

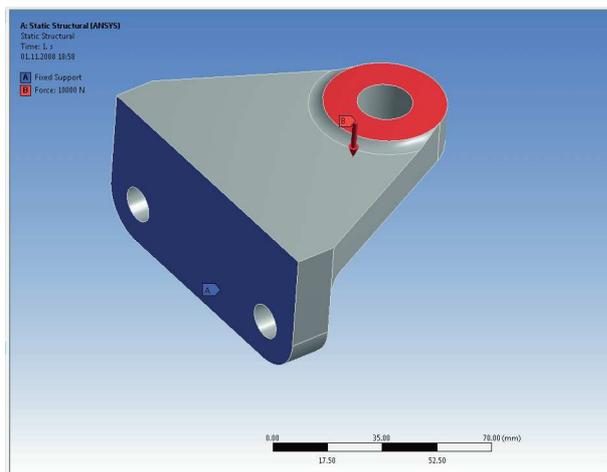
# 7

## 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.

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 (siehe Bild 7.1).

Ablauf üben

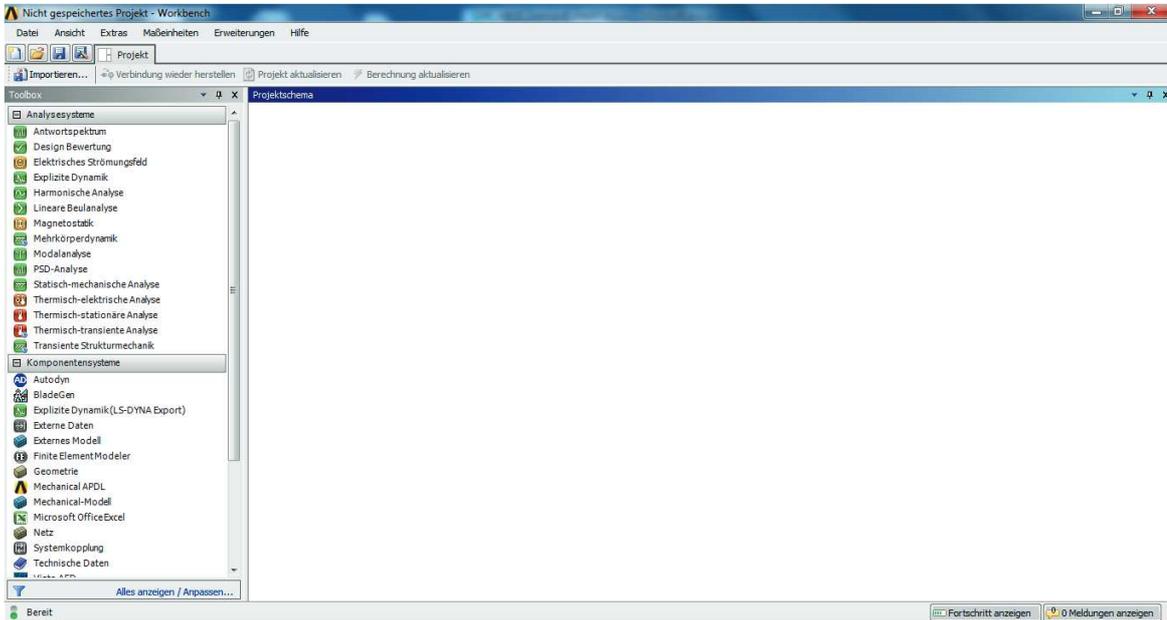


**Bild 7.1** Erste Analyse: Winkelhalter mit Belastung und Lagerung

## 7.1 Analyse definieren

Wie geht's los?

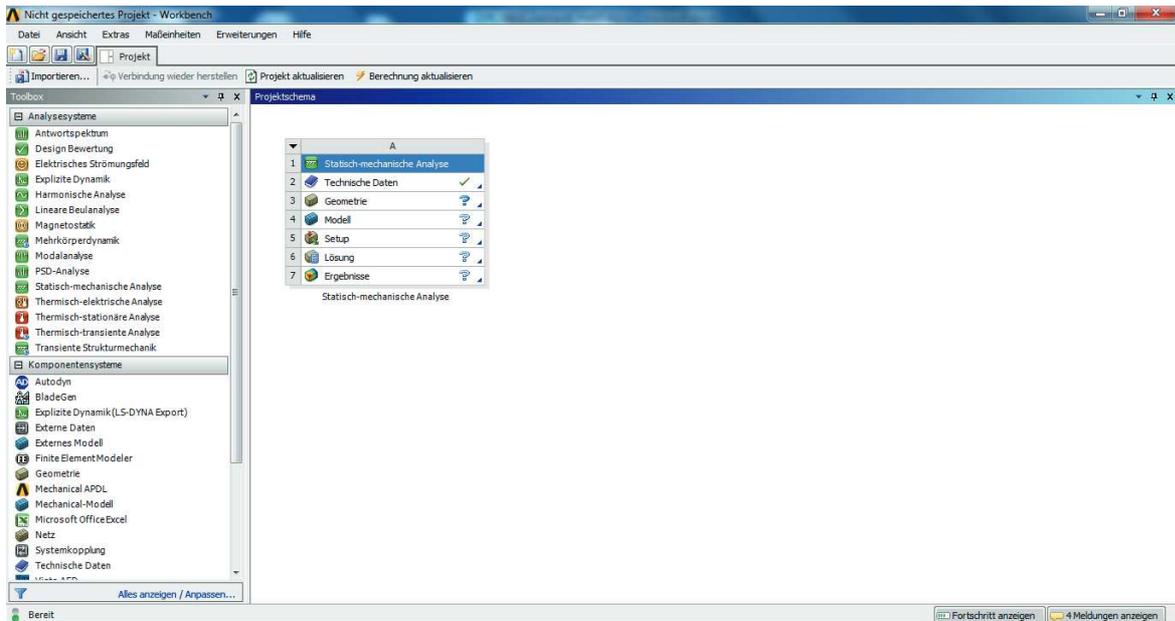
Starten Sie ANSYS Workbench über das Windows-Startmenü **START/PROGRAMME/ANSYS 19.1/ANSYS WORKBENCH**. Daraufhin erscheint der in Bild 7.2 dargestellte Projektmanager.



**Bild 7.2** Projektmanager zum Beginn der Analyse

Analyse definieren

Auf der linken Seite in Bild 7.2 werden die verfügbaren Analysearten dargestellt. Für den Winkelhalter definieren wir eine statisch-mechanische Analyse. Mit einem Doppelklick auf **STATISCHE STRUKTURMECHANISCHE ANALYSE** unterhalb von **ANALYSENSYSTEME** 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 (siehe Bild 7.3).



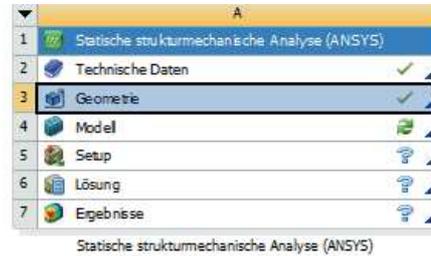
**Bild 7.3** Projektmanager mit definierter Analyse

Jedes System besteht aus den folgenden Komponenten, die in Kapitel 8 noch genauer beschrieben werden (siehe Bild 7.4): 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 (siehe Bild 7.4) und wählen Sie unter GEOMETRIE IMPORTIEREN/DURCHSUCHEN die STEP-Datei *halter\_gerundet.stp* aus. Die Beispieldaten finden Sie unter <http://downloads.hanser.de>.



**Bild 7.4** Analysesystem mit vordefinierten Arbeitsschritten



**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 Projektlauf sorgen. Verwenden Sie dazu kein Netzlaufwerk und nicht den Desktop, sondern ein Verzeichnis auf Ihrer lokalen Festplatte.

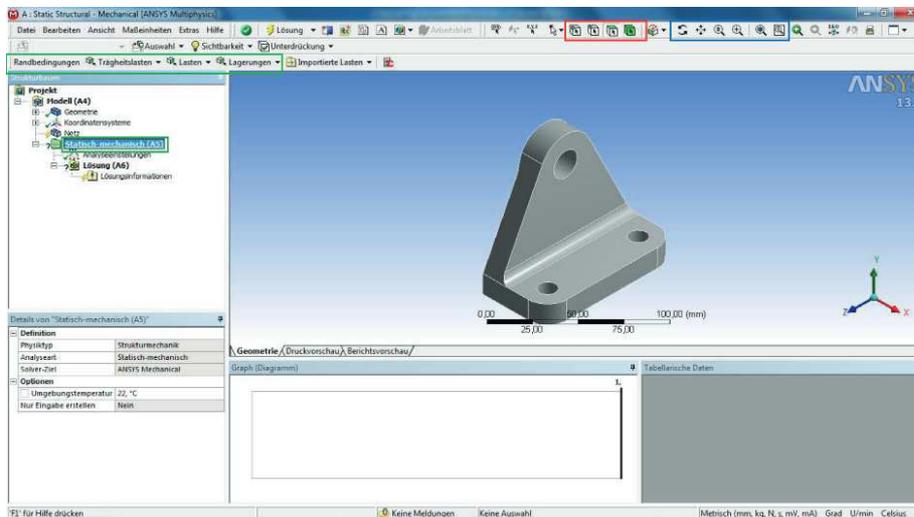
## ■ 7.2 Berechnungsmodell und Lastfall definieren

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.

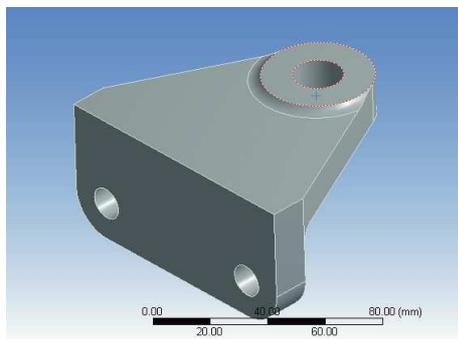
Der Selektionsfilter (roter Rahmen, siehe Bild 7.5) ist per Default auf Flächenselektion eingestellt. Mit den Funktionen zur Ansichtssteuerung (blauer Rahmen, siehe Bild 7.5) oder einer Space-Mouse können Sie Ihr Modell drehen, schieben, skalieren, zoomen oder einpassen. Wenn Sie die DREHEN-Funktion (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.

Ansicht verändern



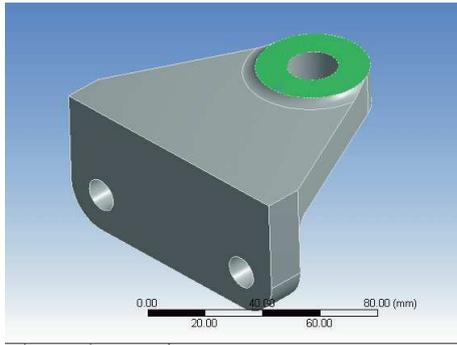
**Bild 7.5** Das Geometriemodell ist bereit für Randbedingungen.

Fährt man mit der Maus über das Modell, wird das geometrische Element, das mit einem Linksklick selektiert werden kann, mit einer Markierung hervorgehoben (siehe Bild 7.6).



**Bild 7.6** Orientieren der Geometrie über die mittlere Maustaste

Wird der Linksklick ausgeführt, wird die selektierte Geometrie grün dargestellt (siehe Bild 7.7).



**Bild 7.7** Auswahl der Fläche für die Belastung

#### Kraftangriff selektieren

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 mm<sup>2</sup>).

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 Krafrandbedingung 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.

#### Orientieren der Kraft

Die nächste zu definierende Eigenschaft ist die Krafrichtung. 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 könnten am CAD-Modell eine andere Fläche, Kante oder zwei Punkte angewählt werden, welche die Richtung (nicht den Ort) der Krafeinleitung bestimmt. Der zweite rote Pfeil zeigt die gerade aktuell gefundene, aber noch nicht zugewiesene Krafrichtung. 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 Krafrichtung einfach umgedreht werden. Mit **ANWENDEN** wird die temporäre Richtung übernommen und die Kraftdefinition abgeschlossen (siehe Bild 7.8).

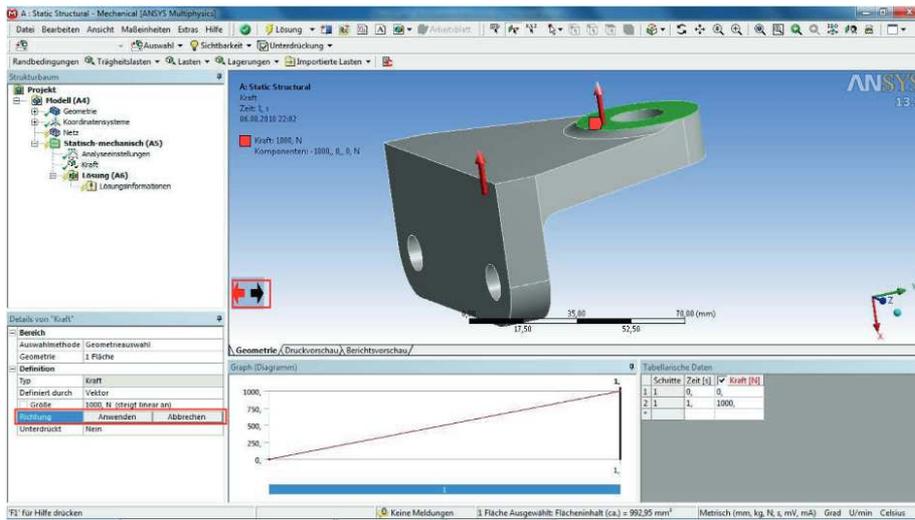


Bild 7.8 Orientierung der Kraft

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 Bild 7.9). Weitere Angaben zur Lagerung sind im Detailfenster unten links nicht erforderlich.

Lagerung definieren

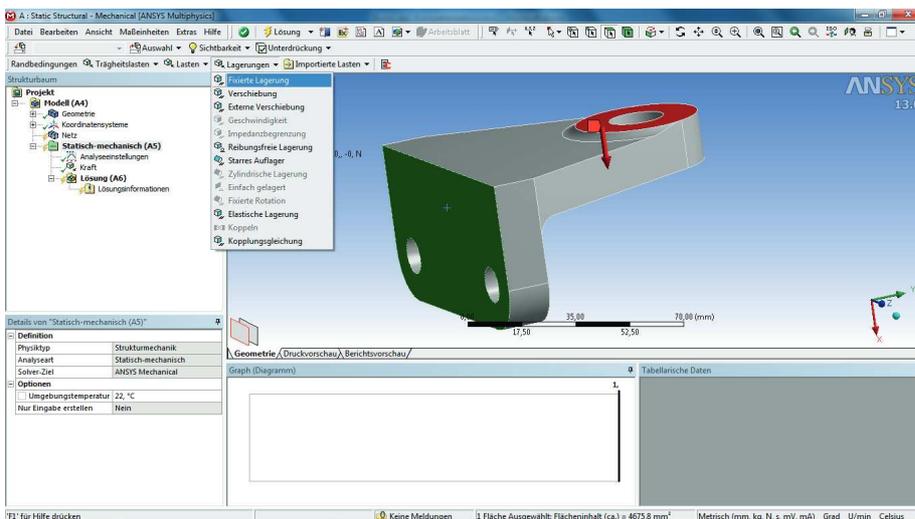
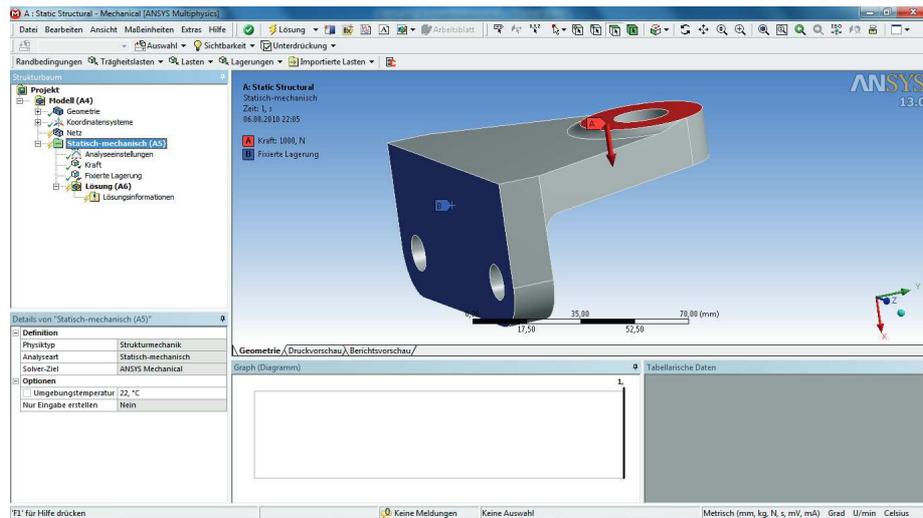


Bild 7.9 Auswahl der Fläche für die Lagerung

Nachdem im Strukturbaum lediglich die gerade definierte Lagerung markiert wird, wird auch nur diese im Grafikenfenster 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 Bild 7.10).



**Bild 7.10** Lastfall vollständig

Definition kontrollieren

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.

## 7.3 Ergebnisse erzeugen und prüfen

Ergebnisse erzeugen

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, STICH-PROBE, EXTRAS oder BENUTZERDEFINIERTER ERGEBNISSE. Für den Winkelhalter sollten mindestens zwei Ergebnisse, nämlich die Gesamtverformung (VERFORMUNG/GESAMT) und die Von-Mises-Vergleichsspannung, definiert werden (siehe Bild 7.11).

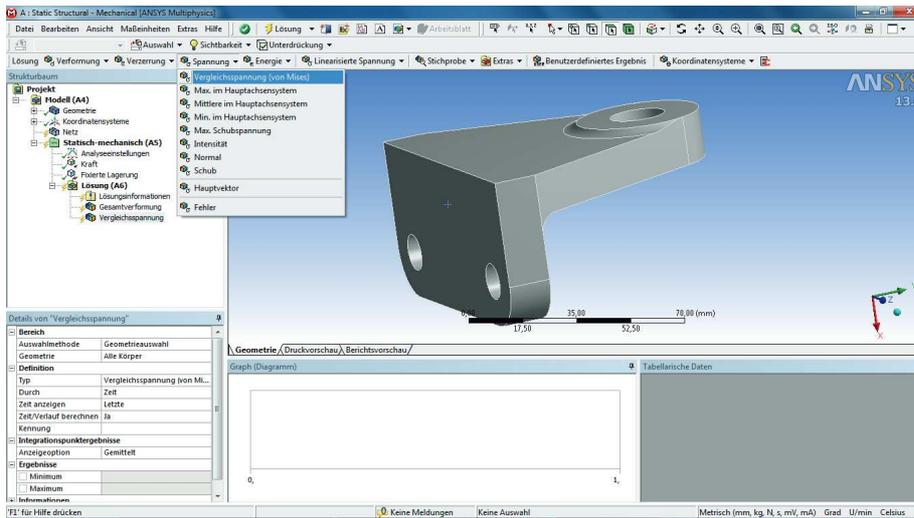


Bild 7.11 Definition von Ergebnissen

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?

Ergebnis prüfen

Der Winkel verformt sich in Krafrichtung, 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 (siehe Bild 7.12). Damit ist ein erster grober Anhaltswert auch bezüglich der Genauigkeit des verwendeten Netzes gegeben.

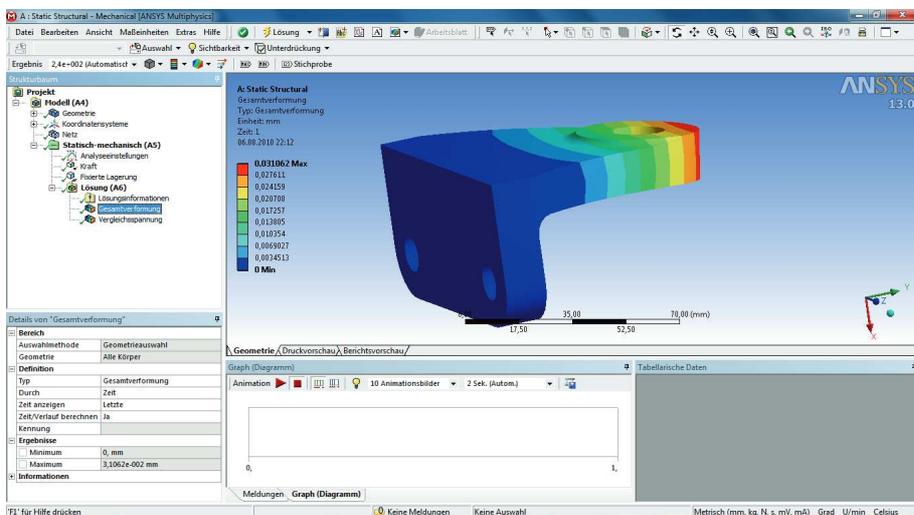
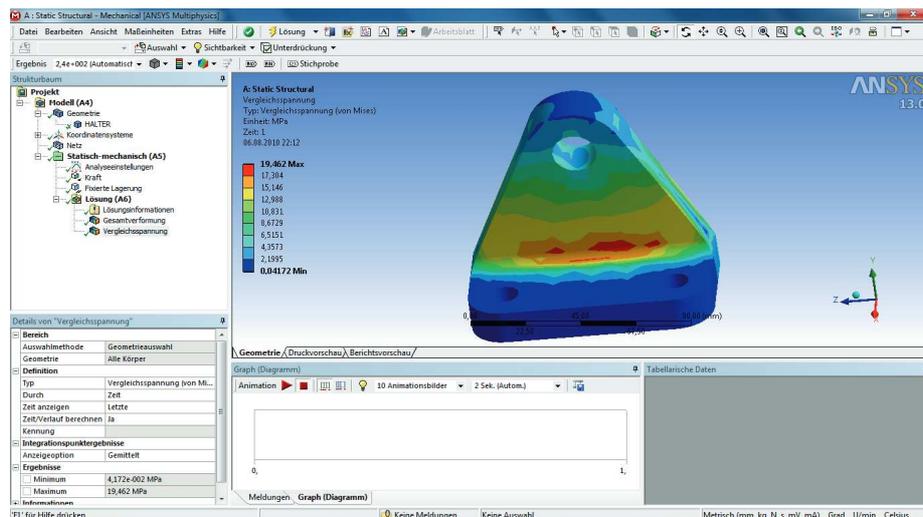


Bild 7.12 Verformung

Bei der Darstellung der Spannungen sieht man einen Maximalwert von ca. 20 MPa, der an der Innenseite des Winkels auftritt (siehe Bild 7.13).



**Bild 7.13** Grobe Spannungsverteilung mit initialem Netz

Genauigkeit steigern

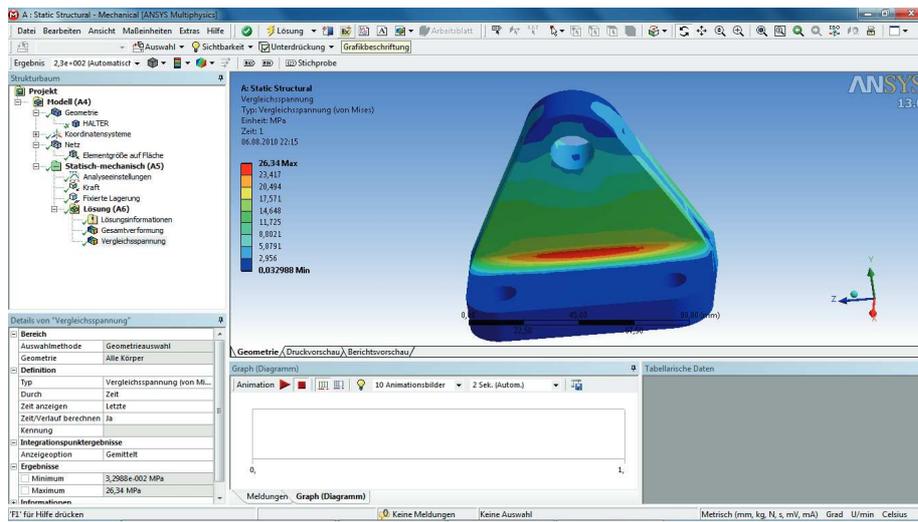
Das Spannungsmaximum erscheint nicht mit einer glatten Verteilung, sondern die Abgrenzung der verschiedenen Farben ist grob und gezackt. Dies deutet auf eine unzureichende Vernetzung für eine Spannungsbewertung hin. Genauere Spannungen können berechnet werden, indem in der Kerbe eine feinere Vernetzung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

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

Manuelle  
Netzverdichtung

Für eine manuelle Netzverdichtung an der Verrundung, wählen Sie im Strukturbaum die Vernetzung (NETZ), selektieren Sie im Grafikenfenster 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 (siehe Bild 7.14).



**Bild 7.14** Glatte Spannungsverteilung mit verfeinertem Netz

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 Bild 7.14).

Vernetzung o. k.?

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 Fenster-rahmen 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 Datenträger oder in andere Verzeichnisse verlagert werden.