in Kapitel 3.

Für eine manuelle Netzverdichtung an der Verrundung, wählen Sie im Strukturbaum die Vernetzung (NETZ), selektieren Sie im Grafikfenster die Verrundungsfläche (Selektionsfilter **FLÄCHE** aktivieren, falls erforderlich) und definieren Sie im Kontextmenü über **NETZ-STEUERUNG** oder im Strukturbaum mit der rechten Maustaste **EINFÜGEN** eine lokale Elementgröße mit **ELEMENTGRÖSSE**. Legen sie im Detailfenster unten links die Elementgröße für die selektierte Fläche mit 1 mm fest. Aktualisieren Sie die Analyse durch eine erneute Berechnung mit **LÖSUNG**. Wählen Sie im Strukturbaum die Von-Mises-Vergleichsspannung an und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem vorherigen.

Manuelle
Netzverdichtung



Vernetzung o. k.? Die Spannungsverteilung weist – zumindest in dem für die Festigkeits-Aussage relevanten Bereich der Maximalspannung – eine glatte Spannungsverteilung auf. Die Farbbänder zwischen Rot und Orange bzw. Orange und Gelb sind glatt. Der Spannungswert liegt mit 26 MPa aber etwa 30% über der zuvor ermittelten Spannung mit der groben Vernetzung. Dieses Verhalten ist typisch und zeigt, dass für genaue Spannungswerte eine lokale Netz-anpassung zwingend erforderlich ist (siehe vorangehende Abbildung).

Weitere Hinweise zur optischen Darstellung der Ergebnisse finden Sie in Abschnitt 8.8.2. Zum Abschluss der Analyse wählen Sie **DATEI** und **PROJEKT SPEICHERN** an, danach schließen Sie das Fenster der Mechanical-Applikation durch einen Klick auf das X im Fensterrahmen oben rechts oder über das Menü. Auf der Festplatte liegt das Berechnungsprojekt unter dem während der Analyse angegebenen Namen einmal als Datei mit der Endung *.WBPJ* und als Verzeichnis mit gleichem Namen und der Erweiterung *_FILES*. Datei und Verzeichnis gehören zusammen und sollten nur miteinander auf andere Daten-träger oder in andere Verzeichnisse verlagert werden.