

# **Automatisches 3D-Hexaeder-Remeshen am Beispiel komplexer Schmiedesimulationen**

## **Ein Beitrag zur Verbesserung der Prozesssimulation**

Dr. Ing. M. Twickler, Dr. Ing. G. H. Arfmann

### **Kurzfassung**

Anforderungen an heutige Umformsimulationen erstrecken sich in ihrer Konsequenz auch auf die verwendete Netztopologie und damit auch auf das notwendige Remeshen. Ein automatisches 3D-Hexaeder-Remeshen wird in diesem Beitrag in seiner generellen Strategie einer vielstufigen Vorgehensweise vorgestellt. Verwendung finden dabei ausschließlich 8-knotige Hexaederelemente. Ausgewählte Beispiele von komplexeren Schmiedeteilen, die mit dieser Meshing- und Remeshing-Strategie vernetzt wurden werden anschließend vorgestellt. Umgesetzt und verfügbar ist diese 3D-Hexaeder-Remeshen im Programmsystem easy-form.

---

**Dr. Michael Twickler und Dr. Gerhard H. Arfmann**

**Geschäftsführende Gesellschafter**

**CPM GmbH**

**Kaiserstrasse 100**

**52134 Herzogenrath**

**[www.CPMGMBH.com](http://www.CPMGMBH.com)**

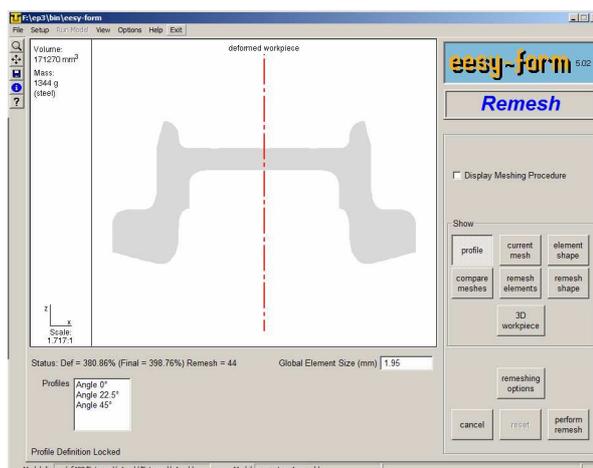
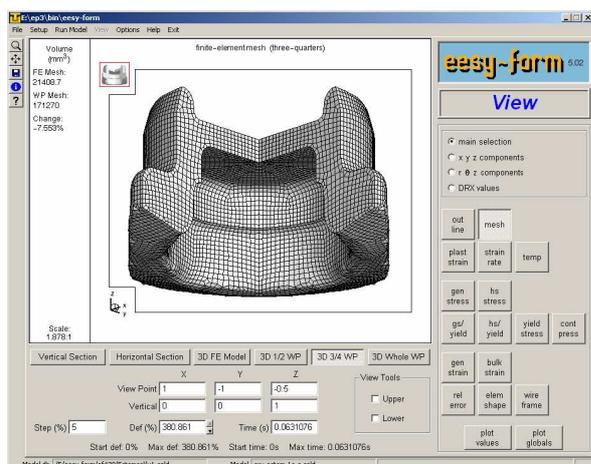
## 1. Anforderungen

Aus den heutigen Anforderungen an eine Umformsimulation komplexer Bauteile erwachsen auch Anforderungen an die für derartige Simulationen unumgängliche Neuvernetzung des Werkstücks während des Umformvorgangs. Nicht nur die äußere Form der Geometrie wird in hoher Zuverlässigkeit als Ergebnis einer Simulation erwartet, auch die lokalen Größen wie Verformungen und Spannungen bis hin zu gefügerelevanten Größen stehen heute im Fokus der Anwender.

Neben der möglichst genauen Beschreibung aller Randbedingungen sowie des Materialverhaltens hat auch die jeweilige Netztopologie und damit auch die Art der vielfach wiederkehrenden Neuvernetzung eine nicht unerhebliche Bedeutung. Schlussendlich bildet die Verformung der einzelnen Elemente des 3D-Netzes die Grundlage für die numerische Abbildung des Stoffflusses und für alle nachfolgenden Berechnungsschritte der oben genannten lokalen Ergebnisgrößen.

Als einige daraus erwachsende Anforderungen an ein 3D Remeshen wären zu nennen: Hohe geometrische Genauigkeit, präzise Abbildung der Werkstück-Werkzeug Kontaktbereiche, möglichst unbehinderten inneren Stofffluss durch Vermeidung von Steifigkeitssprüngen, Erkennung 'echter' Werkstückkanten und Werkstückecken zur Vermeidung ungewollter Werkstückglättungen. Dieser Liste können sicher noch einige weitere Aspekte zugefügt werden.

Im Weiteren wird die generelle Strategie der im Programmsystem eesy-form implementierten Neuvernetzungsprozedur vorgestellt. Dazu als Einführung die beiden nachfolgenden Bilder,



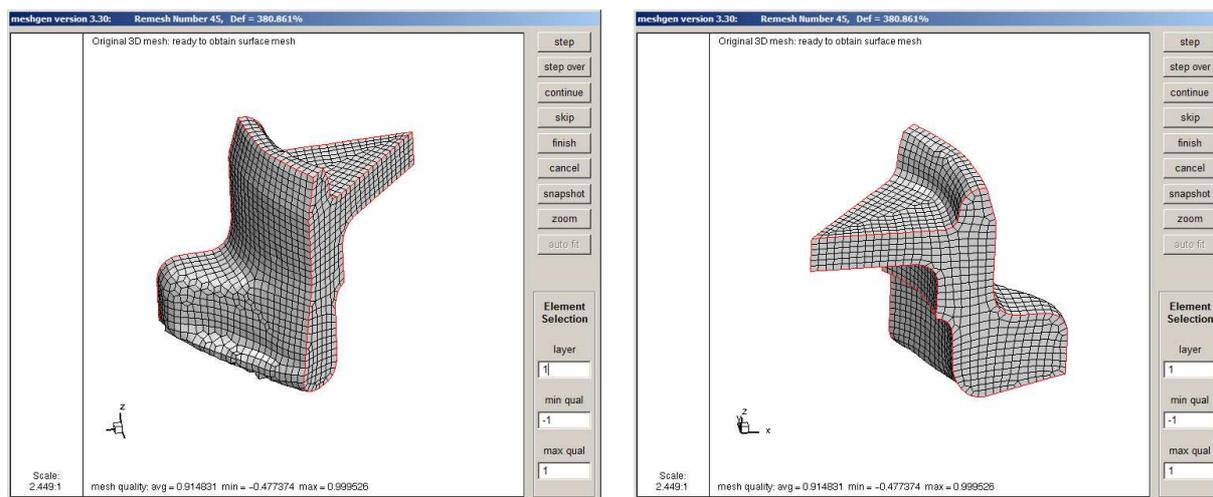
die das aufgeschnittene Bauteil (links) und als Ausgangszustand für das Remeshen einen der relevanten Bauteilquerschnitte (rechts) zeigen.

## 2. Generelle Strategie

Mehrstufige Vernetzungsprozedur: Geometrische Analyse (Oberfläche, Kanten, Ecken), Kontaktanalyse (Einbeziehung der Werkzeuggeometrie), Netzaufbau (von innen nach außen), Berücksichtigung 'echter' Kanten und Ecken (charakteristische Kanten), etc..

### Schritt 0

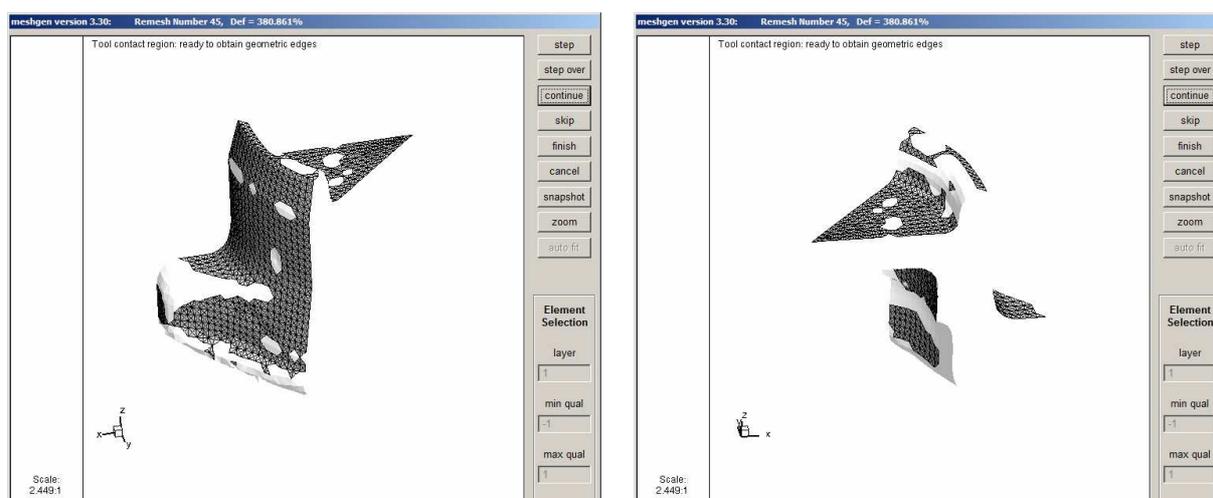
(Ausgangssituation): hier: 45° Sektor des Bauteils mit "alter", d.h. qualitativ nicht mehr ausreichender Vernetzung.



Maßgeblich für diese Bewertung der Netzgüte ist nicht die durchschnittliche Qualität sondern jeweils das Element mit der schlechtesten Netzgüte, auch wenn dies an einer zu diesem Zeitpunkt unkritischen Position im Werkstück liegt

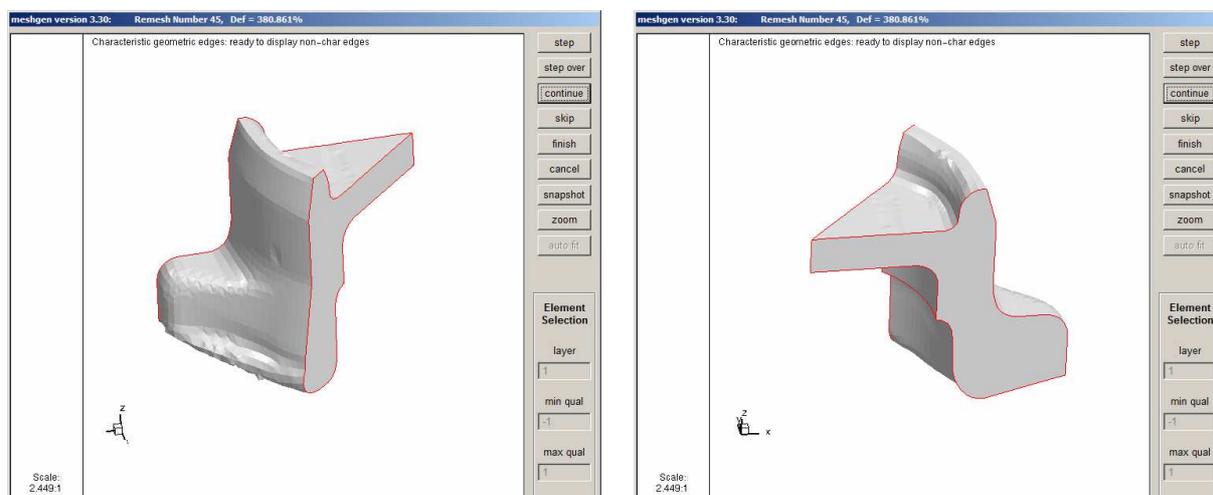
### Schritt 1:

Ermittlung des aktuellen Werkstück-Werkzeug Kontaktes



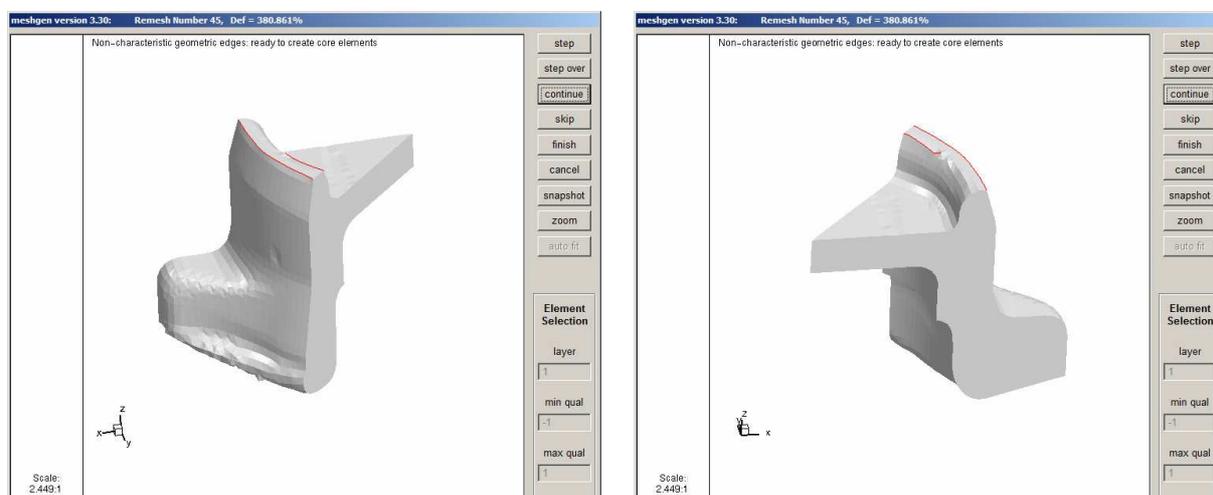
Die aktuellen Kontaktbereiche können je nach gewähltem Parameter für die Feinabstimmung in die Neuvernetzung mit einbezogen werden.

Schritt 2:  
Ermittlung der charakteristischen Kanten des Werkstücks.



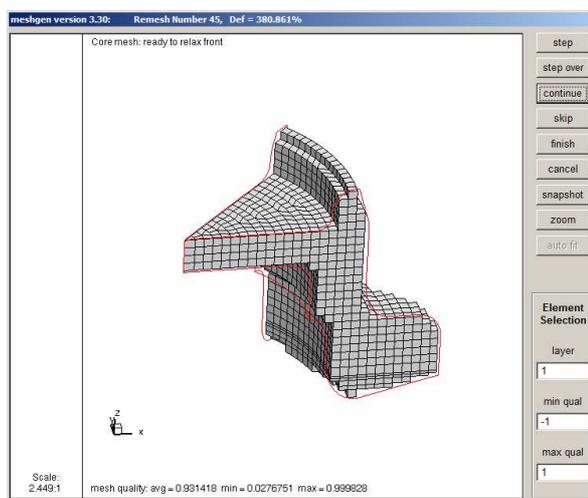
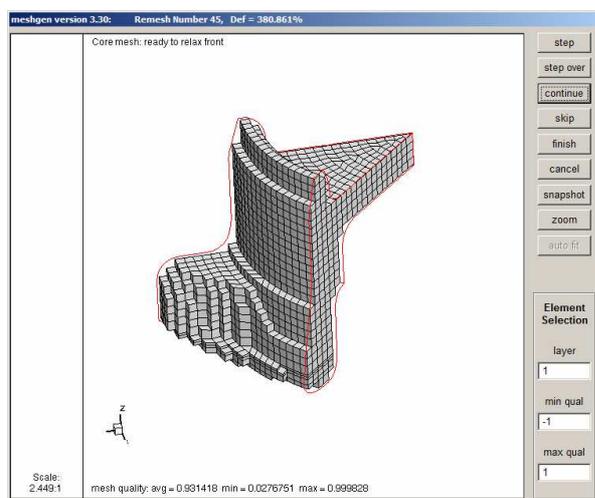
Diese Kanten müssen nach der Neuvernetzung weiterhin vorhanden sein, um eine hohe geometrische Übereinstimmung zu erreichen und um die aktuellen Schnittflächen auf eventuell vorhandenen Symmetrieebenen einzuhalten.

Schritt 3:  
Ermittlung der nicht-charakteristischen Kanten des Werkstücks.



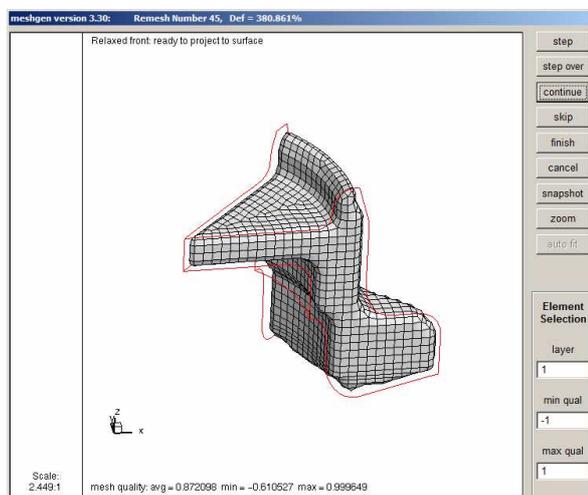
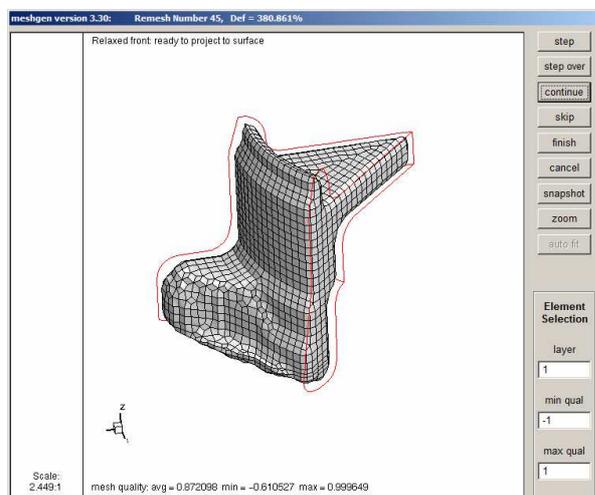
Auch diese Kanten müssen nach der Neuvernetzung weiterhin vorhanden sein, um ungewollte Werkstückglättung zu vermeiden.

#### Schritt 4: Generierung des Hexaeder-Kern-Netzes



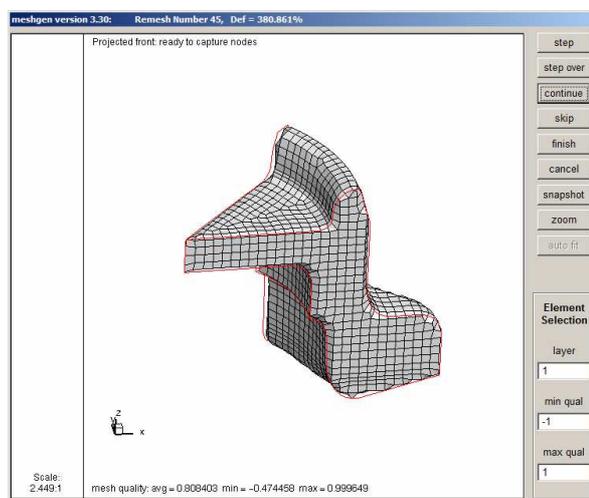
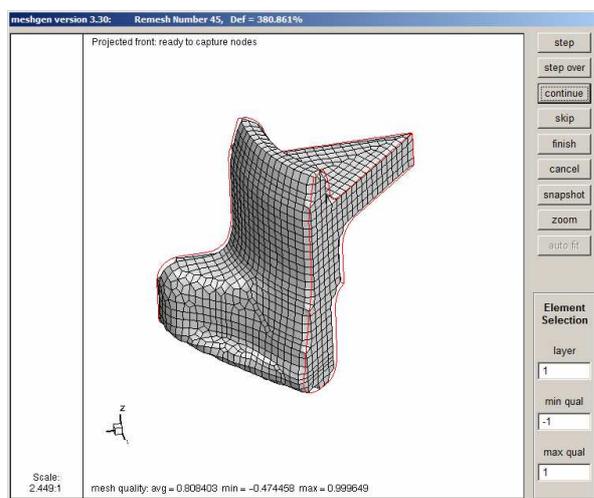
Der Aufbau des Kern-Netzes erfolgt von innen nach außen mit möglichst regelmäßigen Hexaedern. Die aktuelle Werkstückoberfläche dient dabei als 'Umhüllung', die weder berührt noch durchstoßen wird. Es entsteht dabei in der Regel ein stufiges Kern-Netz.

#### Schritt 5: Entspannung des Kern-Netzes.



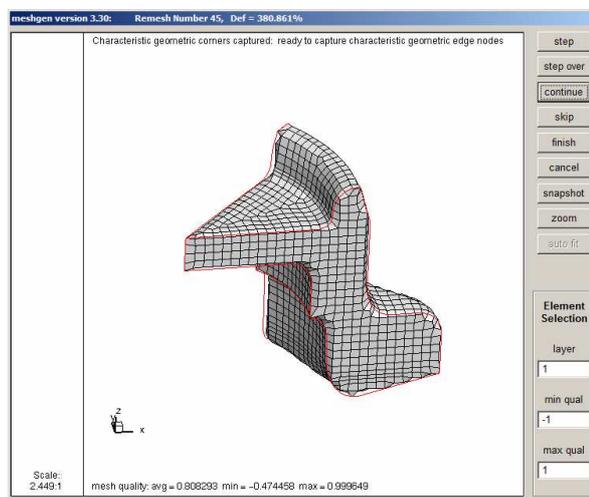
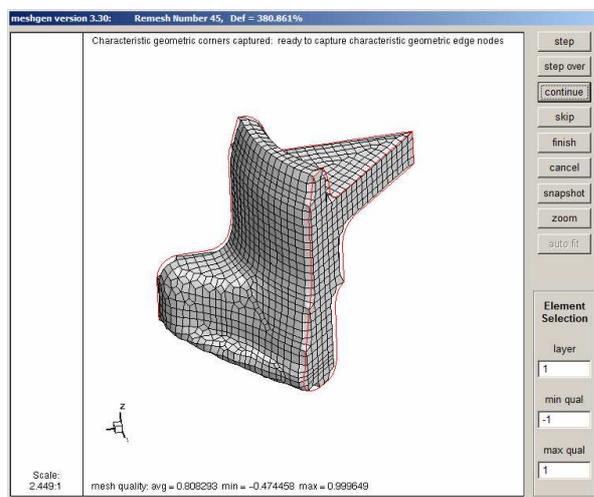
Ohne Hinzufügen neuer Elemente werden die Stufen des Kern-Netzes geglättet, d.h. innere Stufenkanten werden in Richtung der Werkstückoberfläche herausgedrückt (leichtes 'Aufblasen').

Schritt 6:  
Projizierung des 'entspannten' Kern-Netzes auf die Werkstückoberfläche.



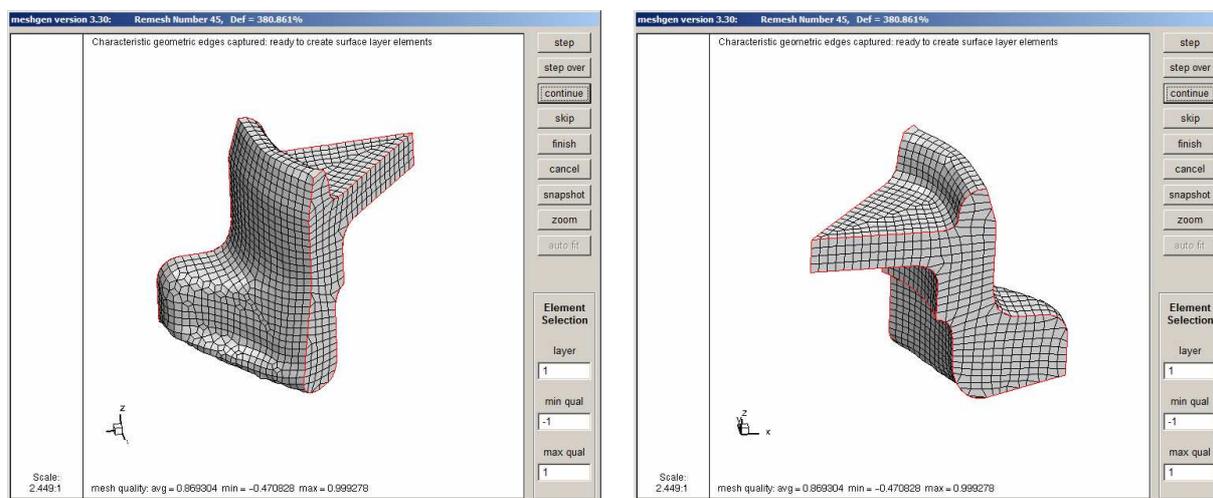
Die charakteristischen Kanten und Ecken werden noch nicht berücksichtigt, dennoch entsteht bereits ein recht endnahes Netz.

Schritt 7:  
'Fangen' der Werkstückecken.



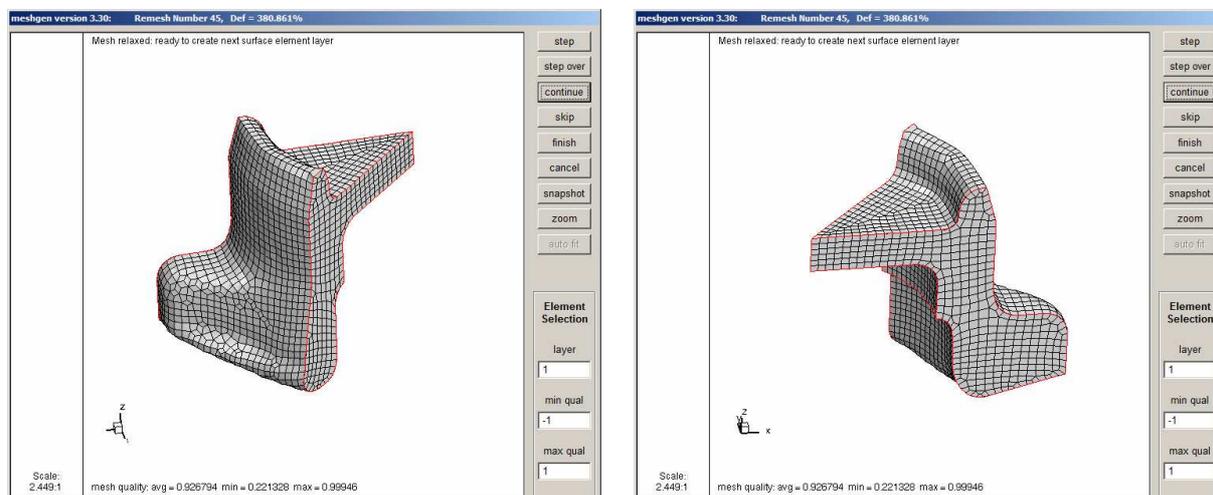
Die den Werkstückecken nächstgelegenen Netzknotten werden auf diese Ecken gezogen. Damit erfolgt eine erste Berücksichtigung der Oberflächencharakteristik (gemäß Schritt 2).

Schritt 8:  
'Fangen' der charakteristischen Werkstückkanten.



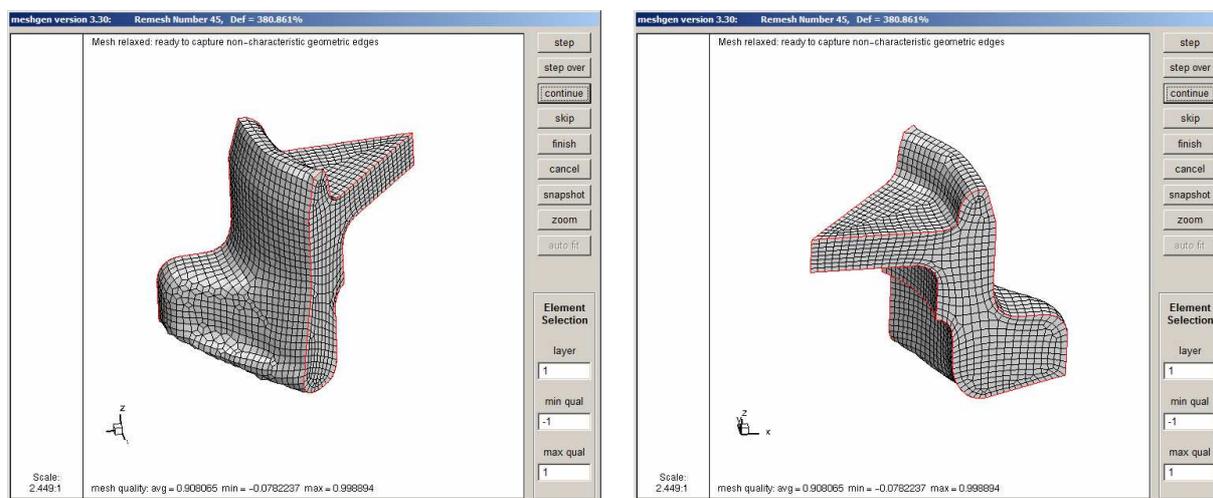
Die entsprechenden Netzknoten werden auf die charakteristischen Kanten gezogen, so dass nach diesem Schritt die zu Anfang ermittelten charakteristischen Kanten vollständig durch das neue Netz wiedergegeben werden.

Schritt 9:  
Generierung von Oberflächen-Elementen



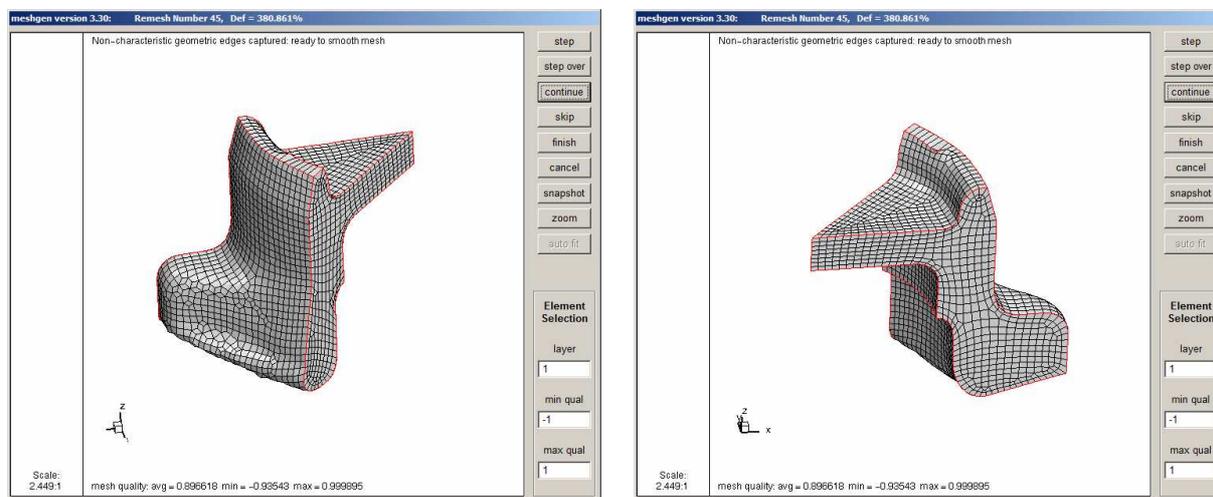
Eine erste Lage von zusätzlichen Oberflächen-Elementen wird generiert und gleichzeitig auch wieder zusammen mit der restlichen Netzstruktur 'entspannt', um die durch die vorangegangenen Schritte des 'Fangens' teilweise verzerrten Elemente wieder zu verbessern.

### Schritt 10: Generierung von weiteren Oberflächen-Elementen



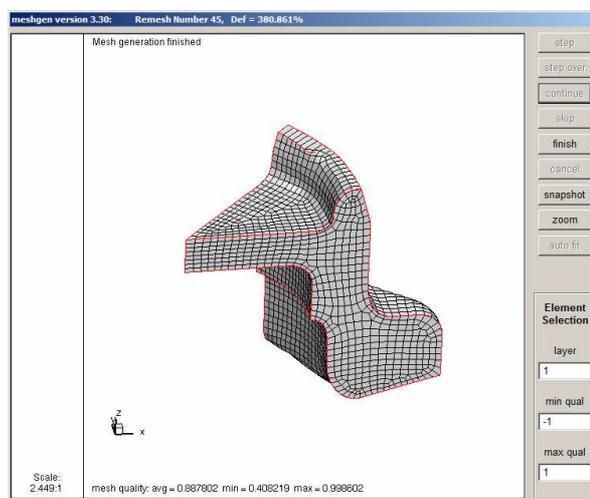
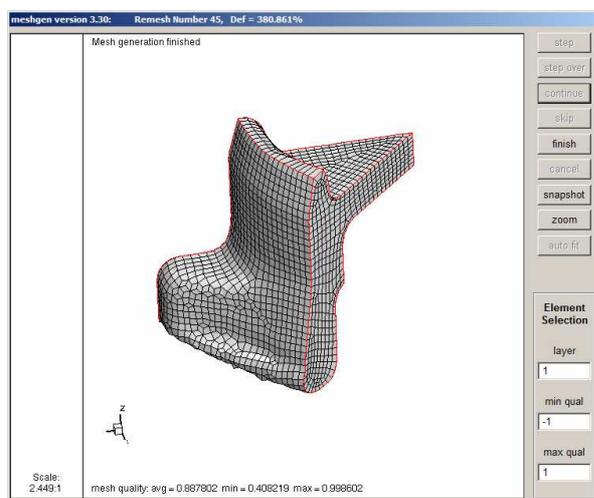
Je nach gewähltem Parameter für diesen Generierungsschritt werden weitere Lagen von Oberflächen-Elementen erzeugt und wie im vorangegangenen Schritt behandelt.

### Schritt 11: 'Fangen' der nicht-charakteristischen Werkstückkanten.



Die entsprechenden Netzknoten werden auf die nicht-charakteristischen Kanten gezogen, so dass jetzt alle zu Anfang ermittelten Kanten vollständig durch das neue Netz wiedergegeben werden.

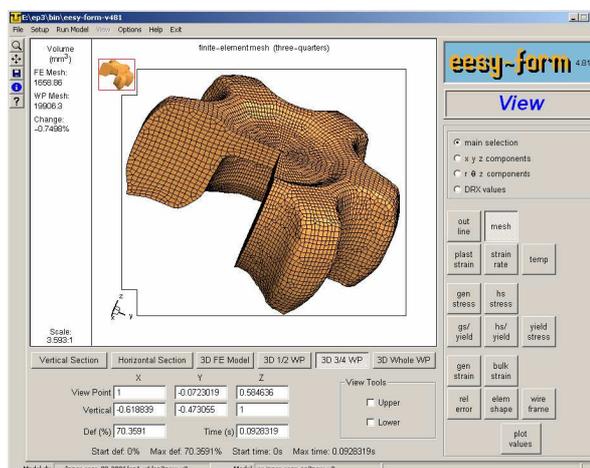
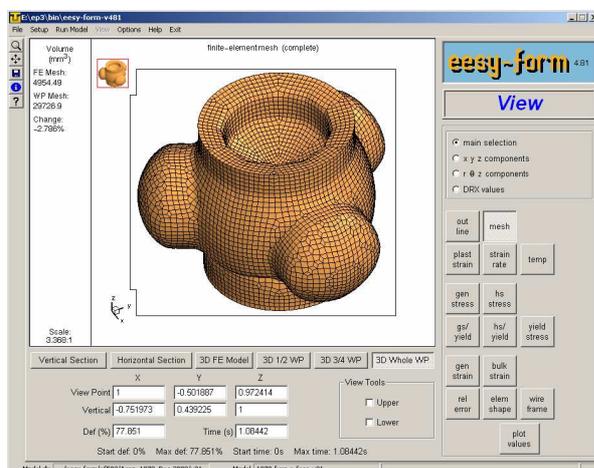
## Schritt 12: Abschließende Justierung.



In diesem letzten Generierungsschritt wird durch eine mehrstufige Justierung sowohl der Oberflächen-Elemente als auch der inneren Knoten die endgültige Netzqualität eingestellt. Die Neuvernetzung ist damit abgeschlossen.

## 3. Ausgewählte Anwendungen

Nachfolgend einige Anwendung dieses 3D-Hexaeder-Remeshens auf komplexere Schmiedebeispiele.



## 4. Schlussbemerkung

Wir bedanken uns an dieser Stelle auch bei Prof. A. E. Tekkaya und Herrn C. Karadogan, auf deren Arbeiten die Grundideen der hier vorgestellten 3D-Hexaeder-Vernetzungsstrategie beruhen.