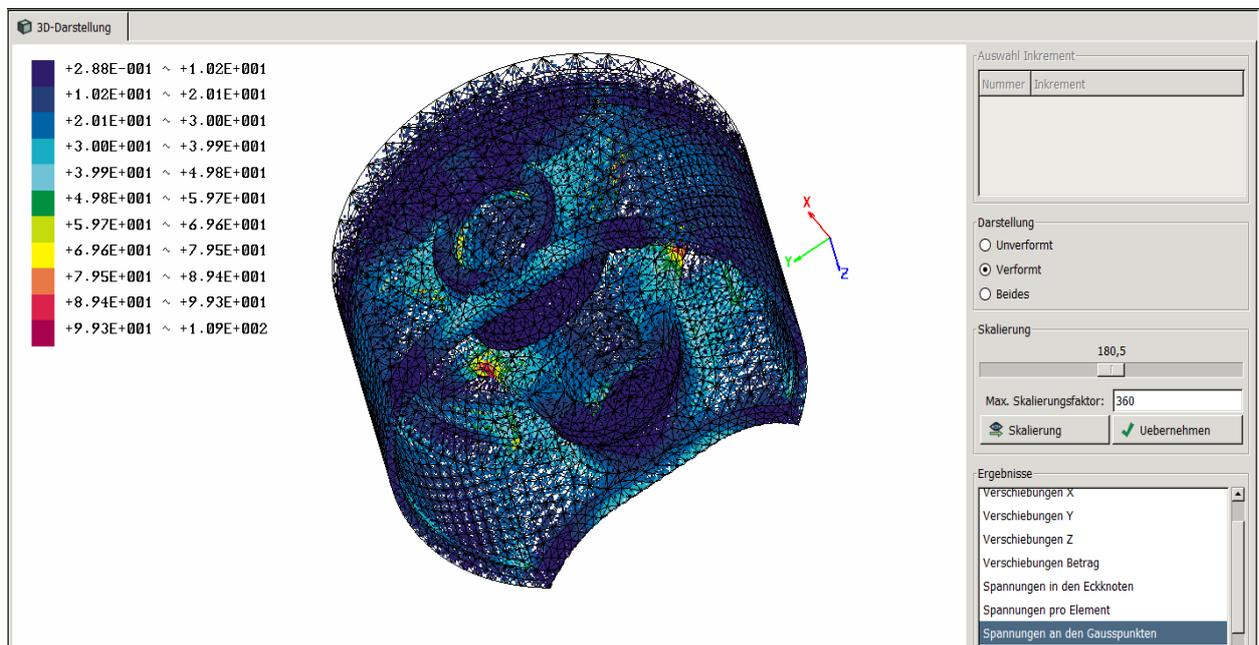




Das Benutzerhandbuch



Version V3



*Eine leicht bedienbare Oberfläche für Z88[®]
für alle Windows- (32- und 64-bit),
für Linux- und Mac OS-X Computer (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; Kevin Deese, M.Sc.;

Christian Dinkel, M.Sc.; Pascal Diwisch, M.Sc.;

Michael Frisch, 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; Dipl.-Ing. Florian Nützel;

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

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

Dr.-Ing. Christoph Wehmann; Dr.-Ing. Jochen Zapf;

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

*Alle Rechte bleiben beim Verfasser
Version 3 März 2015*



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 V3

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. Frank Rieg im Jahr 1986 geschaffen, wird aktuell von einem zehnköpfigen Team unter der Leitung von Prof. Rieg an der Universität Bayreuth weiterentwickelt.

Zu dem bisherigen kompakten Z88, welches momentan in der 14. Version zur Verfügung steht, wird seit 2009 ein erweitertes Programm Z88Aurora angeboten. Z88Aurora basiert auf Z88 und ist für Windows 32-Bit und 64-Bit, Linux 64-Bit und Mac OS X zum freien Download (als ausführbare Datei) verfügbar. Zu den in Z88 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.

Die vorliegende Version Z88Aurora V3 enthält einen erweiterten nichtlinearen Gleichungslöser, 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. Weitere Module wie ein Modul für transiente Analysen und eines für Kontaktanalysen befinden sich in der Entwicklung.

Übersicht der Module:

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 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.

DIE Z88-PHILOSOPHIE AUCH BEI Z88AURORA!

- schnell und kompakt: für PCs entwickelt, kein portiertes Großsystem
- volle 64-Bit Unterstützung für Windows, Linux und Mac
- Native Windows, Linux bzw. Mac OS X - 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)*
- Z88Aurora ist voll kompatibel zu Z88 V14OS. Bestehende Z88 V13 Dateien oder Z88Aurora V1/V2 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 mm/t/N.

Z88Aurora ist ein leistungsfähiges, komplexes Computerprogramm, welches sich noch in der Entwicklungsphase befindet. Derzeit ist nur ein Teil der Funktionalitäten implementiert, daher bitten wir um Verständnis, falls Sie bestimmte Funktionen noch nicht anwählen können, bzw. das Ändern von Parametern im User Interface zum Teil keine Wirkung zeigt.

Inwieweit Z88Aurora sich mit anderen Programmen und Utilities usw. verträgt, ist noch nicht untersucht! Ziel dieser Forschungsversion ist es, Ihnen das grundsätzliche Bedienkonzept des Programms näher zu bringen. Die Entwickler von Z88Aurora sind interessiert, die Software ständig zu verbessern. Vorschläge, Anregungen und Hinweise können an z88aurora@uni-bayreuth.de gesendet werden. Auf der Homepage www.z88.de sind zusätzlich FAQs erhältlich.

SOFTWAREÜBERLASSUNGSVERTRAG

zwischen: Lehrstuhl Konstruktionslehre und CAD, Universität Bayreuth,
Universitätsstr. 30, 95447 Bayreuth, im folgenden „Lizenzgeber“,

und: Ihnen als Anwender.

1. Vertragsgegenstand

Mit Vertragsschluss über den Download der Software wird dem Anwender das einfache Nutzungsrecht an der vertragsgegenständlichen Software eingeräumt, das auf die nachfolgend beschriebene Nutzung beschränkt ist.

mit dem Download erwirbt der Anwender das Recht, die ihm gelieferte Software auf beliebigen Rechnern zu nutzen. Im Übrigen verbleiben alle Urheber- und Schutzrechte an der Software einschließlich der Dokumentation bei dem Lizenzgeber als alleinigem Rechtsinhaber.

2. Einschränkungen

Die Software ist ausschließlich für das Berechnen von Finite-Elemente-Strukturen bestimmt, es wird keine Garantie für die Richtigkeit der Ergebnisse übernommen. Die Erlaubnis zur Nutzung der Software beschränkt sich ausschließlich auf das Ausführen des Programms. Bei der Software handelt es sich um urheberrechtlich geschütztes Material. Die Software darf nicht modifiziert, dekompiert oder durch Reverse-Engineering rekonstruiert werden, es sei denn, dass und nur insoweit, wie das anwendbare Recht, ungeachtet dieser Einschränkung, dies ausdrücklich gestattet. Im Rahmen dieses Vertrags werden keinerlei Rechte zur Nutzung von Marken, Logos oder sonstigen Kennzeichen gewährt. Auch ist es dem Anwender untersagt, Copyrightvermerke, Kennzeichen/Markenzeichen und/oder Eigentumsangaben des Herausgebers bei Programmen oder am Dokumentationsmaterial zu verändern oder zu entfernen.

3. Weitergabe

Eine Weitergabe der Software an Dritte ist zulässig, soweit jene diese Lizenzvereinbarungen akzeptieren und die Software in ihrem Originalzustand weitergegeben wird. Die Software darf nicht gegen Gebühren irgendwelcher Art vertrieben werden außer zum Selbstkostenpreis. Die Veröffentlichung der Software in anderen Medien als dem Internet bedarf der Genehmigung des Lizenzgebers.

4. Haftung

Der Anwender erkennt an, dass Software komplex und nicht vollkommen fehlerfrei ist. Der Lizenzgeber übernimmt für Mängel an der Software keine Gewähr. Eine Haftung des Lizenzgebers ist insbesondere ausgeschlossen in den Fällen, in denen der Anwender die Software zu einem anderen Zweck als der Berechnung von Finite-Elemente-Strukturen verwendet.

5. Laufzeit

Diese Lizenz gilt auf unbestimmte Zeit, solange das Programm zum Download frei gegeben ist. Sie kann vom Anwender durch Vernichtung der Software einschließlich aller in seinem Besitz befindlichen Kopien beendet werden. Ferner endet sie unverzüglich, wenn der Anwender eine Bestimmung des Lizenzvertrages nicht einhält, ohne dass es einer Kündigung seitens des Lizenzgebers bedarf. Bei Beendigung sind die Software sowie alle Kopien davon zu vernichten.

6. Obhutspflichten

Der Anwender ist verpflichtet, im Rahmen der Nutzung der Software alle einschlägigen gesetzlichen Bestimmungen zu beachten.

7. Salvatorische Klausel

Die Unwirksamkeit einer oder mehrerer Bestimmungen dieses Vertrages berührt die Wirksamkeit des Vertrages im Übrigen nicht. An die Stelle einer unwirksamen Klausel sollen die gesetzlichen Bestimmungen treten. Für den Fall einer regelungsbedürftigen Lücke sollen die Vertragsparteien eine Regelung finden, die dem wirtschaftlichen Sinn und Zweck des gesamten Vertrages am ehesten entspricht.

SYSTEMANFORDERUNGEN

- Betriebssysteme: Microsoft® Windows XP, Vista™, Windows 7® oder Windows 8.1®, jeweils 32- und 64-Bit; Linux 64-Bit; Mac OS-X (ab 10.6)
- Grafikanforderungen: OpenGL-Treiber
- Arbeitsspeicher: bei 32-Bit mindestens 512 MB, bei 64-Bit mindestens 1 GB
- Dokumentation und Videos erfordern PDF-Reader, Videoplayer, Browser

INSTALLATION UND ERSTER START VON Z88AURORA

Näheres zur Installation entnehmen Sie bitte dem Installationshandbuch. Zum Starten wählen Sie entweder das Desktopicon  „Z88Aurora V3“ oder öffnen das Programm im Startmenü „Z88Aurora V3“ → „Z88Aurora V3“. Wenn Sie die Desktop- und Startmenüeinträge nicht mit installiert haben, können Sie das Programm über den Windows-Explorer aufrufen: „C:\Z88AuroraV3\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 V3	3
SOFTWAREÜBERLASSUNGSVERTRAG	7
SYSTEMANFORDERUNGEN	8
INSTALLATION UND ERSTER START VON Z88AURORA	8
DOKUMENTATION & HILFE	8
INHALTSVERZEICHNIS	9
1. DIE OBERFLÄCHE IM ÜBERBLICK	12
2. MENÜLEISTEN	12
3.  PROJEKTMAPPENVERWALTUNG	14
3.1  NEUE PROJEKTMAPPE ERSTELLEN	14
3.2  PROJEKTMAPPE ÖFFNEN	15
3.3 PROJEKTMAPPE SCHLIEßEN	16
3.4 PROJEKTMAPPENVERWALTUNG IN DER TEXTMENÜLEISTE	16
3.5  PROJEKTDATEN LÖSCHEN	16
4. ANSICHT	18
4.1 WERKZEUGLEISTEN	18
4.2  KAMERA-EINSTELLUNGEN	20
4.3  FARBEN	20
4.4  DARSTELLUNGEN	20
4.5  ANSICHTEN UND ANSICHTSOPTIONEN	22
4.6  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
4.7  GRÖßE RANDBEDINGUNGEN/ GAUßPUNKTE / PICKINGPUNKTE	24
 <i>Größe Randbedingungen</i>	24

	 Größe Gaußpunkte	24
	 Größe Pickingpunkte	24
5.	 KONTEXTSENSITIVE SEITENMENÜS	25
5.1	 IMPORT VON CAD- UND FE-DATEN	25
	Z88 Versionskompatibilität	25
	Import	26
	Import Textmenüleiste	29
	Werkzengleiste Import	30
	Export Textmenüleiste	30
5.2	 PRÄPROZESSOR	31
	Präprozessor in der Textmenüleiste	31
	Werkzengleiste Präprozessor	32
	 Picking	32
	 Knotenpicking	33
	 Elementpicking	36
	 Flächenpicking	36
	Welche Pickingoption verwendet man für was?	37
	 Setmanagement	38
	 FE-Strukturerstellung: Stäbe/Balken	39
	 Vernetzung	43
	 Netzcheck	45
	 Generierung von Superelementen / Netzgenerator Z88N	46
	 Elementparameter	51
	 Material	55
	 Randbedingungen aufgeben	64
5.3	 SOLVER	69
	Die linearen Solver Z88R und Z88RS	69
	Der nichtlineare Solver Z88NL	71
	Der Thermosolver Z88TH	72
	Der Eigenschwingungssolver Z88EI	72
	Der Solver in der Textmenüleiste	76
	Verfügbare Solvertypen für die jeweiligen Finiten Elemente	77

5.4		POSTPROZESSOR	78
6.		TOOLS	84
6.1		ANALYSE	84
6.2		STL BEARBEITEN	84
6.3		OPTIONEN	86
7.		HILFE UND SUPPORT	88
		<i>Hilfe</i>	88
		<i>Beispiele</i>	90
		<i>SPIDER Support</i>	95
		<i>Über Z88Aurora</i>	97
		<i>Support</i>	97
8.		LITERATUR	98

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.

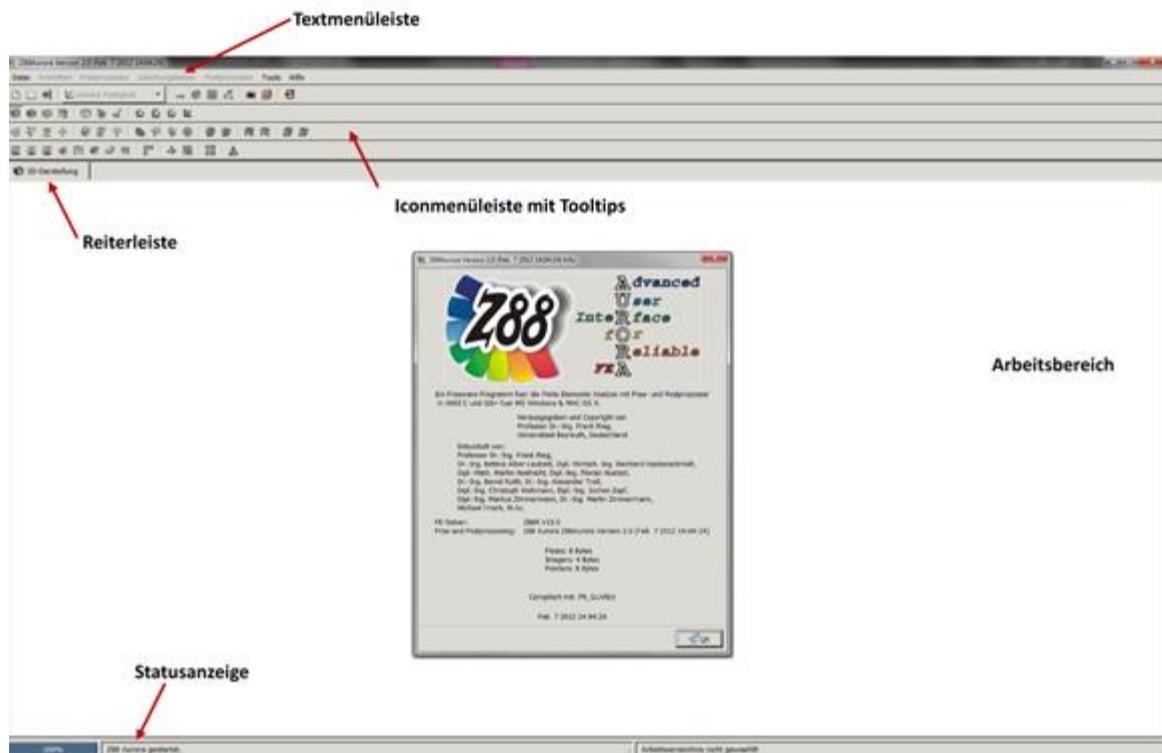


Abbildung 1: Oberfläche von Z88Aurora V3

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 Ansichtsmutationen, Farbeinstellungen, Importoptionen und die Präprozessorfunktionalitäten.

Die vier Hauptfunktionen „Import“, „Präprozessor“, „Solver“ und „Postprozessor“ sind zusätzlich über die F-Tasten (F2-F5) verfügbar.

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.

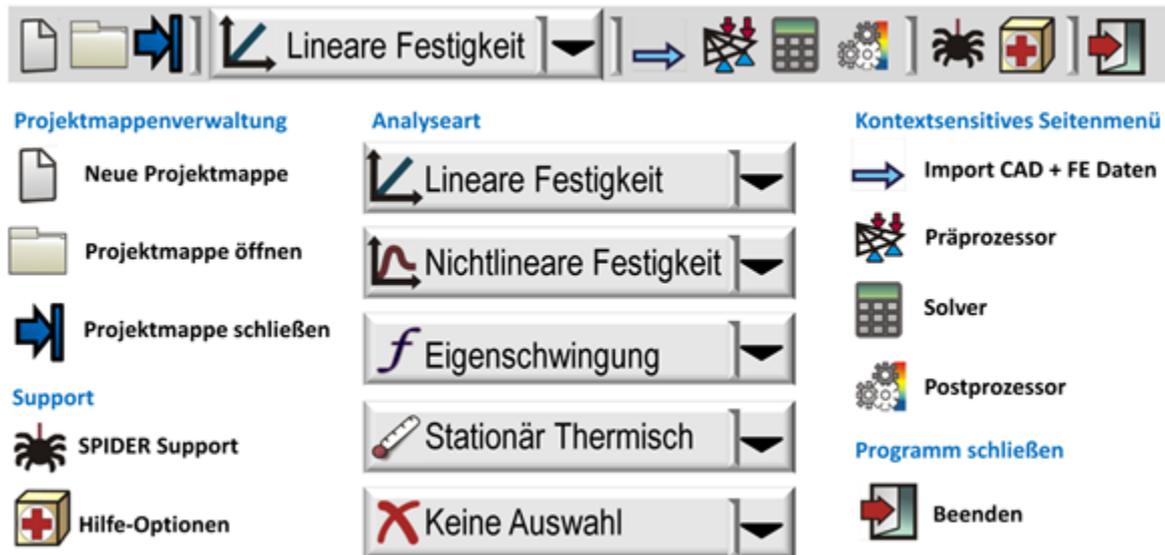


Abbildung 2: Schaltflächen der 1. Toolbar

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

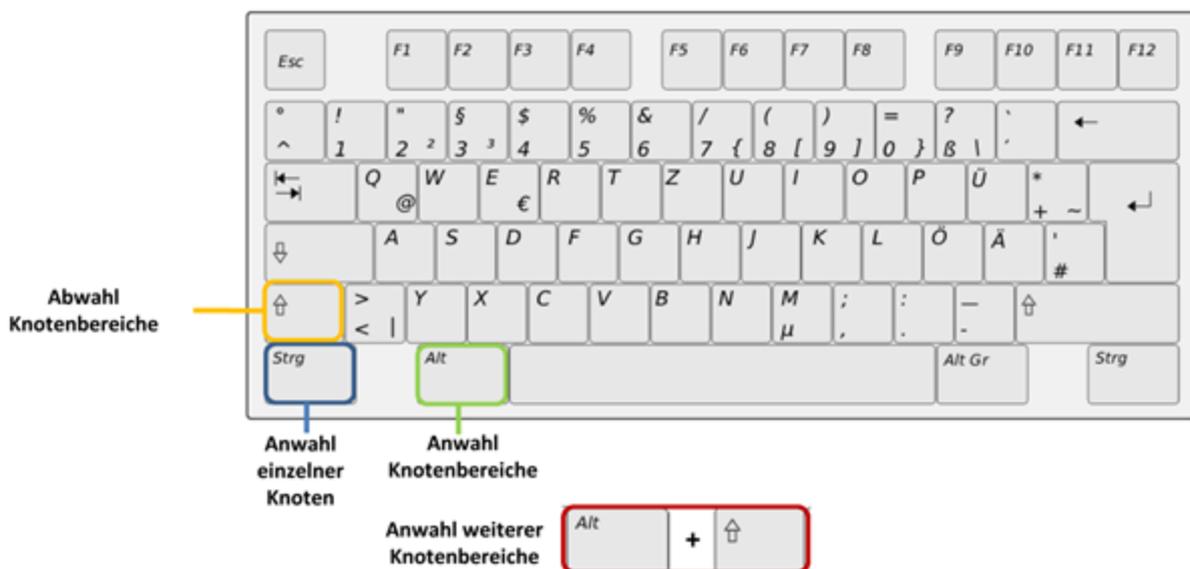


Abbildung 3: Tastaturbelegung

3. PROJEKTMAPPENVERWALTUNG

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.

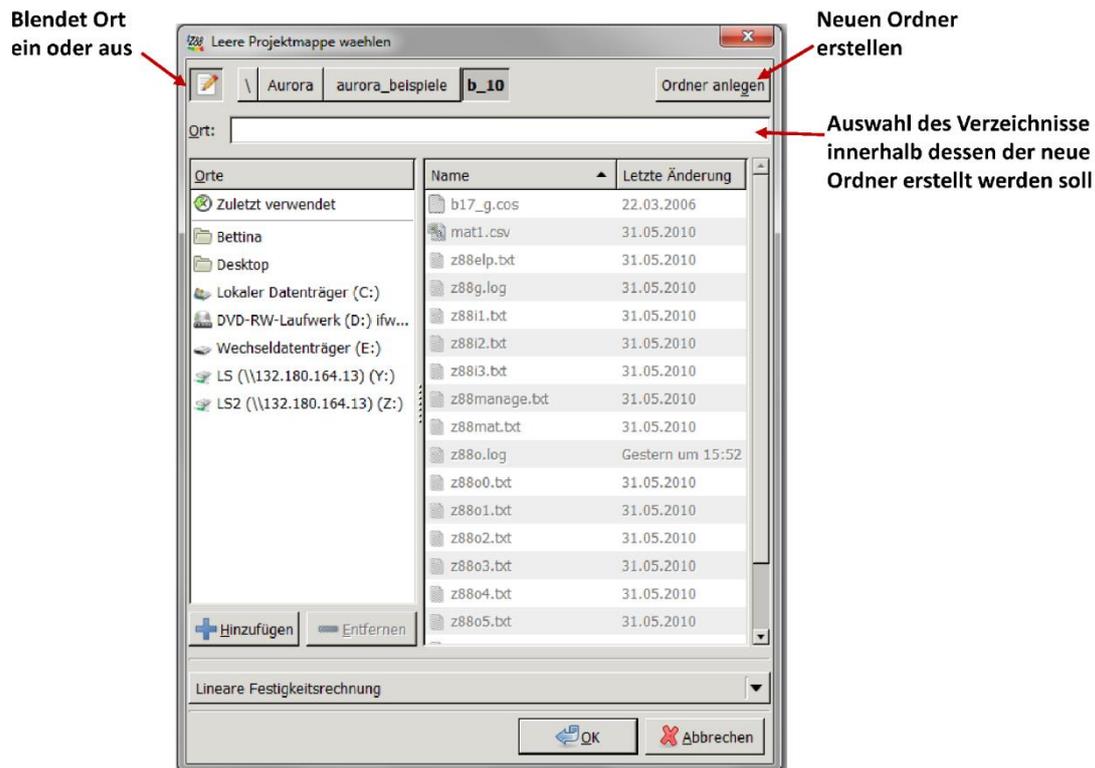


Abbildung 4: Projektmappenverwaltung von Z88Aurora

3.1 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)

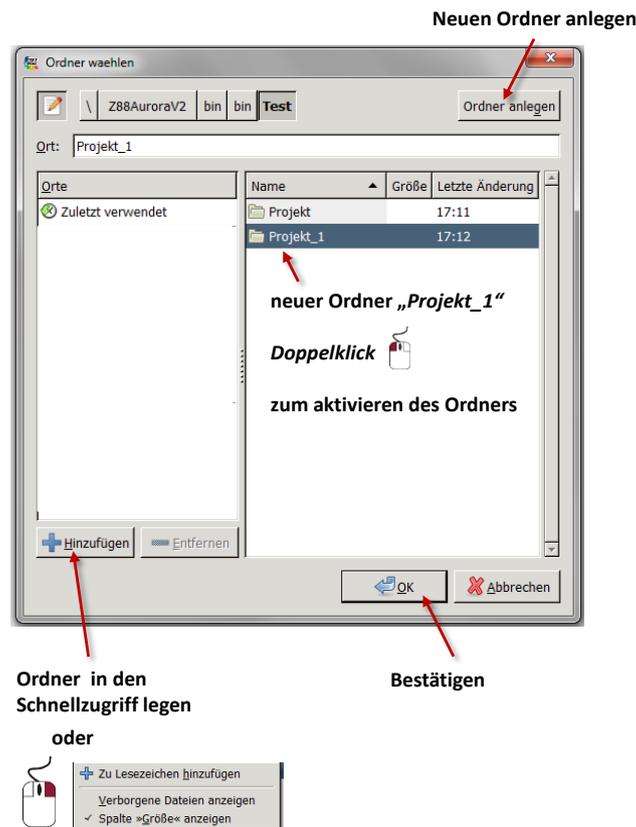


Abbildung 5: Neue Projektmappe erstellen und in den Schnellzugriff legen

3.2 Projektmappe öffnen

⇒ Eine zu öffnende Projektmappe auswählen

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

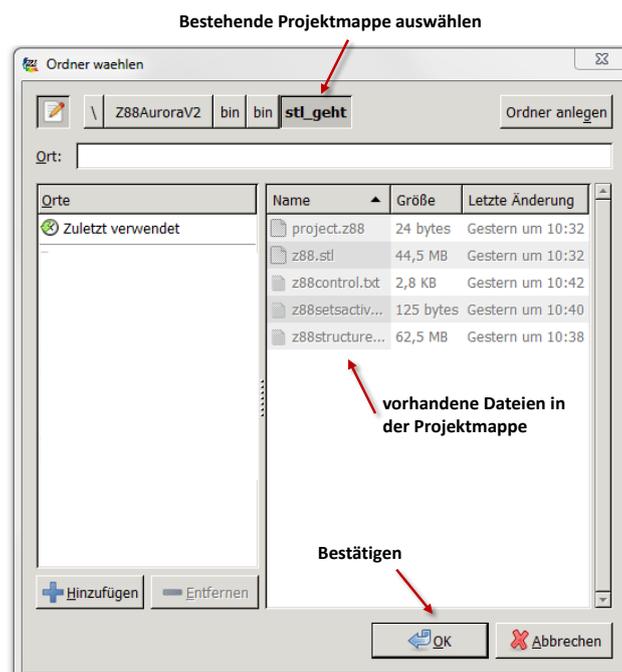


Abbildung 6: Eine bestehende Projektmappe öffnen

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



Abbildung 7: Direkter Projektmappenzugriff

3.3 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!**

3.4 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.

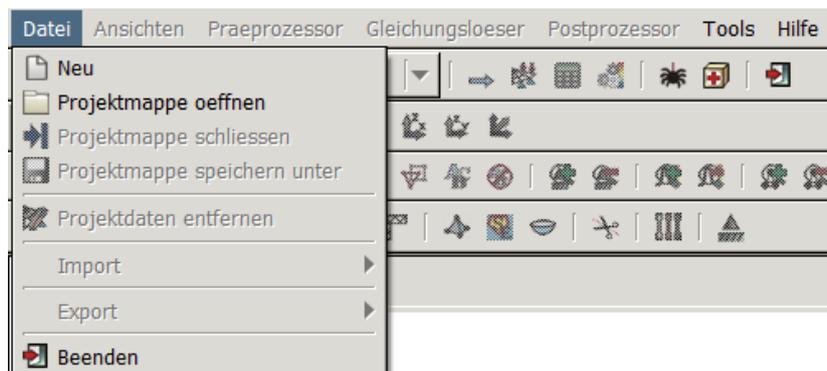


Abbildung 8: Projektmappenverwaltung in der Textmenüleiste

3.5 Projektdaten löschen

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

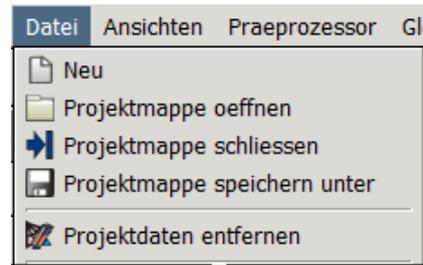


Abbildung 9: Projektdatei entfernen in der Textmenüleiste

4. 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.

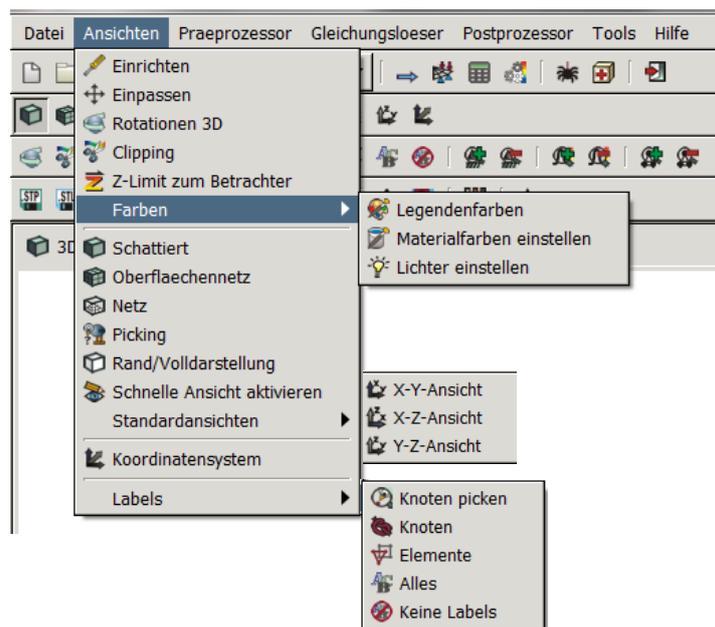


Abbildung 10: Ansichtsoptionen

4.1 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 5 6 7 8 0 9 10 0 11 -1
TOOLBAR 2 1
50 51 52 53 0 54 55 27 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.

4.2 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.

4.3 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.

4.4 Darstellungen

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

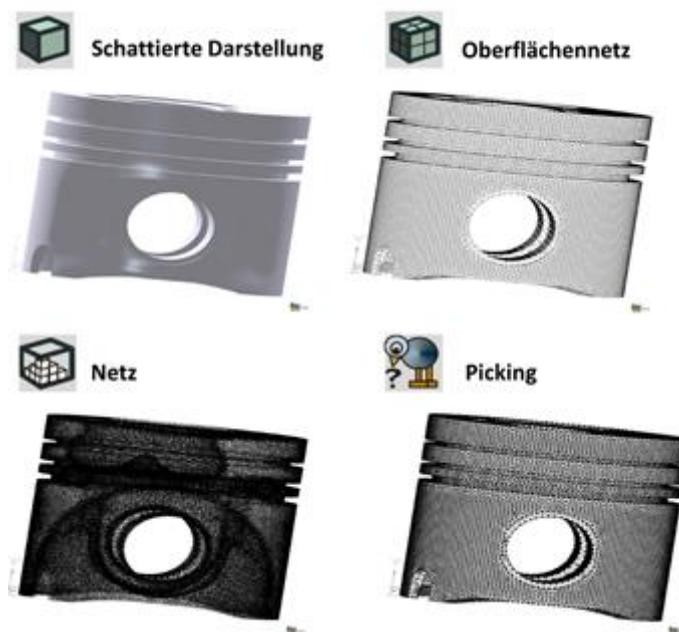


Abbildung 15: Darstellungsoptionen in Z88Aurora

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!**

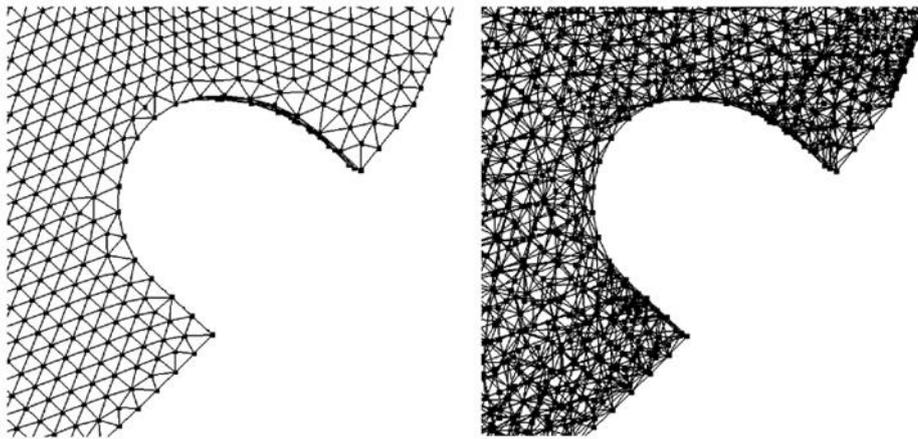
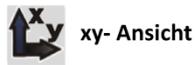
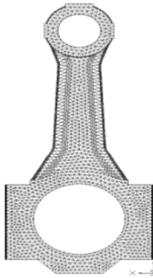


Abbildung 16: Wechsel zur Darstellungsoption "Picking", links Oberfläche, rechts alle Knoten

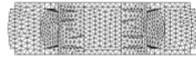
4.5 Ansichten und Ansichtsoptionen



xy- Ansicht



zx- Ansicht



zy- Ansicht



Koordinatensystem anzeigen



Automatisch skalieren

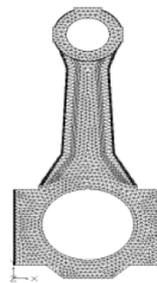
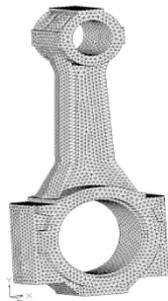


Abbildung 17: Ansichtsoptionen in Z88Aurora

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

4.6 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.

4.7 Größe Randbedingungen/ Gaußpunkte / Pickingpunkte

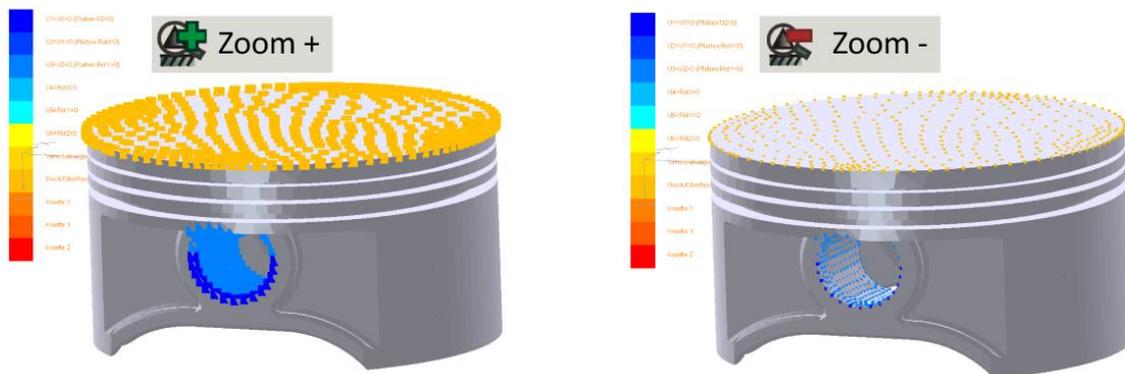
Größe Randbedingungen

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 18).

Groesse Randbedingungen



Groesse Gausspunkte

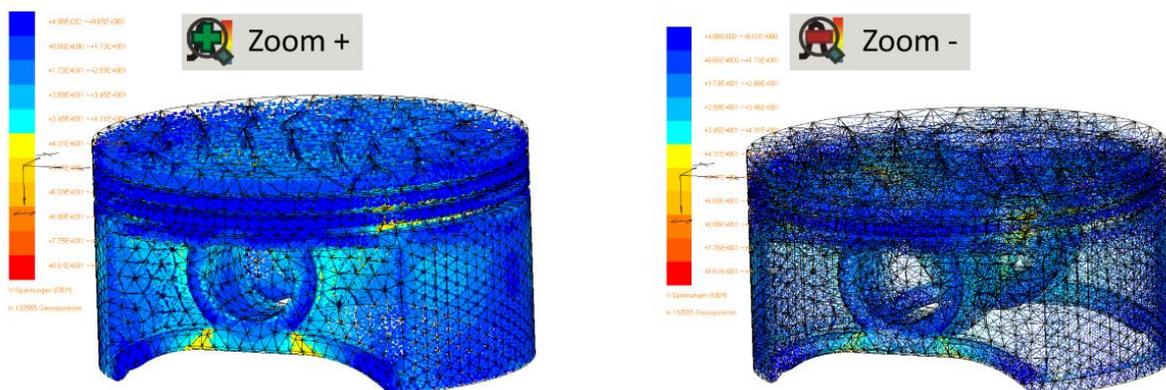


Abbildung 18: Darstellung der Randbedingungen und Gaußpunkte

Größe Pickingpunkte

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

5. 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.

5.1 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 19.

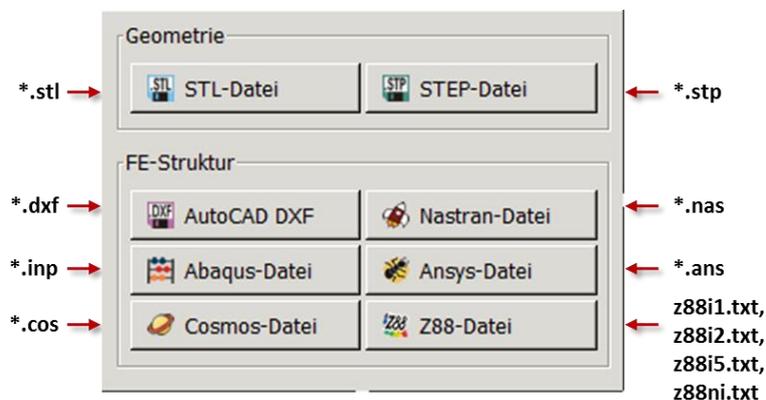


Abbildung 19: Import in Z88Aurora

Z88 Versionskompatibilität

Für Benutzer, die bisher mit Z88V14 OS 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 sowie Z88V13-Dateien können über das

mitgelieferte Migrationstool  Mitoos.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.

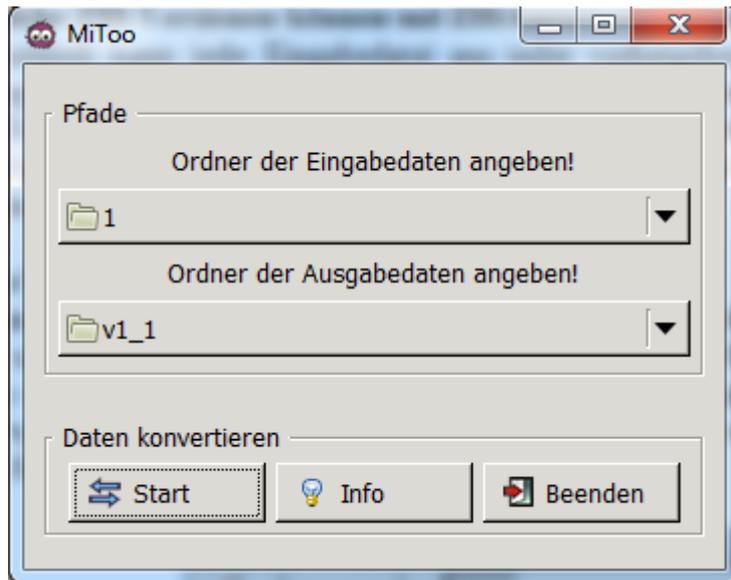


Abbildung 20: Migrationstool Mitoo

Für eine Weiterverarbeitung der Daten in Z88V14OS 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 Z88V14OS 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 21):

⇒ Import anwählen

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

⇒ Datei auswählen

⇒ Klicken Sie OK um die Aktion zu bestätigen 

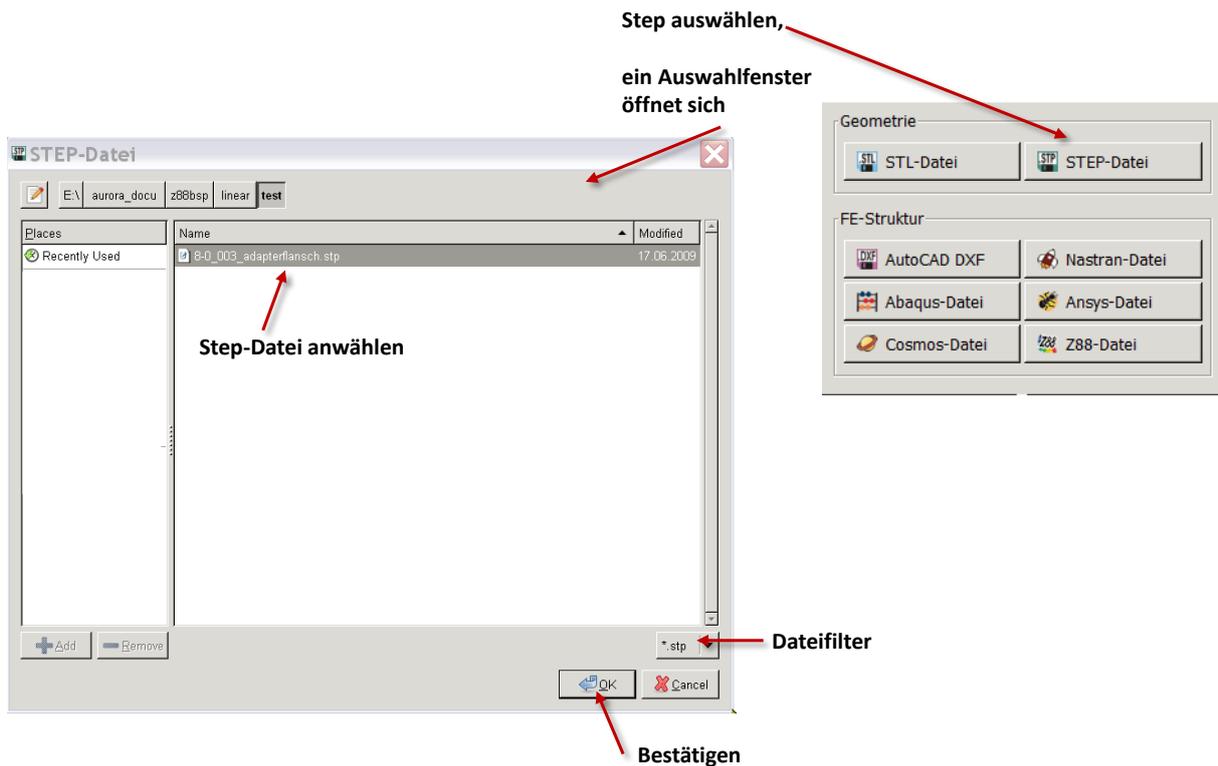


Abbildung 21: Import einer STEP-Datei

- ⚠ 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.

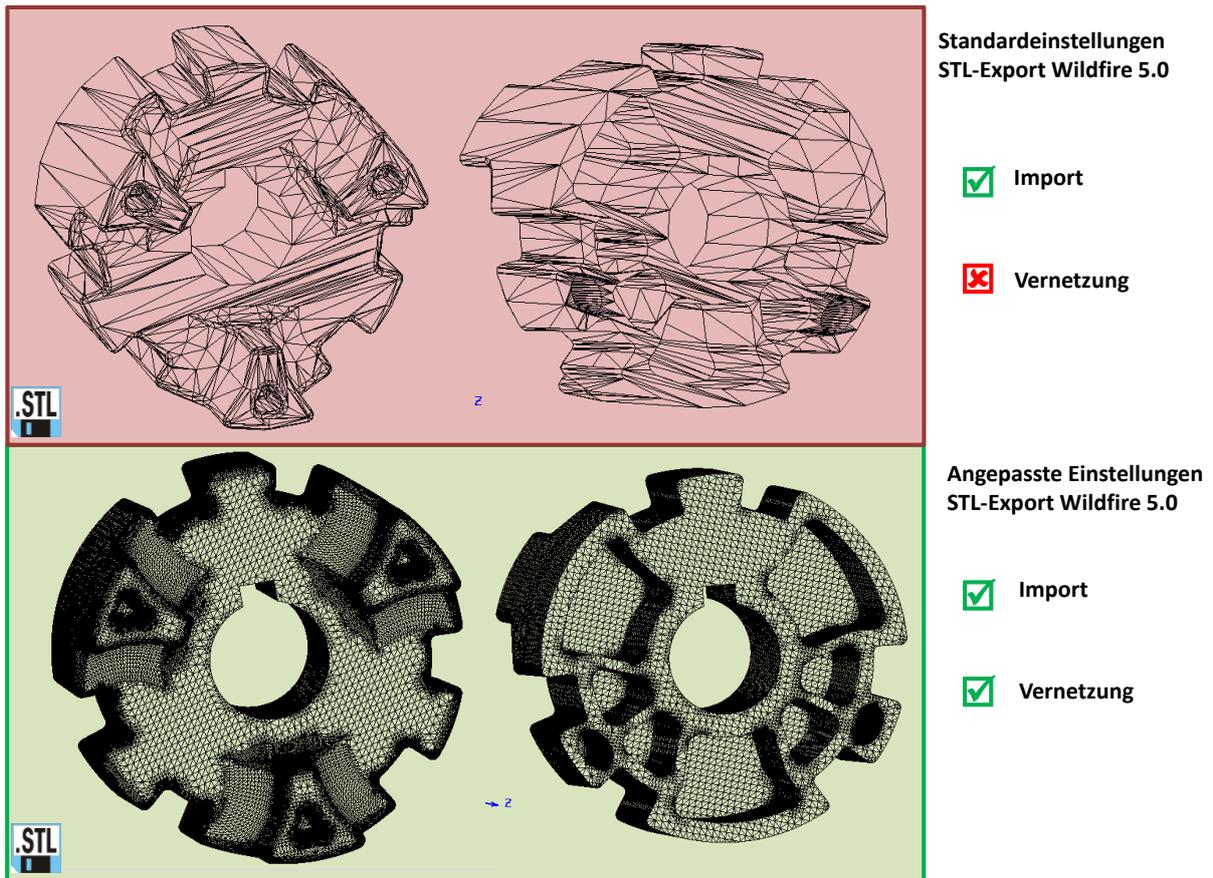


Abbildung 22: Import einer STL-Datei

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 23). Näheres zur Erstellung der AutoCAD-Dateien und deren Vorbereitung siehe Theoriehandbuch, Kapitel 4.1.5.

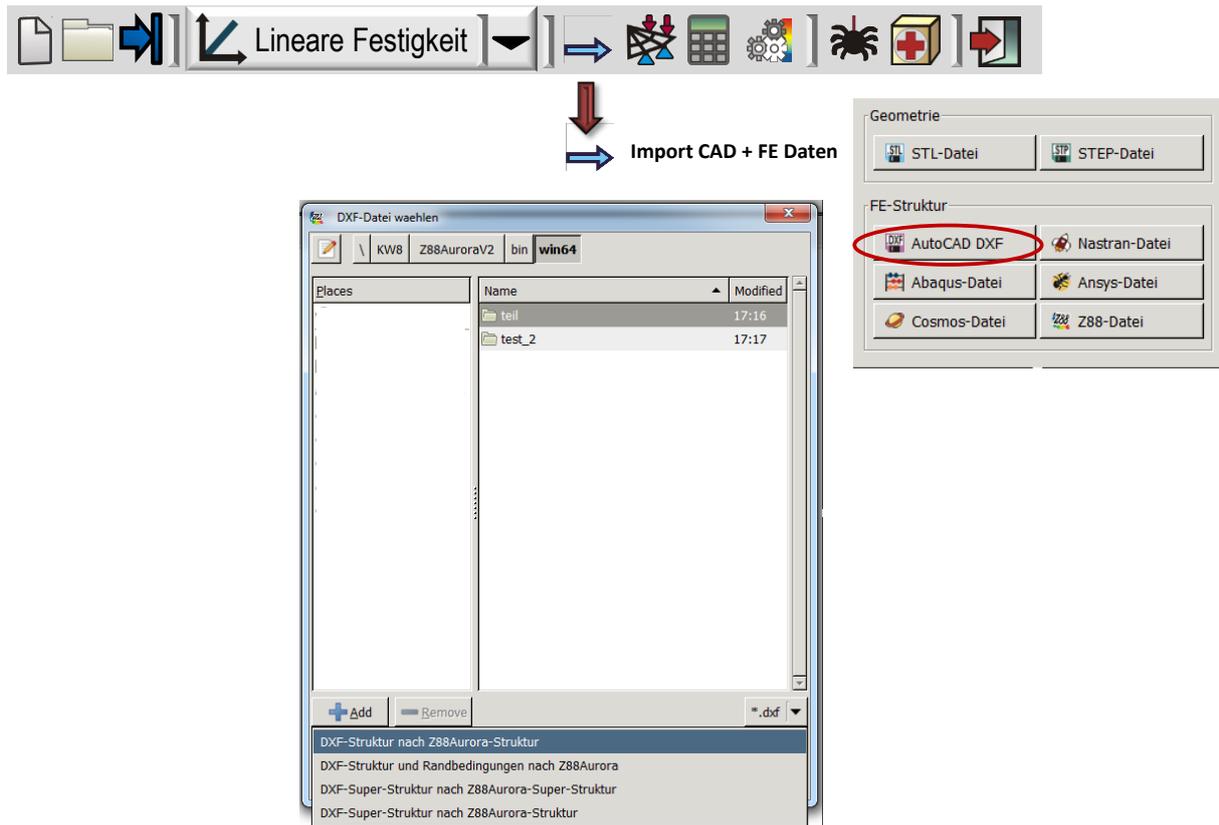


Abbildung 23: Importmöglichkeiten DXF-Struktur

⚠ 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

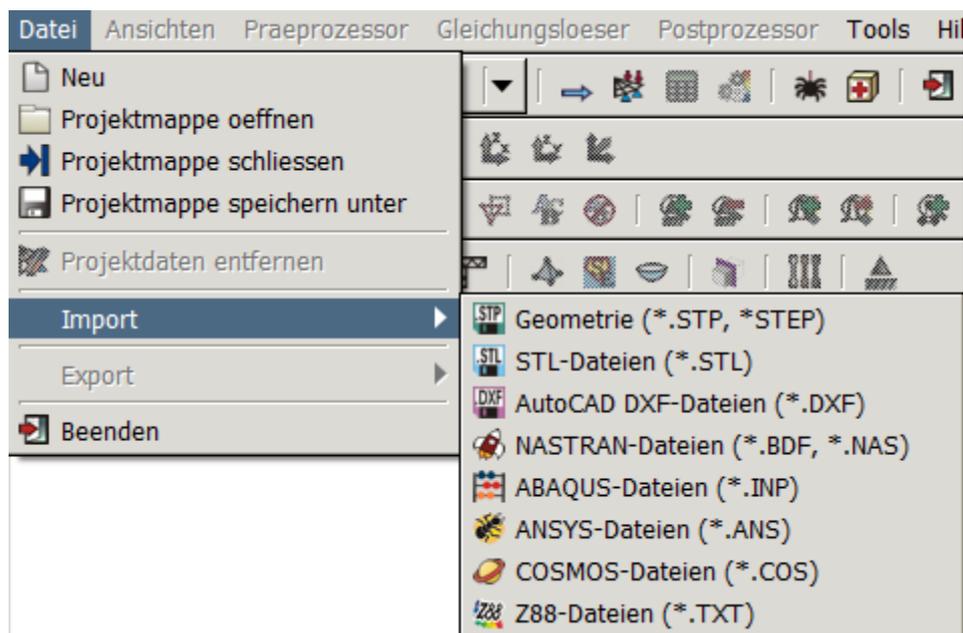


Abbildung 24: Import in der Textmenüleiste

Werkzengleiste Import

Die Werkzengleiste „Import“ ist standardmäßig eingeblendet. Im Menü "Ansichten" unter "Einrichten" bietet sich im Reiter "Werkzengleisten" die Möglichkeit, die Werkzengleiste "Import" abzuwählen.



Abbildung 25: Werkzengleiste Import

Export Textmenüleiste

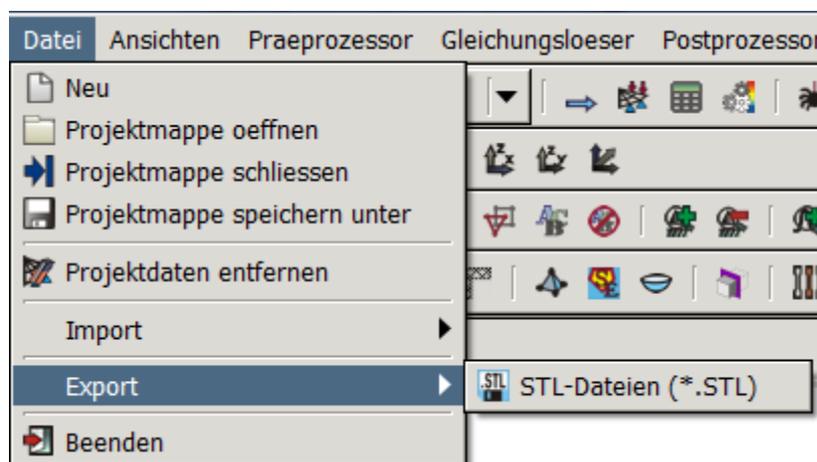


Abbildung 26: Exportmenü

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

5.2 Präprozessor

Beim Klick auf das Präprozessor-Icon öffnet sich das kontextsensitive Seitenmenü „Präprozessor“ (Abbildung 27). 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.

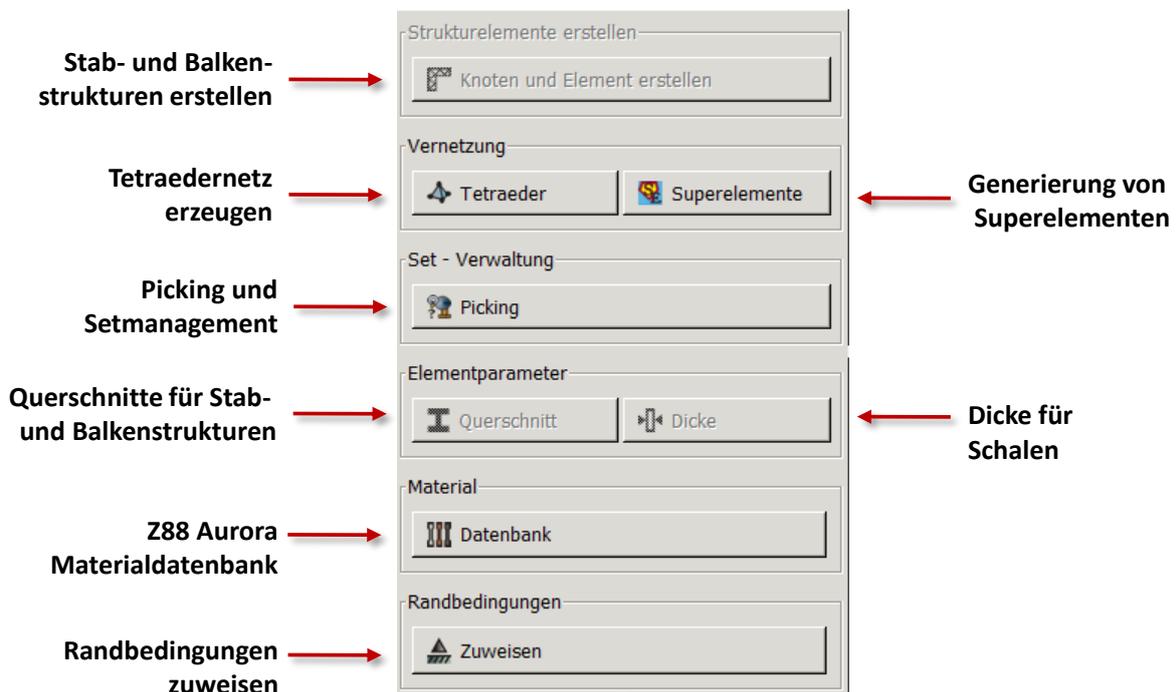


Abbildung 27: Seitenmenü „Präprozessor“

Präprozessor in der Textmenüleiste

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



Abbildung 28: Textmenüleiste „Praeprozessor“

Werkzeuggeste Präprozessor

Im Menü "Ansichten" unter "Einrichten" befindet sich im Reiter "Werkzeuggesten" 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.

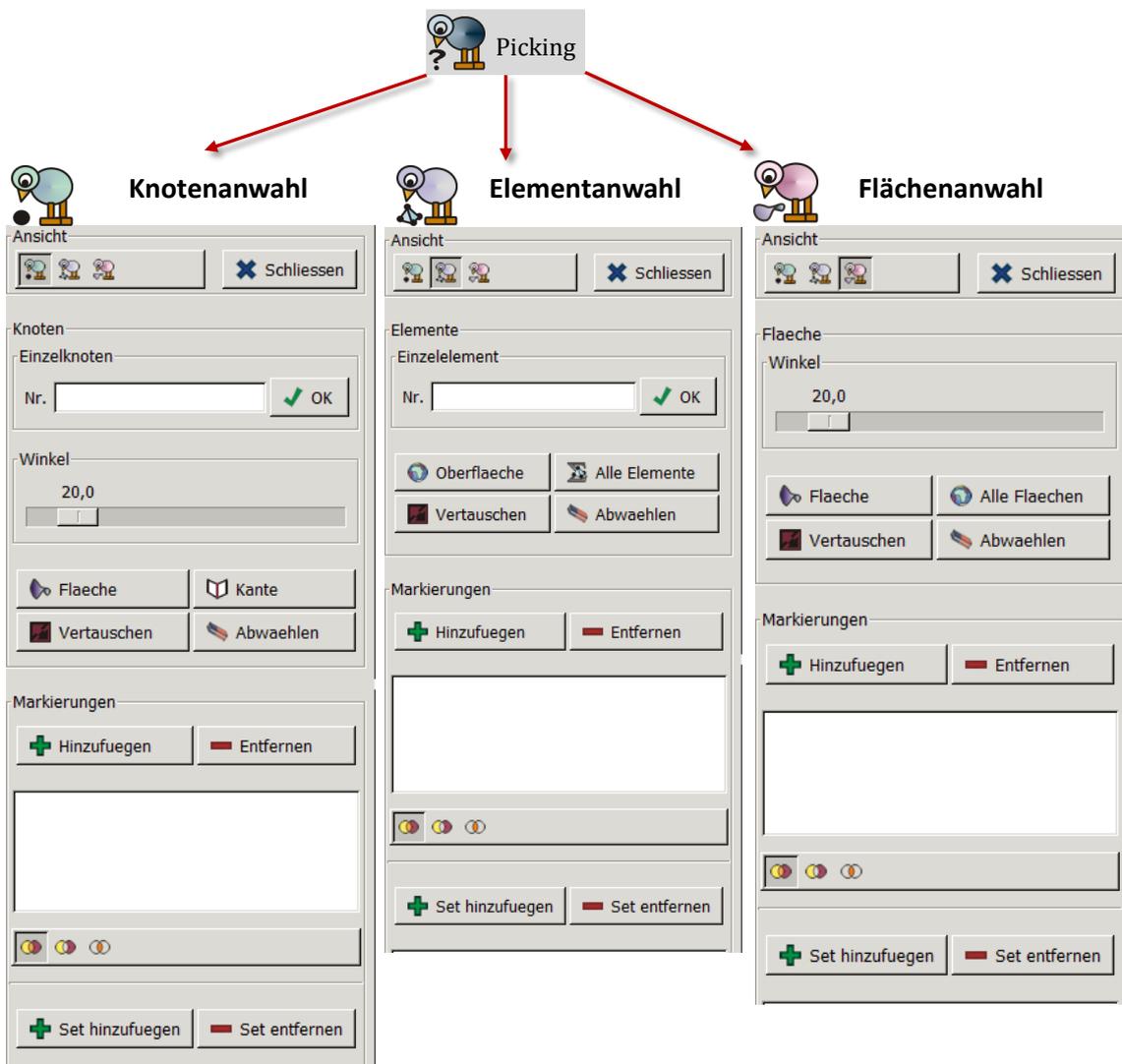


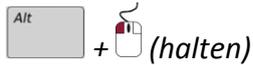
Abbildung 29: Pickingoptionen in Z88Aurora V3

Tastenkombinationen

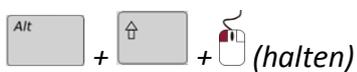
Mit Hilfe der Maus und einigen wenigen Tastaturkürzeln ist es möglich, einzelne oder mehrere Knoten, Elemente oder Flächen „anzupicken“, um die gewünschten Randbedingungen zu definieren:



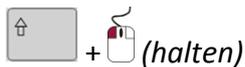
Auswahl einzelner Knoten



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



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 Auswahl erfolgt durch die Tastenkombinationen und direktes Klicken auf die Rechtecke.

Knotenpicking

Das Knotenpicking enthält folgende Funktionen:

- Einzelknoten
- Fläche (funktioniert nicht bei Schalenelementen)
- Kante
- Vertauschen
- Abwählen

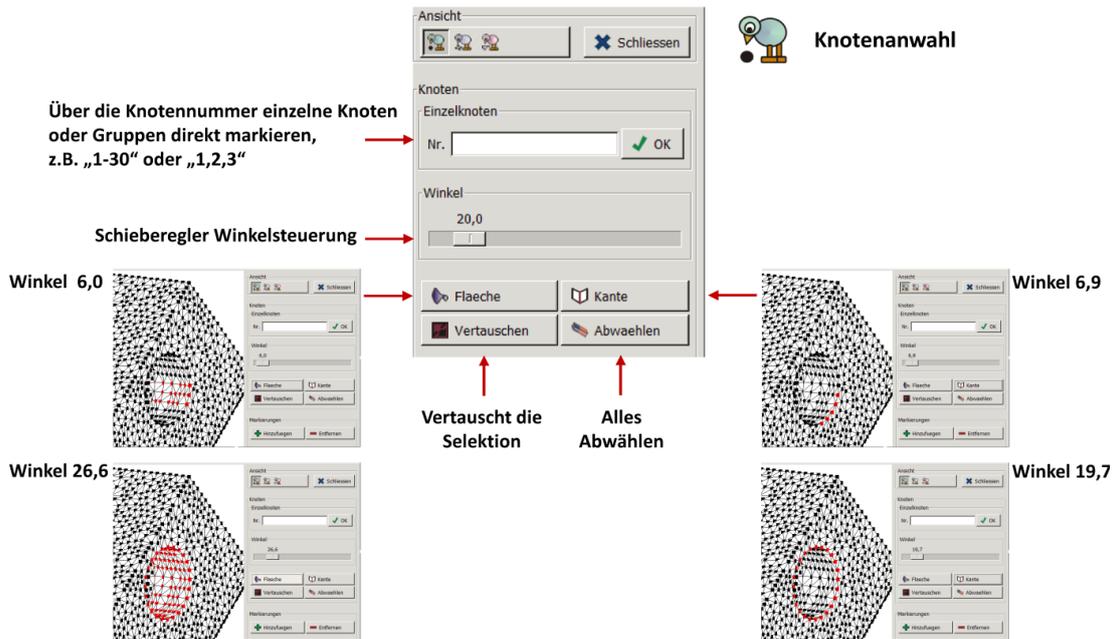


Abbildung 30: Knotenpicking

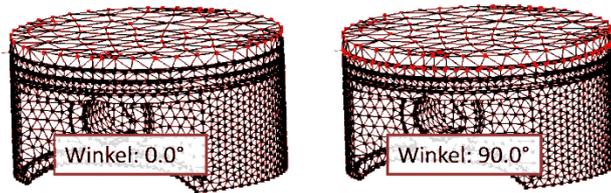
Einzelknoten: Es können sowohl einzelne Knoten über Nummern sowie zusammenhängende Bereiche über die Ziffern markiert werden.

Flaeche: Wenn Sie z.B. die Bohrungsinnenfläche für die Aufgabe von Randbedingungen wählen wollen, können Sie die Funktion „Flaeche“ 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.

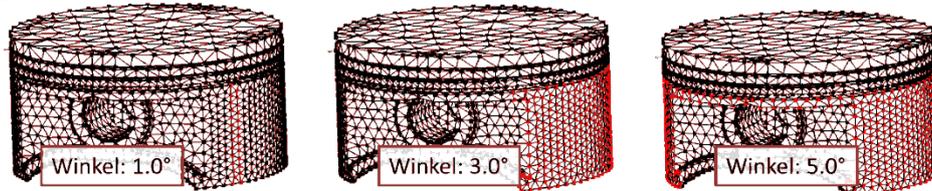
Um die passenden Einstellungen für Ihre gewünschte Fläche herauszufinden, müssen Sie unter Umständen mehrere Werte durchprobieren, bis Sie das gewollte Ergebnis erzielen. Als Richtwerte gelten folgende Einstellungen (Abbildung 31):

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

gewählter Knoten auf ebener Fläche



gewählter Knoten auf gekrümmter Fläche



gewählter Knoten in Bohrung

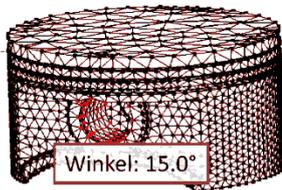


Abbildung 31: Winkeleinstellungen

 **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

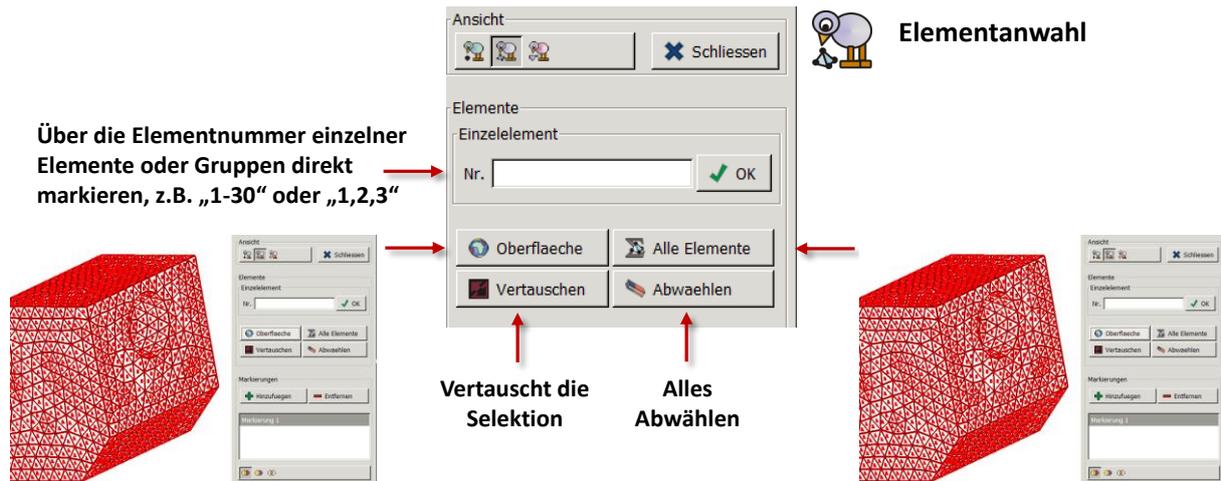


Abbildung 32: Elementpicking

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 Kontinuumselemente 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

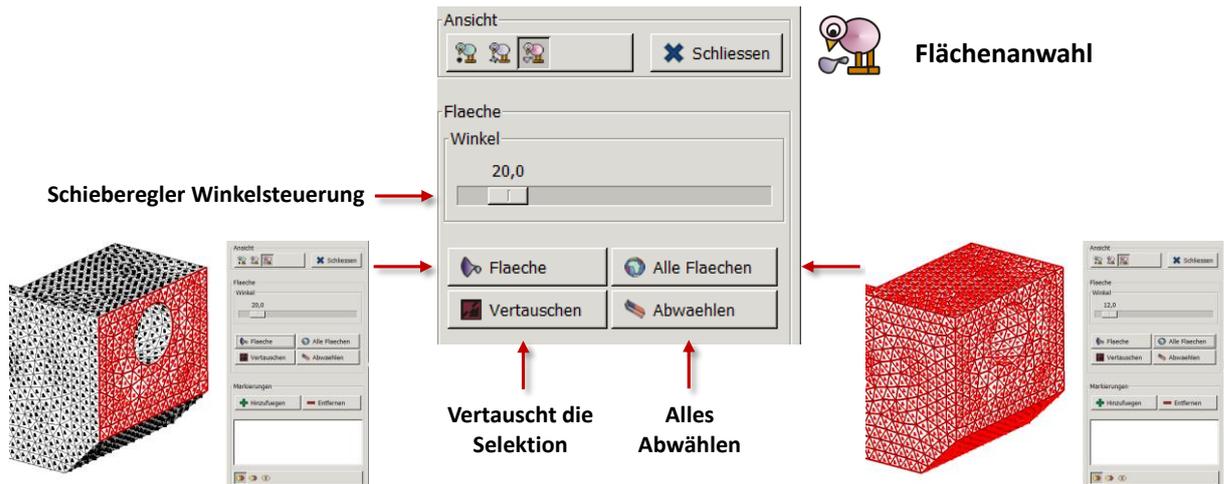


Abbildung 33: Elementpicking

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

Welche Pickingoption verwendet man für was?

Knotenwahl	Elementanwahl	Flächenanwahl
Randbedingungen	Tetraederverfeinerer	Druck Tetraeder, Hexader, Volumenschalen
	Materialzuweisung	
	Lokale Vernetzung Hexaedervernetzer	

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.

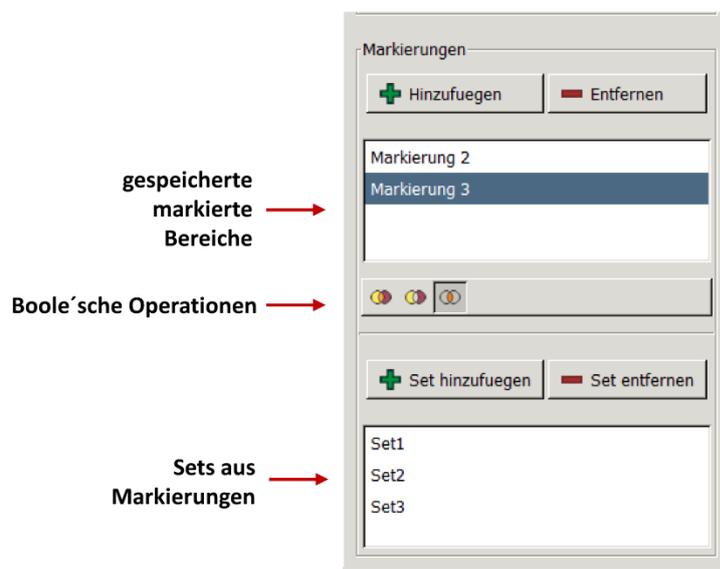


Abbildung 34: Markierungen und Sets im Pickingmenü

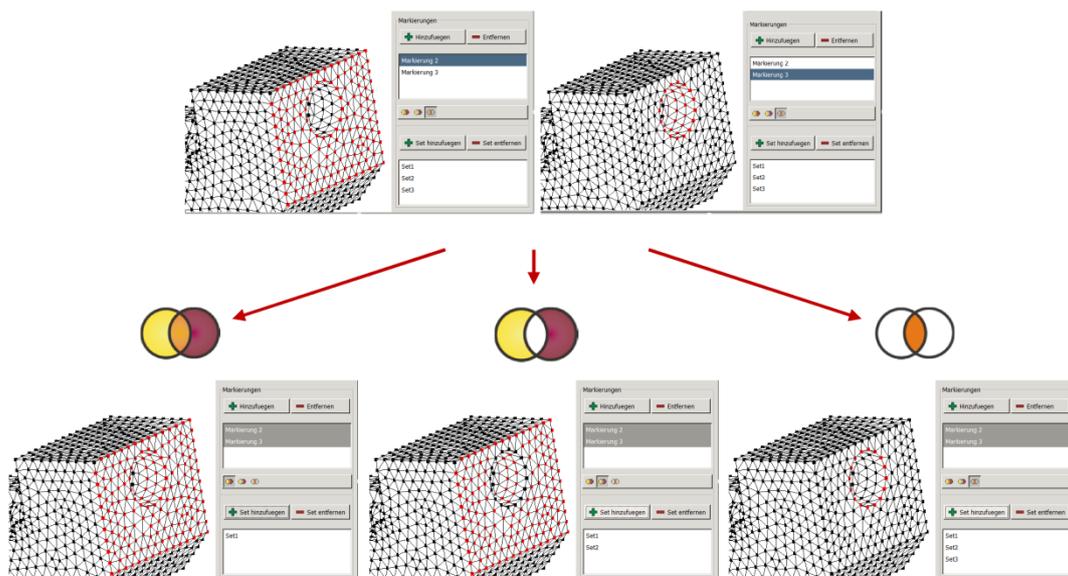


Abbildung 35: Boole'sche Operationen zum Anlegen von Sets aus der Kombination verschiedener Markierungen

FE-Strukturerstellung: Stäbe/Balken

Wie in Z88 V14 OS ist es in Z88Aurora möglich, Stab- und Balkenstrukturen zu erstellen und zu berechnen.

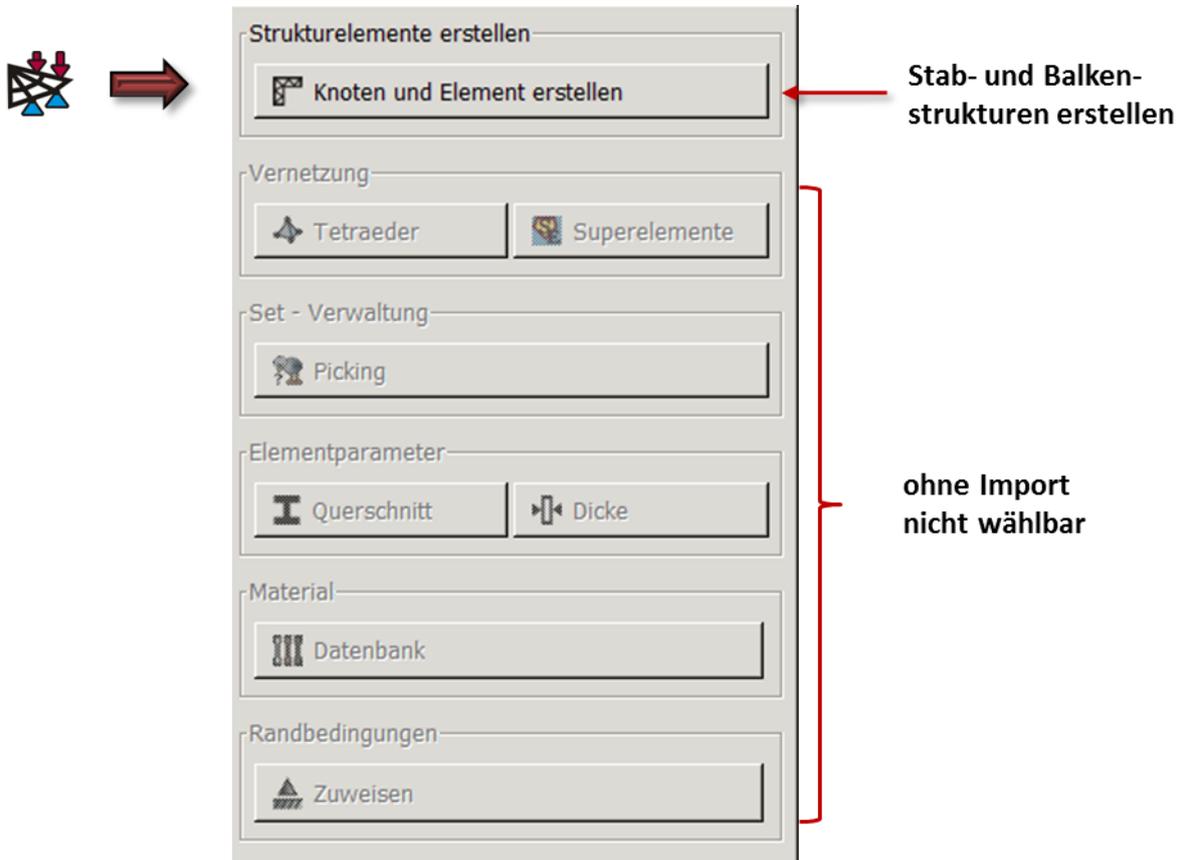


Abbildung 36: Strukturelemente erstellen

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 Z88V14 OS.

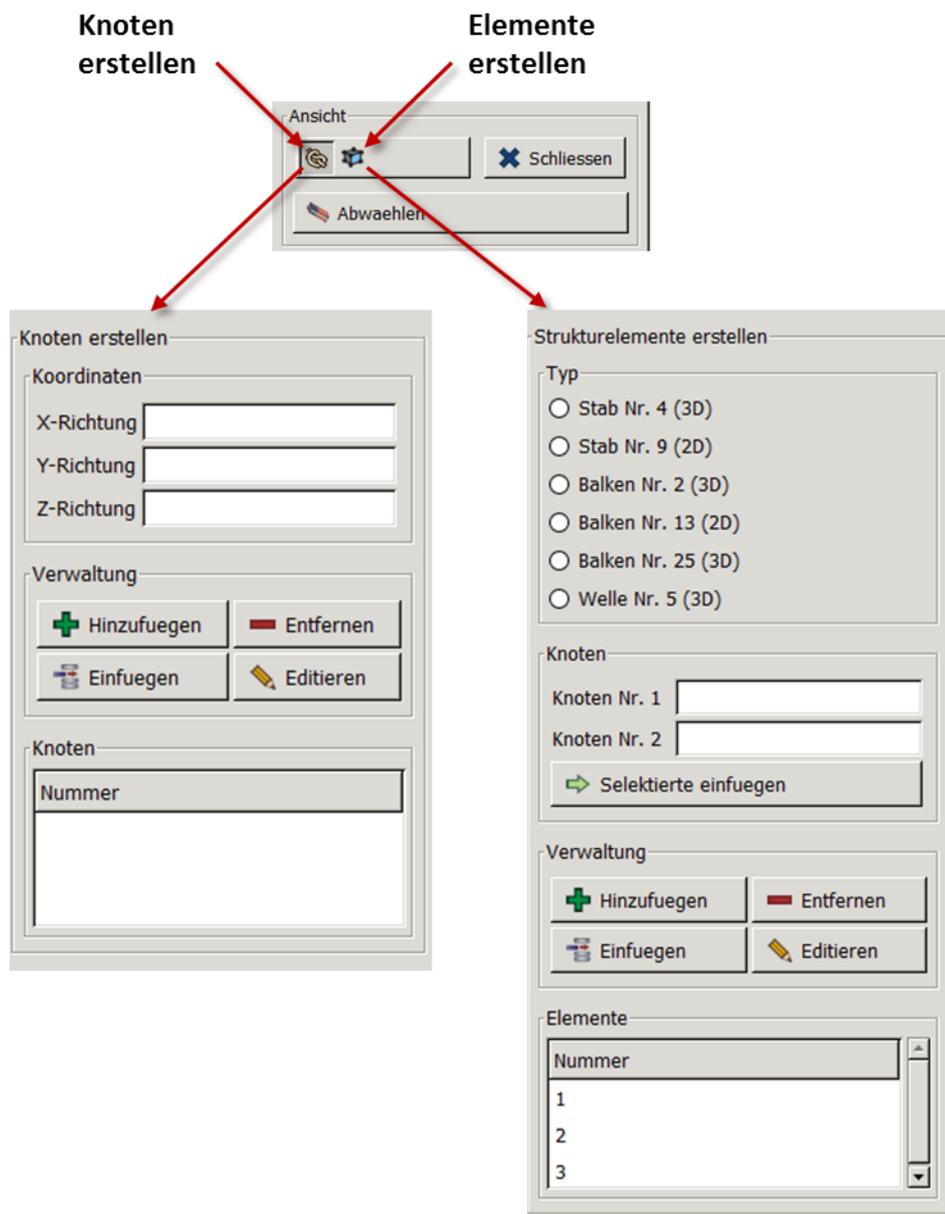


Abbildung 37: Strukturelemente erstellen

 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“

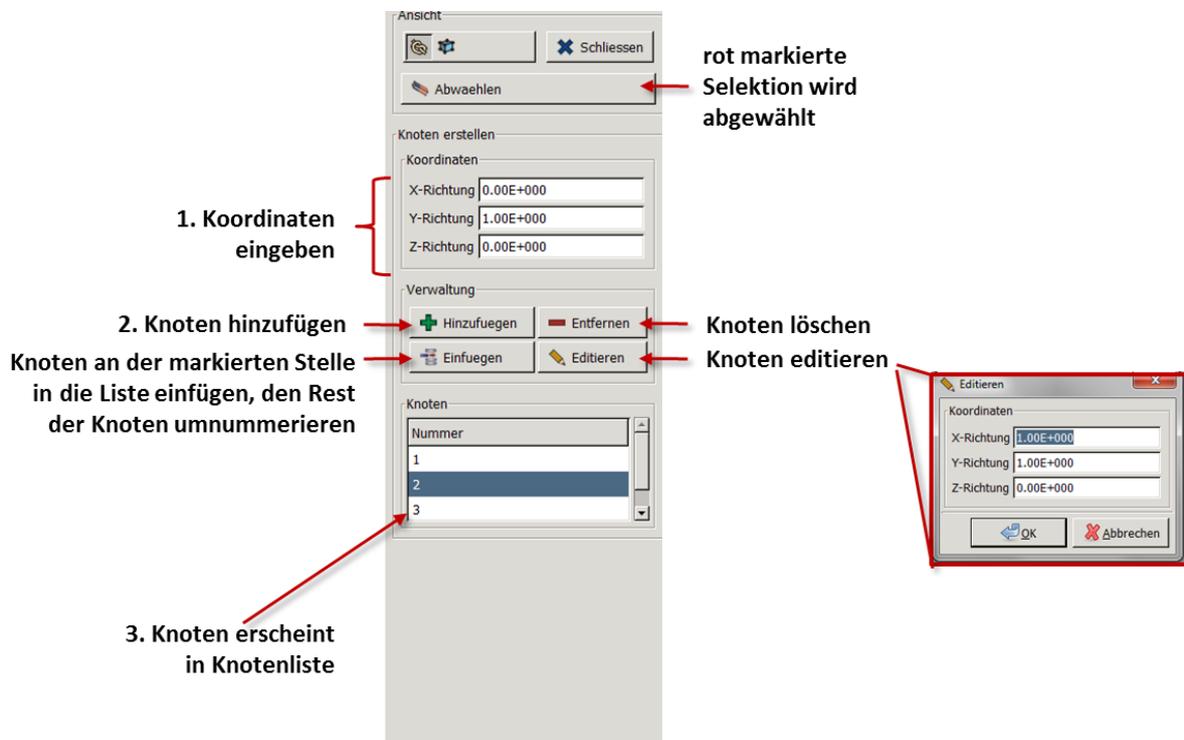


Abbildung 38: Knotenmenü

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.

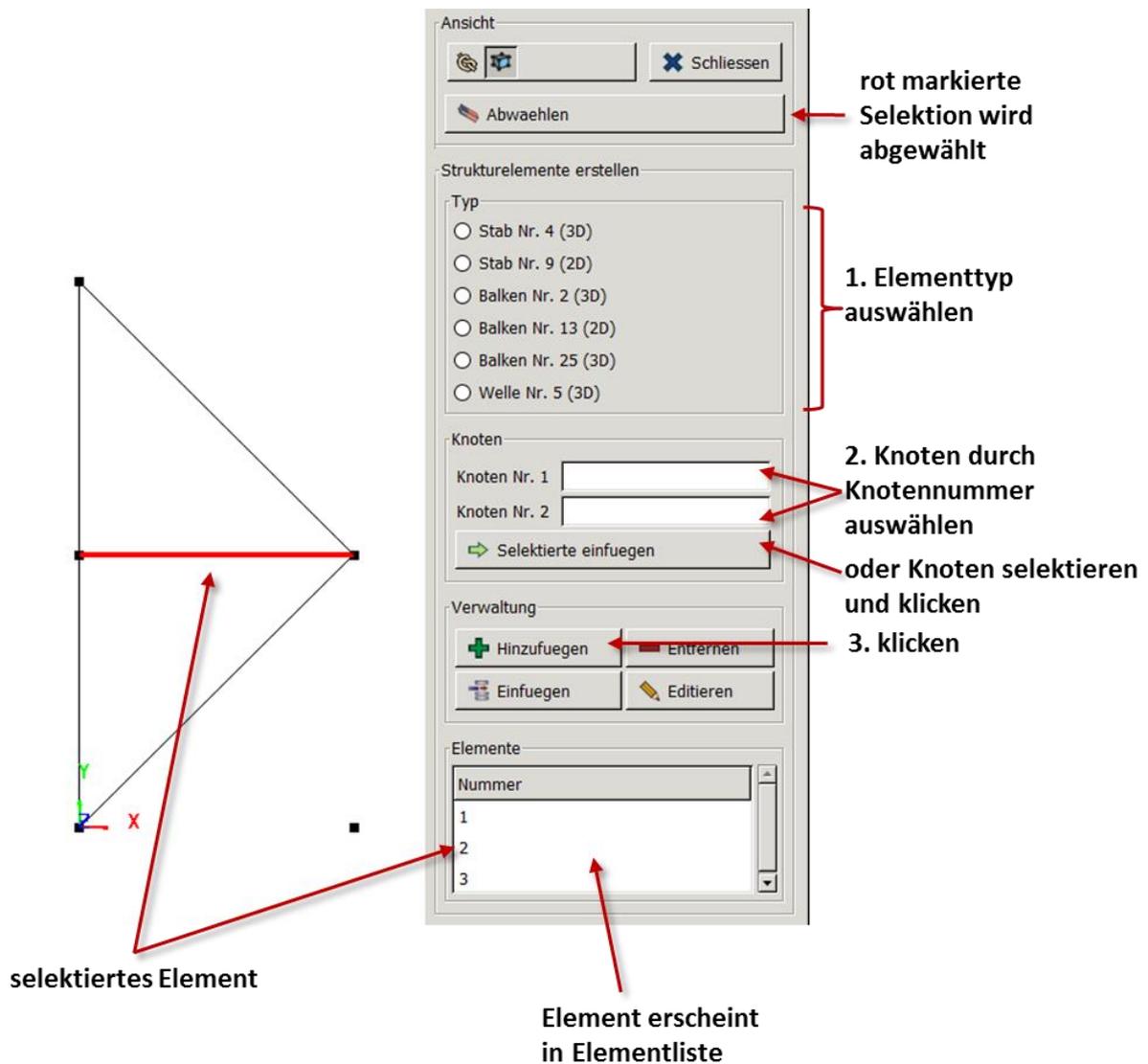


Abbildung 39: Elementemenü

⇒ 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 entweder die Hilfe zu " Elementparameter", " Material" 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.

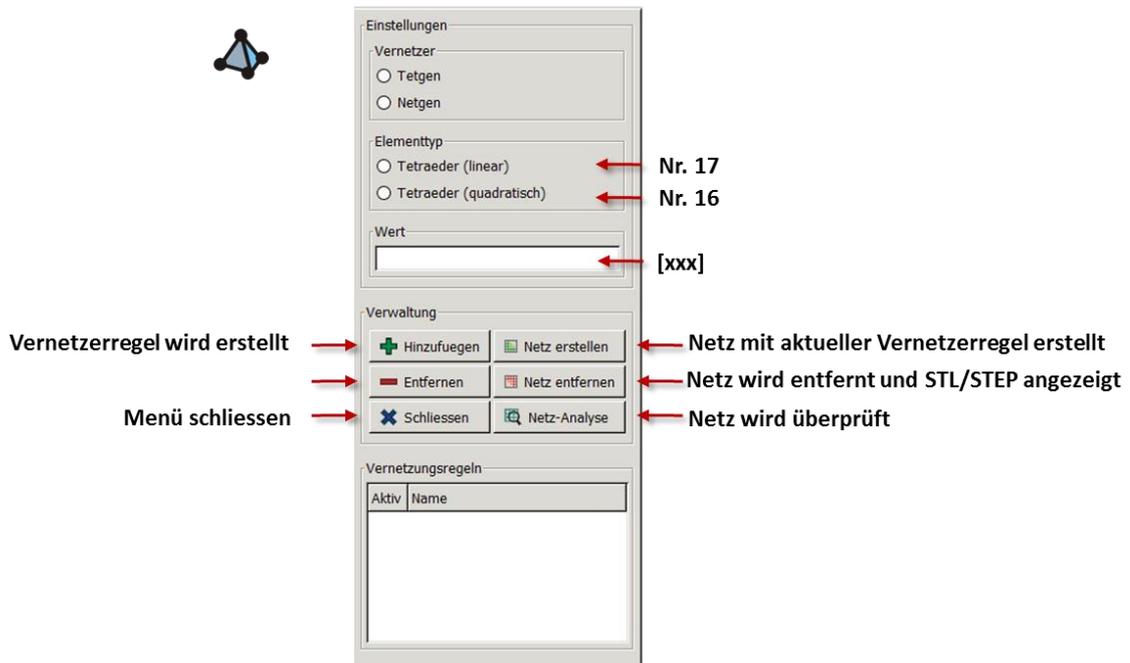


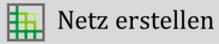
Abbildung 40: Erzeugung von Tetraedernetzen und Optionen TetGen/NETGEN

⇒ TetGen oder NETGEN auswählen

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

⇒ auf  klicken (die Vernetzerregel wird erstellt)

Die Daten der Vernetzerregel können jederzeit wieder angesehen werden.

⇒ danach entweder  oder eine weitere Vernetzerregel verfassen

⇒ mit  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.

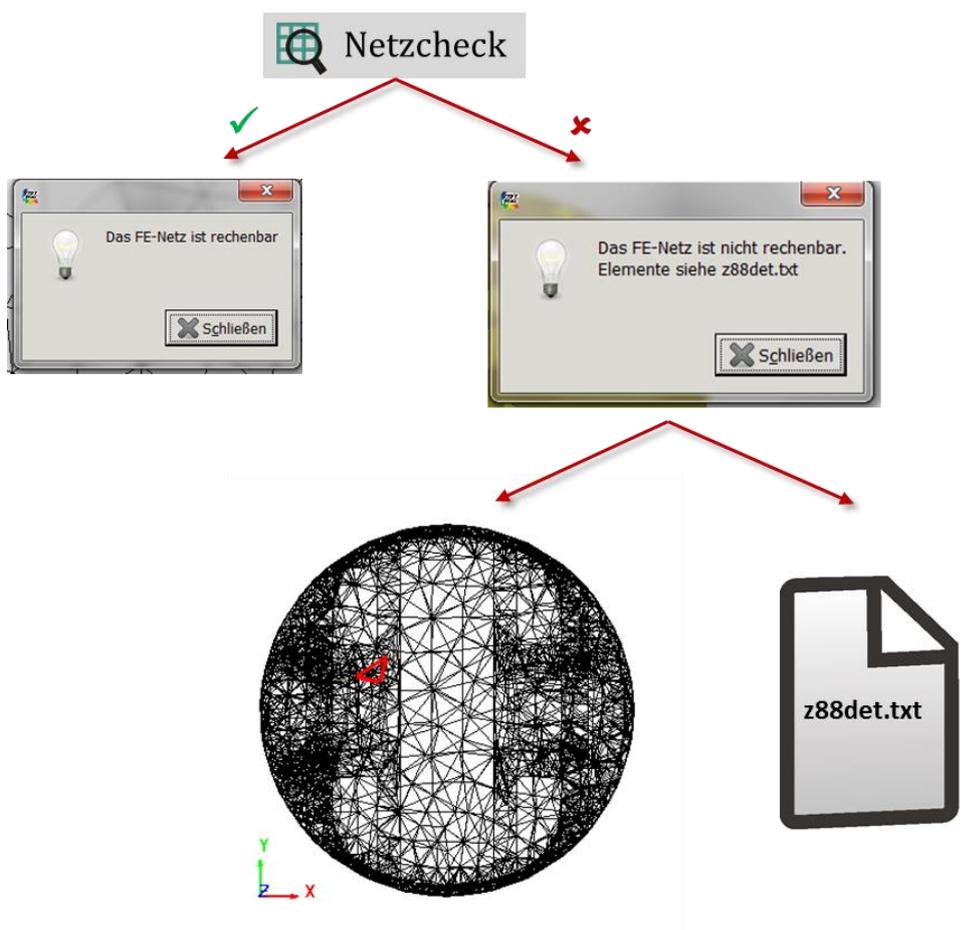


Abbildung 41: Netzcheck

 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.

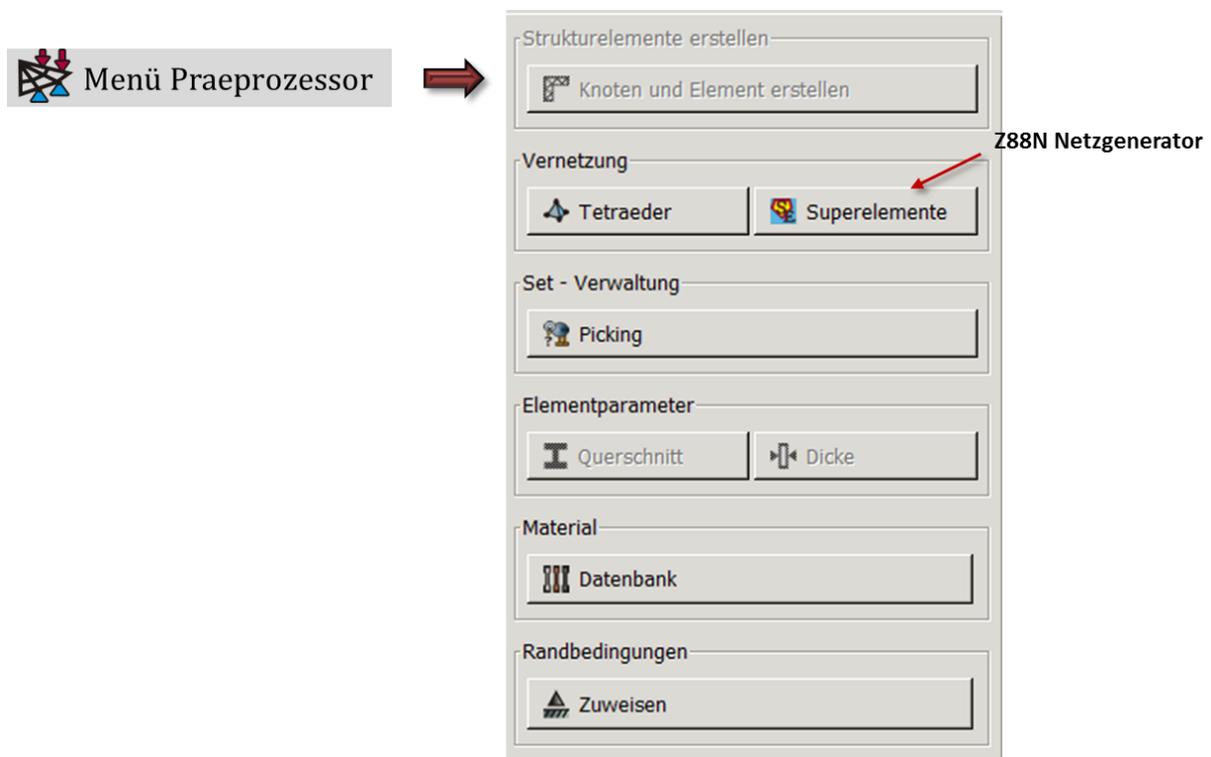


Abbildung 42: Menü "Präprozessor" mit Starticon "Superelemente" des Netzgenerators Z88N

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 Vernetzeregeln 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 → **Hinzufuegen**

Vernetzerregel wird entfernt → **Entfernen**

Menü schliessen → **Schliessen**

Netz mit allen aktiven Vernetzerregel → **Netz erstellen**

Netz wird entfernt → **Netz entfernen**

Netz wird überprüft → **Netz-Analyse**

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

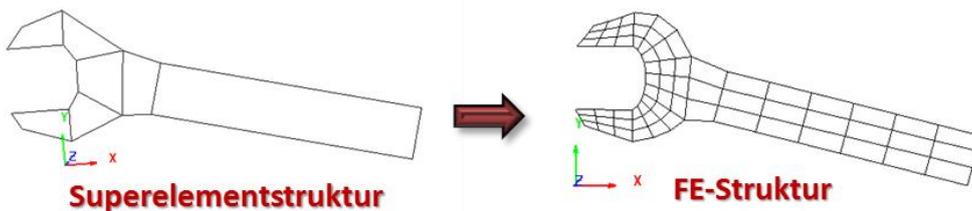


Abbildung 43: Menü "Superelemente" des Netzgenerators Z88N

 **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.

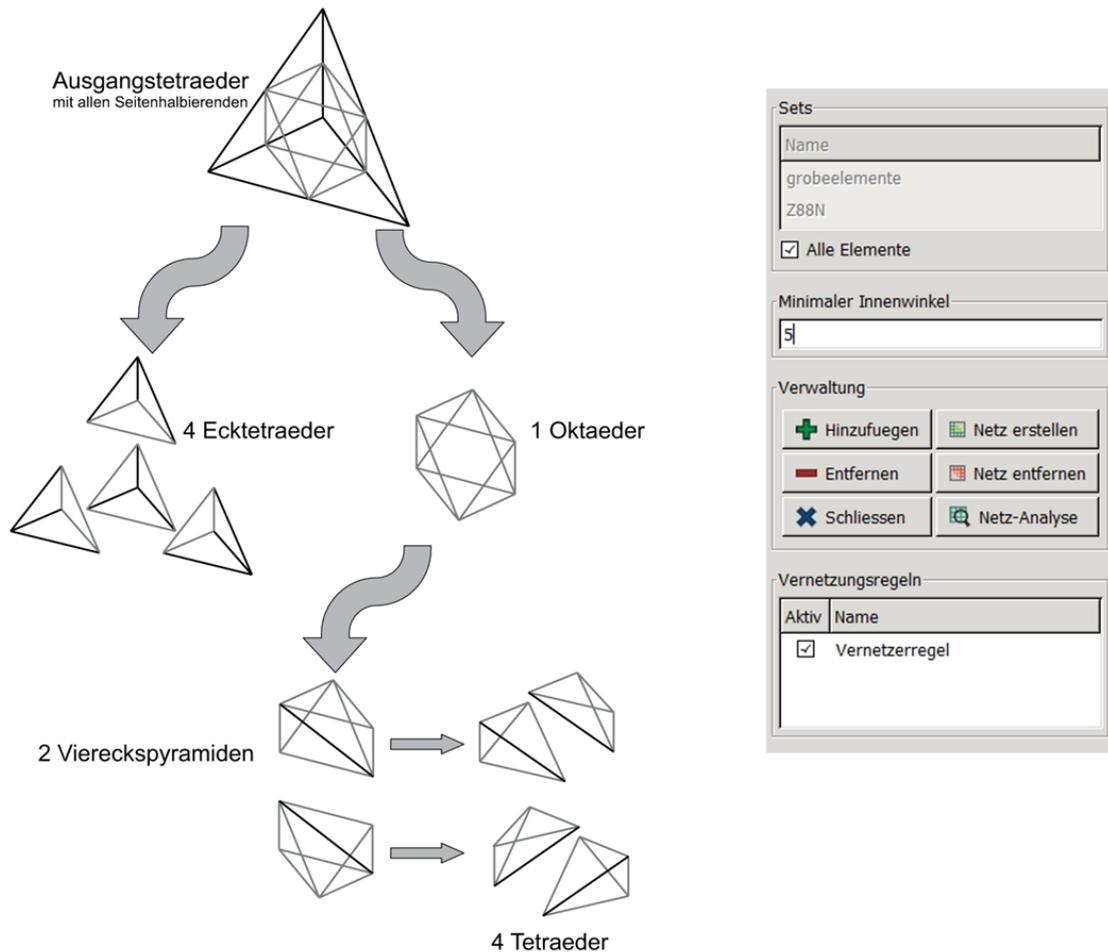


Abbildung 44: Eingabemaske Tetraederverfeinerer (links), Ablauf der Tetraederverfeinerung (rechts)

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.

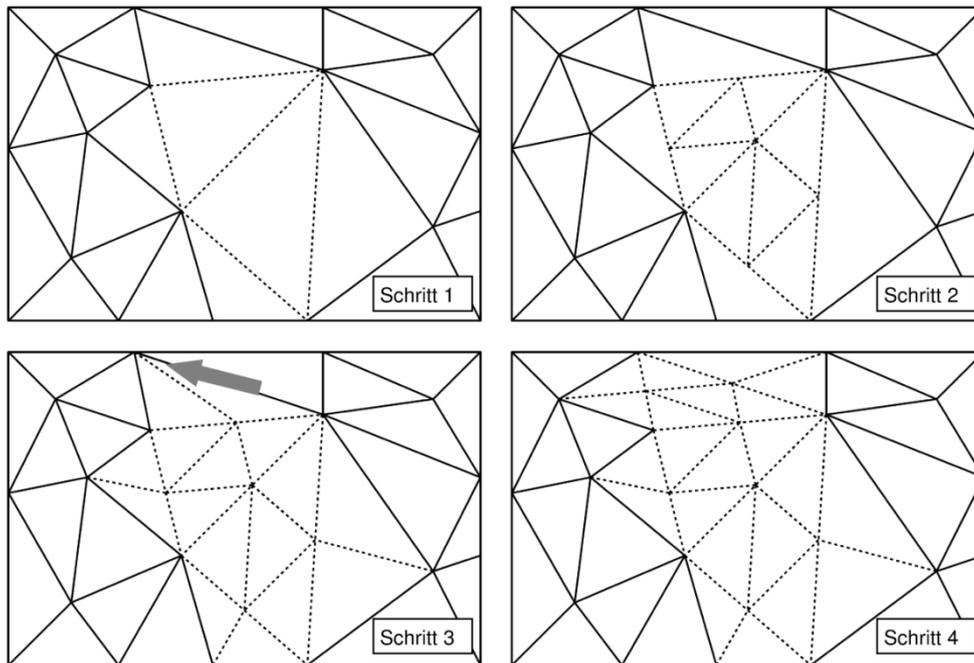


Abbildung 45: Verlauf des Verfeinerungsalgorithmus mit Winkelkriterium

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.

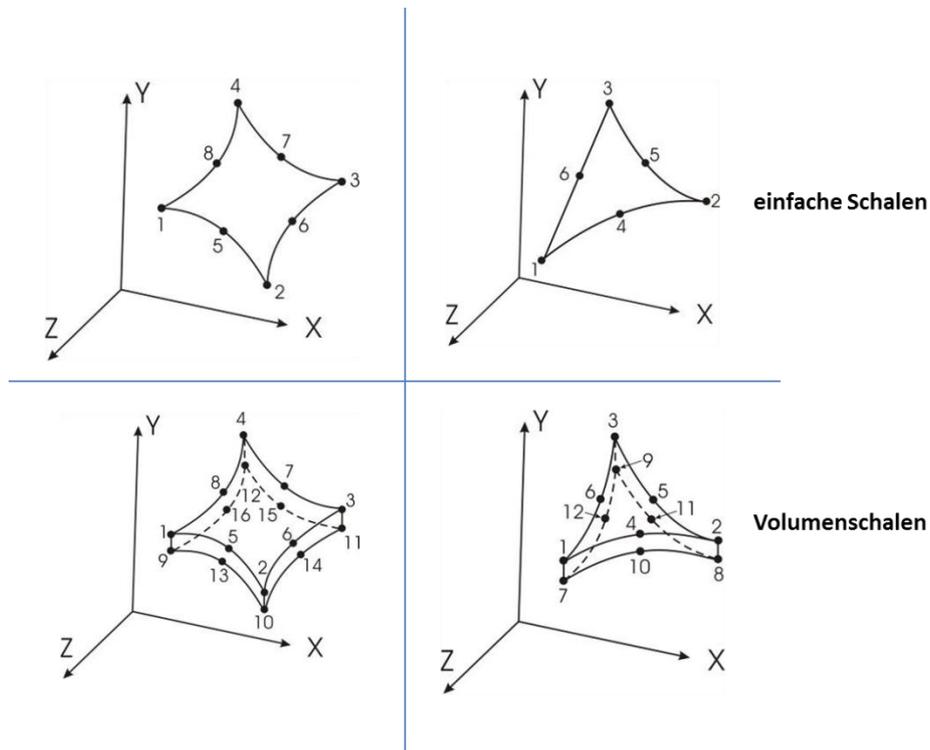


Abbildung 46: Einfache Schalen (oben) und Volumenschalen (unten)

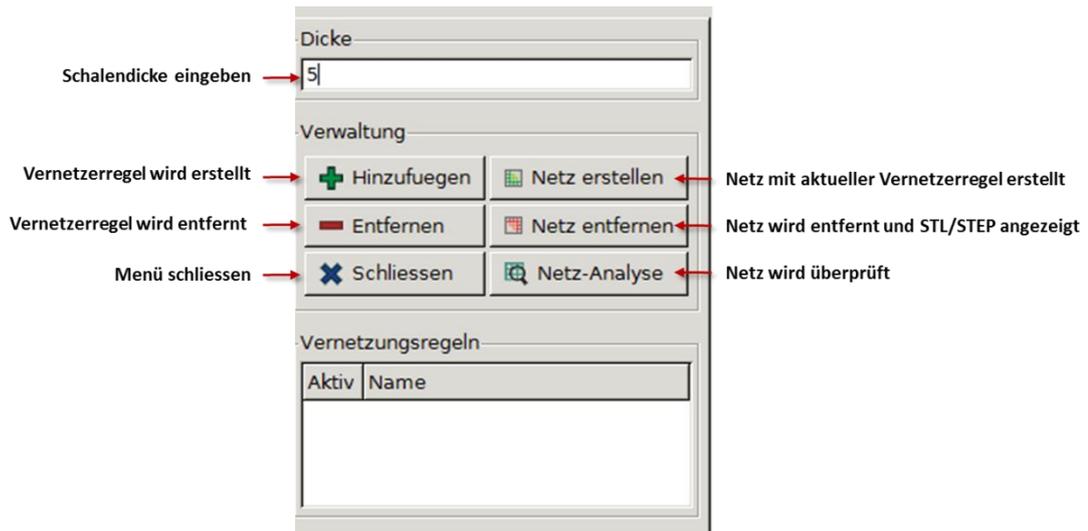


Abbildung 47: Schalenaufdicker in Z88Aurora

Verwendung siehe „ Tetraedernetz erzeugen“.

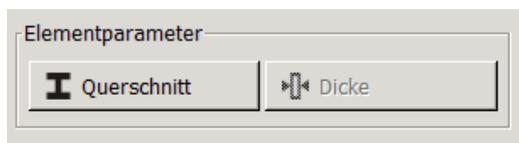
Elementparameter

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 \Rightarrow "von/bis" für einzelne Elemente zugewiesen werden.

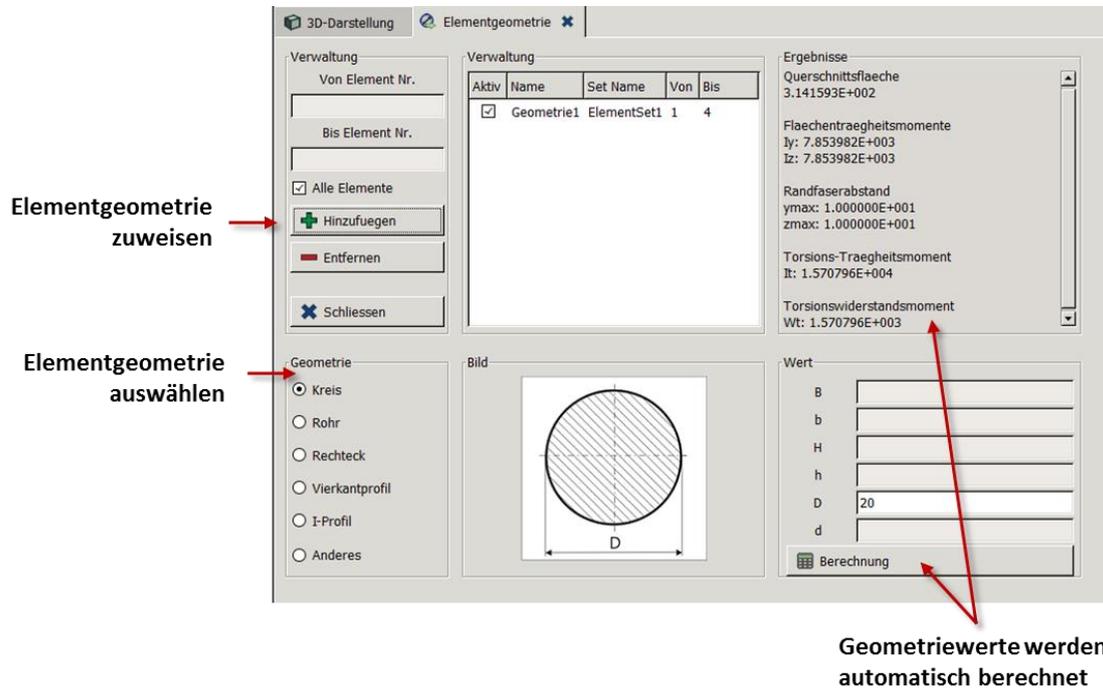


Abbildung 48: Querschnittsvorgabe im Elementparametermenü

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

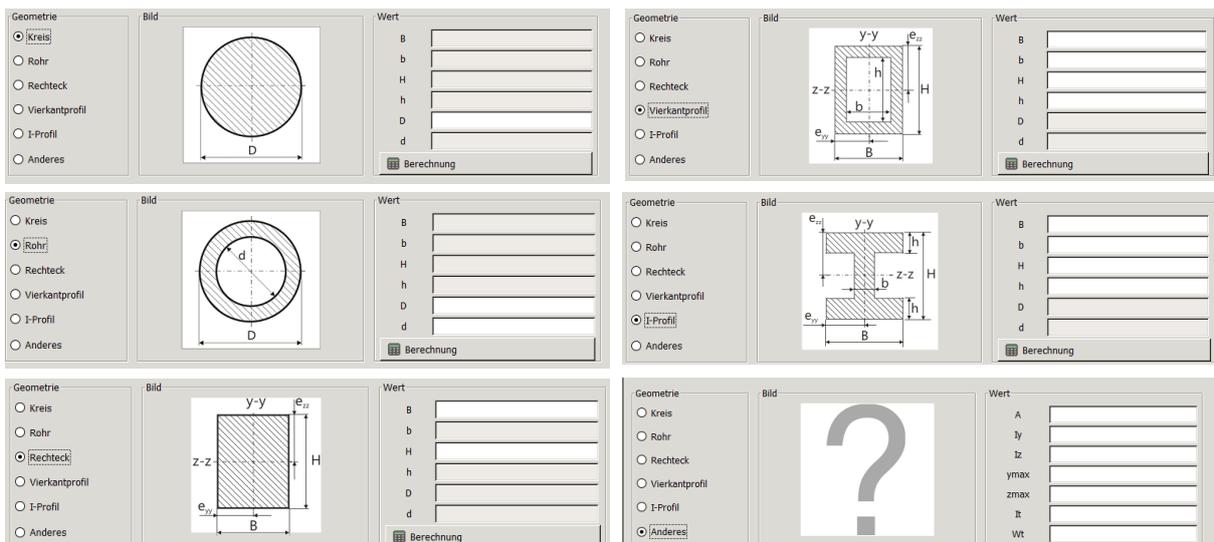


Abbildung 49: Automatisch berechenbare Querschnitte

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

Balkentheorie

Bernoulli

Timoshenko

Dies erfolgt durch:

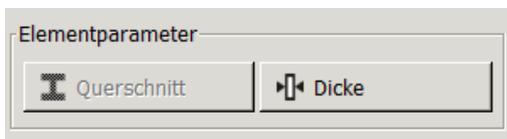
⇒ Elementgeometrie auswählen

⇒ 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

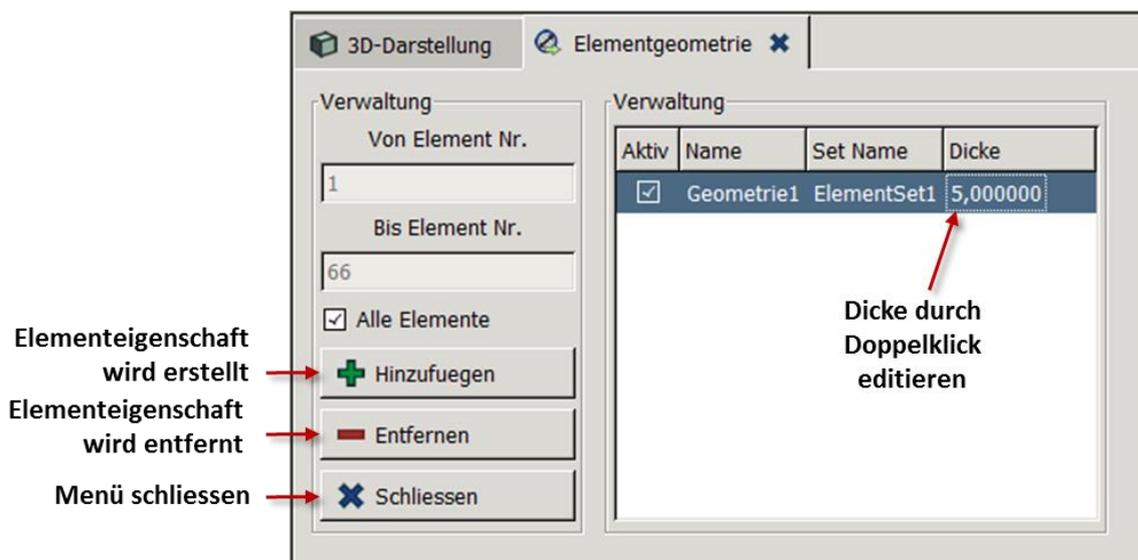


Dabei kann für alle Elemente eine Geometrie (alle Elemente) oder abschnittsweise verschiedene Geometriedaten ⇒ "von/bis" für einzelne Elemente zugewiesen werden.

⇒  Hinzufuegen

⇒ Durch Doppelklick Dicke anpassen

⇒  schliessen



Elementeigenschaft wird erstellt →  Hinzufuegen

Elementeigenschaft wird entfernt →  Entfernen

Menü schliessen →  Schliessen

Aktiv	Name	Set Name	Dicke
<input checked="" type="checkbox"/>	Geometrie1	ElementSet1	5,000000

Dicke durch Doppelklick editieren

Abbildung 50: Dickenvorgabe für Scheiben, Platten und Schalen

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 51). 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.

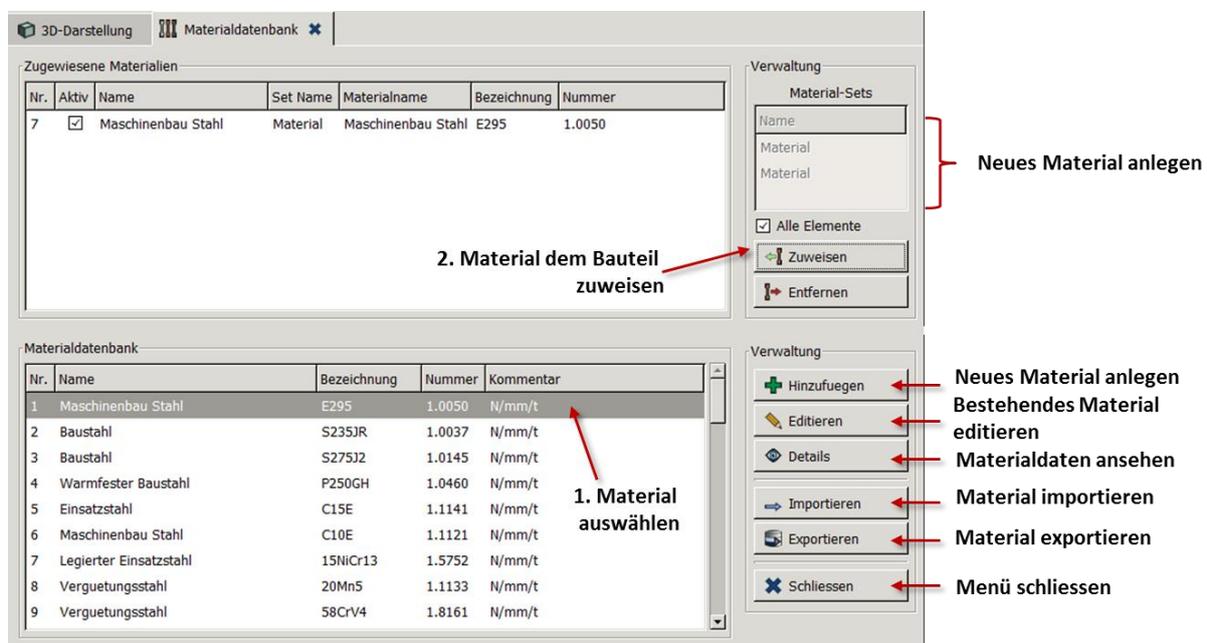


Abbildung 51: Z88Aurora Materialdatenbank

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 **Hinzufuegen** und es öffnet sich das Kontextmenü "Materialparameter" (Abbildung 52). 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.

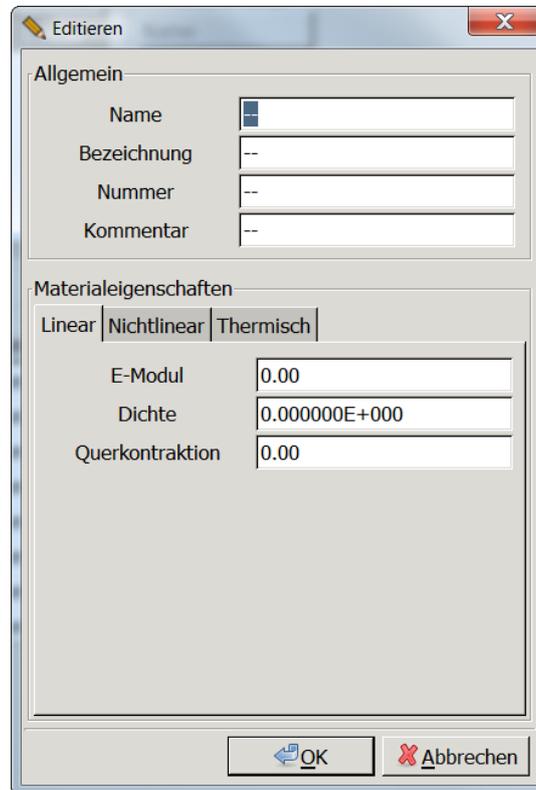


Abbildung 52: Kontextmenü Materialparameter I

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).

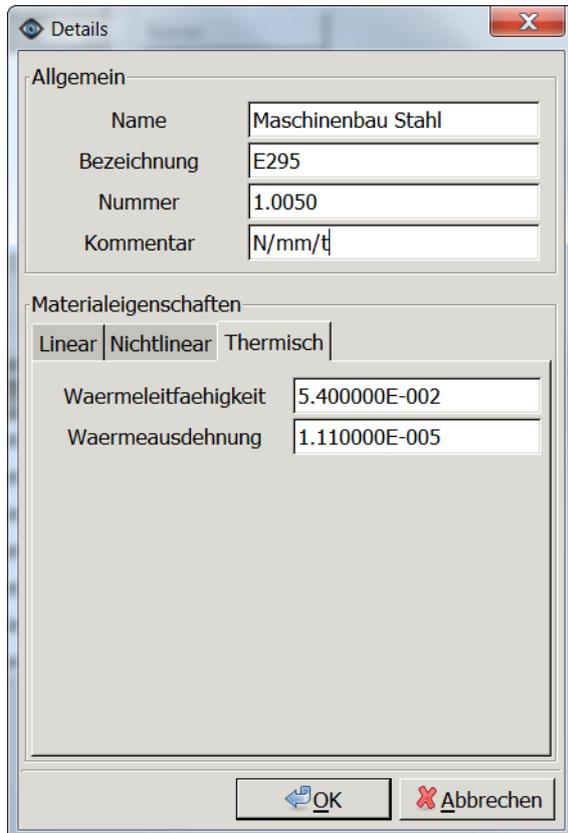


Abbildung 53: Eingaben für thermische Analysen

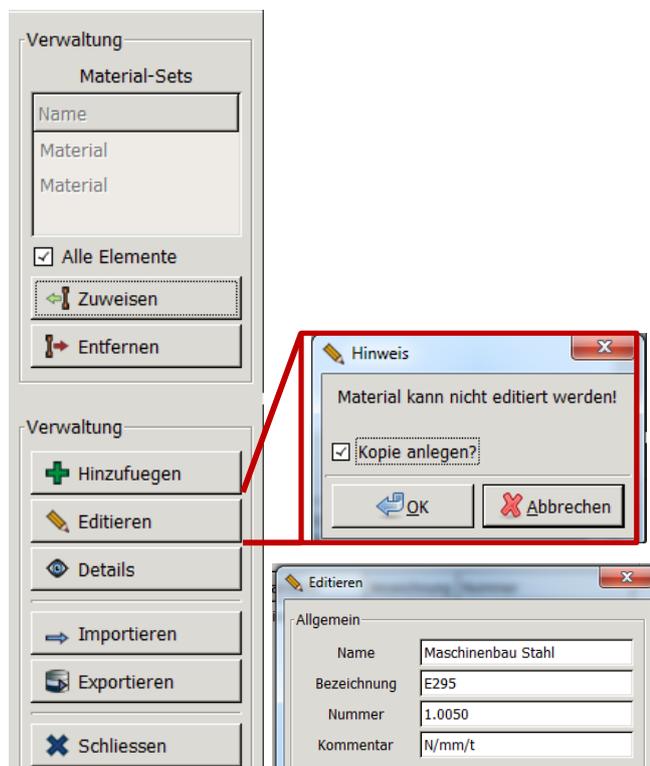


Abbildung 54: Kontextmenü Materialparameter II

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 55 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 52).

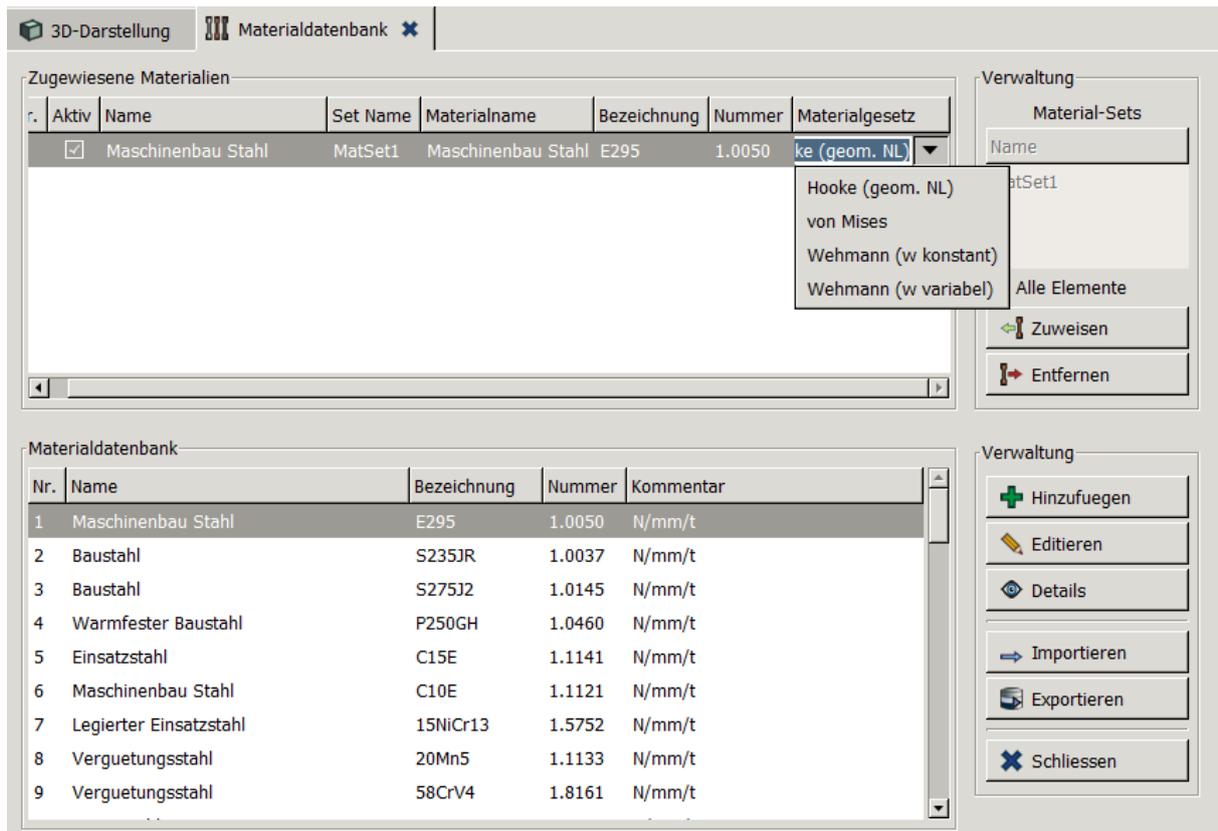


Abbildung 55: Auswahl des Materialgesetzes für nichtlineare Analysen

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 56 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.

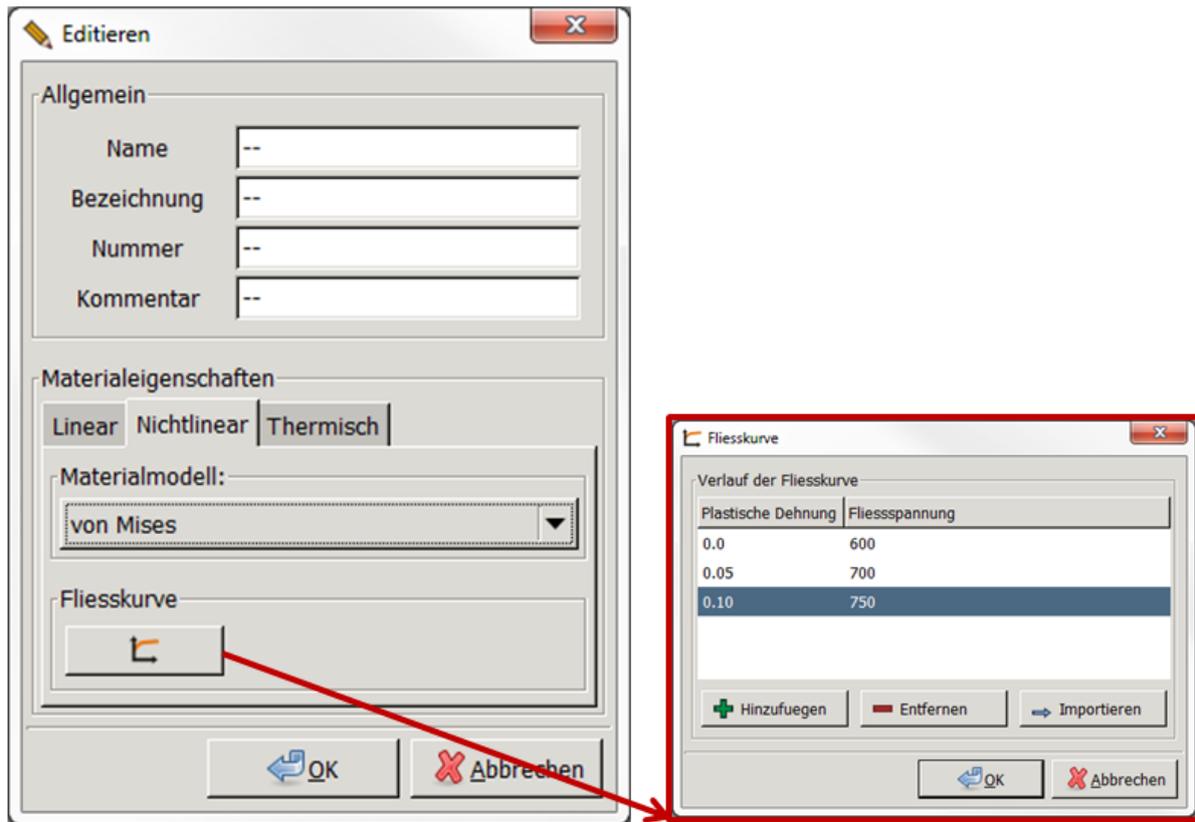


Abbildung 56: Eingabe der Materialdaten für das Materialgesetz „von Mises“

Abbildung 57 zeigt den Aufbau einer Beispieldatei. Nach deren Import ergeben sich die Zahlenwerte wie in Abbildung 56 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 57: Aufbau einer txt-Datei zum Import als Fließkurve

Die Einheit bei der plastischen Dehnung ist stets 1 (dimensionslos), d.h. 0.05 entspricht 5 % plastischer Dehnung. Die Fließkurve 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 Fließgrenze und ε die Gesamtdehnung. Abbildung 58 zeigt ein beispielhaftes Spannungs-Dehnungs-Diagramm und die zugehörige Fließkurve.

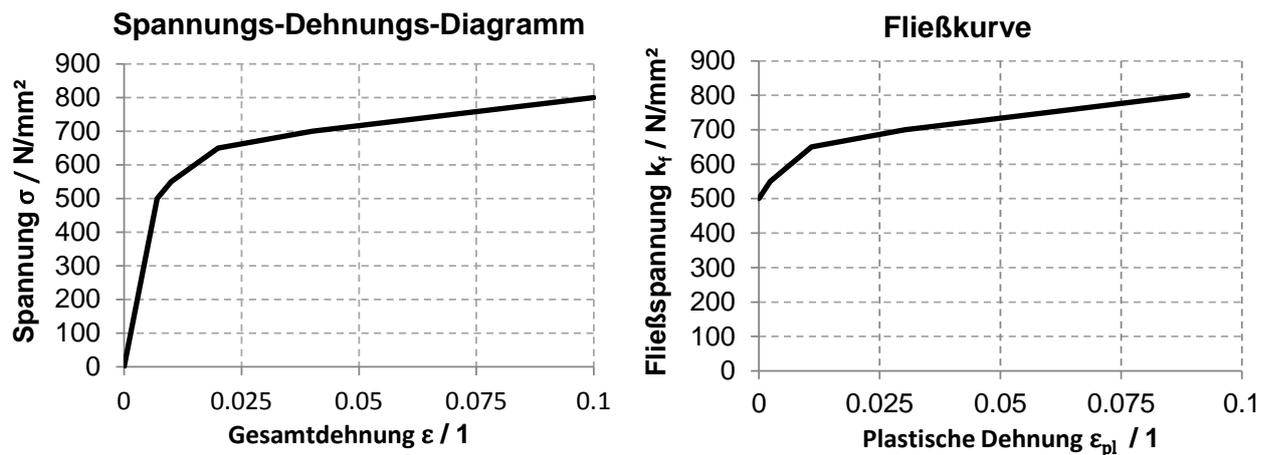


Abbildung 58: Spannungs-Dehnungs-Diagramm und zugehörige Fließkurve

Im Falle des Wehmann-Modells muss die Auswahlbox wie in Abbildung 59 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.

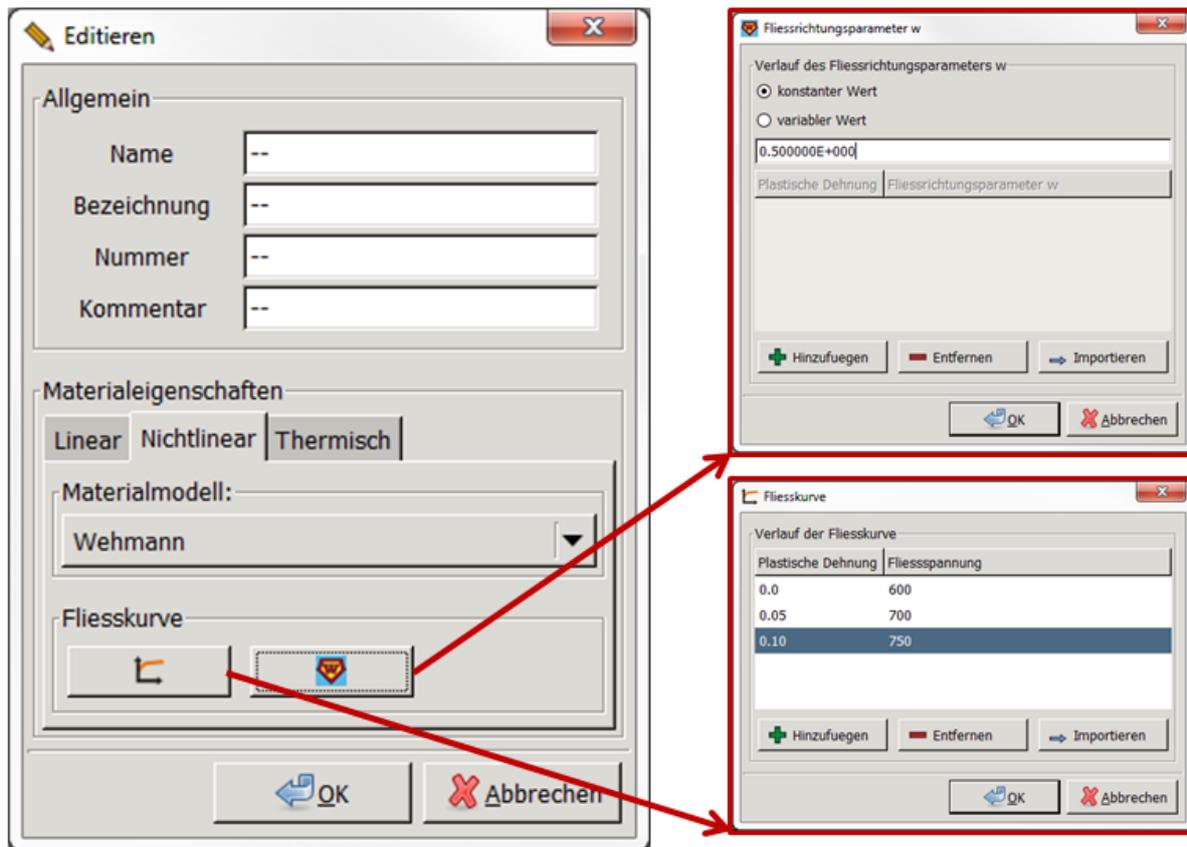


Abbildung 59: Eingabe der Materialdaten für das Materialgesetz „Wehmann-Modell“

Zusätzlich ist der Fließrichtungparameter w anzugeben, der Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann (vgl. Abbildung 59 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 60).

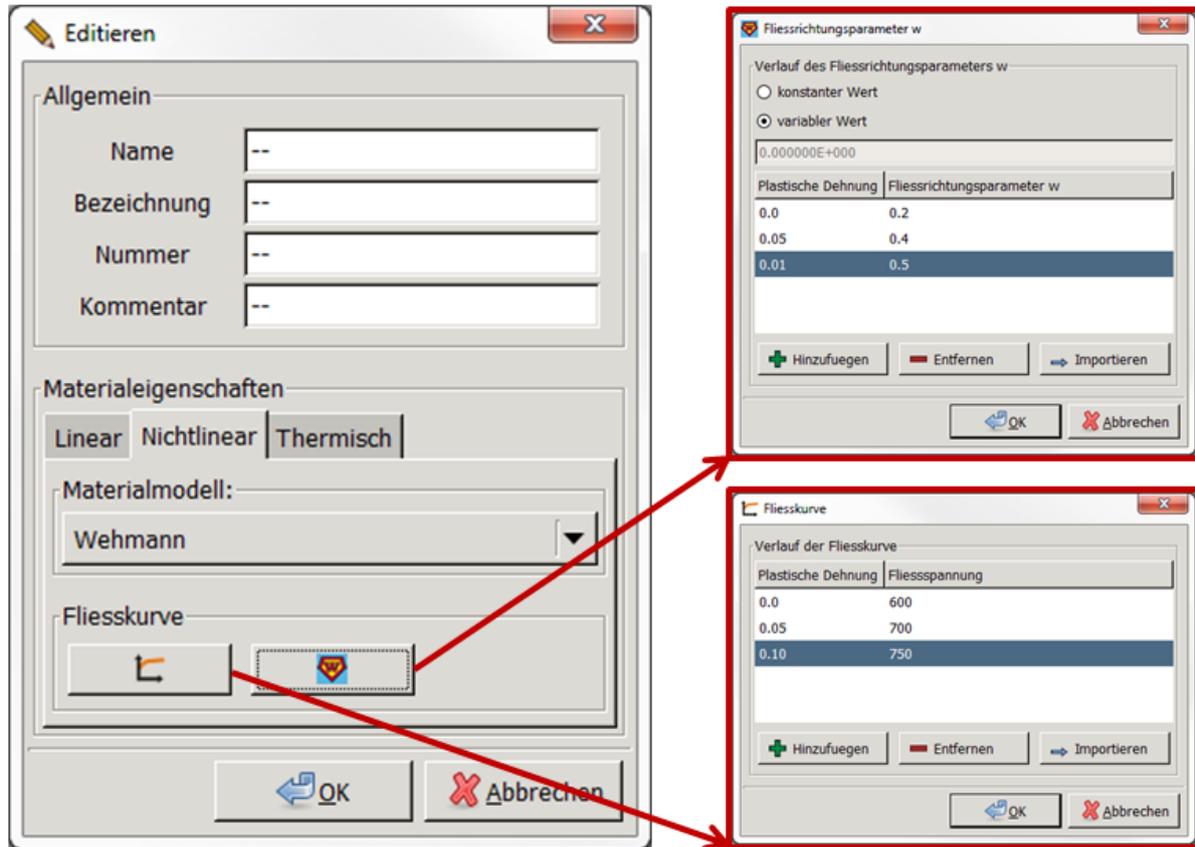


Abbildung 60: Eingabe der Materialdaten für das Materialgesetz „modifiziertes Wehmann-Modell“

Die Eingabe des Verlaufs des w -Parameters erfolgt wie bei der Eingabe der Fließkurve (vgl. Abbildung 60 rechts). Auch hier kann eine Datei mit den Wertepaaren importiert werden. Die Datei hat den gleich Aufbau wie bei der Fließkurve (vgl. Abbildung 57), 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 61: 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 Randbedingungenmenü 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.

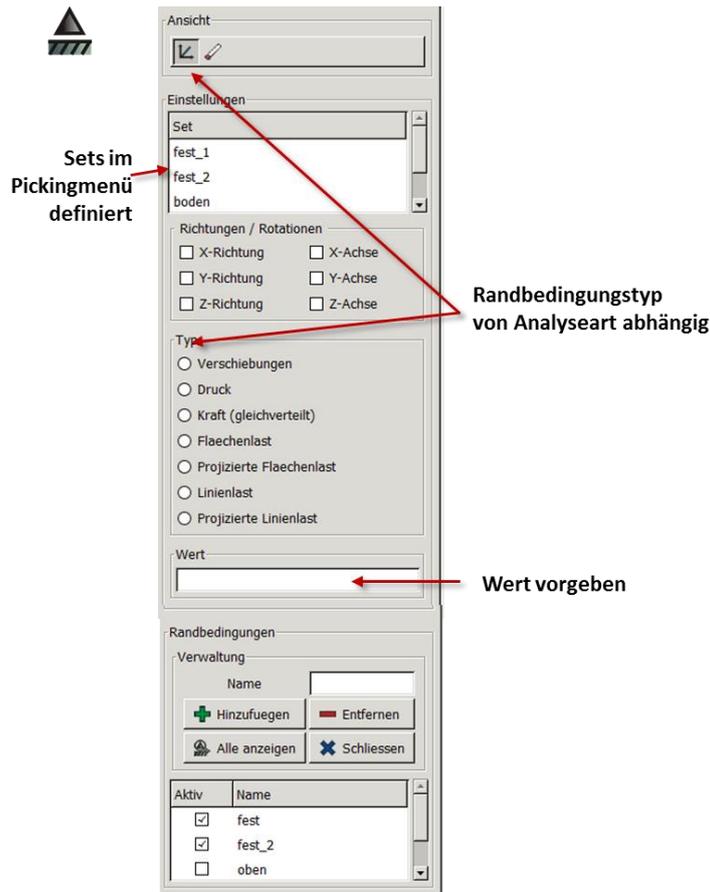


Abbildung 62: Erstellen von Randbedingungen I

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.

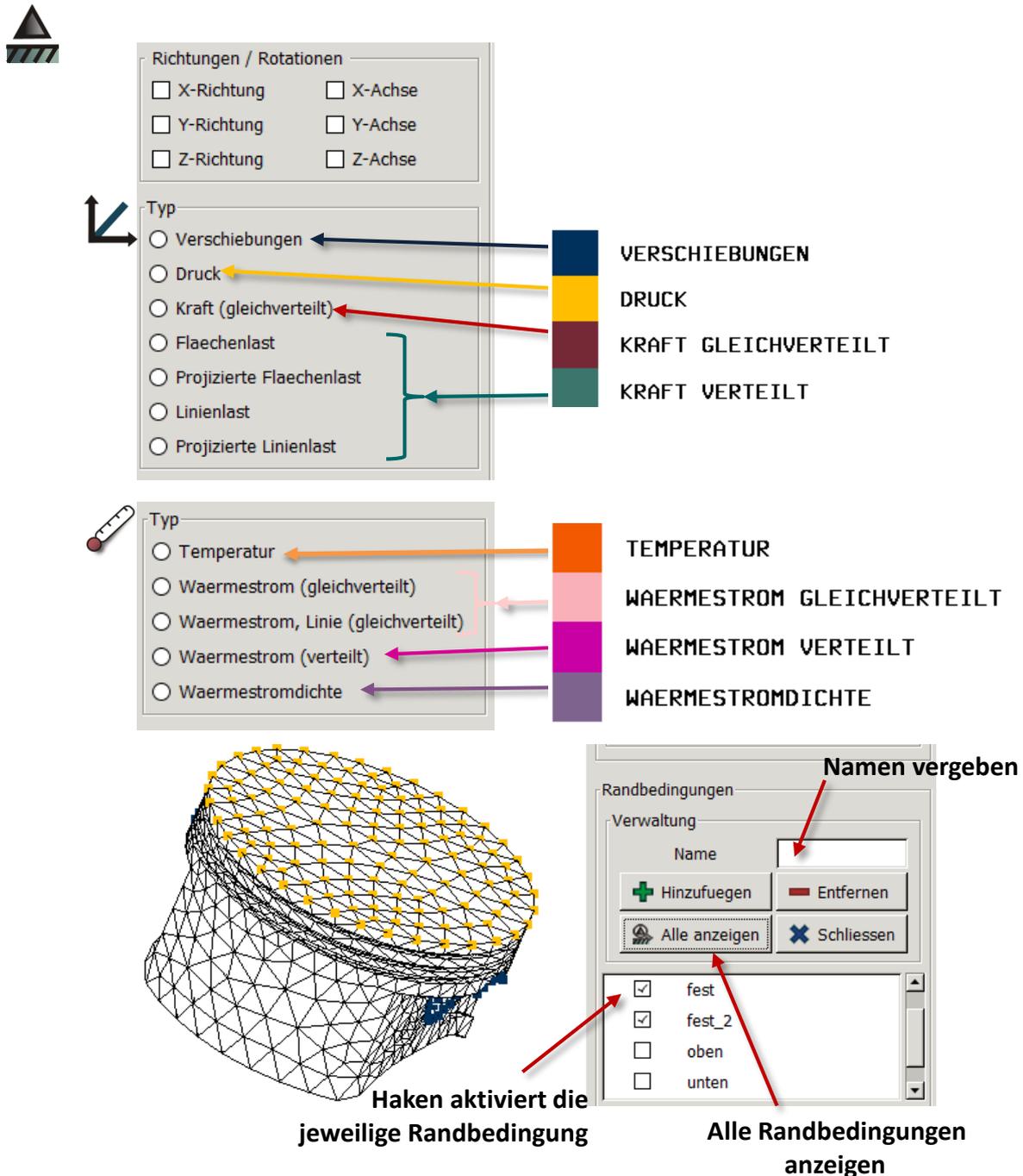


Abbildung 63: Erstellen von Randbedingungen II

Abbildung 63 zeigt die Möglichkeiten der Randbedingungsaufgabe. 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.**

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

	VERSCHIEBUNGEN
	DRUCK
	KRAFT GLEICHVERTEILT
	KRAFT VERTEILT
	TEMPERATUR
	WAERMESTROM GLEICHVERTEILT
	WAERMESTROM VERTEILT
	WAERMESTROMDICHT

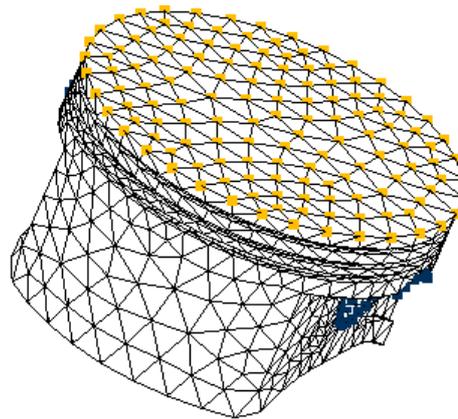


Abbildung 64: Darstellungsart „Randbedingungen“

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



Abbildung 65: Ansicht separate Randbedingung

Durch  wird das Randbedingungs-menü geschlossen.

Größe Randbedingungen

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



Abbildung 66: Größe der Randbedingungen verändern

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

5.3 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 V3 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.
- 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 ... 200.000 Freiheitsgrade. FE-Strukturen mit ca. 5 Mio. Freiheitsgraden stellen für ihn kein Problem dar, wenn Sie ein 64-Bit Betriebssystem (Windows, Linux oder Mac OS-X) mit der 64-Bit Version von Z88Aurora bei ca. 6 GB Hauptspeicher verwenden. *Dieser sehr bewährte und stabile Solver funktioniert nach unseren Beobachtungen immer, sodass Sie ihn ruhig als Standardsolver verwenden können.*

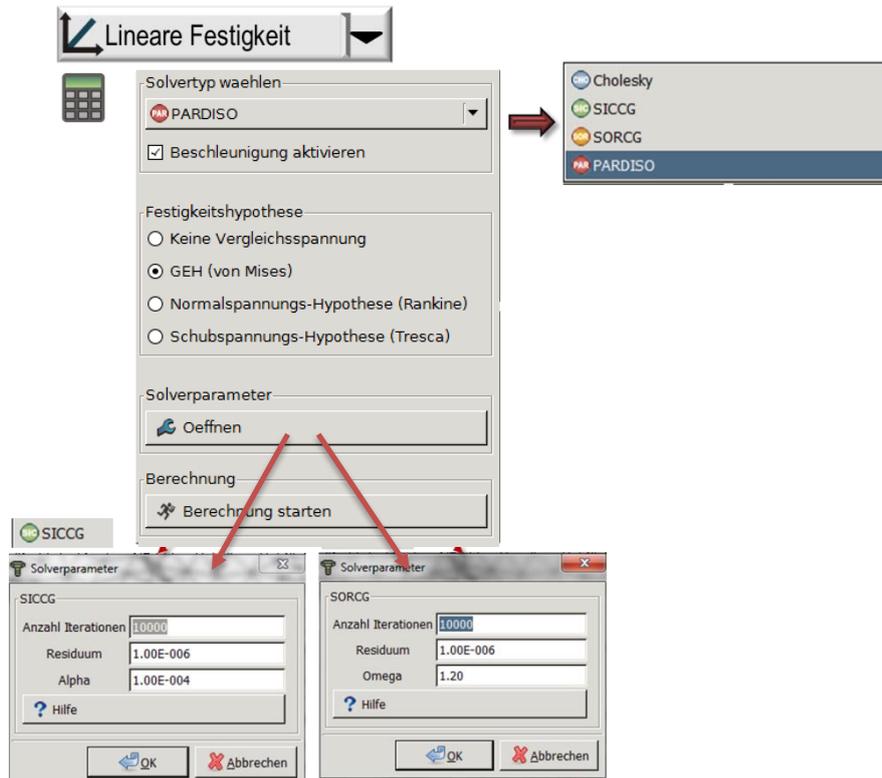


Abbildung 67: Solvermenü lineare Festigkeit

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 Randbedingungsangabe 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 bei 32-Bit PCs	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 (bis 12 Mio. FG liefern auf einem besseren PC)	minimal	mittel	ja, in Teilen	ausgesprochen sicherer und stabiler Solver für sehr große Strukturen
Z88RS -t/c -parao	Direkter Solver mit Fill-In	bis ~ 150.000 bei 32-Bit PCs	sehr hoch	maximal	ja	nochmals beschleunigte Version des direkten Löser aus Z88R
Z88RS -t/c -siccg oder -sorcg	Konjugierte Gradienten Solver mit Vorkontinonierung	keine Grenze (bis 12 Mio. FG liefern auf einem besseren PC)	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. 5.2). 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 Gleichungslösers, 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.

Weitere Informationen und theoretische Hintergründe zu den integrierten Solvern finden sich in Kapitel 4.2 des Theoriehandbuches. Aufgerufen werden die Solvertypen in Z88Aurora über das Solvermenü, je nach Analysetyp ändert sich das Solvermenü.

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*":

 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.

 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).

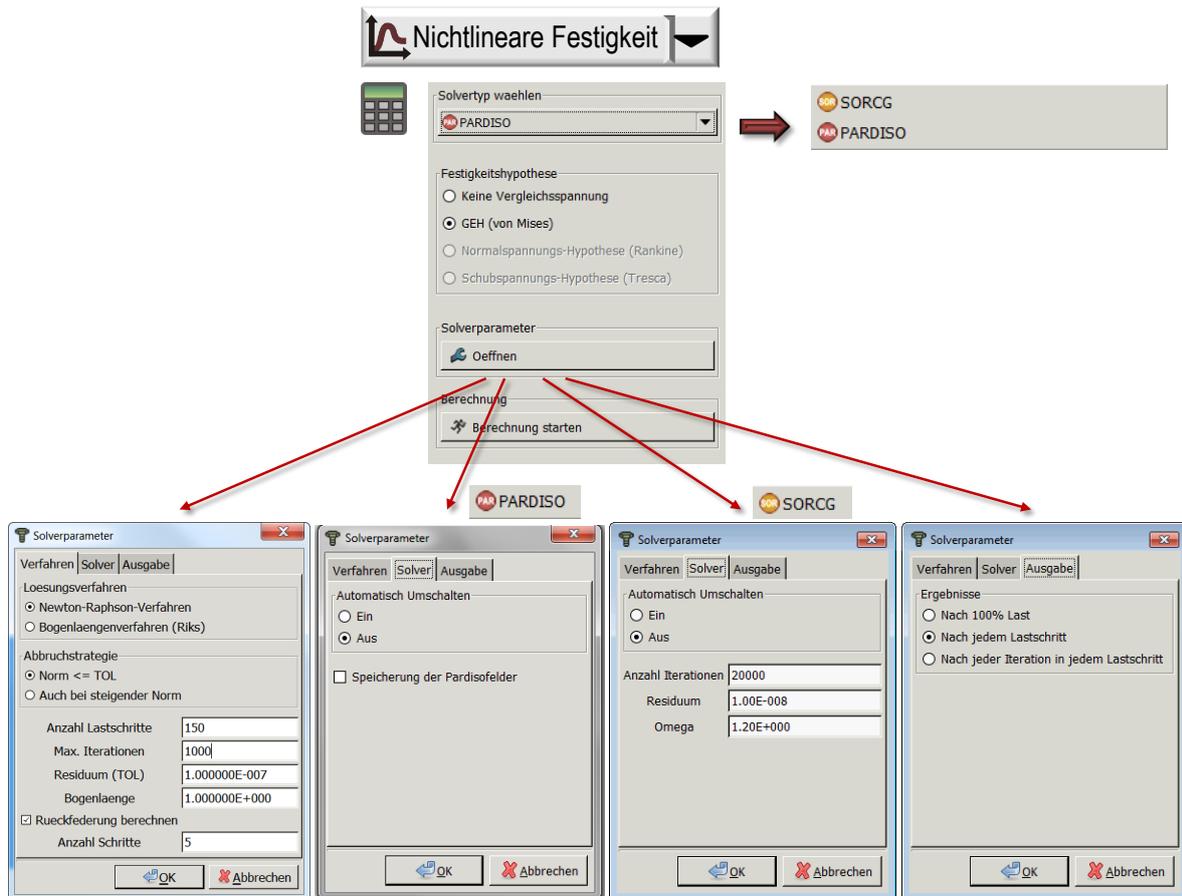


Abbildung 68: Solvermenü nichtlineare Festigkeit

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

Neu in der Version V3 ist die Möglichkeit der Rückfederungsberechnung (vgl. Abbildung 68 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.

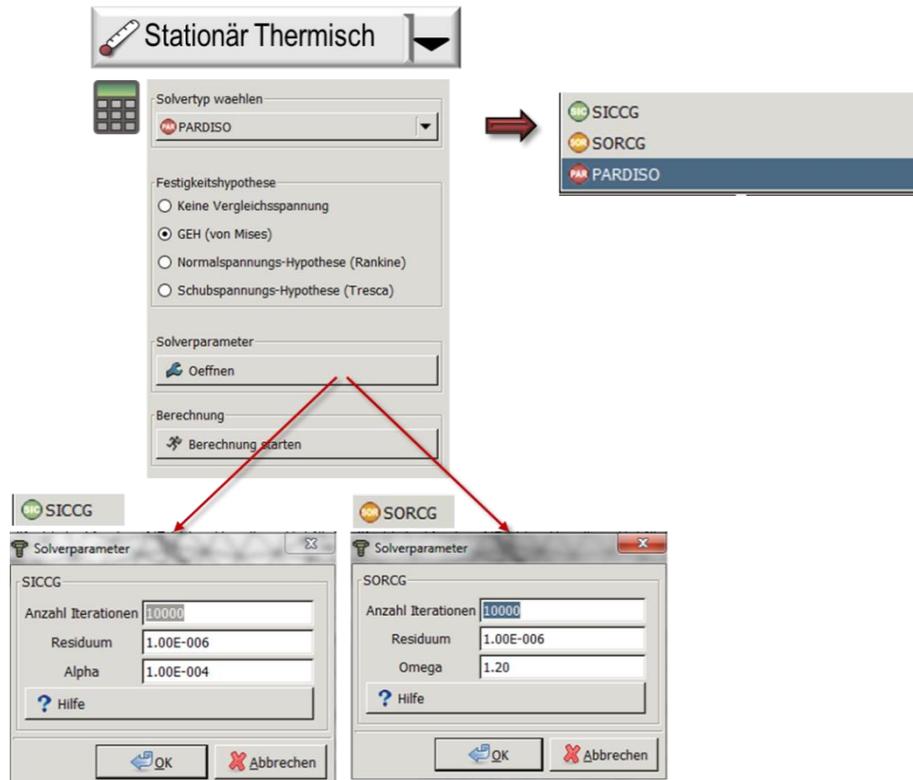


Abbildung 69: Solvermenü stationär thermische Berechnung

Die Einstellungen entsprechen denen der linearen Festigkeitsrechnung.

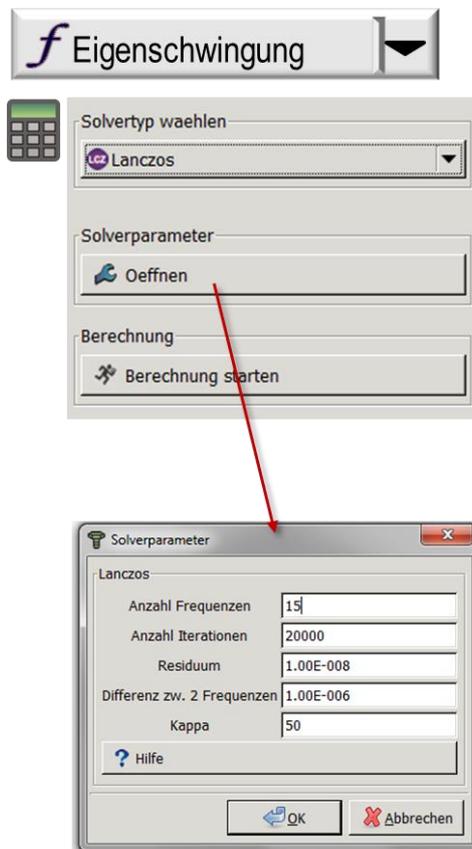
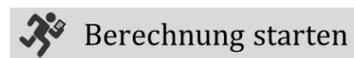


Abbildung 70: Solvermenü Eigenschwingung

- 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



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



Abbildung 71: Informationsfenster Berechnung

Der Solver in der Textmenüleiste

Auf den Solver kann ebenfalls über die Textmenüleiste zugegriffen werden.



Abbildung 72: Solverausruf in der Textmenüleiste

Verfügbare Solvertypen für die jeweiligen Finiten Elemente

<i>Elementtyp</i>	<i>Ansatz</i>				<i>f</i>
Hexaeder 					
Hexaeder Nr.1	linear	✓ SOR PAR SEC 	✓ SOR PAR	✓ SOR PAR SEC	✓ LCZ
Hexaeder Nr.10	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✓ SOR PAR	✓ SOR PAR SEC	✓ LCZ
Tetraeder 					
Tetraeder Nr.16	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✓ SOR PAR	✓ SOR PAR SEC	✓ LCZ
Tetraeder Nr.17	linear	✓ SOR PAR SEC 	✓ SOR PAR	✓ SOR PAR SEC	✓ LCZ
Scheibe 					
Scheibe Nr.3	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Scheibe Nr.7	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✓ SOR PAR	✗	✗
Scheibe Nr.11	kubisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Scheibe Nr.14	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Torus 					
Torus Nr.6	linear	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Torus Nr.8	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✓ SOR PAR	✗	✗
Torus Nr.12	kubisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Torus Nr.15	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Platte 					
Platte Nr.18	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Platte Nr.19	kubisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Platte Nr.20	quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Schale 					
Schale Nr.21	3 D quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Schale Nr. 22	3 D quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Schale Nr. 23	2 D quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Schale Nr. 24	2 D quadratisch	✓ SOR PAR SEC 	✗	✗	✗
Stab und Balkenstrukturen   					
Stab Nr.4	exakt	✓ SOR PAR SEC CHO	✓ SOR PAR	✗	✗
Stab Nr.9	exakt	✓ SOR PAR SEC CHO	✗	✗	✗
Balken Nr.2	exakt	✓ SOR PAR SEC CHO	✗	✗	✗
Balken Nr.13	exakt	✓ SOR PAR SEC CHO	✗	✗	✗
Welle Nr.5	exakt	✓ SOR PAR SEC CHO	✗	✗	✗
Balken Nr.25	exakt	✓ SOR PAR SEC CHO	✗	✗	✗

5.4 Postprozessor

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

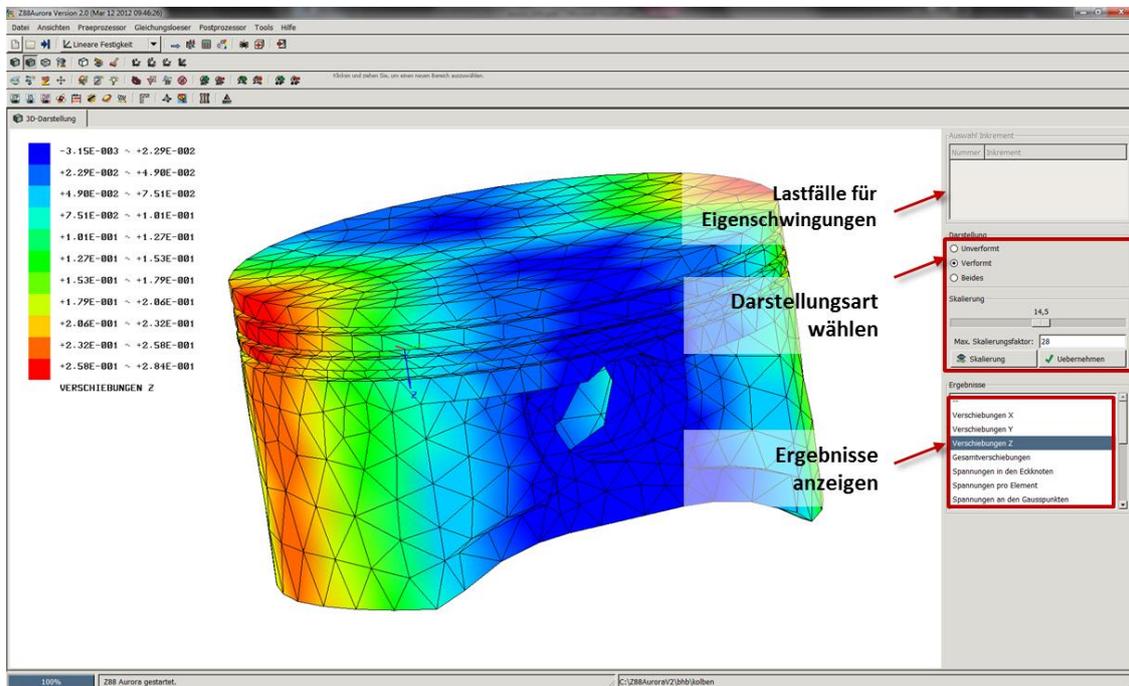


Abbildung 73: Z88Aurora Postprozessor

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.

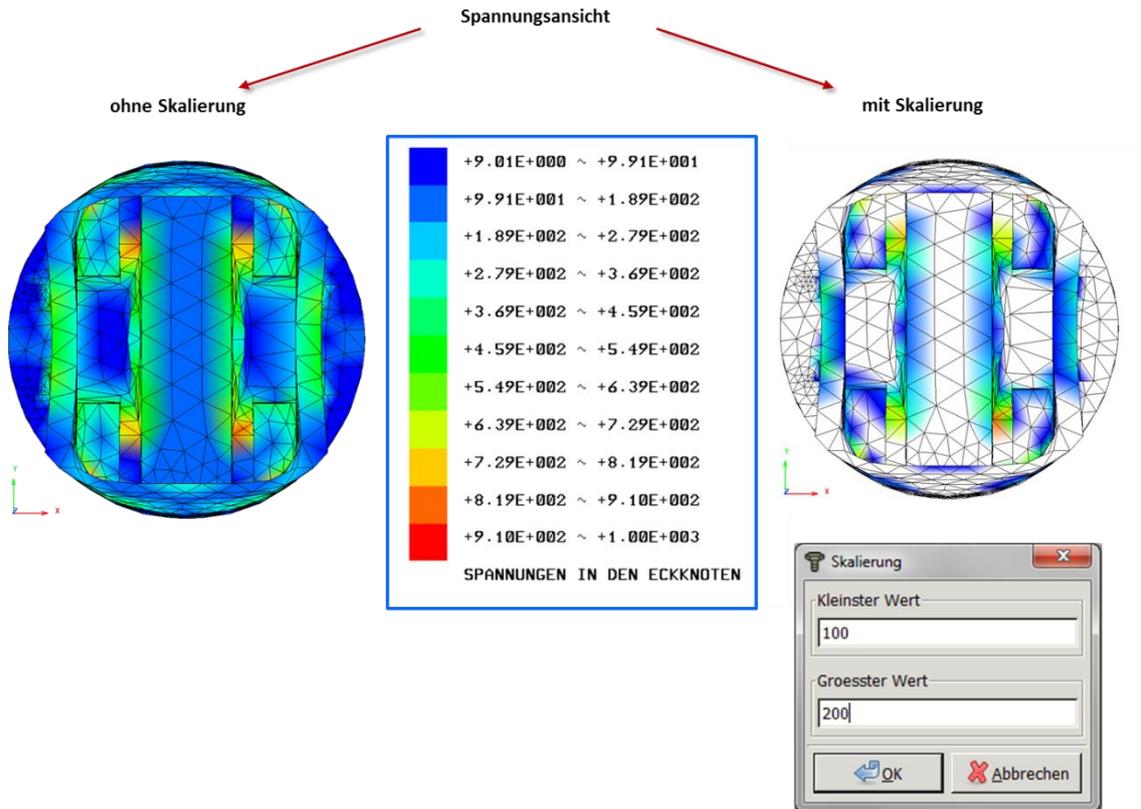


Abbildung 74: Skalierung des Farbintervalls



Abbildung 75: 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):

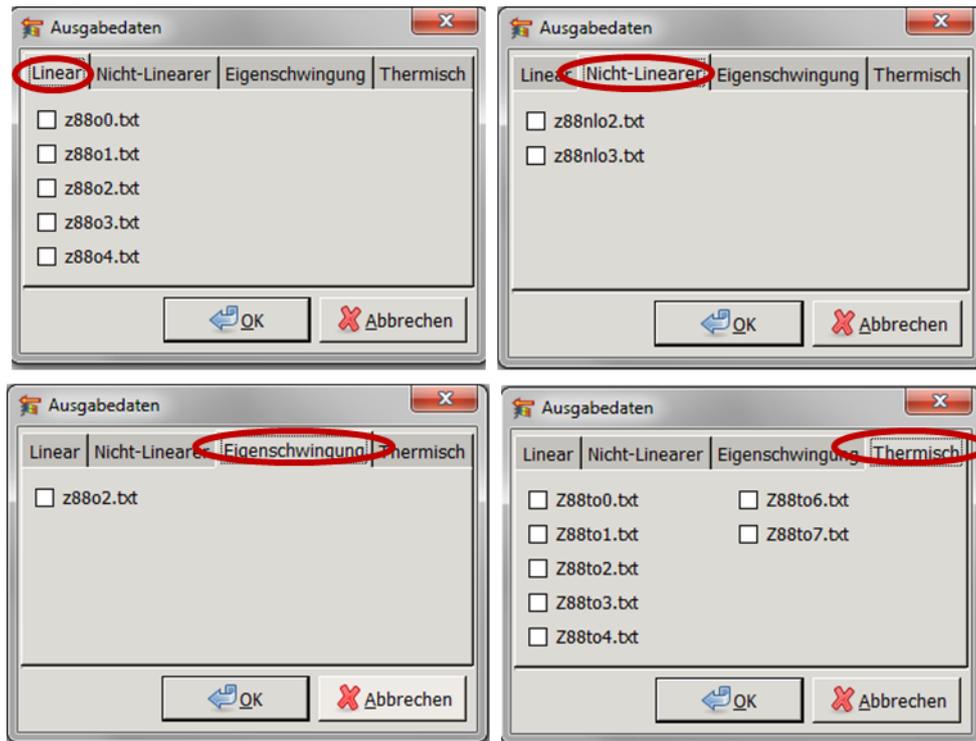


Abbildung 76: Ausgabedaten

- 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 \rightarrow Picking“), sich die Ergebnisse eines bestimmten Bauteilbereiches ausschreiben zu lassen. Über die Postprozessor-Menüleiste (Abbildung 75) muss hierfür im Postprozessor „Ergebnisse exportieren“ gewählt werden. Danach öffnet sich ein Fenster (Abbildung 77), in dem auf der rechten Seite alle angelegten Sets zur Auswahl bereit stehen.



Abbildung 77: Ergebnisse exportieren

Durch die Auswahl eines Sets (Abbildung 78), 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.

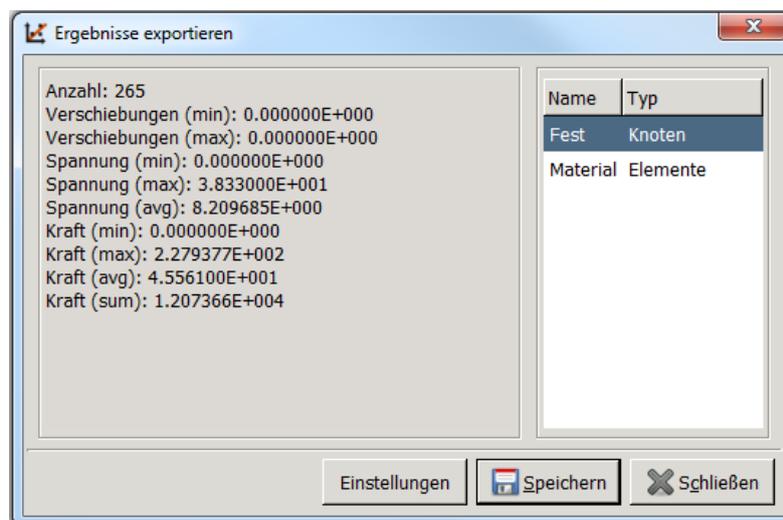


Abbildung 78: Ergebnisse des Knoten-Sets "Fest"

Durch die Anwahl des Buttons „Einstellungen“ in Abbildung 78 kann der Benutzer individuell entscheiden, welche Ergebnisse des gewählten Sets in eine *.txt-Datei oder in eine *.csv-Datei geschrieben werden sollen (Abbildung 79).

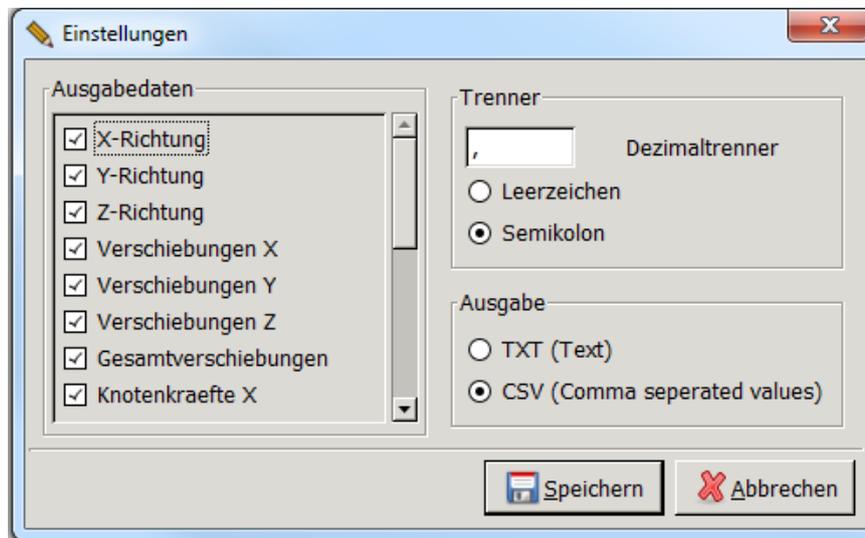


Abbildung 79: Individuelle Ausgabedaten

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 80: 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).

6. TOOLS

6.1 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

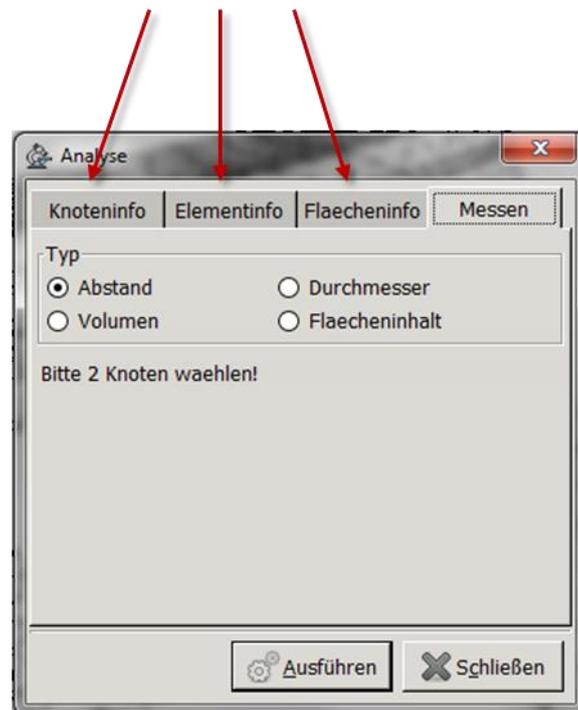


Abbildung 81: Analysetool

6.2 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

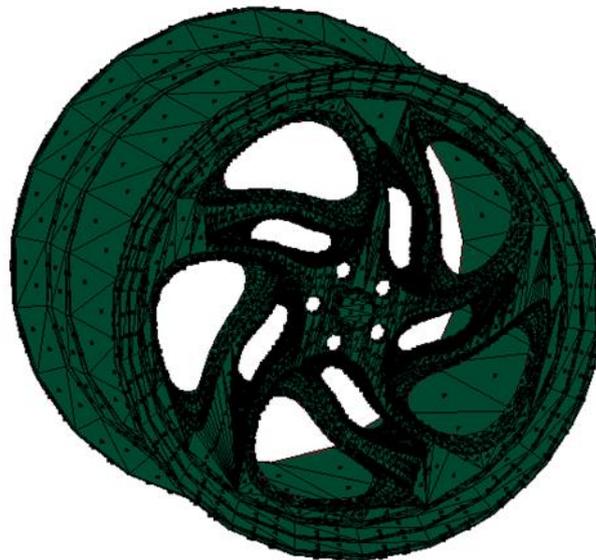
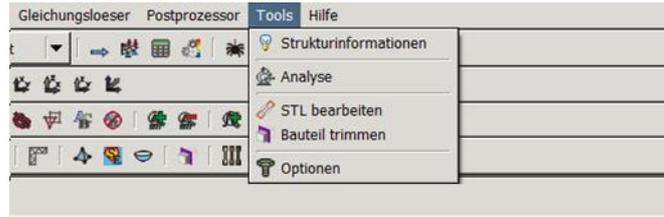


Abbildung 82: STL Bearbeiten

6.3 Optionen

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

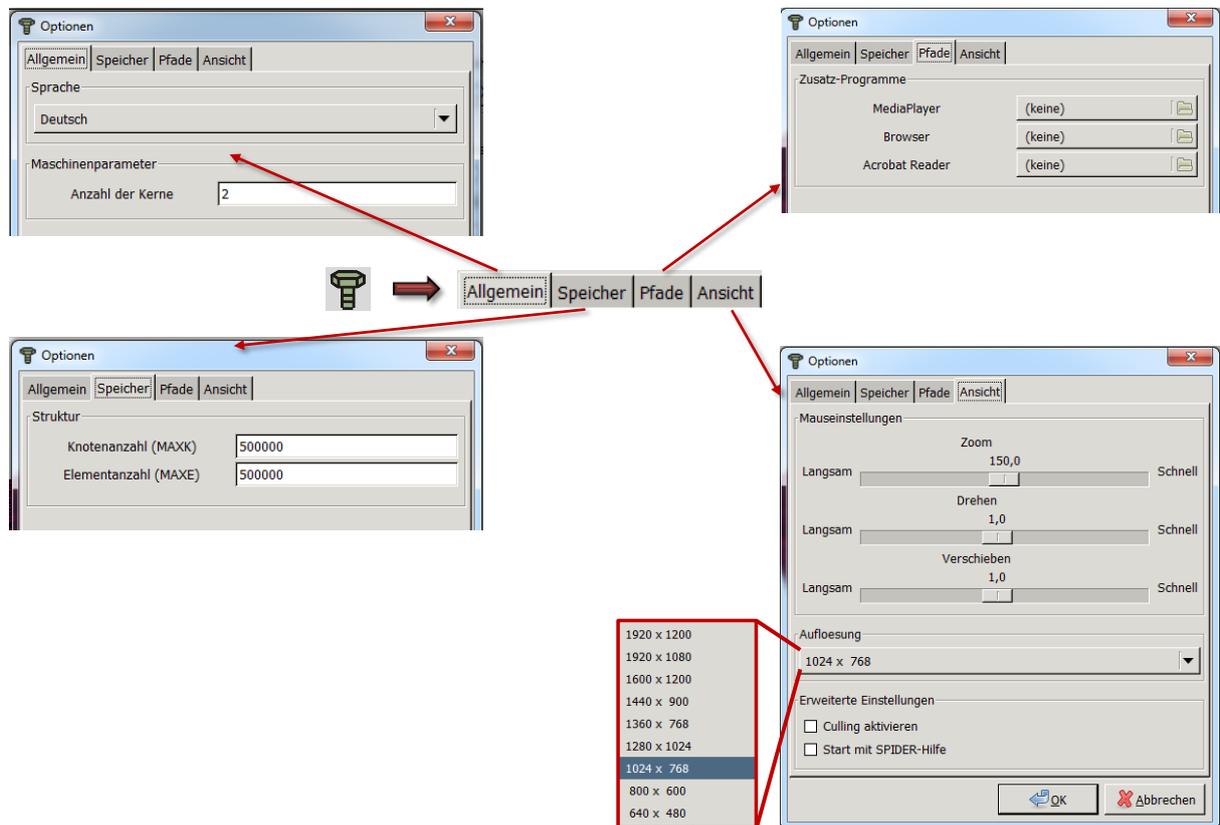


Abbildung 83: Optionseinstellungen

 **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. *Windows Media Player*;

Standardpfad „C:\Programme\Windows Media Player\wmplayer.exe“

– **Browser**

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

z.B. *Internet Explorer*; Standardpfad „*C:\Programme\Internet Explorer\iexplore.exe*“

– **PDF-Reader**

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

z.B. *Adobe Acrobat Reader*;

Standardpfad „*C:\Programme\Adobe\Reader 9.0\Reader\AcroRd32.exe*“

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



Danach können Sie Z88Aurora starten.

7. 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.

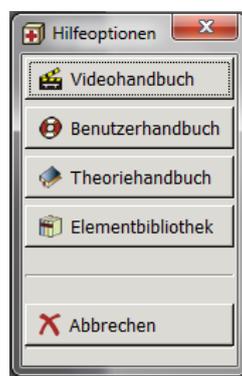


Abbildung 84: Hilfeoptionen

Videohandbuch

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

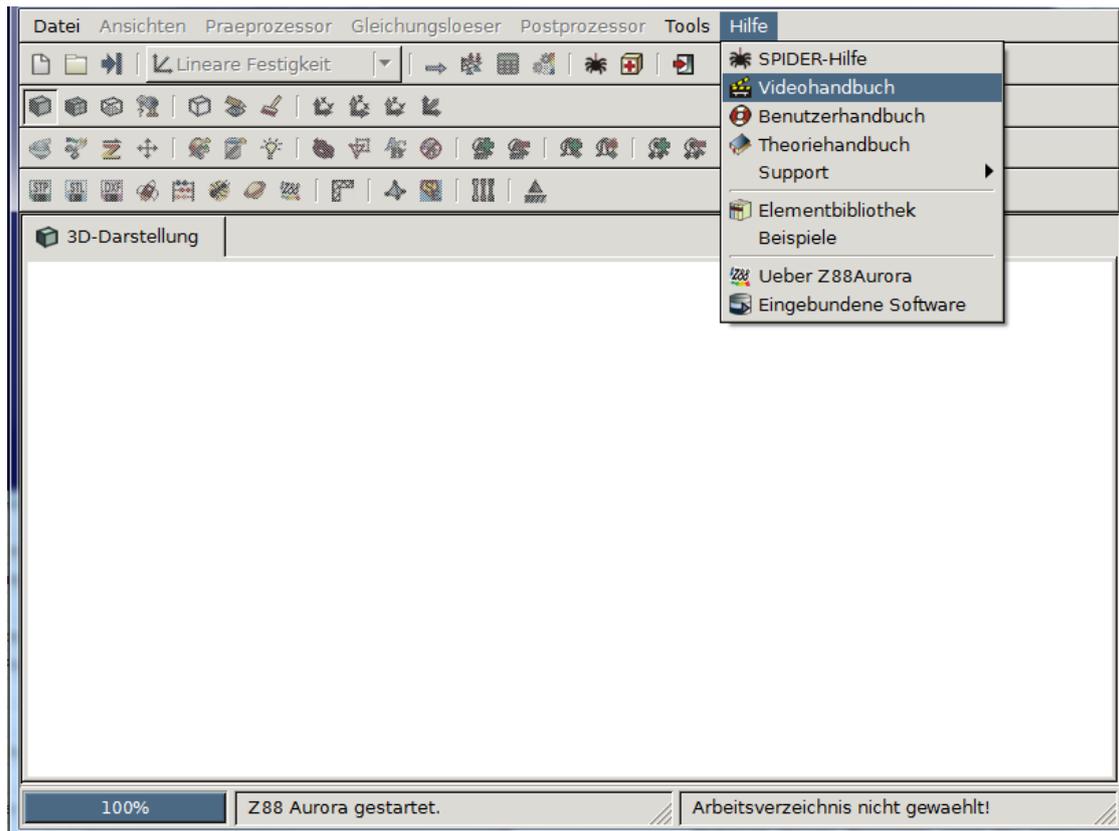


Abbildung 85: Videohandbuch in Z88Aurora

Benutzerhandbuch

Im Benutzerhandbuch sind alle Funktionen in Z88Aurora erklärt.

Theoriehandbuch

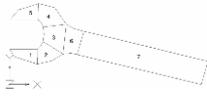
Das Theoriehandbuch geht auf die Berechnungsgrundlagen von Z88Aurora ein. Für erfahrene Z88 Open Source Benutzer werden die Unterschiede zwischen Z88 V14 OS und Z88Aurora dargestellt. Weiterhin werden alle Ein- und Ausgabedateien sowie die Elementtypen ausführlich erläutert. Die Module, die aus der Benutzeroberfläche aufgerufen werden, werden hier ebenfalls beschrieben.

Elementbibliothek

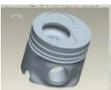
Eine kurze Darstellung der in Z88Aurora integrierten Elementtypen.

Beispiele

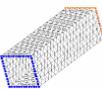
An Hand verschiedener Beispiele werden die grundlegenden Funktionen erläutert.

- Ebene Elemente: Beispiel Gabelschlüssel 

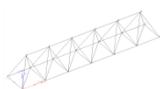
Als Beispiel wurde eine DXF-Datei – ein Schraubenschlüssel als Scheibenelement – aus AutoCAD gewählt. Anhand dieses Bauteils wird die Vorgehensweise beim Export der Struktur aus dem CAD-Programm sowie der Import von DXF-Dateien in Z88Aurora demonstriert. Ferner wird das Erzeugen und feinere Vernetzen 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

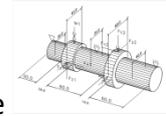


Wir betrachten ein Zahnrad, dessen Nabe auf die Welle aufgespresst wird. Dabei soll der Fugendruck des Pressverbands 100 N/mm^2 betragen. Es soll die Verformung untersucht werden, die durch die Aufweitung der Nabe bis in die Verzahnung geleitet wird. Die Verzahnung außen selbst wird weggelassen.

- Platten-Elemente: Beispiel Kreisplatte



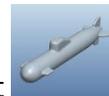
Dieses Beispiel soll in die Plattenberechnung einführen. Z88 hält Platten vom sogenannten Reissner-Mindlin-Typ bereit, und zwar als 6-Knoten Serendipity-Elemente (Typ 18), 8-Knoten Serendipity-Elemente (Typ 20) und 16-Knoten Lagrange-Elemente (Typ 19). Trotz allem ist eine Platte ein 2D-Element. Daher 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 Massen-trägheit 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

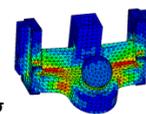
Beispiel Scharnier



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 Kugelpkupplung



In diesem Beispiel wird eine hochbelastete Kugelpkupplung 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.

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.

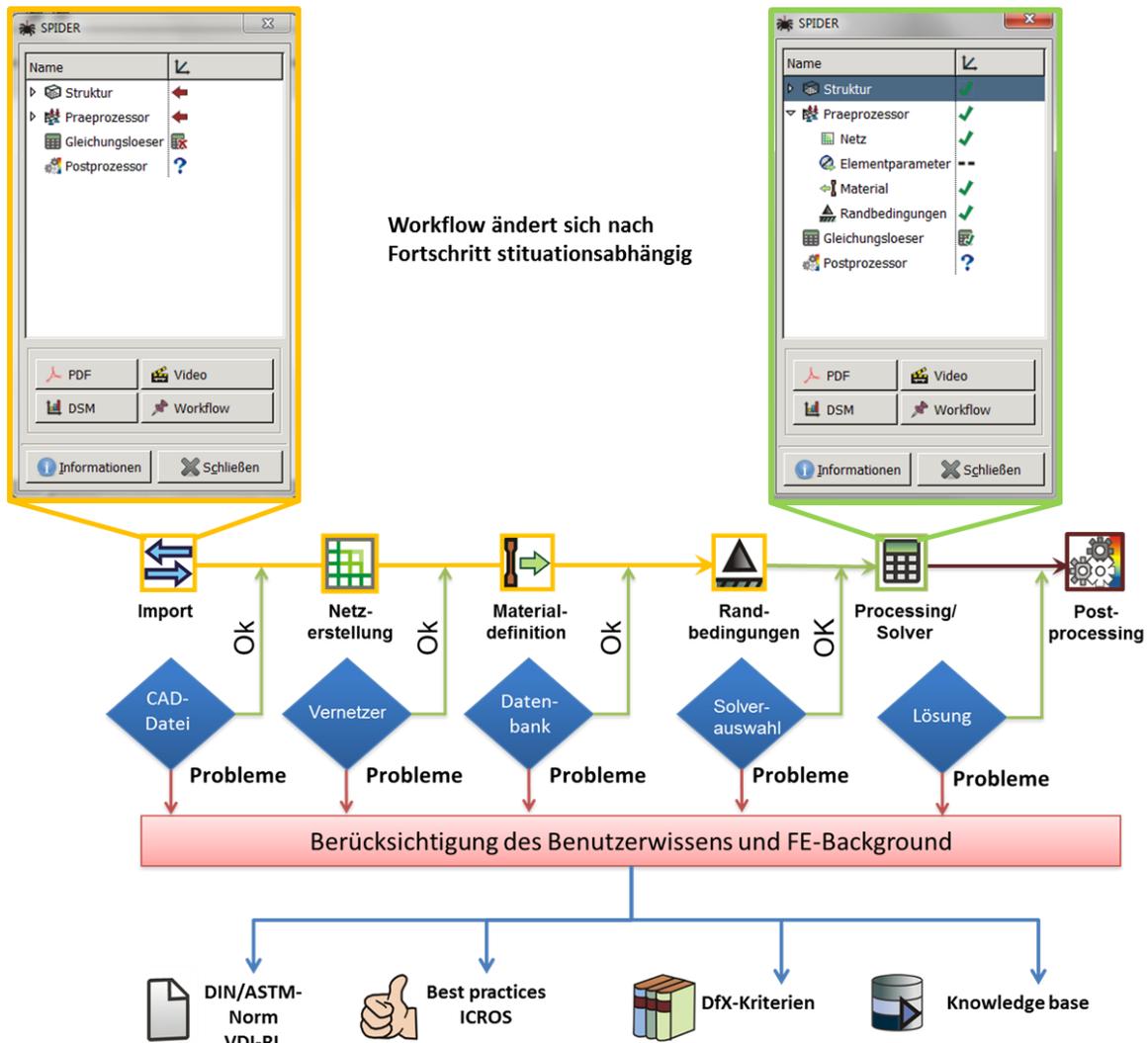


Abbildung 86: Workflowunterstützung Spider in Z88Aurora

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

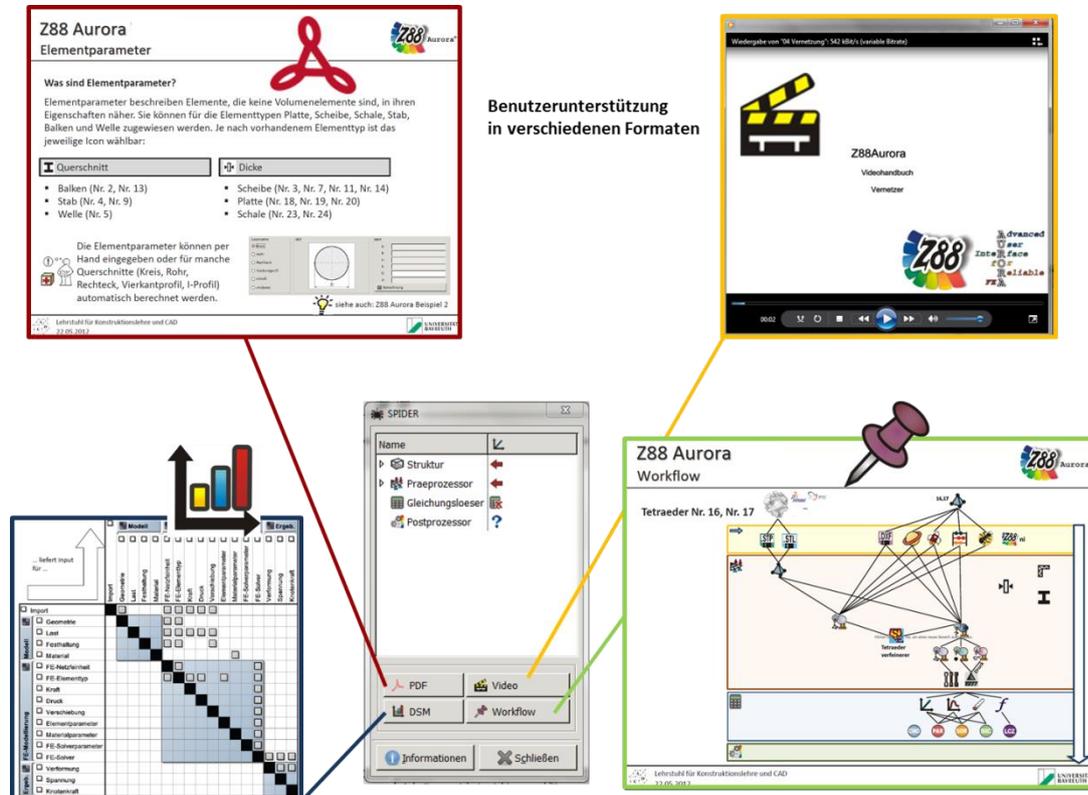


Abbildung 87: Unterstützungsartefakte in SPIDER

Über Z88Aurora

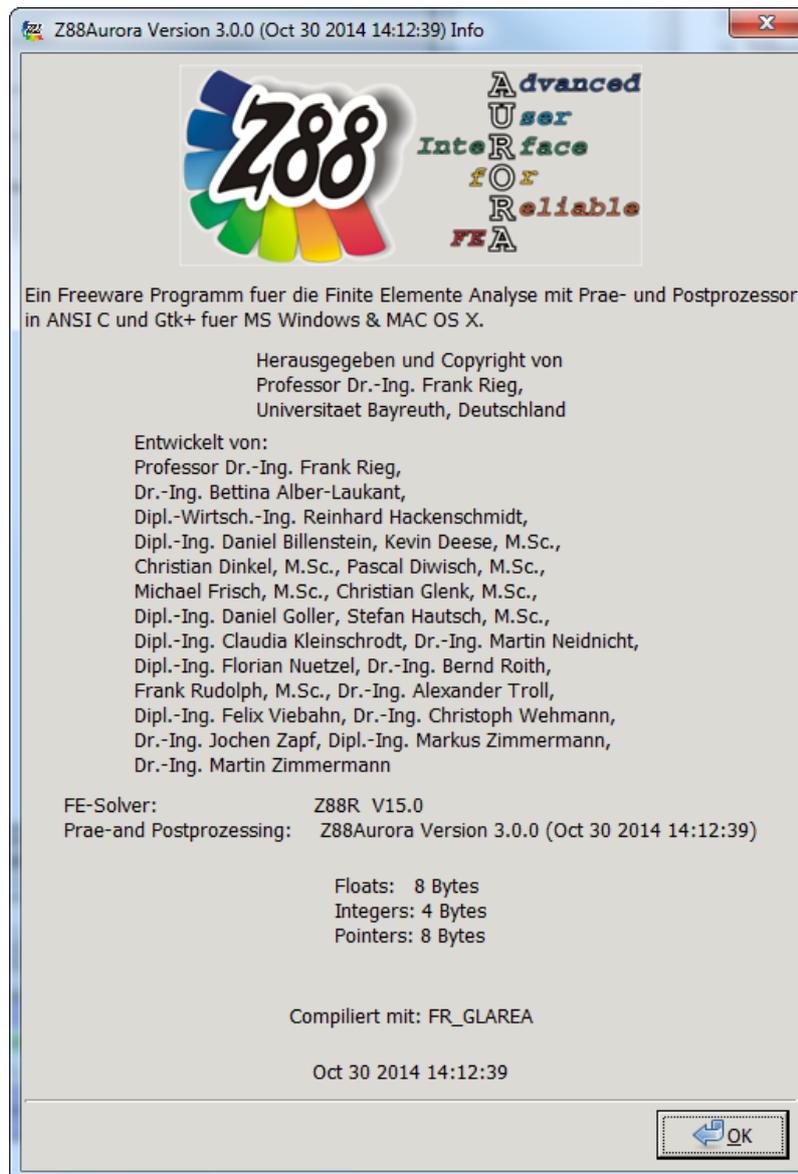


Abbildung 88: Versionsinformation Z88Aurora

Support

Homepage

Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Homepage www.z88.de.

Email

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



Auf unserer Homepage finden Sie ein Benutzerforum, in dem Sie mit anderen Anwendern über Z88 Themen diskutieren können.



Neuigkeiten rund um die Entwicklung von Z88Aurora

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

8. 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