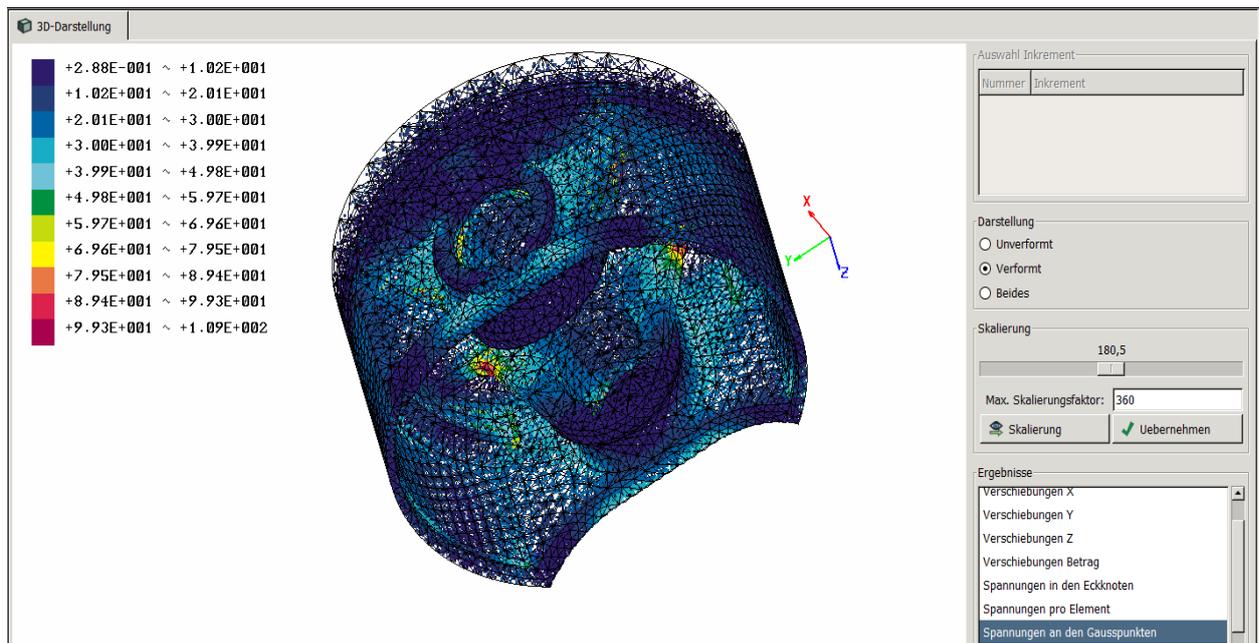




Das Benutzerhandbuch



Version 4



*Eine leicht bedienbare Oberfläche für Z88[®]
auf Windows, Linux und MacOS (jeweils 64-bit)*

*Diese Freeware-Version ist geistiges Eigentum des
Lehrstuhls für Konstruktionslehre und CAD der
Universität Bayreuth, herausgegeben von
Univ. Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg*

unter der Mithilfe von:

Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant;

Dipl.-Ing. Daniel Billenstein; Maximilian Braun, M.Sc.;

Kevin Deese, M.Sc.; Christian Dinkel, M.Sc.;

Pascal Diwisch, M.Sc.; Dr.-Ing. Michael Frisch; Johannes Glamsch, M.Sc.;

Christian Glenk, M.Sc.; Dipl.-Ing. Daniel Goller;

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt;

Stefan Hautsch, M.Sc.; Dipl.-Ing. Claudia Kleinschrodt;

Dr.-Ing. Dipl.-Math. Martin Neidnicht; Dr.-Ing. Florian Nützel;

Dr.-Ing. Bernd Roith; Frank Rudolph, M.Sc.;

Dr.-Ing. Alexander Troll; Dipl.-Ing. Felix Viebahn;

Dr.-Ing. Christoph Wehmann; Aljoscha Zahn, M.Sc.; Dr.-Ing. Jochen Zapf;

Dr.-Ing. Markus Zimmermann; Dr.-Ing. Martin Zimmermann

*Alle Rechte bleiben beim Verfasser
Version 4 April 2017*



ist eine eingetragene Marke (Nr. 30 2009 064 238) von Univ. Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

WAS IST Z88AURORA® UND WAS IST NEU IN Z88AURORA® V4

Z88 ist ein Softwarepaket zur Lösung von strukturmechanischen, statischen Problemstellungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Analyse (FEA), welches unter der GNU-GPL als freie Software mit Quelltext verfügbar ist. Die Software, ursprünglich von Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg im Jahr 1986 geschaffen, wird aktuell von einem Team von Ingenieuren unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Rieg an der Universität Bayreuth weiterentwickelt.

Zu dem bisherigen kompakten Z88OS, welches momentan in der 14. Version zur Verfügung steht, wird seit 2009 ein erweitertes Programm Z88Aurora® angeboten. Z88Aurora® basiert auf Z88OS und ist für Windows, Linux und MacOS (jeweils 64-bit) zum freien Download (als ausführbare Datei) verfügbar. Zu den in Z88OS enthaltenen leistungsfähigen Solvern bietet Z88Aurora® zusätzlich eine graphische Bedienoberfläche, einen komplett neuen Präprozessor und eine Erweiterung des bewährten Postprozessors Z88O. Bei der Entwicklung von Z88Aurora® wurde besonders auf eine intuitive Bedienung Wert gelegt.

Seit der Version V2 bietet Z88Aurora® zusätzlich zu statischen Festigkeitsanalysen eine Materialdatenbank mit über 50 gängigen Konstruktionswerkstoffen, ein Modul zur stationären thermomechanischen Analyse, ein Modul zur geometrisch nichtlinearen Festigkeitsanalyse und ein Eigenschwingungsmodul.

Seit Version V3 ist ein erweiterter nichtlinearer Gleichungslöser enthalten, der neben geometrisch nichtlinearen Analysen nun auch die Berücksichtigung nichtlinearen Materialverhaltens erlaubt. Dazu sind drei plastische Materialgesetze implementiert. Die Oberfläche wurde entsprechend erweitert, um die zusätzlich erforderlichen Materialdaten eingeben zu können.

Die aktuelle Version Z88Aurora® V4 ist nun um die Kontaktanalyse ergänzt worden, welche mit verklebtem oder reibungsfreiem Kontakt arbeitet. Die Benutzeroberfläche bietet hierfür verschiedene Bauteiloperationen zur Erzeugung und Positionierung von Baugruppen (z. B. Bauteilimport, Translation, Rotation, Skalierung, Duplikation).

Weitere Module wie eine Analysemöglichkeit für transiente Probleme befinden sich aktuell in der Entwicklung.

Übersicht der Module:

Das linear-statische Modul

Das Basis-Modul von Z88Aurora® ist das linear-statische Modul, in dem lineare Festigkeitsberechnungen möglich sind. Dies ist der älteste Solver von Z88Aurora®. Die einzig nötigen Materialkennwerte sind der E-Modul und die Querkontraktionszahl. Als Randbedingungen stehen dem Nutzer diverse Möglichkeiten zur Verfügung: Festhaltungen können genauso etabliert werden wie auch Kräfte, Drücke oder Flächenlasten. Transiente Simulationen sind aktuell noch nicht möglich (auch nicht in einem anderen Modul von Z88Aurora).

Das Thermomodul

In diesem Modul von Z88Aurora® werden die stationäre Wärmeleitung und zusätzlich die aus der Temperatur gewonnene thermische Dehnung berechnet. Der simulierte Temperaturverlauf wird isoliert betrachtet und ist zeitunabhängig, d. h. es wird der Zustand des "Gleichgewichtes" dargestellt. Durch eine Kopplung von thermischen und mechanischen Randbedingungen kann der Benutzer neben den thermischen Ergebnissen, wie Temperatur oder Wärmestrom, sich thermo-mechanische Verschiebungen oder Spannungen berechnen lassen. Damit können Aussagen über den Temperatureinfluss auf ein Bauteil gewonnen werden.

Das Eigenschwingungsmodul f

In Z88Aurora® seit der Version V2 verfügbar ist die Möglichkeit, Bauteile auf ihre Eigenschwingungen zu untersuchen. Sobald die Materialkennwerte E-Modul, Querkontraktionszahl sowie die Massendichte bekannt sind, können mit dem Modul freie Eigenschwingungen berechnet werden. Alternativ können für Knotensets Fixierungen in eine oder mehrere Raumrichtungen aufgegeben werden. Als Ergebnisse erhält der Nutzer Informationen über die kleinsten Eigenfrequenzen sowie die Verformungen, die das Bauteil dabei ausführt.

Das Modul Z88NL für nichtlineare Berechnungen

Schließlich gibt es in Z88Aurora® die Möglichkeit, nichtlineare strukturmechanische Berechnungen durchzuführen. Hinsichtlich der Randbedingungen können homogene und inhomogene

gene Verschiebungen, verschiedene Arten der Kraftaufbringung sowie Drucklasten betrachtet werden. Der Gleichungslöser Z88NL wertet die Finite-Elemente-Analyse unter Berücksichtigung geometrischer Nichtlinearitäten aus oder, seit V3, auch unter Berücksichtigung von Materialnichtlinearitäten. Mit diesem Modul werden für die Elementtypen 1 (Hexaeder mit 8 Knoten), 4 (Stab im Raum), 10 (Hexaeder mit 20 Knoten), 7 (Scheibe mit 8 Knoten), 8 (Torus mit 8 Knoten), 16 (Tetraeder mit 10 Knoten) und 17 (Tetraeder mit 4 Knoten) die Verschiebungen (Z88NLO2.TXT) sowie die Cauchy-Spannungen (Z88NLO3.TXT) berechnet. Mit dieser neuen Version Z88Aurora® V3 können drei verschiedene plastische Materialgesetze berechnet werden.

Das Kontaktmodul Z88KONTAKT

Seit Version V4 kann Z88Aurora® mit mehreren Bauteilen umgehen und diese in einer Kontaktanalyse berechnen. Hierbei ist Knoten-Fläche oder Fläche-Fläche Kontakt mit automatischer Kontaktsuche implementiert, wobei der Kontakttyp verklebt oder reibungsfrei definiert sein kann. Die Zwangsbedingungen können mittels Lagrange-, gestörtem Lagrange- oder Penalty-Verfahren eingebaut werden. Die Bauteile, welche mit jeweils linearen oder quadratischen Hexaedern oder Tetraedern diskretisiert sein können, lassen sich in der grafischen Benutzeroberfläche importieren, positionieren und manipulieren. Das restliche Preprocessing wird analog zur linear-statischen Analyse in Z88Aurora® durchgeführt. Es ist zu beachten, dass das Kontaktmodul nur mit dem linear-statischen Modul zusammenarbeiten kann.

DIE Z88-PHILOSOPHIE AUCH BEI Z88AURORA!

- schnell und kompakt: für PCs entwickelt, kein portiertes Großsystem
- volle 64-Bit Unterstützung für Windows, Linux und MacOS
- Native Windows-, Linux- bzw. MacOS - Programme, keine Emulationen
- Voller Datenaustausch von und zu CAD-Systemen (AutoCAD *.DXF, *.STP, *.STL)
- FE-Strukturimport (*.COS, *.NAS, *.ANS, *.INP)
- kontextsensitive Online-Hilfe und Lernvideos

- einfachste Installation mit *Microsoft® Installer (MSI)* bzw. Installationskripten und –anleitungen in deutscher und englischer Sprache
- Z88Aurora® V4 ist voll abwärtskompatibel zu Z88Aurora® V2/V3 und Z88OS V14. Bestehende Z88OS V13 Dateien oder Z88Aurora® V1 Dateien können über das Konvertierungstool „Mitoo“ einfach importiert werden!

Hinweis:

Immer ohne Ausnahme FE-Berechnungen mit analytischen Überschlagsrechnungen, Versuchsergebnissen, Plausibilitätsbetrachtungen und anderen Überprüfungen kontrollieren!

Beachten Sie ferner, dass bei Z88Aurora® (und auch anderen Finite-Elemente-Analyse-Programmen) mitunter Vorzeichendefinitionen gelten, die von den üblichen Definitionen der analytischen Technischen Mechanik abweichen.

 **Einheitenkonventionen werden vom Benutzer selbstständig verwaltet. Die in Z88Aurora® integrierte Materialdatenbank arbeitet mit den Einheiten N/mm/t.**

Z88Aurora® ist ein leistungsfähiges, komplexes Computerprogramm, welches sich kontinuierlich weiterentwickelt. Falls Sie derzeit Funktionalitäten vermissen, melden Sie sich per E-Mail an z88aurora@uni-bayreuth.de oder im Forum <http://forum.z88.de> bei uns und teilen Ihre Entwicklungswünsche mit. Vielleicht findet sich die vermisste Funktionalität dann in einer der kommenden Versionen von Z88Aurora®.

Die Kompatibilität von Z88Aurora® mit anderen Programmen ist noch nicht vollständig untersucht! Vor allem der Datenaustausch ist abhängig von den Entwicklungen der exportierenden Fremdsoftware – Änderungen auf dieser Seite sind oft nicht sofort erkennbar und führen möglicherweise zu Problemen. Bitte wenden Sie sich in diesen Fällen an den Support von Z88. Abhilfemaßnahmen und sonstige Tipps & Tricks finden Sie im Forum oder in den Z88Aurora®-Handbüchern wie diesem Benutzerhandbuch.

SYSTEMANFORDERUNGEN

- Betriebssysteme: Microsoft® Windows® 7/8/8.1/10, Linux, MacOS® jeweils 64-bit
- Grafikanforderungen: OpenGL-Treiber
- Arbeitsspeicher: mindestens 1 GB, empfohlen ab 8 GB
- Dokumentation und Videos erfordern PDF-Reader, Videoplayer, Browser

INSTALLATION UND ERSTER START VON Z88AURORA®

Näheres zur Installation entnehmen Sie bitte dem Z88Aurora®-Installationshandbuch für Ihr Betriebssystem. Zum Starten wählen Sie nach erfolgreicher Installation entweder das Desktopicon  „Z88Aurora V4“ oder öffnen das Programm im Startmenü „Z88Aurora V4“→„Z88Aurora V4“. Wenn Sie die Desktop- und Startmenüeinträge nicht mit installiert haben, können Sie das Programm über den Windows-Explorer aufrufen: „C:\Z88AuroraV4\win\bin\z88aurora.exe“.

DOKUMENTATION & HILFE

Die Dokumentation von Z88Aurora® besteht aus:

- Benutzerhandbuch mit der detaillierten Übersicht der GUI (Graphical User Interface)
- Theoriehandbuch mit der ausführlichen Beschreibung über die eingebundenen Module
- Beispielhandbuch
- Elemente-Bibliothek der integrierten Elementtypen in Z88Aurora
- Videohandbuch zu ausgewählten Themen
- SPIDER-Workflow: Prozessunterstützung durch ein Workflowtool

INHALTSVERZEICHNIS

WAS IST Z88AURORA® UND WAS IST NEU IN Z88AURORA® V4	3
SYSTEMANFORDERUNGEN	8
INSTALLATION UND ERSTER START VON Z88AURORA®	8
DOKUMENTATION & HILFE	8
INHALTSVERZEICHNIS	9
1. DIE OBERFLÄCHE IM ÜBERBLICK	12
2. MENÜLEISTEN	12
2.1  NEUE PROJEKTMAPPE ERSTELLEN	14
2.2  PROJEKTMAPPE ÖFFNEN	15
2.3 PROJEKTMAPPE SCHLIEßEN	16
2.4 PROJEKTMAPPENVERWALTUNG IN DER TEXTMENÜLEISTE	16
2.5  PROJEKTDATEN LÖSCHEN	16
3. ANSICHT	18
3.1 WERKZEUGLEISTEN	18
3.2  KAMERA-EINSTELLUNGEN	20
3.3  FARBEN	20
3.4  DARSTELLUNGEN	20
3.5  ANSICHTEN UND ANSICHTSOPTIONEN	22
3.6  LABELS	23
 <i>Labels: Knoten</i>	23
 <i>Labels: Elemente</i>	23
 <i>Labels: Knoten und Elemente</i>	23
 <i>Keine Labels: Knoten und Elemente</i>	23
3.7  GRÖßE RANDBEDINGUNGEN/ GAUßPUNKTE / PICKINGPUNKTE	24
 <i>Größe Randbedingungen</i>	24
 <i>Größe Gaußpunkte</i>	24
 <i>Größe Pickingpunkte</i>	24
4.  KONTEXTSENSITIVE SEITENMENÜS	25
	9

4.1		IMPORT VON CAD- UND FE-DATEN	25
		<i>Z88 Versionskompatibilität</i>	25
		<i>Import</i>	26
		<i>Import Textmenüleiste</i>	29
		<i>Werkzeuggeste Import</i>	30
		<i>Export Textmenüleiste</i>	30
4.2		PRÄPROZESSOR	31
		<i>Präprozessor in der Textmenüleiste</i>	31
		<i>Werkzeuggeste Präprozessor</i>	32
		Picking	32
		Knotenpicking	34
		Elementpicking	36
		Flächenpicking	37
		<i>Welche Pickingoption verwendet man für was?</i>	37
		Setmanagement	38
		FE-Strukturierung: Stäbe/Balken	39
		Vernetzung	43
		Netzcheck	45
		Generierung von Superelementen / Netzgenerator Z88N	46
		Elementparameter	51
		Baugruppenhandling / Kontaktanalyse	55
		Material	60
		Randbedingungen aufgeben	69
4.3		SOLVER	74
		<i>Die linearen Solver Z88R und Z88RS</i>	74
		<i>Der nichtlineare Solver Z88NL</i>	76
		<i>Der Thermosolver Z88TH</i>	77
		<i>Der Eigenschwingungssolver Z88EI</i>	77
		<i>Solver für das Kontaktmodul</i>	78
		<i>Der Solver in der Textmenüleiste</i>	81
		<i>Kompatibilitätsliste der Z88-Module</i>	82
4.4		POSTPROZESSOR	83

5. TOOLS	89
5.1  ANALYSE	89
5.2  STL BEARBEITEN	89
5.3  OPTIONEN	91
6.        HILFE UND SUPPORT	93
 <i>Hilfe</i>	93
 <i>Beispiele</i>	95
 <i>SPIDER Support</i>	100
 <i>Über Z88Aurora</i>	102
   <i>Support</i>	102
7. LITERATUR	103

1. DIE OBERFLÄCHE IM ÜBERBLICK

Z88Aurora® zeichnet sich durch die intuitive Bedienung des Prä- und Postprozessor aus. Das Projektdatenmanagement erfolgt mit einer Projektmappenverwaltung. Eine Statusanzeige sorgt für besseren Bedienkomfort.

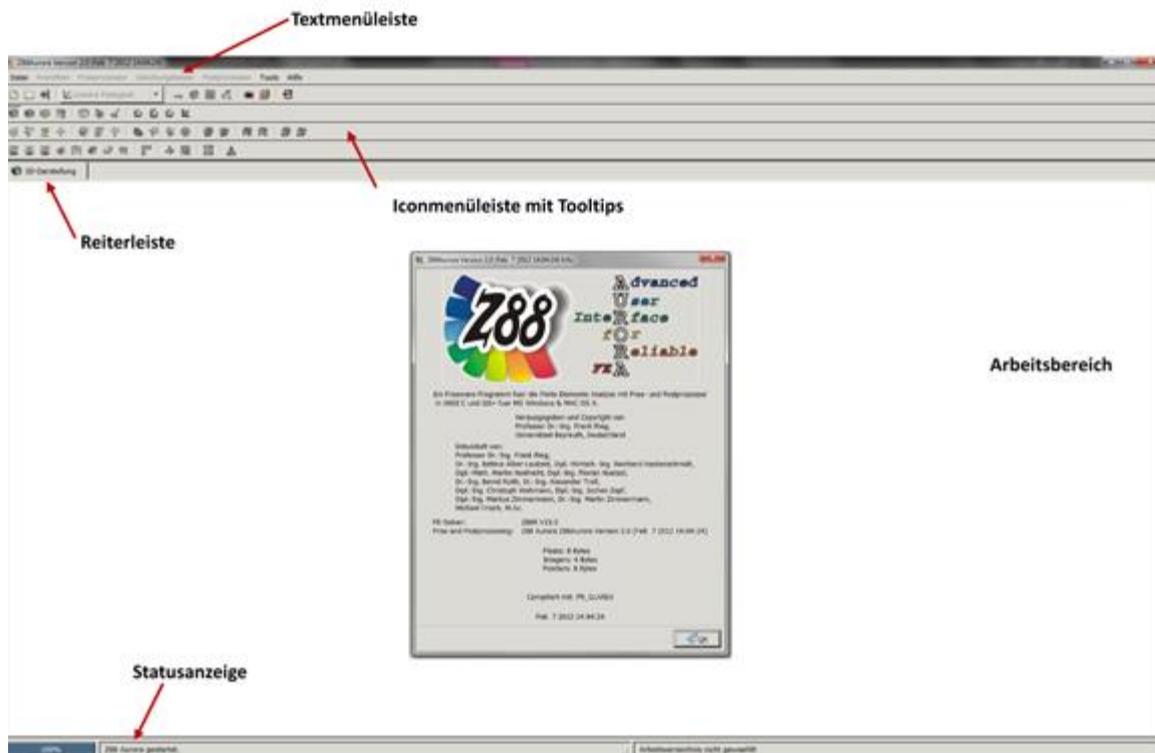


Abbildung 1: Oberfläche von Z88Aurora® V4

2. MENÜLEISTEN

Bei der Bedienung sind mehrere Menüleisten von Bedeutung. Den Schnellzugriff auf alle Funktionen von Z88Aurora® bieten die vier Iconmenüleisten. Die Hauptfunktionen der ersten Iconmenüleiste, wie z. B. Präprozessor , öffnen zusätzliche Seitenmenüs. Die anderen drei Iconmenüleisten enthalten diverse Ansichtsm Manipulationen, Farbeinstellungen, Importoptionen und die Präprozessorfunktionalitäten.

In der Textmenüleiste sind alle Funktionalitäten der Iconmenüleiste und der Seitenmenüs enthalten, die jeweiligen Icons sind den Textbefehlen vorangestellt. Je nach dem momentanen Arbeitsschritt, existieren mehrere Reiter in der Reiterleiste, wie z. B. die Materialkarten im Materialmenü, zwischen denen gewechselt werden kann. Mit der Betätigung des „X“ an jeder Reiterleiste kann der Reiter geschlossen werden.

Die Iconmenüleiste ist in verschiedene Bereiche unterteilt: die Projektmappenverwaltung, die Analyseart, die kontextsensitiven Seitenmenüs und den Support. Je nach Stand der Analyse sind einzelne Icons grau hinterlegt, da die Funktionalität zum aktuellen Zeitpunkt nicht verfügbar ist.

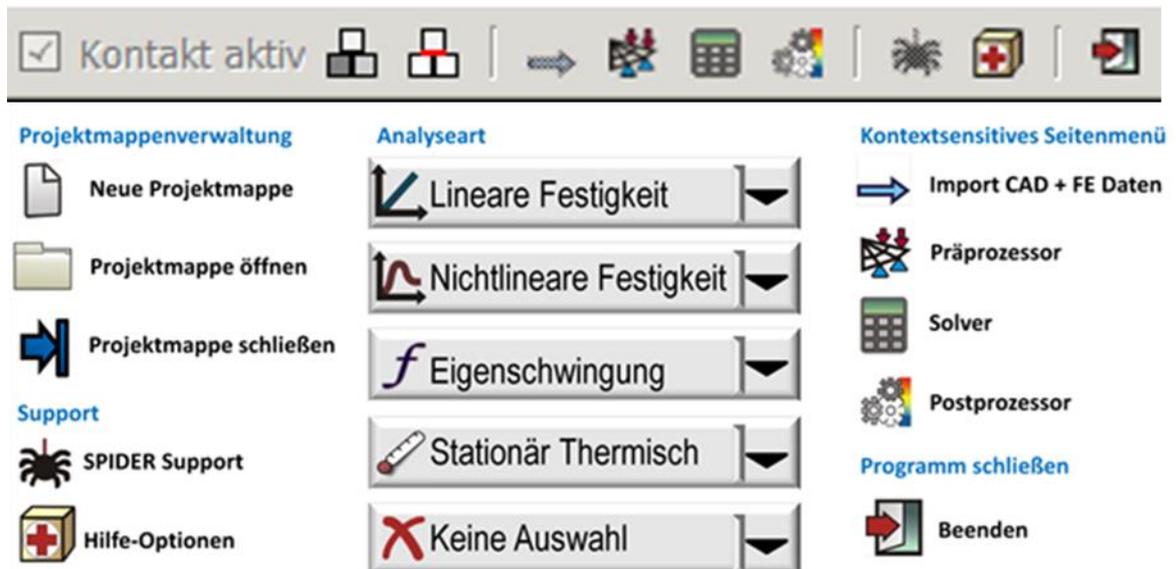


Abbildung 2: Schaltflächen der 1. Toolbar

⚠ Bitte beachten Sie jederzeit die Statusanzeigen am linken unteren Rand der Bedienoberfläche. Hier finden Sie Hinweise auf die nächsten Schritte, bzw. Informationen zur Bedienung!

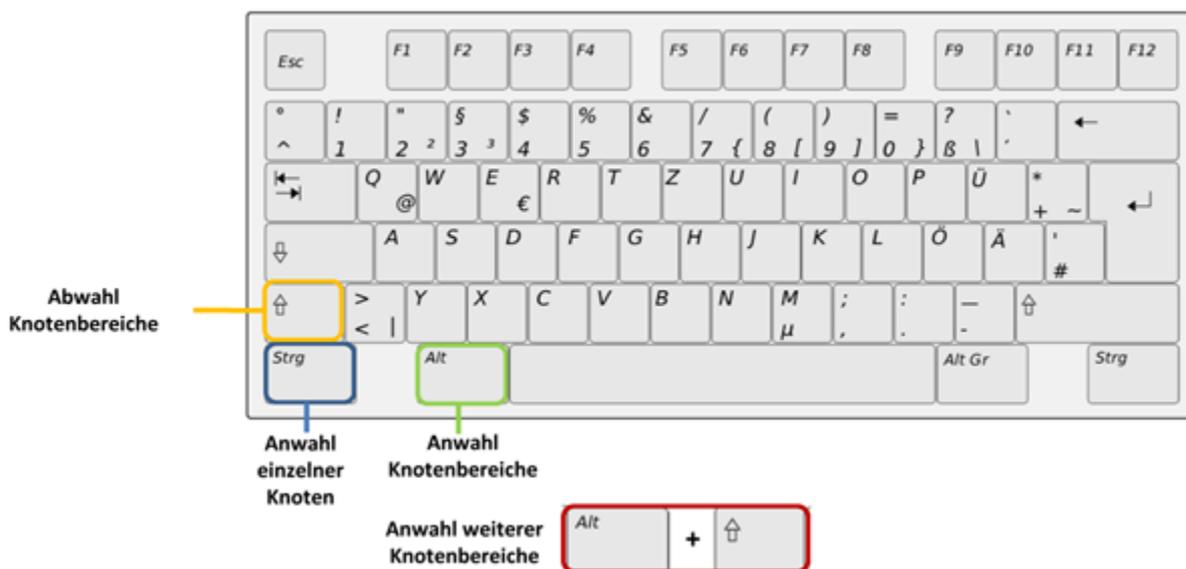


Abbildung 3: Tastaturbelegung



Je nach Projektstand ist es dem Anwender möglich, eine neue Projektmappe zu erstellen oder ein bestehendes Projekt zu öffnen. Funktionalitäten, die zu diesem Zeitpunkt nicht verfügbar sind, werden grau hinterlegt dargestellt.

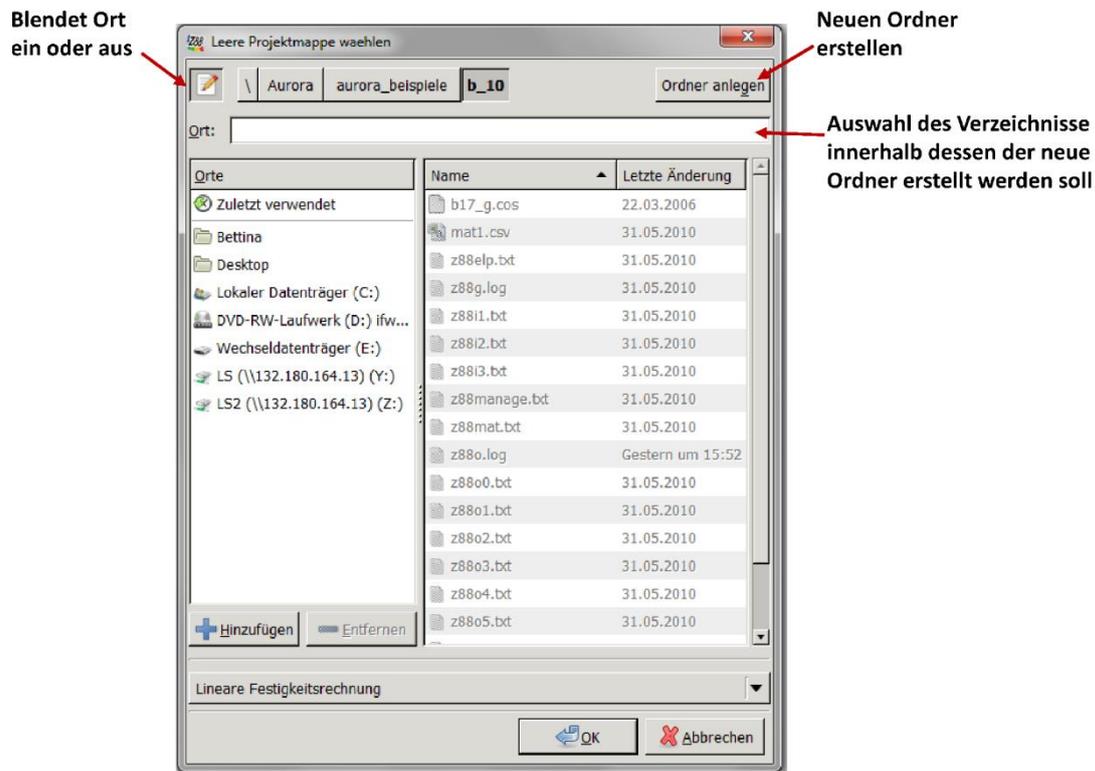


Abbildung 4: Projektmappenverwaltung von Z88Aurora

2.1 Neue Projektmappe erstellen

⇒ Einen neuen Ordner anlegen

⇒ Namen des Ordners eingeben „Name“

⇒ Bestätigen  (Return)

⇒ Klicken Sie OK, um die Aktion zu bestätigen

Die Eingabemaske verschwindet, Sie können mit der Erstellung des Berechnungsmodells beginnen.

 **Für die weitere Verwendung der Projektmappe kann diese in den Schnellzugriff gelegt werden!** (⇒ Hinzufügen)

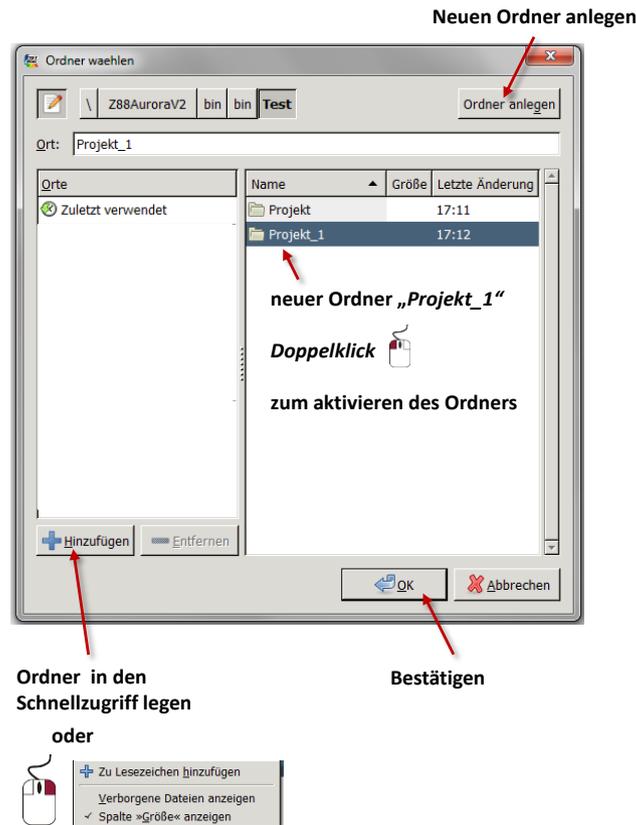


Abbildung 5: Neue Projektmappe erstellen und in den Schnellzugriff legen

2.2 Projektmappe öffnen

⇒ Eine zu öffnende Projektmappe auswählen

⇒ Klicken Sie OK, um die Aktion zu bestätigen, das Projekt wird im Arbeitsbereich angezeigt

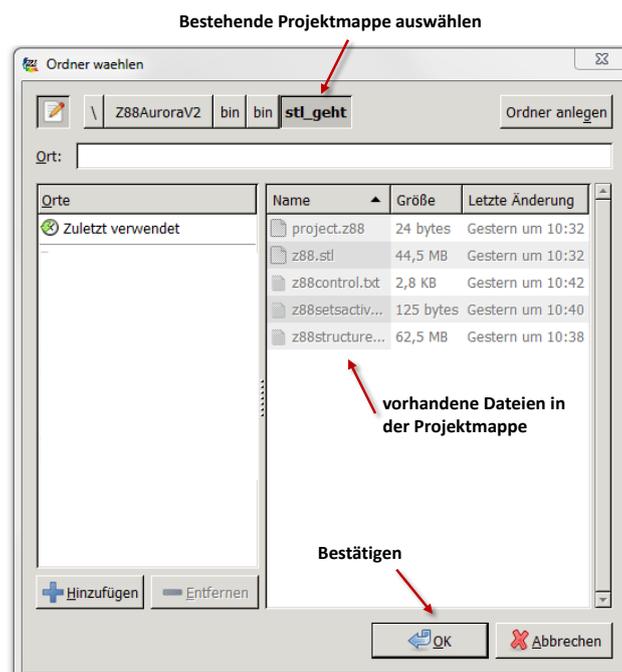


Abbildung 6: Eine bestehende Projektmappe öffnen

⇒ Allgemein kann mit einem Doppelklick direkt aus der Oberfläche auf die entsprechenden Projektmappe zugegriffen werden, siehe Abbildung 7.



Abbildung 7: Direkter Projektmappenzugriff

2.3 Projektmappe schließen

Mit diesem Button wird die momentan geöffnete Projektmappe geschlossen.

 **Sie müssen immer erst die aktuelle Projektmappe schließen, um eine neue zu erstellen oder ein anderes Projekt zu öffnen!**

2.4 Projektmappenverwaltung in der Textmenüleiste

Zusätzlich zu der Iconmenüleiste verfügt Z88Aurora® über eine Textmenüleiste oberhalb der Iconmenüleiste. Diese beinhaltet entweder weitere Funktionalitäten oder man kann die gleichen Funktionen aufrufen, wie sie in der Iconmenüleiste vorhanden sind. Im Folgenden wird die Textmenüleiste mit ihren jeweiligen Funktionen in den entsprechenden Kapiteln erklärt. Auch hier sind Funktionalitäten, die derzeit nicht verfügbar sind, grau hinterlegt.

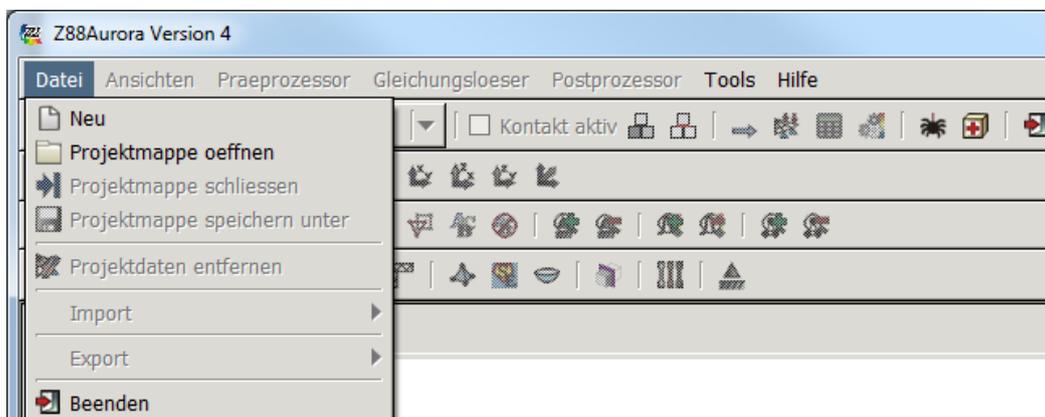


Abbildung 8: Projektmappenverwaltung in der Textmenüleiste

2.5 Projektdaten löschen

In der Textmenüleiste besteht weiterhin die Möglichkeit, den gesamten Inhalt der Projektmappe zu löschen, der Ordner bleibt erhalten.

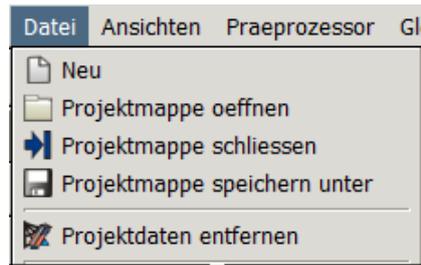


Abbildung 9: Projektdaten entfernen in der Textmenüleiste

3. ANSICHT

Die Anzeigeeoptionen können in Z88Aurora® vielfältig editiert werden. Es besteht die Möglichkeit, häufig benötigte Werkzeugleisten bei Bedarf anzeigen zu lassen oder deren Anordnung zu ändern, die Lichter, Material- und Legendenfarbe zu ändern oder diverse zusätzliche Ansichtsoptionen an- bzw. auszuschalten. Im Untermenü „Labels“ können die Nummerierungen der Knoten und Elemente eingeschaltet werden.

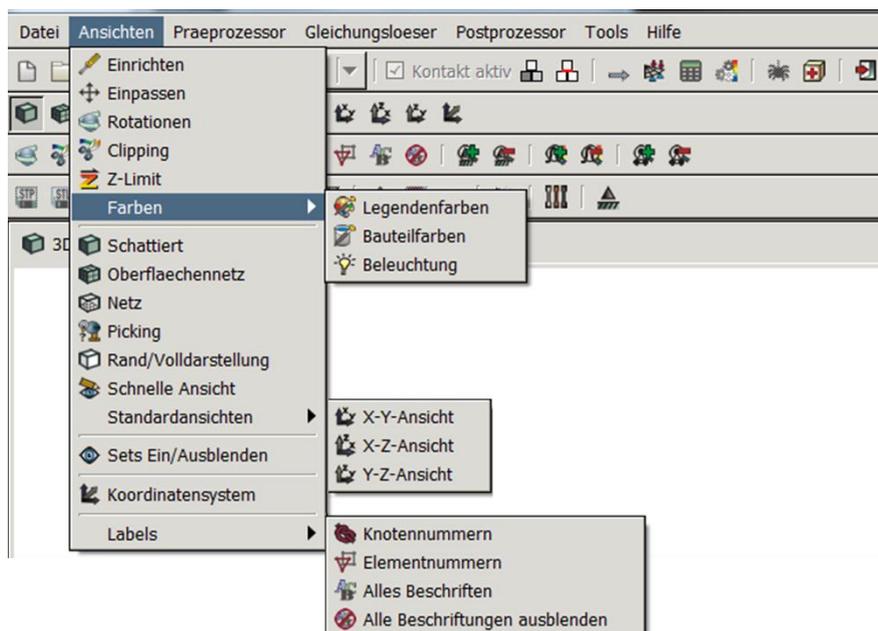


Abbildung 10: Ansichtsoptionen

3.1 Werkzeugleisten

Für Import/Export, Ansicht und Präprozessor besteht die Möglichkeit, zusätzlich Werkzeugleisten einzublenden. Dies kann dauerhaft über die Einstellung in der Datei z88enviro.dyn geschehen oder sitzungsabhängig über das Menü "Ansicht">"Einrichten". Anders als in Z88Aurora® V1 kann die Anordnung der Icons vollständig an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Hierzu sind Standardeinstellungen der Toolleisten in der Datei z88enviro.dyn mit der jeweiligen Iconnummer hinterlegt:

**Buttons der Toolleisten

```
TOOLBAR 1 1
2 3 4 0 1 0 71 73 74 0 5 6 7 8 0 9 10 0 11 -1
TOOLBAR 2 1
50 51 52 53 0 54 55 27 72 0 22 23 24 25 -1
```

TOOLBAR 3 1

12 13 14 26 0 15 17 16 0 18 19 20 21 0 28 29 0 30 31 0 32 33 -1

TOOLBAR 4 1

41 42 43 44 45 46 47 48 0 35 0 36 37 64 0 65 0 39 0 40 -1

Abbildung 11: Ausschnitt z88enviro.dyn

Für die Grundanordnung der Werkzeugleisten und deren Erklärungen siehe die nächsten Abbildungen:



Abbildung 12: Schaltflächen der 2. Toolbar



Abbildung 13: Schaltflächen der 3. Toolbar



Abbildung 14: Schaltflächen der 4. Toolbar

Um die Werkzeugleisten anzupassen, genügt es, die jeweilige Iconnummer in der gewünschten Reihenfolge einzutragen.

3.2 Kameraeinstellungen

Autoscale  bietet die Möglichkeit, das Modell in das OpenGL-Fenster einzupassen. Mit Rotationen 3D  kann ein gedrehter Zustand mit einem definierten Rotationswinkel eindeutig eingestellt werden. Z-Limit zum Betrachter  ist eine Clipping-Möglichkeit. Durch das Einstellen einer definierten Z-Ebene kann das Bauteil von innen betrachtet werden. Mit  können alle drei Ebenen für das Clipping mittels Schieberegler verwendet werden.

3.3 Farben

Sowohl die Legendenfarbe als auch die Hintergrundfarbe des Open GL Fensters können beliebig verändert werden. Hierzu kann auf definierte Standards (Schwarz/Weiß, Weiß/Schwarz, Standard) zurückgegriffen oder manuell eine bestimmte Farbe eingestellt werden. Das Bauteil wird über die Bauteilfarbe und die Lichtoptionen angepasst dargestellt.

3.4 Darstellungen

Es bieten sich vier Möglichkeiten der Ansichtsdarstellung. Diese können über die Icons in der Iconmenüleiste gesteuert werden.

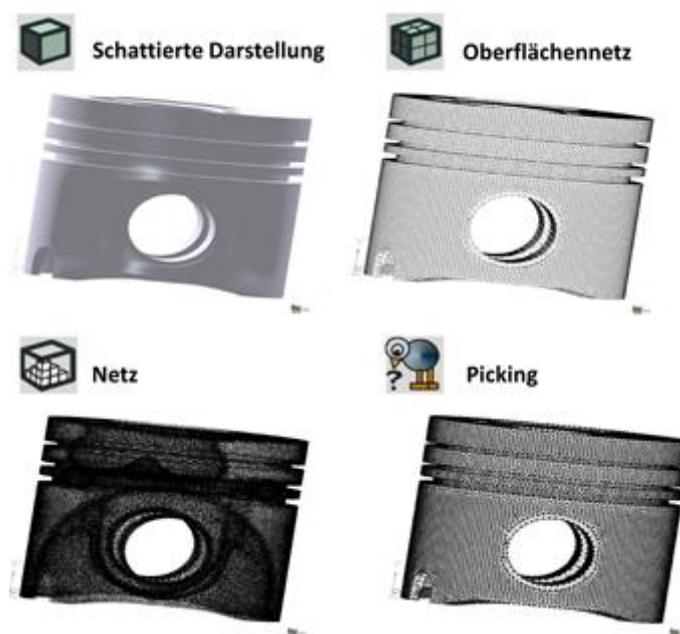


Abbildung 15: Darstellungsoptionen in Z88Aurora

Die Darstellungen schattiert, Oberflächennetz und Netz kann der Benutzer nach seinen Vorstellungen verwenden; die Pickingdarstellung dient zur Selektion von Knoten, Flächen oder Elementen. Mit der Aktivierung der schnellen Ansicht  in Kombination mit der schattierten Darstellung können selbst große Bauteile schnell bewegt werden. Um die Geschwindigkeit der Pickingdarstellung großer Bauteile zu verbessern, kann die Rand/Voll-Darstellung  aktiviert werden. Hierbei kann jedoch nur die Oberfläche des Bauteils angewählt werden.

⚠ Je nachdem welche Darstellung vorher gewählt wurde, ist die Pickingdarstellung davon abhängig. So können entweder alle Knoten oder nur Oberflächenknoten angewählt werden!

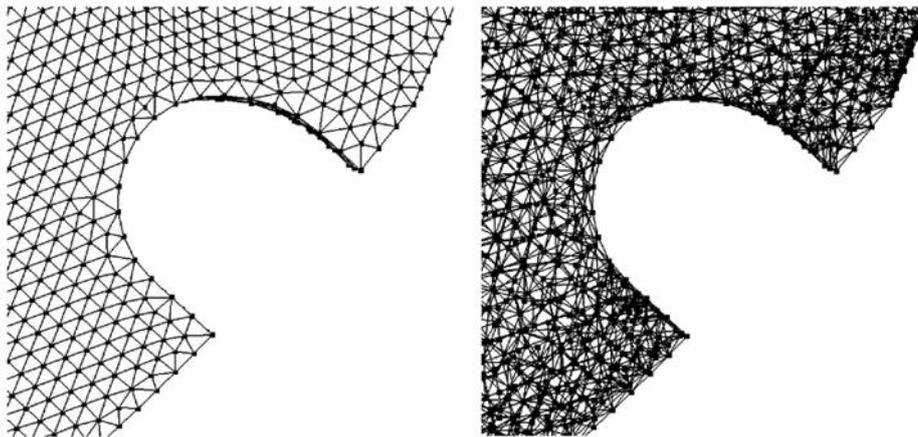


Abbildung 16: Wechsel zur Darstellungsoption "Picking", links Oberfläche, rechts alle Knoten

Durch Klick auf das „Auge“  können vorhandene Sets und Bauteile aus- bzw. eingeblendet werden, was insbesondere für Kontaktrechnungen interessant ist. Folgendes Menü öffnet sich:

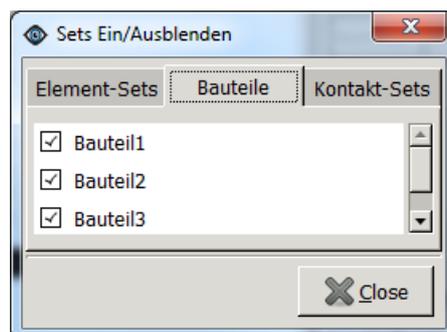


Abbildung 17: Sets Ein/Ausblenden

In diesem Menü können auch die Kontakts-Sets eingesehen werden, die kennzeichnen, welche Master- und Slaveknoten an der Kontaktrechnung beteiligt waren.

3.5 Ansichten und Ansichtsoptionen

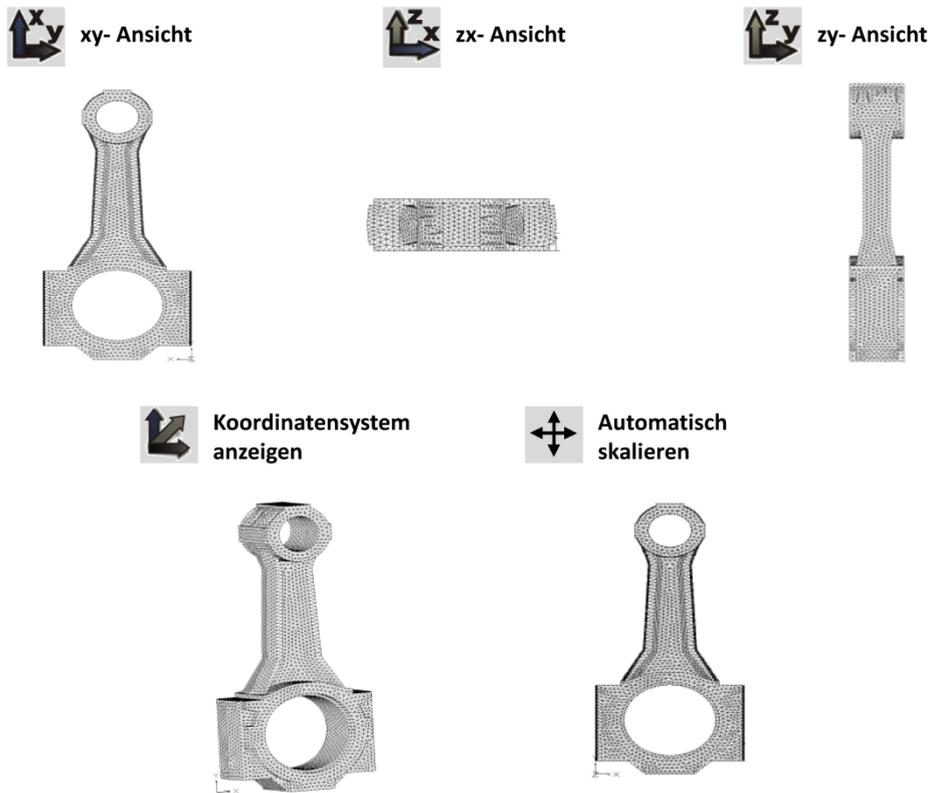


Abbildung 18: Ansichtsoptionen in Z88Aurora

 Ein Doppelklick auf das jeweilige Icon oder ein weiteres Klicken nach der ersten Orientierung dreht die Ansicht um 180°.

3.6 Labels

Der Menüpunkt „Labels“ dient dazu, die jeweiligen Knoten und Elementnummern gewählter Objekte anzuzeigen und enthält folgende Unterpunkte:

Labels: Knoten

Es wird ein Fenster eingeblendet, in welchen die Nummern der gewünschten Knoten eingetragen werden müssen, um sie anzuzeigen. Der Dialog wird mit „OK“ beendet.

Labels: Elemente

Analog zu „Labels → Knoten“ müssen auch hier die gewünschten Elementnummern eingetragen werden, damit sie eingeblendet werden.

Labels: Knoten und Elemente

Bei dieser Funktion werden die Labels aller Knoten und Elemente eingeblendet.

 **Bitte beachten Sie, dass diese Funktion die Darstellung großer Strukturen mit vielen Elementen und Knoten einerseits sehr unübersichtlich gestalten kann und andererseits die Geschwindigkeit des Programms, je nach verwendeter Hardware, negativ beeinflussen kann.**

Keine Labels: Knoten und Elemente

Bei dieser Funktion werden die Labels aller Knoten und Elemente ausgeblendet.

3.7 Größe Randbedingungen/ Gaußpunkte / Pickingpunkte

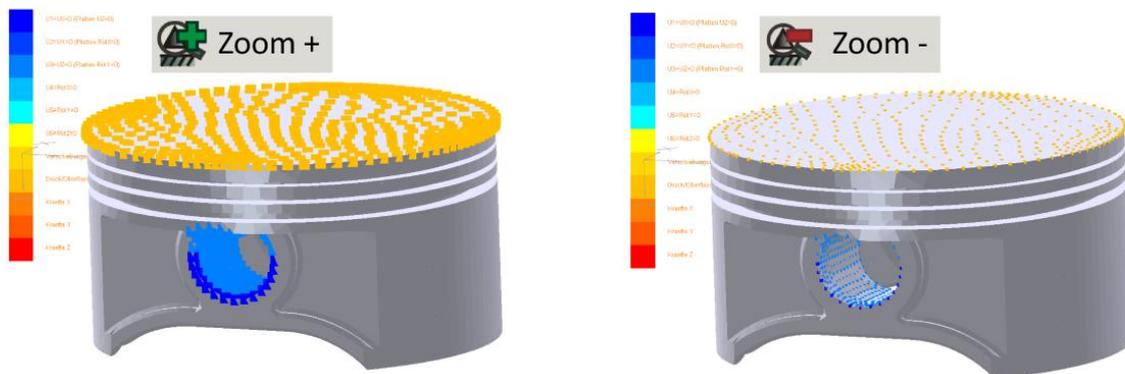
Größe Randbedingungen

Die Funktion „*Groesse Randbedingungen*“ bewirkt, dass die angezeigten Randbedingungen im Präprozessormenü vergrößert oder verkleinert dargestellt werden.

Größe Gaußpunkte

Mit dem Menüpunkt „*Groesse Gausspunkte*“ wird die Größe der berechneten Gaußpunkte in der Darstellung im Z88Aurora® Postprozessor, eingestellt (Abbildung 19).

Groesse Randbedingungen



Groesse Gausspunkte

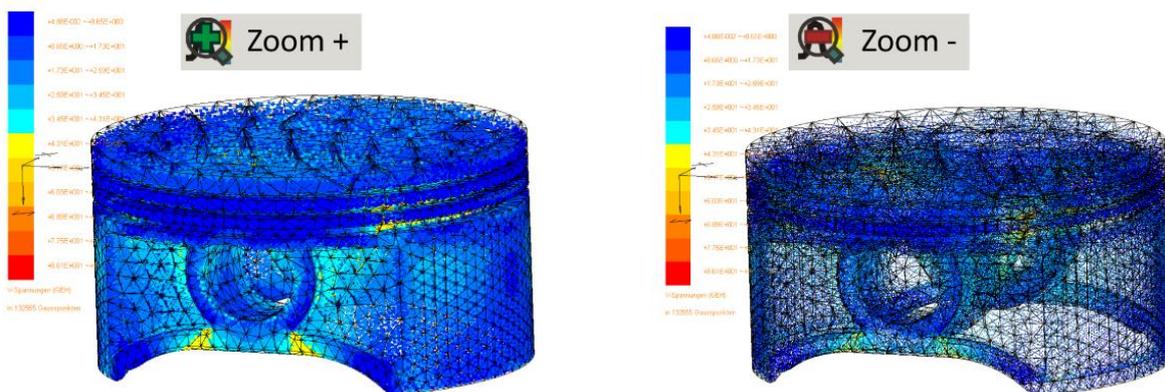


Abbildung 19: Darstellung der Randbedingungen und Gaußpunkte

Größe Pickingpunkte

Die Funktion „*Groesse Picking*“ bewirkt, dass die angezeigten Pickingpunkte vergrößert oder verkleinert dargestellt werden.

4. KONTEXTSENSITIVE SEITENMENÜS

Wenn Sie ein Projekt gestartet haben, können Sie verschiedene Aktionen ausführen. Zum einen können Sie ein bestehendes Projekt anzeigen und verändern, zum anderen können Sie eine Struktur sowohl aus einem CAD-Programm als auch einem FE-Programm importieren.

4.1 Import von CAD- und FE-Daten

Nach dem Erstellen einer neuen Projektmappe besteht die Möglichkeit, sowohl Geometriedaten als auch FE-Strukturen einzulesen und diese in Z88Aurora® weiter zu verwenden. Einen Überblick über die verwendbaren Formate gibt Abbildung 20.

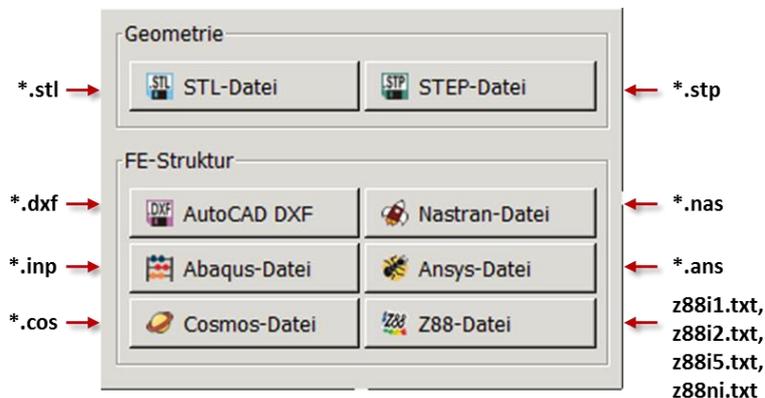


Abbildung 20: Import in Z88Aurora

Achtung: falls eine Kontaktsimulation mit mehreren Bauteilen durchgeführt werden soll, ist kein Import möglich. Das Vorgehen zum Durchführen einer Kontaktsimulation ist in Kapitel Baugruppenhandling / Kontaktanalyse beschrieben.

Z88 Versionskompatibilität

Für Benutzer, die bisher mit Z88OS V14 gearbeitet haben, besteht die Möglichkeit, bestehende Eingabedateien in Z88Aurora® direkt einzulesen. Dabei werden die Steuerdateien, welche Z88Aurora® benötigt, automatisch erzeugt. Tieferen Einblick in die Dateistruktur von Z88Aurora® bietet das Theoriehandbuch in Kapitel 3. Es können die Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I5.TXT und das Netzgeneratorfile Z88NI.TXT eingelesen werden. Die Dateien Z88I3.TXT und Z88I4.TXT werden in Z88Aurora® nicht mehr benötigt. Ältere Projekte aus Z88Aurora® V1/V2 sowie Z88V13-Dateien können über das mitgelieferte

Migrationstool  *mitoo.exe* migriert werden. Dieses Programm liegt im „bin“-Verzeichnis. Nach Doppelklicken öffnet sich der Migrationsdialog. Durch Auswahl der jeweiligen Ordner und „Start“ konvertieren Sie die Daten.

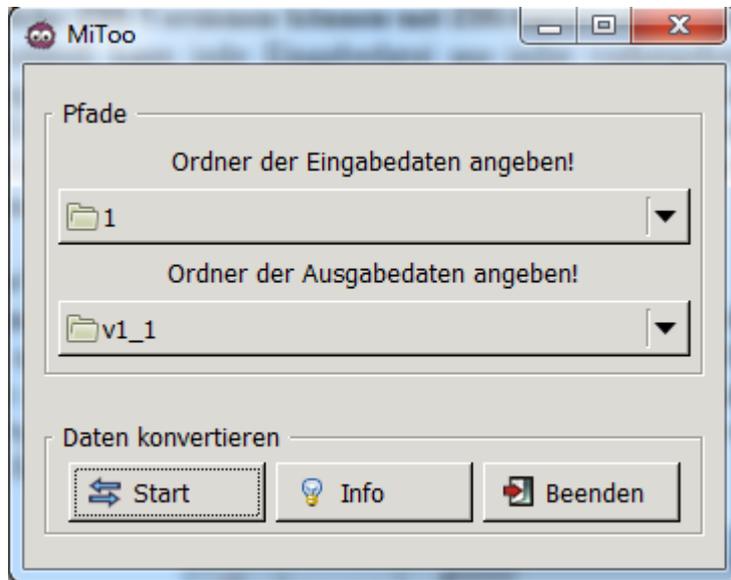


Abbildung 21: Migrationstool Mitoo

Für eine Weiterverarbeitung der Daten in Z88OS V14 kann in der Datei Z88.fcd der Eintrag „enable write_only“ gesetzt werden. Damit werden in das „bin“ Verzeichnis die Daten als kompletter Datensatz für Z88OS in den Ordner „Z88V14OSData“ erzeugt. Dieser Ordner wird jeweils überschrieben. Falls Sie die Daten weiterverwenden wollen, sollten diese in einem anderen Verzeichnis abgelegt werden.

Import

Exemplarisch wird die Vorgehensweise zum Import einer STEP-Datei dargestellt (Abbildung 22):

⇒ Import anwählen

⇒ Auf „ STEP-Datei“ klicken, ein Auswahlfenster öffnet sich

⇒ Datei auswählen

⇒ Klicken Sie OK um die Aktion zu bestätigen 

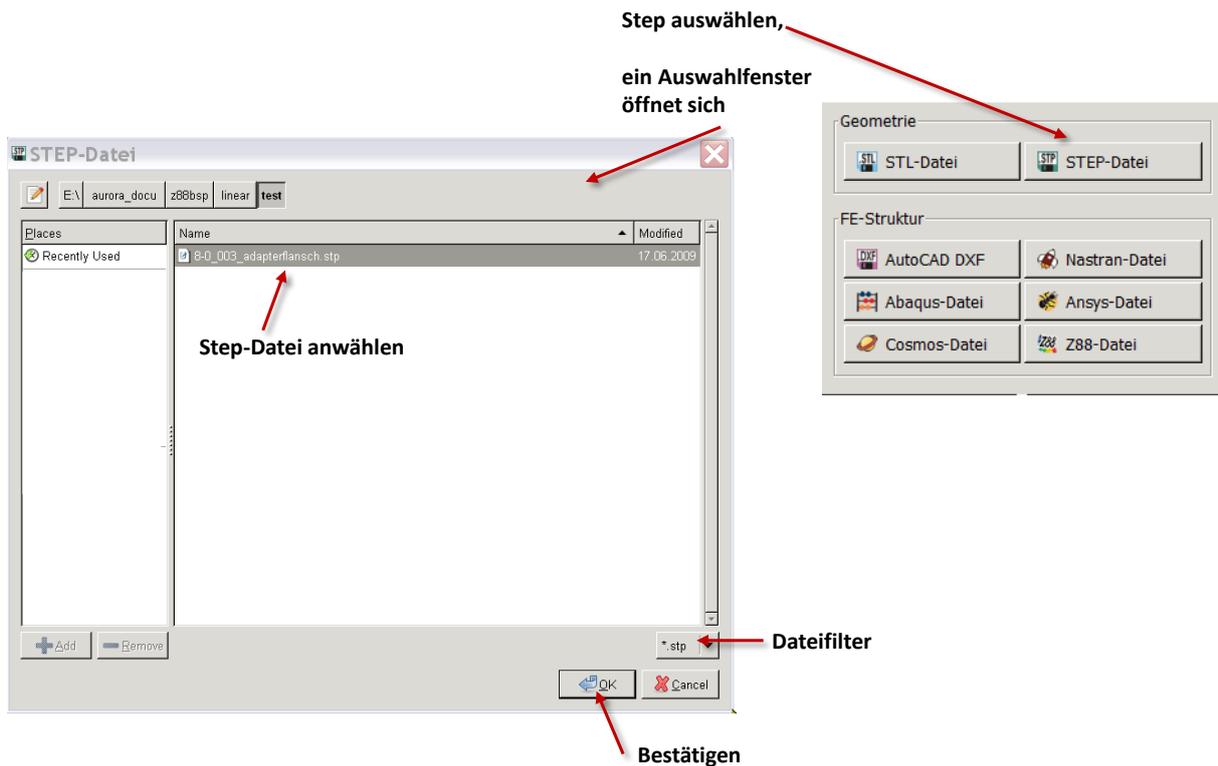


Abbildung 22: Import einer STEP-Datei

- ⚠ Die Voreinstellung, welche Eingabedatei eingelesen werden soll, nimmt der Benutzer selbsttätig vor
- ⚠ Die Einleseroutine ist von der Qualität der gegebenen Daten abhängig. Unvollständige oder beschädigte STEP- oder STL-Daten führen zu inkorrekten Darstellungen und fehlerhaften Vernetzungen in Z88Aurora.

In diesem Fall ist es notwendig, die Exporteinstellungen anzupassen. Je nach CAD-Programm können die Sehnenlängen, die Innenwinkel oder Seitenverhältnisse geändert werden.

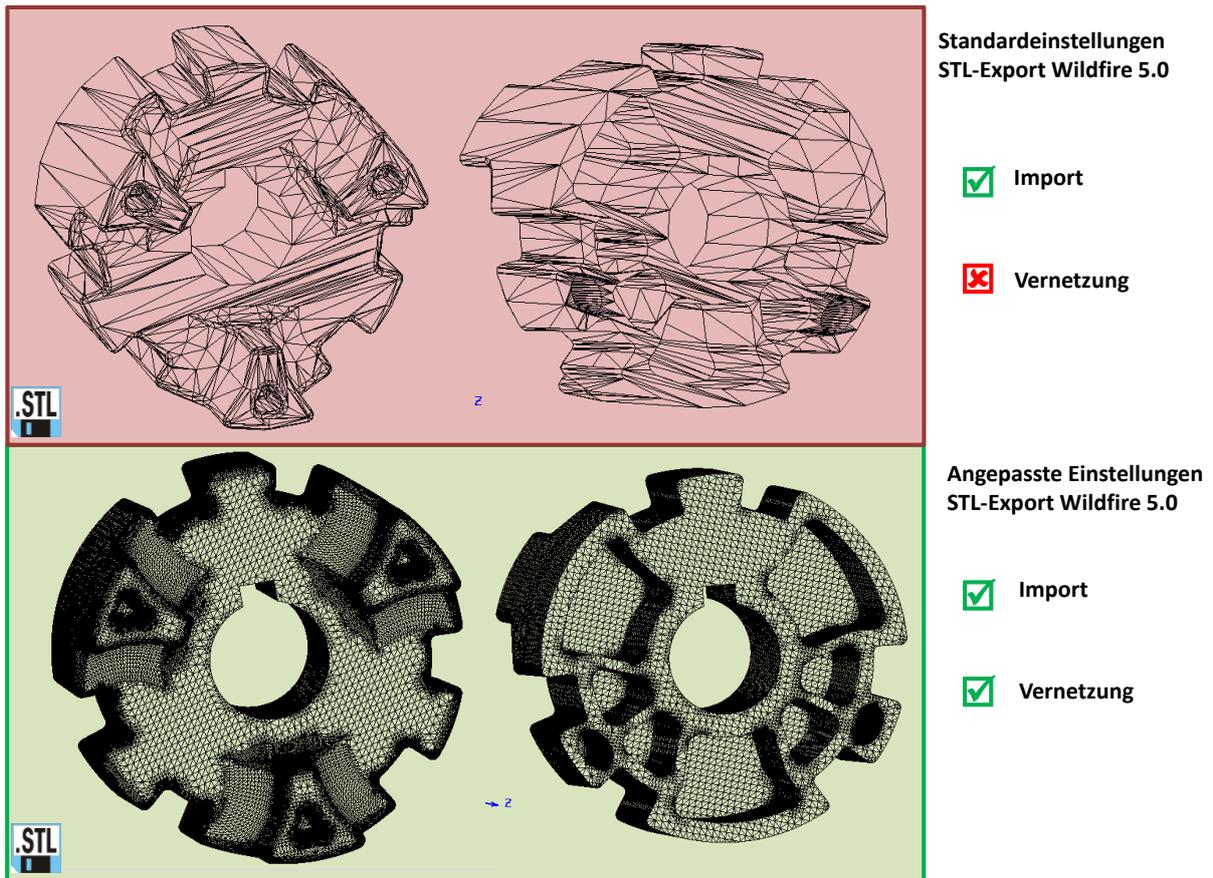


Abbildung 23: Import einer STL-Datei

Alle Importmöglichkeiten sind im Theoriehandbuch in Kapitel 4.1 ausführlich dargestellt. Einen Überblick über die Modelldaten, die aus FE-Strukturdaten übernommen werden können, bietet Tabelle 1.

Tabelle 1: Modelldaten, die aus FE-Strukturdaten übernommen werden können

	Z88V14.OS	DXF Autocad	ABAQUS	ANSYS	COSMOS	NASTRAN
FE-Struktur	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FE-Superstruktur	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Einzellasten	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Festhaltungen	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Flächenlasten	✓	✗	✗	✓	✗	✓

AUTOCAD-DXF-Dateien können als vier verschiedene Dateitypen importiert werden (Abbildung 24). Näheres zur Erstellung der AutoCAD-Dateien und deren Vorbereitung siehe Theoriehandbuch, Kapitel 4.1.5.

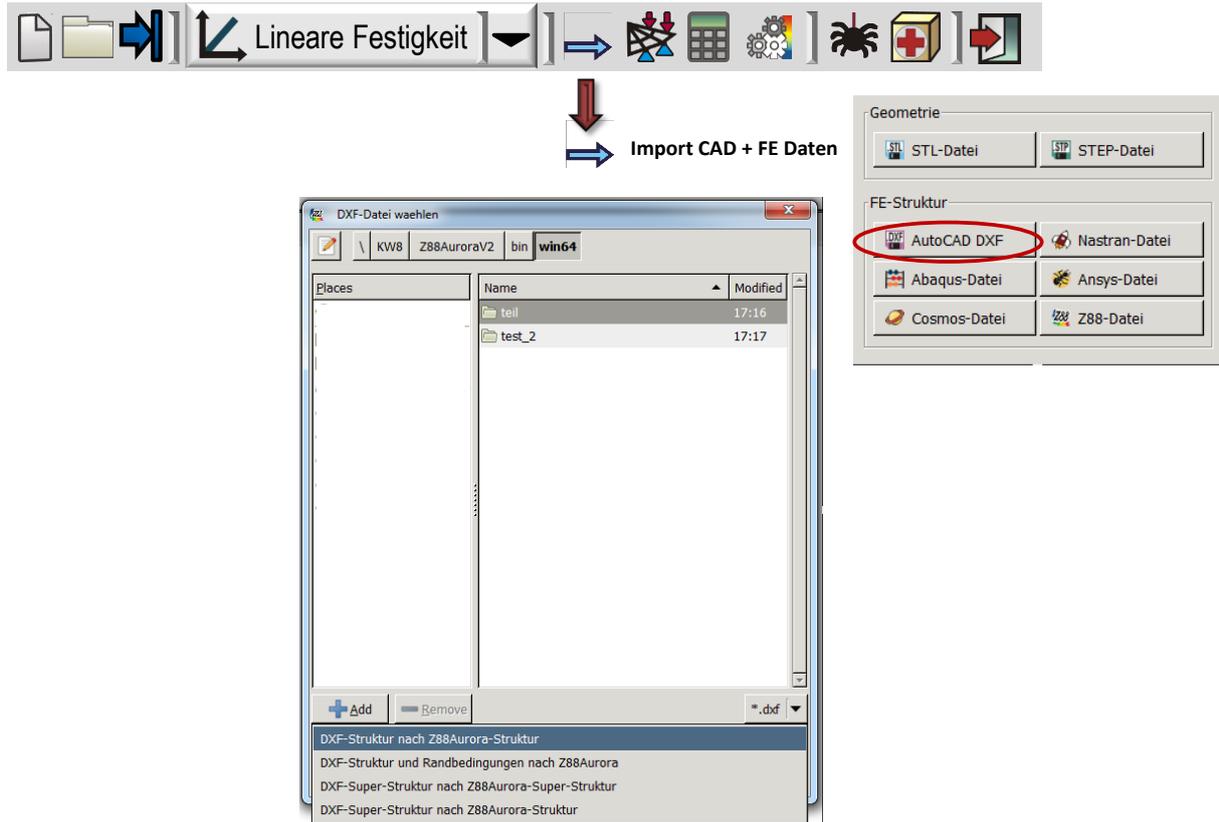


Abbildung 24: Importmöglichkeiten DXF-Struktur

⚠ Der DXF-Import ist für Dateien aus dem CAD-System AutoCAD konzipiert. Wenn Sie ein anderes Programm verwenden, kann der Import unter Umständen fehlschlagen.

Import Textmenüleiste

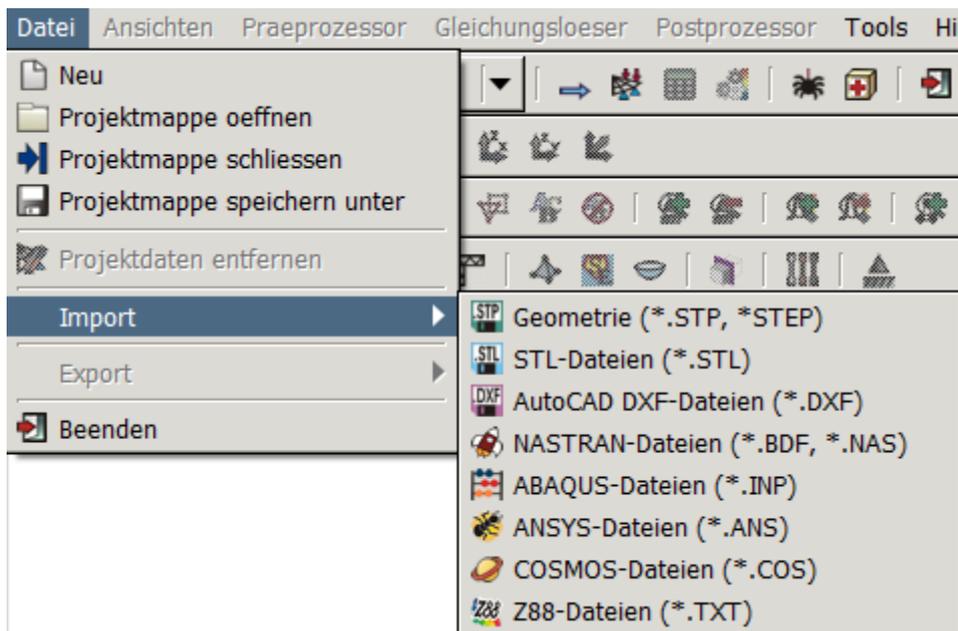


Abbildung 25: Import in der Textmenüleiste

Werkzeuggeste Import

Die Werkzeuggeste „Import“ ist standardmäßig einblendend. Im Menü „Ansichten“ unter „Einrichten“ bietet sich im Reiter „Werkzeuggesten“ die Möglichkeit, die Werkzeuggeste „Import“ abzuwählen.



Abbildung 26: Werkzeuggeste Import

Export Textmenüleiste

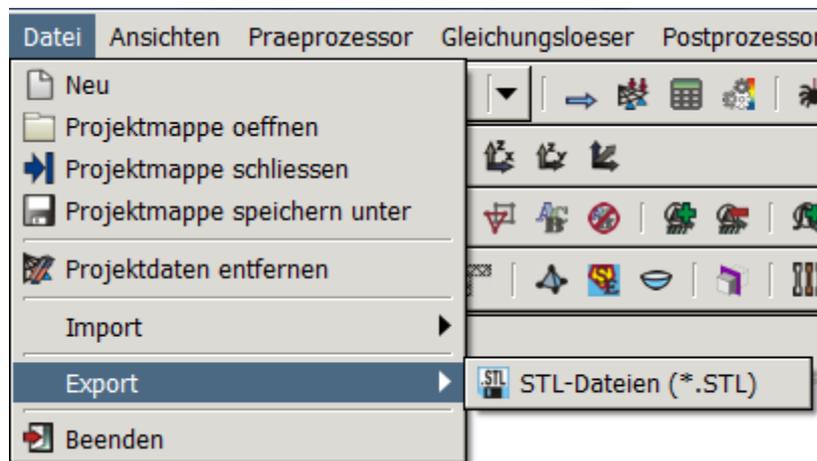


Abbildung 27: Exportmenü

Eine aktuell geladene FE-Struktur kann mittels der Exportfunktion als STL-Datei wieder herausgeschrieben werden.

4.2 Präprozessor

Beim Klick auf das Präprozessor-Icon öffnet sich das kontextsensitive Seitenmenü „Präprozessor“ (Abbildung 28). Es kann entweder eine FE-Struktur erstellt oder eine eingeladene Geometrie vernetzt werden. Anschließend besteht die Möglichkeit, ein Material aus der Datenbank auszuwählen oder ein eigenes Material zu editieren. Zusätzlich können sämtliche strukturmechanischen und thermischen Randbedingungen angelegt werden. Im Folgenden werden alle Möglichkeiten des Präprozessors separat vorgestellt.

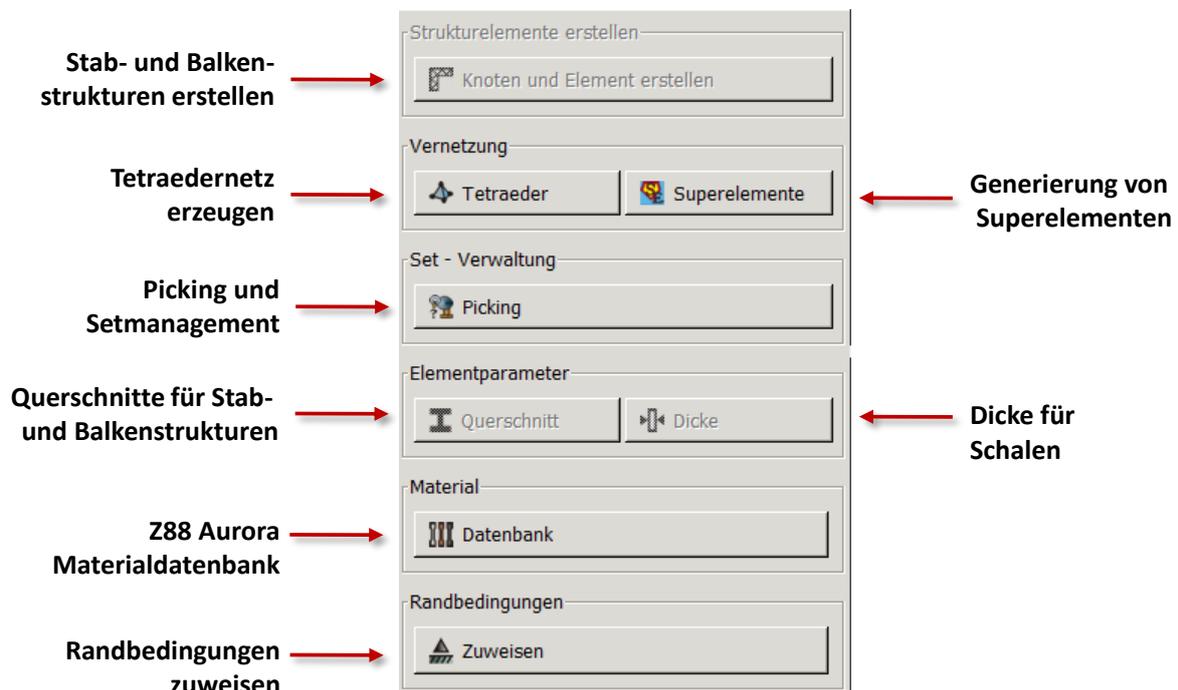


Abbildung 28: Seitenmenü „Präprozessor“

Präprozessor in der Textmenüleiste

Auf alle Funktionen des Präprozessors kann über die Textmenüleiste zugegriffen werden.

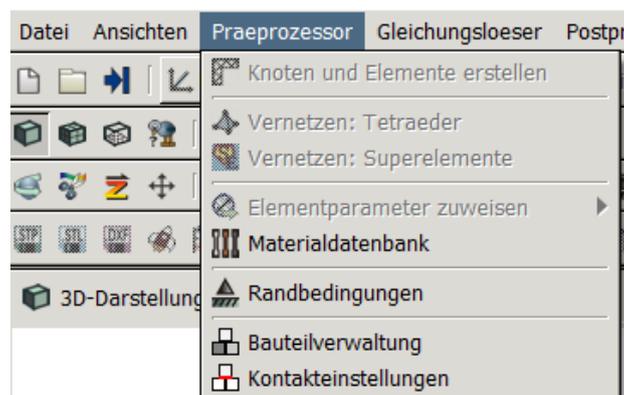


Abbildung 29: Textmenüleiste „Praeprozessor“

Werkzengleiste Präprozessor

Im Menü "Ansichten" unter "Einrichten" befindet sich im Reiter "Werkzengleisten" die Leiste „Import“, die im „Praeprozessor“ angezeigt werden kann.



Picking

Eine der hauptsächlichen Neuerungen von Z88Aurora® ist die Möglichkeit, in der neuen graphischen Benutzeroberfläche Randbedingungen, wie Kräfte, Drücke und Einspannungen, mit einem Mausklick aufzubringen. Diese Funktionalität wird im Folgenden als „Picking“ bezeichnet. Für das Picking gibt es eine separate Ansicht, die Sie im Hauptfenster durch Klicken auf den Button  einblenden können.

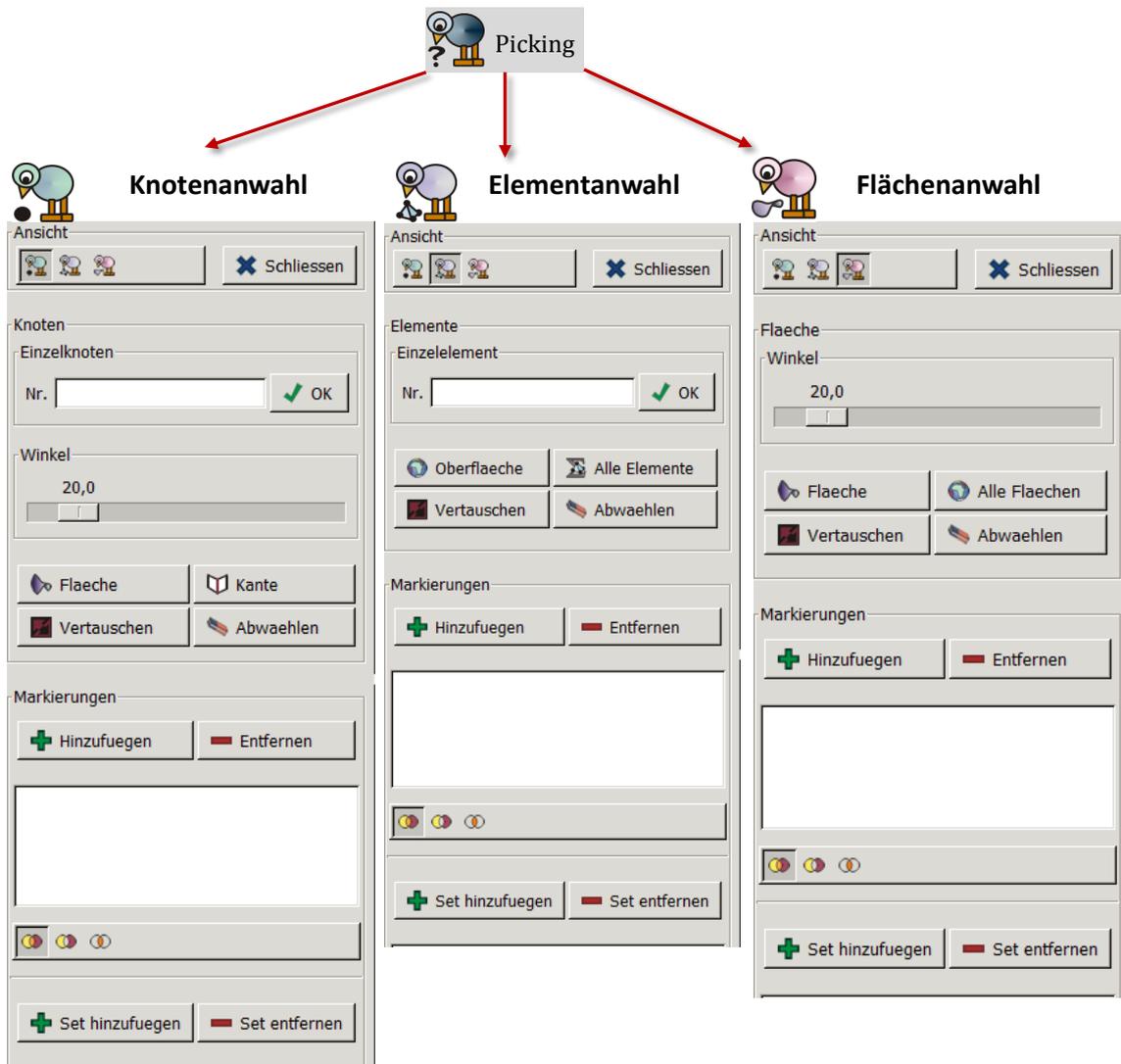


Abbildung 30: Pickingoptionen in Z88Aurora® V3

Tastenkombinationen

Mit Hilfe der Maus und einigen wenigen Tastaturkürzeln ist es möglich, einzelne oder mehrere Knoten, Elemente oder Flächen „anzupicken“, um die gewünschten Randbedingungen zu definieren:

+ (klicken)

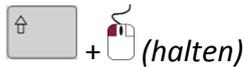
Auswahl einzelner Knoten

+ (halten)

Neue Auswahl mehrerer Knoten in einem rechteckigen Fenster und gleichzeitiges Verwerfen der vorangegangenen Auswahl

+ + (halten)

zusätzliche Auswahl mehrerer Knoten in einem rechteckigen Fenster, unter Beibehaltung der vorangegangenen Auswahl



Aufziehen eines rechteckigen Fensters zur Abwahl mehrerer Knoten in einem Bereich

Dabei sind die jeweiligen Knoten, Elemente oder Flächen durch kleine schwarze Rechtecke gekennzeichnet. Die Anwahl erfolgt durch die Tastenkombinationen und direktes Klicken auf die Rechtecke.

Knotenpicking

Das Knotenpicking enthält folgende Funktionen:

- Einzelknoten
- Flaechе (funktioniert nicht bei Schalenelementen)
- Kante
- Vertauschen
- Abwaehlen

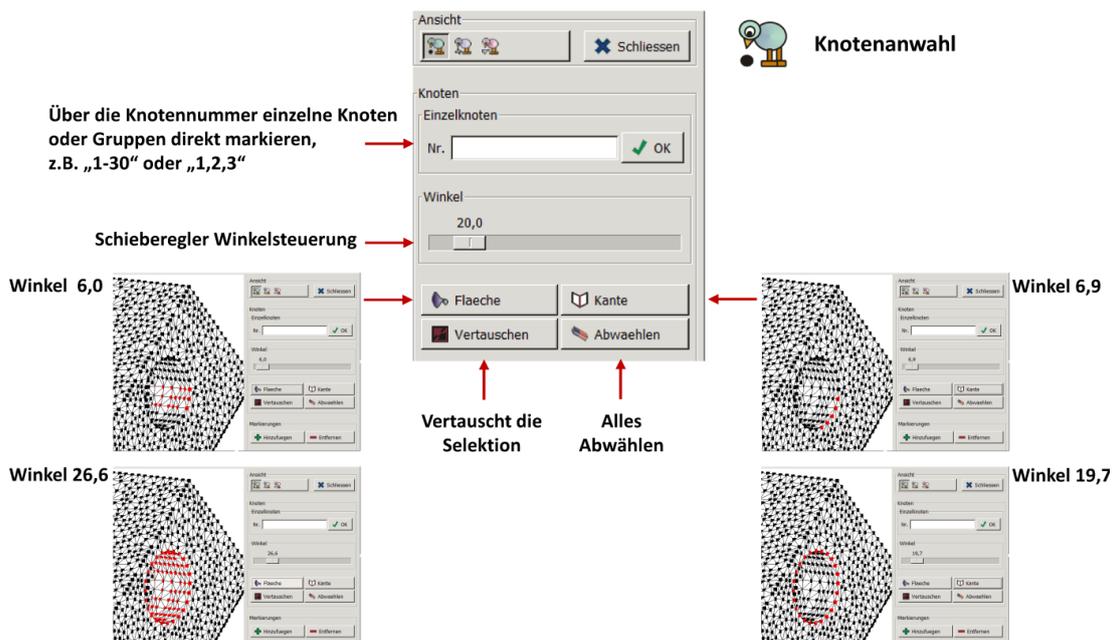


Abbildung 31: Knotenpicking

Einzelknoten: Es können sowohl einzelne Knoten über Nummern sowie zusammenhängende Bereiche über die Ziffern markiert werden.

Flaechе: Wenn Sie z. B. die Bohrungsinnenfläche für die Aufgabe von Randbedingungen wählen wollen, können Sie die Funktion „Flaechе“ nutzen. Picken Sie mit  +  (klicken) einen Knoten an. Mit dem Schieberegler kann ein Winkel vorgegeben werden, der die

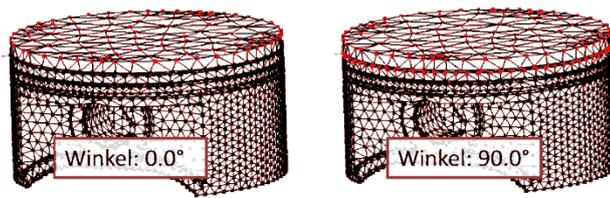
Selektion beeinflusst. Der Zahlenwert beschreibt den Winkel zwischen dem Element, auf der der angewählte Knoten liegt und den benachbarten Elementen. Ist der Wert kleiner oder gleich dem Eingestellten, werden die Knoten der jeweiligen Elemente ausgewählt.

Um die passenden Einstellungen für Ihre gewünschte Fläche herauszufinden, müssen Sie unter Umständen mehrere Werte durchprobieren, bis Sie das gewollte Ergebnis erzielen.

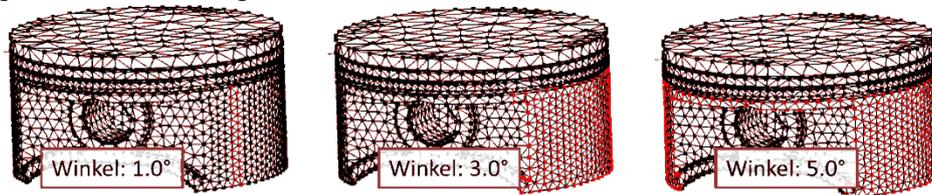
Als Richtwerte gelten folgende Einstellungen (Abbildung 32):

- Ebene Fläche: 0.0°
- Eine Doppelreihe Knoten auf großem Krümmungsradius: $1^\circ - 2^\circ$
- Seitenfläche (teilweise oder komplett) eines großen Krümmungsradius: ca. $5^\circ - 10^\circ$
- Bohrungsinnenfläche: ca. $10^\circ - 20^\circ$

gewählter Knoten auf ebener Fläche



gewählter Knoten auf gekrümmter Fläche



gewählter Knoten in Bohrung

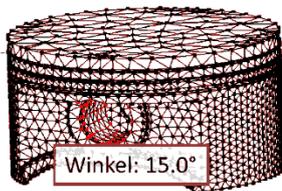


Abbildung 32: Winkeleinstellungen

 **Nur die Anwahl von Eckknoten (keine Elementmittenknoten) ist zulässig!**

Kante: Eine Gruppe von nebeneinanderliegenden Knoten, die entlang einer Kante eines FE-Modells verlaufen, können durch die Option „Kante“ gewählt werden. Durch diese Picking-Option wird es beispielsweise möglich, Kanten von Bohrungen oder umlaufende Kanten eines Profils zu wählen. Es muss jeweils ein Knoten der Kante gewählt werden. Durch die Winkelsteuerung kann auch ein Teil der Kante selektiert werden.

Vertauschen: Durch „Vertauschen“ wird die Selektion umgedreht.

Abwählen: Abwählen der zuvor markierten Bereiche.

 **Elementpicking**

Das Elementpicking enthält folgende Funktionen:

- Oberfläche
- Alle Elemente
- Vertauschen
- Abwählen

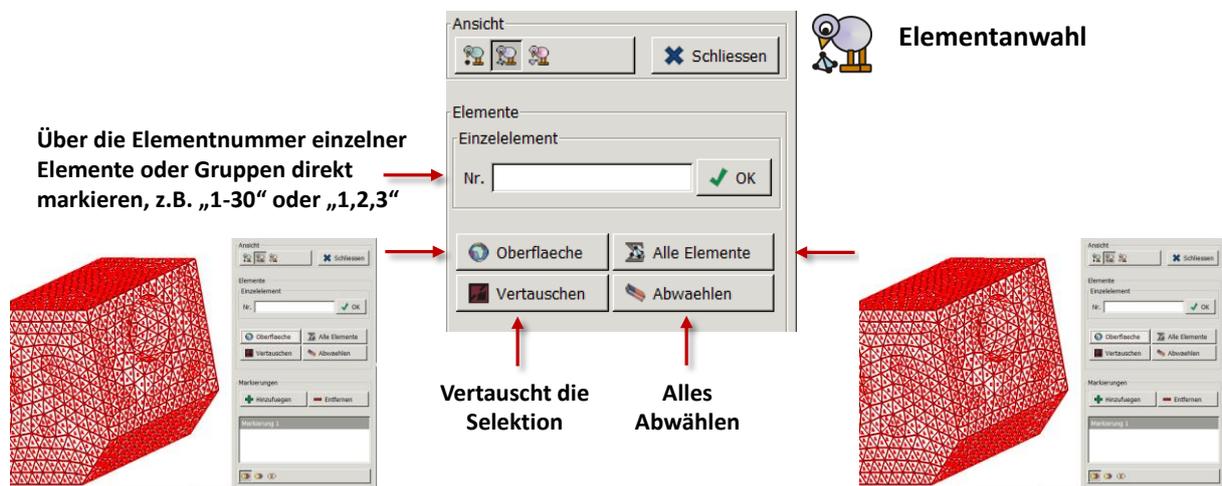


Abbildung 33: Elementpicking

Zur Materialzuweisung kann es von Vorteil sein, Elementen verschiedene Materialwerte zuzuweisen. Dies ist mit dem Elementpicking über die normalen Pickingoptionen und das Elementpicking möglich. Dies ist sowohl für Stab- und Balkenelemente, sowie für Kontinuums-elemente möglich. Bei Stab- und Balkenelementen ist die Auswahl der einzelnen Elemente jedoch nur über die Elementnummern möglich. Eine direkte Markierung mittels Maussteuerung ist nicht ausführbar!

Flächenpicking

Das Flächenpicking enthält folgende Funktionen:

- Fläche
- Kante
- Vertauschen
- Abwählen

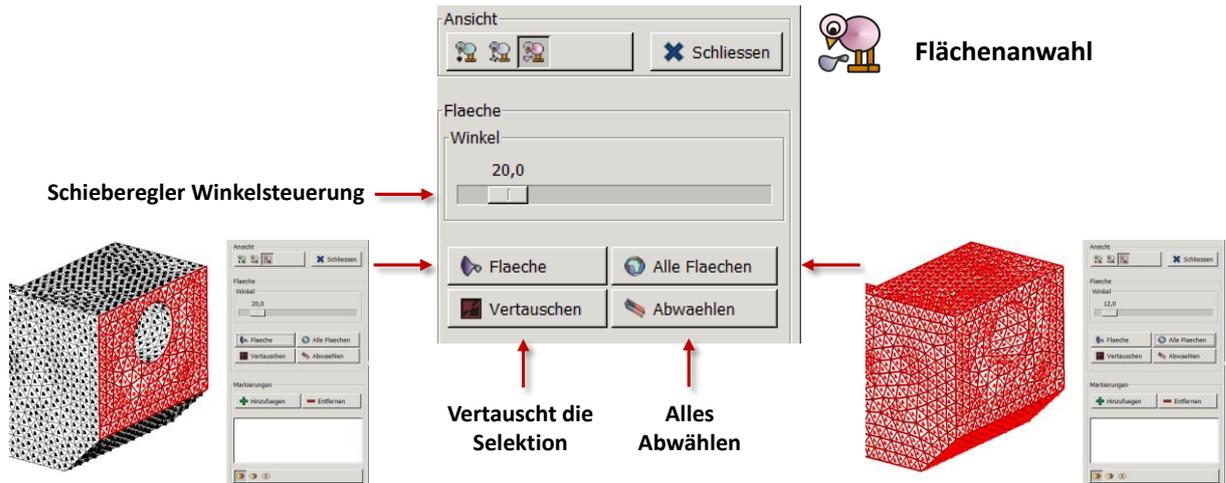


Abbildung 34: Elementpicking

Die Funktion „Fläche“ funktioniert wie beim Knotenpicking. Es können jeweils Bauteiloberflächen gewählt werden. Picken Sie mit + (klicken) eine Flächenmarkierung und wählen Sie „Fläche“. Mit „Alle Flaechen“ kann die gesamte Oberfläche ausgewählt werden.

Welche Pickingoption verwendet man für was?

Knotenanwahl	Elementanwahl	Flächenanwahl
Randbedingungen	Tetraederverfeinerer	Druck Tetraeder, Hexader, Volumenschalen
	Materialzuweisung	
	Lokale Vernetzung Hexadervernetzer	

Setmanagement

Alle Markierungen, welche über die Picking Menüs getroffen wurden, können als Markierung gespeichert werden. Dazu einfach bei der gewünschten Markierung auf „Hinzufügen“ klicken. Diese Markierungen dienen als Basis für die Sets mit Randbedingungen, Materialzuweisungen, Tetraederverfeinerungen oder Darstellungsoptionen. Mit Hilfe der Boole'schen Operationen können verschiedene Markierungen addiert, verschnitten oder getrimmt werden. Wenn das gewünschte Ergebnis erreicht ist, ebenfalls wieder auf „Set hinzufügen“ klicken.

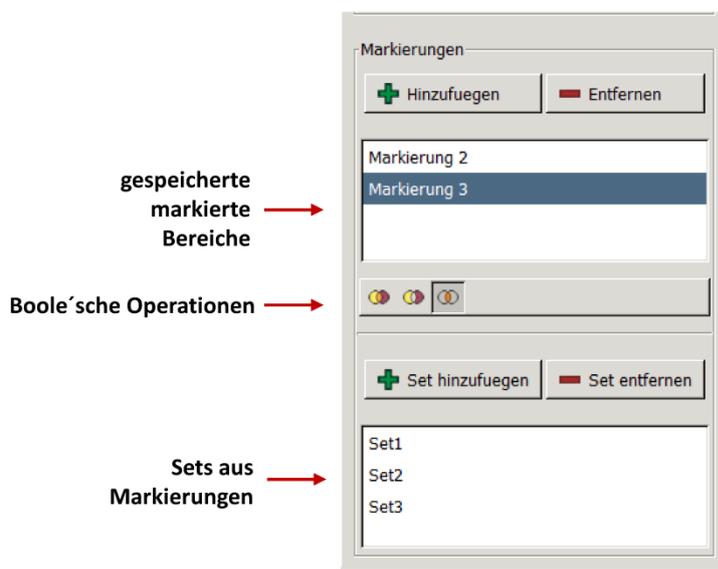


Abbildung 35: Markierungen und Sets im Pickingmenü

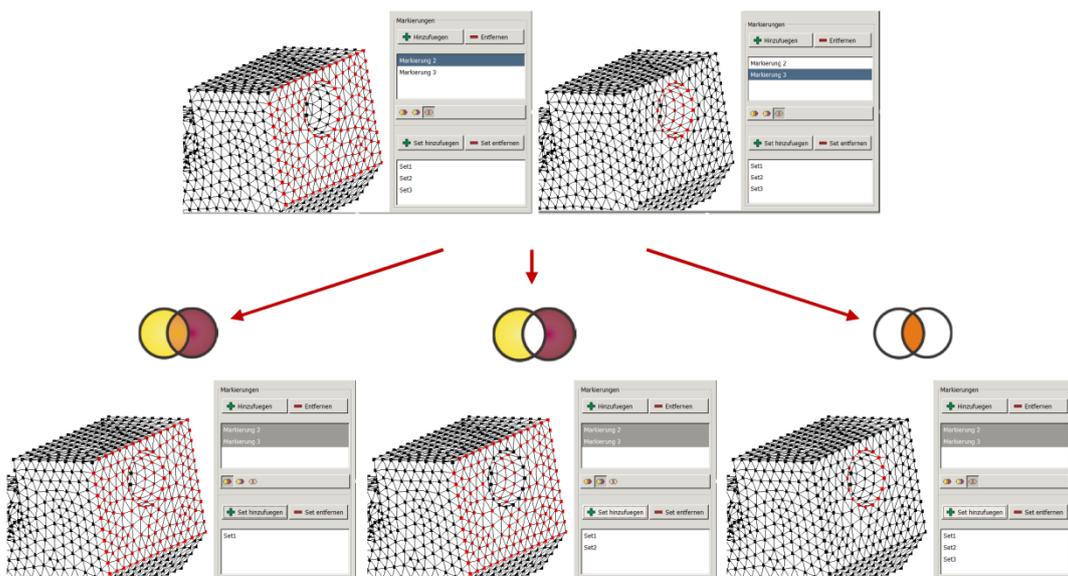


Abbildung 36: Boole'sche Operationen zum Anlegen von Sets aus der Kombination verschiedener Markierungen

FE-Strukturerstellung: Stäbe/Balken

Wie in Z88OS V14 ist es in Z88Aurora® möglich, Stab- und Balkenstrukturen zu erstellen und zu berechnen.

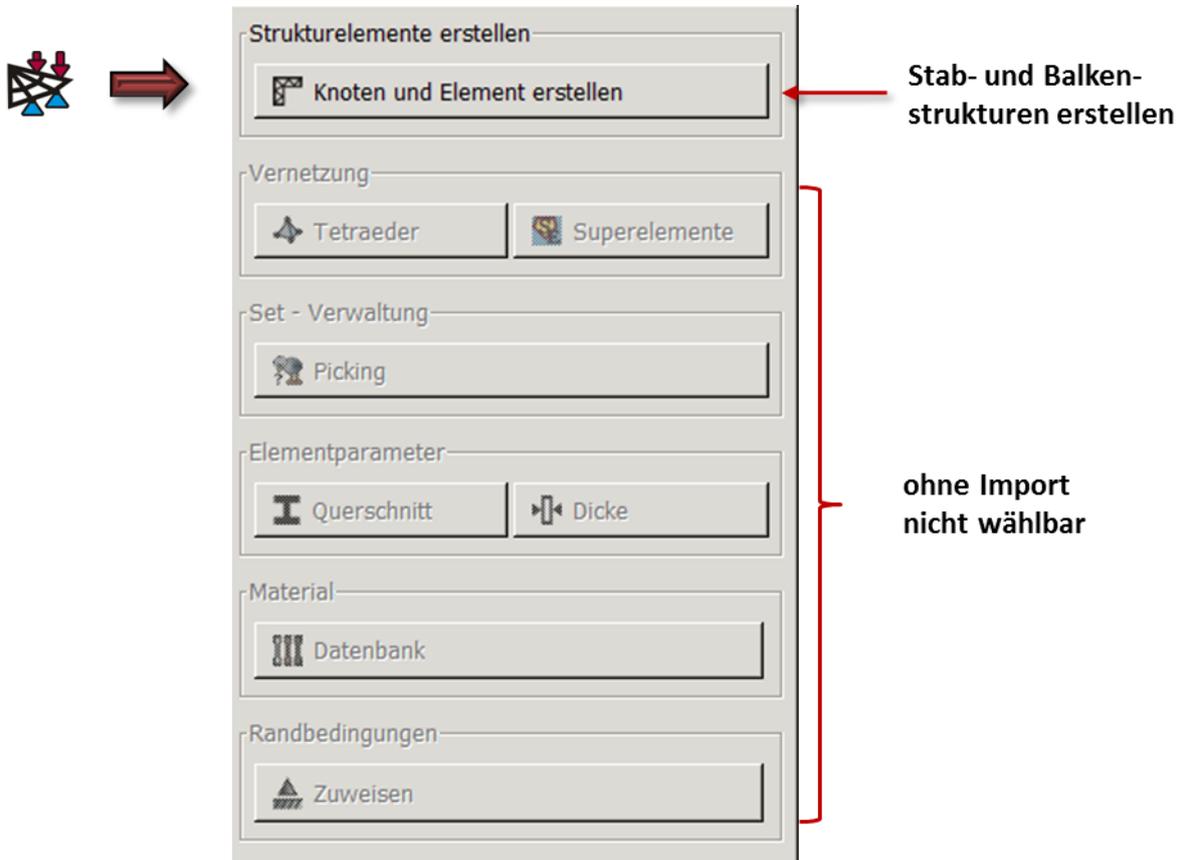


Abbildung 37: Strukturelemente erstellen

Im Untermenü „Knoten und Elemente erstellen“ werden zuerst Knoten durch Eingabe von Knotenkoordinaten erstellt, später im Bereich „Elemente“ der jeweilige Elementtyp ausgewählt und erstellt.

 **Es können keine gemischten Strukturen mit verschiedenen Elementtypen erstellt werden!**

Hierzu empfiehlt sich die Nutzung von Z88OS V14.

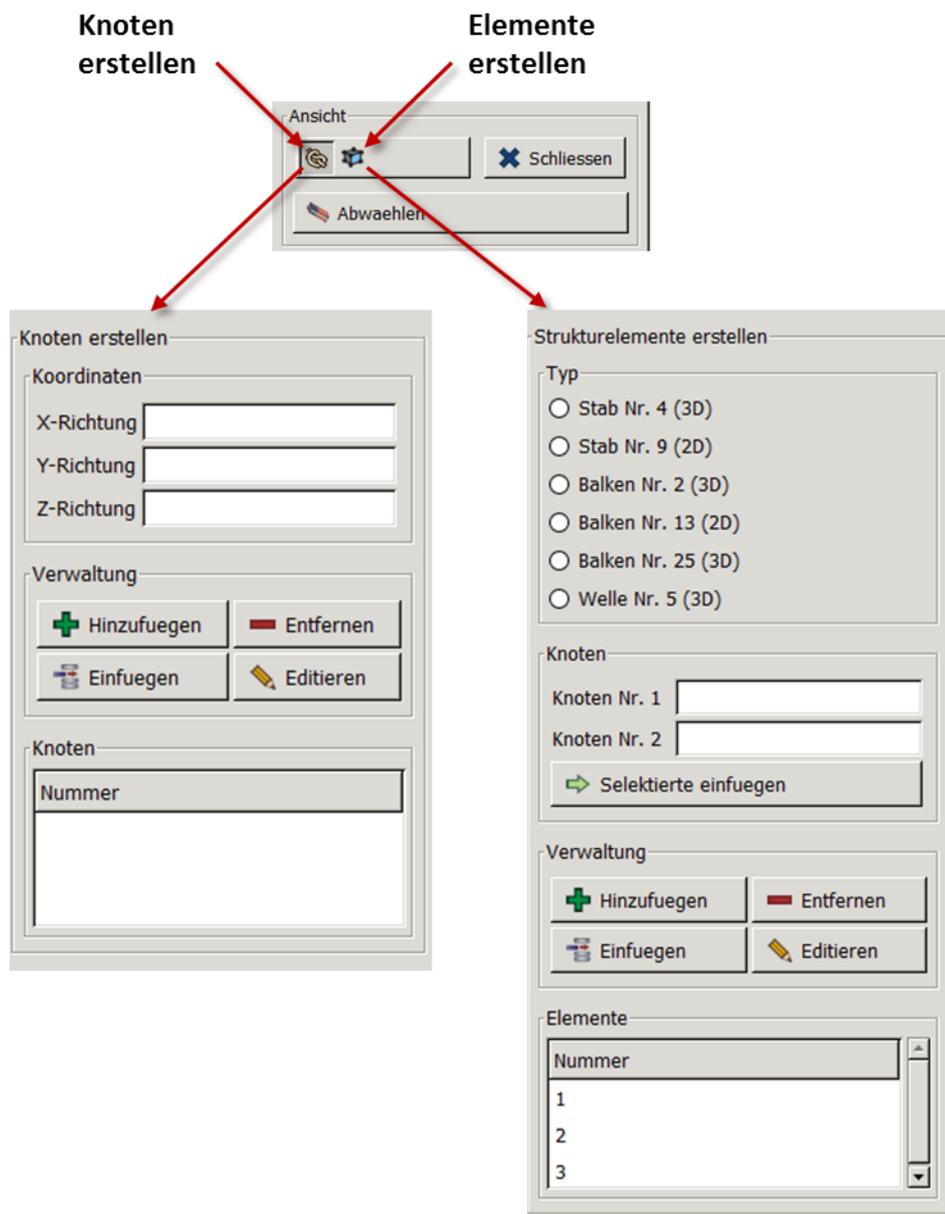


Abbildung 38: Strukturelemente erstellen

 Knoten

⇒ neue Knotenkoordinaten erzeugen

- „x“ eingeben
- „y“ eingeben
- „z“ eingeben

⇒ auf  Hinzufuegen klicken

Nach der Eingabe können die Knoten editiert oder gelöscht werden:

Die Selektion der zu verändernden Knoten kann nur über die Auswahl aus der Liste erfolgen.

⇒ mit Editieren wird der Knoten zur weiteren Bearbeitung selektiert, es erscheint das Pop-Up Menü „Editieren“

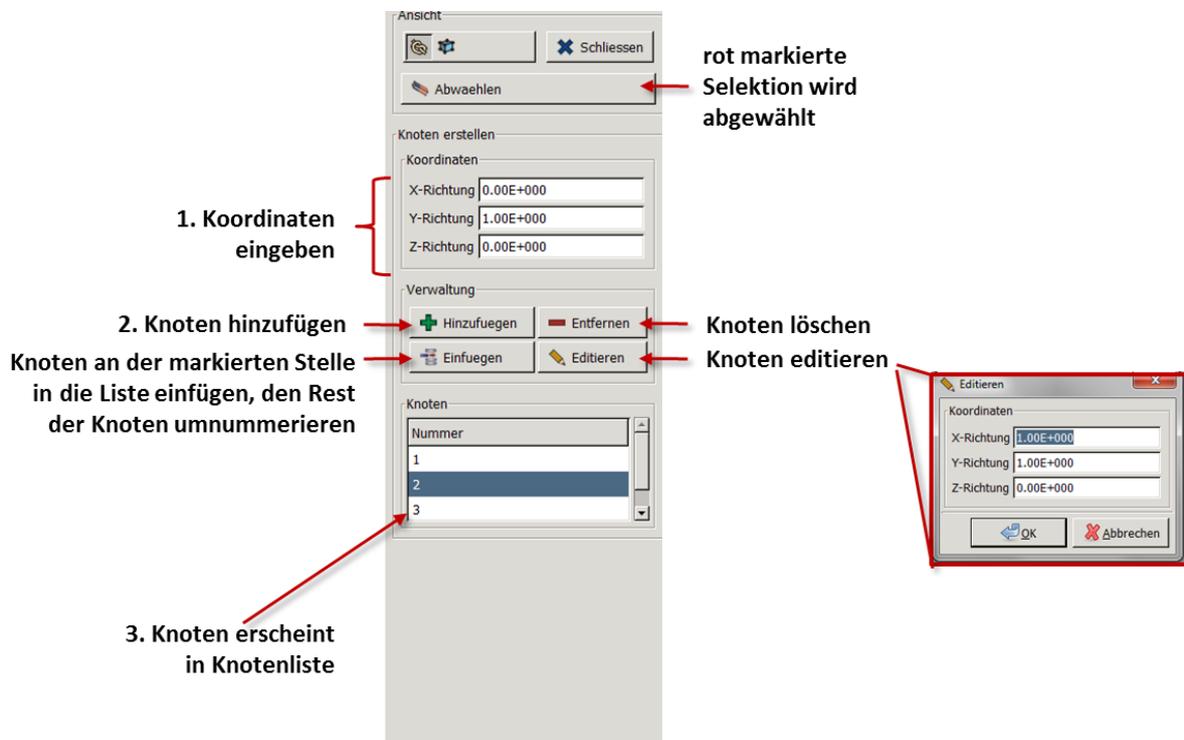


Abbildung 39: Knotenmenü

Mehr zur Selektion von Knoten, siehe Kapitel " Picking"

Auswahl aus der Liste:

⇒ + den zu editierenden Knoten aus der Liste auswählen → der Knoten wird rot

Anschließend kann der selektierte Knoten Editieren oder gelöscht werden.

Wenn alle Knoten angelegt sind, können Elemente definiert werden. Dazu muss in das Menü Elemente gewechselt werden.

Mit „Einfügen“ kann ein Knoten nachträglich an einer bestimmten Stelle der Knotenliste eingefügt werden, und die anderen Knoten werden automatisch neu nummeriert.

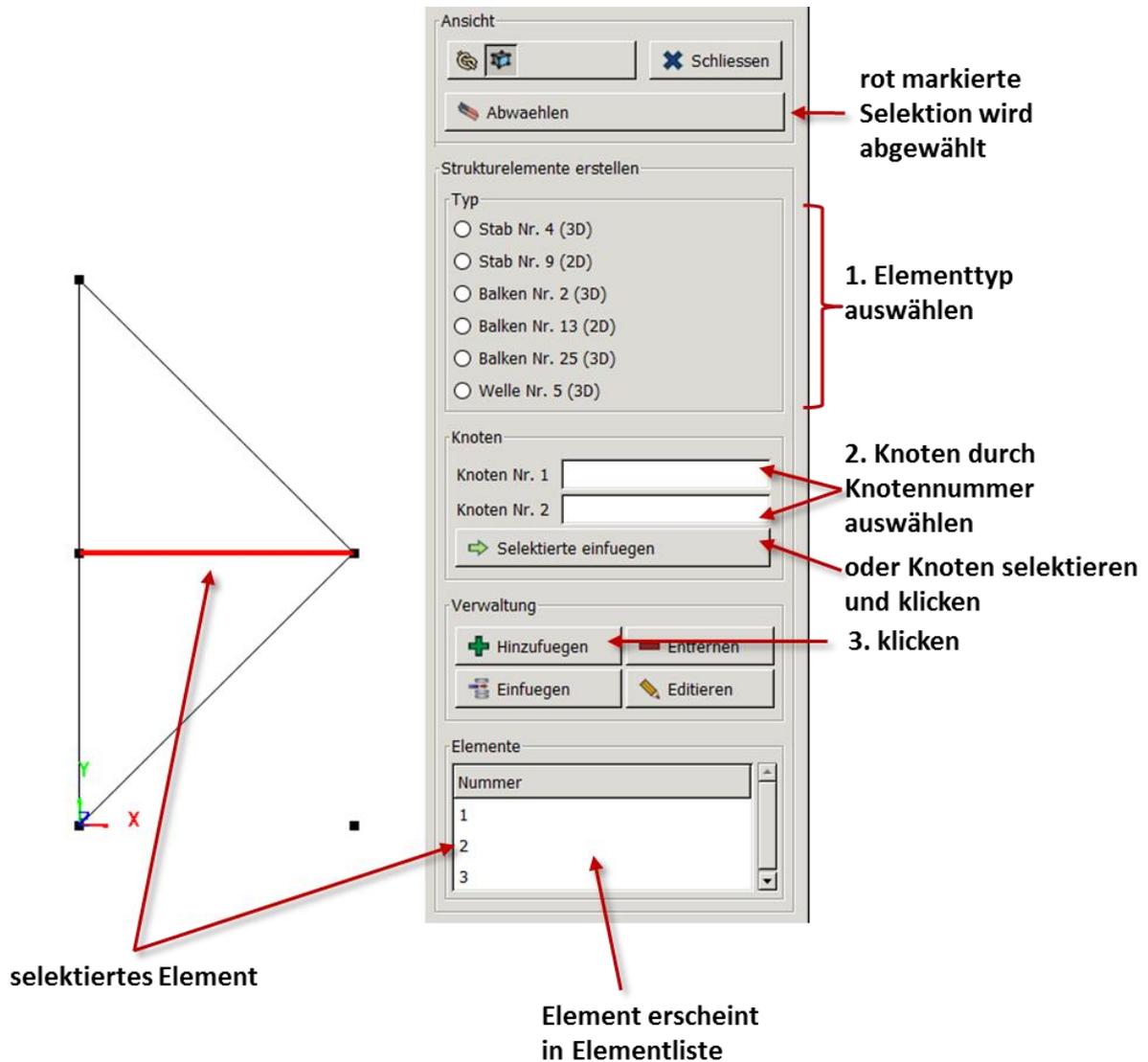


Abbildung 40: Elementemenü

⇒ neues Element erzeugen

⇒ Elementtyp festlegen (Stab Nr.9 / Nr.4, Balken Nr.2 / Nr.13 / Nr. 25, Welle Nr.5)

für weitere Informationen konsultieren Sie bitte das Theoriehandbuch Kapitel 5

- Knoten 1 eingeben (durch direktes Anwählen des Knotens mittels Maus

+  Selektierte einfügen)

- Knoten 2 eingeben (oder durch Eingabe der Knotennummer)

⇒ auf  Hinzufügen klicken

Nach der Eingabe der Elemente können diese noch editiert oder gelöscht werden. Die Auswahl erfolgt über die Elementtabelle.

Die Erstellung der Eingabedatei ist nun abgeschlossen, Sie können das Untermenü schließen.

In den nächsten Schritten müssen die Elementparameter (Geometrie, Querschnitt etc.), das Material und die Randbedingungen zugewiesen werden. Hierzu konsultieren Sie bitte die Hilfe zu " Elementparameter" oder " Randbedingungen aufgeben".

Vernetzung

Sie haben drei Möglichkeiten, in Z88Aurora® Strukturen zu vernetzen. Einerseits kann ein Kontinuum mit dem Netzgenerator Z88N über den Zwischenschritt der Superelementerzeugung zu diversen FE-Strukturen vernetzt werden, andererseits sind zwei Open-Source-Freemeshes, TetGen und NETGEN, zur Erzeugung von Tetraedernetzen in Z88Aurora® integriert. Außerdem besteht die Möglichkeit STL-Dateien direkt in Schalenelemente zu überführen.

Tetraedernetz erzeugen

Nach dem Import einer Geometriestruktur via *.STEP oder *.STL kann die Struktur mittels Tetraedern vernetzt werden. Es stehen zwei Open-Source-Vernetzer zur Verfügung:

- TetGen wurde von Dr. Hang Si der Forschungsgruppe "Numerische Mathematik und Wissenschaftliches Rechnen" des Weierstraß-Instituts für Angewandte Analysis und Stochastik in Berlin entwickelt. In Z88Aurora® kann dieser Vernetzer für Tetraeder mit 4 oder 10 Knoten verwendet werden.
- NETGEN wurde hauptsächlich von Prof. Joachim Schöberl (Institut für Analysis und Scientific Computing an der Technischen Universität Wien, Forschungsgruppe Computational Mathematics in Engineering) im Rahmen der Projekte "Numerical and Symbolic Scientific Computing" und dem Start Project "hp-FEM" entwickelt. In Z88Aurora® kann dieser Vernetzer für Tetraeder ebenfalls mit 4 und 10 Knoten verwendet werden.

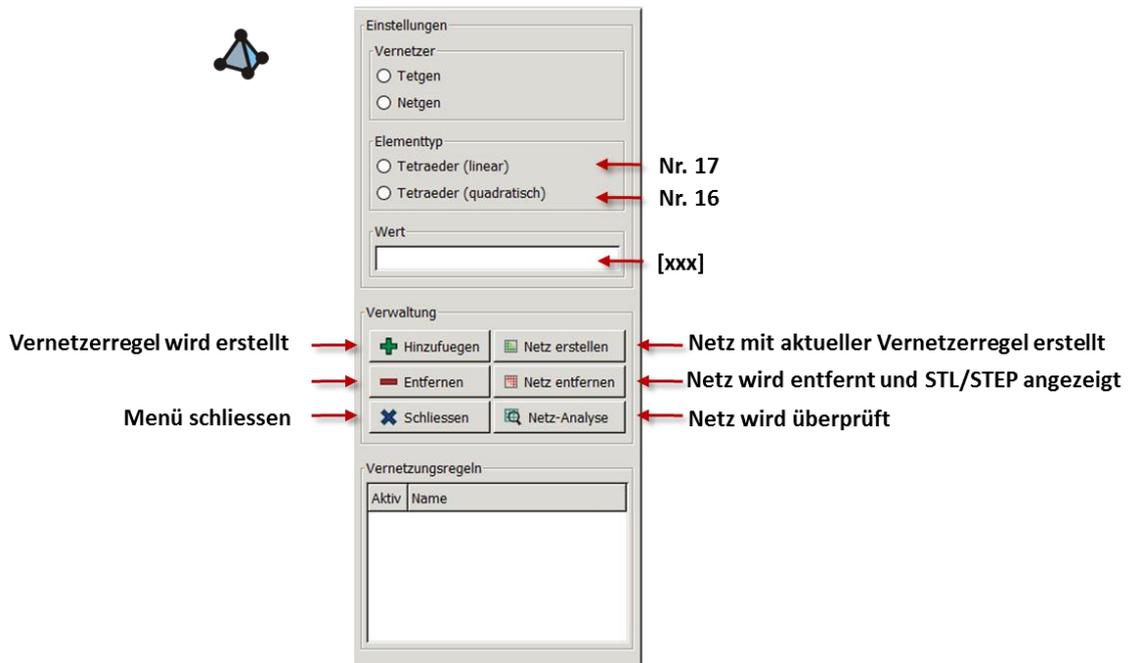


Abbildung 41: Erzeugung von Tetraedernetzen und Optionen TetGen/NETGEN

⇒ TetGen oder NETGEN auswählen

⇒ Netzfeinheit und Elementtyp festlegen (die Wertangabe entspricht der mittleren Kantenlänge in der jeweilig verwendeten Längeneinheit)

⇒ auf  Hinzufuegen klicken (die Vernetzerregel wird erstellt)

Die Daten der Vernetzerregel können jederzeit wieder angesehen werden.

⇒ danach entweder  Netz erstellen oder eine weitere Vernetzerregel verfassen

⇒ mit  schliessen das Tetraedermenü verlassen

Angezeigt wird jeweils das zuletzt erzeugte Netz; wenn zu einem vorher erzeugten Netz zurückgekehrt werden soll, dann die entsprechende Vernetzerregel aufrufen und die Vernetzung erneut durchführen.

 **Je nach Vernetzer nimmt die Netzerstellung einige Zeit in Anspruch, bitte beachten Sie das Infocfeld "Vernetzung" und die Statusanzeige!
Wählen Sie eine Netzfeinheit, die ihrem Bauteil angemessen ist!**

 Netzcheck

Als zusätzliche Funktionen bietet das Tetraedervernetzermenü die Funktion "Netzcheck" zur Qualitätsüberprüfung importierter oder selbst erstellter Netze. Bitte beachten Sie, dass die Ergebnisse der FE-Berechnung nur bei ausreichend gutem Netz plausibel sind. Führen Sie deshalb am Ende der Vernetzung möglichst immer eine Qualitätsabfrage des Netzes durch. Wenn das Netz fehlerhaft ist, wird im Anschluss an die Meldung das fehlerhafte Element im Drahtgittermodus rot dargestellt. Zusätzlich wird die Datei Z88DET.TXT im Projektverzeichnis erzeugt.

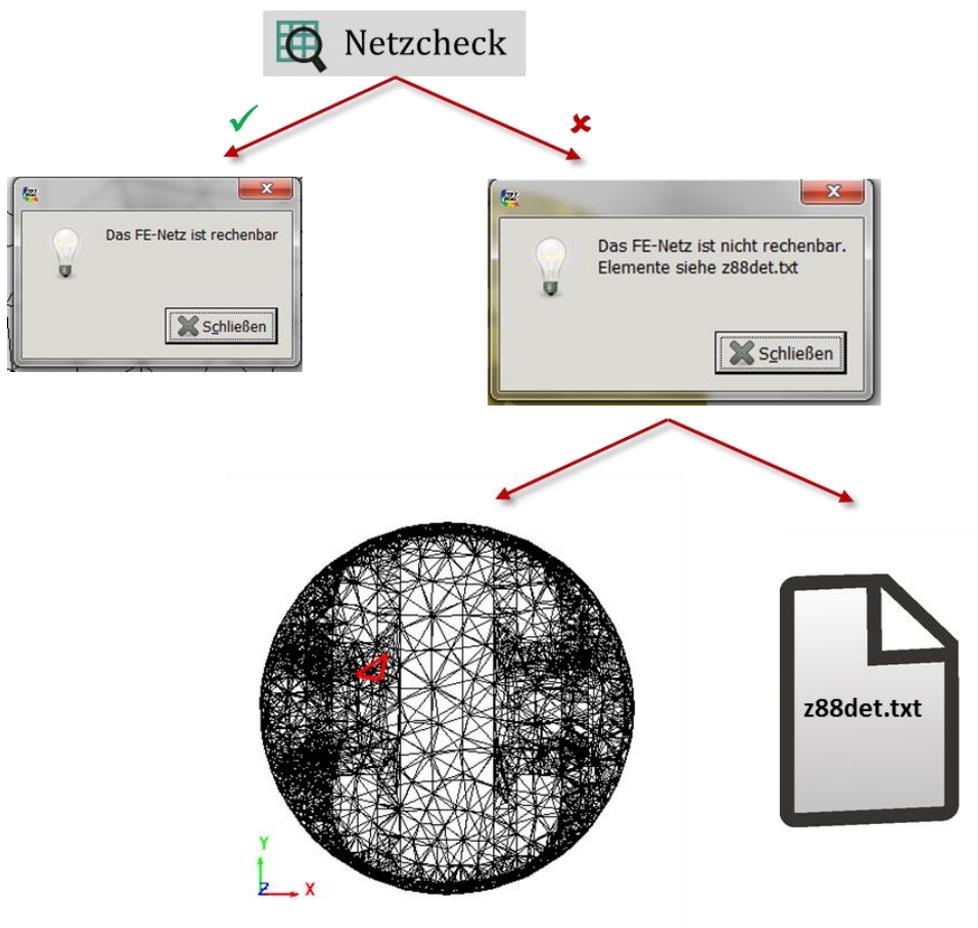


Abbildung 42: Netzcheck

 Generierung von Superelementen / Netzgenerator Z88N

Der Netzgenerator Z88N aus Z88 ist mit erweiterten Funktionalitäten in Z88Aurora® integriert:

- Z88N für Hexaeder, Tori, Scheiben, Platten und Volumenschalen
- Tetraederverfeinerer für Tetraeder
- Schalenaufdicker für einfache Schalen → Volumenschalen
- STL-Verfeinerer

Er wird im Präprozessormenü über das Icon  Superelemente aufgerufen.

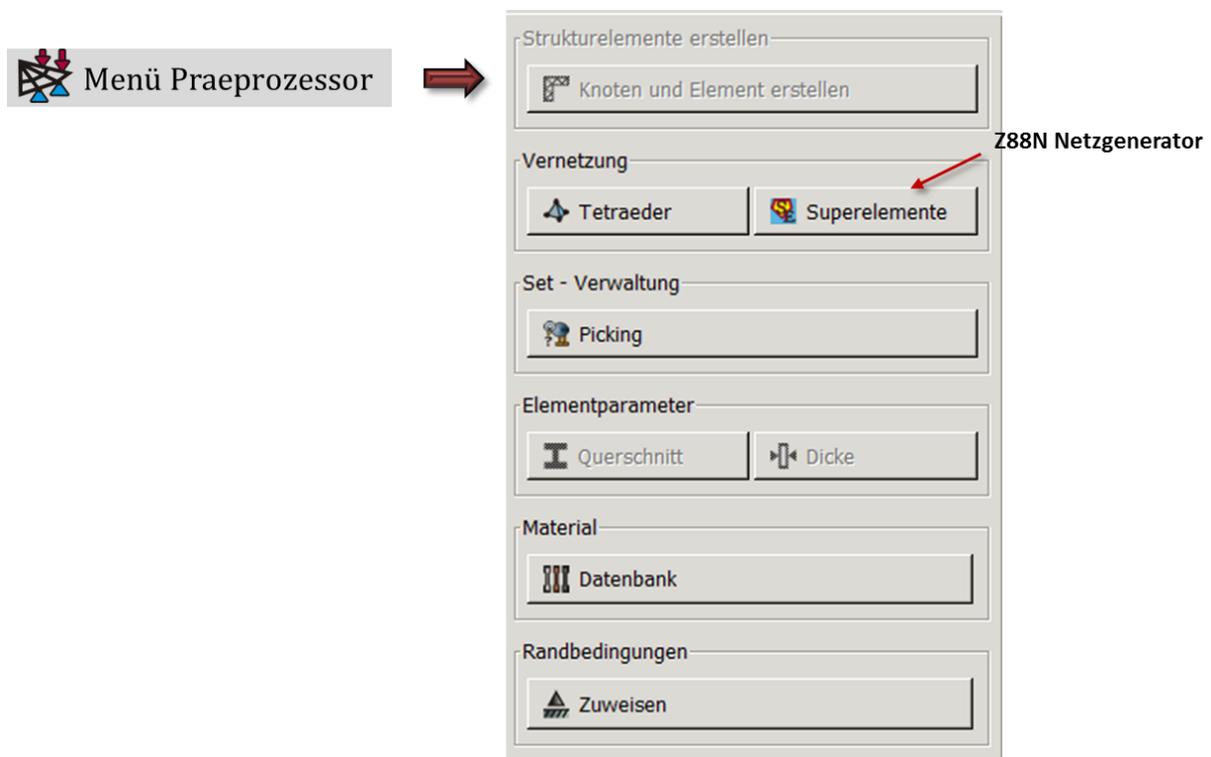


Abbildung 43: Menü "Präprozessor" mit Starticon "Superelemente" des Netzgenerators Z88N

Verwendung von Z88N in Z88Aurora

Der Netzgenerator kann aus Superstrukturen 2-dimensionale und 3-dimensionale Finite Elemente Strukturen erzeugen. Eine Netzgenerierung ist nur für Kontinuums-elemente sinnvoll und zulässig. Tabelle 2 bietet einen Überblick über die möglichen Finite Elemente Strukturen.

Tabelle 2: Übersicht über mögliche Superstrukturen in Z88Aurora®

Superstruktur	Finite Elemente Struktur
Scheibe Nr. 7	Scheibe Nr. 7
Torus Nr. 8	Torus Nr. 8
Scheibe Nr. 11	Scheibe Nr. 7
Torus Nr. 12	Torus Nr. 8
Hexaeder Nr. 10	Hexaeder Nr. 10
Hexaeder Nr. 10	Hexaeder Nr. 1
Hexaeder Nr. 1	Hexaeder Nr. 1
Platte Nr. 20	Platte Nr. 20
Platte Nr. 20	Platte Nr. 19
Volumenschale Nr. 21	Volumenschale Nr. 21

In alle Raumrichtungen kann eine Superelementstruktur gleichmäßig, absteigend oder aufsteigend verfeinert werden. Hierzu müssen zunächst Elementsets angelegt werden, dann die Vernetzerregeln definiert und anschließend vernetzt werden.

Beispielsweise:

⇒ 3 Elementsets anlegen, in  Superelemente wechseln

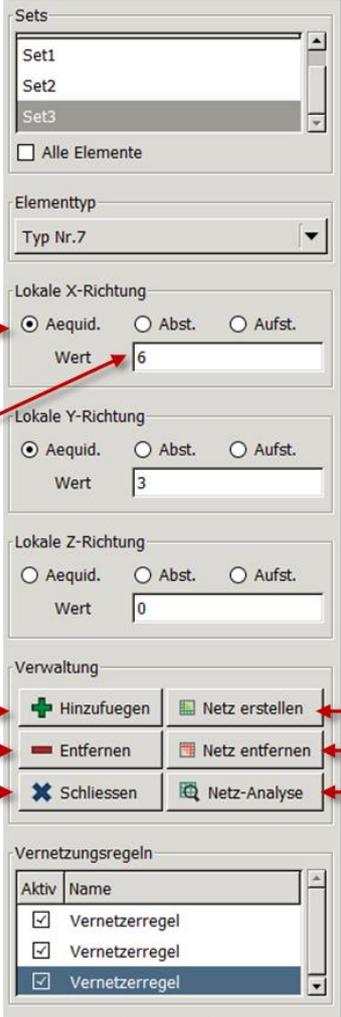
⇒ Elementtyp festlegen

⇒ Lokale X-Richtung: Unterteilung gleichmäßig (Aequid.), absteigend (Abst.) oder aufsteigend (Aufst.) auswählen und Verfeinerungswert eingeben

⇒ Lokale Y-Richtung: Unterteilung gleichmäßig (Aequid.), absteigend (Abst.) oder aufsteigend (Aufst.) auswählen und Verfeinerungswert eingeben

⇒ Lokale Z-Richtung: Unterteilung gleichmäßig (Aequid.), absteigend (Abst.) oder aufsteigend (Aufst.) auswählen und Verfeinerungswert eingeben

- ⇒ auf  Hinzufuegen klicken (die Vernetzerregel wird erstellt)
- Die Daten der Vernetzerregel können jederzeit wieder angesehen werden.
- ⇒ danach entweder  Netz erstellen oder eine weitere Vernetzerregel verfassen. Pro Set kann nur eine Vernetzerregel definiert werden
- ⇒ mit  schliessen das Menü verlassen



Gleichmäßig, absteigend oder aufsteigend unterteilt →

Anzahl der Unterteilungen der Superelemente →

Vernetzerregel wird erstellt → **Netz mit allen aktiven Vernetzerregel**

Vernetzerregel wird entfernt → **Netz wird entfernt**

Menü schliessen → **Netz wird überprüft**

Aktiv	Name
<input checked="" type="checkbox"/>	Vernetzerregel
<input checked="" type="checkbox"/>	Vernetzerregel
<input checked="" type="checkbox"/>	Vernetzerregel

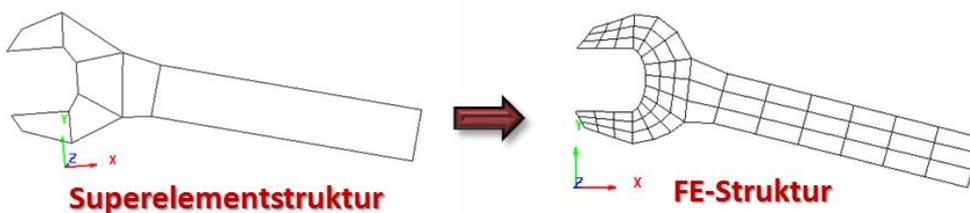


Abbildung 44: Menü "Superelemente" des Netzgenerators Z88N

 **Nach der Netzerstellung werden die Vernetzerregeln gelöscht!**

Tetraederverfeinerer

Mit dieser Funktionalität ist es möglich, bestehende Tetraedernetze zu verfeinern. Mittels Picking kann ein Set mit denjenigen Tetraedern angelegt werden, welche verfeinert werden sollen. Die Unterteilung jedes Elementes erfolgt in 8 Tetraeder.

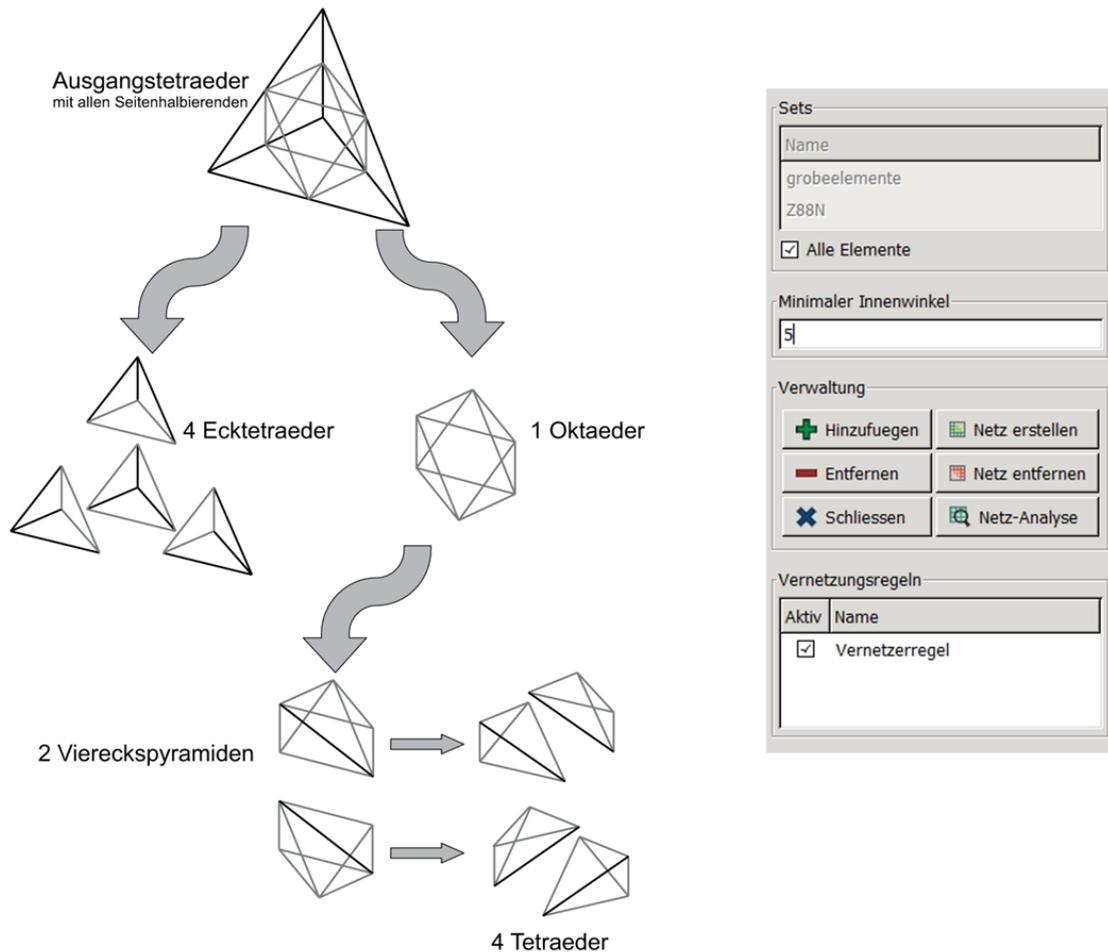


Abbildung 45: Eingabemaske Tetraederverfeinerer (links), Ablauf der Tetraederverfeinerung (rechts)

Die angrenzenden Elemente werden anschließend an die veränderte Knotenanzahl angepasst und ebenfalls zergliedert. Hierbei ist ein minimaler Elementwinkel anzugeben, um einer zu starken Verzerrung vorzubeugen. Statt des idealen Innenwinkels von 60° ist bei einer FE-Vernetzung eine Vorgabe des Winkels zwischen $3-10^\circ$ realistisch.

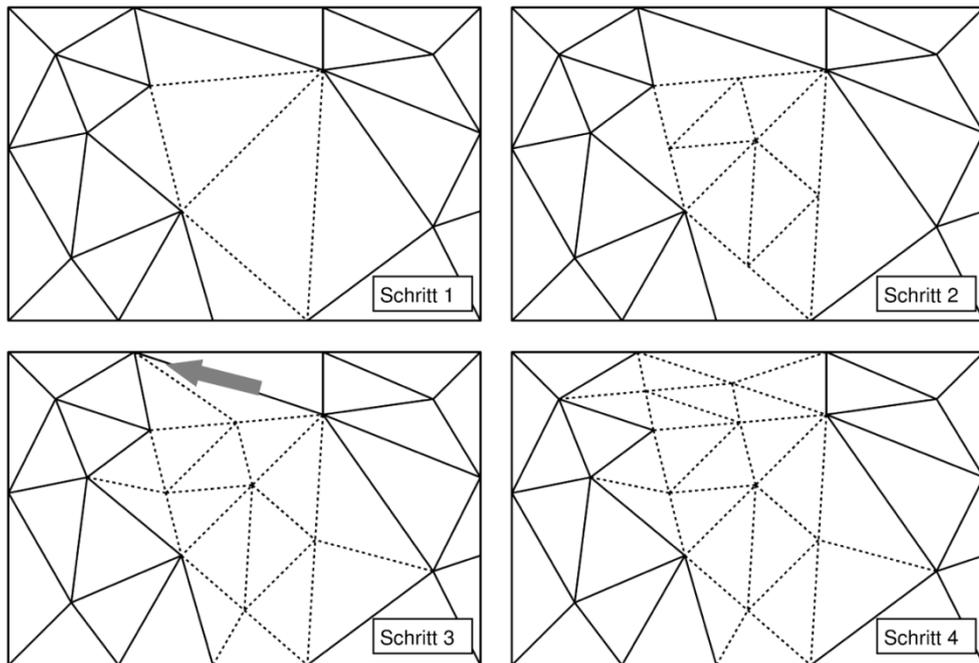


Abbildung 46: Verlauf des Verfeinerungsalgorithmus mit Winkelkriterium

Schalenaufdicker

Mit dieser Funktionalität ist es möglich, bestehende einfache Schalen, die nur Knoten in einer Ebene haben, z. B. aus dem Nastran- oder DXF-Import, aufzudicken und so Volumenschalen (Element Nr.21 und Element Nr.22) zu erhalten.

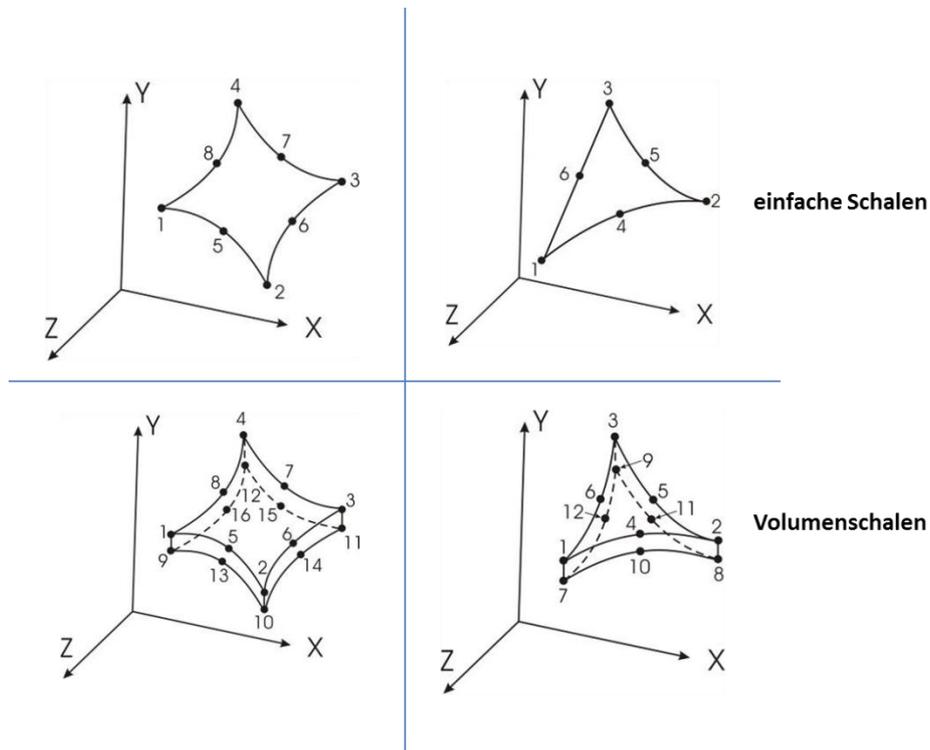


Abbildung 47: Einfache Schalen (oben) und Volumenschalen (unten)

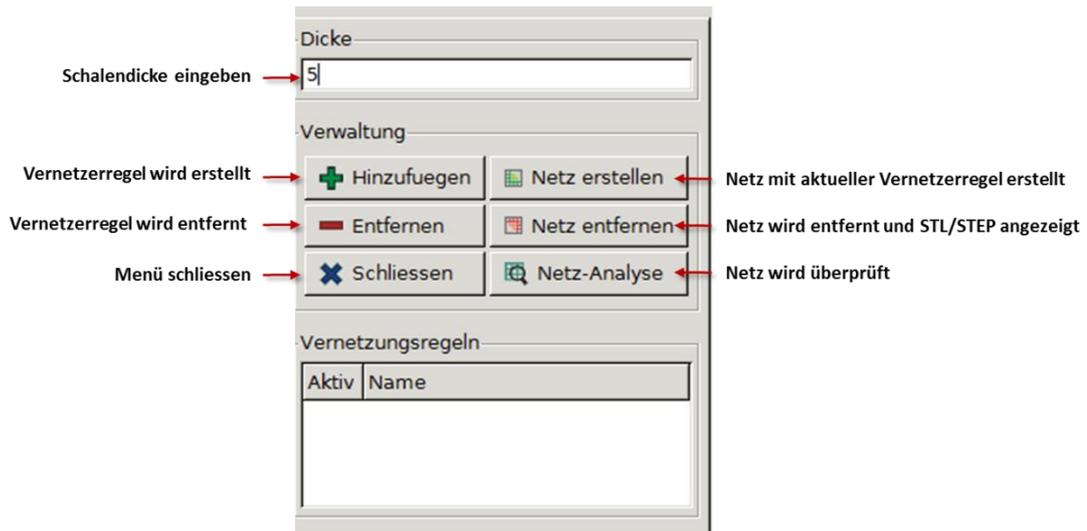


Abbildung 48: Schalenaufdicker in Z88Aurora

Verwendung siehe „ Tetraedernetz erzeugen“.

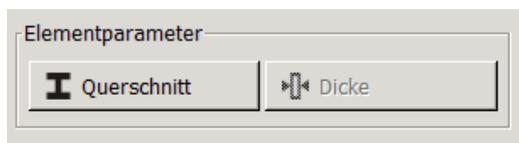
Elementparameter

Elementparameter können für die Elementtypen Platte, Scheibe, Schale, Stab, Balken und Welle zugewiesen werden. Je nach vorhandenem Elementtyp ist das entsprechende Icon wählbar:

: Balken, Stab, Welle

: Platte, Scheibe, Schale

Balken, Stab, Welle



Sind diese vorab durch die FE-Strukturerstellung Elemente erstellt worden, können sie hier editiert werden.

Elementparameter importierter Z88 Dateien (Z88V14, Z88V13, Z88Aurora® V1) müssen hier neu angelegt werden, da diese nicht importiert wurden!

Je nachdem welcher Elementtyp gewählt wurde, können nun entsprechende Geometriedaten vorgegeben werden. Dabei kann für alle Elemente eine Geometrie (alle Elemente) oder

abschnittsweise verschiedene Geometriedaten ⇒ "von/bis" für einzelne Elemente zugewiesen werden.

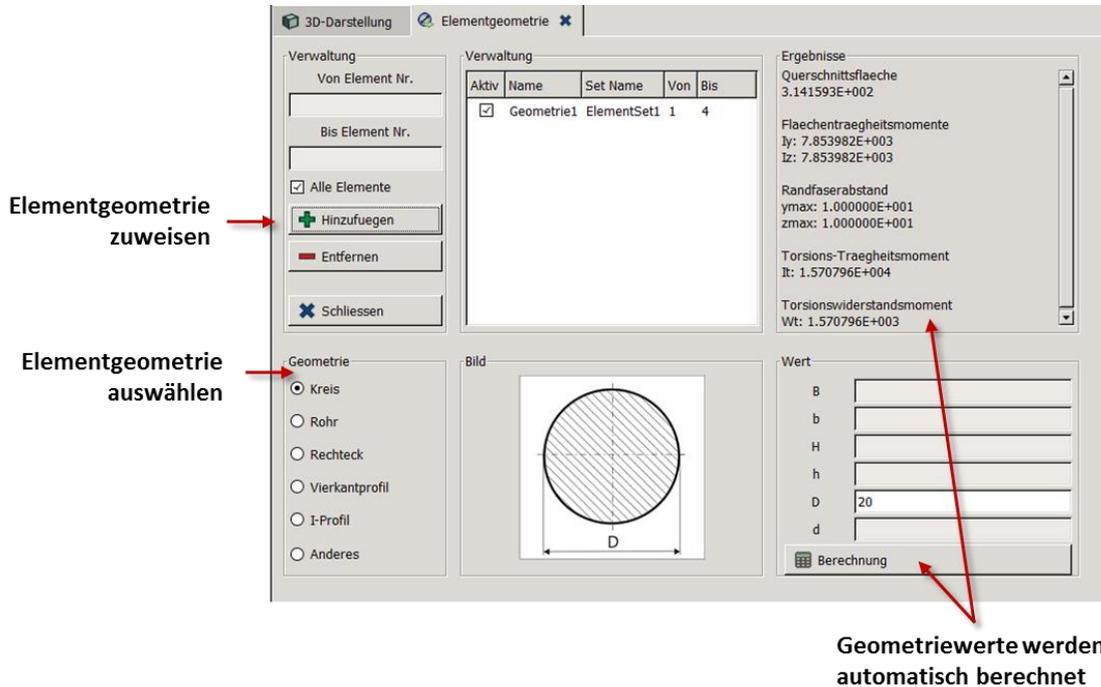


Abbildung 49: Querschnittsvorgabe im Elementparametermenü

Die Elementparameter können per Hand eingegeben werden, zudem besteht die Möglichkeit Elementgeometrien, wie Kreis, Rohr, Rechteck, Vierkantprofil oder I-Profil automatisch berechnen zu lassen.

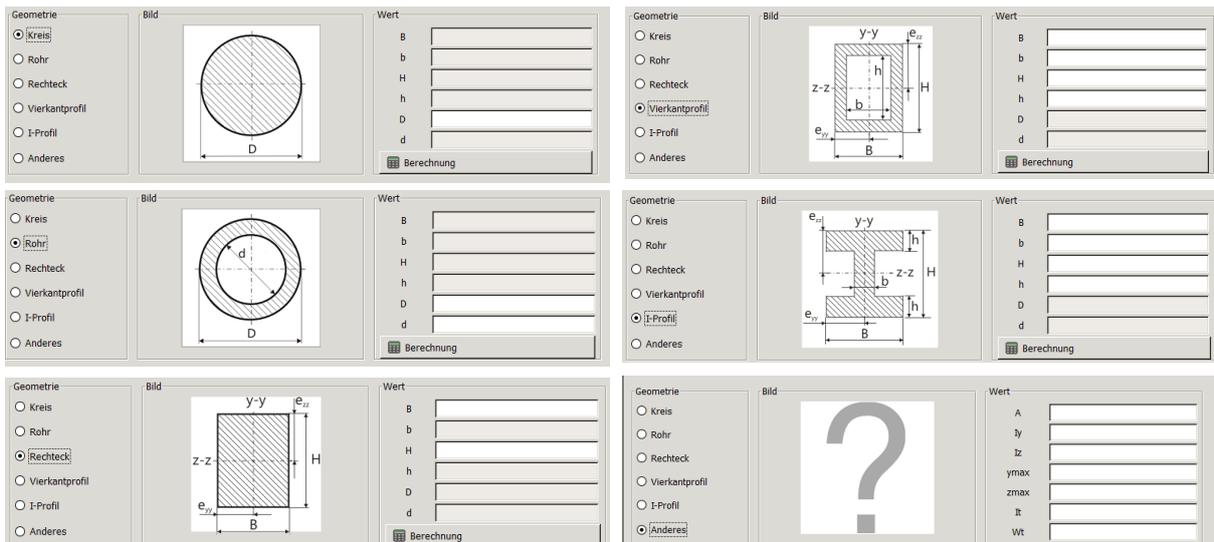


Abbildung 50: Automatisch berechenbare Querschnitte

Bei der Verwendung des Elementtyps 25 ist ein weiteres Menü verfügbar, welches spezielle Einstellungen für die notwendigen Kontrollknoten vorgenommen werden können. Näheres dazu siehe Theoriehandbuch.



Zusatzangaben fuer Element 25

Kontrollknoten-Koordinaten

X-Richtung

Y-Richtung

Z-Richtung

Schubverhaeltnis

1.0

Balkentheorie

Bernoulli

Timoshenko

Dies erfolgt durch:

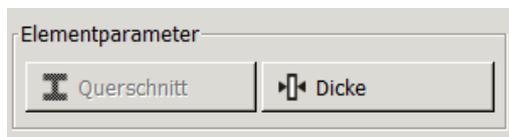
⇒ Elementgeometrie auswählen

⇒ Eingabeparameter eingeben (Dabei werden je nach gewähltem Elementtyp kontextsensitiv nur die jeweils benötigten Daten zur Berechnung verwendet.)

⇒  Berechnung

Mit  Hinzufügen werden die Elementparameter den Strukturelementen zugewiesen.

 Platte, Scheibe, Schale



Dabei kann für alle Elemente eine Geometrie (alle Elemente) oder abschnittsweise verschiedene Geometriedaten ⇒ "von/bis" für einzelne Elemente zugewiesen werden.

⇒  Hinzufügen

⇒ Durch Doppelklick Dicke anpassen

⇒  schliessen

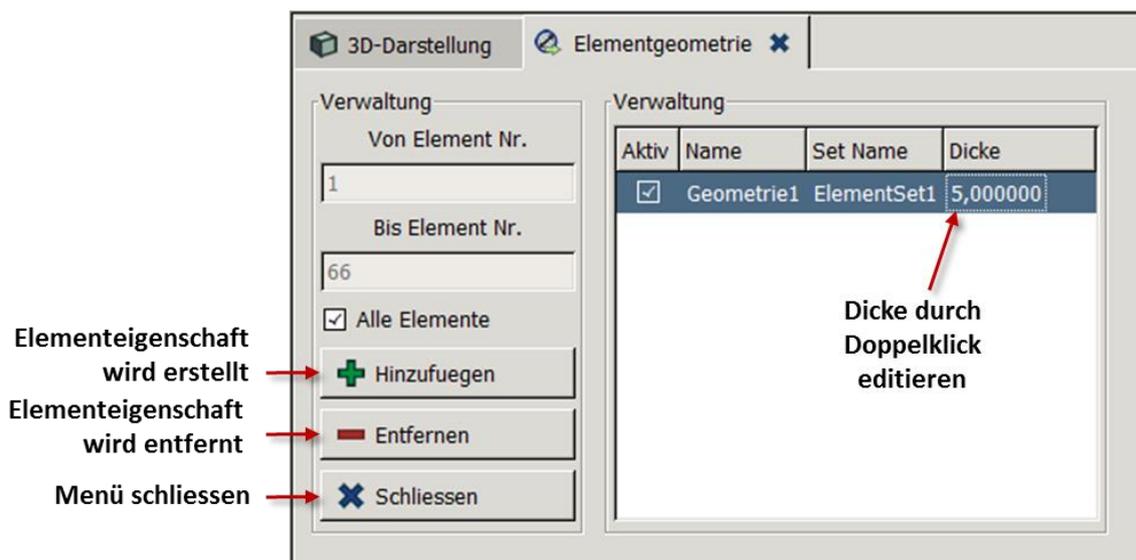


Abbildung 51: Dickenvorgabe für Scheiben, Platten und Schalen



Baugruppenhandling / Kontaktanalyse

Um eine Kontaktanalyse in Z88Aurora® durchzuführen, muss ein neues Projekt erstellt werden. In diesem Projekt müssen Sie das Kontaktmodul aktivieren (Haken bei „Kontakt aktivieren“ setzen) und danach mehrere Bauteile importieren. Diese Bauteile müssen im Z88-Strukturformat (also z88i1.txt oder z88structure.txt) vorliegen, also bereits im Z88-Format vernetzt sein. Achten Sie darauf, dass Sie keine Elemente mischen, also der Elementtyp über alle Bauteile hinweg identisch ist. Kompatibel mit der Kontaktanalyse sind folgende Elementtypen: Tetraeder linear (Nr. 17) und quadratisch (Nr. 16) sowie Hexaeder linear (Nr. 1) und quadratisch (Nr. 10).

Falls Ihre Bauteile noch nicht vernetzt sind und beispielsweise als *.stp oder *.stl vorliegen, müssen diese zunächst in separaten Z88Aurora®-Projekten importiert und vernetzt werden. Anschließend finden Sie die Datei z88structure.txt im jeweiligen Projektverzeichnis. Soll also eine Baugruppe mit drei Bauteilen simuliert werden, müssen diese Bauteile zunächst in separaten Z88Aurora®-Projekten vernetzt werden, sofern sie nicht bereits im Z88-Strukturformat (also z88i1.txt oder z88structure.txt) vorliegen. Weiterhin müssen alle Bauteile, die in der Kontaktanalyse verwendet werden sollen, mit dem gleichen Elementtyp vernetzt werden. Dies gilt sowohl für den Elementtyp (Hexaeder oder Tetraeder) wie auch für den Elementansatz (linear oder quadratisch).

Ein ausführliches Vorgehen zum Modellaufbau einer Kontaktanalyse zeigt Abbildung 52. Grundsätzlich ist zu beachten, dass der direkte Import von Baugruppen aus einem CAD-System in Z88Aurora® nicht möglich ist.

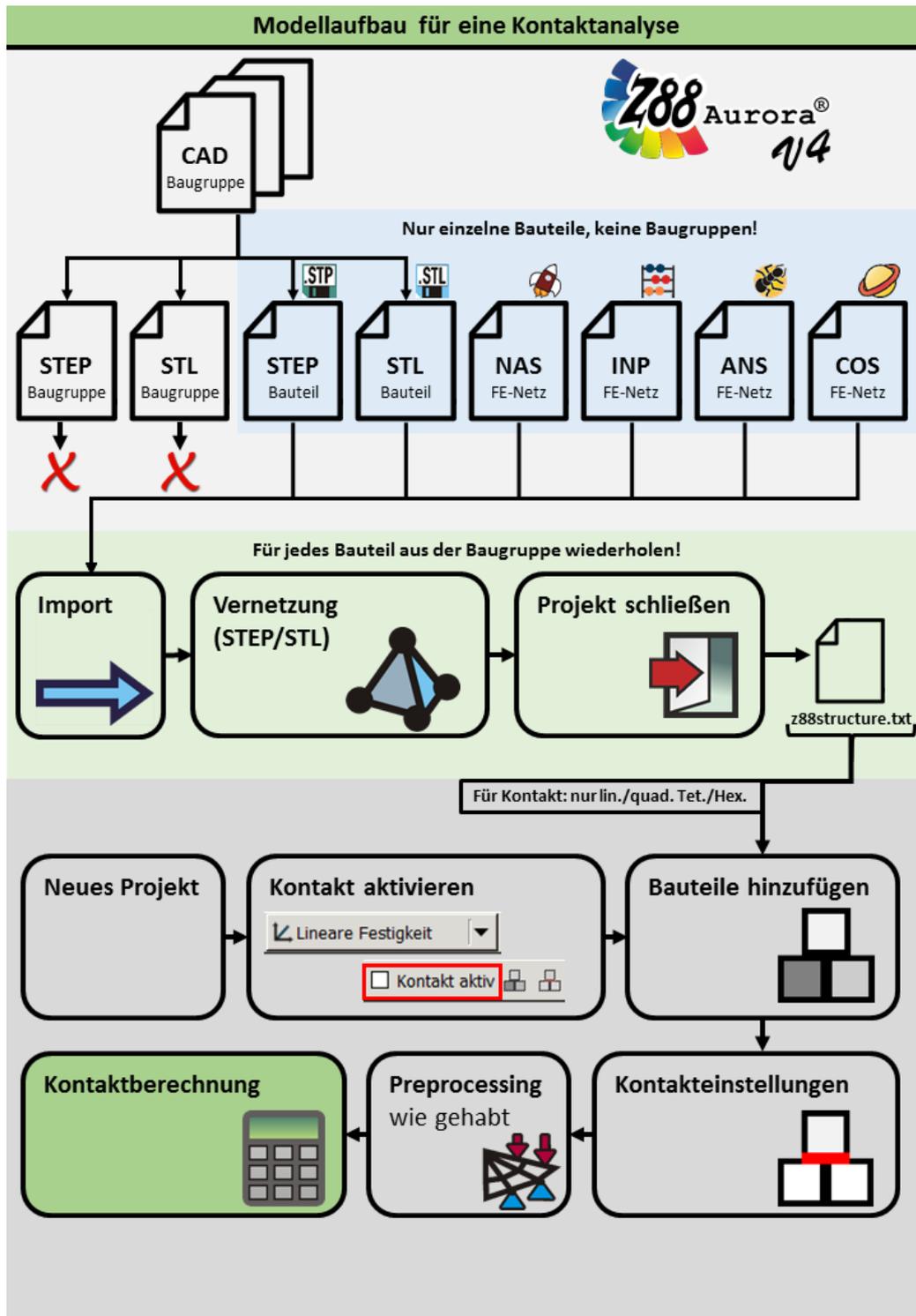


Abbildung 52: Modellaufbau für eine Kontaktanalyse

Liegen alle Bauteile einer Baugruppe im Z88-Strukturformat (also z88i1.txt oder z88structure.txt) vor, muss erneut ein neues Z88-Projekt erstellt werden. Anschließend wird der Haken bei „Kontakt aktiv“ gesetzt: . Dies ist nur möglich, wenn das Modul „lineare Festigkeit“ gewählt wurde, denn nur für dieses Modul sind Kontaktsimulationen vorgesehen. Wurde Kontakt aktiviert, wird anschließend die Bauteilverwaltung geöffnet (Button rechts neben „Kontakt aktiv“). Über dieses Modul, das in Abbildung 53 zu sehen ist, können Bauteile, die im Format z88structure.txt bzw. z88i1.txt vorliegen, importiert werden. Es können beliebig viele Bauteile hinzugefügt werden. Gleichzeitig können die Bauteile in diesem Menü transformiert werden. Folgende Transformationen sind möglich:

- Verschieben: Bauteil kann in x, y und z-Richtung verschoben werden.
- Rotation: Bauteil kann um die vorgegebenen Achsen x,y und z oder auch um eine benutzerdefinierte Achse rotiert werden.
- Skalieren: Bauteil kann in der Größe skaliert, also verkleinert oder vergrößert werden.

Durch Klick auf „Anwenden“ wird die jeweilige Transformation durchgeführt.

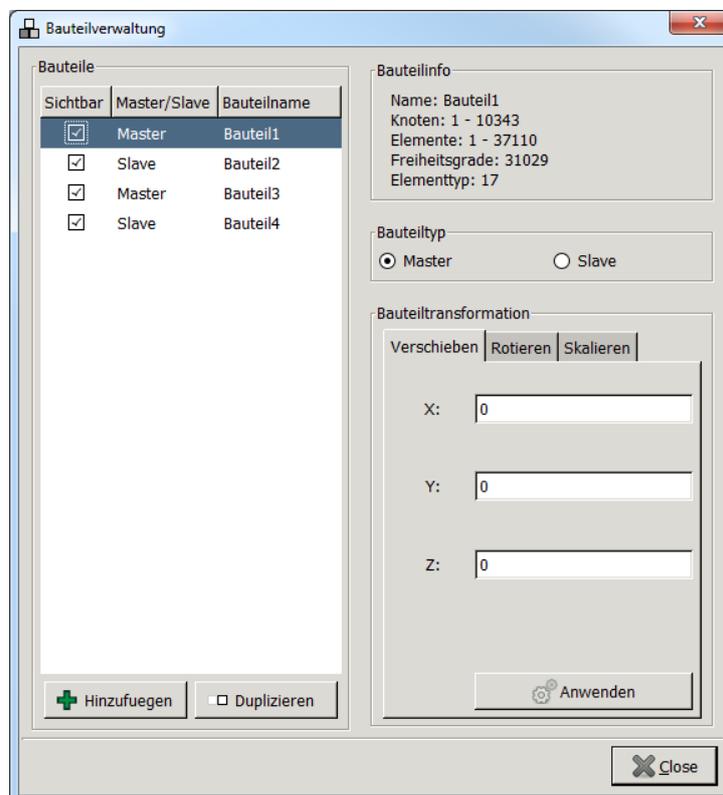


Abbildung 53: Bauteilverwaltung des Kontaktmoduls

Jedes Bauteil für sich kann dabei mit unterschiedlichen Transformationen bearbeitet werden. So ist ein Zusammenbauen einzelner Bauteile zu einer Baugruppe möglich. Mit Hilfe der Bauteilverwaltung können Sie Ihre importierten Bauteile auch duplizieren.

Im Menü Bauteilverwaltung muss der Nutzer weiterhin jedem Bauteil einen bestimmten Typ zuordnen, nämlich Master oder Slave. Dabei handelt es sich um Begriffe aus der Kontaktsimulation. Nur zwischen einem Master- und einem Slavebauteil kann ein Kontakt eingebaut werden. Zwischen zwei Master- bzw. zwischen zwei Slavebauteilen wird kein Kontakt gesucht bzw. etabliert. Achten Sie also auf die korrekte Zuordnung der einzelnen Bauteile.

Um eine im CAD erstellte Baugruppe möglichst einfach in Z88Aurora® zu berechnen, bietet sich folgendes Vorgehen an:

- Konstruieren Sie Ihre Baugruppe im CAD.
- Exportieren Sie die Baugruppe nach Einzelteilen getrennt in STL- oder STEP-Dateien, jeweils bezogen auf das Koordinatensystem der Baugruppe.
- Importieren Sie jedes Einzelteil in ein neues Z88Aurora®-Projekt und vernetzen Sie dieses Bauteil.
- Schließen Sie das Z88Aurora®-Projekt jeweils nach dem Vernetzen.
- Sind alle Einzelteile vernetzt, legen Sie ein neues Projekt an, aktivieren den Kontaktmodus und importieren alle vernetzten Einzelteile im Z88-Format.
- Nun sollte Ihre Baugruppe bereits korrekt skaliert und positioniert sein, Sie müssen nur noch die Bauteiltypen Master und Slave zuweisen.

Abschließend sind die „Kontakteinstellungen“ (Button rechts neben „Bauteilverwaltung“) zu treffen, das in Abbildung 54 zu sehen ist.

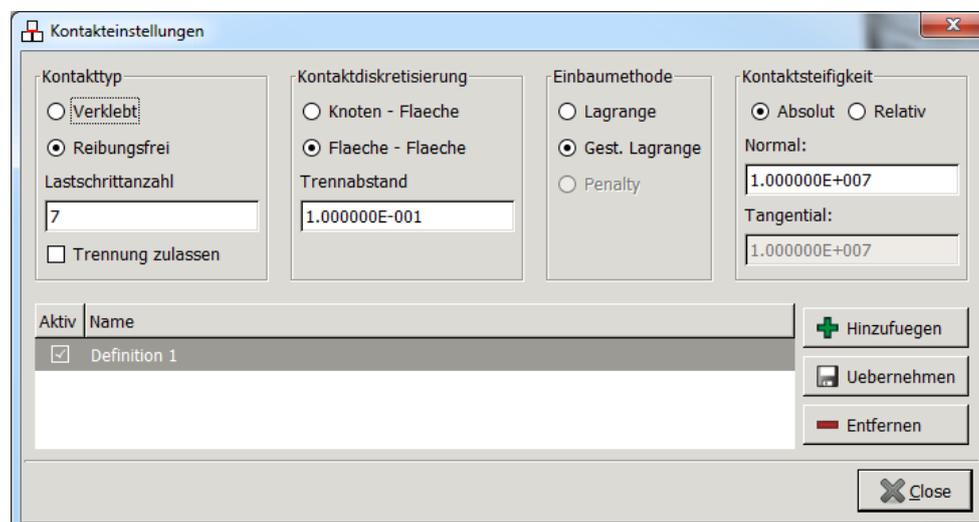


Abbildung 54: Kontakteinstellungen

Hier können diverse Einstellungen zu Kontakttyp (verklebt oder reibungsfrei), Kontaktdiskretisierung (Knoten-Fläche, Fläche-Fläche), Einbaumethode (Lagrange, Gestörtes Lagrange oder Penalty) sowie zur Kontaktsteifigkeit getroffen werden. Die theoretischen Hintergründe und Unterschiede zwischen den einzelnen Parametern können im Theoriehandbuch nachgelesen werden.

Mittels Klicken auf „Hinzufügen“ werden die getroffenen Einstellungen als Kontaktdefinition übernommen. Falls eine Änderung in einer bestehenden Definition vorgenommen werden muss, kann der Wert geändert und durch Klicken auf „Übernehmen“ in eine existierende Definition übernommen werden. Es kann stets nur eine Definition aktiv sein, die dann für alle Kontakte in der zu simulierenden Baugruppe gültig ist.

Achtung! Die Kontaktsuche wird je Berechnung nur einmal und nur im eingestellten Kontaktabstand durchgeführt. Wird zu Beginn der Berechnung kein Kontakt gefunden, wird dieser auch nicht je Lastschritt nachberechnet – ein sogenannter linearer Kontakt ohne Steifigkeitsupdate. Somit kann es zu statischer Unterbestimmtheit oder Durchdringung von Bauteilen kommen, wenn der Kontaktabstand oder der Bauteiltyp (Master/Slave) falsch definiert wurde!

Material

Um Ihre statischen Festigkeitsanalysen, Eigenschwingungsanalysen und thermische Berechnungen durchführen zu können, bietet die vorliegende Version von Z88Aurora® eine Materialdatenbank mit über 50 gängigen Konstruktionswerkstoffen.

Z88Aurora® Materialdatenbank

Die Materialdatenbank von Z88Aurora® wird im Präprozessormenü () über den Button  aufgerufen (bzw. über *Praeprozessor* → *Material* → *Datenbank*). Um Ihnen die Arbeit mit Z88Aurora® zu erleichtern, wurden bereits mehrere Materialien, wie diverse Stahl- und Aluminiumsorten, vordefiniert.

Wenn Sie links einen Werkstoff aus der Liste anwählen, können die Eigenschaften über „Details“ betrachtet werden (Abbildung 55). Wenn ein Material bezüglich der Eigenschaften angepasst werden soll, wird eine Kopie des Materials angelegt, da sonst die interne Datenbank nicht konsistent gehalten werden kann. Dabei werden die Fließkurven von nichtlinearen **nicht** kopiert. Bestehende Materialien aus älteren Projekten können importiert werden.

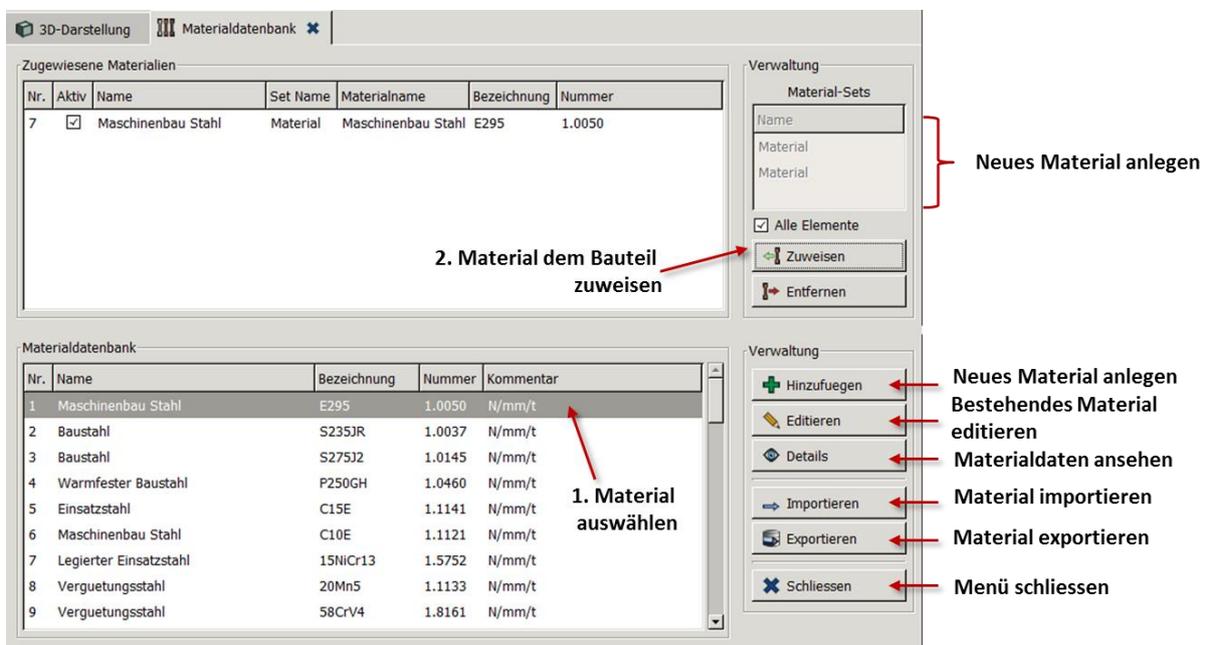


Abbildung 55: Z88Aurora® Materialdatenbank

Sollte der benötigte Werkstoff nicht enthalten sein, so haben Sie die Möglichkeit, neue Materialien in der Datenbank zu definieren. Hierzu klicken Sie im rechten Menü auf  und es öffnet sich das Kontextmenü "Materialparameter" (Abbildung 56). In

der ersten Eingabegruppe können Sie die Werkstoffsorte mittels "Name", "Bezeichnung" und "Nummer" definieren. In der zweiten Eingabegruppe werden die Materialeigenschaften, wie E-Modul, Querkontraktionszahl und Dichte ( **Einheit Dichte: t/mm³**) für die lineare Analyse eingegeben.

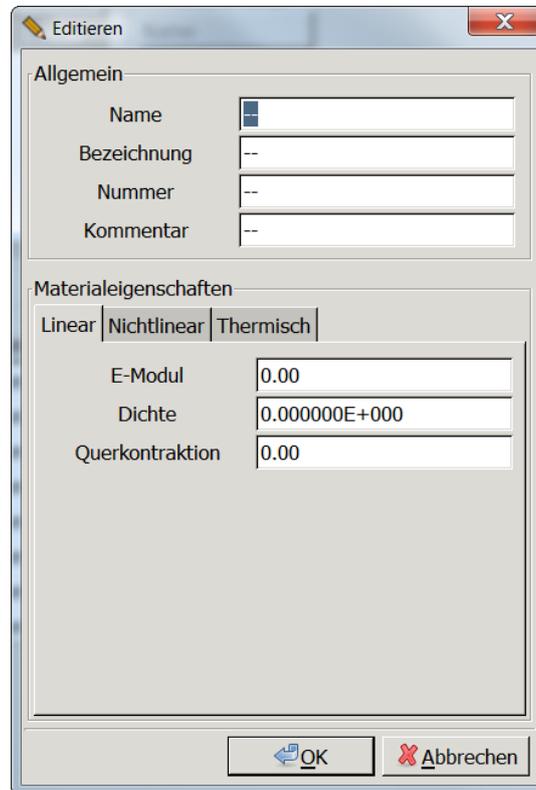


Abbildung 56: Kontextmenü Materialparameter I

Im Falle von unlegiertem Baustahl (nach DIN EN 10025-2) würde sich dies z. B. wie folgt gestalten:

- Name: Baustahl (Trivialname)
- Bezeichnung: S235JR
- Nummer: 1.0038
- Kommentar: eigene Kommentare z. B. Lieferant, Einheitensystem etc.
- E-Modul: 210000 N/mm²
- Dichte: 7.85 E-9 t/mm³
- Querkontraktionszahl: 0.29

Für thermische Analysen sind die Eingaben von Wärmeleitfähigkeit und Wärmeausdehnung obligatorisch (Registerkarte „Thermisch“, vgl. Abbildung unten).

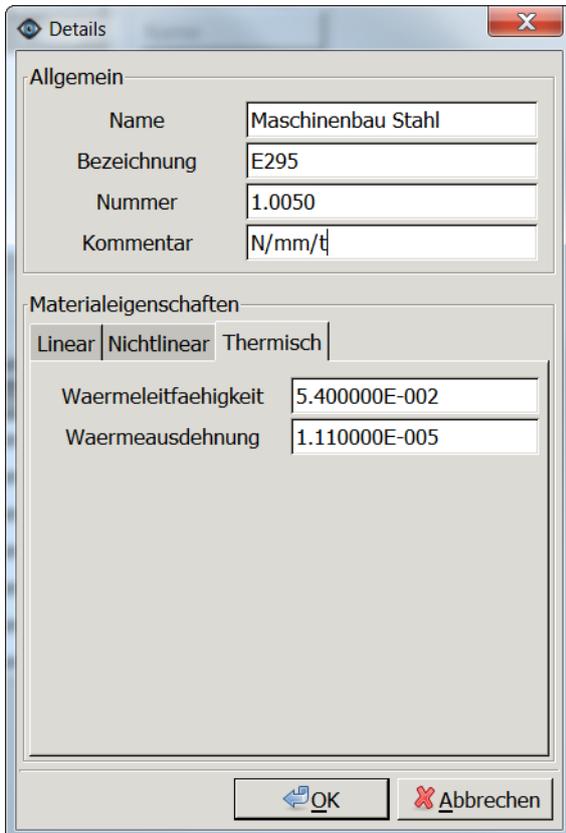


Abbildung 57: Eingaben für thermische Analysen

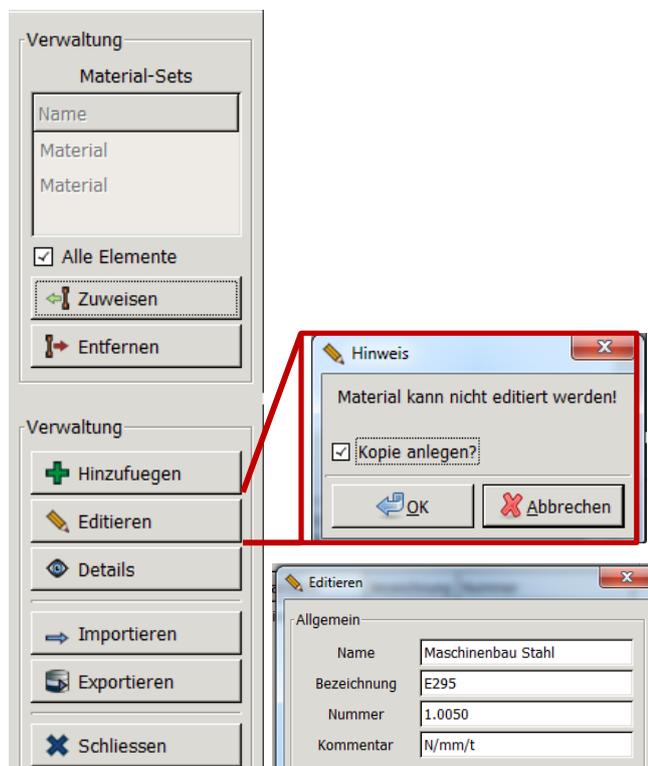


Abbildung 58: Kontextmenü Materialparameter II

Es müssen jeweils nur die für die Analyseart erforderlichen Kennwerte eingegeben werden.

 **Bitte beachten Sie, dass ein Punkt als Dezimaltrennzeichen eingegeben werden muss!**

Mit der Schaltfläche  können bereits eingegebene Werkstoffe bearbeitet werden. Hierbei wird eine Kopie des bestehenden Werkstoffs angelegt, um die Datenbank konsistent zu halten.

Mit  wird das markierte Material dem Bauteil hinzugefügt und mit  entfernt. Wenn Sie die Materialzuweisung auf den gesamten Körper anwenden wollen, dann lassen Sie die Haken bei "alle Elemente" gesetzt. Andernfalls können Sie auch einzelnen Elementsets verschiedene Materialien zuweisen, beispielsweise um ein Bimetall abzubilden.

Durch  wird die Datenbank gespeichert und der Reiter geschlossen.

Materialmodelle

Bei der Auswahl von  können verschiedene Materialmodelle gewählt werden, um elastisches oder plastisches Materialverhalten zu berücksichtigen.

Tabelle 3: Übersicht über die Materialmodelle

	Materialverhalten	E	ν	Fließkurve	weitere Parameter
Hooke	Linear-elastisch	✓	✓	✗	✗
Von Mises	Elastisch-plastisch	✓	✓	✓	✗
Wehmann	Elastisch-plastisch, andere ν im plastischen Bereich	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> • Fließrichtungsparameter w oder • Verlauf Fließrichtungsparameter $f(w)$

Die Tabelle „zugewiesenen Materialien“ im Startmenü der Materialdatenbank enthält daher im Modul *Nichtlineare Festigkeit* eine zusätzliche Spalte. Abbildung 59 zeigt diese Spalte, in der das gewünschte Materialgesetz ausgewählt werden kann. Diese Auswahl muss folgend mit der Taste „ENTER“ bestätigt werden damit diese übernommen wird. Im Falle des Hooke’schen Gesetzes liegt linear-elastisches Materialverhalten vor, es werden allein geometrische Nichtlinearitäten berücksichtigt. Hinsichtlich der Materialparameter sind dann nur E-Modul und Querkontraktionszahl nötig. Diese beiden Parameter werden unter der Registerkarte *Linear* angegeben (vgl. Abbildung 56).

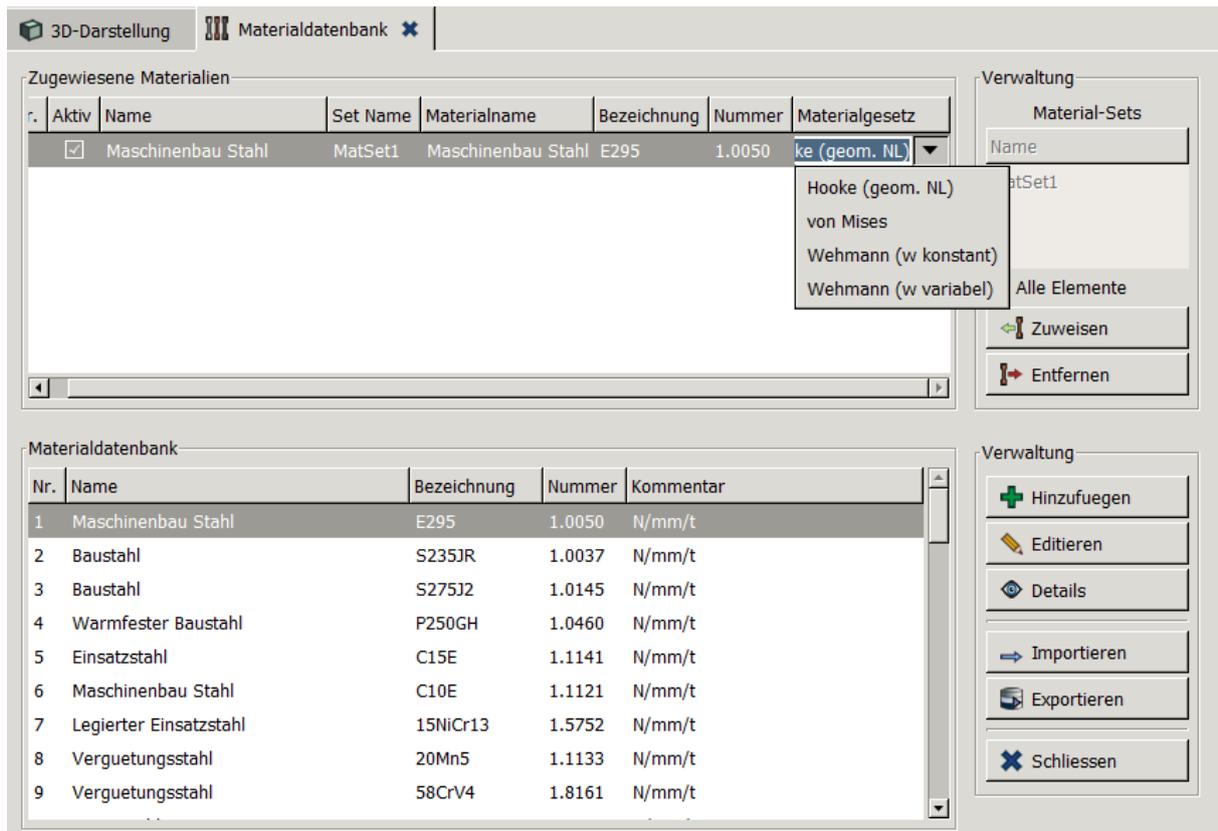
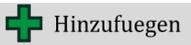


Abbildung 59: Auswahl des Materialgesetzes für nichtlineare Analysen

Bei Wahl eines der anderen Gesetze liegt, nach dem Überschreiten einer Grenze, plastisches Materialverhalten vor und zusätzliche Werkstoffdaten müssen angegeben werden. In diesen Fällen werden keine geometrischen Nichtlinearitäten berücksichtigt. Die für die plastischen Materialmodelle erforderlichen, zusätzlichen Parameter sind unter der Registerkarte *Nichtlinear* anzugeben.

Abbildung 60 zeigt, welche Parameter beim Gesetz „von Mises“ erforderlich sind. Einzugeben ist die Fließkurve, die durch Wertepaare aus plastischer Dehnung und Fließspannung definiert wird. Durch Klicken des Buttons  lässt sich ein neues Wertepaar definieren, die Werte können stets durch Doppelklick angewählt und editiert werden. Mit  wird das markierte Wertepaar gelöscht. Ebenfalls ist das Importieren einer Textdatei mit allen Wertepaaren möglich.

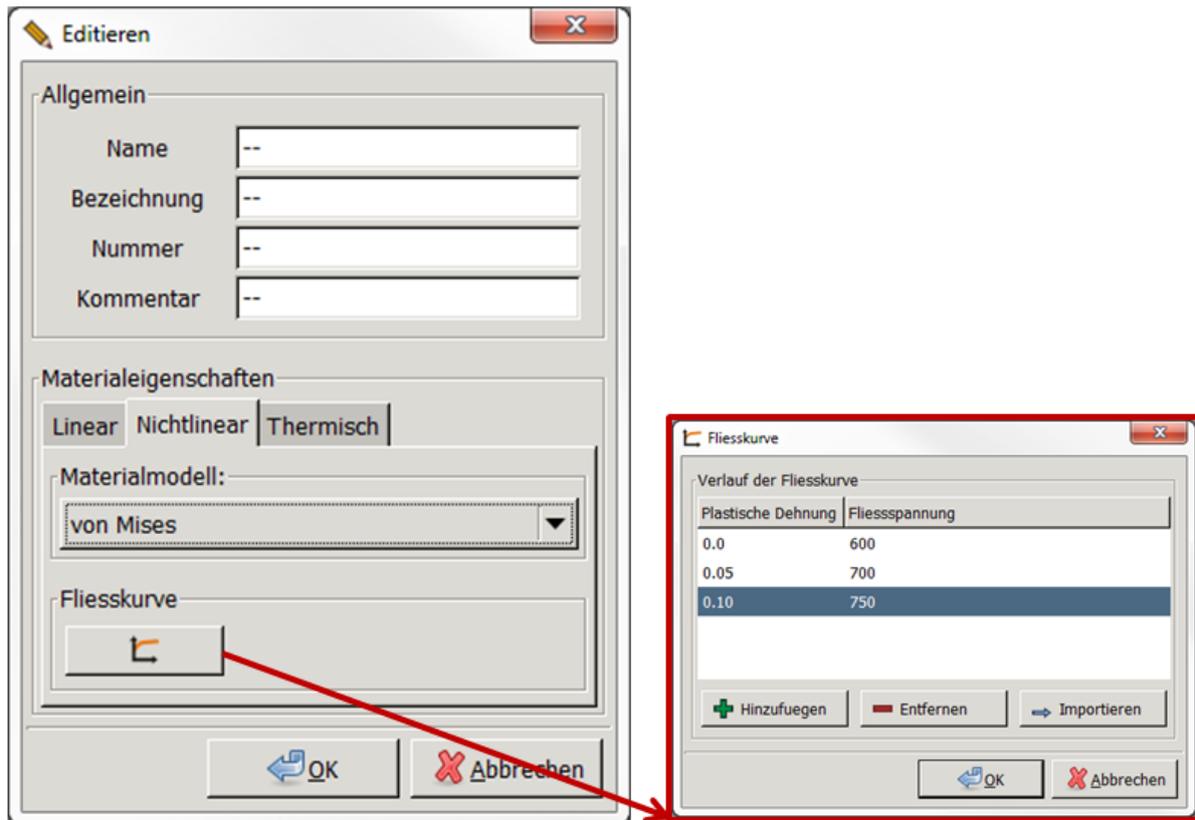


Abbildung 60: Eingabe der Materialdaten für das Materialgesetz „von Mises“

Abbildung 61 zeigt den Aufbau einer Beispieldatei. Nach deren Import ergeben sich die Zahlenwerte wie in Abbildung 60 dargestellt. Wichtig ist, dass die erste Zeile der Datei die Anzahl der folgenden Wertepaare enthält.

```

3
0.0 600.0
0.05 700.0
0.10 750.0
    
```

Abbildung 61: Aufbau einer txt-Datei zum Import als FlieBkurve

Die Einheit bei der plastischen Dehnung ist stets 1 (dimensionslos), d. h. 0.05 entspricht 5 % plastischer Dehnung. Die FlieBkurve kann mit den beiden nachstehenden Gleichungen aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm ($\sigma - \varepsilon$ -Diagramm) bestimmt werden.

$$k_f = \sigma$$

$$\varepsilon_{pl} = \varepsilon - \varepsilon_{el} = \varepsilon - \frac{\sigma}{E}$$

Dabei ist k_f die FlieBgrenze und ε die Gesamtdehnung. Abbildung 62 zeigt ein beispielhaftes Spannungs-Dehnungs-Diagramm und die zugehörige FlieBkurve.

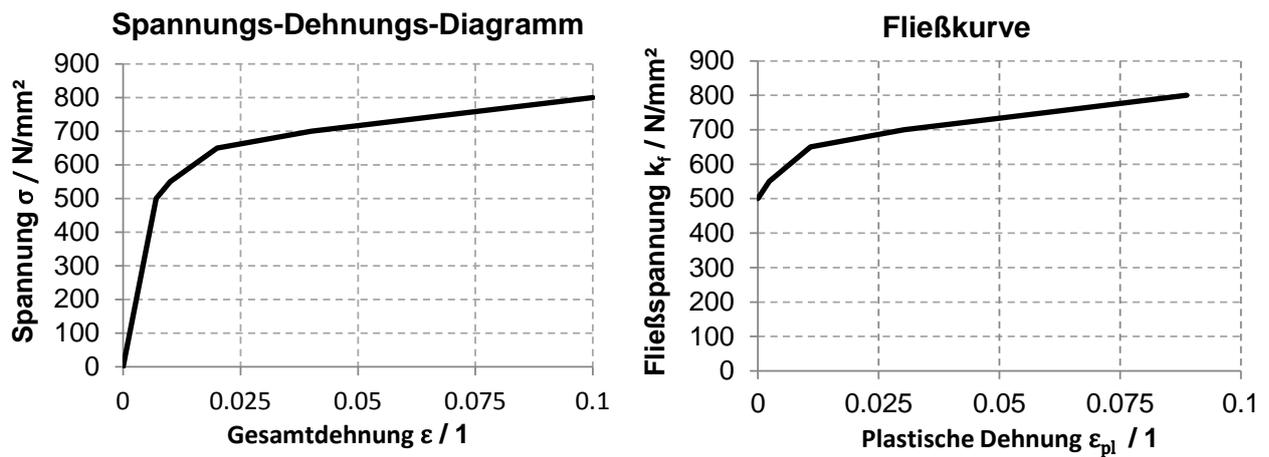


Abbildung 62: Spannungs-Dehnungs-Diagramm und zugehörige Fließkurve

Im Falle des Wehmann-Modells muss die Auswahlbox wie in Abbildung 63 links auf „Wehmann-Modell“ umgeschaltet werden. Das Modell beschreibt eine Art der Plastizität mit parameterdefinierter Fließrichtung. Dieses Modell erlaubt, mit Hilfe eines zusätzlichen Materialparameters die Querkontraktion im plastischen Bereich entkoppelt einzustellen. Wird z. B. bei einem Material beobachtet, dass das von Mises-Gesetz die Querkontraktion nicht korrekt beschreibt, kann mit Hilfe des Wehmann-Modells eine verbesserte Beschreibung erreicht werden. Beim Wehmann-Modell muss wie bei von Mises die Fließkurve angegeben werden.

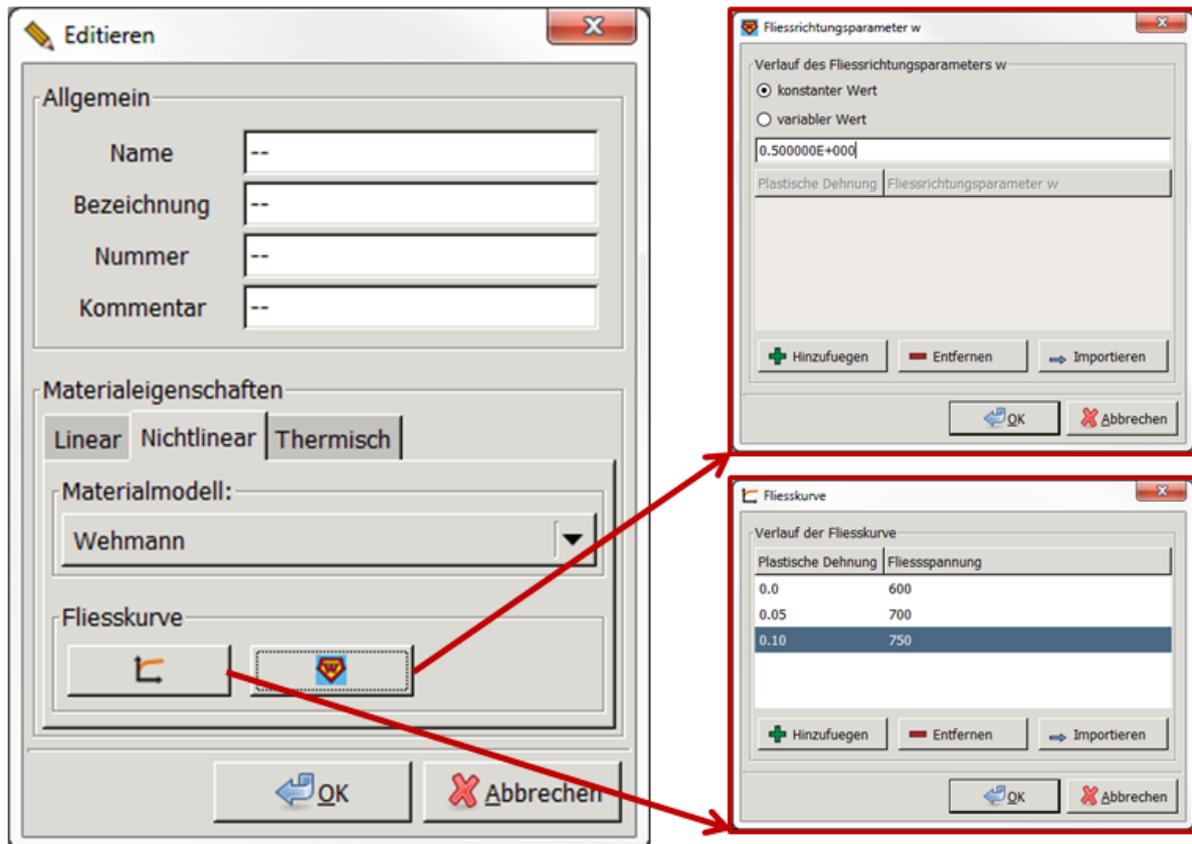


Abbildung 63: Eingabe der Materialdaten für das Materialgesetz „Wehmann-Modell“

Zusätzlich ist der Fließrichtungparameter w anzugeben, der Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann (vgl. Abbildung 63 rechts). Der Parameter kann im Zugversuch bestimmt werden, indem zusätzlich die Querkontraktion gemessen wird. Bei Verwendung einer Rundprobe mit dem Durchmesser D_0 , der Querschnittsfläche A_0 und der Länge L ergibt sich nachstehende Bestimmungsgleichung.

$$w = -2 \frac{\frac{\Delta D}{D_0} + \frac{\nu F}{E A_0}}{\frac{\Delta l}{L} - \frac{F}{E A_0}}$$

Darin sind ΔD und Δl die Änderung des Durchmessers und die Änderung der Länge. Zu beachten ist, dass $\Delta D = D - D_0 < 0$ und $\Delta l = l - L > 0$ gilt. Mit E und ν sind E-Modul und (elastische) Querkontraktionszahl bezeichnet. F ist die Kraft im Zugversuch. Weiterführende Informationen zum Wehmann-Modell finden sich in [Wehm14].

Für den Fall, dass der Parameter w nach der obigen Gleichung für Zugversuchsdaten nicht konstant ist, existiert das modifizierte Wehmann-Modell. Nachdem auf $f(w)$ umgeschaltet ist, können die zusätzlichen Materialparameter eingegeben werden (vgl. Abbildung 64).

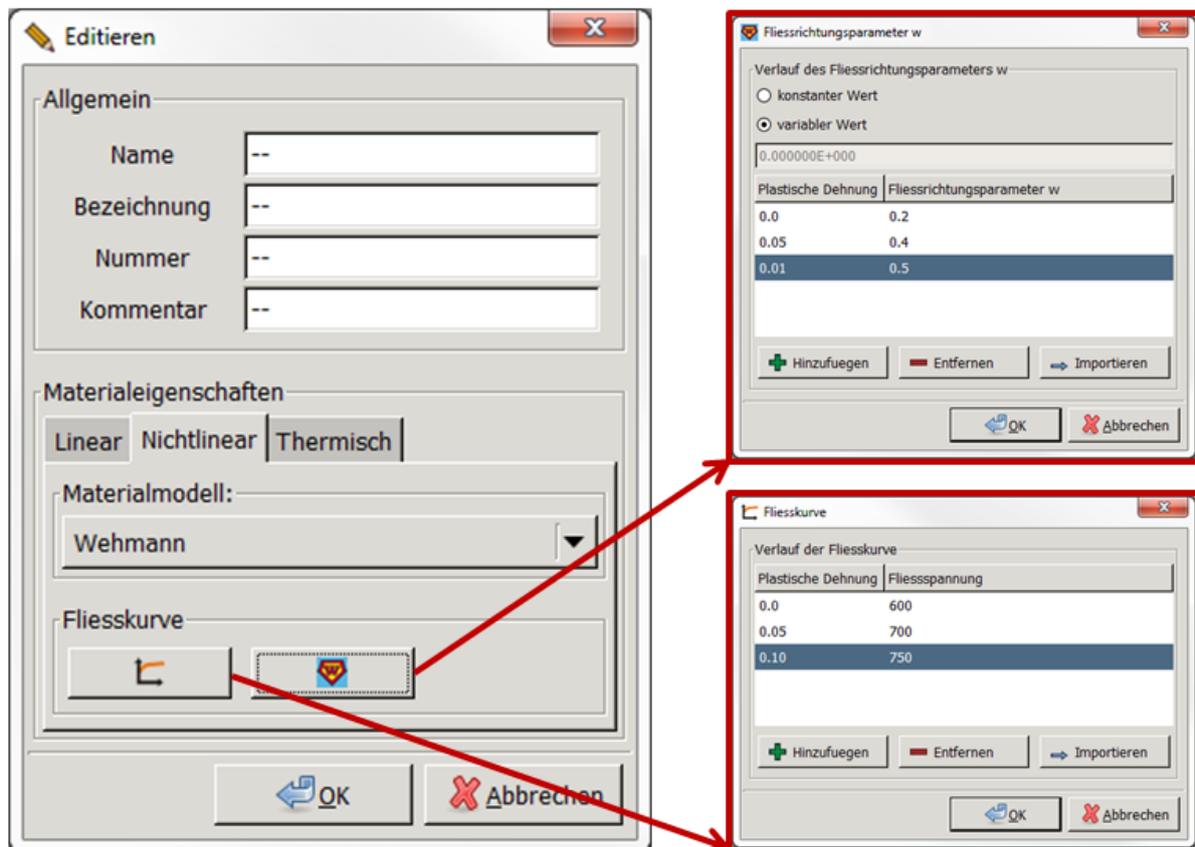


Abbildung 64: Eingabe der Materialdaten für das Materialgesetz „modifiziertes Wehmann-Modell“

Die Eingabe des Verlaufs des w -Parameters erfolgt wie bei der Eingabe der Fließkurve (vgl. Abbildung 64 rechts). Auch hier kann eine Datei mit den Wertepaaren importiert werden. Die Datei hat den gleich Aufbau wie bei der Fließkurve (vgl. Abbildung 61), nur muss statt der Fließspannung jeweils der Parameter w eingetragen werden. Der Parameter wird dabei gemäß nachstehender Gleichung aus Zugversuchsdaten bestimmt.

$$w = -2 \frac{\partial \varepsilon_{pl}^q}{\partial \varepsilon_{pl}}$$

Mit ε_{pl}^q ist die plastische Querdehnung bezeichnet. Es gilt:

$$\varepsilon_{pl}^q = \varepsilon^q - \varepsilon_{el}^q = \frac{\Delta D}{D_0} + \nu \varepsilon_{el} = \frac{\Delta D}{D_0} + \nu \frac{\sigma}{E}$$

Aus dem Zugversuch ist also der Verlauf der plastischen Querdehnung über der plastischen Längsdehnung zu bestimmen. Die Steigung dieser Kurve entspricht dem w -Parameter. Auch hier gilt $0 \leq w \leq 1$. Für weitergehende Informationen zu den theoretischen Hintergründen sei auf [Wehm14] verwiesen.

Randbedingungen aufgeben

Z88Aurora® bietet die Möglichkeit, alle Randbedingungen innerhalb des Präprozessors zu definieren. Vorab müssen im  Picking Menü Sets definiert werden (für weitere Hinweise konsultieren Sie bitte das Kapitel „Picking“).

 Knotenwahl	 Flächenwahl
 alle mechanische und thermischen Randbedingungen	 Druck für Tetraeder, Hexader, Volumenschalen

Abbildung 65: Pickingoptionen für Randbedingungen

Importierte Strukturen können entweder mit den bestehenden Randbedingungen in Z88Aurora® gerechnet werden oder es können neue Vorgaben gemacht werden. Für die importierten Randbedingungen werden automatisch Sets angelegt, die im Randbedingungs-menü betrachtet und ggf. modifiziert werden können.

Für die Analysearten  Lineare Festigkeit und  Stationär Thermisch sind zwei unterschiedliche Menüansichten verfügbar, die oben links im Menü eingestellt werden können.

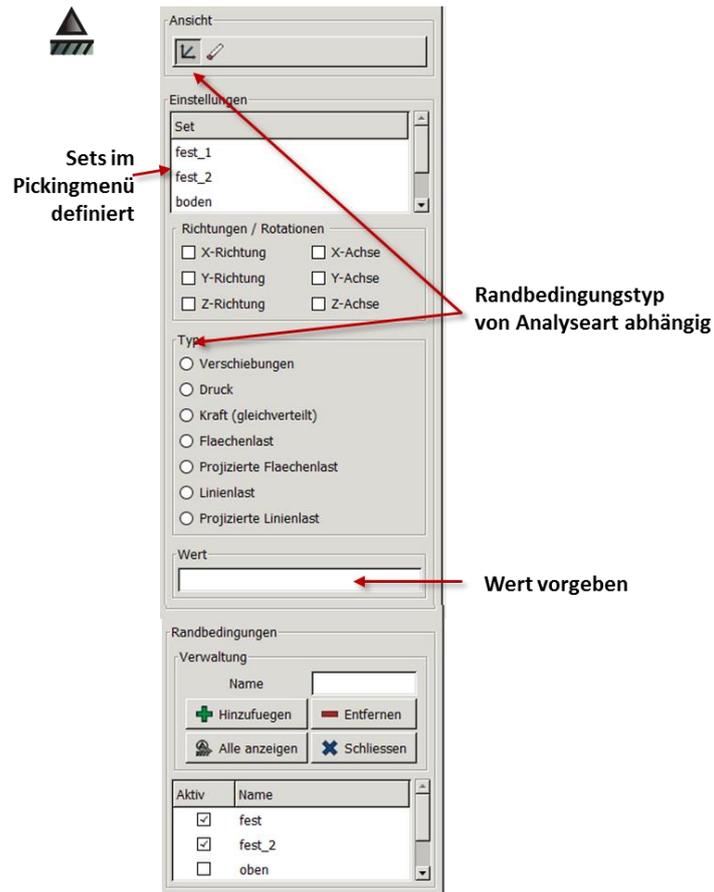


Abbildung 66: Erstellen von Randbedingungen I

Um eine Randbedingung aufzubringen, gehen Sie wie folgt vor:

⇒ Analyseart auswählen

⇒ Set auswählen

⇒ Richtungen/Rotationen markieren, z. B. „X-Richtung, Y-Richtung, Z-Richtung“

⇒ Typ anwählen, z. B. „Verschiebungen“

⇒ Wert eingeben, z. B. „0“

⇒ Name eingeben, z. B. „fest“

⇒  Hinzufuegen

Im OpenGL-Fenster erscheint die Randbedingung mit der jeweiligen Farbe.

Richtungen / Rotationen

- X-Richtung X-Achse
- Y-Richtung Y-Achse
- Z-Richtung Z-Achse

Typ

- Verschiebungen
- Druck
- Kraft (gleichverteilt)
- Flaechenlast
- Projizierte Flaechenlast
- Linienlast
- Projizierte Linienlast

VERSCHEIBUNGEN

DRUCK

KRAFT GLEICHVERTEILT

KRAFT VERTEILT

Typ

- Temperatur
- Waermestrom (gleichverteilt)
- Waermestrom, Linie (gleichverteilt)
- Waermestrom (verteilt)
- Waermestromdichte

TEMPERATUR

WAERMESTROM GLEICHVERTEILT

WAERMESTROM VERTEILT

WAERMESTROMDICHT

Randbedingungen

Verwaltung

Name:

- fest
- fest_2
- oben
- unten

Namen vergeben

Haken aktiviert die jeweilige Randbedingung

Alle Randbedingungen anzeigen

Abbildung 67: Erstellen von Randbedingungen II

Abbildung 67 zeigt die Möglichkeiten der Randbedingungsangabe. Es können Verschiebungen, Drücke und Kräfte aufgebracht werden, wobei bei Kräften die Auswahl zwischen gleichverteilt, Flächenlast, projizierte Flächenlast, Linienlast und projizierte Linienlast zu treffen ist. Die Option „Kraft (gleichverteilt)“ bewirkt die gleiche Kraft auf jedem gewählten Knoten. „Flächenlast“ und „Linienlast“ erreichen eine Umrechnung der Gesamtkraft auf die einzelnen Knoten der Fläche (für weitere Informationen siehe Theoriehandbuch S. 99ff).

- ⚠ Thermische Randbedingungen sind richtungsunabhängig.
- ⚠ Druck benötigt immer ein Flächen-Sets.

 entfernt löscht bestehende Randbedingungen. „Alle anzeigen“ zeigt die mit Haken aktivierten Randbedingungen. Die unterschiedlichen Randbedingungen werden in einer Farbskala dargestellt.

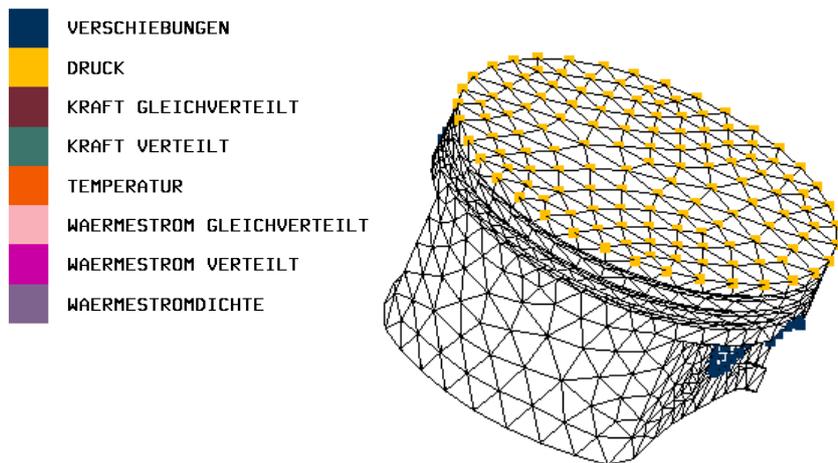


Abbildung 68: Darstellungsart „Randbedingungen“

Um einzelne Randbedingungen separat zu betrachten, kann die jeweilige Randbedingung unter „Verwaltung“ gewählt werden.



Abbildung 69: Ansicht separate Randbedingung

Durch  schliessen wird das Randbedingungs-menü geschlossen.

 Größe Randbedingungen

Die Funktion „Groesse Randbedingungen“ bewirkt, dass die angezeigten Randbedingungen im Präprozessormenü vergrößert oder verkleinert dargestellt werden.



Abbildung 70: Größe der Randbedingungen verändern

- ⚠ Die Randbedingungsmarkierungen werden nicht mit der Größe des Bauteils skaliert. Wenn Sie aufgebrachte Randbedingungen nicht sehen, verändern Sie bitte die Größe über die Werkzeugleiste Ansicht oder den *Unterpunkt "Größe Randbedingungen"* im Menü *"Ansicht"*.

4.3 Solver

Der **Solver** ist das Herz des Programmsystems. Er berechnet die Element-Steifigkeitsmatrizen, kompiliert die Gesamt-Steifigkeitsmatrix, skaliert das Gleichungssystem, löst das (riesige) Gleichungssystem und gibt die Verschiebungen, die Knotenkräfte und die Spannungen aus.

Die linearen Solver Z88R und Z88RS

Z88 verfügt intern über drei verschiedene Solver:

- Ein sog. *Cholesky-Gleichungslöser mit Fill-In*. Er ist unkompliziert zu bedienen und bei kleinen und mittleren Strukturen sehr schnell. Er ist die richtige Wahl für kleine und mittlere Strukturen bis 20.000 ... 30.000 Freiheitsgrade. In Z88Aurora® ist der Cholesky-Solver nur für Stäbe, Balken und Wellen verfügbar.
- Ein sog. *Direkter Sparsematrix-Solver mit Fill-In*. Er nutzt den sog. PARDISO-Solver. Dieser Solver ist mehrkernfähig und somit sehr schnell, zieht aber sehr viel dynamisches Memory zur Laufzeit an. Er ist die richtige Wahl für mittelgroße Strukturen bis ca. 150.000 Freiheitsgrade oder bei genügend Arbeitsspeicher auch für große bis sehr große Strukturen. Der PARDISO-Solver ist empfindlicher bei statischer Unterbestimmtheit und zeigt Fehler beim Modellaufbau bereits zu Beginn des Rechenlaufs an.
- Ein sog. *Sparsematrix-Iterationssolver*. Er löst das System mit dem Verfahren der Konjugierten Gradienten. Dabei kann gewählt werden, ob das System mit einem SOR-Verfahren (SORCG) oder mit partieller Cholesky-Zerlegung (SICCG) vorkonditioniert wird. Dieser Solver ist bei Strukturen über 100.000 Freiheitsgraden so schnell, dass er kaum langsamer als die Solver der großen, kommerziellen und teuren FEA-Systeme ist, wie aktuelle Vergleiche wieder gezeigt haben. Gleichzeitig ist der Speicherbedarf minimal. Er ist die richtige Wahl für Strukturen ab 100.000 Freiheitsgrade, aber auch Strukturen mit mehreren Millionen Freiheitsgraden stellen für ihn kein Problem dar – sofern Sie genügend Hauptspeicher verwenden. *Dieser sehr bewährte und stabile Solver funktioniert nach unseren Beobachtungen immer, rechnet teilweise aber auch bei statischer Unterbestimmtheit – diesen Fehler im Modellaufbau sehen Sie dann erst in den Ergebnissen, wenn keine sinnvollen Zahlenwerte errechnet wurden.*

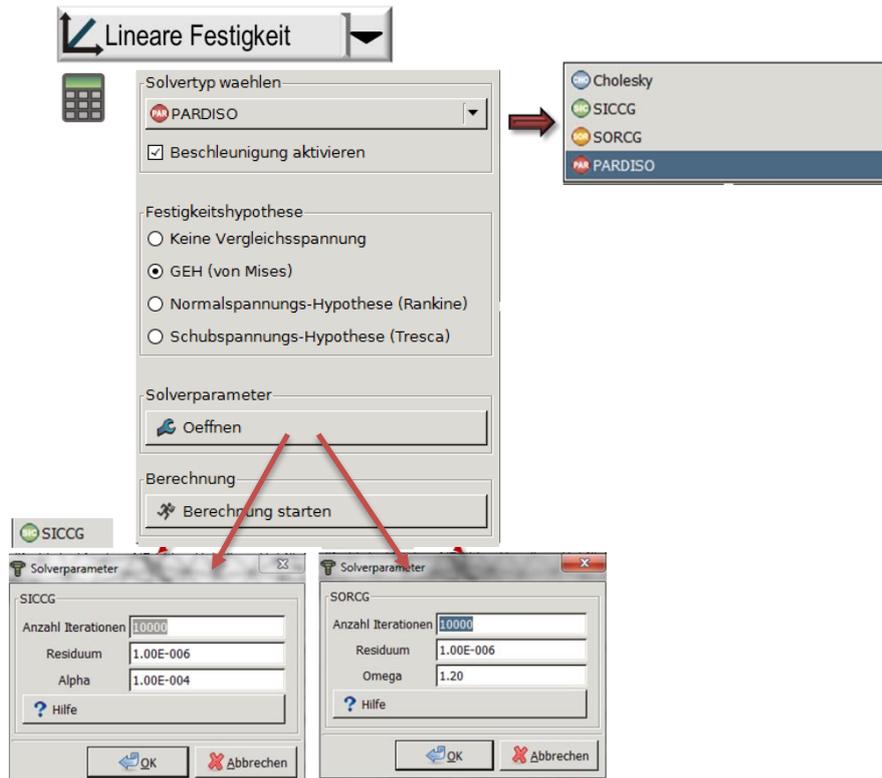


Abbildung 71: Solvermenü lineare Festigkeit

Seit der Version Z88Aurora® V2b existieren beschleunigte Versionen der linearen Solver. Einige Schritte innerhalb des Lösungsprozesses konnten stark verkürzt werden, ohne dass dabei die Ergebnisqualität negativ beeinträchtigt wird. Insbesondere wurden die beiden Varianten des iterativen CG-Solvers parallelisiert, wodurch nicht nur auf einer CPU sondern auf beliebig vielen gleichzeitig gerechnet werden kann. Hierfür wird in etwa das Doppelte des üblichen Arbeitsspeichers benötigt. Ferner wird für das Abbruchkriterium nun das mathematische Residuum verwendet, welches die Norm des Fehlervektors beinhaltet. Diese Schwelle entspricht der Wurzel des Abbruchkriteriums des Z88R. Auch bei der Randbedingungsaufgabe und anderen Phasen wurden Modifikationen vorgenommen, sodass auch der bereits parallelisierte PARDISO-Solver nochmals beschleunigt werden konnte. Sämtliche Änderungen firmieren unter dem Namen Z88RS  und sind nutzbar, wenn ein Häkchen bei „Beschleunigung“ gesetzt wird. Nachfolgende Tabelle 3 soll zur Orientierung dienen, wann welcher Solver eingesetzt werden kann.

Tabelle 4: Solverübersicht

Solver	Typ	Anzahl FG	Speicherbedarf	Geschwindigkeit	Multi-CPU	Bemerkung
Z88R -t/c -choly	Cholesky Solver ohne Fill-In	bis ~ 30.000	mittel	mittel	nein	nur Stäbe und Balken
Z88R -t/c -parao	Direkter Solver mit Fill-In	bis ~ 150.000	sehr hoch	sehr groß	ja	sinnvoll bei mehreren CPUs und <i>sehr viel</i> Memory
Z88R -t/c -siccg oder -sorcg	Konjugierte Gradienten Solver mit Vorkonditionierung	keine Grenze (mehrere Mio. FG)	minimal	mittel	ja, in Teilen	ausgesprochen sicherer und stabiler Solver für sehr große Strukturen
Z88RS -t/c -parao	Direkter Solver mit Fill-In	Je nach RAM-Menge bis mehrere Mio.	sehr hoch	maximal	ja	nochmals beschleunigte Version des direkten Löasers aus Z88R
Z88RS -t/c -siccg oder -sorcg	Konjugierte Gradienten Solver mit Vorkontinonierung	keine Grenze (mehrere Mio. FG)	sehr gering	groß	ja	benötigt doppelt so viel Memory wie Z88R, ermöglicht jedoch mehrere CPUs

Der nichtlineare Solver Z88NL

Das Modul Z88NL stellt einen Gleichungslöser dar, der für nichtlineare Berechnungen ausgelegt ist. Nichtlinearitäten können dabei entweder solche geometrischen Ursprungs sein oder Materialnichtlinearitäten, bei denen die Spannungs-Dehnungs-Beziehungen nichtlinear sind. Hinsichtlich der Materialparameter sind bei rein geometrischer Nichtlinearität wie beim linearen Solver Z88R E-Modul und Querkontraktionszahl erforderlich. Bei Materialnichtlinearitäten müssen zusätzliche Daten wie z. B. die Fließkurve angegeben werden (vgl. Kap. 4.2). Als Randbedingungen können die gleichen wie bei der linearen mechanischen Rechnung aufgegeben werden. Als Elemente können Typ 1 (Hexaeder mit 8 Knoten), Typ 4 (3D-Stab), Typ 7 (Scheibe mit 8 Knoten), Typ 8 (Torus mit 8 Knoten), Typ 10 (Hexaeder mit 20 Knoten), Typ 16 (Tetraeder mit 10 Knoten) und Typ 17 (Tetraeder mit 4 Knoten) behandelt werden, wenn es sich um geometrische Nichtlinearitäten handelt. Bei Materialnichtlinearitäten können Typ 1 oder Typ 16 verwendet werden. Die wesentlichen Unterschiede ergeben sich bei der Parametrierung des Gleichungslöasers, welche im Theoriehandbuch näher beschrieben sind. Auch der Postprozessor unterscheidet sich: Hier sind nun Ergebnisse für jeden Lastschritt vorhanden. Dies betrifft sowohl die knotenbezogenen Verschiebungsergebnisse als auch die integrationspunktbezogenen Spannungsergebnisse. Als Spannungsergebnisse werden stets Vergleichsspannungen nach Gestaltänderungsenergiehypothese (GEH) berechnet, wobei diese auf den Cauchy'schen Spannungen beruhen.

Der Thermosolver Z88TH

Das Modul „Stationär Thermisch“ greift bei der Berechnung auf die linearen Solvertypen PARDISO, SORCG und SICCG zurück. Für die bei der rein thermischen Berechnung verwendeten Finiten Elemente (Hexaeder, Tetraeder) verringern sich die in das Gleichungssystem eingehenden Werte aufgrund der Reduktion von drei auf einen Freiheitsgrad, wodurch sich das Gleichungssystem deutlich verkleinert. Im Gegensatz dazu ist bei der thermo-mechanischen Berechnung alles wie gehabt. Hier werden wieder die üblichen drei Freiheitsgrade im Raum betrachtet. Als Materialparameter ist bei einer stationären Wärmeleitung nur der Wärmeleitkoeffizient notwendig. Soll eine thermo-mechanische Simulation durchgeführt werden, wird neben den aus der Elastostatik bekannten Parameter (E-Modul, Querkontraktion) zusätzlich der Wärmeausdehnungskoeffizient benötigt. Für eine thermo-mechanische Berechnung müssen keine weiteren Einstellungen vorgenommen werden. Aufgrund der Zuweisung von thermischen und mechanischen Randbedingungen erkennt der Solver Z88TH, dass eine solche Simulation durchgeführt werden soll. Werden nur thermischen Randbedingungen aufgegeben, so wird auch nur stationär-thermisch gerechnet.

Der Eigenschwingungssolver Z88EI

Das Eigenschwingungsmodul verwendet ein im FEA-Umfeld besonders bewährtes numerisches Verfahren, welches bereits 1950 von Cornelius Lanczos vorgestellt wurde. Und obwohl an die numerische Modalanalyse von FE-Strukturen damals wohl noch nicht zu denken war, besitzt der Algorithmus viele für die FE-Programmierung positive Eigenschaften. Die Grundidee, die Matrix iterativ auf eine sogenannte Tridiagonalmatrix (Diagonalstruktur mit Bandbreite drei) zu reduzieren, hilft bei der Speicherverwaltung. Außerdem ist mathematisch sichergestellt, dass die Eigenwerte dieser Tridiagonalmatrix Näherungen der Eigenwerte der Originalmatrix sind. Jede einzelne Iteration des Solvers lässt sich in zwei Phasen gliedern. Zunächst wird jeweils eine (weitere) Zeile bzw. Spalte der Tridiagonalmatrix berechnet – also im Grunde nur drei Matrixwerte, denn alle vorher bereits bestimmten Einträge bleiben erhalten. In der zweiten Phase werden die Eigenwerte dieser Matrix ermittelt – und zwar von Null an aufwärts.

Solver für das Kontaktmodul

Das Kontaktmodul arbeitet mit den gleichen Solvern, die bereits im linear-statischen Berechnungsmodul zu finden sind. Es stehen sowohl die beiden präkonditionierten, iterativen Gleichungslöser SICCG und SORCG als auch der direkte Gleichungslöser PARDISO – jeweils mit Sparse-Speicherung – zur Verfügung. Alle Solvertypen sind im Kontaktmodul jeweils in ihren beschleunigten Varianten implementiert, sodass Berechnungen auf mehreren Prozessorkernen die Kontaktanalyse stark beschleunigen können. Die Solveroptionen sind mit denen aus der linear-statischen Berechnung identisch, weshalb hier keinerlei zusätzliche Informationen notwendig sind.

Weitere Informationen und theoretische Hintergründe zu den integrierten Solvern finden sich im Theoriehandbuch. Aufgerufen werden die Solvertypen in Z88Aurora® über das Solvermenü, welches je nach Berechnungsmodul andere Optionen bietet.

Im Bereich "*Festigkeitshypothesen*" können die unten genannten Vergleichsspannungen - aber immer nur jeweils eine - je nach vorherigem Rechenlauf ausgewählt werden:

- Gestaltänderungsenergiehypothese *GEH*, d. h. *von Mises*
- Normalspannungshypothese *NH*, d. h. *Rankine* bzw. *principal stresses*
- Schubspannungshypothese *SH*, d. h. *Tresca*

Ferner müssen Sie noch einige Steuerwerte für den jeweiligen Gleichungslöser vorgeben. Dies geschieht über die "*Solverparameter*" im Menü "*Solver*":

SIC SICCG

- Abbruchkriterium: maximale Anzahl der Iterationen (z. B. 10000)
- Abbruchkriterium: Residuenvektor < Grenze *Epsilon* (z. B. **1e-7**)
- Steuerwert für die Konvergenzbeschleunigung: Shift-Faktor *Alpha* (zwischen 0 und 1, brauchbare Werte können oft zwischen 0.0001 und 0.1 liegen; beginnen Sie mit 0.0001). Näheres entnehmen Sie ggf. der Spezialliteratur.

SOR SORCG

- Abbruchkriterium: maximale Anzahl der Iterationen (z. B. 10000)
- Abbruchkriterium: Residuenvektor < Grenze *Epsilon* (z. B. $1e-7$)
- Steuerwert für die Konvergenzbeschleunigung: Relaxationsfaktor *Omega* (zwischen 0 und 2, brauchbare Werte können oft zwischen 0.8 und 1.2 liegen).

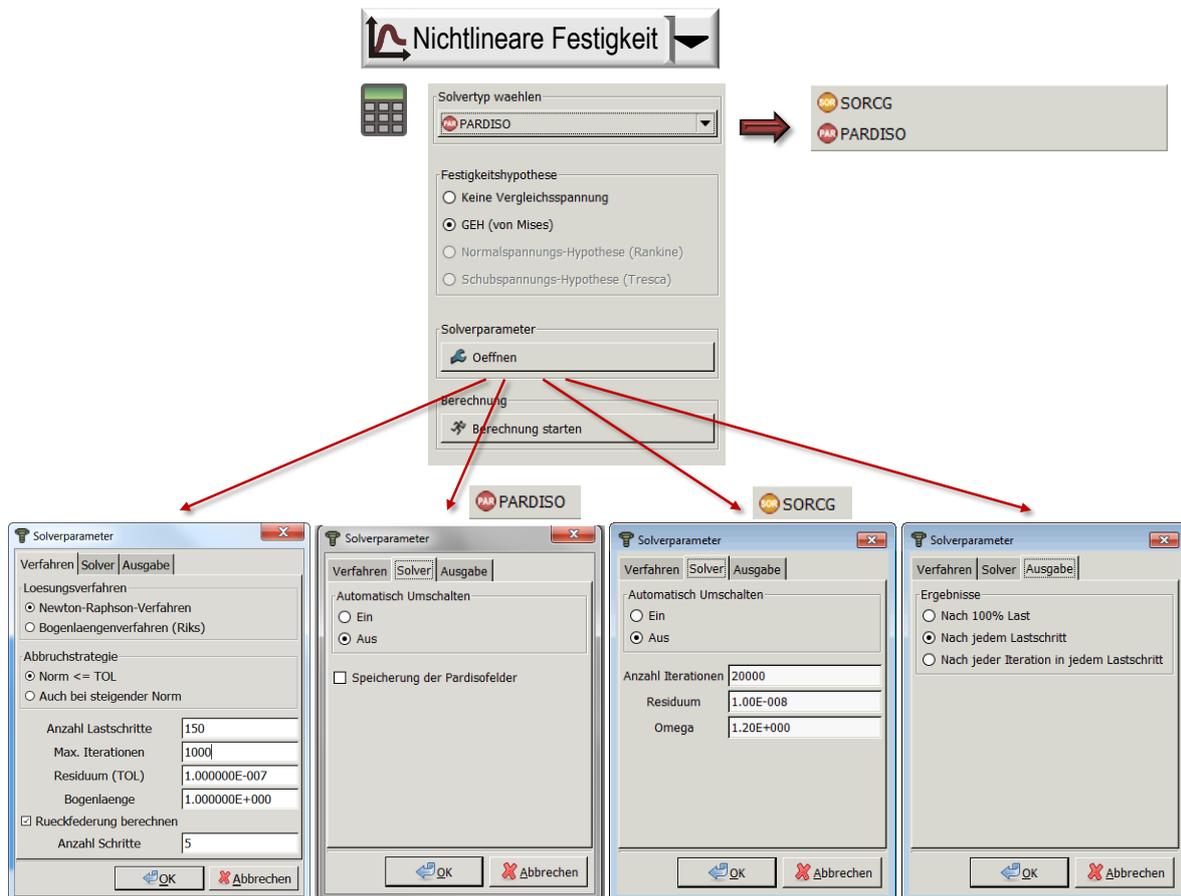


Abbildung 72: Solvermenü nichtlineare Festigkeit

⚠ Eine Vergleichsspannungsberechnung durch Z88NL ist allein nach der GEH möglich.

Neu seit der Version V3 ist die Möglichkeit der Rückfederungsberechnung (vgl. Abbildung 72 unten links). Diese ist für Berechnungen mit den plastischen Materialgesetzen vorgesehen. Wird der Haken gesetzt, kann festgelegt werden, in wie vielen Schritten die Rückfederung berechnet wird. Bei z. B. fünf Schritten wird die Last am Ende in 20 %-Schritten von 100 % auf 0 % reduziert.

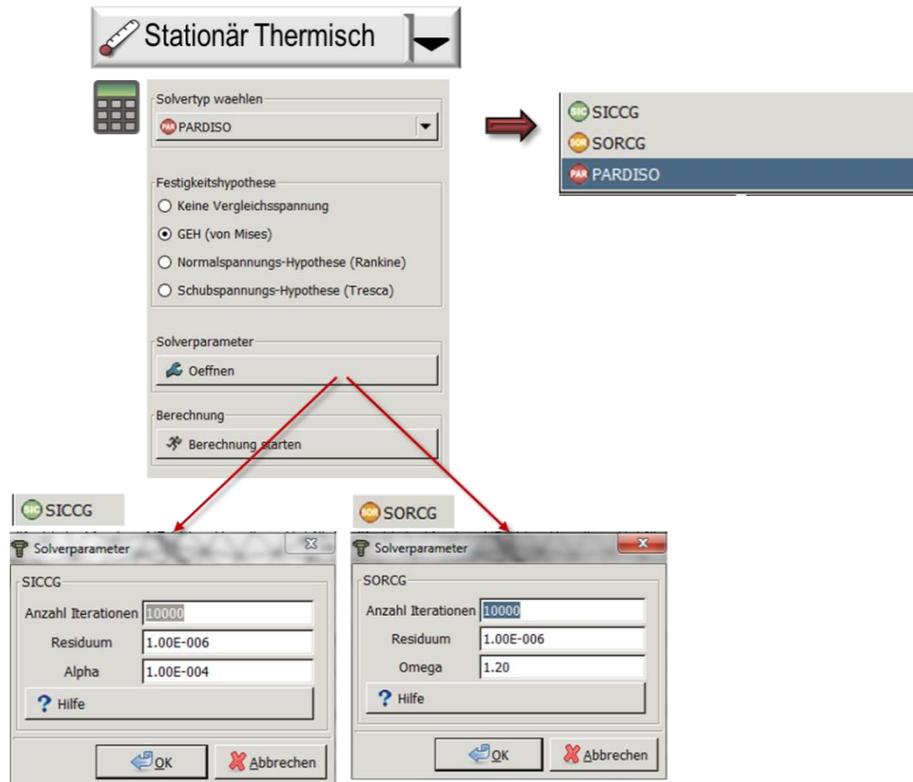


Abbildung 73: Solvermenü stationär thermische Berechnung

Die Einstellungen entsprechen denen der linearen Festigkeitsrechnung.

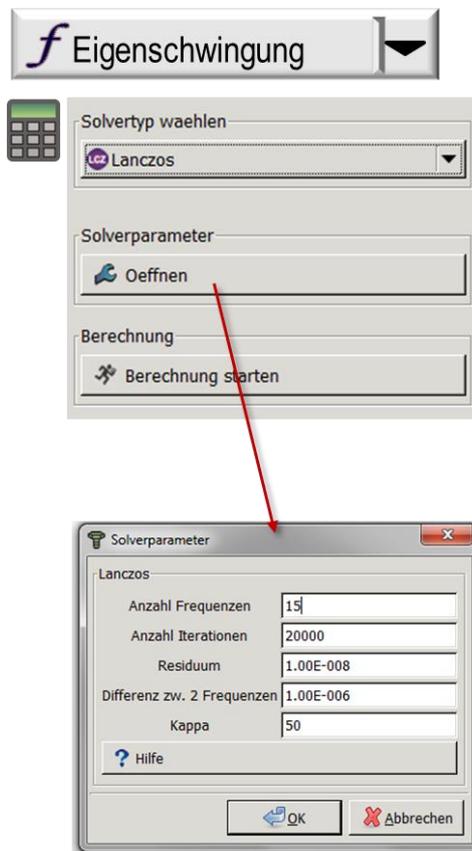
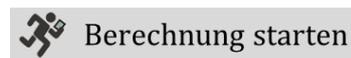


Abbildung 74: Solvermenü Eigenschwingung

- Anzahl der ausgegebenen Frequenzen
- Abbruchkriterium: maximale Anzahl der Iterationen (z. B. 10000)
- Abbruchkriterium: Residuenvektor, relativer Eigenwert ändert sich nicht mehr
- Differenz zw. 2 Frequenzen: Differenz zwischen zwei Eigenwerten, damit diese als unterschiedlich gelten
- Blocklänge Kappa: Grenzwert bei der wievielten Iteration der Residuenvektor überprüft wird.

Nach der Einstellung aller erforderlichen Parameter wird die Berechnung durch Drücken des



Berechnung starten

Buttons gestartet. Es erscheint ein Informationsfenster, sobald die Berechnung beendet ist.



Abbildung 75: Informationsfenster Berechnung

Der Solver in der Textmenüleiste

Auf den Solver kann ebenfalls über die Textmenüleiste zugegriffen werden.



Abbildung 76: Solveraufruf in der Textmenüleiste

Kompatibilitätsliste der Z88-Module

Elementtyp (Knoten)	Ansatz				f
Hexaeder 					
Hexaeder Nr. 1 (8 K.)	3D linear	✓ PAR SOR SIC 	✓ PAR SOR 	✓ PAR SOR SIC	✓ LCZ
Hexaeder Nr. 10 (20 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✓ PAR SOR 	✓ PAR SOR SIC	✓ LCZ
Tetraeder 					
Tetraeder Nr. 17 (4 K.)	3D linear	✓ PAR SOR SIC 	✓ PAR SOR 	✓ PAR SOR SIC	✓ LCZ
Tetraeder Nr. 16 (10 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✓ PAR SOR 	✓ PAR SOR SIC	✓ LCZ
Scheibe 					
Scheibe Nr. 3 (6 K.)	2D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Scheibe Nr. 7 (8 K.)	2D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✓ PAR SOR	✗	✗
Scheibe Nr. 11 (12 K.)	2D kubisch	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Scheibe Nr. 14 (6 K.)	2D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Torus 					
Torus Nr. 6 (3 K.)	2D linear	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Torus Nr. 8 (8 K.)	2D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✓ PAR SOR	✗	✗
Torus Nr. 12 (12 K.)	2D kubisch	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Torus Nr. 15 (6 K.)	2D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Platte 					
Platte Nr. 18 (6 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Platte Nr. 19 (16 K.)	3D kubisch	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Platte Nr. 20 (8 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Schale 					
Schale Nr. 21 (16 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Schale Nr. 22 (12 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Schale Nr. 23 (8 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Schale Nr. 24 (6 K.)	3D quad.	✓ PAR SOR SIC 	✗	✗	✗
Stab- und Balkenelemente 					
Stab Nr. 4 (2 K.)	3D exakt	✓ PAR SOR SIC CHO	✓ PAR SOR	✗	✗
Stab Nr. (2 K.)	2D exakt	✓ PAR SOR SIC CHO	✗	✗	✗
Balken Nr. 2 (2 K.)	3D exakt	✓ PAR SOR SIC CHO	✗	✗	✗
Balken Nr. 13 (2 K.)	2D exakt	✓ PAR SOR SIC CHO	✗	✗	✗
Balken Nr. 25 (2 K.)	3D exakt	✓ PAR SOR SIC CHO	✗	✗	✗
Welle Nr. 5 (2 K.)	3D exakt	✓ PAR SOR SIC CHO	✗	✗	✗

4.4 Postprozessor

Nach erfolgter Berechnung können Sie sich durch Klicken auf den Button  die Ergebnisse im Z88Aurora® Postprozessor anzeigen lassen.

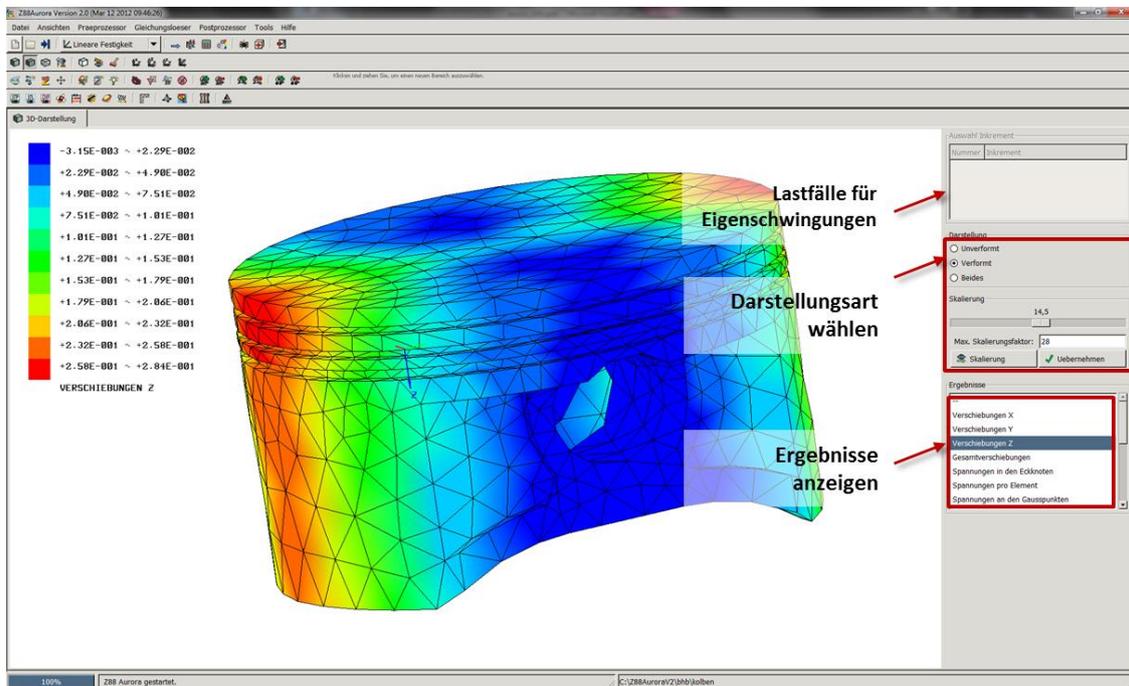


Abbildung 77: Z88Aurora® Postprozessor

Auf der rechten Bildschirmseite erscheint ein Kontextmenü. Hier haben Sie die Möglichkeit, sich das Bauteil deformiert, undeformiert oder beide Zustände gleichzeitig im Ergebnisfenster anzeigen zu lassen.

Darunter befindet sich das Ergebnismenü: Hier können die Verschiebungen (komponentenweise und als Gesamtverschiebung) sowie die Knotenkräfte, die Spannungen (an den Eckknoten, über Elemente gemittelt und in den Gaußpunkten) eingeblendet werden, wobei die Gaußpunktdarstellung nur im unverformten Zustand dargestellt wird.

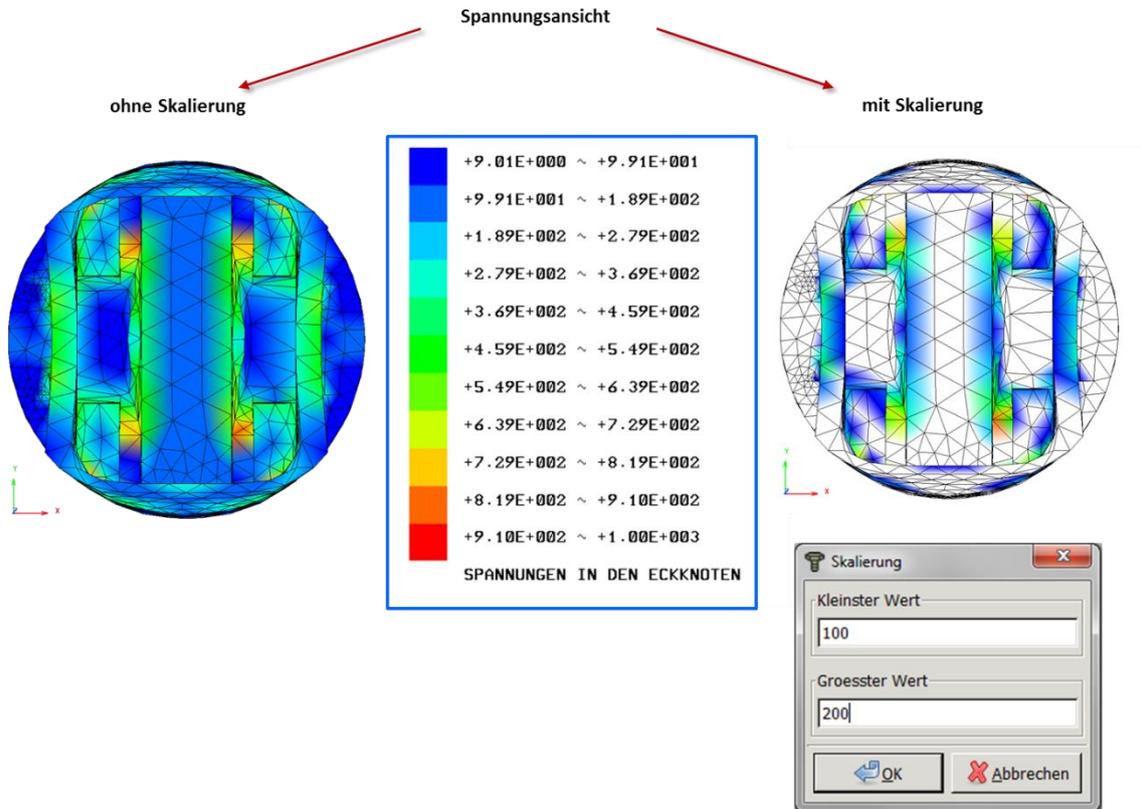


Abbildung 78: Skalierung des Farbintervalls



Abbildung 79: Postprozessor-Menüleiste

Unter „Postprozessor → Ausgabedaten“ können Sie auf die einzelnen Ausgabedateien der Berechnung zugreifen, um dort die exakten Zahlenwerte auszulesen (für mehr Informationen siehe Z88Aurora® Theoriehandbuch):

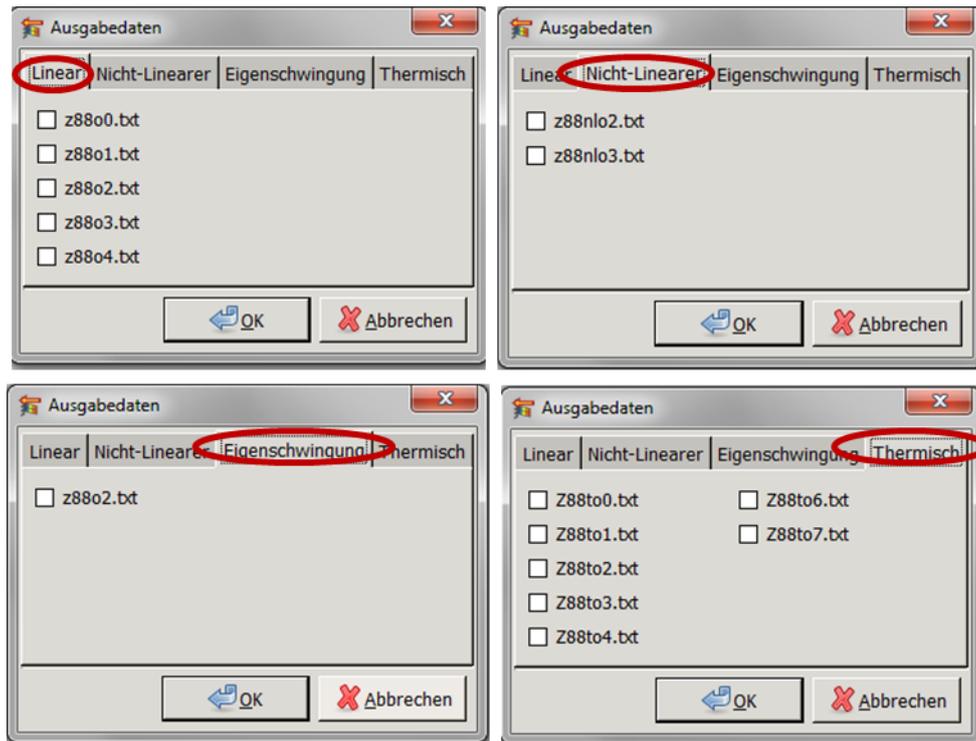


Abbildung 80: Ausgabedaten

- Z88O0.TXT – Aufbereitete Strukturdaten
- Z88O1.TXT – Aufbereitete Randbedingungen
- Z88O2.TXT – berechnete Verschiebungen (bei Eigenschwingungen frequenzweise)
- Z88O3.TXT – berechnete Spannungen
- Z88O4.TXT – berechnete Knotenkräfte
- Z88TO0.TXT – berechnete Temperaturen
- Z88TO1.TXT – berechnete Wärmeströme
- Z88TO2.TXT – berechnete thermische Dehnungen
- Z88TO3.TXT – berechnete thermische Kräfte
- Z88TO4.TXT – berechnete Verschiebungen
- Z88TO6.TXT – berechnete Knotenkräfte (thermo-mechanisch)
- Z88TO7.TXT – berechnete Spannungen (thermo-mechanisch)
- Z88NLO2.TXT – berechnete Verschiebungen, nichtlineare Berechnung mit Z88NL
- Z88NLO3.TXT – berechnete Cauchy-Spannungen, nichtlineare Berechnung mit Z88NL

Neben den Ergebnisdaten in einer Textdatei *.txt, in der alle Knoten-, Element- oder Gaußpunktinformationen gespeichert sind, besteht die Möglichkeit, durch selbst definierte Element- oder Knoten-Sets („Präprozessor → Picking“), sich die Ergebnisse eines bestimmten Bauteilbereiches ausschreiben zu lassen. Über die Postprozessor-Menüleiste (Abbildung 79) muss hierfür im Postprozessor „Ergebnisse exportieren“ gewählt werden. Danach öffnet sich ein Fenster (Abbildung 81), in dem auf der rechten Seite alle angelegten Sets zur Auswahl bereit stehen.

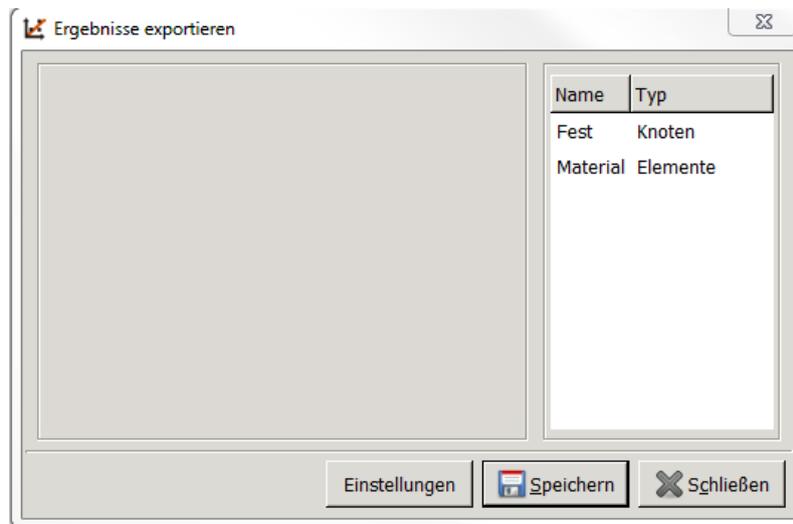


Abbildung 81: Ergebnisse exportieren

Durch die Auswahl eines Sets (Abbildung 82), hier ein Knoten-Set „Fest“, werden auf der linken Seite die Anzahl der Knoten im Set, die minimale/maximale Verschiebung, die minimale/maximale/durchschnittliche Vergleichsspannung, sowie die minimale/maximale/durchschnittliche/gesamte Kraft dargestellt.

Wurde eine Kontaktanalyse durchgeführt, sind an dieser Stelle weiterhin die Knoten des bzw. der Kontaktbereiche aufgeführt und in Sets gespeichert. Diese Sets heißen „Master set“ bzw. „Slave set“. Dadurch wird es dem Benutzer ermöglicht nachzuvollziehen, welche Knoten eines Bauteils in der Kontaktanalyse mit Knoten des bzw. der anderen Bauteils/Bauteile in Kontakt standen.

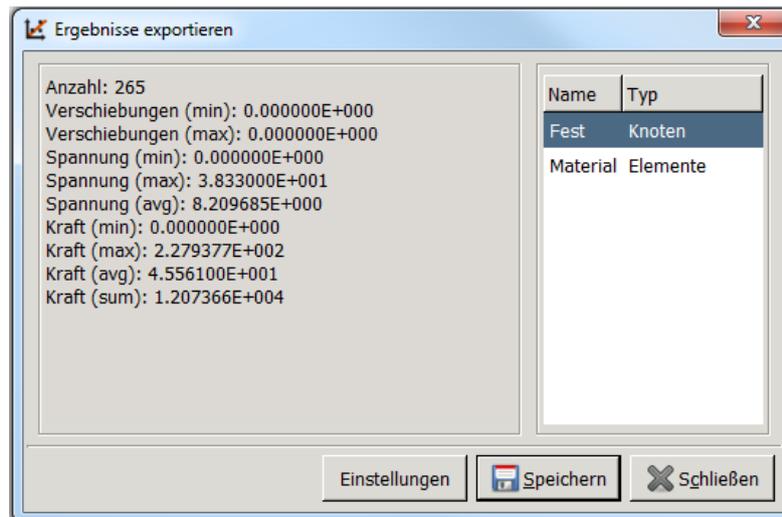


Abbildung 82: Ergebnisse des Knoten-Sets "Fest"

Durch die Auswahl des Buttons „Einstellungen“ in Abbildung 82 kann der Benutzer individuell entscheiden, welche Ergebnisse des gewählten Sets in eine *.txt-Datei oder in eine *.csv-Datei geschrieben werden sollen (Abbildung 83).

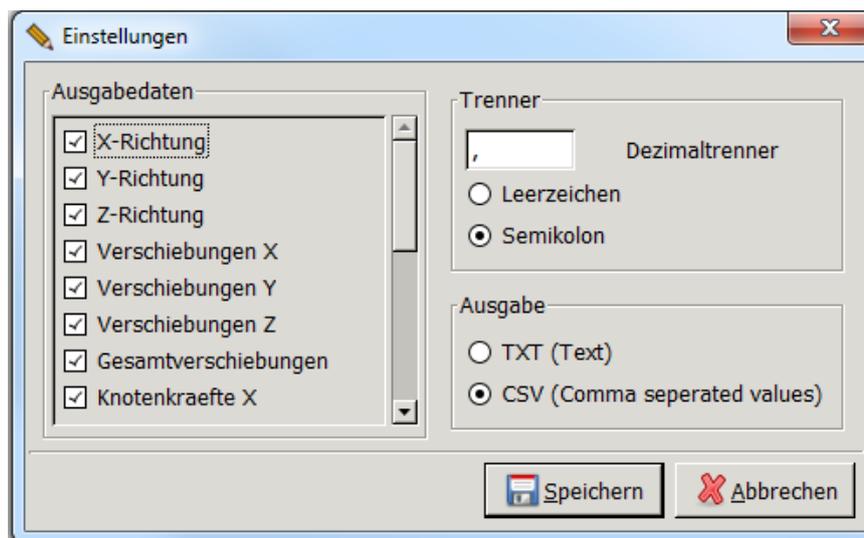


Abbildung 83: Individuelle Ausgabedaten

Dies geschieht durch Setzen oder Weglassen eines Hakens auf der linken Seite. Weiterhin kann der Benutzer den Trenner (Leerzeichen oder Semikolon) und den Dezimaltrenner für die Ausgabedatei einstellen (Anmerkung: Bitte beachten Sie, welche Spracheinstellung ihr Datenverarbeitungsprogramm, z. B. MS Excel, besitzt!) Für das Knotenset „Fest“ mit allen gewählten Ausgabedaten sieht die sogenannte *PostInfo_Fest.csv* (Diese Datei wird standardmäßig in das Projektverzeichnis gespeichert; der Name setzt sich immer aus *PostInfo* und dem *Namen des Sets* zusammen) beispielsweise folgendermaßen aus:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	name	Fest											
2	count	265											
3	Art	Knoten											
4	Nr	X	Y	Z	disX	disY	disZ	disMag	Fx	Fy	Fz	Fmag	stress
5	1239	4,03E+01	2,20E+01	1,05E-15	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,09E+02	-6,02E+01	1,33E+01	2,18E+02	3,47E+01
6	1240	3,98E+01	2,20E+01	2,85E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,14E+02	-7,59E+01	1,81E+01	2,28E+02	3,83E+01
7	1241	3,86E+01	2,20E+01	5,49E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,59E+02	-6,24E+01	2,82E+01	1,73E+02	3,32E+01
8	1242	3,70E+01	2,20E+01	7,46E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,08E+02	-3,63E+01	2,92E+01	1,18E+02	2,89E+01
9	1243	3,48E+01	2,20E+01	9,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	8,67E+01	-2,14E+01	2,50E+01	9,28E+01	2,65E+01
10	1244	3,21E+01	2,20E+01	1,00E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,01E+01	-1,06E+01	1,90E+01	6,39E+01	2,07E+01
11	1245	2,92E+01	2,20E+01	1,02E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,59E+01	-5,29E+00	1,29E+01	3,85E+01	1,50E+01
12	1246	2,64E+01	2,20E+01	9,58E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,43E+01	-3,51E+00	1,31E+01	2,78E+01	1,13E+01

Abbildung 84: Beispiel einer PostInfo-Datei

Dabei ist zu erkennen, dass die Art der Ausgabedatei *Knoten* ist, mit einer Anzahl (*count*) von 265 Knoten.

Folgende Tabelle 5 zeigt die Bedeutung der verwendeten Abkürzungen.

Tabelle 5: Abkürzungen der Postinfo-Datei

Nr	Nummer
X	x-Koordinate
Y	y-Koordinate
Z	z-Koordinate
disX	Verschiebung in x-Richtung
disY	Verschiebung in y-Richtung
disZ	Verschiebung in z-Richtung
disMag	Gesamtverschiebung
Fx	Kraft in x-Richtung
Fy	Kraft in y-Richtung
Fz	Kraft in z-Richtung
Fmag	Gesamtkraft
stress	Vergleichsspannung

Weiterhin ist es möglich die aktuell angezeigte verformte Struktur als STL-Datei auszuschreiben. Das ist verfügbar für alle Elementtypen außer die Strukturelemente (Typ 2, 4,5,9,13 und 25).

5. TOOLS

5.1 Analyse

Für die genauere Analyse des FE-Netzes oder des Importmodells können über „Analyse“ Informationen zu Knoten, Elementen und Flächen angezeigt werden. Sie wählen im jeweiligen Pickingmenü das Objekt aus und gehen zu „Tools > Analyse“. Mit „Messen“ kann die räumliche Orientierung zweier Knoten betrachtet werden.

über  Objekt auswählen,
Informationen werden angezeigt

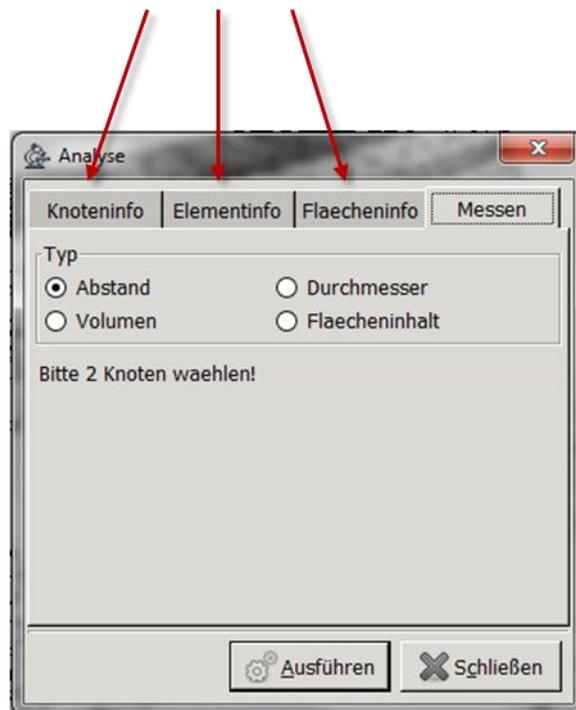


Abbildung 85: Analysetool

5.2 STL Bearbeiten

Vertauschte Flächen in STL-Importdateien, die zu einem Vernetzungsabbruch führen, können über das Tool „STL bearbeiten“ gedreht werden. Hierzu in das Menü wechseln,

⇒ die verdrehten Flächen werden rot dargestellt

⇒ ein grünes (!) Element anklicken



⇒ mit „Ja“ bestätigen

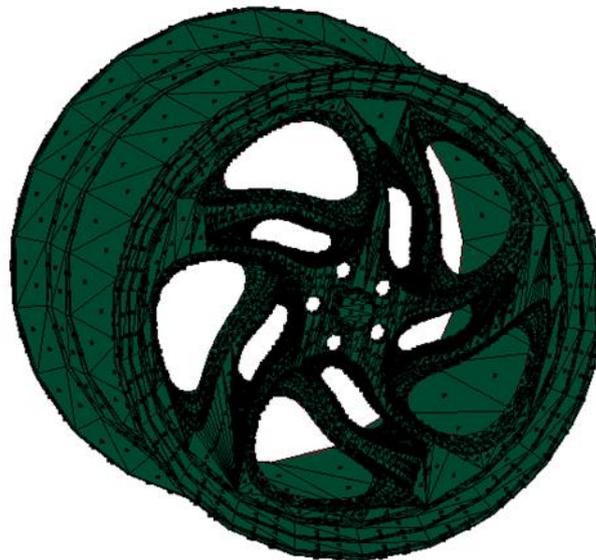
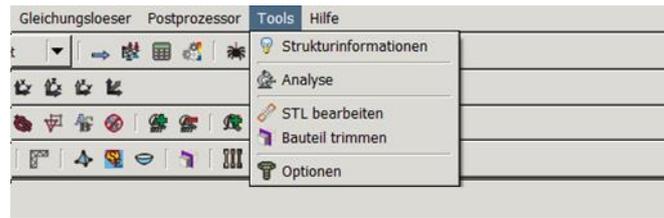


Abbildung 86: STL Bearbeiten

5.3 Optionen

Änderungen an der Benutzeroberfläche können im Optionsmenü vorgenommen werden. Hier werden die Sprache, die einzelnen Dateipfade, die Speichereinstellungen und die Ansichtseinstellungen getätigt.

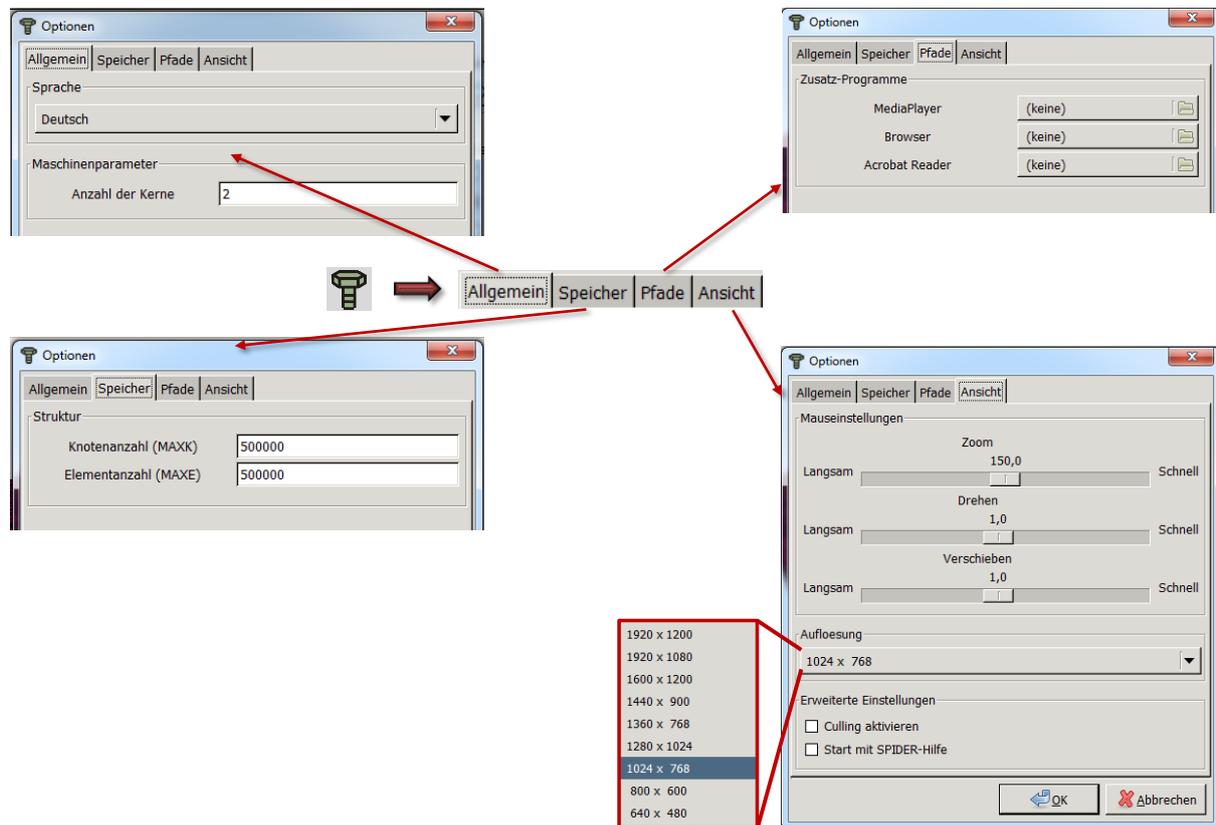


Abbildung 87: Optionseinstellungen

 **Die hier getroffenen globalen Einstellungen für die CPU und den Speicher sind unabhängig von den lokalen Einstellungen im Solveroptionsmenü.**

 **Die Änderungen werden erst nach einem Neustart von Z88Aurora® übernommen!**

– **Media Player**

Auswahl des Media Players, mit welchem die Z88Aurora® Anleitungsvideos abgespielt werden.

z. B. VLC Media Player; Standardpfad „ C:\Programme\VideoLAN\VLC\vlc.exe “

– **Browser**

Auswahl des Browsers, mit dem die Homepage und das Benutzerforum aus Z88Aurora® aufgerufen werden sollen.

z. B. *Mozilla Firefox*; Standardpfad „*C:\Programme\Mozilla Firefox\firefox.exe*“

– **PDF-Reader**

Auswahl des PDF-Readers, mit dem die Z88Aurora® Handbücher aufgerufen werden können.

z. B. *Adobe Reader*;

Standardpfad „*C:\Programme\Adobe\Reader 11.0\Reader\AcroRd32.exe*“

Der Dialog sowie die Hinweis-Boxen werden mit „OK“ beendet.



Danach können Sie Z88Aurora® starten.

6. HILFE UND SUPPORT

Hilfe

In Z88Aurora® stehen Ihnen mehrere unterschiedliche Hilfsfunktionen zur Verfügung, die jeweils separat genutzt werden können. Es folgt ein Überblick über die einzelnen Hilfskomponenten.

Das  Icon in der Iconmenüleiste öffnet das Popupmenü zur Auswahl der einzelnen Hilfemodule.

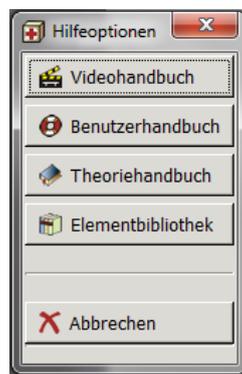


Abbildung 88: Hilfeoptionen

Videohandbuch

Zu speziellen Themen sind Videosequenzen zur besseren Verständlichkeit vorhanden. Die einzelnen Videos werden über das Menü "Videohandbuch" aufgerufen.

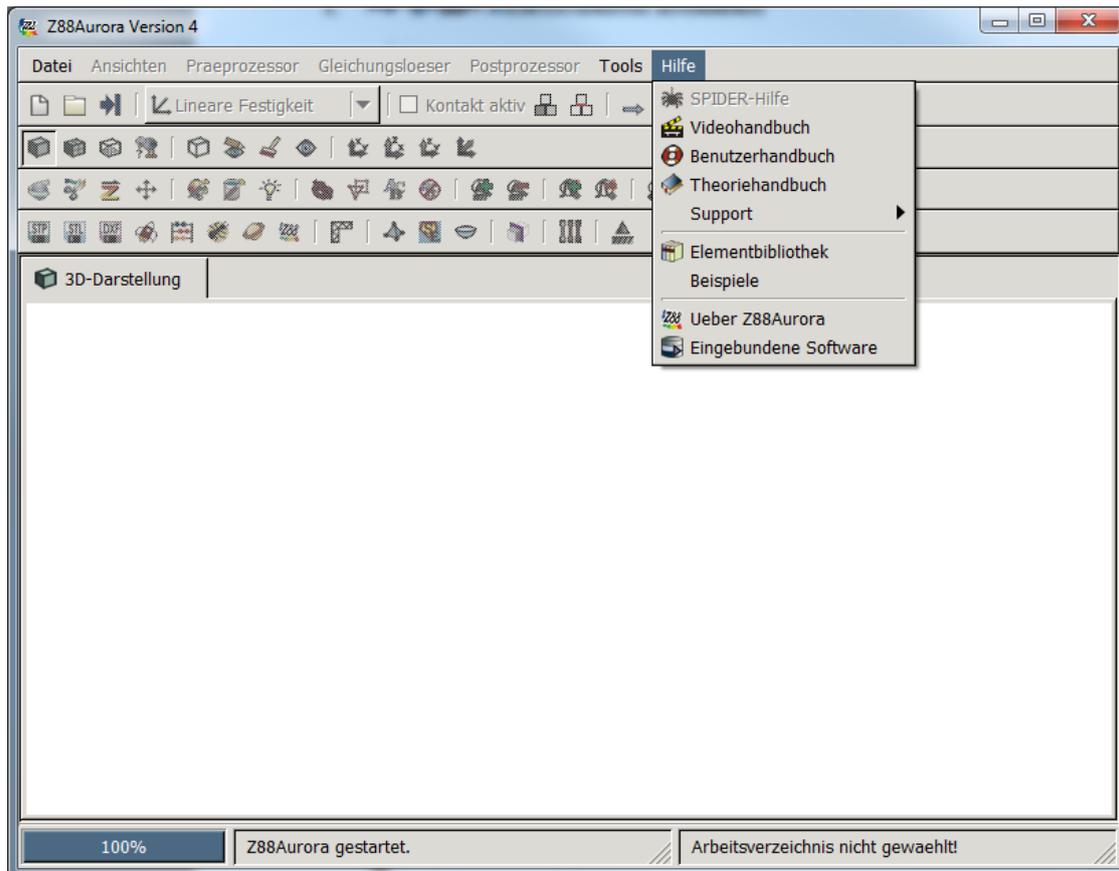


Abbildung 89: Videohandbuch in Z88Aurora®

Benutzerhandbuch

Im Benutzerhandbuch sind alle Funktionen in Z88Aurora® erklärt.

Theoriehandbuch

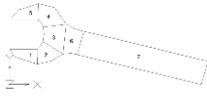
Das Theoriehandbuch geht auf die Berechnungsgrundlagen von Z88Aurora® ein. Für erfahrene Z88OS-Benutzer werden die Unterschiede zwischen Z88OS V14 und Z88Aurora® dargestellt. Weiterhin werden alle Ein- und Ausgabedateien sowie die Elementtypen ausführlich erläutert. Die Module, die aus der Benutzeroberfläche aufgerufen werden, werden hier ebenfalls beschrieben.

Elementbibliothek

Eine kurze Darstellung der in Z88Aurora® integrierten Elementtypen.

Beispiele

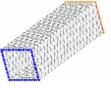
An Hand verschiedener Beispiele werden die grundlegenden Funktionen erläutert.

- Ebene Elemente: Beispiel Gabelschlüssel 

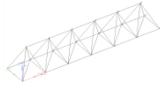
Als Beispiel wurde eine DXF-Datei – ein Schraubenschlüssel als Scheibenelement – aus AutoCAD gewählt. Anhand dieses Bauteils wird die Vorgehensweise beim Export der Struktur aus dem CAD-Programm sowie der Import von DXF-Dateien in Z88Aurora® demonstriert. Ferner wird das Erzeugen und feinere Vernetzen von Superstrukturen erläutert, ebenso wie die Durchführung und Auswertung einer linearen Festigkeitsanalyse.

- Volumen-Elemente: Beispiel Dieselkolben 

Wie in vorangegangenen Kapiteln bereits beschrieben, können Sie in Z88Aurora® Daten aus 2D- und 3D-CAD- und FE-Systemen importieren. Das hier angeführte Beispiel ist ein Motorkolben; er wurde in PTC Pro/MECHANICA erzeugt und als NASTRAN-Datei abgespeichert. Anhand dieses Bauteils werden der Import des NASTRAN-Formats und die Berechnung von Tetraedernetzen in Z88Aurora® demonstriert.

- Schalen-Elemente: Beispiel Vierkantrohr 

Um dünnwandige Strukturen wie Blechbiegeteile oder Profile abzubilden, können Schalenmodelle herangezogen werden. Bei dem hier verwendeten Bauteil handelt es sich um ein Vierkantprofil, welches mit einem externen FE-Programm als Schalenmodell erzeugt und samt Randbedingungen als NASTRAN-Datei abgespeichert wurde. Anhand dieses Bauteils werden der Import und die Berechnung von Schalenmodellen in Z88Aurora® demonstriert.

- Stab-Elemente: Beispiel Kranträger 

Dieses Beispiel ist an sich sehr einfach und geradlinig: 20 Knoten und 54 Stäbe bilden ein räumliches Fachwerk. Derartige Strukturen sind tatsächlich fast am leichtesten von Hand

einzugeben, CAD-Programme sind meist keine große Hilfe. Aber spielen Sie das Beispiel zunächst einmal durch.

- Volumen-Elemente: Beispiel 2-Takt-Motorkolben



Es soll ein Kolben für einen Zweitakt-Ottomotor berechnet werden. Als Last wirkt der Verbrennungsdruck mit 42,5 bar, die Kolbenbolzenaugen werden als Lager definiert. Der Kolben wurde in dem 3D-CAD Programm Pro/ENGINEER entworfen und dort auch mit Pro/MECHANICA vernetzt. Es wurden lineare Tetraeder gewählt und als NASTRAN-Datei exportiert. Der Kolben enthält 3.211 Knoten, damit 9.633 Freiheitsgrade und 12.489 Elemente Tetraeder Typ 17 mit jeweils 4 Knoten.

- Tetraeder-Elemente: Beispiel Motorrad-Kurbelwelle



Es soll eine Kurbelwelle für einen Einzylinder-Motorradmotor berechnet werden. Als Last wirkt die Kolbenkraft von -5.000 N. Das Besondere an diesem Beispiel ist die Definition der Randbedingungen, die etwas trickreich ist.

- Scheiben-Elemente: Beispiel Zahnrad

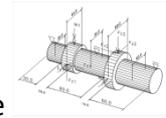


Wir betrachten ein Zahnrad, dessen Nabe auf die Welle aufgespresst wird. Dabei soll der Fugendruck des Pressverbands 100 N/mm² betragen. Es soll die Verformung untersucht werden, die durch die Aufweitung der Nabe bis in die Verzahnung geleitet wird. Die Verzahnung außen selbst wird weggelassen.

- Platten-Elemente: Beispiel Kreisplatte

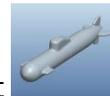


Dieses Beispiel soll in die Plattenberechnung einführen. Z88 hält Platten vom sogenannten Reissner-Mindlin-Typ bereit, und zwar als 6-Knoten Serendipity-Elemente (Typ 18), 8-Knoten Serendipity-Elemente (Typ 20) und 16-Knoten Lagrange-Elemente (Typ 19). Trotz allem ist eine Platte ein 2D-Element. Daher müssen im FE-Programm einige Kunstgriffe gemacht werden, um dieses Paradoxon abzubilden.



- Strukturerstellung und Elementparameter Beispiel Getriebewelle

Z88Aurora® enthält einen Editor für das Erstellen von Balken und Stab-Strukturelementen. Die für die Struktur erforderlichen Knoten können durch Eingabe von Koordinaten erstellt und die Koinzidenzen mittels graphischer Benutzeroberfläche erstellt werden. Anhand des Beispiels einer schematisch dargestellten Getriebewelle wird dieses Vorgehen erläutert.



- Schalenaufdicker/Clipping Beispiel U-Boot

Ein Unterseeboot, das als Schalenstruktur in Pro/ENGINEER konstruiert wurde, wird mit Hilfe der NASTRAN-Schnittstelle in Z88Aurora® importiert und dort zur Volumenschale aufgedickt. Berechnet werden die Verformung und Spannungen des U-Bootrumpfes bei einer Tauchtiefe von 50 m. Das U-Boot befindet sich in einer Art Schwebезustand im Wasser. Daher wird es in Z88Aurora® mit einem virtuellen Fixpunkt praktisch "schwebend" im Raum fixiert.



- ABAQUS-Import/Linienlast Beispiel Zahnrad 3D

In diesem Beispiel wird ein Zahnrad, das als ABAQUS INP-Datei vorliegt, in Z88Aurora® importiert und berechnet. Die Berechnung erfolgt mit statischer Last und ersetzt nicht eine Beanspruchungsberechnung nach DIN 3990. Das Zahnrad ist gradeverzahnt und hat Evolventen-Zahnflanken ohne jegliche Verzahnungsabweichung. Der Radkörper ist aus Gewichtsgründen mit Rippen versehen.

- Eigenschwingung

Beispiel Trommel



Ein beliebtes - weil auch analytisch berechenbares - Beispiel für die Analyse von Eigenschwingungen ist das schwingende Fell einer Trommel. Da es nur ein einziges Mal angeschlagen werden muss und sich danach der Ton durch das Gleichgewicht von Massenträgheit und Rückstellkraft des Fells herausbildet, handelt es sich um eine echte Eigenschwingung. Die Befestigung des Felles am Trommelrahmen lässt dabei nur bestimmte Modenformvektoren zu, die sich durch bekannte mathematische Funktionen beschreiben lassen. Diese Formen wollen wir nun auch mit der FEA simulieren.

- Thermomechanik

Beispiel Löffel



Ein Beispiel für die Wärmeleitung und somit der Temperaturanalyse soll ein Löffel sein. Dabei wird simuliert, dass der Löffel mit einer Hand festgehalten und eine Suppe gegessen wird. Konstruiert wurde der Löffel in Pro/ENGINEER Wildfire 5.0, als .stl-Datei in Z88Aurora® importiert und vernetzt. Am Löffelstiel wird durch die festhaltende Hand eine Temperatur eingebracht. Die Suppe selbst generiert einen Wärmestrom, der im Schöpftteil entsteht und an die Oberfläche der Laffe abgibt.

- Geometrische Nichtlinearität

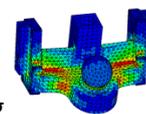
Beispiel Scharnier



In diesem Beispiel wird ein Scharnier zur Arretierung eines zylindrischen Stabs in einer Halterung betrachtet. Die Klemmkraft ist sehr groß, so dass sich auch sehr große Verformungen ergeben.

- Materialnichtlinearität

Beispiel Kugelkupplung



In diesem Beispiel wird eine hochbelastete Kugelkupplung aus der Landtechnik betrachtet. In den Kerben treten plastische Deformationen auf, sodass die Berücksichtigung von Materialnichtlinearitäten deutlich genauere Spannungsergebnisse liefert.

- Materialnichtlinearität

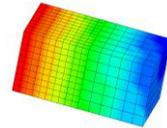
Beispiel Zugversuch



Das Beispiel behandelt die Simulation eines Zugversuchs mit allen verfügbaren plastischen Materialmodellen. Die Modelle werden hier verglichen, um die Unterschiede zu erläutern.

- Kontaktmodul

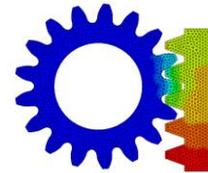
Beispiel Druckstab



Das Beispiel behandelt eine linear-elastische Kontaktsimulation eines Druckstabes dessen Ergebnis mit der Analytik verglichen werden kann.

- Kontaktmodul

Beispiel Zahnstange



Dieses Beispiel zeigt die Funktionsweise eines reibungsfreien Kontaktes zwischen einem Zahnrad und einer Zahnstange.

SPIDER Support

Um die Vielzahl der Einstellmöglichkeiten und Funktionalitäten für Anwender übersichtlich zu gestalten, wird mit der Workflowunterstützung SPIDER der FEA-Ablauf dargestellt. Die Hilfe kann über die F1-Taste aufgerufen werden. Dabei sind zwei Ebenen der Benutzerunterstützung wählbar, das Workflowschema oder zusätzliche Videosequenzen, Entscheidungsmatrizen und Erklärungen zu spezifischen Themen.

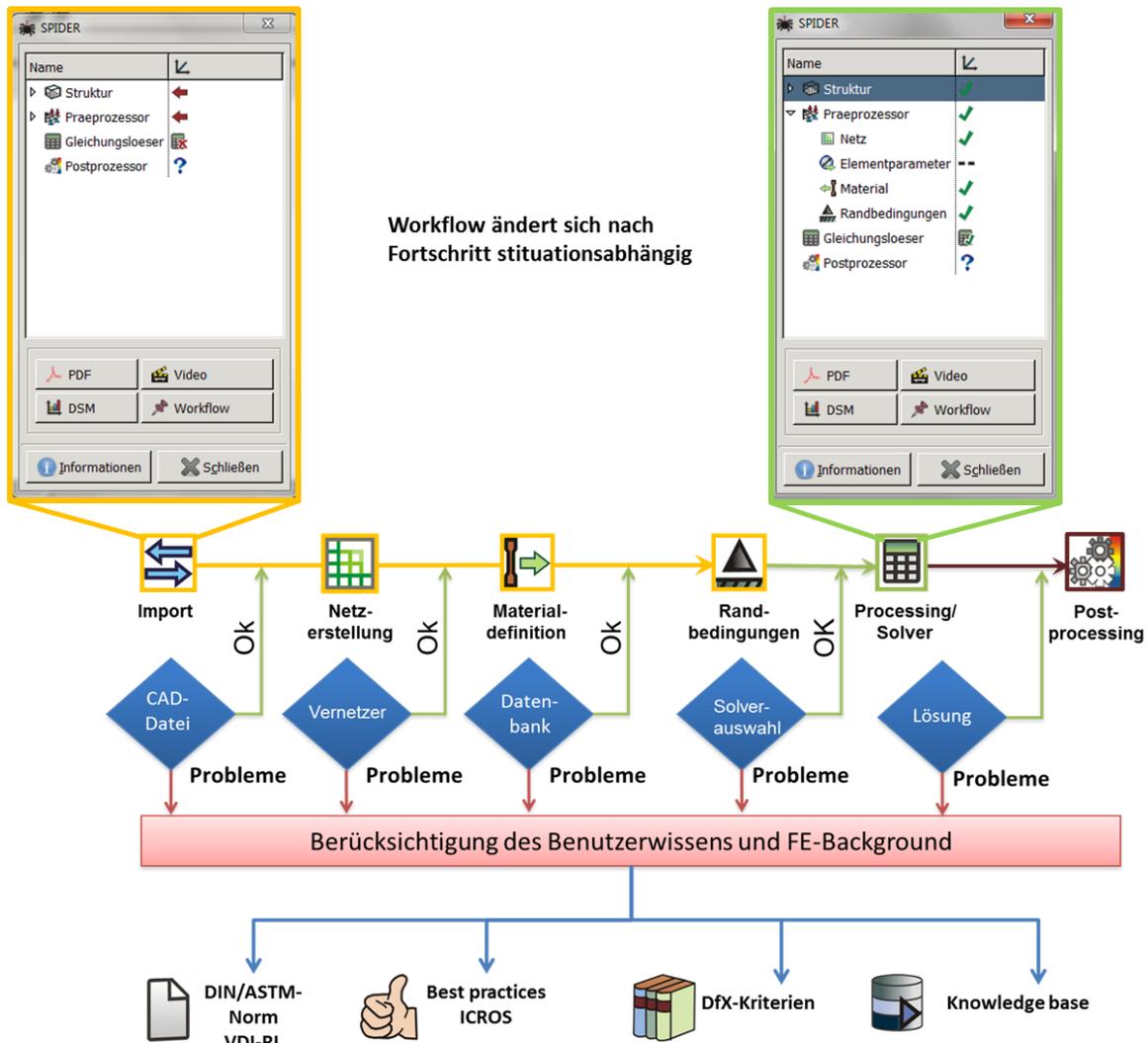


Abbildung 90: Workflowunterstützung Spider in Z88Aurora

Im Kontaktmodul ist die SPIDER-Hilfe nicht verfügbar.

Je nach Benutzerwissen und Vorliebe können zusätzlich zum Ablaufplan Hilfeartefakte in Form von Dokumenten, Design-Structure-Matrizen, Videos etc. zum jeweiligen Prozessschritt abgerufen werden:

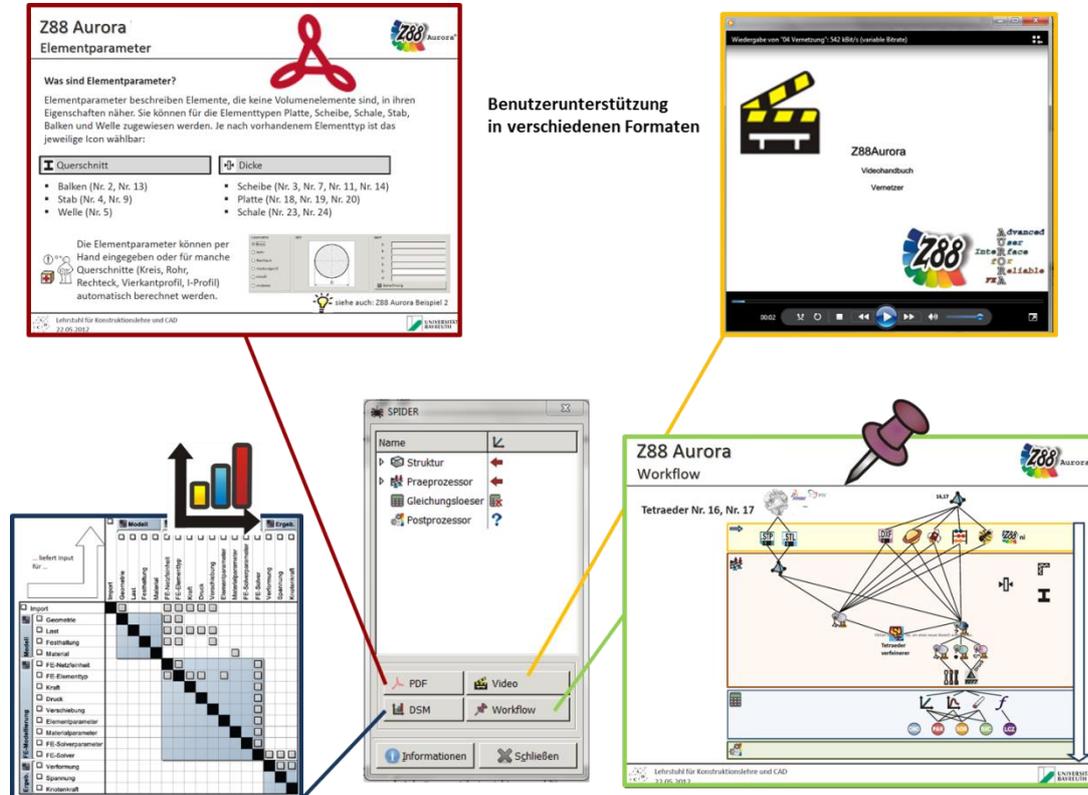


Abbildung 91: Unterstützungsartefakte in SPIDER

Über Z88Aurora

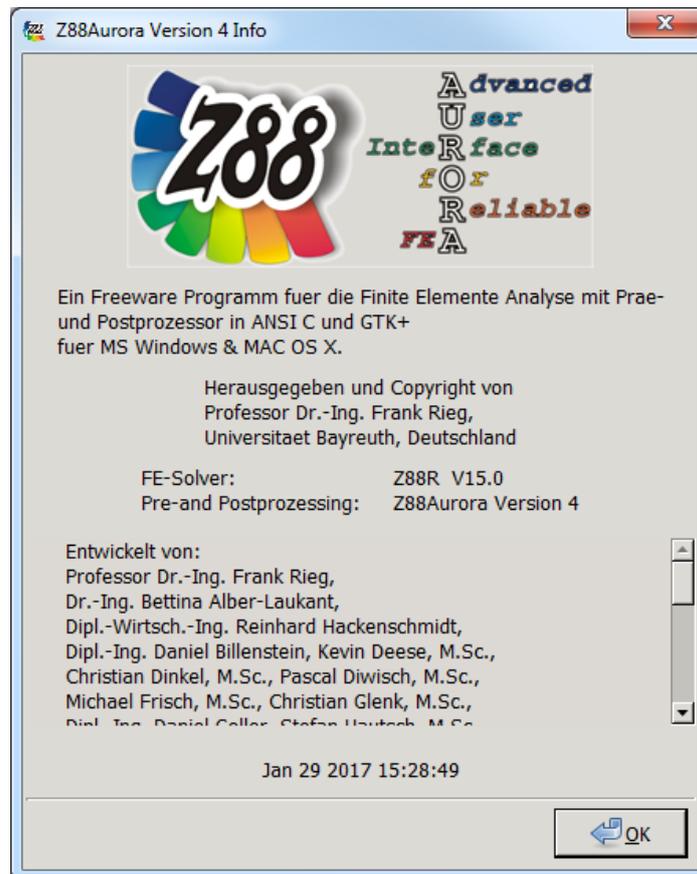


Abbildung 92: Versionsinformation Z88Aurora®

Support

Homepage

Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Homepage <http://z88.de>.

Email

Oder schreiben Sie uns eine E-Mail an: z88aurora@uni-bayreuth.de.

Forum

Unter <http://forum.z88.de> finden Sie ein Benutzerforum, in dem Sie mit den Entwicklern und anderen Anwendern über Z88-Themen diskutieren können.

Social Media

<https://twitter.com/Z88Aurora>

<https://www.facebook.com/Z88Aurora/>



Neuigkeiten rund um die Entwicklung von Z88Aurora®

Alle Rechte auf Vervielfältigung bleiben beim Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD; Autorin: Dr.-Ing. B. Alber-Laukant

7. LITERATUR

- [RHA14] Rieg, F.; Hackenschmidt, R.; Alber-Laukant, B.: Finite Elemente Analyse für Ingenieure. 5. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2014
- [Wehm14] C. Wehmann: *Nichtlineare Finite-Elemente-Analyse für Berechnungen im Maschinenbau. Geometrische Nichtlinearitäten und plastisches Materialverhalten ausgewählter Maschinenelemente*. Dissertation Universität Bayreuth, Shaker Verlag, Aachen, ISBN 978-3-8440-3063-1, 2014