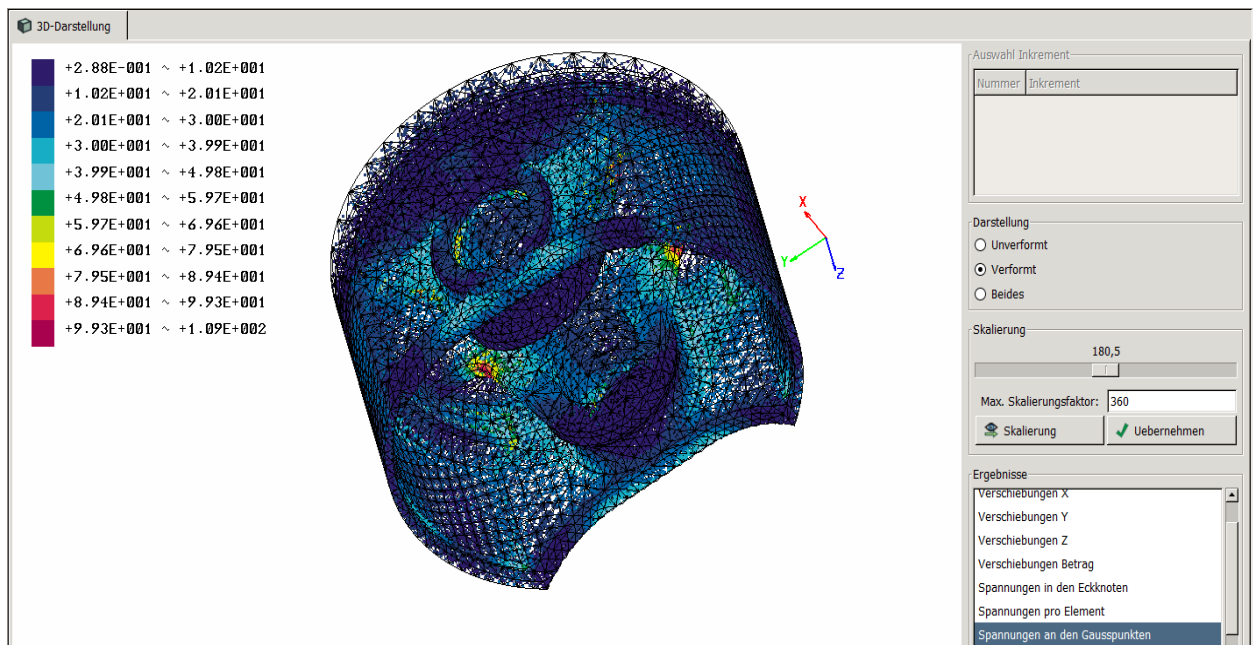




Das Theoriehandbuch



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*

*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

WILLKOMMEN ZU Z88AURORA!

Z88Aurora ist ein Softwarepaket für die Finite-Elemente-Analyse (FEA) in der Struktur- und Kontinuumsmechanik für lineare und nichtlineare Statik, Wärmeleitung und Schwingungen. Es wird seit 2009 von einem 10-köpfigen Team unter der Leitung von Prof. Rieg entwickelt. Z88Aurora basiert auf der Z88-OpenSource-Version V14 und ist für Windows 32-Bit und 64-Bit, Linux 64-Bit und MAC OS-X zum freien Download (als ausführbare Datei) verfügbar. Zusätzlich zur Z88-OpenSource-Version V14 bietet Z88Aurora eine graphische Bedienoberfläche, einen komplett neuen Präprozessor, eine Erweiterung des bewährten Postprozessors Z88O sowie diese mehr-CPU-fähigen Solver: den linearen Solver (Z88R), den Thermosolver (Z88THERMO), den Schwingungssolver (Z88EI) und den nichtlinearen Solver (Z88NL). Bei der Entwicklung von Z88Aurora wurde besonders auf eine intuitive Bedienung Wert gelegt.

Die vorliegende Version Z88Aurora V3 ist eine Weiterentwicklung der enorm erfolgreichen Version V2 und dessen Vorgänger V1 von Z88. Sie ermöglicht dieser Erfassung von nichtlinearem Materialverhalten mit dem nichtlinearen Solver Z88NL. Hier können drei plastische Materialmodelle gewählt werden, die eine Berechnung von bleibenden Deformationen und Eigenspannungen ermöglichen.

Seit der Version V2b bietet Z88Aurora noch weitaus umfangreichere Möglichkeiten der Strukturaufbereitung, sodass der Import von STL- und STEP-Dateien zusammen mit dem Aufbringen von Randbedingungen und Materialzuweisungen noch einfacher gelingt. Die neue und einzigartige Online-Hilfe *SpiderHelp* wendet sich besonders an FEA-Einsteiger und führt Sie von Anfang bis Ende durch den kompletten Workflow.

Z88Aurora will sich nicht mit professionellen FE-Programmen für Workstations oder Großcomputer messen, die dann zwar alles können, aber kaum noch bedienbar und bezahlbar sind. Während Sie bei manchen Programmen dieses Genres auch in der PC-Klasse noch rätseln, wie das System überhaupt installiert und gestartet wird, haben Sie mit Z88Aurora schon die ersten Beispiele gerechnet. Und die Online-Hilfe ist immer nur einen Tastendruck oder Mausklick entfernt. Z88Aurora arbeitet mit deutscher oder englischer Sprache, je nach Ihrer Einstellung (GERMAN oder ENGLISH) im Optionsmenü.

Zusätzlich zu diesem Theoriehandbuch stehen ein Benutzerhandbuch, ein Beispielhandbuch, ein Installationshandbuch und Videosequenzen zu verschiedenen Themen zur Verfügung.

Wenn Sie bereits FE-Erfahrungen haben, können Sie gleich loslegen. Falls Sie absoluter Neuling auf diesem Gebiet sind, wird begleitende Sekundärliteratur empfohlen. Hier eine kleine Auswahl:

- Zienkiewicz, O.C.; Taylor, R.L.: *The Finite Element Method. Volumes 1-3, Butterworth-Heinemann bzw. John Wiley & Sons, 2000, 5th edition.*
- Bathe, K.J.: *Finite- Element- Methoden. Springer, Berlin Heidelberg, 2001, 2. Auflage.*
- Rieg, F.; Hackenschmidt, R., Alber-Laukant, B.: *Finite Elemente Analyse für Ingenieure. Hanser- Verlag, München Wien 2014, 5. Auflage.*

Die Z88-Internetseite: www.z88.de. Geben Sie uns Ihr Feedback!

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Universität Bayreuth

Bayreuth, März 2015

frank.rieg@uni-bayreuth.de

<http://www.konstruktionslehre.uni-bayreuth.de>

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

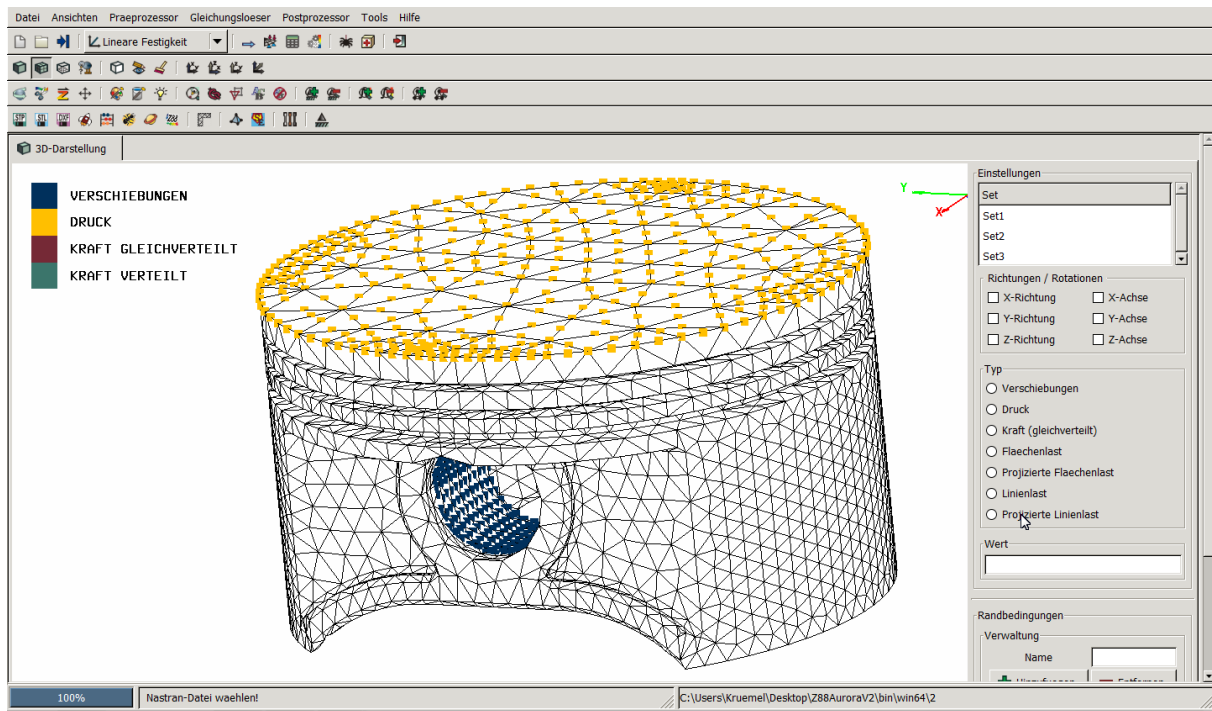
Die Unwirksamkeit einer oder mehrerer Bestimmungen dieses Vertrages berührt die Wirksamkeit des Vertrages im Übrigen nicht. An die Stelle einer unwirksamen Klausel sollen die gesetzlichen Bestimmungen treten. Für den Fall einer regelungsbedürftigen Lücke sollen die Vertragsparteien eine Regelung finden,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

INHALTSVERZEICHNIS

WILLKOMMEN ZU Z88AURORA!.....	3
1.1 ALLGEMEINES ZU Z88AURORA.....	8
1.2 DIE Z88-ELEMENT-BIBLIOTHEK IM ÜBERBLICK:	10
2D-PROBLEME: SCHEIBEN, PLATTEN, BALKEN, STÄBE	10
AXIALSYMMETRISCHE PROBLEME:.....	13
SCHALEN-PROBLEME:	14
RÄUMLICHE PROBLEME:	16
2. Die Z88-Module	20
2.1 ALLGEMEINES	20
2.2 DIE MODULE IN KURZFORM	20
I. DER PRÄ- UND POSTPROZESSOR.....	20
II. DIE SOLVER	20
2.2.1 DER LINEARE SOLVER Z88R	20
2.2.2 DER EIGENSCHWINGUNGSSOLVER Z88EI.....	22
2.2.3 DER THERMOSOLVER Z88TH.....	23
2.2.4 DER NICHLINARE SOLVER Z88NL.....	23
III. DIE KOPPLUNGSMODULE ZU CAD- & FEA-SYS.	25
IV. DER SUPERELEMENTE-GENERATOR FÜR GERICHTETE NETZE.....	25
2.3 WELCHE Z88-ELEMENT KÖNNEN AUTOMATISCH ERZEUGT WERDEN? ..	26
3. Dateienlandschaft von Z88Aurora	27
3.1 VERGLEICH DER Z88-DATEIFORMATE.....	29
3.2 DATEIAUFBAU Z88AURORA	30
3.2.1 ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88STRUCTURE.TXT	30
3.2.2 GRUPPIERUNGSDATEIEN Z88MARKS.TXT UND Z88SETS.TXT	32
3.2.3 EIGENSCHAFTSDATEI Z88SETACTIVE.TXT.....	34
3.2.4 MATERIALDATEI Z88MAT.TXT	34
3.2.5 MATERIALDATEIEN *.TXT	35
3.2.6 NETZGENERATOR-DATEI Z88NI.TXT	36
3.2.7 SOLVERSTEUERDATEI Z88CONTROL.TXT	41
3.2.8 SOLVERSTEUERDATEI Z88.DYN	46
3.2.9 OBERFLÄCHENSTEUERDATEI Z88ENVIRO.DYN.....	49
3.2.10 DATEI Z88NLI7.TXT FÜR VERLAUFSVARIABLEN.....	54
3.2.11 AUSGABEDATEIEN Z88O?.TXT	56
4. DIE Z88-MODULE.....	58
4.1 KONVERTER FÜR CAD- & FE-PROGRAMME.....	58
4.1.1 EINLESEN VON Z88-DATEN	60
4.1.2 MANUELLES ERSTELLEN VON Z88-DATEN.....	61
4.1.2 DER STEP-IMPORT IN Z88AURORA Z88GEOCON(STEP).....	71
4.1.3 DER STL-KONVERTER (STL).....	73
4.1.4 DIE STL-TOOLS	75
4.1.5 DER DXF-KONVERTER IN AURORA: Z88X	77
4.1.6 DER NASTRAN UND COSMOS-KONVERTER Z88G	102
4.1.7 DER ANSYS-KONVERTER Z88ASY	105
4.1.8 DER ABAQUS-KONVERTER Z88INP	106
4.2 DAS SET-MANAGEMENT UND DAS PICKING MODUL	109
4.2.1 FLÄCHENLASTEN	110
4.3 DER LINEARE SOLVER Z88R	113

4.3.1	WELCHEN LINEAREN SOLVER NEHMEN?	116
4.3.2	ERLÄUTERUNGEN ZUR SPANNUNGSBERECHNUNG	117
4.3.3	ERLÄUTERUNGEN ZUR KNOTENKRAFTBERECHNUNG	117
4.4	DER EIGENSCHWINGUNGSSOLVER Z88EI	118
4.5	DER THERMOSOLVER Z88TH	121
4.6	DER NICHTLINEARE SOLVER Z88NL	125
4.7	DER SUPERELEMENTE-GENERATOR 	129
4.7.1	Z88N FÜR 2D- UND 3D-ELEMENTE	129
4.7.2	DER TETRAEDERVERFEINERER (MTV)	132
4.7.3	DER SCHALENAUFDICKER (MVS)	133
4.8	DER POSTPROZESSOR	134
5.	BESCHREIBUNG DER FINITEN ELEMENTE	137
5.1	HEXAEDER NR.1 MIT 8 KNOTEN 	137
5.2	BALKEN NR.2 MIT 2 KNOTEN IM RAUM 	138
5.3	SCHEIBE NR.3 MIT 6 KNOTEN 	139
5.4	STAB NR.4 IM RAUM 	140
5.5	WELLE NR.5 MIT 2 KNOTEN 	141
5.6	TORUS NR.6 MIT 3 KNOTEN 	142
5.7	SCHEIBE NR.7 MIT 8 KNOTEN 	143
5.8	TORUS NR.8 MIT 8 KNOTEN 	144
5.9	STAB NR.9 IN DER EBENE 	145
5.10	HEXAEDER NR.10 MIT 20 KNOTEN 	146
5.11	SCHEIBE NR.11 MIT 12 KNOTEN 	147
5.12	TORUS NR.12 MIT 12 KNOTEN 	148
5.13	BALKEN NR.13 IN DER EBENE 	149
5.14	SCHEIBE NR.14 MIT 6 KNOTEN 	150
5.15	TORUS NR.15 MIT 6 KNOTEN 	151
5.16	TETRAEDER NR.16 MIT 10 KNOTEN 	152
5.17	TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN 	153
5.18	PLATTE NR.18 MIT 6 KNOTEN 	154
5.19	PLATTE NR.19 MIT 16 KNOTEN 	156
5.20	PLATTE NR.20 MIT 8 KNOTEN 	158
5.21	SCHALE NR.21 MIT 16 KNOTEN 	159
5.22	SCHALE NR.22 MIT 12 KNOTEN 	160
5.23	SCHALE NR.23 MIT 8 KNOTEN 	161
5.24	SCHALE NR.24 MIT 6 KNOTEN 	162
5.25	BALKEN NR.25 MIT 2 KNOTEN IM RAUM 	164

DAS FINITE-ELEMENTE PROGRAMM Z88AURORA



1.1 ALLGEMEINES ZU Z88AURORA

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
- Windows-, Linux- und OS-X-Versionen verwenden die gleichen Rechenkerne
- Voller Datenimport von CAD-Systemen (*.STP, *.STL)
- FE-Netz Import (AutoCAD *.DXF, *.COS, *.NAS, *.ANS, *.INP)
- Kontextsensitive Online-Hilfe, Spider-Workflow und Lernvideos
- Einfachste Installation mit Microsoft® Installer (MSI)
- Z88Aurora V3 ist direkt kompatibel zu Z88 V14 OS und zu Z88Aurora V2. Z88V13 und Z88Aurora V1 Dateien können migriert 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.

Die Dateiformate der vier Z88-Versionen Z88Aurora V3, Z88Aurora V2, Z88Aurora V1 und Z88 V14 OS sind sich recht ähnlich, aber besonders bei Z88Aurora V3 sowie bei Z88Aurora V2 sind die Eingabedaten auf mehr und andere Eingabedateien gegenüber den früheren Versionen verteilt, damit die Möglichkeiten der GUI besser genutzt und Erweiterungen besser berücksichtigt werden können. Geeignete Konverter für die Migration älteren Formate stehen zur Verfügung.

Inwieweit Z88Aurora sich mit anderen Programmen verträgt, ist nicht vollständig 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 senden Sie bitte an aurorasupport@z88.de. Auf der Homepage www.z88.de sind zusätzlich FAQs erhältlich, ein Forum bietet Raum für den Erfahrungsaustausch.

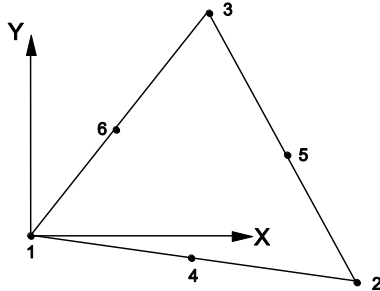
Die vorliegende Version Z88Aurora V3 wurde auf Windows 8.1 64-Bit, Windows 7 32- und 64-Bit, Windows Vista 32- und 64-Bit, Ubuntu 12.04 sowie 14.04 und openSUSE 12.0, 12.2 LINUX sowie Mac OS-X Snow Leopard, Mountain Lion & Mavericks getestet.

1.2 DIE Z88-ELEMENT-BIBLIOTHEK IM ÜBERBLICK:

2D-PROBLEME: SCHEIBEN, PLATTEN, BALKEN, STÄBE

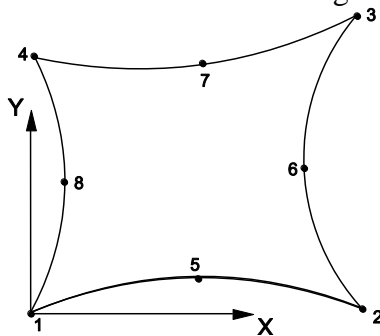
Scheibe Nr.3

- quadratischer Ansatz, aber geradlinig
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen im Schwerpunkt: gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



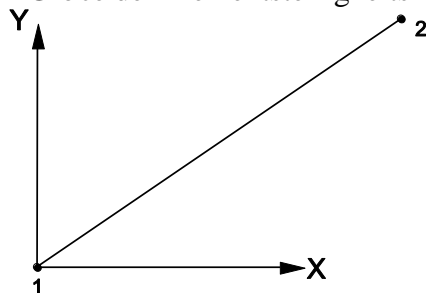
Scheibe Nr.7

- quadratisches, isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 16×16



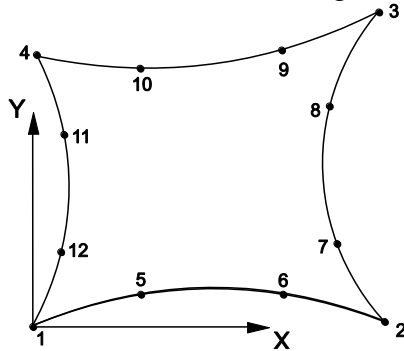
Stab Nr.9

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Rechenaufwand: minimal
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 4×4



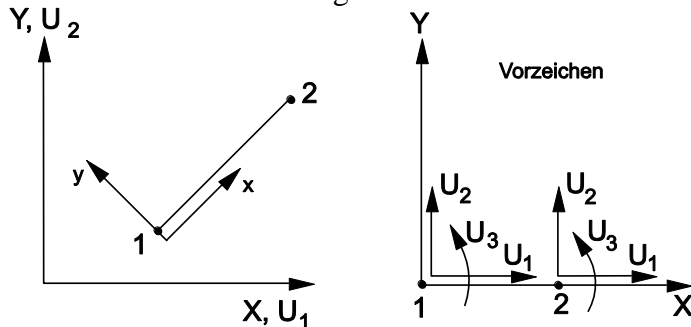
Scheibe Nr.11

- kubisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen: ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 24×24



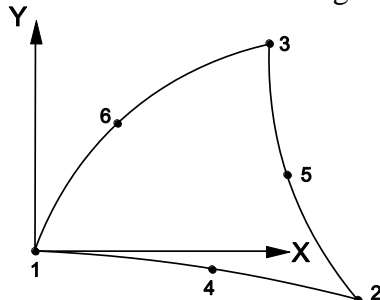
Balken Nr.13

- linearer Ansatz für Zug, kubischer Ansatz für Biegung
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 6×6



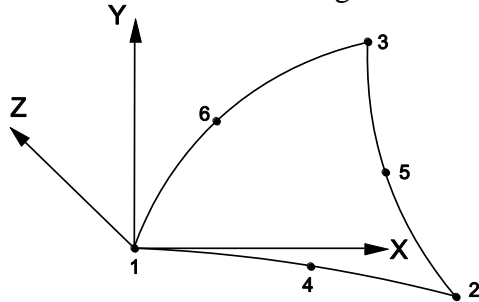
Scheibe Nr.14

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



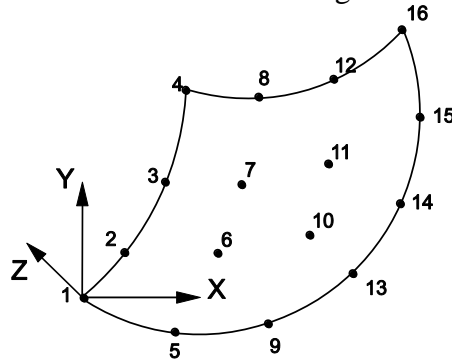
Platte Nr.18

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element mit Reissner-Mindlin Ansatz
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: brauchbar
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 18×18



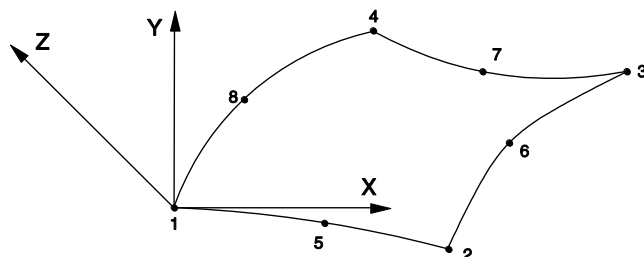
Platte Nr.19

- kubisches isoparametrisches Lagrange Element mit Reissner-Mindlin Ansatz
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 48×48



Platte Nr.20

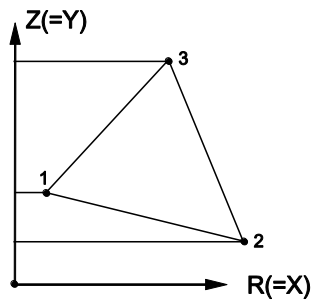
- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element mit Reissner-Mindlin Ansatz
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: recht gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 24×24



AXIALSYMMETRISCHE PROBLEME:

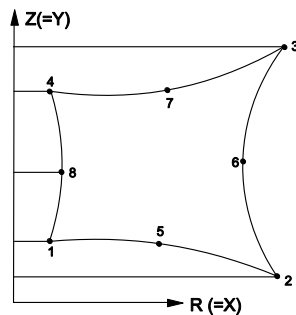
Torus Nr.6

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen: mittel
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: ungenau
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 6×6



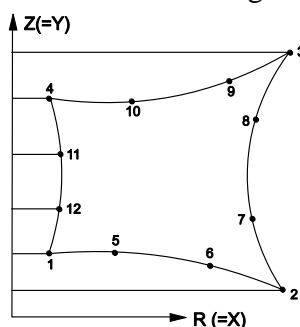
Torus Nr.8

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 16×16



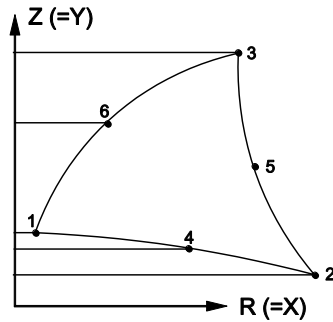
Torus Nr.12

- kubisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen: ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 24×24



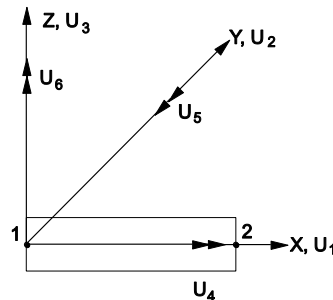
Torus Nr.15

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



Welle Nr.5

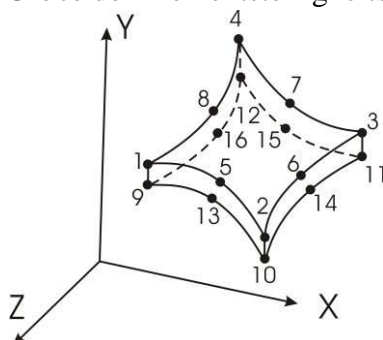
- linearer Ansatz für Zug und Torsion, kubischer Ansatz für Biegung
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



SCHALEN-PROBLEME:

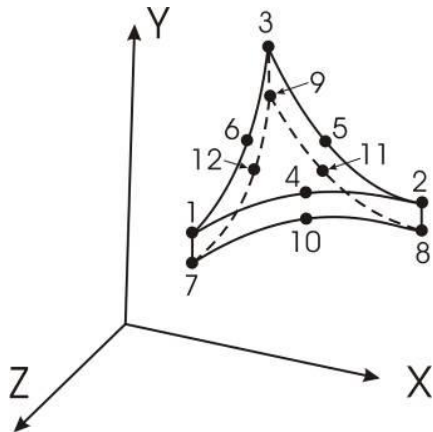
Schale Nr.21

- krummliniges, isoparametrisches Serendipity-Volumenschalenelement
- isoparametrische Transformation
- beliebige Krümmung des Elements möglich
- sehr genaue Berechnung von Verschiebungen als auch von Spannungen
- Spannungen an den Eckknoten (gut als Überblick) oder Gauß-Punkten (erheblich genauer)
- Rechenaufwand: hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 48×48



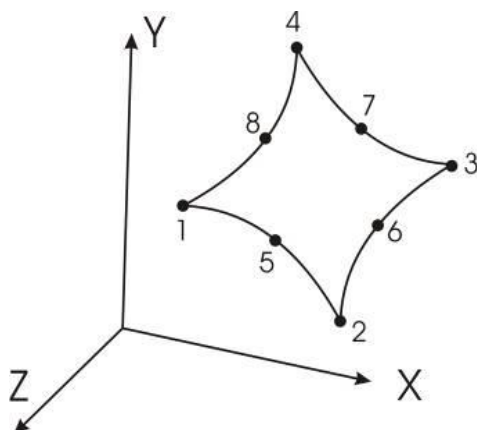
Schale Nr.22

- krummliniges, isoparametrisches Serendipity-Volumenschalenelement
- isoparametrische Transformation
- beliebige Krümmung des Elements möglich
- sehr genaue Berechnung von Verschiebungen als auch Spannungen
- Spannungen an den Eckknoten (gut als Überblick) oder Gauß-Punkten (erheblich genauer)
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 36×36



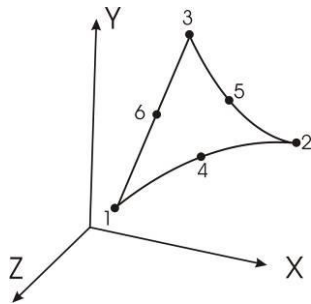
Schale Nr.23

- krummliniges, isoparametrisches Serendipity-Schalenelement
- quadratischer Ansatz
- isoparametrische Transformation
- alle Knoten auf einer Ebene
- gute Berechnung von Verschiebungen als auch von Spannungen
- Spannungen an den Eckknoten (gut als Überblick) oder Gauß-Punkten (erheblich genauer)
- Rechenaufwand: hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 48×48



Schale Nr.24

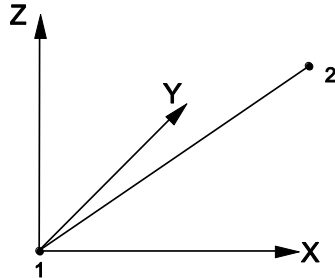
- krummliniges, isoparametrisches Serendipity-Schalenelement
- quadratischer Ansatz
- isoparametrische Transformation
- alle Knoten auf einer Ebene
- gute Berechnung von Verschiebungen als auch von Spannungen
- Spannungen an den Eckknoten (gut als Überblick) oder Gauß-Punkten (erheblich genauer)
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 36×36



RÄUMLICHE PROBLEME:

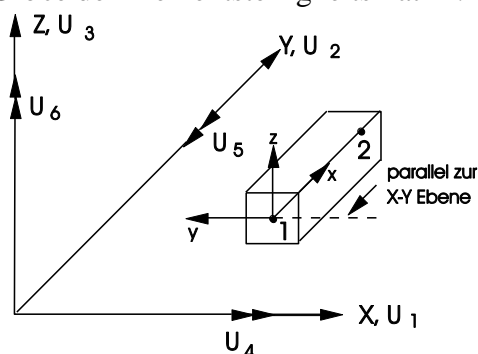
Stab Nr.4

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Rechenaufwand: minimal
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 6×6



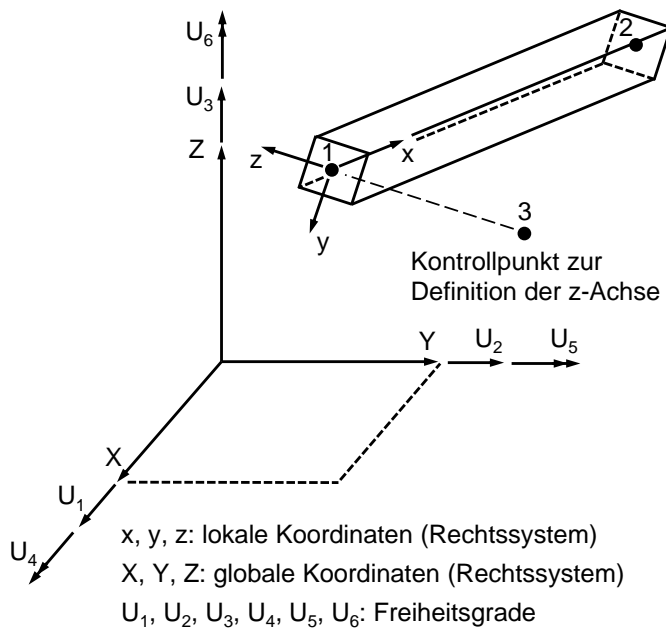
Balken Nr.2

- linearer Ansatz für Zug und Torsion, kubischer Ansatz für Biegung
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



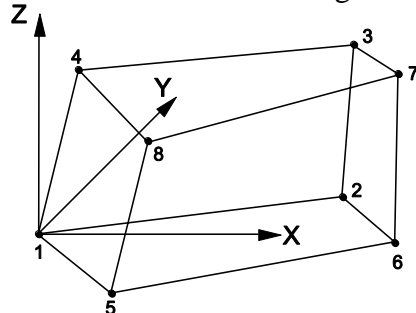
Balken Nr.25

- linearer Ansatz für Zug und Torsion, kubischer Ansatz für Biegung
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12
- beliebige Definition der Orientierung des Querschnitts im Raum möglich
- Kontrollpunkt zur Festlegung der Orientierung
- Theorie wahlweise nach Bernoulli oder Timoshenko



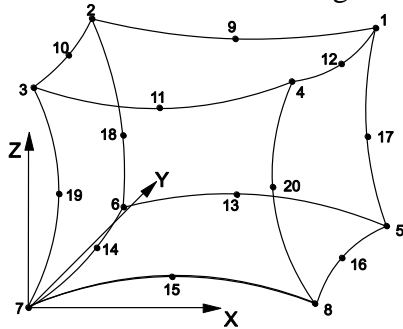
Hexaeder Nr.1

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen: mittel
- Spannungen an den Gauß-Punkten: brauchbar
- Spannungen an den Eckknoten: ungenau
- Rechenaufwand: sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 24×24



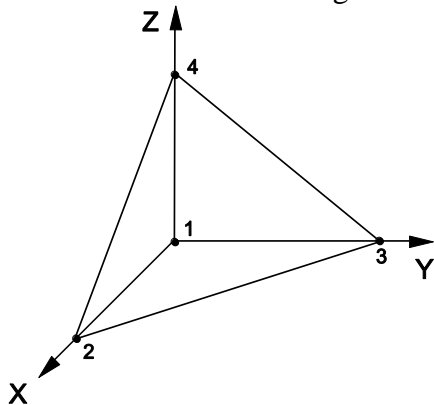
Hexaeder Nr.10

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Spannungen an den Gauß-Punkten: sehr gut
- Spannungen an den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: extrem hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 60×60



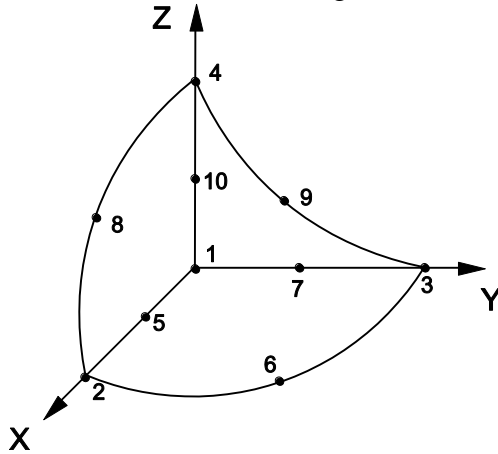
Tetraeder Nr.17

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen: schlecht
- Spannungen an den Gauß-Punkten: ungenau
- Spannungen an den Eckknoten: sehr ungenau
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



Tetraeder Nr.16

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Spannungen an den Gauß-Punkten: sehr gut
- Spannungen an den Eckknoten: gut
- Rechenaufwand: sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 30×30



2. DIE Z88-MODULE

2.1 ALLGEMEINES

Z88Aurora erledigt immer nur die Aufgaben, die Sie ihm momentan stellen. Hinter der neuen Oberfläche werden die bewährten Z88 Programme aufgerufen. Z88 ist kein riesiges, monolithisches Programm, sondern besteht nach der UNIX-Philosophie "small is beautiful" aus mehreren, getrennt lauffähigen Modulen. Sie werden nach Ihren Erfordernissen in den Hauptspeicher geladen, führen ihre Aufgaben aus, und geben den Speicher wieder frei. Die Z88-Module kommunizieren miteinander durch Dateien, vgl. Kap.3.

2.2 DIE MODULE IN KURZFORM

I. DER PRÄ- UND POSTPROZESSOR

Zusätzlich zu den bewährten Z88 Modulen verfügt Z88Aurora über eine graphische Bedienoberfläche. Alle Eingaben, die in Z88 V14 OS über die Eingabedateien Z88I1-Z88I5.TXT erfolgten, werden nun direkt in Z88Aurora vorgenommen. Natürlich können aber jederzeit bestehende Eingabedaten aus Z88 V14 OS oder Z88Aurora V2 direkt importiert bzw. Z88Aurora V1 nach Z88Aurora V3 migriert werden (mit MITOO). Weiterhin können für die Weiterverwendung der Ergebnisse die Dateien Z88O2-Z88O4.TXT angezeigt und gedruckt werden.

II. DIE SOLVER

2.2.1 DER LINEARE SOLVER Z88R

Der lineare **Solver Z88R** ist das Herz des Programmsystems. Er liest die allgemeinen Strukturdaten, die Randbedingungen und Lasten, die Integrationsordnung, die Elementparameter, die Solversteuerung sowie die Materialien ein. Grundsätzlich können die Z88 Eingabedateien per CAD-Konverter Z88X, per 3D-Konverter Z88G, per Netzgenerator Z88N, per Editor oder Textverarbeitungssystem oder mit einem gemischten Vorgehen generiert werden. Der Solver gibt sodann aufbereitete Strukturdaten Z88O0.TXT, aufbereitete Randbedingungen Z88O1.TXT aus, berechnet die Element-Steifigkeitsmatrizen, kompiliert die Gesamt-Steifigkeitsmatrix, skaliert das Gleichungssystem, löst das (riesige) Gleichungssystem und gibt die Verschiebungen in Z88O2.TXT aus. Damit ist die Grundaufgabe jedes FEA-Systems, also die Berechnungen der Verschiebungen gelöst. Sodann werden die Spannungen berechnet und in Z88O3.TXT gegeben; anschließend werden die Knotenkräfte berechnet und in Z88O4.TXT gegeben. Ferner erzeugt der Solver zwei Dateien Z88O5.TXT und Z88O8.TXT, die für die interne Kommunikation mit Z88Aurora dienen.

Z88R verfügt intern über drei verschiedene Solver:

- Ein sog. *Cholesky-Gleichungslöser* ohne *Fill-In*. Er ist unkompliziert zu bedienen und bei kleinen und mittleren Strukturen sehr schnell. Er ist die richtige Wahl für kleine und mittlere Strukturen bis 20.000 ... 30.000 Freiheitsgrade. **In Z88Aurora ist die Auswahl des Cholesky Solvers nur bei Stäben und Balkenelementen möglich!**

- Ein sog. *Direkter Sparsematrix-Solver mit Fill-In*. Er nutzt den sog. PARDISO-Solver. Dieser Solver ist sehr schnell, zieht aber sehr viel dynamisches Memory zur Laufzeit an. Er ist die richtige Wahl für mittelgroße Strukturen bis ca. 150.000 Freiheitsgrade bei handelsüblichen 32-Bit PCs. Wir haben auch Strukturen mit ca. 1 Mio. Freiheitsgraden sehr flott gerechnet, allerdings auf einem Computer mit 32 Gbyte Hauptspeicher (!), 4 CPUs, 64-Bit Version Z88.
- 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 Z88 bei ca. 6 GByte Hauptspeicher verwenden. *Dieser sehr bewährte und stabile Solver funktioniert nach unseren Beobachtungen immer, sodass Sie ihn ruhig als Standardsolver verwenden können.*

Aufgerufen werden die Solvertypen in Z88Aurora über das Solvermenü:

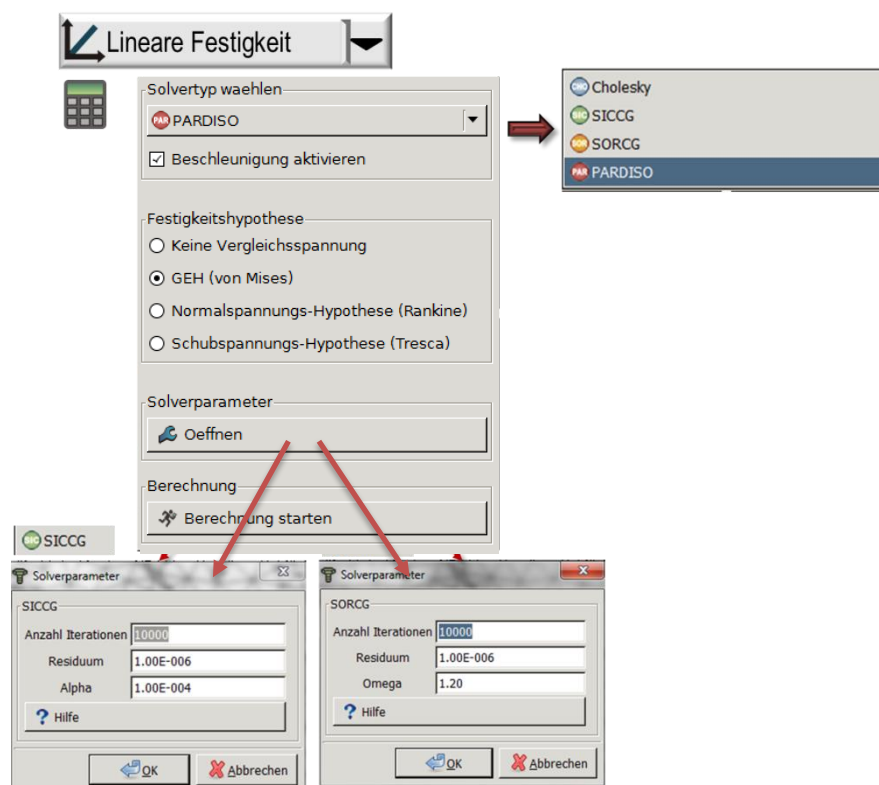


Abbildung 1: Solvermenü des linearen Solvers

Neu seit der Version Z88AuroraV2b sind beschleunigte Versionen der linearen Solver. Einige Schritte innerhalb des Lösungsprozesses konnten stark verkürzt werden, ohne dass dabei die Ergebnisqualität negativ beeinträchtigt wird. Insbesondere wurden die beiden Varianten des iterativen CG-Solvers parallelisiert, wodurch nicht nur auf einer CPU sondern auf beliebig vielen gleichzeitig gerechnet werden kann. Hierfür wird in etwa das Doppelte des üblichen Arbeitsspeichers benötigt. Ferner wird für das Abbruchkriterium nun das mathematische Residuum verwendet, welches die Norm des Fehlervektors beinhaltet. Diese Schwelle entspricht der Wurzel des Abbruchkriteriums des Z88R. Auch bei der Randbedingungsaufgabe

und anderen Phasen wurden Modifikationen vorgenommen, sodass auch der bereits parallelisierte Pardiso-Solver nochmals beschleunigt werden konnte. Sämtliche Änderungen firmieren unter dem Namen Z88RS und sind nutzbar, wenn ein Häkchen bei „Beschleunigung“ gesetzt wird.

2.2.2 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 FEA-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.

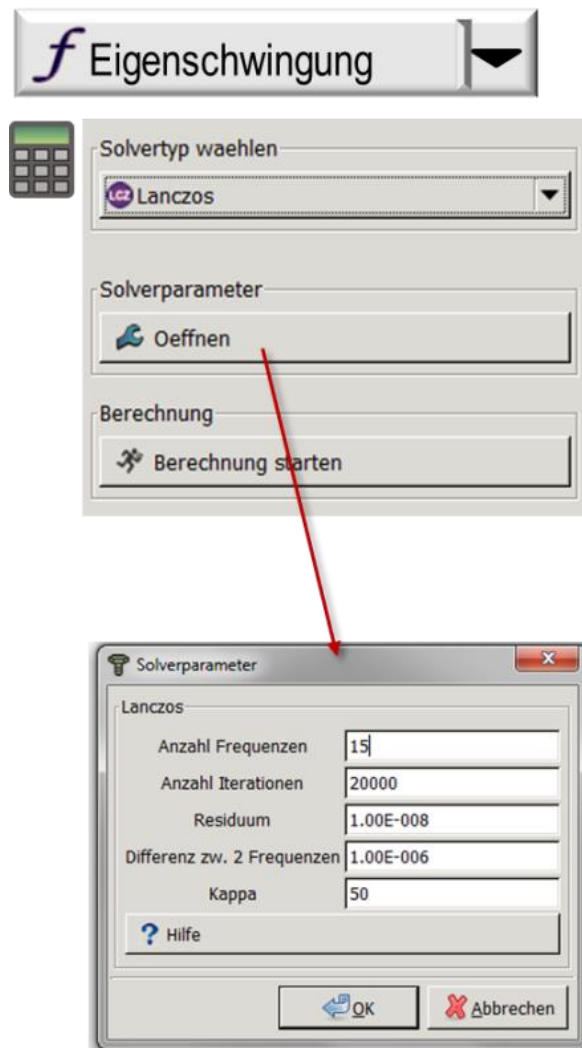


Abbildung 2: Solvermenü des Eigenschwingungssolvers

2.2.3 DER THERMOSOLVER Z88TH

Das Modul für thermo-mechanische Simulationen 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 Wärmeleitungskoeffizient 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 Z88thermo, dass eine solche Simulation durchgeführt werden soll. Werden nur thermischen Randbedingungen aufgegeben, so wird auch nur stationär-thermisch gerechnet.

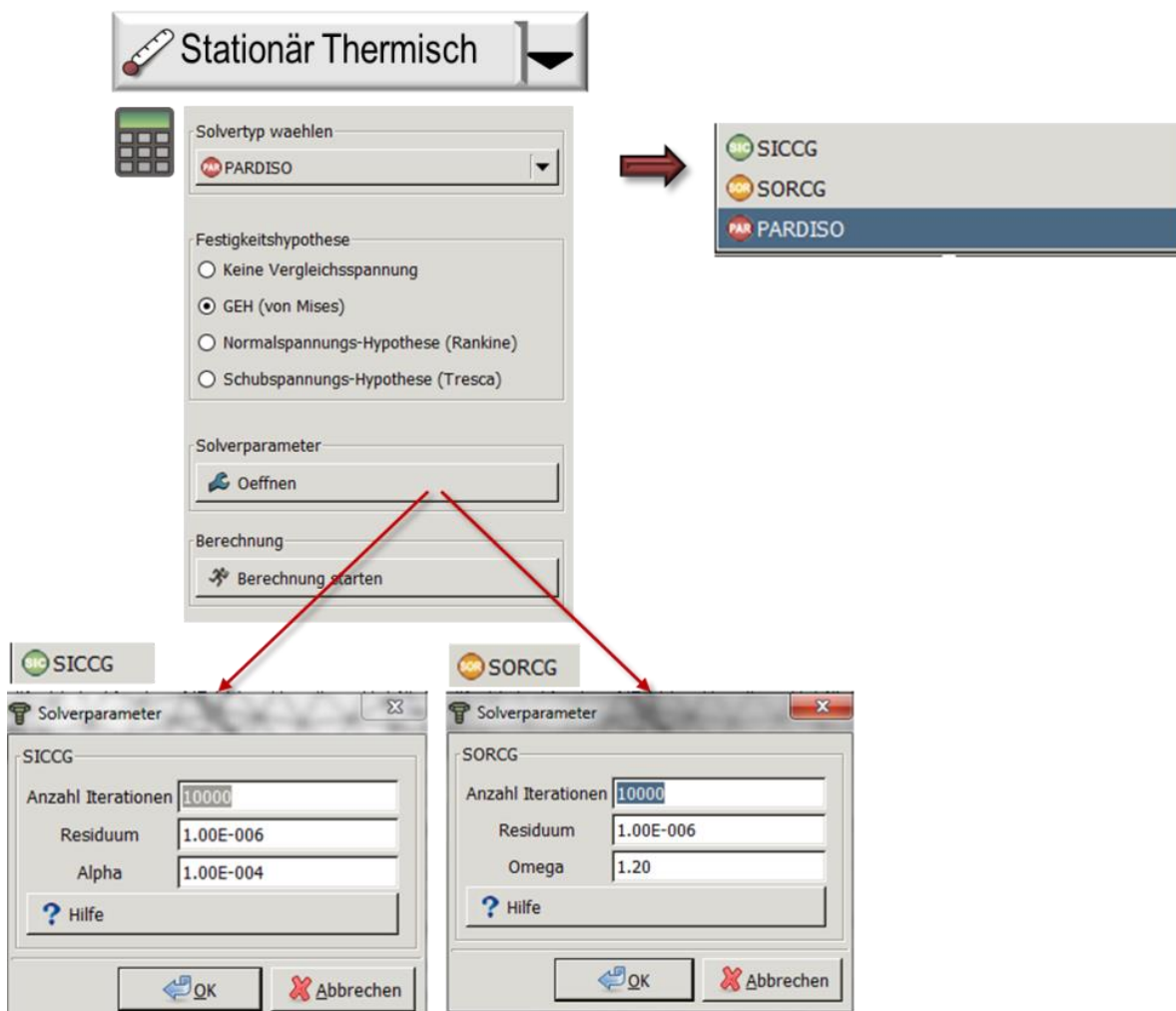


Abbildung 3: Solvermenü des Thermosolvers Z88Thermo

2.2.4 DER NICHLINEARE SOLVER Z88NL

Das Modul Z88NL stellt einen Gleichungslöser dar, der für nichtlineare Berechnungen ausgelegt ist. Nichtlinearitäten können dabei geometrische Nichtlinearitäten oder Materialnichtlinearitäten sein.

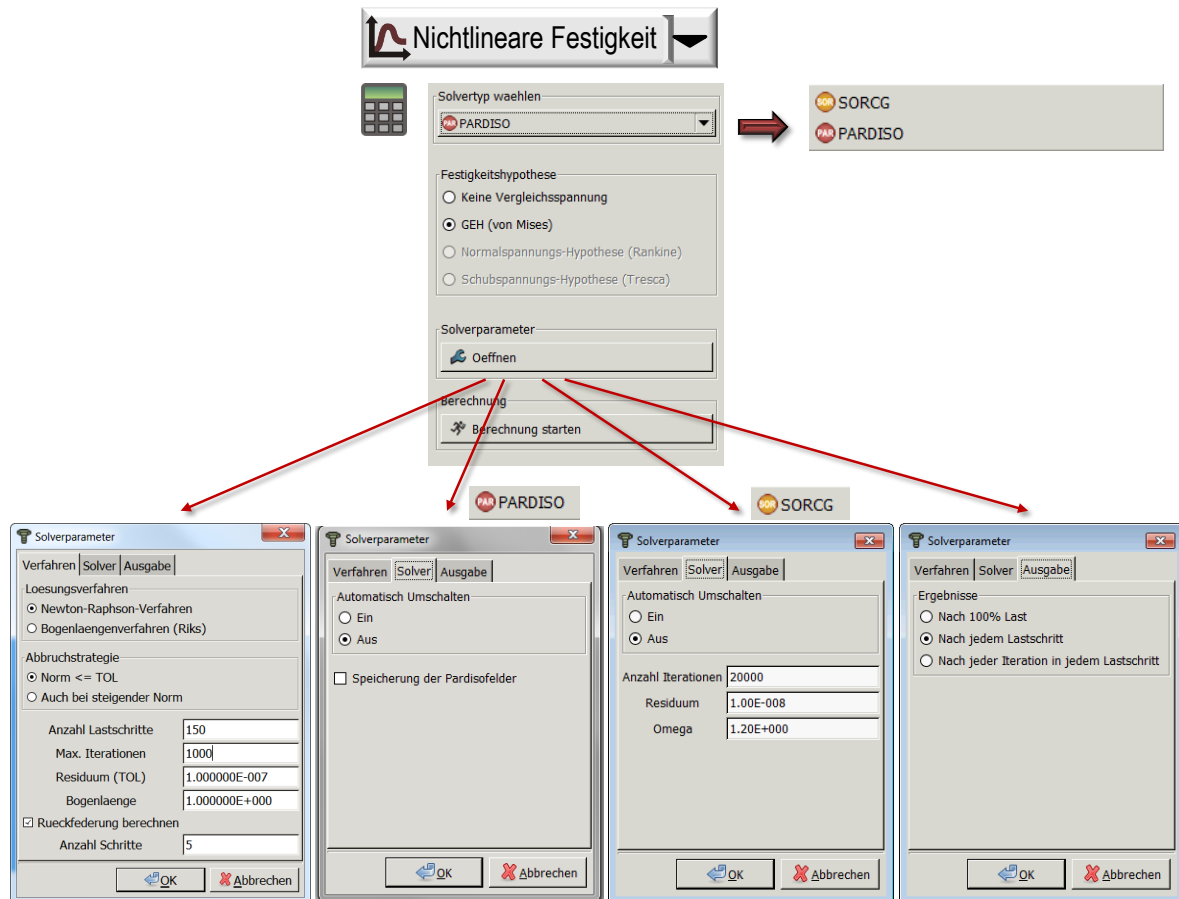


Abbildung 4: Ansteuerung des nichtlinearen Gleichungslösers Z88NL

III. DIE KOPPLUNGSMODULE ZU CAD- & FEA-SYS.



Z88Aurora bietet Ihnen die Möglichkeit, eine Vielzahl von gängigen Dateiformaten aus kommerziellen Simulationsprogrammen einzuladen, reine Geometriedaten oder Superstrukturen zu importieren, sowie über externe, mitgelieferte Konverter (MITOO) bestehende FE-Daten bzw. CAD-Daten aus der Version 13 des Open Source Programms Z88 bzw. aus Z88Aurora V1 zu migrieren. Jeder dieser Konverter bietet einen individuellen Funktionsumfang und gegebenenfalls eigene Einstellmöglichkeiten. Im Kapitel 3.2 werden die einzelnen Funktionen der Hilfsprogramme sowie das Vorgehen bei deren Benutzung genauer erläutert. Folgende Möglichkeiten bieten sich Ihnen:



Einlesen von Z88-Dateien (Z88V14 OS und vorher mit MITOO konvertierte Z88V13 bzw. Aurora V1 Daten).



STEP-Import: Sie können 3D-Geometriedaten im STEP-Datenformat nach DIN ISO 10303 AP 203 und AP 214 importieren. Dieses Format wird von den meisten 3D-CAD-Systemen unterstützt.



AUTOCAD DXF-Import: Sie haben die Möglichkeit, in AutoCAD erstellte 2D- und 3D FE-Strukturen einzulesen und weiterzubearbeiten. Dies verlangt etwas Vorarbeit, vgl. Kap. 4.1.4.



STL-Import: Z88Aurora verarbeitet Stereolithographie-Daten, welche eine triangulierte 3D-Struktur beinhalten. Dieses Format wird typischerweise auch als Eingangsformat für CAM-Programme verwendet, deshalb können die meisten CAD-Programme diesen Dateityp erzeugen.



NASTRAN-Import: Das CAD-System Pro/ENGINEER und weitere kommerzielle Programme können FE-Daten (Kontinuumselemente und Randbedingungen) als *.nas Datei ausschreiben. Diese können direkt in Z88Aurora eingelesen werden.



ABAQUS-Import: Ähnlich wie im Fall NASTRAN können auch die Input-Dateien (*.inp) des Programms ABAQUS verarbeitet werden.



ANSYS-Import: Direkte Umwandlung von ANSYS-PREP7-Daten in Daten für Z88Aurora.



COSMOS-Import: Der aus Vorgängerversionen bekannte Import von COSMOS-Dateien wird weiterhin unterstützt.

IV. DER SUPERELEMENTE-GENERATOR FÜR GERICHTETE NETZE
















In Z88Aurora stehen 4 Möglichkeiten zur Verfügung, Netzverfeinerungen vorzunehmen:

- Superelementgenerator für Hexaeder, Tori, Scheiben, Platten und Volumenschalen
- Tetraederverfeinerer für Tetraeder
- Schalenaufdicker für 2D-Schalen
- Der STL-Verfeiner für importierte STL-Netze

Je nach verwendetem finitem Element sind Einstellungen vorzunehmen.

2.3 WELCHE Z88-ELEMENT KÖNNEN AUTOMATISCH ERZEUGT WERDEN?




Tabelle 1: Automatische erzeugbare Elementtypen

Elementtyp	Ansatz	*.COS 	*.NAS 	*.INP 	*.ANS 	*.DXF 	Super element 	erzeugt FE (Z88N)
Hexaeder 								
Hexaeder Nr.1	linear	✗	✗	✓	✗	✓	✓	Hexaeder Nr.1
Hexaeder Nr.10	quadratisch	✗	✗	✓	✗	✓	✓	Hexaeder Nr.10& 1
Tetraeder 								
Tetraeder Nr.16	quadratisch	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-
Tetraeder Nr.17	linear	✓	✓	✓	✓	✓	✗	-
Scheibe 								
Scheibe Nr.3	quadratisch	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Scheibe Nr.7	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✓	Scheibe Nr.7
Scheibe Nr.11	kubisch	✗	✗	✗	✗	✓	✓	Scheibe Nr.7
Scheibe Nr.14	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✗	-
Torus 								
Torus Nr.6	linear	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Torus Nr.8	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✓	Torus Nr.8
Torus Nr.12	kubisch	✗	✗	✗	✗	✓	✓	Torus Nr.8
Torus Nr.15	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✗	-
Platte 								
Platte Nr.18	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✗	-
Platte Nr.19	kubisch	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Platte Nr.20	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✓	Platte Nr.19&20
Schale 								
Schale Nr.21	quadratisch	✗	✗	✗	✗	✓	✓	Schale Nr.21
Schale Nr. 22	quadratisch	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Schale Nr. 23	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✗	-
Schale Nr. 24	quadratisch	✓	✓	✗	✓	✓	✗	-
Stab und Balkenstrukturen (mit Spezialfall Welle) 								
Stab Nr.4	exakt	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Stab Nr.9	exakt	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Balken Nr.2	exakt	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Balken Nr.13	exakt	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Welle Nr.5	exakt	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-
Balken Nr.25	exakt	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-

3. DATEIENLANDSCHAFT VON Z88AURORA

Grundsätzlich werden die Ein- und Ausgabedateien in Z88Aurora, anders als in Z88 V14 OS, während der Bedienung der Oberfläche erzeugt. Natürlich ist es möglich, bestehende Z88 V14 direkt bzw. Z88Aurora V1-Eingabedateien über mitgelieferte Migrationstools einzulesen und dann zu bearbeiten. Zusätzlich können alle Randbedingungen aus bestehenden Dateien nach erfolgreichem Import direkt in der Z88Aurora Oberfläche editiert und geändert werden. Einen Überblick über die Dateien gibt Tabelle 2:

Tabelle 2: Ein- und Ausgabedateien in Z88Aurora

Name	Zweck
Steuerdateien 	
Z88.DYN	Speicher- und Sprach-Steuerdatei
Z88.FCD	Fonts, Farben, Größen, und Konfigurations-Steuerdatei
Z88ENVIRO.DYN	Umgebungsvariablen Aurora
Z88CONTROL.TXT	Steuerdatei Aurora
1.TXT - *.TXT	Materialdatei für die Materialdatenbank in der Z88Aurora Oberfläche
Z88MARKS.TXT	Knoten- und Elementmarkierungen
Z88SETS.TXT	Knoten- und Elementsets für Materialzuweisung und Randbedingungen
Z88SETSACTIVE.TXT	Aktuell verwendete Sets des Projektes
Z88STRUCTURE.TXT	Strukturdaten, entspricht weitgehend Z88I1.TXT bei Z88 V14
Z88NLI7.TXT	Definition von Verlaufsvariablen
Ausgabedateien 	
Z88O0.TXT	Strukturdaten aufbereitet
Z88O1.TXT	Randbedingungen aufbereitet
Z88O2.TXT	berechnete Verschiebungen
Z88O3.TXT	berechnete Spannungen
Z88O4.TXT	berechnete Knotenkräfte
Z88O5.TXT	für interne Zwecke Z88Aurora
Z88O8.TXT	für interne Zwecke Z88Aurora
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 Kräfte (thermo-mechanisch)
Z88TO6.TXT	berechnete Spannungen (thermo-mechanisch)
Z88NLO2.TXT	berechnete Verschiebungen, nichtlineare Berechnung mit Z88NL
Z88NLO3.TXT	berechnete Cauchy-Spannungen, nichtlineare Berechnung mit Z88NL
Z88NLOH.TXT	berechnete Verlaufsvariablen, nichtlineare Berechnung mit Z88NL
Z88AURORA.LOG	Protokolldatei von Z88Aurora
Z88TRAIL.TXT	Protokolldatei von Z88Aurora
Importdateien 	
*.COS	COSMOS-FE-Datei für Konverter Z88G
*.NAS	NASTRAN-FE-Datei für Konverter Z88G
*.INP	ABAQUS-FE-Datei für Konverter Z88AINP
*.ASY	ANSYS-PREP7-FE-Datei für Konverter Z88ASY
*.DXF	AUTOCAD-CAD-Datei für Konverter Z88X

*.STP	Import von Geometrie für internen Vernetzer
*.STL	Import von Geometrie für internen Vernetzer
Z88NI.TXT	Eingabedatei für den Netzgenerator Z88N

Dimensionen, d.h. Maßeinheiten, werden nicht explizit ausgewiesen. Sie können in beliebigen Maßsystemen, also z.B. im metrischen oder angloamerikanischen Maßsystem arbeiten, mit Newton, Pounds, Tonnen, Millimetern, Metern, Inches - kurz, wie immer Sie wollen. Nur müssen natürlich die Maßeinheiten konsistent und durchgängig eingehalten werden. Beispiel: Sie arbeiten mit mm und N. dann muss der E-Modul natürlich in N/mm^2 eingesetzt werden.

Warum Arbeiten mit Dateien? Ist das nicht veraltet und geht das "interaktiv" nicht alles einfacher? In Z88Aurora haben Sie beide Möglichkeiten! **Eigenes Prä- und Postprozessing sind kompromisslos möglich.** Sie können die Eingabedateien durch kleine, selbst geschriebene Vorprogramme erzeugen lassen (ein solches Vorprogramm ist der Netzgenerator Z88N) oder die Datenauswertung durch andere Programme vornehmen: z.B. können Sie Z88-Ausgabedateien relativ leicht in EXCEL laden und dort analysieren. Oder Sie verwenden Z88Aurora und passen später eventuell noch die Eingaben manuell im Texteditor an, da sich nur wenige Randbedingungen geändert haben oder Sie mit einem anderen Material rechnen wollen. Sehr oft sind derartige Eingabedateien sogar **schneller** als mit irgendwelchen interaktiven Abfragen erzeugbar: Viele Eingabezeilen sind vorangegangenen Zeilen ähnlich: Nutzen Sie die Blockoperationen Ihres Editors zum Kopieren!

Jedes FEA-Programm kann, wie auch Z88Aurora, mitunter gewaltige Zahlenfriedhöfe erzeugen. Sehr oft interessieren nur ganz bestimmte Ausgabewerte, z.B. an speziellen Knoten. Die Ausgabedateien sind einfache ASCII-Dateien. Also können Sie sie editieren und kürzen und wirklich nur die **Sie interessierenden Werte** ausdrucken.

Abwärtskompatibilität:

Z88 V13 Dateien und Z88Aurora V1-Projekte können über mitgelieferte externe Migrationstools (MITOO) geladen werden. Z88 V14 OS und Z88Aurora V2 Dateien können einfach geöffnet werden.

Aus diesen Gründen wird hier nicht auf die Erklärung der Dateistruktur des Programmes verzichtet, Z88Aurora V3 soll für erfahrene Nutzer genauso transparent wie das Open Source Z88 V14 sein!

Regeln für Werte-Angaben innerhalb der Dateien:

Besondere Regeln oder Feldeinteilungen brauchen nicht beachtet zu werden, außer den üblichen C-Regeln:

- *Alle Zahlen sind durch mindestens ein Leerzeichen zu trennen*
- *Integerzahlen dürfen keinen Punkt oder Exponenten aufweisen*
- *Bei Realzahlen brauchen keine Punkte vorgesehen werden*
- *Zahlenwerte, die 0 (Null) sind, sind explizit anzugeben.*

Integer- Zahlen

Richtig: 1 345 55555 0

Falsch : 1. 345, 55555E+0 nichts

Real- Zahlen (in Z88 werden intern doppelt genaue Real- Zahlen [double] genutzt)

Richtig: 1. 345 5555.5E+10 0 0.

Falsch : 1, nichts

In Z88-Eingabefiles können in jeder Zeile auch Kommentare stehen, wenn vorher alle entsprechenden Daten ausgefüllt wurden. Zwischen letztem Datum und Kommentar mindestens ein Leerzeichen. Insgesamt können Zeilen in Z88-Eingabefiles maximal 250 Zeichen enthalten (echt gebraucht werden spürbar weniger als 80). Leerzeilen und reine Kommentarzeilen sind nicht erlaubt.

Oft auftretende Probleme beim Editieren der Textdateien:

- die Dateien sind nicht wirklich reine Textdateien und kein ASCII-Format
- durch Ihr Textprogramm wurden unbemerkt Steuerzeichen hinzugefügt
- die Dateien sind nicht in der letzten Zeile mit einem Return abgeschlossen
- die Koinzidenzliste ist nicht korrekt aufgestellt; besonders Hexaeder Nr.10 ist sehr empfindlich hinsichtlich falscher Nummerierung.

Z88Aurora - Eingabedateien haben für Windows, Linux und Mac OS-X den gleichen Aufbau. Sie können ohne Einschränkung Mac-Dateien in Windows laden und umgekehrt.

Prinzipiell kann der Benutzer das gewünschte Berechnungsmodell komplett in Z88Aurora erstellen. Benutzern, die schon Z88 kennen, soll aber dennoch die Möglichkeit gewährt werden, wie gewohnt die Dateien direkt mit einem Editor oder Textverarbeitungsprogramm zu editieren. Bei Textverarbeitungssystemen müssen Sie darauf achten, dass Sie reine ASCII-Texte erzeugen, also ohne verdeckte Steuerzeichen. Jedes Textverarbeitungsprogramm hat eine solche Option.

3.1 VERGLEICH DER Z88-DATEIFORMATE

Die Dateiformate der vier Z88-Versionen Z88Aurora V3, Z88Aurora V2, Z88V14.0 und Z88Aurora V1 sind sich recht ähnlich, aber besonders bei Z88Aurora V3 und V2 sind die Eingabedaten auf mehr und andere Eingabedateien gegenüber den früheren Versionen verteilt, damit die Möglichkeiten der GUI besser genutzt und Erweiterungen besser berücksichtigt werden können. Diese Dateistruktur liegt auch Z88V14.0 zugrunde. Geeignete Konverter für die beiden älteren Formate stehen zur Verfügung.

*Tabelle 3: Dateiformate der fünf Z88-Versionen
Z88Aurora V3, Z88Aurora V2, Z88V14 OS, Z88V13.0A und Z88Aurora V1*

	<i>Z88V14 OS</i>	<i>Z88Aurora V3/V2</i>	<i>Z88Aurora V1</i>	<i>Z88 V13.0A</i>
<i>Strukturdaten</i>	<i>Z88II.TXT</i>	<i>Z88STRUCTURE.TXT</i>	<i>Z88II.TXT</i>	<i>Z88II.TXT</i>
<i>Materialsteuerdaten</i>	<i>Z88MAT.TXT</i>	<i>Z88SETSACTIVE.TXT</i>	<i>Z88MAT.TXT</i>	<i>Z88II.TXT</i>
<i>Materialdateien</i>	<i>*.TXT</i>	<i>*.TXT</i>	<i>*.TXT</i>	
<i>Elementparameter</i>	<i>Z88ELP.TXT</i>	<i>Z88SETSACTIVE.TXT</i>	<i>Z88ELP.TXT</i>	<i>Z88II.TXT</i>
<i>Integrationsordnungen für Verschiebungsberechnung.</i>	<i>Z88INT.TXT</i>	<i>Z88ENVIRO.DYN</i>	<i>Z88MAT.TXT</i>	<i>Z88II.TXT</i>
<i>Integrationsordnungen für Spannungsberechnung.</i>	<i>Z88INT.TXT</i>	<i>Z88ENVIRO.DYN</i>	<i>Z88MANAGE.TXT</i>	<i>Z88I3.TXT</i>
<i>Solverparameter</i>	<i>Z88MAN.TXT</i>	<i>Z88CONTROL.TXT</i>	<i>Z88MANAGE.TXT</i>	<i>Z88I4.TXT</i>
<i>Randbedingungen</i>	<i>Z88I2.TXT</i>	<i>Z88SETSACTIVE.TXT</i>	<i>Z88I2.TXT</i>	<i>Z88I2.TXT</i>
<i>Flächenlasten</i>	<i>Z88I5.TXT</i>	<i>Z88SETSACTIVE.TXT</i>	<i>Z88I5.TXT</i>	<i>Z88I5.TXT</i>

Anzahl Mat-Gesetze NEG	Z88MAT.TXT	Z88SETSACTIVE.TXT	Z88MANAGE.TXT	Z88II.TXT
Koordinaten-Flag KFLAG	Z88II.TXT	Z88STRUCTURE.TXT	Z88II.TXT	Z88II.TXT
Balken-Flag IBFLAG	Z88MAN.TXT	entfällt	Z88II.TXT	Z88II.TXT
Platten-Flag IPFLAG	Z88MAN.TXT	entfällt	Z88II.TXT	Z88II.TXT
Flächenlast-Flag IQFLAG	entfällt	entfällt	Z88MANAGE.TXT	Z88II.TXT
Schalen-Flag IHFLAG	Z88MAN.TXT	entfällt	Z88II.TXT	Z88II.TXT
Radial/Tangential-spannungs-Flag: KDFLAG	Z88MAN.TXT	Z88CONTROL.TXT	Z88MANAGE.TXT (hier: KSFLAG)	Z88I3.TXT (hier: KFLAG)
Vergleichsspannungs-Flag: ISFLAG	Z88MAN.TXT	Z88CONTROL.TXT	Z88MANAGE.TXT	Z88I3.TXT

3.2 DATEIAUFBAU Z88AURORA

Z88Aurora reflektiert im Wesentlichen die Dateistruktur von Z88 V14 OS, aber die Eingaben sind auf mehrere Steuerdateien verteilt, um eine optimale Bedienung und Erweiterbarkeit sicherzustellen. Die Eingabedateien von Z88Aurora lauten im Einzelnen:

- Z88STRUCTURE.TXT (allgemeine Strukturdaten, Koordinaten, Koinzidenz)
- Z88MARKS.TXT (Datensätze aus Knoten oder Elementen, die zur SET-Erstellung verwendet werden können)
- Z88SETS.TXT (Knoten- und Elementzuweisungen für Randbedingungen und Materialzuweisung)
- Z88SETSACTIVE.TXT (die für den aktuellen Rechenlauf geltenden Eigenschaften der SETS)
- I.TXT -**.TXT (Materialdateien)
- Z88NI.TXT (Eingabefile des Netzgenerators Z88N)
- Z88CONTROL.TXT (Steuerparameter für den Solver)
- Z88DYN.TXT (Steuerdatei Z88Aurora)
- Z88ENVIRO.TXT (Steuerdatei für Z88Aurora)
- Z88NLI7.TXT

3.2.1 ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88STRUCTURE.TXT

In der Z88STRUCTURE.TXT sind die Geometriedaten der Struktur hinterlegt.

1. Eingabegruppe:

Allgemeine Daten in der ersten Zeile, beinhalten allgemeine Daten der Struktur. Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Alle Zahlen sind hier vom Typ [Long].

1. Zahl: Dimension der Struktur (2 oder 3)
2. Zahl: Anzahl Knoten der Struktur
3. Zahl: Anzahl Elemente
4. Zahl: Anzahl Freiheitsgrade
5. Zahl: Koordinatenflag KFLAG (0 oder 1). Achtung: an dieser Position stand bei früheren Versionen die Anzahl der Materialgesetze NEG!
und die Kennung #AURORA_Vx

Erläuterung:

KFLAG:

Bei Eingabe von 0 werden die Koordinaten orthogonal- kartesisch erwartet, dagegen werden bei Eingabe von 1 Polar- oder Zylinderkoordinaten erwartet, die sodann in kartesische Koordinaten umgewandelt und in dieser Form dann in Z88O0.TXT gestellt werden.

Achtung: Die axialsymmetrischen Elemente 6, 8, 12 und 15 erwarten a-priori Zylinderkoordinaten, hier KFLAG zu 0 setzen!

2. Eingabegruppe:

Beginnt ab der 2. Zeile, enthält die Koordinaten der Knoten, für jeden Knoten eine Zeile, wobei die Knotennummern streng aufsteigend geordnet sein müssen.

1. Zahl: Knotennummer [Long]

2. Zahl: Anzahl der Freiheitsgrade an diesem Knoten [Long]

3. Zahl: X- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, R-Koord. [Double]

4. Zahl: Y- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, PHI-Koord. [Double]

5. Zahl: Z- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, Z-Koord. [Double]

Die Z-Angabe kann bei 2-dimensionalen Strukturen entfallen. Winkel PHI in rad.

Beispiel 1: Der Knoten Nr. 156 hat 2 Freiheitsgrade und die Koordinaten X= 45.3 und Y= 89.7

> Also: 156 2 45.3 89.7

Beispiel 2: Der Knoten Nr. 68 soll 6 Freiheitsgrade haben (ein Balken Typ Nr.2 ist angeschlossen) und Zylinderkoordinaten R= 100., PHI= 0.7854 (entspricht 45°), Z= 56.87

> Also: 68 6 100. 0.7854 56.87

3. Eingabegruppe:

Beginnend nach letztem Knoten erfolgt die Zuordnung des Elementtyps mit den dazugehörigen Knoten des Elementes, bei einheitlicher Koinzidenz. Für jedes finite Element sind zwei Zeilen zu editieren. Die Elementnummern sind wie die Knotennummern streng aufsteigend einzugeben.

1. Zeile:

1. Zahl: Elementnummer [Long].

2. Zahl: Elementtyp (1 bis 25) [Long].

2. Zeile: je nach Elementtyp

1. Zahl: 1. Knotennummer für Koinzidenz [Long]

2. Zahl: 2. Knotennummer für Koinzidenz [Long]

...

20. Zahl: 20. Knotennummer für Koinzidenz [Long]

Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Alle Zahlen hier vom Typ [Long].

Beispiel: Eine isoparametrische Serendipity Scheibe Nr.7 hat Elementnummer 23. Die Koinzidenz sei durch die globalen Knoten 14, 8, 17, 20, 38, 51, 55, 34 (lokal sind das die Knoten 1-2-3-4-5-6-7-8) gegeben. > Also beide Zeilen:

```
23 7
14 8 17 20 38 51 55 34
```

3.2.2 GRUPPIERUNGSDATEIEN Z88MARKS.TXT UND Z88SETS.TXT

Z88Aurora ermöglicht, mit *Z88MARKS.TXT* und *Z88SETS.TXT* Knoten- und Elementgruppen zu erzeugen und diesen anschließend mit der Datei *Z88SETSAKTIVE.TXT* Eigenschaften wie Materialien oder Randbedingungen zuzuweisen. *Z88MARKS.TXT* enthält die in der Benutzeroberfläche selektierten Knoten oder Elemente als Gruppe. Es können Flächen, Kanten oder gelabelte Knoten oder Elemente gewählt werden. Näheres Vorgehen siehe Benutzerhandbuch. *Z88MARKS.TXT* funktioniert hierbei wie die Markierungsfunktion eines Textverarbeitungsprogrammes.

Die Datei *Z88MARKS.TXT* ist wie folgt aufgebaut:

1. Zahl: Anzahl der Markierungen

1. Eingabegruppe:

1. Kennung *#NODES* für Knoten, *#ELEMENTS* für Elemente oder *#SURFACE* für Flächen
2. Zahl: Laufende Nummer der Markierung
3. Zahl: Anzahl Knoten/Elemente der Markierung
4. „Name der Markierung“

2. Eingabegruppe:

Auflistung der Knoten/Elemente der jeweiligen Markierung

Erläuterung:

Die Markierungen werden nacheinander in die Datei geschrieben. Wie viele Markierungen eingelesen werden, bestimmt die erste Zahl in der Datei.

Beispiel: Es gibt zwei Markierungen, die erste heißt „links“ und enthält die Knoten Nr. 2174, 2175, 2176, 2177, 2179, die zweite heißt „rechts“ und enthält die Knoten Nr. 1929, 1931, 1932, 1933, 1934, 1935, 1936.

> Also:

```

2
#NODES 1 5 "links"
      2174      2175      2176      2177      2179
#NODES 2 7 "rechts"
      1929      1931      1932      1933      1934      1935      1936

```

Durch boolesche Operationen können diese Markierungen zur Erstellung eines oder mehrerer Sets verwendet werden. Sets definieren die Zuordnung der Knoten und Elemente zu ihrer Verwendung als Randbedingung, Material etc.

Die Datei *Z88SETS.TXT* ist wie folgt aufgebaut:

1. Zahl: Anzahl der Sets

1. Eingabegruppe:

1. Kennung *#NODES* für Knoten, *#ELEMENTS* für Elemente oder *#SURFACE* für Flächen
2. Schlüsselwort (z.B. *CONSTRAINTS*, *MATERIAL*, *MESH*, *ELEMENTGEO*, *UNKNOWN*)
3. Zahl: Laufende Nummer des Sets

4. Zahl: Anzahl der Knoten/Elemente des Sets

5. „Name des Sets“

2. Eingabegruppe:

Auflistung der Knoten/Elemente des jeweiligen Sets

Erläuterung:

Die Sets werden nacheinander in die Datei geschrieben. Wie viele Sets eingelesen werden, bestimmt die erste Zahl in der Datei.

Beispiel: Es gibt ein Set mit dem Namen „Material“, welches 22948 Elemente enthält.

> Also:

```

1
#ELEMENTS MATERIAL 1 22948 "Material"
      1          2          3          4          5          6          7...

3
#NODES CONSTRAINT 1 58 "Festhaltung"
      86          87          88          89          90          91          92
93      94          95          126          127          132          133          134
135      96      136          125      137          126          132          133          134
      138          139          140          141          142          143          144
172      173          466          467          468          469          470          471          472          473
474      475          476          477          478          479          480          481          482          483
484      477          485          486          487          488          489          490          491          492          493
494
#NODES CONSTRAINT 2 54 "Druck"
      174          175          176          177          178          179          180
181      182          183          184          185          186          187          188          189          190
191      321          322          323          324          325          326          327          328          329
330      331          332          333          334          335          336          337          338          339
340      341          342          343          344          345          346          347          348          349
350      351          352          353          354          355          356
#ELEMENTS MATERIAL 3 2764 "Material"
      1          2          3          4          5          6          7
8      9          10          11          12          13          14          15          16          17
18      19          20          21          22          23          24          25          26          27
28      29          30          31          32          33          34          35          36          37
38      39          40          41          42          43          44          45          46          47
48      49          50          51          52          53          54          55          56          57
58      59          60          61          62          63          64          65          66          67
68      69          70          71          72          73          74          75          76          77
78      79          80          81          82          83          84          85          86          87
88      89          90

```

	91	92	93	94	95	96	97
98	99	100					
	101	102	103	104	105	106	107
108	109	110					
	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120					
	121	122	123	124	125	126	127
128							

3.2.3 EIGENSCHAFTSDATEI Z88SETACTIVE.TXT

Hier werden die spezifischen Informationen und der Verwendungsstatus der Sets festgelegt. So sind z.B. Eigenschaften des Netzes, wie Vernetzer, Elementanzahl, Elementgröße etc., die Größe der Last, der Materialname oder die Balkeneigenschaften (Querschnitt, I_{yy} , I_{zz} , y_{\max} etc.) hinterlegt.

1. Zahl: Anzahl

1. Eingabegruppe:

1. Kennung #EIGENSCHAFT (#MESH, #ELEMENTS, #NODES)
2. Schlüsselwort (z.B. CONSTRAINTS, MATERIAL, FREE_MESH, MAPPED_MESH, ELEMENTGEO)
3. Zahl: SET aktiv (1) oder inaktiv (0)
4. Zahl: laufende Nummer
5. ... x Zahl: Eigenschaften, abhängig von der Verwendung
- x+1: „Name des Sets“

Beispiel:

```
4
#MESH FREE_MESH 1 1 1 14 17 1.000000E+001 "Vernetzerregel1"
#ELEMENTS MATERIAL 1 2 3 1 1 "Maschinenbau Stahl"
#NODES CONSTRAINT 1 3 1 11 123 1 0.000000E+000 "Fest"
#NODES CONSTRAINT 1 4 2 11 123456 2 5.000000E+000 "Druck"
```

3.2.4 MATERIALDATEI Z88MAT.TXT

Die Datei Z88MAT.TXT beinhaltet die Materialgesetze. Sie wird erst erstellt, wenn der Solver gestartet wird. Sie hat folgenden Aufbau:

1. Eingabegruppe:

Beinhaltet nur eine Zahl, die angibt, wie viele Zeilen folgen. Diese Anzahl entspricht der Anzahl an Materialgesetzen.

1. Zahl: Anzahl an Materialgesetzen

2. Eingabegruppe:

Materialgesetze. Eine Zeile pro Materialgesetz. Aufbau einer Zeile:

1. Zahl: von Element
2. Zahl: bis Element
3. Zahl: Dateiname der Datei, die die Materialparameter enthält (für Beschreibung siehe nachfolgendes Kapitel)
4. Zahl: Materialgesetz (nur für Z88NL relevant)

3.2.5 MATERIALDATEIEN *.TXT

Aurora verfügt über eine Materialdatenbank, welche 50 Standardmaterialien enthält. Diese Materialien sind nicht veränderbar, es können aber jederzeit bearbeitbare Kopien oder neue Materialien angelegt werden (näheres siehe Benutzerhandbuch)

Beispiel einer Materialdatei:

```
#AURORA_Vx_MATERIAL

#COMMON START
ID 1
NAME1 "Maschinenbau Stahl"
NAME2 "Engineering steel"
DESCRIPTION "E295"
NUMBER "1.0050"
ANNOTATION "N/mm/t"
#COMMON END

#LINEAR START
YOUNG_MODULUS 210000.00
POISSON_RATIO 0.30
DENSITY 7.85E-009
#LINEAR END

#THERMAL START
THERMAL_CONDUCTIVITY 0.054
THERMAL_EXPANSION 1.11E-005
#THERMAL END

#NONLINEAR START
#MATERIAL_MODELS START
#VON_MISES 6
+0.0000000E+000 +6.0000000E+002
+5.0000000E-002 +8.0000000E+002
+1.0000000E-001 +9.0000000E+002
+3.0000000E-001 +1.2000000E+003
+5.0000000E-001 +1.5000000E+003
+1.0000000E+000 +3.0000000E+003
#PDF_MODEL 6
FLOW_DIRECTION +7.0000000E-001
+0.0000000E+000 +6.0000000E+002
+5.0000000E-002 +8.0000000E+002
+1.0000000E-001 +9.0000000E+002
+3.0000000E-001 +1.2000000E+003
+5.0000000E-001 +1.5000000E+003
+1.0000000E+000 +3.0000000E+003
#PDFV_MODEL 6 6
+0.0000000E+000 +6.0000000E+002
+5.0000000E-002 +8.0000000E+002
+1.0000000E-001 +9.0000000E+002
+3.0000000E-001 +1.2000000E+003
+5.0000000E-001 +1.5000000E+003
+1.0000000E+000 +3.0000000E+003
+0.0000000E+000 +4.6000000E-001
+5.0000000E-003 +4.7000000E-001
+5.0000000E-002 +8.0000000E-001
+1.0000000E-001 +8.0000000E-001
+5.0000000E-001 +6.0000000E-001
+1.0000000E+000 +5.0000000E-001
#MATERIAL_MODELS END
#NONLINEAR END
```

3.2.6 NETZGENERATOR-DATEI Z88NI.TXT

Der Aufbau von Z88NI.TXT ist mit dem Aufbau von Z88II.TXT, also dem Eingabefile des linearen Solvers, weitgehend identisch: Nur die mit & gekennzeichneten Daten sind zusätzlich erforderlich.

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte oder 8-Byte Integerzahl
 [Double] = 8-Byte Gleitkommazahl, wahlweise mit oder ohne Punkt
 [Character] = ein Buchstabe

1. Eingabegruppe:

1. Zahl: Dimension der Struktur (2 oder 3)
2. Zahl: Anzahl Knoten der Superstruktur
3. Zahl: Anzahl Super-Elemente
4. Zahl: Anzahl Freiheitsgrade
5. Zahl: Koordinatenflag Superelemente KFLAGSS (0 oder 1)
- &6. Zahl: Fangradiusflag NIFLAG (0 oder 1)
- &7. Zahl: Koordinatenflag finite Elemente KFLAG (0 oder 1)

Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Alle Zahlen hier vom Typ [Long].

Erläuterungen:

KFLAGSS:

Bei Eingabe von 0 werden die Koordinaten orthogonal-kartesisch erwartet, dagegen werden bei Eingabe von 1 Polar- oder Zylinderkoordinaten erwartet, die sodann in kartesische Koordinaten umgewandelt, wenn nicht KFLAG dies umsteuert. Achtung: Die axialsymmetrischen Elemente 8 und 12 erwarten *a-priori* Zylinderkoordinaten, hier KFLAGSS zu 0 setzen!

Beispiel: Super-Struktur 2-dimensional mit 37 Knoten, 7 Superelementen, 74 Freiheitsgraden. Eingabe erfolgt in Polar-Koordinaten, Fangradius Standardwert verwenden, Ausgabe wieder in Polar-Koordinaten.

>Daher: 2 37 7 74 1 0 1

NIFLAG:

Um bereits definierte Knoten identifizieren zu können, erfordert der Netzgenerator eine Fangumgebung. Diese wird, wenn NIFLAG 0 ist, mit 0.01 für EPSX, EPSY und EPSZ angenommen. Bei extrem kleinen oder großen Strukturen können diese Werte verändert werden. Um diese Änderung einzuleiten, wird NIFLAG auf 1 gesetzt. Die neuen Fangradien EPSX, EPSY und EPSZ werden dann als 5. Eingabegruppe von Z88NI.TXT definiert.

Beispiel: Super-Struktur 2-dimensional mit 37 Knoten, 7 Superelementen, 74 Freiheitsgraden. Kartesische Koordinaten, Fangradius Standardwert verwenden, Ausgabe in kartesischen Koordinaten.

>Daher: 2 37 7 74 0 0 0

KFLAG:

Intern arbeitet Z88N mit natürlichen bzw. kartesischen Koordinaten. Mitunter möchte man die Ausgabe von Z88N aber als Polar- bzw. Zylinderkoordinaten übergeben. Mit diesem Flag (=1) erfolgt die Ausgabe in Polar- bzw. Zylinderkoordinaten. Dies ist unabhängig von dem Flag KFLAGSS für die Eingabedatei Z88NI.TXT.

Beispiel: *Super-Struktur 2-dimensional mit 37 Knoten, 7 Superelementen, 74 Freiheitsgraden. Eingabe erfolgt in kartesischen Koordinaten, Fangradius Standardwert verwenden, Ausgabe in Polarkoordinaten.*

>Daher: 2 37 7 74 0 0 1

2. Eingabegruppe:

Beginnt ab der 2. Zeile, enthält die Koordinaten der Knoten, für jeden Knoten eine Zeile, wobei die Knotennummern streng aufsteigend geordnet sein müssen.

1. Zahl: Knotennummer [Long]
2. Zahl: Anzahl der Freiheitsgrade an diesem Knoten [Long]
3. Zahl: X- oder, wenn KFLAGSS auf 1 gesetzt, R-Koord. [Double]
4. Zahl: Y- oder, wenn KFLAGSS auf 1 gesetzt, PHI-Koord. [Double]
5. Zahl: Z- oder, wenn KFLAGSS auf 1 gesetzt, Z-Koord. [Double]

Die Z-Angabe kann bei 2-dimensionalen Strukturen entfallen.

Beispiel: *Der Knoten Nr. 8 hat 3 Freiheitsgrade und die Koordinaten X= 112.45, Y= 0., Z= 56.75.*

>Also: 8 3 112.45 0. 56.75

3. Eingabegruppe:

Beginnend nach letztem Knoten erfolgt die Zuordnung des Elementtyps mit den dazugehörigen Knoten des Elementes, bei einheitlicher Koinzidenz. Für jedes Super-Element sind zwei Zeilen zu editieren. Die Elementnummern sind wie die Knotennummern streng aufsteigend einzugeben.

1. Zeile:

1. Zahl: Elementnummer [Long].
2. Zahl: Super-Elementtyp (1,7,8,10,11,12,20,21) [Long].

2. Zeile: je nach Elementtyp

1. Zahl: 1. Knotennummer für Koinzidenz [Long]
2. Zahl: 2. Knotennummer für Koinzidenz [Long]
- ...
20. Zahl: 20. Knotennummer für Koinzidenz [Long]

Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Alle Zahlen hier vom Typ [Long].

Dies sind die netzgenerator-geeigneten Elemente:

- Element Nr.1: isoparametrischer Hexaeder 8 Knoten

- Element Nr.7: isoparametrische Serendipity Scheibe 8 Knoten
- Element Nr.8: isoparametrischer Serendipity Torus 8 Knoten
- Element Nr. 10: isoparametrischer Serendipity Hexaeder 20 Knoten
- Element Nr. 11: isoparametrische Serendipity Scheibe 12 Knoten
- Element Nr. 12: isoparametrischer Serendipity Torus 12 Knoten
- Element Nr. 20: isoparametrische Serendipity Platte 8 Knoten
- Element Nr. 21: isoparametrische Serendipity Volumenschale 8 Knoten

Beispiel: Eine isoparametrische Serendipity Scheibe Nr.7 hat Elementnummer 23. Die Koinzidenz sei durch die globalen Knoten 14, 8, 17, 20, 38, 51, 55, 34 (lokal sind das die Knoten 1-2-3-4-5-6-7-8) gegeben.

>Also beide Zeilen:

```
23 7
14 8 17 20 38 51 55 34
```

&4. Eingabegruppe:

Beginnend nach letztem E-Gesetz, enthält diese Eingabegruppe die beschreibenden Angaben für den Generierungsprozess. Es werden jeweils 2 Zeilen für jedes Superelement benötigt.

1. Zeile:

1. Zahl: Super-Elementnummer [Long].

2. Zahl: zu erzeugender Finite-Element-Typ (Typen 1,7,8,10,19,20,21) [Long].

2. Zeile:

1. Zahl: Finite Elemente in lokaler x-Richtung [Long]

2. Zahl: Art der Unterteilung CMODE X [Character]

3. Zahl: Finite Elemente in lokaler y-Richtung [Long]

4. Zahl: Art der Unterteilung CMODE Y [Character]

5. Zahl: Finite Elemente in lokaler z-Richtung [Long]

6. Zahl: Art der Unterteilung CMODE Z [Character]

Die beiden Angaben für die Z-Richtung entfallen bei zweidimensionalen Strukturen.

Erläuterungen: **CMODE** kann folgende Werte annehmen:

"E" : Unterteilung äquidistant ("e" ist auch erlaubt)

"L" : Unterteilung geometrisch aufsteigend in lokaler Koordinatenrichtung

"I" : Unterteilung geometrisch fallend in lokaler Koordinatenrichtung (kleines L)

Die lokalen x-, y- und z-Richtungen sind wie folgt definiert:

lokale x-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 2

lokale y-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 4

lokale z-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 5

Dies wird in Abbildung 2 verdeutlicht.

Beispiel: eine isoparametrische Serendipity Scheibe mit 12 Knoten (Elementtyp 11) soll in finite Elemente vom Typ isoparametrische Serendipity Scheibe mit 8 Knoten (Elementtyp 7) zerlegt werden. In lokaler x-Richtung soll 3-mal äquidistant unterteilt werden und in lokaler y-Richtung soll 5-mal geometrisch aufsteigend unterteilt werden. Das Superelement soll die Nummer 31 haben. Also beide Zeilen:

```
31 11
```

7 3 e 5 L (e oder E für äquidistant sind gleichwertig)

&5.Eingabegruppe, optional nach Ende der 4.Eingabegruppe:

Diese Eingabegruppe ist nur erforderlich, wenn NIFLAG auf 1 gesetzt wurde, d.h. die Fangradien geändert werden sollen. Sie besteht aus einer Zeile.

1. Zahl: Fangradius in globaler X-Richtung EPSX [Double]

2. Zahl: Fangradius in globaler Y-Richtung EPSY [Double]

3. Zahl: Fangradius in globaler Z-Richtung EPSZ [Double]

Die Z-Angabe kann bei 2-dimensionalen Strukturen entfallen.

Beispiel: Die Fangradien sollen für X, Y und Z auf jeweils 0.0000003 gesetzt werden.

>Also : 0.0000003 0.0000003 0.0000003

Das greift nur, wenn NIFLAG in der ersten Eingabegruppe auf 1 gesetzt wurde!

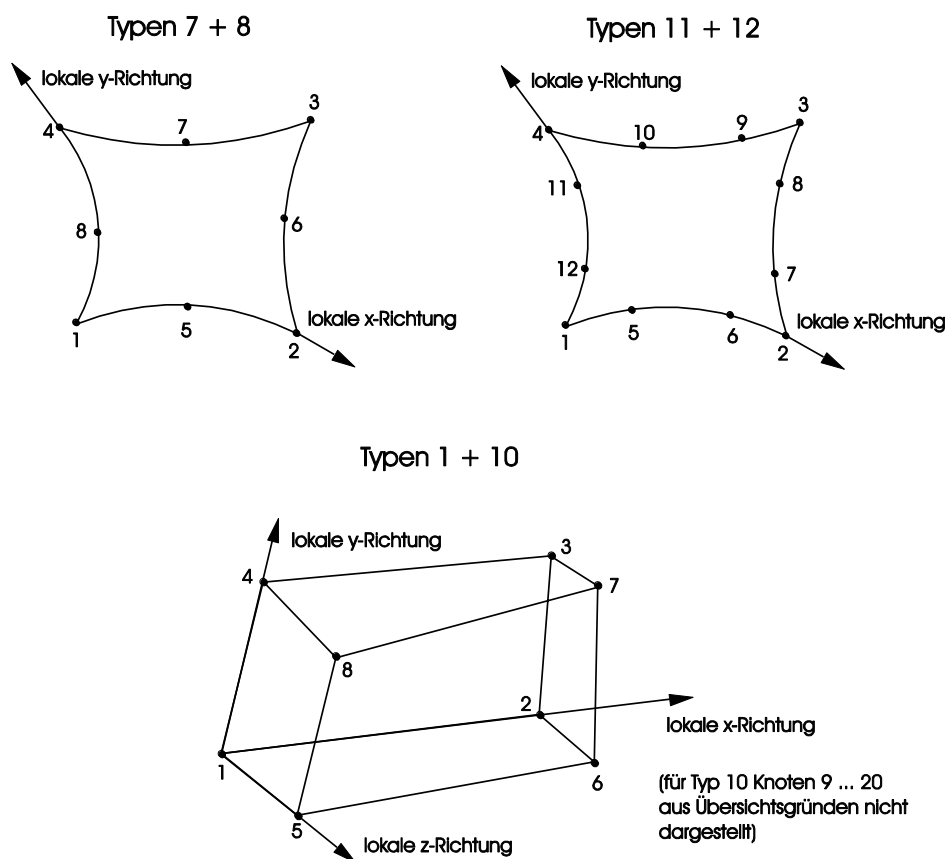


Abbildung 5: Definition lokaler x-, y- und z-Richtung am Beispiel unterschiedlicher Elementtypen

3.2.7 SOLVERSTEUERDATEI Z88CONTROL.TXT

Die Solversteuerdatei Z88CONTROL.TXT ist in drei Bereiche aufgeteilt: den Global-, den Solver- und den Spannungsteil. Die folgende Abbildung zeigt eine typische Z88CONTROL.TXT.

```

DYNAMIC START
*-----
Z88Aurora Version 2.0
-----*

*-----
GLOBAL
-----*

GLOBAL START
SIMCASE      11
ICORE        4
GLOBAL END

*-----
LINEAR SOLVER
-----*

LMSOLVER START
ICFLAG       4
SOLVER_SPEEDUP -8
MAXIT        10000
EPS          1.00E-006
ALPHA        1.00E-004
OMEGA        1.20
LMSOLVER END

*-----
NONLINEAR SOLVER
-----*

NLSOLVER START
ICFLAG       4
MAXIT        20000
EPS          1.00E-008
ALPHA        1.00E-004
OMEGA        1.20E+000
NLFLAG       1
NLAERH       25
MAXNLIT      1000
EXIT         1
TOL          1.00E-007
AUTOGAUSS    0
OUTPUTFLAG   1
OUT_CAUCHY   1
OUT_INT90FFS 1
PARSP        0
ELEFORM      1
BGLAENG      1.00E+000
LASTST       0
SPRING_BACK  0
NLSOLVER END

*-----
VIBRATION SOLVER
-----*

ESSOLVER START
ICFLAG       5
MAXIT        20000
EPS          1.00E-008
EIGDIFF      1.00E-006
EIGNUM       15
EIGSTEP      50
ESSOLVER END

*-----
THERMAL SOLVER
-----*

TMSOLVER START
ICFLAG       4
MAXIT        10000
EPS          1.00E-006
ALPHA        1.00E-004
OMEGA        1.20
THERMOMODE   1
THERMOMECHANIC 0
TMSOLVER END

```

```

*-----
STRESS
-----*

STRESS START
  KDFLAG      0
  ISFLAG      1
STRESS END

DYNAMIC END
  
```

Erläuterungen zu den einzelnen Angaben:

GLOBAL:

SIMCASE

- 11** Lineare statische mechanische Analyse
- 19** Nichtlineare statische mechanische Analyse
- 66** Stationär-thermische Analyse
- 37** Eigenschwingungsanalyse

ICORE legt die Anzahl der CPUs bei Mehrprozessorsystemen fest.

LINEAR SOLVER

ICFLAG 1 ist der Cholesky Solver
ICFLAG 2 ist der SICCG Solver
ICFLAG 3 ist der SORCG Solver
ICFLAG 4 ist der PARDISO Solver

SOLVER_SPEEDUP besagt, ob der beschleunigte lineare Solver verwendet werden soll (ja = -7) oder nicht (nein = -8).

MAXIT ist das erste Abbruchkriterium. Bei Erreichen dieser Anzahl an Iterationen werden die Iterationssolver SICCG bzw. SORCG in jedem Fall abgebrochen. Die bis dahin erreichten Werte des Lösungsvektors werden aber ausgeschrieben.

EPS dieser Wert wird mit einer Norm des Residuenvektors verglichen. Wenn dieser Wert für die Iterationssolver SICCG und SORCG erreicht ist, soll die erreichte Lösung hinreichend genau sein. Das ist das zweite Abbruchkriterium. Geben Sie einen relativ kleinen Wert vor, vielleicht 0.00001 oder 0.0000001. Beachten Sie, dass es hier keine absolute Wahrheit gibt! Egal, welche Norm eines Residuenvektors auch immer gegen diese Schranke verglichen würde - Sie könnten niemals sicher sein, dass damit alle Elemente des Lösungsvektors richtig sind. Die Wahl von EPS beeinflusst die Anzahl der Iterationen und damit die Rechenzeit ganz enorm. Beachten Sie dies auch beim Vergleich mit den großen, kommerziellen Solvern (welche Abbruchkriterien die intern verwenden, wissen Sie sowieso nicht): Der Grenzwert, den Sie dort einstellen können, muss absolut nichts mit EPS von Z88 zu tun haben. Umfangreiche Tests zeigten aber, dass bei EPS von ca. 0.00001 bis 0.0000001 die an verschiedenen Knotenpunkten erzielten Verschiebungswerte recht genau mit denen von sehr bekannten, großen kommerziellen Solvern übereinstimmten - bei ähnlichen Rechenzeiten. Beachten Sie: Wenn Sie große FEA-Strukturen mit verschiedenen Solvern rechnen, wissen Sie ohnehin niemals, welcher Solver eigentlich am nächsten dran ist!

ALPHA ist der Konvergenz-Beschleunigungsparameter α . Mit diesem Parameter für SIC-Vorkonditionierung wählen Sie den Shift-Faktor α für den Iterationssolver SICCG (zwischen

0 und 1, brauchbare Werte können zwischen 0.0001 und 0.1 liegen). Ein guter Startwert ist 0.0001.

OMEGA ist der Konvergenz-Beschleunigungsparameter ω . Mit diesem Parameter für SOR-Vorkonditionierung wählen Sie den Relaxationsfaktor ω für den Iterationssolver SORCG (zwischen 0 und 2, brauchbare Werte könnten zwischen 0.8 und 1.2 liegen). Welchen Wert wählen Sie für ω ? Gute Frage! Probieren Sie ω mit 1, das wird nie ganz schlechte Ergebnisse bringen und variieren Sie dann, wenn Sie weitere Rechenläufe mit dieser Struktur machen wollen.

Beispiel 1:

Sie wollen mit dem Iterations-Sparsematrix-Solver arbeiten und in jedem Fall nach 5000 Iterationen abbrechen, der Grenzwert soll 0.0000001 sein und der Konvergenz-Beschleunigungsparameter ω für SOR soll 0,9 sein, da Sie mit dem SORCG-Solver ("SORCG: sparse, iterativ") rechnen wollen. Also:

MAXIT	5000
EPS	0.0000001
ALPHA	Standardwert ohne Bedeutung
OMEGA	0.9
ICFLAG	2

Beispiel 2:

Sie wollen mit dem Iterations-Sparsematrix-Solver arbeiten und in jedem Fall nach 10000 Iterationen abbrechen, der Grenzwert soll 10^{-9} sein und der Konvergenz-Beschleunigungsparameter α für SIC soll 0,001 sein, da Sie mit dem SICCG-Solver ("SICCG: sparse, iterativ") rechnen wollen. Also:

MAXIT	10000
EPS	$1e-9$
ALPHA	0.001
OMEGA	Standardwert ohne Bedeutung
ICFLAG	3

Beispiel 3: Sie wollen mit dem direkten Sparsematrix-Solver mit Fill-In ("Pardiso: sparse, direkt") arbeiten und haben zwei Doppelkern-Prozessoren in Ihrem Computer. Also:

MAXIT	Standardwert ohne Bedeutung
EPS	Standardwert ohne Bedeutung
ALPHA	Standardwert ohne Bedeutung
OMEGA	Standardwert ohne Bedeutung
ICORE	4
ICFLAG	4

Beispiel 4: Sie wollen mit dem Cholesky-Solver arbeiten. Also:

Die Steuerwerte MAXIT, EPS, ALPHA, OMEGA und ICORE können beliebig sein und haben keine Bedeutung.

VIBRATION SOLVER

ICFLAG 5 ist der Lanczos Solver Z88EI

MAXIT ist das Abbruchkriterium. Bei Erreichen dieser Anzahl an Iterationen wird der Lanczos Solver in jedem Fall abgebrochen. Die bis dahin erreichten Werte des Lösungsvektors werden aber ausgeschrieben.

EPS ist das Abbruchkriterium. Er ist ein relatives Maß dafür, dass sich die berechneten Eigenwerte nicht mehr signifikant ändern.

EIGDIFF ist die Differenz zwischen zwei Eigenwerten, dass sie als zwei verschiedene Eigenwerte angenommen werden.

EIGNUM ist die Anzahl der Frequenzen, die ermittelt werden. Es werden immer die kleinsten Frequenzen berechnet.

EIGSTEP ist die Vorgabe, bei der wievielten Iteration überprüft wird, ob EPS erfüllt ist.

THERMAL SOLVER

ICFLAG 2 → siehe Linear Solver

ICFLAG 3 → siehe Linear Solver

ICFLAG 4 → siehe Linear Solver

MAXIT → siehe Linear Solver

EPS → siehe Linear Solver

ALPHA → siehe Linear Solver

OMEGA → siehe Linear Solver

THERMOMODE ist ein internes Steuerflag. Dieses muss für eine stationär-thermische und thermo-mechanische Berechnung immer 1 sein.

THERMOMECHANIC ist für eine thermo-mechanische Berechnung notwendig. Dies wird mit einer 1 kenntlich gemacht. Steht hier eine 0, wird stationär-thermisch gerechnet.

NONLINEAR SOLVER

ICFLAG 3 → siehe Linear Solver

ICFLAG 4 → siehe Linear Solver

MAXIT → siehe Linear Solver

EPS → siehe Linear Solver.

ALPHA → siehe Linear Solver

OMEGA → siehe Linear Solver

NLFLAG gibt das Verfahren an: Newton-Raphson-Verfahren (1) oder Bogenlängenverfahren nach Riks (2).

NLAERH gibt an, in wie vielen Schritten die Gesamtlast aufgebracht wird.

MAXNLIT gibt an, wie viele Schritte des nichtlinearen Lösungsverfahrens maximal durchgeführt werden.

EXIT steuert Ende: Abbruch des nichtlinearen Lösungsverfahrens nur wenn die Norm unter die Abbruchschranke TOL fällt (1) oder Abbruch auch, wenn die Norm steigt (2).

TOL gibt die Abbruchschranke an: Wert der Norm muss unter diesen fallen, damit die Lösung gefunden ist.

AUTOGAUSS steuert die automatische Solverumschaltung: Ist das Flag aktiviert (1), erfolgt bei sehr kleinen Strukturen eine automatische Umschaltung des Solvers, ist es deaktiviert (0), erfolgt keine Umschaltung.

OUTPUTFLAG steuert die Ergebnisausgabe: Ausgabe nur am Ende des Lösungsverfahrens für die Gesamtlast (0), Ausgabe nach jeder Teillast (1) oder Ausgabe nach jedem Iterationsschritt jeden Lastschritts (2).

OUT_CAUCHY steuert die Durchführung der Spannungsberechnung: wird durchgeführt (1) oder wird nicht durchgeführt (0).

OUT_INT9OFFS aktiviert die Bereitstellung eines speziellen Speicherfeldes, welches beispielsweise für die Spannungsberechnung erforderlich ist (bei aktivierter Spannungsberechnung muss dieses Flag auch aktiviert sein), aktiv (1) oder inaktiv (0).

PARSP organisiert das Speichermanagement: Ist das Flag aktiviert (1), wird zusätzlicher Speicher für die Sicherung der Sparse-Pointer IP und IEZ allokiert, um das Rechenverfahren zu beschleunigen, ist es deaktiviert (0), erfolgt eine iterative Neuberechnung.

ELEFORM bestimmt die verwendete Elementformulierung. Standard ist 1 für die Lagrange'sche Elementformulierung, die geometrische Nichtlinearitäten erfasst. Die Euler'sche Elementformulierung, ebenfalls für geometrische Nichtlinearitäten geeignet, wird bei 2 eingesetzt. Für Materialnichtlinearitäten ist ELEFORM auf 3 zu stellen. Dann wird die Mehrfeldformulierung von Simo und Hughes angesteuert. Dieser Flag muss in der Regel jedoch nicht manuell eingestellt werden, da Z88Aurora bzw. der Konverter AG2NL automatisch den Flag in Abhängigkeit des Materialgesetzes einstellt.

LASTST legt fest, ob äquidistante Lastschritte (ohne Rückfederung) verwendet werden (LASTST auf 0 setzen) oder ob die Laststeuerung über die Datei Z88NLI8.TXT aktiviert werden soll (LASTST auf 1 setzen). Die Laststeuerung wird z.B. automatisch aktiviert, wenn die Rückfederung berechnet werden soll.

SPRING_BACK aktiviert die Rückfederungsberechnung und legt fest, in wie vielen Lastschritten die Rückfederung berechnet werden soll. Ein Wert von 5 beispielsweise bedeutet, dass fünf Schritte für die Rückfederung durchgeführt werden. Bei einem Wert von 0 ist die Rückfederungsberechnung deaktiviert.

BGLAENG legt die Bogenlänge für das Verfahren von Riks fest.

STRESS:

KDFLAG [Long]:

0 = Standardspannungsberechnung

1 = zusätzliche Berechnung der Radial- und Tangentialspannungen für die Elemente Scheibe Nr.3, 7, 11 und 14

ISFLAG Auswahl der Vergleichsspannungshypothese [Long]

- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1 = Gestaltänderungsenergie-Hypothese GEH (von Mises)
- 2 = Normalspannungs-Hypothese NH (principal stresses, Rankine)
- 3 = Schubspannungs-Hypothese SH (Tresca)

Beispiel 1: Für eine Struktur aus Scheiben Nr.7 sollen zusätzlich zur Standard-Spannungsberechnung Radial- und Tangentialspannungen berechnet werden, also $KDFLAG = 1$. Ferner sollen Vergleichsspannungen nach der Gestaltänderungsenergie-Hypothese berechnet werden: $ISFLAG = 1$.

> Also:

$KDFLAG = 1$

$ISFLAG = 1$

Beispiel 2: Für eine Struktur aus Scheiben Nr.7 soll nur eine Standard-Spannungsberechnung erfolgen, also $KFLAG = 0$. Vergleichsspannungen interessieren nicht.

> Also:

$KDFLAG = 0$

$ISFLAG = 0$

Im Menü "Solver" unter "Solverparameter" können die Steuerwerte der einzelnen Gleichungslöser editiert werden, näheres zum Gebrauch des Solvermenüs, siehe im Benutzerhandbuch.

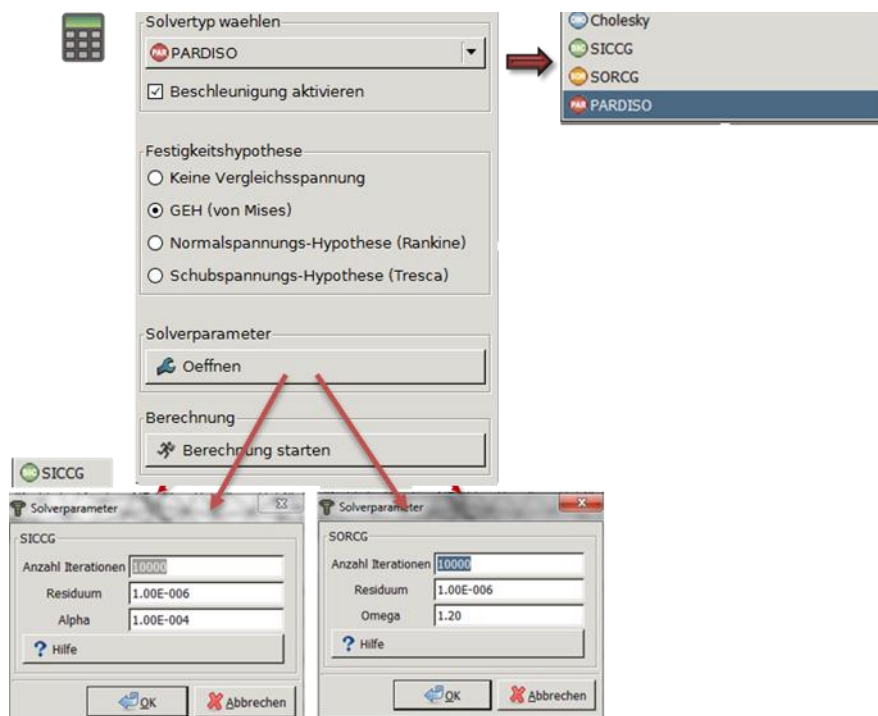


Abbildung 6: Solveroptionsmenü zur Steuerung der Solverparameter am Beispiel des linearen Solvers

3.2.8 SOLVERSTEUERDATEI Z88.DYN

Generelle Einstellungen, wie der Speicherbedarf oder das Erscheinungsbild von Z88Aurora sind in den beiden Steuerdateien Z88.DYN und Z88ENVIRO.DYN definiert. Der Benutzer hat über das Optionsmenü (unter "Hilfe" > "Optionen") Einfluss auf deren Steuerung.

Näheres zur den Einstellungen des Optionsmenüs findet sich im Z88Aurora Benutzerhandbuch.

Die Dateien befinden sich im Arbeitsverzeichnis von Z88Aurora. Dies ist je nach Plattform in `c:/z88auroraVx/*(Auswahl Betriebssystem)/bin` zu finden. Das Arbeitsverzeichnis ist nicht zu verwechseln mit dem Projektverzeichnis, das beim Programmstart vom Benutzer eigenständig gewählt bzw. definiert wird.

Zweck und Aufbau der Steuerdatei Z88.DYN:

Z88Aurora fordert nach dem Programmstart eine definierte Menge an Speicherplatz an, welche über die Datei Z88.DYN gesteuert wird. Außerdem legt Z88.DYN die Sprache für Z88Aurora und alle aufgerufenen Z88 Module fest. Zur Speicherreservierung besitzt die Datei verschiedene Parameter, die die maximal möglichen Strukturgrößen definieren, die berechnet werden kann. Beispielsweise bestimmt MAXK die maximale Anzahl an Knoten für die Finite-Elemente-Berechnung. Zeigt sich während der Verwendung von Z88Aurora, dass der Speicher nicht ausreicht, wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben, vgl. Abbildung 7.

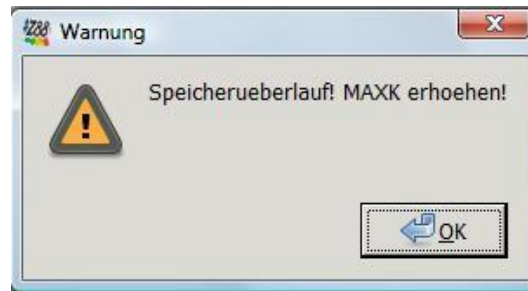


Abbildung 7: Speicherüberlauf bei zu vielen Knoten

Anschließend öffnet sich der Dialog "Optionen", bei dem unter der Registerkarte "Speicher" der entsprechende Parameter erhöht werden kann, vgl. Abbildung 8. Die Speicherparameter liegen stets ca. fünf Zähler höher als erforderlich, da aus Sicherheits- und Stabilitätsgründen eine Reserve vorhanden ist. So muss zur Berechnung eines Modells mit 1000 Knoten der Speicherparameter MAXK auf 1005 gesetzt werden.

Nach Schließen des Dialogs wird Z88Aurora beendet. Im Hintergrund wurde die Steuerdatei entsprechend den Korrekturen geändert. Beim nächsten Neustart von Z88Aurora werden diese Änderungen berücksichtigt. Dabei gehen keinerlei Daten verloren. Die Speicherparameter können auch editiert werden, ohne dass zuvor eine Warnung vor Speicherüberlauf ausgegeben wurde. Dazu ist im Menü "Hilfe" die Funktion "Optionen" zu wählen. Die Registerkarte Speicher enthält die Speicherparameter für die maximale Knotenanzahl (MAXK) und Elementanzahl (MAXE). Nach Beenden des Dialogs muss Aurora neu gestartet werden.

Die Datei Z88.DYN kann von fortgeschrittenen Nutzern auch manuell editiert werden. Wichtig dabei ist, dass bestimmte Schlüsselwörter in jedem Fall vorhanden bleiben. Dazwischen können beliebig Leerzeilen oder Kommentare sein, es werden nur die großgeschriebenen Schlüsselwörter erkannt. Nach dem jeweiligen Schlüssel folgt eine Integerzahl, durch mindestens ein Leerzeichen getrennt. Die Reihenfolge der Schlüsselwörter ist beliebig.

Von Z88 her gibt es keinerlei Grenzen für die Größe der Strukturen. Die maximale Größe wird nur durch den virtuellen Speicher Ihres Computers und Ihre Vorstellungskraft begrenzt!

Ggf. müssen Sie bei sehr großen Strukturen auf 64-Bit Integers und Pointer übergehen (Versionen 64-Bit für Windows, Linux und Mac OS-X), damit die internen Schleifenzähler nicht überlaufen.

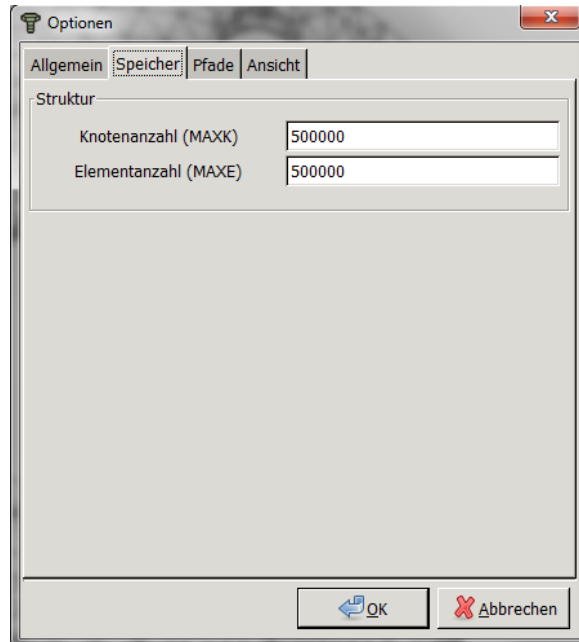


Abbildung 8: Speichereinstellungen im Optionsmenü

Z88Aurora arbeitet bei den 32-Bit-Versionen mit

- Gleitkomma-Zahlen mit Doubles = 8 Bytes und
- Ganzzahlen und Pointer mit Ints = 4 Bytes.

Z88 Aurora arbeitet bei den 64-Bit-Versionen mit

- Gleitkomma-Zahlen mit Doubles = 8 Bytes und
- Ganzzahlen und Pointer mit Longs = 8 Bytes.

In Abbildung 9, auf der nächsten Seite, ist ein Beispiel für eine Datei Z88.DYN mit den erwähnten Schlüsselwörtern gezeigt.

```

DYNAMIC START
*-----
Z88Aurora Version 2b
*-----

*-----
LANGUAGE
*-----

GERMAN
QUIET

*-----
Common entries for all modules
*-----

COMMON START
  MAXE          500000
  MAXK          500000
COMMON END
DYNAMIC END

```

Abbildung 9: Beispiel der Steuerdatei Z88.DYN

Zu Beginn muss das Schlüsselwort DYNAMIC START und ganz am Ende das Wort DYNAMIC END stehen. Durch den Eintrag GERMAN wird deutsche Sprache festgelegt, für Englisch steht hier ENGLISH. Der Parameter QUIET sorgt dafür, dass gewisse Ausgaben auf die Konsole beim Rechenlauf unterdrückt werden. Dieser Wert kann nur über die Datei verändert werden. Eine Änderung über das Optionsmenü ist nicht möglich. Zwischen den Zeilen COMMON START und COMMON END stehen die Speicherparameter.

MAXK bestimmt die Maximalzahl an Knoten.

MAXE legt die größtmögliche Anzahl an Elementen fest.

3.2.9 OBERFLÄCHENSTEUERDATEI Z88ENVIRO.DYN

Z88Aurora beinhaltet eine Projektmappenverwaltung. Während der Arbeit mit Z88Aurora muss ein Projektverzeichnis gewählt sein. Hier werden alle Ein- und Ausgabedateien abgelegt. Die Protokolldateien befinden sich im Hauptverzeichnis. Darüber hinaus werden verschiedene andere Pfade hier gespeichert. Sie erlauben beispielsweise den automatisierten Zugriff auf Textvisualisierungsprogramme wie den Adobe Reader. Des Weiteren sind einige Steuerflags zur Konfiguration der Benutzeroberfläche hier abgelegt, z.B. ein Flag zur Festlegung der standardmäßig eingestellten Anzahl an Prozessoren (CPU_NUM).

Tabelle 4: Liste der Flags der Dateien Z88ENVIRO.DYN

Flag	Bedeutung	Mögliche Werte
SHOW_SURFACE	Legt fest, ob zu Programmstart alle Elemente (-8) oder nur die Oberflächenelemente (-7) angezeigt werden	-8: ohne -7: mit
SCROLLER	Geschwindigkeit Mauselement für Ansichtsdarstellung	1 bis 299
ROTATOR	Geschwindigkeit der Rotation für Ansichtsdarstellung	0,1 bis 2,0
TRANSLATOR	Geschwindigkeit der Verschiebung für Ansichtsdarstellung	0,1 bis 2,0
RESOLUTION	Größe des Aurora Eingabefensters	Mögliche Größen, siehe Optionsmenü
MPC_RIGID	Kein Einfluss bei Z88Aurora	-
MPC_USER	Kein Einfluss bei Z88Aurora	-
MPC_TYP	Kein Einfluss bei Z88Aurora	-
CULLING	Backface-Culling. Wegschneiden nicht betrachteter Oberflächen um schnellere Darstellung zu erreichen	-8: ohne -7: mit
SPIDER_START	Workflowunterstützung SPIDER	-8: ohne -7: mit
SHOW_START_INFO	Anzeige des Startbildschirms	-8: nein -7: ja
CPU_NUM	Anzahl der Prozessoren, die für die Berechnung verwendet werden	1 bis ...
CONFIRM_SOLVER_START	Legt fest, ob beim Klicken des Buttons „Berechnung starten“ sofort der Solver gestartet wird oder zunächst nur der Konverter durchläuft.	1: zunächst Konverter 0: Solver startet sofort
PICKING_USE_CTRL_KEY	Legt fest, ob mit der STRG-Taste (1) oder auch ohne (0) das Picking durchgeführt werden kann.	1: Picken mit STRG 0: Picken ohne STRG
SHOW_LEGEND_BC	Legt fest, ob die Legende der Randbedingungen in der Oberfläche angezeigt wird.	1: anzeigen 0: nicht anzeigen
SHOW_LEGEND_POST	Legt fest, ob die Legende der Ergebnisse in der Oberfläche angezeigt wird.	1: anzeigen 0: nicht anzeigen
INTORD_TYP_1...24	Integrationsordnung bei der Compilation	Zahl: Anzahl der Gaußpunkte
INTOS_TYP_1...24	Integrationsordnung für die Spannungsdarstellung, nähere siehe unten	Zahl: Anzahl der Gaußpunkte
TOOLBAR 1	Einblendung einer Toolbar, die	0: ausgeblendet

	Zahlen entsprechen dem jeweiligen Icon (näheres siehe BHB)	1: eingeblendet
TOOLBAR 2	Einblendung einer zusätzlichen Toolbar, die Zahlen entsprechen dem jeweiligen Icon (näheres siehe BHB)	0: ausgeblendet 1: eingeblendet
TOOLBAR 3	Einblendung eines zusätzlichen Toolbar, die Zahlen entsprechen dem jeweiligen Icon (näheres siehe BHB)	0: ausgeblendet 1: eingeblendet
TOOLBAR 4	Einblendung eines zusätzlichen Toolbar, die Zahlen entsprechen dem jeweiligen Icon (näheres siehe BHB)	0: ausgeblendet 1: eingeblendet

INTOS_TYP_1...24 ist die Anzahl der Gaußpunkte, welche für die Spannungsberechnung verwendet werden.

Es gilt:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten, Vergleichsspannungsberechnung nicht möglich.

Für isoparametrische Elemente Nr.1, 7, 8, 10, 11, 12, 19, 20, 21 und 23:

1, 2, 3 oder 4 (d.h. N×N) = Berechnung Spannungen in den Gauß-Punkten, Vergleichsspannungs-Berechnung ist möglich. Ein guter Wert ist 3 (= 3×3 Gauß-Punkte). Für Typ 1 und Typ 20 kann 2 (= 2×2 Gauß-Punkte) ausreichen, für Typ 19 ist 4 (= 4×4 Gauß-Punkte) richtig.

Für isoparametrische Elemente Nr.14, 15, 18, 22 und 24:

3, 7 oder 13 (d.h. N) = Berechnung Spannungen in den Gauß-Punkten, Vergleichsspannungs-Berechnung ist möglich. Ein guter Wert ist 7 (= 7 Gauß-Punkte). Für Typ 18 kann 3, also 3 Gauß-Punkte, genügen.

Für isoparametrische Elemente Nr.16 und 17:

1, 4 oder 5 (d.h. N) = Berechnung Spannungen in den Gauß-Punkten, Vergleichsspannungs-Berechnung ist möglich. Ein guter Wert ist 5 (= 5 Gauß-Punkte) für Typ 16. Bei Typ 17 kann 1 (= 1 Gauß-Punkt) genügen.

Dieser Wert hat für die Elementtypen Nr.2, 3, 4, 5, 6, 9, 13 und 25 keine Bedeutung: Man trägt am besten eine 1 ein.

In Abbildung 10 ist ein Beispiel für eine Steuerdatei Z88ENVIRO.DYN gezeigt. Die Z88ENVIRO.DYN befindet sich ebenfalls im Unterverzeichnis c:/z88auroraVx/*(Auswahl Betriebssystem)/bin.

```

*-----
Z88Aurora Version 3
*-----*

**FLAGS zum Ansteuern der verschiedenen Optionen
FLAG SHOW_SURFACE      -8
FLAG SCROLLER          150
FLAG ROTATOR            1.000000
FLAG TRANSLATOR         1.000000
FLAG RESOLUTION         1024 x 768
FLAG MPC_RIGID          1.000000E+012
FLAG MPC_USER           1.000000E+002
FLAG MPC_TYP            100
FLAG CULLING            -8
FLAG SPIDER_START       -8
FLAG SHOW_START_INFO    -8
FLAG CPU_NUM            4
FLAG CONFIRM_SOLVER_START 1
FLAG INTORD_TYP_1        2
FLAG INTORD_TYP_7        3
FLAG INTORD_TYP_8        3
FLAG INTORD_TYP_10       3

```



```

FLAG INTORD_TYP_11 3
FLAG INTORD_TYP_12 3
FLAG INTORD_TYP_14 7
FLAG INTORD_TYP_15 7
FLAG INTORD_TYP_16 4
FLAG INTORD_TYP_17 4
FLAG INTORD_TYP_18 3
FLAG INTORD_TYP_19 4
FLAG INTORD_TYP_20 2
FLAG INTORD_TYP_21 3
FLAG INTORD_TYP_22 7
FLAG INTORD_TYP_23 3
FLAG INTORD_TYP_24 7
FLAG INTOS_TYP_1 2
FLAG INTOS_TYP_7 3
FLAG INTOS_TYP_8 3
FLAG INTOS_TYP_10 3
FLAG INTOS_TYP_11 3
FLAG INTOS_TYP_12 3
FLAG INTOS_TYP_14 7
FLAG INTOS_TYP_15 7
FLAG INTOS_TYP_16 4
FLAG INTOS_TYP_17 4
FLAG INTOS_TYP_18 3
FLAG INTOS_TYP_19 4
FLAG INTOS_TYP_20 2
FLAG INTOS_TYP_21 3
FLAG INTOS_TYP_22 7
FLAG INTOS_TYP_23 3
FLAG INTOS_TYP_24 7

```

****PFADE zu externen Programmen**

```

PATH P01_ACROBAT "C:\ "
PATH P02_PLAYER "C:\ "
PATH P03_BROWSER "C:\ "
PATH P04_PROJECT "C:\ "

```

****Buttons der Tooleisten**

```

TOOLBAR 1 1
2 3 4 0 1 0 5 6 53 7 8 0 9 10 0 11 -1
TOOLBAR 2 1
50 51 52 0 54 55 27 0 22 23 24 25 26 -1
TOOLBAR 3 1
12 13 14 0 15 17 16 0 58 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 0 39 0 40 -1

```

Abbildung 10: Beispiel Z88ENVIRO.DYN

Zeilen, denen ein (*) voran steht, werden von Z88Aurora nicht beachtet. Sie dienen dem Leser der Datei als Hilfestellung. Hinter PATH steht das Verzeichnis des externen Programmes. Die Pfade müssen in Hochkommata geschrieben sein, da sonst Leerzeichen nicht korrekt eingelesen werden können. Die Flags, die in Tabelle 4 aufgelistet sind, werden durch das vorangestellte Schlüsselwort FLAG gekennzeichnet. Die meisten können unter "Hilfe" > "Optionen" in der Registerkarte "Ansicht" geändert werden, vgl. Abbildung 11 (links).

Hinter "PATH" stehen die Pfade von externen Programmen, die z.B. zur Visualisierung der Hilfe automatisch angesteuert werden können. Wenn kein Pfad eingestellt ist, dann wird als Standardwert C:\ verwendet. Diese Pfade und auch alle anderen Einstellungen der Z88ENVIRO.DYN können unter "Hilfe" > "Optionen" unter „Pfade“ eingestellt werden, vgl. Abbildung 11 (rechts). Erfahrene Nutzer können sie auch direkt in der Datei editieren. Der Pfad "P04" ändert sich dynamisch, da er das letzte aktuelle Projektverzeichnis enthält, welches als Ausgangspfad für das Öffnen einer Projektmappe verwendet wird.

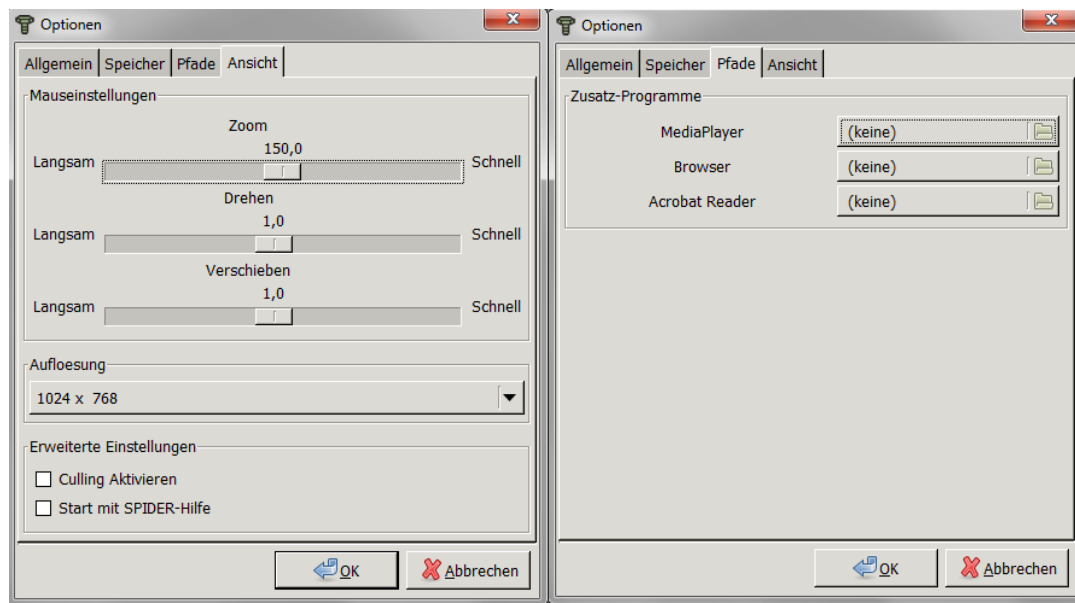


Abbildung 11: Flags für die Standardansicht (links) und die Pfadeinstellungen (rechts)

3.2.10 DATEI Z88NLI7.TXT FÜR VERLAUFSVARIABLEN

Diese Datei ist für den nichtlinearen Solver relevant. Sie ermöglicht es, z.B. die Verschiebung eines Knotens über die einzelnen Lastschritte aufzuzeichnen. So können schnell Kraft-Weg-Kennlinien an diskreten Orten erstellt werden. Diese Datei wird nicht automatisch erstellt, sie muss manuell erstellt werden.

Im Folgenden ist die Struktur der Datei Z88NLI7.TXT gezeigt:

```
nhv
var[1] ort[1] iot[1]
var[2] ort[2] iot[2]
...
var[nhv] ort[nhv] iot[nhv]
```

Die Zahl nhv stellt die Anzahl an verschiedenen History-Variablen dar. Eine solche Variable kann z.B. die Dehnung λ sein, wobei in dem Fall alle Einträge des Dehnungsvektors aufgelistet werden. Für jede Variable enthält die Datei Z88NLI7.TXT eine Zeile mit den drei Kennzahlen var, ort und iot. Die Zahl var bestimmt die physikalische Größe, z.B. Dehnung, die Zahl ort den Ort, z.B. Knoten- oder Elementnummer, und die Zahl iot den Integrationspunkt, wenn es sich um ein Element handelt. Handelt es sich um einen Knoten, wird empfohlen, diese Zahl identisch -1 zu setzen. Nachfolgend sind alle relevanten Kennzahlen aufgelistet:

Kennzahl	Bedeutung	Beispiel
nhv	Anzahl an History-Variablen	3
var	Kennung der Variablen	2
ort	Ort der Variablen	2589

iot	Integrationspunkt des <u>Ortes</u>	4
-----	------------------------------------	---

Die physikalischen Größen, die aufgezeichnet werden können besitzen einen eindeutigen Variablentyp. Diese Variablentypen sind nachstehend aufgelistet:

Typ der Variable	Physikalische Größe	Liste der Ausgaben
1	Lastschritt i	i
2	Verschiebungen \mathbf{u}	u, v, w
3	Spannungen \mathbf{P} (Nennspannungen)	$P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{31}, P_{32}, P_{33}$
4	Dehnungen λ	$\lambda_{11}, \lambda_{22}, \lambda_{33}, \lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{31}$
5	Materialmatrix \mathbf{C}	$C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, C_{15}, C_{16},$ $C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{24}, C_{25}, C_{26},$... $C_{61}, C_{62}, C_{63}, C_{64}, C_{65}, C_{66}$
6	Cauchy-Spannungen σ (wahre Spannungen)	$\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}, \sigma_{12}, \sigma_{23}, \sigma_{31}$
7	Plastische Vergleichsdehnung	ε_{vgl}^{pl}
8	Vergleichsspannung	σ_v
9	innere Kräfte	I_k
10	Summe der inneren Kräfte	$\sum_k I_k$

Der letzte Typ stellt eine Besonderheit dar: hier werden alle Verlaufsvariablen mit Typ 9 (innere Knotenkräfte) aufsummiert. Daher darf Typ 10 auch nur einmal vorkommen und benötigt außerdem mindestens eine Variable vom Typ 9. Typ 10 ist sehr hilfreich, wenn man z.B. Verschiebungen vorgibt und die zugehörige Kraft wissen möchte.

Abschließend ist ein Beispiel für eine Eingabedatei Z88NLI7.TXT gezeigt.

```

3
2 27 -1
5 389 4
3 391 1

```

In diesem Beispiel sollen drei History-Variablen (Verlaufs- oder auch Geschichtsvariablen) erstellt werden. Die erste Variable speichert die Verschiebungen des Knotens 27 nach jedem Lastschritt. Bei der zweiten handelt es sich um die Materialmatrix des 4. Integrationspunktes des 389. Elementes. Schließlich wird der Verlauf der Spannung des 1. Integrationspunktes vom Element Nr. 391 aufgezeichnet. Liegt eine Datei Z88I7NL.TXT vor, so erzeugt der Solver Z88NL eine zusätzliche Ausgabedatei Z88OHNL.TXT. Diese hat den folgenden Aufbau:

```
nhv
var[1] ort[1] iot[1]
var[2] ort[2] iot[2]
...
var[nhv] ort[nhv] iot[nhv]
var[1] ort[1] iot[1]
1 Wert_x Wert_y Wert_z
2 Wert_x Wert_y Wert_z
...
n Wert_x Wert_y Wert_z
var[2] ort[2] iot[2]
1 Wert_x Wert_y Wert_z
2 Wert_x Wert_y Wert_z
...
n Wert_x Wert_y Wert_z
...
var[nhv] ort[nhv] iot[nhv]
1 Wert_x Wert_y Wert_z
2 Wert_x Wert_y Wert_z
...
n Wert_x Wert_y Wert_z
```

Hier ist mit n die Anzahl der Lastschritte bezeichnet. Handelt es sich um Spannungen, gibt es entsprechend Werte Wert_xx, Wert_yy, Wert_zz, Wert_xy, etc.

3.2.11 AUSGABEDATEIEN Z88O?.TXT

Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über die Ausgabedateien von Z88Aurora:

- *Z88O0.TXT (aufbereitete Eingabedaten)*
- *Z88O1.TXT (aufbereitete Randbedingungen)*
- *Z88O2.TXT (berechnete Verschiebungen)*
- *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 Kräfte (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)*
- *Z88NLOH.TXT (berechnete Verlaufsvariablen, nichtlineare Berechnung mit Z88NL)*

Die Dateien Z88O5.TXT, Z88O8.TXT, Z88TO5.TXT und Z88TO8.TXT sind keine regulären Z88-Ausgabedateien. Sie werden intern für den Postprozessor genutzt und als ASCII-Files abgelegt, damit ggf. fortgeschrittene Benutzer sie für eigene Routinen nutzen können.

4. DIE Z88-MODULE

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

4.1 KONVERTER FÜR CAD- & FE-PROGRAMME

Z88Aurora bietet Ihnen die Möglichkeit, eine Vielzahl von gängigen Dateiformaten aus kommerziellen Simulationsprogrammen direkt einzuladen, reine Geometriedaten oder Superstrukturen zu importieren, sowie bestehende FE-Daten aus der Version 14 des Open Source Programms Z88. Jeder dieser Konverter bietet individuellen Funktionsumfang und gegebenenfalls eigene Einstellmöglichkeiten. Z88V13 und Z88Aurora V1 müssen mittels des externen Tools *MITOO* migriert werden.

Da aber insbesondere die eigentlich proprietären Datenformate der Simulationsprogramme keinen nationalen oder internationalen Standards entsprechen, können hier die jeweiligen Hersteller bei Versionswechsel Änderungen in den Dateien vornehmen, welche die Konverter beeinflussen können. Bei der Verwendung von Neutralformaten für Geometrie- oder Produktdaten (STL bzw. STEP) müssen unter Umständen passende Einstellungen in den CAD-Programmen vorgenommen werden, damit ein funktionsfähiges FE-Modell in der gewünschten Genauigkeit erstellt werden kann.

ACHTUNG: In den nachfolgenden Abschnitten werden der Funktionsumfang der Konverter sowie die Programme, mit welchen diese getestet sind, aufgelistet. Trotz intensiver Tests kann keine Garantie dafür übernommen werden, dass Dateien aus anderen Programmen oder neueren Versionen mit den Konvertern kompatibel sind. Bitte beachten Sie die entsprechenden Hilfestellungen in den Erklärungen.

Es bestehen zwei Möglichkeiten den Import von Dateien aufzurufen:

1. Über das Textmenü (Abbildung 12)
2. Über die Toolbar (Abbildung 13)

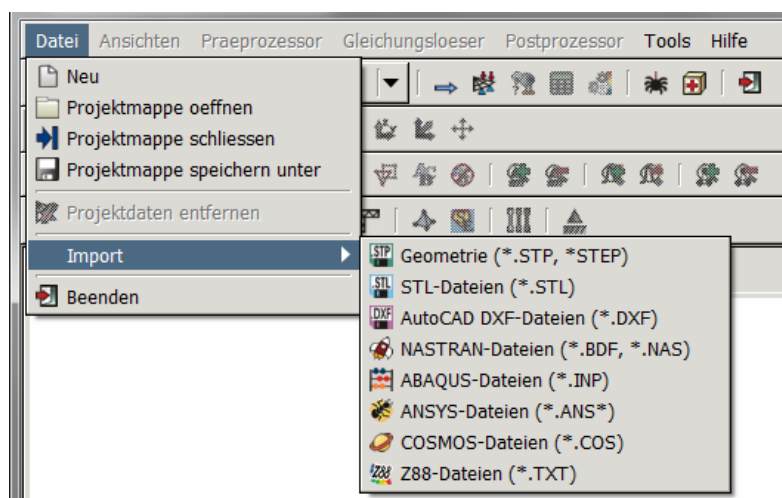


Abbildung 12: Import im Textmenü

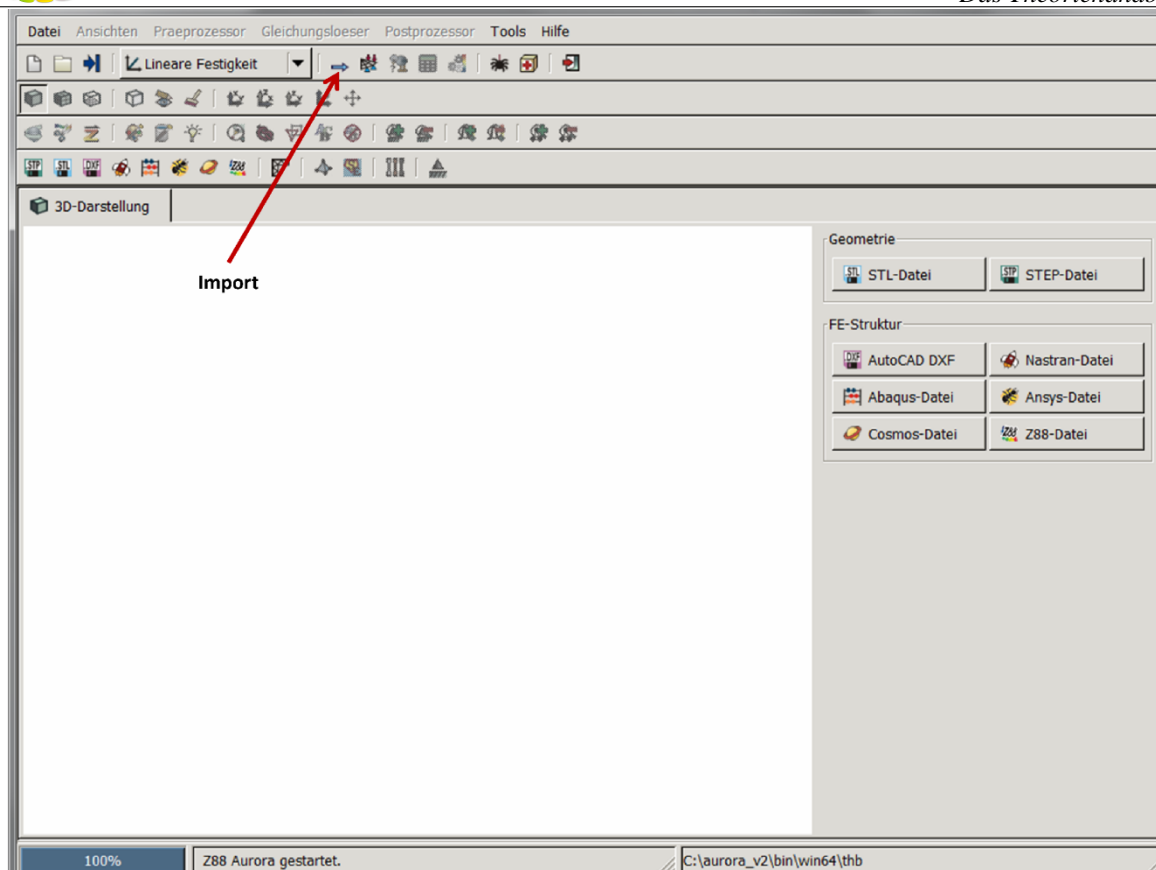


Abbildung 13: Import über die Toolbar

Je nach Funktionsumfang des Konverters kann eine Vielzahl von FE-Modelldaten importiert werden. Sie haben die Möglichkeit, eine fertige FE-Struktur zu erzeugen oder eine Superstruktur, die sich mit Hilfe des integrierten Mapped-Meshers Z88N weiter vernetzen lässt. Die finiten Elemente des Quellprogramms werden ordnungsgemäß in den entsprechenden Typ in Z88Aurora überführt.

Erwartungsgemäß bieten die reinen Geometrieschnittstellen nur die Funktion, ein dreidimensionales Abbild ohne FE-Informationen zu importieren.

Tabelle 5: Modelldaten, die aus FE-Strukturdaten übernommen werden können

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

*Z88V13 und Z88Aurora V1 via Mitoo

Bitte beachten Sie: Beim Import von AUTOCAD-DXF werden nur die Geometriedaten bzw. FE-Netzdaten, ggf. mit Randbedingungen importiert. Die Materialdaten, die Elementparameter sowie die Integrationsordnungen definieren Sie anschließend komfortabel in Z88Aurora. Nur so ist eine saubere Datenkonsistenz in Z88Aurora - Projekten gewährleistet.

NASTRAN-, ANSYS-, ABAQUS- und COSMOS-Daten können wie gewohnt mit Randbedingungen importiert werden. Die Materialdaten werden bewusst nicht übernommen; diese ergänzen Sie in Z88Aurora. Eine entsprechende Übersicht über die Modelldaten, welche Sie übernehmen können, finden Sie in Tabelle 5, Informationen zu den möglichen Elementtypen entnehmen Sie bitte der Tabelle 1 im Kapitel 2.3.

4.1.1 EINLESEN VON Z88-DATEN

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Abwärtskompatibilität ist eine der Grundvoraussetzungen für das effektive Arbeiten mit einem Simulationssystem. Wer will schon jedes halbe Jahr seine Modelle neu aufbauen? Daher können alle Eingabedateien aus früheren Versionen auch in Z88AuroraV3 verwendet werden. Gegebenenfalls sind nur ein paar kleine Anpassungen nötig.

Welche Z88-Versionen können mit Z88Aurora zusammenarbeiten?

Prinzipiell kann jede Eingabedatei aus jeder vorhergehenden Version eingelesen werden. Hauptsächlich ist die Funktion für den Import von Dateien direkt aus der Z88 V14 OS oder Z88Aurora V2 sowie über das Migrationstool MITOO aus Z88Aurora V1 und Z88V13 vorgesehen. Daher müssen noch ältere Daten auf den Stand dieser Versionen gebracht werden. Dafür genügt meist das Hinzufügen einzelner Flags oder Werte, siehe fortlaufender Text.

Das Migrationstool MITOO

Daten aus Z88V14 OS und Z88Aurora V2 können direkt in Z88Aurora V3 ohne MITOO eingelesen werden. Daten aus Z88 V13 und Z88Aurora V1 können einfach mittels MITOO nach Z88Aurora V3 migriert werden. Erzeugt wird ein Z88V14 OS Datensatz (Z88I1.TXT, Z88I2. TXT, Z88I5. TXT, Z88MAN. TXT, Z88MAT. TXT, *. TXT, Z88INT. TXT, Z88ELP. TXT).

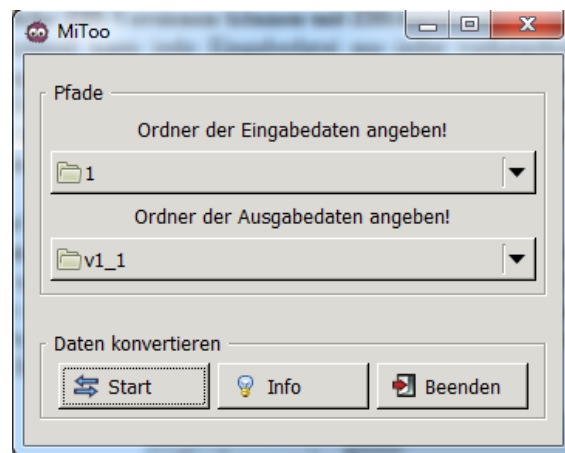


Abbildung 14: Migrationstool MITOO für ältere Z88-Dateien

Die ausführbare Datei MITOO befindet sich standardmäßig im bin-Ordner. Nach Doppelklicken öffnet sich der Migrationsdialog. Durch Auswahl der jeweiligen Ordner und „Start“ konvertieren Sie die Daten.

Danach kann wie gewohnt über das Import-Menü der Import durchgeführt werden. Für ganze Projekte wird die unterste Importmöglichkeit gewählt:

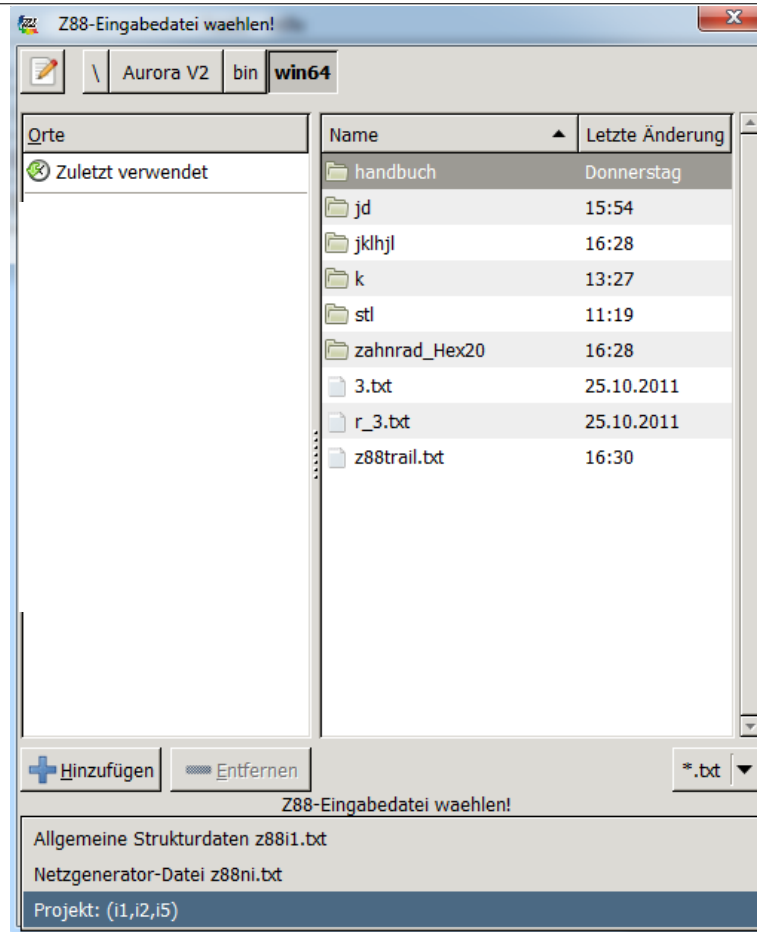


Abbildung 15: Einlesen von Z88-Daten

Verwendung Z88Aurora Daten:

Für eine Weiterverarbeitung der Daten in Z88V14OS kann in der Datei z88.FCD der Eintrag „enable write_only“ geschrieben 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.

4.1.2 MANUELLES ERSTELLEN VON Z88-DATEN

Wenn gewünscht, können im Z88V14 Format Dateien manuell erzeugt werden und in Z88Aurora eingelesen werden. Hierzu werden die Dateien per Hand wie folgt aufgebaut.

▪ ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88I1.TXT

In der Z88I1.TXT sind die Geometriedaten der Struktur hinterlegt.

1. Eingabegruppe:

Allgemeine Daten in der ersten Zeile, beinhalten allgemeine Daten der Struktur. Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Alle Zahlen sind hier vom Typ [Long].

1. Zahl: Dimension der Struktur (2 oder 3)
2. Zahl: Anzahl Knoten der Struktur
3. Zahl: Anzahl Elemente
4. Zahl: Anzahl Freiheitsgrade
5. Zahl: Koordinatenflag KFLAG (0 oder 1). Achtung: an dieser Position stand bei früheren Versionen die Anzahl der Materialgesetze NEG!

Erläuterung:**KFLAG:**

Bei Eingabe von 0 werden die Koordinaten orthogonal- kartesisch erwartet, dagegen werden bei Eingabe von 1 Polar- oder Zylinderkoordinaten erwartet, die sodann in kartesische Koordinaten umgewandelt und in dieser Form dann in Z88O0.TXT gestellt werden.

Achtung: Die axialsymmetrischen Elemente 6, 8, 12 und 15 erwarten a-priori Zylinderkoordinaten, hier KFLAG zu 0 setzen!

2. Eingabegruppe:

Beginnt ab der 2. Zeile, enthält die Koordinaten der Knoten, für jeden Knoten eine Zeile, wobei die Knotennummern streng aufsteigend geordnet sein müssen.

1. Zahl: Knotennummer [Long]
2. Zahl: Anzahl der Freiheitsgrade an diesem Knoten [Long]
3. Zahl: X- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, R-Koord. [Double]
4. Zahl: Y- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, PHI-Koord. [Double]
5. Zahl: Z- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, Z-Koord. [Double]

Die Z-Angabe kann bei 2-dimensionalen Strukturen entfallen. Winkel PHI in rad.

Beispiel 1: Der Knoten Nr. 156 hat 2 Freiheitsgrade und die Koordinaten X= 45.3 und Y= 89.7

> Also: 156 2 45.3 89.7

Beispiel 2: Der Knoten Nr. 68 soll 6 Freiheitsgrade haben (ein Balken Typ Nr.2 ist angeschlossen) und Zylinderkoordinaten R= 100. , PHI= 0.7854 (entspricht 45°), Z= 56.87

> Also: 68 6 100. 0.7854 56.87

3. Eingabegruppe:

Beginnend nach letztem Knoten erfolgt die Zuordnung des Elementtyps mit den dazugehörigen Knoten des Elementes, bei einheitlicher Koinzidenz. Für jedes finite Element sind zwei Zeilen zu editieren. Die Elementnummern sind wie die Knotennummern streng aufsteigend einzugeben.

1. Zeile:

1. Zahl: Elementnummer [Long].
2. Zahl: Elementtyp (1 bis 25) [Long].

2. Zeile: je nach Elementtyp

1. Zahl: 1. Knotennummer für Koinzidenz [Long]
2. Zahl: 2. Knotennummer für Koinzidenz [Long]
- ...
20. Zahl: 20. Knotennummer für Koinzidenz [Long]

Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Alle Zahlen hier vom Typ [Long].

Beispiel: Eine isoparametrische Serendipity Scheibe Nr.7 hat Elementnummer 23. Die Koinzidenz sei durch die globalen Knoten 14, 8, 17, 20, 38, 51, 55, 34 (lokal sind das die Knoten 1-2-3-4-5-6-7-8) gegeben. > Also beide Zeilen:

23 7

14 8 17 20 38 51 55 34

▪ RANDBEDINGUNGSDATEI Z88I2.TXT

In der Datei Z88I2.TXT sind die Festhaltungen, Verschiebungen und Kräfte, die auf das Modell wirken, hinterlegt. Flächenlasten finden sich in der Datei Z88I5.TXT.

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte oder 8-Byte Integerzahl

[Double] = 8-Byte Gleitkommazahl, wahlweise mit oder ohne Punkt

1. Eingabegruppe:

Die Anzahl der Randbedingungen/Belastungen wird angegeben.

1. Zahl: Anzahl der Randbedingungen/Belastungen [Long]

2. Eingabegruppe:

Die Randbedingungen und Belastungen werden definiert, für jede Randbedingung und für jede Belastung wird jeweils eine Zeile benötigt.

1. Zahl: Knotennummer mit Randbedingung/Last [Long]

2. Zahl: Jeweiliger Freiheitsgrad (1,2,3,4,5,6) [Long]

3. Zahl: Steuerflag: 1 = Kraft vorgegeben [Long] oder 2 = Verschiebung vorgegeben [Long]

4. Zahl: Größe der Last bzw. Verschiebung [Double]

Beispiel: Der Knoten 1 soll an seinen 3 Freiheitsgraden jeweils gesperrt sein: feste Einspannung, am Knoten 3 wird eine Kraft von -1648 N aufgegeben in Y-Richtung (also FG 2), am Knoten 5 sollen die Freiheitsgrade 2 und 3 festgehalten werden. Das sind 6 Randbedingungen.

> Also:

6

1 1 2 0

1 2 2 0

1 3 2 0

3 2 1 -1648

5 2 2 0

5 3 2 0

Bei Flächenlasten ist zu beachten:

Strecken- und Flächenlasten wie Drucklasten und Tangentialschübe geben Sie vorteilhaft in die dafür vorgesehene Datei Z88I5.TXT!

Lediglich Einzelkräfte und Lagerbedingungen werden hier in Z88I2.TXT eingebaut.

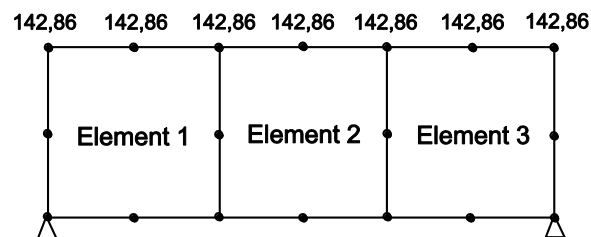
Sie können aber auch Strecken- und Flächenlasten „von Hand“ auf entsprechende Einzelkräfte umrechnen und hier in die Datei Z88I2.TXT eingeben (was an sich das ganz ursprüngliche, klassische Verfahren ist, aber einige Mühe macht).

Bei den Elementen mit linearem Ansatz, wie z.B. Hexaeder Nr.1 und Torus Nr.6, werden Lastverteilungen wie Flächen- oder Volumenlasten einfach und geradlinig auf die jeweiligen Knoten verteilt.

Bei Elementen mit höheren Ansätzen, d.h. quadratisch (Scheiben Nr.3, Nr.7, Torus Nr.8, Hexaeder Nr.10) oder kubisch (Scheibe Nr.11, Torus Nr.12) werden Lastverteilungen nicht mehr physikalisch- anschaulich, sondern nach festen Regeln vorgenommen. Verblüffenderweise treten hier sogar mitunter negative Lastkomponenten auf. Dieser Sachverhalt ist zwar nicht anschaulich, führt aber zu korrekten Ergebnissen, was bei intuitiver, d.h. gleichmäßiger Verteilung einer Last auf die betreffenden Knoten nicht der Fall ist.

Ein Beispiel, erst falsch, dann richtig, soll den Sachverhalt verdeutlichen:

Falsche Lastaufteilung



Richtige Lastaufteilung

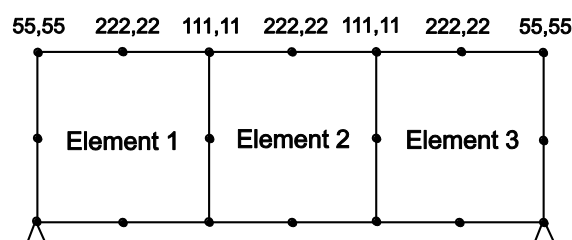


Abbildung 16: Lastverteilung einer Streckenlast auf die Knoten

Eine FE-Struktur möge aus drei Scheiben Nr.7 bestehen und am oberen Rand mit 1000 N in Y- Richtung verteilt belastet werden. Abbildung 13: Oben falsche, unten korrekte Lastverteilung, weil:

FALSCH: $1000 \text{ N} / 7 = 142,86 \text{ N}$ pro Knoten. Nicht richtig für Elemente mit quadratischem Ansatz.

RICHTIG: $2 * 1/6 + 2 * (1/6 + 1/6) + 3 * 2/3 = 18/6 = 3$, entspricht 1000 N

"1/6- Punkte" = $1000/18 * 1 = 55,55$

"2/6- Punkte" = $1000/18 * 2 = 111,11$

"2/3- Punkte" = $1000/18 * 4 = 222,22$

Kontrolle: $2 \cdot 55.55 + 2 \cdot 111.11 + 3 \cdot 222.22 = 1000 \text{ N}$, o.k.

Denn es gilt:

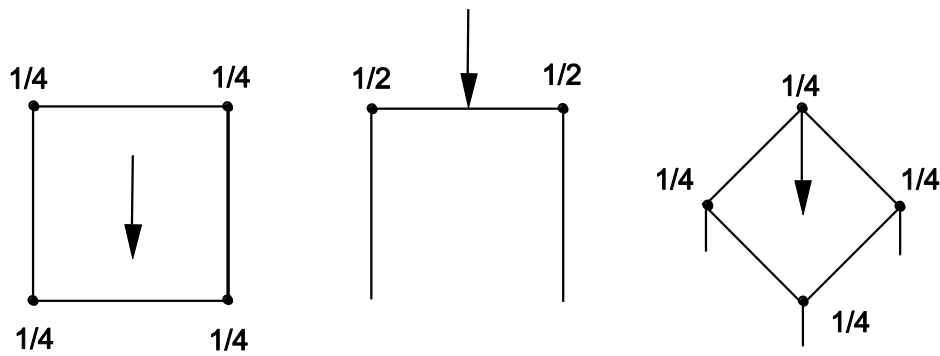


Abbildung 17: Elemente mit linearem Ansatz, z.B. Hexaeder Nr.1

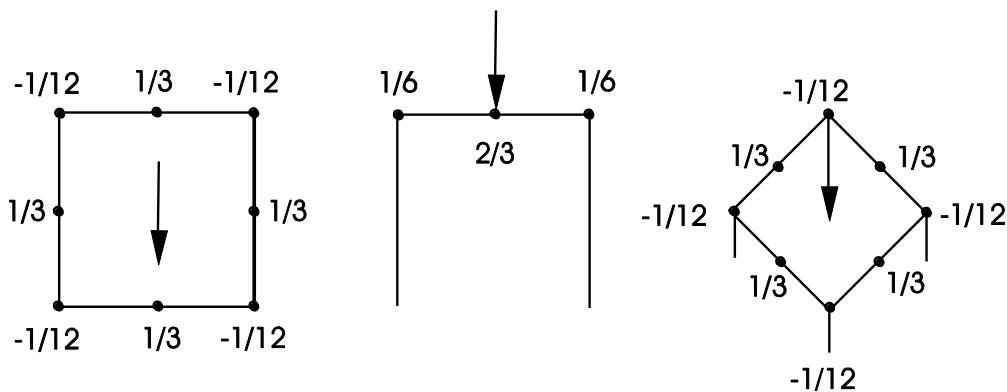


Abbildung 18: Elemente mit quadratischem Ansatz, z.B. Scheibe Nr.3 und Nr.7, Torus Nr.8, Hexaeder Nr.10

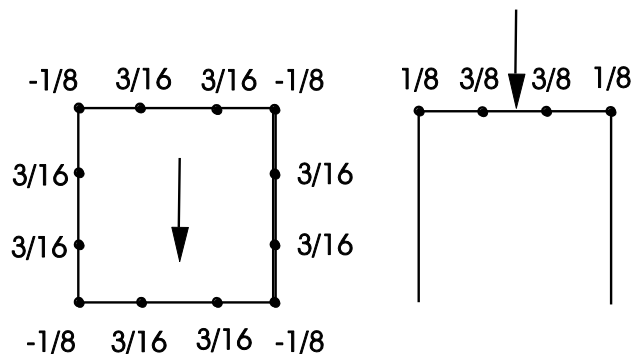


Abbildung 19: Elemente mit kubischem Ansatz, z.B. Scheibe Nr.11, Torus Nr.12

▪ FLÄCHENLAST-DATEI Z88I5.TXT

Diese Datei muss grundsätzlich vorhanden sein. Wenn keine Flächenlasten vorliegen, steht in der 1. Eingabegruppe lediglich eine 0 plus Zeilenvorschub; die 2.Eingabegruppe dann existiert nicht.

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte oder 8-Byte Integerzahl

[Double] = 8-Byte Gleitkommazahl, wahlweise mit oder ohne Punkt

1. Eingabegruppe:

1. Zahl: Anzahl der Strecken- und Flächenlasten [Long]

2. Eingabegruppe:

Strecken- und Flächenlasten, für jede Last jeweils eine Zeile. Ein Element kann durchaus mehrere Lasten auf verschiedenen Kanten bzw. Flächen haben. Die Anzahl der Parameter ist elementtyp-abhängig, damit unnötiger Eingabeaufwand vermieden wird.

Zu den lokalen Richtungen: Sie definieren durch die Angabe der Knoten und deren Reihenfolge die lokalen r- und s-Richtungen. Diese brauchen naturgemäß nicht mit den lokalen

r- und s-Richtungen des finiten Elements, wie in der Strukturdatei Z88I1.TXT definiert, übereinstimmen. Die Nummerierungen müssen vom Richtungssinn den Elementnummerierungen entsprechen, vgl. Kap.4.

Scheibenelemente Nr.7 und 14 und Toruselemente Nr.8 und 15:

Elementnummer mit Streckenlast [Long]

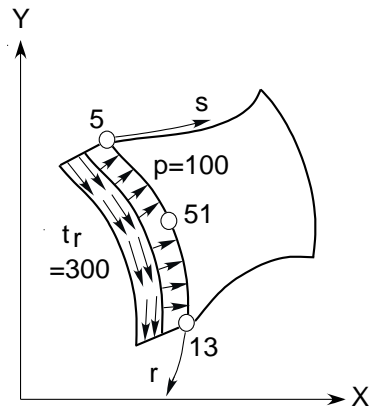
Druck, positiv auf die Kante zeigend [Double]

Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung [Double]

3 Knoten der belasteten Kante [3 x Double]

Beispiel: Das Scheibenelement 97, Bild 11.7-1, soll auf der Kante, die durch die Eckknoten 5 und 13 und durch den Mittenknoten 51 definiert sei, mit einer Streckenlast von 100 N/mm, die normal zur Kante wirke und einer Streckenlast von 300 N/mm, die tangential und positiv in lokaler r-Richtung (die ist durch die beiden Eckknoten 5 und 13 festgelegt) wirke, belastet werden. Also:

> 97 100. 300. 5 13 51



Scheibenelement mit Streckenlasten

Hexaeder Nr.1:

Elementnummer mit Streckenlast [Long]

Druck, positiv auf die Kante zeigend [Double]

Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung [Double]

Tangentialschub, positiv in lokaler s-Richtung [Double]

4 Knoten der belasteten Fläche [4 x Double]

Beispiel: Das Hexaederelement 356 soll auf der Fläche, die durch die Eckknoten 51, 34, 99 und 12 definiert sei, mit einer Streckenlast von 100 N/mm², die normal zur Fläche wirke, einer Tangentiallast in lokaler r-Richtung von 200 N/mm² und einer Tangentiallast in lokaler s-Richtung von 300 N/mm² belastet werden. Also:

> 356 100. 200. 300. 51 34 99 12

Hexaeder Nr.10:*Elementnummer mit Streckenlast [Long]**Druck, positiv auf die Kante zeigend [Double]**Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung [Double]**Tangentialschub, positiv in lokaler s-Richtung [Double]**8 Knoten der belasteten Fläche [8 x Double]*

Beispiel: Das Hexaederelement 456 soll auf der Fläche, die durch die Eckknoten 51, 34, 99 und 12 und die Mittenknoten 102, 151, 166 und 191 definiert sei, mit einer Streckenlast von 100 N/mm^2 , die normal zur Fläche wirke, einer Tangentiallast in lokaler r-Richtung von 200 N/mm^2 und einer Tangentiallast in lokaler s-Richtung von 300 N/mm^2 belastet werden. Also:

>456 100. 200. 300. 51 34 99 12 102 151 166 191

Tetraeder Nr.17:*Elementnummer mit Flächenlast [Long]**Druck, positiv auf die Fläche zeigend [Double]**3 Knoten der belasteten Fläche [3 x Double]*

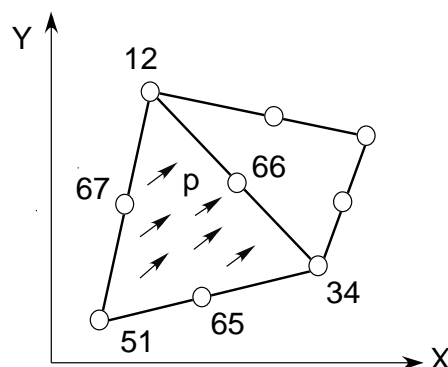
Beispiel: Das Tetraederelement 356 soll auf der Fläche, die durch die Eckknoten 51, 34 und 12 definiert sei, mit einer Streckenlast von 100 N/mm^2 , die normal zur Fläche wirke, belastet werden. Also:

>356 100. 51 34 12

Tetraeder Nr.16:*Elementnummer mit Flächenlast [Long]**Druck, positiv auf die Fläche zeigend [Double]**6 Knoten der belasteten Fläche [6 x Double]*

Beispiel: Das Tetraederelement 888, Bild 11.7-2, soll auf der Fläche, die durch die Eckknoten 51, 34 und 12 sowie die Mittenknoten 65, 66 und 67 definiert sei, mit einer Streckenlast von 100 N/mm^2 , die normal zur Fläche wirke, belastet werden. Also:

>888 100. 51 34 12 65 66 67



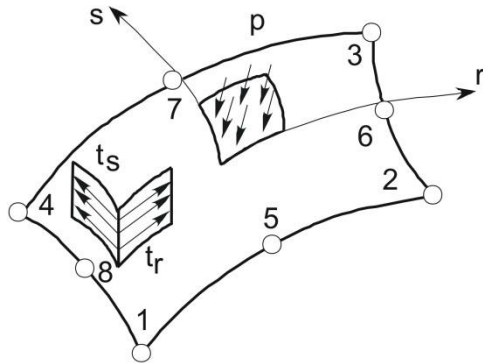
Tetraeder mit Druckbelastung auf einer Elementseite

Plattenelemente Nr.18, 19 und 20:*Elementnummer mit Flächenlast [Long]**Druck, positiv auf die Fläche zeigend [Double]***Schale Nr.21:**

> Elementnummer

- > Druck, positiv auf die Fläche zeigend
- > Tangentialschub in lokaler r -Richtung
- > Tangentialschub in lokaler s -Richtung
- > 4 Eckknoten und 4 Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.

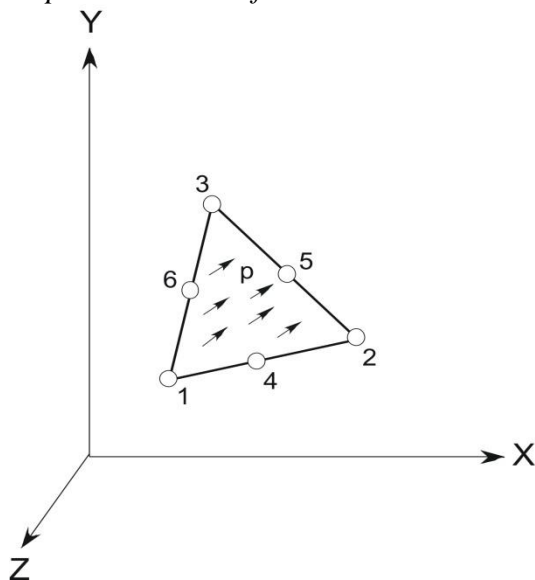
Die lokale r -Richtung wird durch die Knoten 1-2, die lokale s -Richtung durch die Knoten 1-4 festgelegt. Die lokalen Knoten 1 bis 8 für die Flächenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1 bis 8 für die Koinzidenzliste.



Schale Nr.21 mit Druckbelastung

Schale Nr.22:

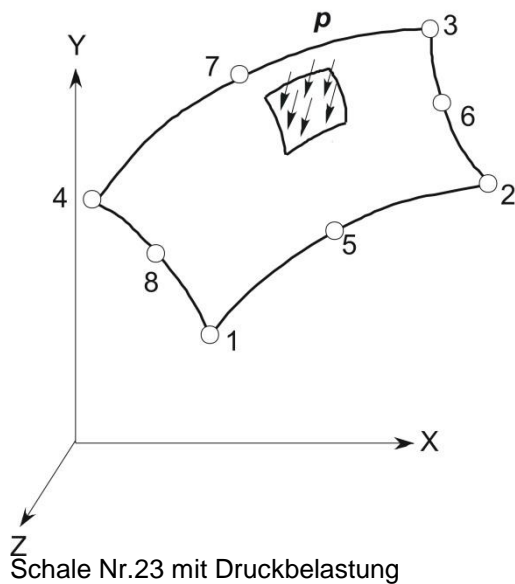
- > Elementnummer
- > Druck, positiv auf die Fläche zeigend
- > 3 Eckknoten und 3 Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.



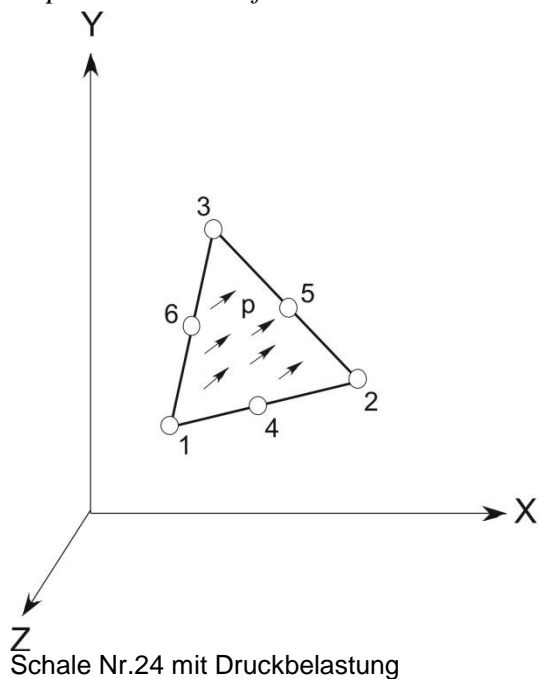
Schale Nr.22 mit Druckbelastung

Schale Nr.23:

- > Elementnummer
- > Druck, positiv auf die Fläche zeigend
- > 4 Eckknoten und 4 Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.

**Schale 24:**

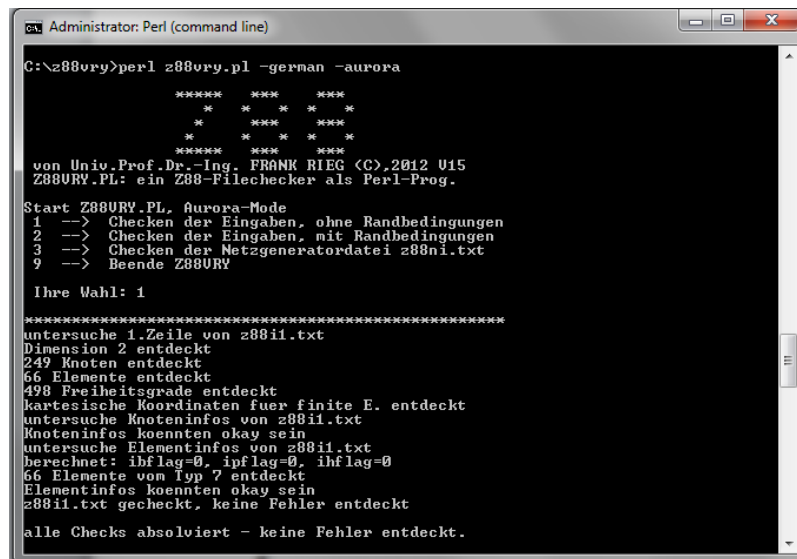
- > Elementnummer
- > Druck, positiv auf die Fläche zeigend
- > 3 Eckknoten und 3 Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.



▪ ÜBERPRÜFUNG SELBST ERSTELLTER EINGABEDATEN Z88VRY

Zur Erstellung von Eingabedaten per Hand steht Ihnen ein externes Zusatztool namens Z88VRY zur Verfügung (in der Installation unter docu sind das Programm und eine kurze Dokumentation zu finden). Dieses Werkzeug überprüft die Datenkonsistenz der erstellten Eingabedaten Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und Z88I5.TXT. Z88VRY ist ein Perl Programm,

welches direkt ohne Übersetzung läuft. Mac und LINUX haben Perl ohnehin integriert, bei Windows laden Sie aus dem Internet entweder Strawberry-Perl oder ActiveState-Perl. Der Aufruf erfolgt über: `perl z88vry.pl -german -aurora`



```

Administrator: Perl (command line)

C:\z88vry>perl z88vry.pl -german -aurora

      ****
      *  *  *  *  *
      *  *  *  *  *
      *  *  *  *  *
      ****

von Univ.Prof.Dr.-Ing. FRANK RIEG (C).2012 U15
Z88VRY.PL: ein Z88-Filechecker als Perl-Prog.

Start Z88VRY.PL, Aurora-Mode
1 --> Checken der Eingaben, ohne Randbedingungen
2 --> Checken der Eingaben, mit Randbedingungen
3 --> Checken der Netzgeneratordatei z88ni.txt
9 --> Beende Z88VRY

Ihre Wahl: 1

*****
untersuche 1.Zeile von z88il.txt
Dimension 2 entdeckt
249 Knoten entdeckt
66 Elemente entdeckt
498 Freiheitsgrade entdeckt
kartesische Koordinaten fuer finite E. entdeckt
untersuche Knoteninfos von z88il.txt
Knoteninfos koenntn okay sein
untersuche Elementinfos von z88il.txt
berechnet: ihflag=0, inflag=0, ihflag=0
66 Elemente vom Typ 7 entdeckt
Elementinfos koenntn okay sein
z88il.txt gecheckt, keine Fehler entdeckt
alle Checks absolviert - keine Fehler entdeckt.
  
```

Abbildung 20: Z88VRY Konsolenanwendung

4.1.2 DER STEP-IMPORT IN Z88AURORA Z88GEOCON(STEP)

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Der vorliegende STEP-Konverter basiert auf den Einlese- und Ausgaberroutinen der Open Source 3D-Suite OpenCASCADE. Daher liegen die entsprechenden Quellen (stepread.cpp und geocon.cpp) sowie eine Kopie der GPL-Lizenz Z88Aurora bei.

Die meisten 3D-CAD-Systeme verfügen über die Möglichkeit, die erstellten Modelle in Dateien nach dem internationalen Standard DIN ISO 10303 (STEP: STANDARD for the Exchange of Product model data) abzulegen. Dabei kommen meist die Anwendungsprotokolle AP203 und AP214 zum Einsatz. Diese legen die 3D-Geometrie, in hochexakter Form beschrieben, in Textdateien ab. Der Tatsache, dass STEP rein nach der Definition viel mehr übertragen könnte, (Anmerkungen, Parameter, Materialien und vieles mehr) wird im Moment von wenigen CAD-Herstellern Rechnung getragen. Die Geometrie hingegen kann in FE-Programmen meist gut weiterverwendet werden, wenn einige Punkte beachtet werden:

- Jeder STEP-Konverter eines CAD-Programms ist nur so gut, wie der verwendete Grafikkernel. Beinhaltet die Darstellung im CAD also Fehler, so werden diese Fehler mitexportiert und behindern unter Umständen die Weiterverarbeitung. Diese Fehler entstehen zum Teil durch den Kernel selbst, zum Teil aber auch durch den Export überladener Modelle.
- Verwenden Sie im CAD-System eine möglichst hohe Modellierungsgenauigkeit (geometrische Toleranz z. B. $< 0,01$) und wenn Sie die Möglichkeit haben, beim Export wiederholt eine Toleranz anzugeben, so setzen Sie diese höher an, als die Modellierungstoleranz (z. B. $= 0,01$).

- Stellen Sie beim Export sicher, dass Sie AP203 oder AP214 verwenden.
- Sollten Sie auf Probleme beim Import stoßen, so überlegen Sie, ob Sie Ihr Modell vor dem Exportieren vereinfachen können. Oft sind kleine Rundungen oder Fasen die Auslöser für Minikanten und –flächen, welche die Weiterverarbeitung behindern. Falls diese nicht zwingend für die FE-Simulation notwendig sind, können sie unterdrückt und somit nicht exportiert werden.

Welche CAD-Systeme können mit Z88Geocon zusammenarbeiten?

Alle CAD-Systeme, die STEP-Dateien exportieren, also schreiben können. Garantie kann hier verständlicherweise nicht übernommen werden.

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Aus den importierten STEP-Daten erstellt Z88Aurora zunächst eine STL-Datei zur Visualisierung. Diese kann mittels der vorhandenen Vernetzer in Strukturen aus Elementen Nr.16 oder Nr.17 (lineare oder quadratische Tetraeder) sowie den Elementen Nr. 23 oder Nr. 24 (8-Knoten- bzw. 6-Knoten-Schale) überführt werden.

Welche Funktionen bietet der Konverter?

*Z88Geocon > Konvertierung > von *.step oder *.stp nach visualisierter structure-Datei Z88STRUCTURE.txt*

Wie ist die Vorgehensweise?

1. Konstruieren Sie die zu berechnende 3D-Geometrie in Ihrem CAD-System. Beachten Sie dabei nach Möglichkeit die oben stehenden Besonderheiten. Exportieren Sie die Geometrie als STEP AP203 oder AP214 Datei. Bitte achten Sie darauf, dass Sie ein Volumenmodell und kein Flächen- oder Drahtgittermodell exportieren! Es empfiehlt sich, das Urmodell und die Austauschdatei mit einem integrierten Geometriecheck auf Flächenfehler und Miniflächen zu überprüfen.
2. In Z88Aurora wählen Sie im Menü *Datei > Import > STEP-Daten*. In dem folgenden Auswahldialog können Sie automatisch nur STEP-Daten anwählen. Wählen Sie also die gewünschte Datei an (Abbildung 21).
3. Z88Geocon erstellt aus Ihrer Datei eine STL-Datei, welche für die Visualisierung in Z88Aurora benötigt wird. Diese Darstellung können Sie nun vernetzen und weiterbearbeiten.

Dieselben Funktionalitäten bieten sich, wenn Sie den STEP-Import über die Toolbar aufrufen.

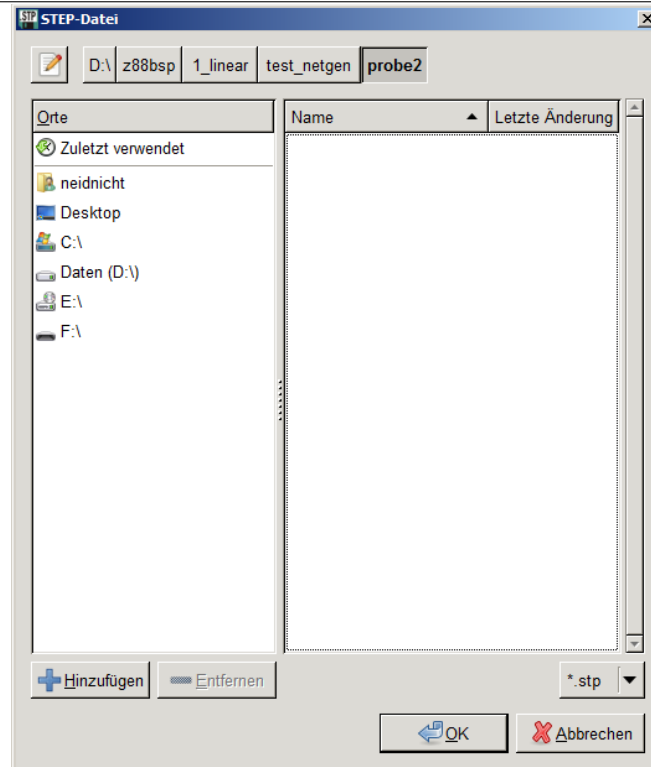


Abbildung 21: Einlesen von STEP-Daten

4.1.3 DER STL-KONVERTER (STL)

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Ebenso wie STEP ist STL (Surface Tessellation Language) ein gängiges und standardisiertes Austauschformat, welches aus vielen CAD- und auch aus CAM-Systemen erzeugt werden kann und gerne für Rapid Prototyping und Gussimulationen verwendet wird. Zusätzlich gibt es im Bereich des Reverse Engineering auch Systeme, welche aus einer 3D-Erfassung STL-Daten erzeugen können. Somit können Bauteile auch ohne ein CAD-Modell simuliert werden.

Im Gegensatz zu STEP- welches die Oberfläche des Bauteils mittels Bézierkurven oder Splines sehr genau beschreiben kann - stellt eine STL immer eine Diskretisierung des Bauteils dar, d. h. alle Flächen werden in gradlinig berandete Dreiecke unterteilt. Dadurch kommt es natürlich vor allem an Rundungen oder Bohrungen zu einem Genauigkeitsverlust. Allerdings erhalten Sie diesen sowieso spätestens nach dem Vernetzen in der FEA ebenfalls. Allerdings sollten Sie bedenken, dass eine schlecht erzeugte STL durch die Vernetzung nur zu noch mehr Qualitätsverlust führt. Daher sollten Sie folgende Einstellungen beim Erzeugen der STL-Daten überprüfen, falls ihr Quellsystem diese Möglichkeiten bietet:

1. Winkelsteuerung: Falls Sie in Ihren CAD-System den minimalen Winkel in einem Oberflächendreieck einstellen können, so bietet es sich an, Winkel mit minimal 30° zuzulassen. Sehr spitze Winkel führen, abhängig vom Vernetzer, meist auch zu spitzen Winkeln in den Elementen des FE-Netzes, was zwangsläufig entweder zu Elementen führt, die nicht berechnet werden können (zu kleine bzw. negative Jacobi-Determinante) oder schlechte Ergebnisse erzeugen.
2. Sehnenlänge: Eine möglichst kleine Sehnenlänge führt ebenfalls zu möglichst gleichseitigen und vor allem kleinen Dreiecken für die Oberflächendarstellung. Hier sollten Sie sich an der kürzesten geraden Kante Ihres Modells orientieren und mit z. B. der Hälfte dieses Wertes vernetzen lassen.

3. Kantenlängenverhältnis: Der Quotient aus der längsten und der kürzesten Kante eines Dreiecks ist ebenfalls ein Maß für dessen Regelmäßigkeit. Hier sollte ein Wert nahe 1 gewählt werden.

Welche CAD-Systeme können mit Z88Aurora zusammenarbeiten?

Alle CAx-Systeme, die STL-Dateien im ASCII-Format oder Binärformat exportieren, also schreiben können. Garantie kann hier verständlicherweise nicht übernommen werden.

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Aus den importierten STL-Daten erstellt Z88Aurora zunächst eine Visualisierung. Diese kann mittels der vorhandenen Vernetzer in Strukturen aus Elementen Nr.16 oder Nr.17 (lineare oder quadratische Tetraeder) sowie den Elementen Nr. 23 oder Nr. 24 (8-Knoten- bzw. 6-Knoten-Schale) überführt werden.

Wie ist die Vorgehensweise?

1. Konstruieren Sie die zu berechnende 3D-Geometrie in Ihrem CAD-System. Beachten Sie dabei nach Möglichkeit die oben stehenden Besonderheiten. Exportieren Sie die Geometrie als STL-Datei. Es empfiehlt sich, das Urmodell und die Austauschdatei mit einem integrierten Geometriecheck auf Flächenfehler und Miniflächen zu überprüfen. Sehen Sie sich die STL genauer an und suchen Sie nach Dreiecken mit sehr spitzen Winkeln. Wenn sich diese in einem für die Berechnung wichtigen Bereich des Bauteils befinden, empfiehlt es sich, die Austauschdatei noch einmal mit veränderten Einstellungen zu exportieren.
2. In Z88Aurora wählen Sie im Menü *Datei > Import > STL-Daten*. In dem folgenden Auswahldialog können Sie automatisch nur STL-Dateien anwählen. Wählen Sie also die gewünschte Datei an (Abbildung 22).
3. Die Geometrie wird in Z88Aurora visualisiert und kann weiterverarbeitet werden.

Dieselben Funktionalitäten bieten sich, wenn Sie den STL-Import über die Toolbar aufrufen.

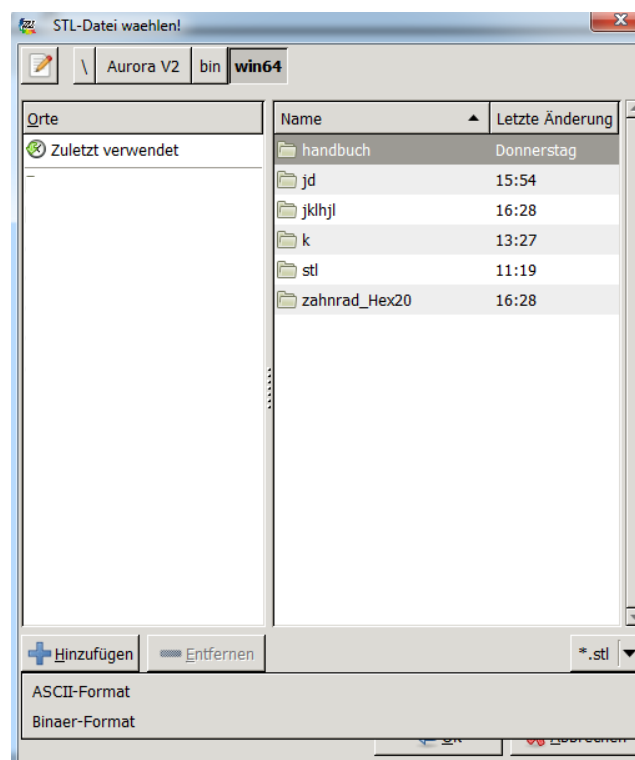
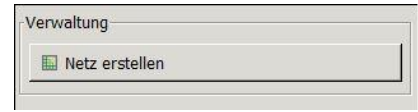


Abbildung 22: Einlesen von STL-Dateien

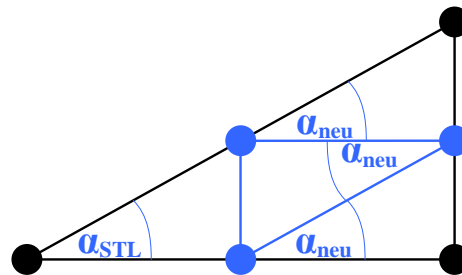
4.1.4 DIE STL-TOOLS

Der STL-Verfeinerer

STL-Netze können, vor der Verwendung eines Vernetzers, im Vorfeld verfeinert werden. Der Vorteil besteht in der Aufrechterhaltung einer STL-Struktur. Damit steht nach der Verfeinerung der volle Umfang der bisher beschriebenen Netzgenerierung zur Verfügung. Als Zwischenmenü erscheint der Button: „Netz erstellen“.



Parametereingaben können nicht vorgenommen werden. Automatisiert wird ein STL-Element, wie in Abbildung 23 zu sehen ist, in vier neue Elemente unterteilt. Für das neue, verfeinerte Netz gilt, dass der kleinste, vorhandene **Winkel α konstant** bleibt.



STL-Element

$$ne_{neu} = 4 * ne_{STL}$$

Abbildung 23: STL-Superelement

STL in Schale konvertieren

Mit dem dargestellten Symbol werden STL-Netze direkt in Schalenelemente umgewandelt. Wie die nachfolgende Abbildung 24 zeigt, sind Schalenelemente Nr. 23 oder Nr. 24 generierbar. Bei der Schale Nr. 23 erfolgt automatisch eine feinere Vernetzung durch die automatische Aufteilung des Startelements in drei FE-Elemente Nr. 23. Bei der Verfeinerung werden ausgehend vom Inkreismittelpunkt des Dreieckes neue Eckknoten erzeugt

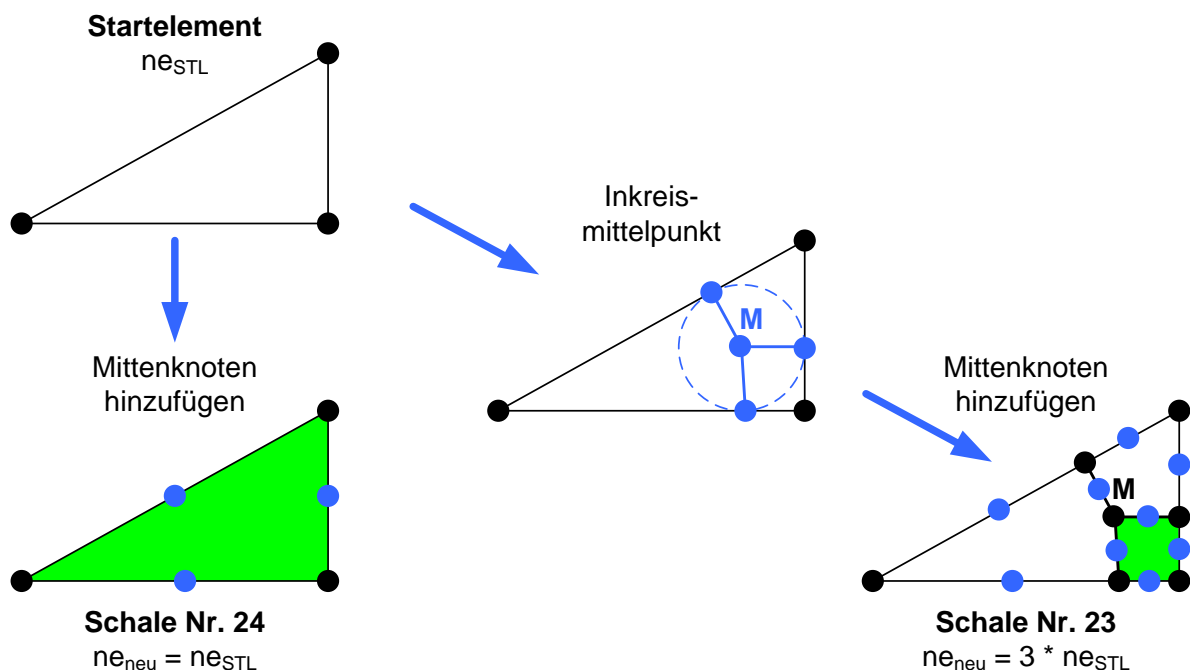


Abbildung 24: Konvertierung von STL-Netzen in Schalenelemente

Bauteil trimmen

Z88Aurora bietet dem Benutzer eine Vielzahl von verschiedenen Elementen an. Eine Auswahl an 2D-Elementen zur Konvertierung der STL-Struktur findet sich im entsprechenden Untermenü. Der Benutzer wählt unter *Schnittebene* einen

Wert für die z-Koordinate. Mit der *Genauigkeit* ϵ wird einen Bereich um die z-Koordinate definiert. In diesem blau markierten Bereich, siehe Abbildung 25, werden alle Schwerpunkte S_x der STL-Dreiecke ausgewählt, die innerhalb der blauen Ebenen liegen. Mit *Vorschau* können die ausgewählten STL-Dreiecke hervorgehoben werden. Mit dem Button: „Erstellen“ erfolgt die Umwandlung in den gewählten Elementtyp. Aber Achtung das funktioniert nur mit STL-Dateien.

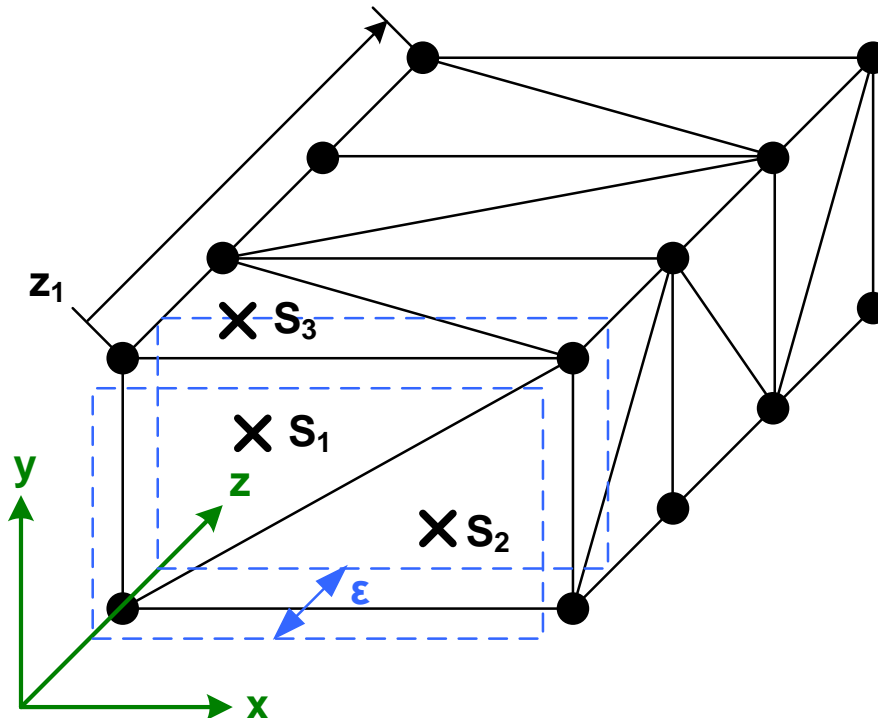
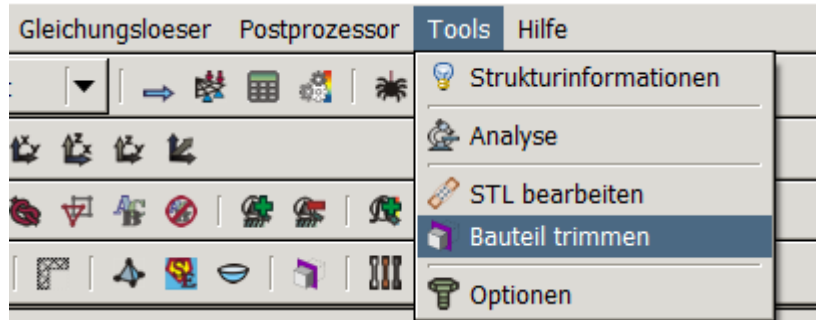
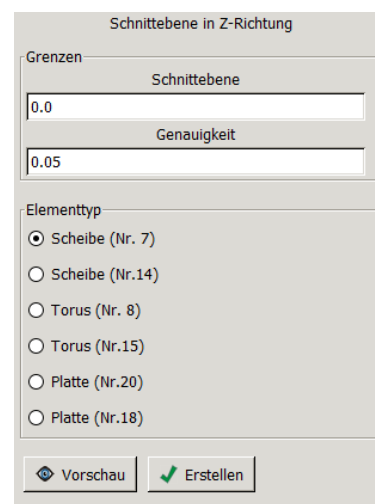


Abbildung 25: Ausschneiden aus einer STL-Struktur

Das Menü sieht dann folgendermaßen aus.



4.1.5 DER DXF-KONVERTER IN AURORA: Z88X

Der AUTOCAD-Konverter in Aurora ist aus der Open Source Variante übernommen, die folgende Beschreibung bezieht sich deshalb immer auf die Strukturdatei Z88I1.TXT, Die Randbedingungen Z88I2.TXT und die Flächenlasten aus Z88I5.TXT.

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

2D-CAD-Systeme wie AutoCAD bieten Ihnen eine einfache Möglichkeit, komplexere 2D- oder 2½D-Strukturen in Z88Aurora zu überführen, auch ohne ein kostspieliges 3D-System. Hierfür ist der Layer-basierte Aufbau der DXF-Dateien wie geschaffen.

Welche CAD-Systeme können mit Z88X zusammenarbeiten?

Alle CAD-Systeme, die DXF-Dateien importieren und exportieren, also lesen und schreiben können. Garantie kann hier verständlicherweise nicht übernommen werden. Z88 ist im Zusammenspiel mit verschiedenen Original-AutoCAD und -AutoCAD LT Versionen getestet worden, und es sind die DXF-Richtlinien der Fa. Autodesk als Initiator der DXF-Schnittstelle beachtet worden, d. h. entsprechend AC1009 bis AC1024. Wählen Sie als Austauschformat AutoCAD R12 DXF als kleinste Untermenge, aber AutoCAD 2011 DXF geht ebenso.

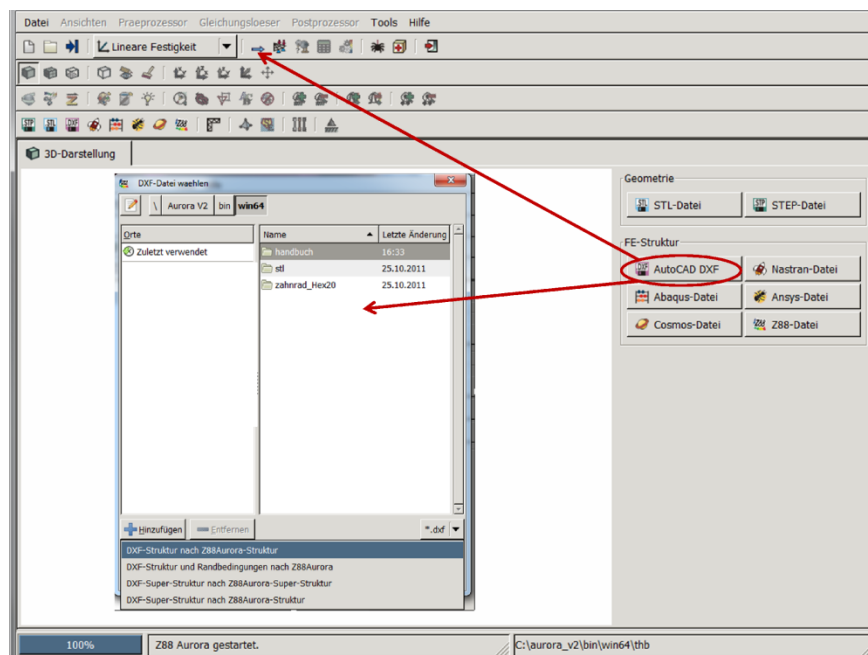


Abbildung 26: Aufruf des AutoCAD DXF-Konverters Z88X und Importmöglichkeiten in Z88Aurora

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Alle Elementtypen von 1 bis 25.

Welche Funktionen bietet der Konverter?

DXF-Struktur nach Z88Aurora-Struktur
 DXF-Struktur und Randbedingungen nach Z88Aurora
 DXF-Super-Struktur nach Z88Aurora-Super-Struktur
 DXF-Super-Struktur nach Z88Aurora-Struktur

Wie ist die Vorgehensweise?

▪ VOM CAD-SYSTEM NACH Z88

Im CAD- System:

- 1) Sie konstruieren Ihr Bauteil. Reihenfolge und Layer beliebig.
- 2) Sie legen die FE-Struktur bzw. die Superstruktur durch Linien und Punkte fest. Reihenfolge und Layer beliebig, daher unproblematisch und schnell.
- 3) Auf dem Layer Z88KNR nummerieren Sie die Knoten mit der TEXT-Funktion. Reihenfolge beliebig, daher unproblematisch und schnell.
- 4) Auf den Layer Z88EIO schreiben Sie die Element- Informationen mit der TEXT-Funktion. Reihenfolge beliebig, daher unproblematisch und schnell.
- 5) Auf den Layer Z88NET „umreißen“ Sie die einzelnen Elemente mit der LINE-Funktion. Die einzige Sektion mit fester Arbeitsfolge (wegen den gerichteten Informationen).
- 6) Auf den Layer Z88GEN schreiben Sie allgemeine Informationen.
- 7) Exportieren (Speichern) Sie Ihre Zeichnung als DXF-Datei.

In Z88Aurora: Starten des CAD-Konverters Z88X

Wählen Sie im Menü *Datei > Import > AutoCAD-DXF-Dateien*.

Sie können im Auswahlmenü angeben, welche der folgenden Dateien erstellt werden sollen:

- *eine Datei der allgemeinen Strukturdaten Z88STRUCTURE.TXT oder*
- *ein Z88Aurora-Datensatz (ohne Material- und Elementparameter-Informationen) mit Randbedingungen*
- *eine Z88STRUCTURE.TXT aus einer Superstruktur, welche Sie von Hand in Aurora vernetzen können*
- *eine Z88STRUCTURE.TXT aus einer Superstruktur, die mit den in der DXF-Datei hinterlegten Informationen vernetzt wird (dafür wird direkt der gerichtete Vernetzer Z88N nachgeschaltet)*

Dieselben Funktionalitäten bieten sich, wenn Sie den Z88-Import über die Toolbar aufrufen.

▪ Z88X IM DETAIL

Gehen Sie in folgenden Schritten vor und reservieren Sie folgende Layer

Z88GEN: Layer für *allgemeine Informationen* (1. Eingabegruppe im Netzgenerator Eingabefile Z88NI.TXT und Allgemeine Strukturdaten Z88STRUCTURE.TXT).

Z88KNR: Layer, der die *Knotennummern* enthält.

Z88EIO: Layer, der *Elementinformationen* wie Elementtyp und im Falle Netzgenerator Eingabefile Z88NI.TXT, die Steuerinformationen für den Netzgenerator enthält.

Z88NET: Layer, der das *Netz*, das in definierter Reihenfolge gezeichnet wurde, enthält.

Ein weiterer Layer, **Z88PKT**, wird von Z88X erzeugt, wenn Sie von Z88 zu CAD konvertieren. Er zeigt alle Knoten mit einer *Punktmarkierung* an, damit man die Knoten besser erkennt. Für den umgekehrten Schritt, von dem hier die Rede ist, also von CAD zu Z88, ist er völlig bedeutungslos.

1. Schritt: Konstruieren Sie Ihr Bauteil wie gewohnt im CAD-System. Sie brauchen keine bestimmte Reihenfolge einzuhalten, und Sie können beliebige Layer verwenden. Es ist sehr zu empfehlen, z.B. Körperkanten auf einen Layer, Bemaßungen auf einen anderen Layer, unsichtbare Linien, Mittellinien, Symbole auf einen dritten Layer zu legen. Denn Sie sollten für den nächsten Schritt alle überflüssigen Informationen ausblenden können.

2. Schritt: Planen Sie die Netzaufteilung, also geeignete finite Elementtypen und deren Verteilung, unterteilen Sie die FE-Struktur bzw. die Superstruktur durch Linien in Elemente, setzen Sie **alle** Knotenpunkte, die noch nicht vorhanden sind (z.B. sind Schnittpunkte oder Endpunkte von Linien ohne weiteres verwendbar). Reihenfolge und Layer sind beliebig, es ist allerdings ratsam, keinen der Z88-Layer wie Z88NET, Z88GEN, Z88PKT, Z88KNR, Z88EIO, Z88FLA und Z88RBD dafür zu nehmen. Definieren Sie einen beliebigen neuen Layer hierfür oder nutzen Sie schon vorhandene Layer aus Schritt 1.

3. Schritt: Legen Sie den Z88-Layer **Z88KNR** an und gehen Sie auf ihn. Fangen Sie jeden FE- Knoten, die Sie ja bereits im 1. Schritt durch Ihre Konstruktion selbst bzw. im 2. Schritt ergänzt haben und nummerieren Sie die Knoten. Schreiben Sie an jeden Knoten **P Leerzeichen** und seine **Knotennummer** mit der TEXT-Funktion des CAD-Programms, also z.B. **P 33**. Achten Sie darauf, dass der Einfügepunkt der Nummer, also des Textes, genau auf dem Knoten liegt. Mit den Fangmodi z.B. von AutoCAD (Fange Schnittpunkt, Endpunkt usw.) ist das problemlos. Die Reihenfolge der Arbeitsfolge ist beliebig, Sie können also den Knoten 1 nummerieren, anschließend den Knoten 99 und dann den Knoten 21. Nur muss die Nummerierung der Knoten selbst, also welchen Knoten Sie zum Knoten 1 bzw. 99 bzw. 21 machen, logisch im FEA-Sinne sein.

4. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88EIO** an und gehen Sie auf ihn. Schreiben Sie prinzipiell irgendwo hin (besser natürlich in die Nähe oder Mitte des jeweiligen finiten Elements bzw. Superelements) die Element-Informationen mit der TEXT-Funktion. Die Reihenfolge der Arbeitsfolge ist beliebig, Sie können also das Element 1 beschreiben, anschließend das Element 17 und dann das Element 8. Nur muss die Beschreibung der Elemente selbst, also welches Element Sie zum Element 1 bzw. 17 bzw. 8 machen und wie Sie es definieren, logisch im FEA- Sinne sein. Im Einzelnen sind folgende Informationen zu schreiben:

Bei Finiten Elementen aller Typen von 1 bis 25:

FE Elementnummer Elementtyp
in eine Zeile schreiben, durch mindestens ein Leerzeichen trennen.

Beispiel: Eine isoparametrische Serendipity Scheibe Typ-Nr.7 soll die Elementnummer 23 erhalten. Schreiben Sie z.B. in die Mitte des Elements mit der TEXT-Funktion *FE 23 7*

Bei Super-Elementen 2-dimensional, also Nr.7, 8, 11, 12 und 20

SE
Elementnummer
Super-Elementtyp
Typ der zu erzeugenden finiten Elemente
Unterteilung in lokaler x- Richtung
Art der Unterteilung in lokaler x-Richtung
Unterteilung in lokaler y- Richtung
Art der Unterteilung in lokaler y-Richtung

in eine Zeile schreiben, durch jeweils mindestens ein Leerzeichen trennen.

Beispiel: eine isoparametrische Serendipity Scheibe mit 12 Knoten (Elementtyp 11) als Superelement soll in finite Elemente vom Typ isoparametrische Serendipity Scheibe mit 8

Knoten (Elementtyp 7) zerlegt werden. In lokaler x-Richtung soll 3-mal äquidistant unterteilt werden und in lokaler y-Richtung soll 5-mal geometrisch aufsteigend unterteilt werden. Das Superelement soll die Nummer 31 haben. Schreiben Sie z.B. in die Mitte des Elements mit der TEXT- Funktion: *SE 31 11 7 3 e 5 L* (e oder E für äquidistant sind gleichwertig)

Bei Super-Elementen 3-dimensional, also Hexaeder Nr.10, Hexaeder Nr.1 und Volumenschale Nr.21

SE

Elementnummer

Super-Elementtyp

Typ der zu erzeugenden finiten Elemente

Unterteilung in lokaler x- Richtung

Art der Unterteilung in lokaler x-Richtung

Unterteilung in lokaler y- Richtung

Art der Unterteilung in lokaler y-Richtung

Unterteilung in lokaler z- Richtung

Art der Unterteilung in lokaler z-Richtung

in eine Zeile schreiben, durch jeweils mindestens ein Leerzeichen trennen.

Beispiel: ein isoparametrischer Serendipity Hexaeder mit 20 Knoten (Elementtyp 10) als Superelement soll in finite Elemente vom Typ isoparametrische Hexaeder mit 8 Knoten (Elementtyp 1) zerlegt werden. In lokaler x-Richtung soll 3-mal äquidistant unterteilt werden, in lokaler y-Richtung soll 5-mal geometrisch aufsteigend unterteilt werden und in lokaler z-Richtung soll 4-mal äquidistant unterteilt werden. Das Superelement soll die Nummer 19 haben. Schreiben Sie z.B. in die Mitte des Elements mit der TEXT-Funktion:

SE 19 10 1 3 E 5 L 4 E (e oder E für äquidistant sind gleichwertig)

5. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88NET** an und gehen Sie auf ihn. Für diesen Schritt brauchen Sie Konzentration, denn hier muss eine feste und starre Arbeitsfolge wegen der gerichteten Informationen eingehalten werden. In diesem Schritt wird eine der wichtigsten Informationen, die Koinzidenz, also welches Element durch welche Knoten definiert ist, eingebaut. Wählen Sie eine Farbe für Linien, die sich gut von den bisher verwendeten Farben abhebt und blenden Sie alle überflüssigen Informationen aus.

Wählen Sie den **LINIE-Befehl (Linien-Befehl)** aus und stellen Sie die **Fangmodi** Punkte, Schnittpunkte und ggf. Endpunkte ein.

Beginnen Sie beim ersten Element. Das erste Element ist für Z88 das Element, mit dem Sie nun beginnen, also das Sie als erstes Element ausgesucht haben. Klicken Sie den Knoten an, der der erste Knoten des Elements sein soll (das kann global z.B. der Knoten 150 sein) und ziehen Sie eine Linie auf den Knoten, der der zweite Knoten des Elements sein soll (das kann global z.B. der Knoten 67 sein). Ziehen Sie weiter auf den Knoten, der der dritte Knoten des Elements sein soll (das kann global z.B. der Knoten 45 sein). Alle erforderlichen Knoten passieren und zuletzt auf den Startpunkt, also den ersten Knoten; dann Linien- Funktion aufheben.

Dasselbe machen Sie dann mit dem zweiten Element. Denken Sie daran: **Sie geben mit dieser Reihenfolge vor, welches der Elemente nun zum echten zweiten Element wird.** Im vorherigen 4. Schritt haben Sie lediglich definiert, um **was** es sich für einen Elementtyp beim z.B. zweiten Element handelt. Hier geben Sie vor, **wie** das Element topologisch definiert ist.

Es folgt das dritte Element und so fort. Sollten Sie bei der Umfahrung eines Elements einen Fehler machen, dann löschen Sie alle bisherigen Linienzüge dieses Elements (z.B. mit der Rückgängig- oder UNDO-Funktion) und beginnen Sie nochmals am ersten Punkt des fraglichen Elements. Wenn Sie aber erst beim Element 17 feststellen, dass Sie bei Element 9 einen Fehler gemacht haben, dann müssen Sie alle Linienzüge der Elemente 9 bis 17 löschen und neu beim Element 9 aufsetzen.

Sie müssen folgende Umfahrungssinne einhalten, die für Ihren Komfort teilweise von denen abweichen, wie sie bei den Elementbeschreibungen angegeben sind. Z88X sortiert dann intern richtig.

Beispiel: In der Elementbeschreibung ist die Koinzidenz für das Element Typ 7 wie folgt: Erst die Eck-, dann die Mittenknoten, also 1-2-3-4-5-6-7-8. So muss die Koinzidenzliste in den Z88- Eingabedateien aussehen. Für Z88X hingegen, um das Element bequem umfahren zu können, ist die Reihenfolge 1-5-2-6-3-7-4-8-1 (linkes Bild) bzw. A-B-C-D-E-F-G-H-A (rechtes Bild) :

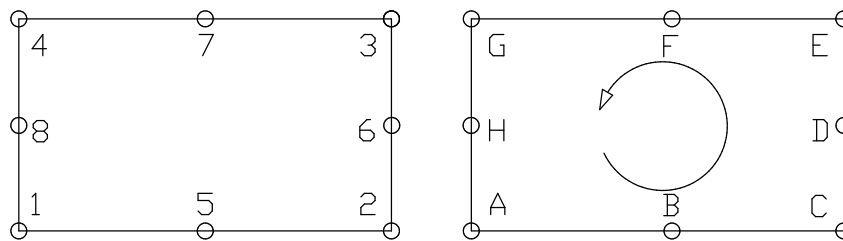
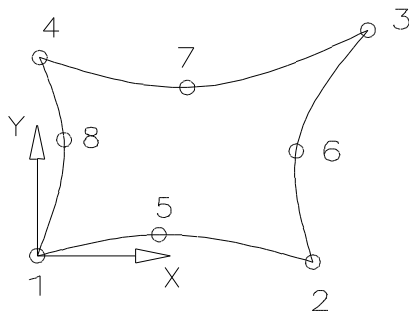


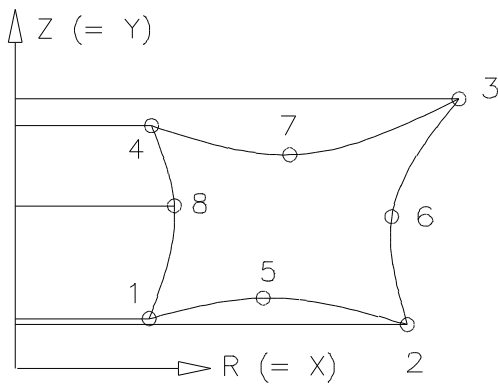
Abbildung 27: Beispiel für richtige Umfahrungssinne

Nachfolgend die CAD- Umfahrungssinne für alle Elemente:

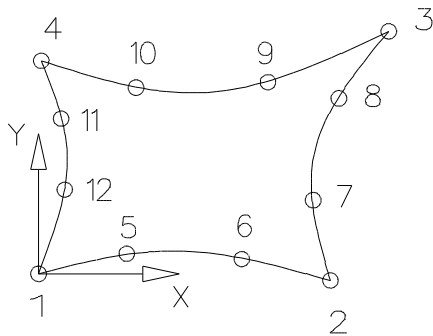
Element Nr. 7, Nr. 20 und Nr. 23: 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1



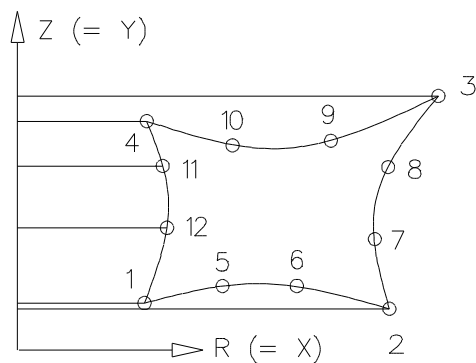
Element Nr. 8: 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1



Element Nr.11: 1 - 5 - 6 - 2 - 7 - 8 - 3 - 9 - 10 - 4 - 11 - 12 - 1

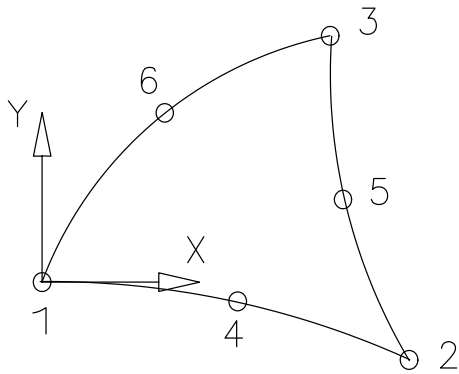


Element Nr.12: 1 - 5 - 6 - 2 - 7 - 8 - 3 - 9 - 10 - 4 - 11 - 12 - 1

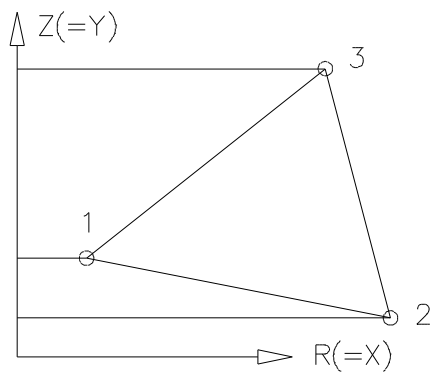


Element Nr. 2, 4, 5, 9, 13: Linie von Knoten 1 nach Knoten 2

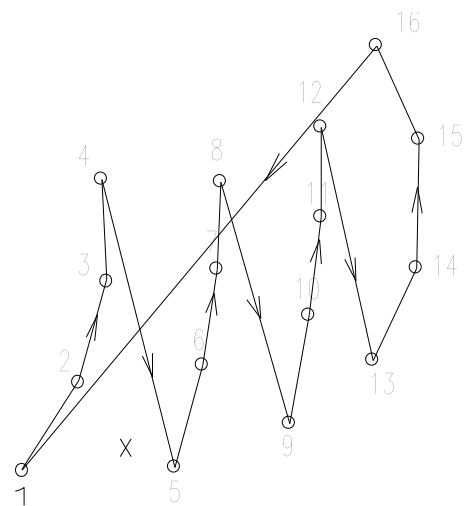
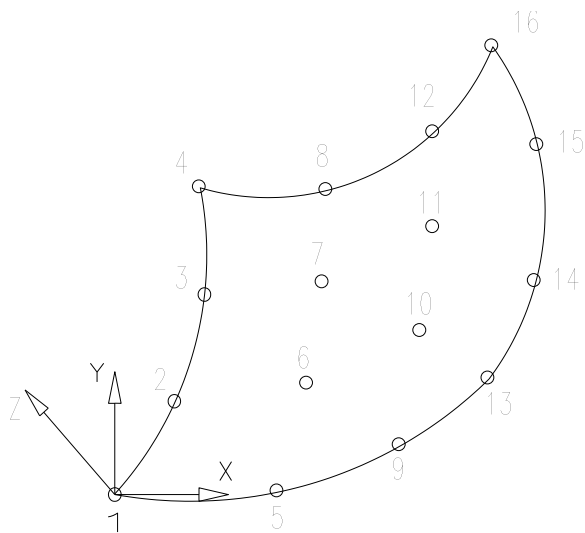
Elemente Nr. 3, 14, 15, 18 und 24: 1 - 4 - 2 - 5 - 3 - 6 - 1



Element Nr.6: 1 - 2 - 3 - 1



Element Nr.19: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 1



Element Nr.1:

obere Fläche: 1 - 2 - 3 - 4 - 1, Linie beenden

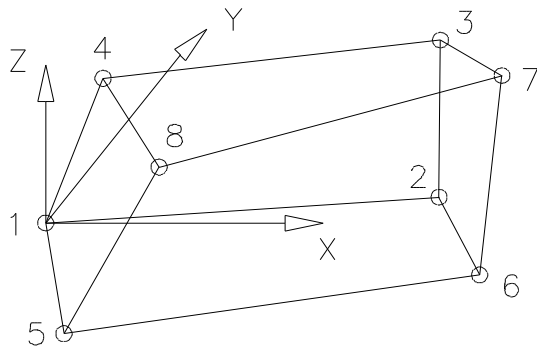
untere Fläche: 5 - 6 - 7 - 8 - 5, Linie beenden

1 - 5, Linie beenden

2 - 6, Linie beenden

3 - 7, Linie beenden

4 - 8, Linie beenden

**Element Nr.10:**

obere Fläche: 1 - 9 - 2 - 10 - 3 - 11 - 4 - 12 - 1, Linie beenden

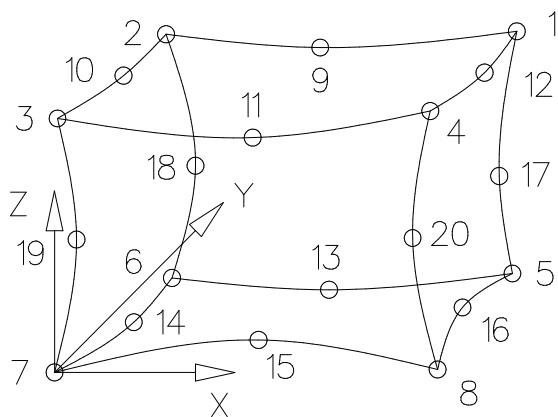
untere Fläche: 5 - 13 - 6 - 14 - 7 - 15 - 8 - 16 - 5, Linie beenden

1 - 17 - 5, Linie beenden

2 - 18 - 6, Linie beenden

3 - 19 - 7, Linie beenden

4 - 20 - 8, Linie beenden



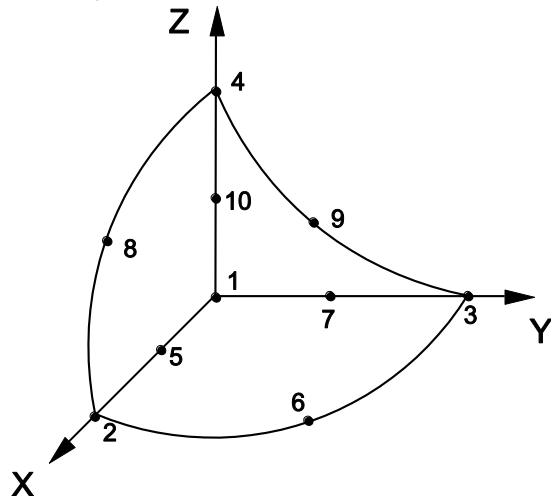
Element Nr.16:

XY-Ebene: 1-5-2-6-3-7-1, Linie beenden

2-8-4, Linie beenden

3-9-4, Linie beenden

1-10-4, Linie beenden



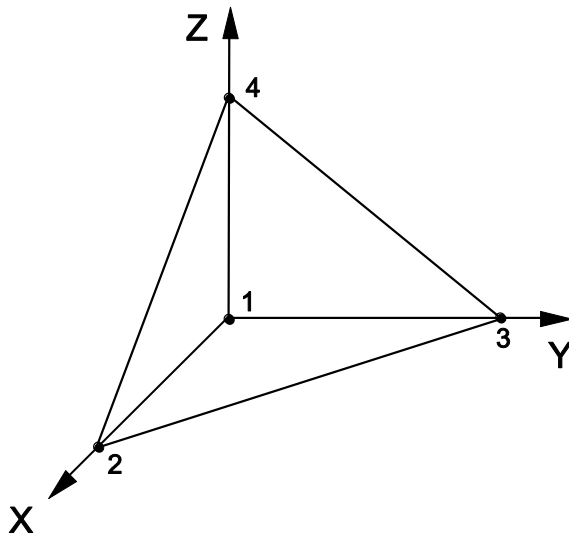
Element Nr.17:

XY-Ebene: 1-2-3-1, Linie beenden

2-4, Linie beenden

3-4, Linie beenden

1-4, Linie beenden



Element Nr.21:

obere Fläche: 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1, Linie beenden

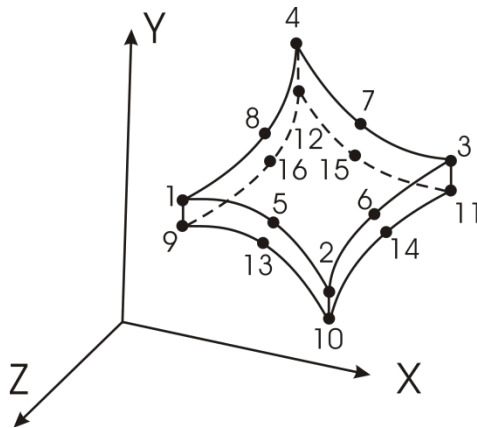
untere Fläche: 9 - 13 - 10 - 14 - 11 - 15 - 12 - 16 - 9, Linie beenden

1 - 9, Linie beenden

2 - 10, Linie beenden

3 - 11, Linie beenden

4 - 12, Linie beenden

Element Nr. 22:

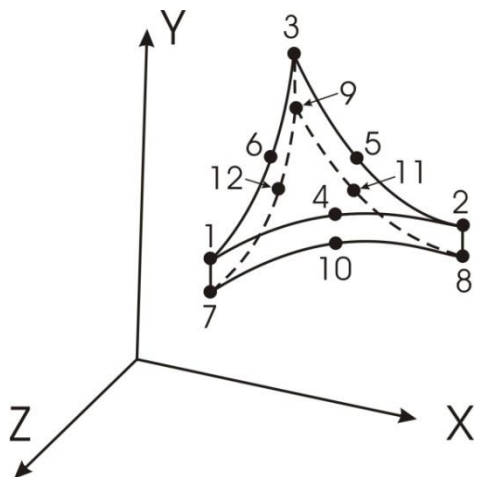
obere Fläche: 1 - 4 - 2 - 5 - 3 - 6 - 1, Linie beenden

untere Fläche: 7 - 10 - 8 - 11 - 9 - 12 - 7, Linie beenden

1 - 7, Linie beenden

2 - 8, Linie beenden

3 - 9, Linie beenden



6. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88GEN** an und aktivieren Sie ihn. Schreiben Sie mit der TEXT- Funktion an eine freie Stelle (also an irgendeine Stelle Ihrer Zeichnung) die **allgemeine Informationen**, also die erste Eingabegruppe der allgemeinen Strukturdaten Z88I1.TXT bzw. der Netzgeneratordatei Z88NI.TXT,

im Falle Z88I1.TXT (also FE-Netz) :

Z88I1.TXT

Dimension der Struktur

Anzahl Knoten

Anzahl finite Elemente

Anzahl Freiheitsgrade
Koordinatenflag (0 oder 1)

in eine Zeile schreiben, Werte durch mindestens ein Leerzeichen getrennt. **Unbedingt im Layer Z88GEN schreiben.**

Beispiel: FE-Struktur 3-dimensional mit 150 Knoten, 89 finiten Elementen, 450 Freiheitsgraden, Eingabe in Zylinder-Koordinaten. *Z88II.TXT 3 150 89 450 1*

im Falle Z88NI.TXT (also Superstruktur) :

Z88NI.TXT

Dimension der Struktur

Anzahl Knoten

Anzahl Superelement

Anzahl Freiheitsgrade

Koordinatenflag Superelemente (0 oder 1)

Fangradius-Steuerflag (meist 0)

Koordinatenflag finite Elemente (0 oder 1)

in eine Zeile schreiben, Werte durch mindestens ein Leerzeichen getrennt.

Beispiel: Super-Struktur 2-dimensional mit 37 Knoten, 7 Superelementen, 74 Freiheitsgraden, Eingabe erfolgt in Polar-Koordinaten, Fangradius Standardwert verwenden, Ausgabe in kartesischen Koordinaten. Daher:

Z88NI.TXT 2 37 7 74 1 0 0

Alle Angaben auf den Layer **Z88GEN** geben.

7. Schritt : Exportieren (Speichern) Sie Ihre Zeichnung im DXF-Format. Als Genauigkeit Dezimalstellen nehmen Sie am besten den Standardwert, den das CAD-Programm vorschlägt. Anschließend können Sie die Datei in Z88Aurora laden.

Achtung: Verwenden Sie die Z88X-Schlüsselworte "**P Zahl, FE Werte, SE Werte, Z88NI.TXT, Z88II.TXT**" nur da, wo sie wirklich gebraucht werden. Achten Sie darauf, dass sie nicht in sonstigen Zeichnungsbeschriftungen vorkommen

▪ BEISPIEL 1 ZU Z88X: FE-STRUKTUR

Wir betrachten ein Rohr unter Innendruck von 1.000 bar = 100 N/mm². Rohrrinnendurchmesser 80 mm, Rohraußendurchmesser 160 mm, Länge 40 mm. Wenn man die Auflager geschickt wählt, genügt ein Viertelbogen, um das Problem abzubilden. Der Innendruck 1000 bar entspricht einer Kraft von 251.327 N, die auf den inneren Viertelkreis wirkt.

Die Streckenlast beträgt dann:

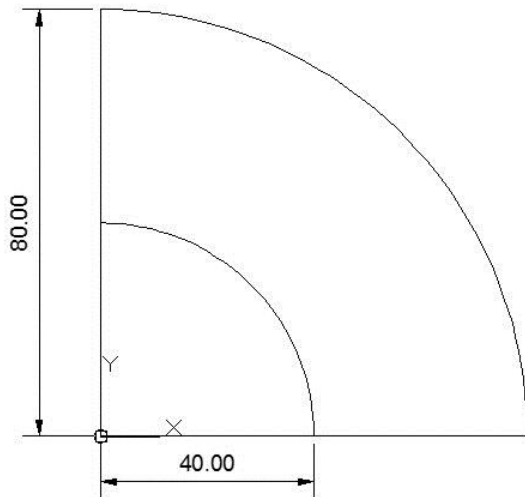
$$q = \frac{F}{\ell} = \frac{F}{r \times \varphi} = \frac{251327}{40 \times \frac{\pi}{2}} = 4000 \text{ N/mm}$$

Es wird das Vorgehen mit AutoCAD (hier Version 2011) gezeigt:

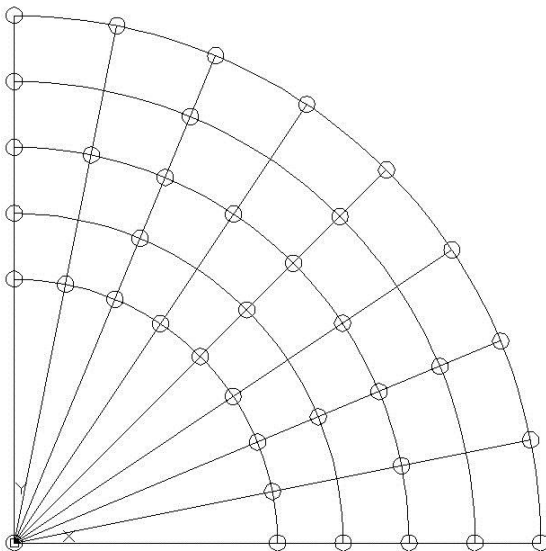
1. Schritt: Konstruieren Sie Ihr Bauteil wie gewohnt im CAD-System. Sie brauchen keine bestimmte Reihenfolge einzuhalten, und Sie können beliebige Layer verwenden. Bei diesem

Beispiel werden Sie die wesentlichen Abmessungen per Befehlszeile eingeben. Beachten Sie die AutoCAD-Eingabemöglichkeiten für Zahlen:

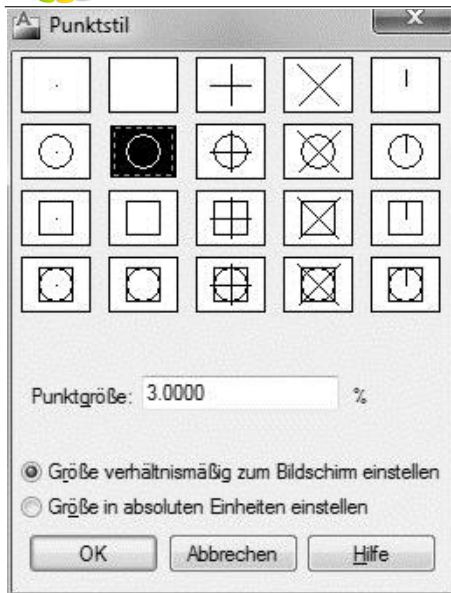
- absolute kartesische Koordinaten: X,Y
- relative kartesische Koordinaten: @DeltaX,DeltaY
- absolute polare Koordinaten: Radius<Winkel
- relative polare Koordinaten: @Radius<Winkel



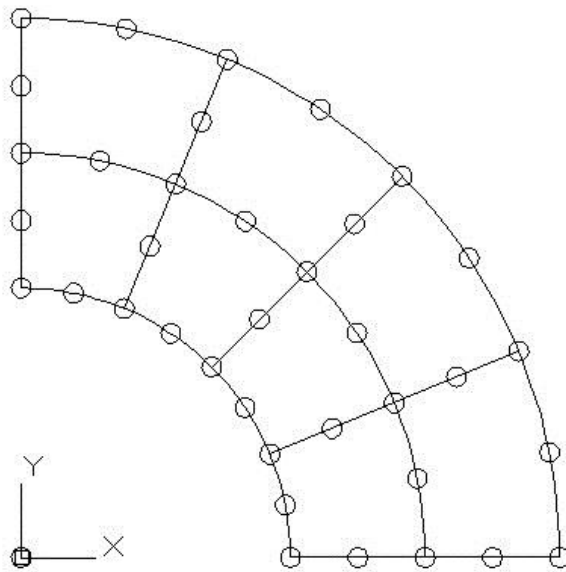
2. Schritt: Planen Sie die Netzaufteilung, also geeignete finite Elementtypen und deren Verteilung, unterteilen Sie die FE-Struktur durch Linien in Elemente, setzen Sie alle Knotenpunkte, die noch nicht vorhanden sind (z.B. sind Schnittpunkte oder Endpunkte von Linien ohne weiteres verwendbar). Reihenfolge und Layer sind beliebig. Verwenden Sie aber besser nicht die Layer Z88NET, Z88GEN, Z88PKT, Z88KNR, Z88EIO, Z88FLA und Z88RBD.



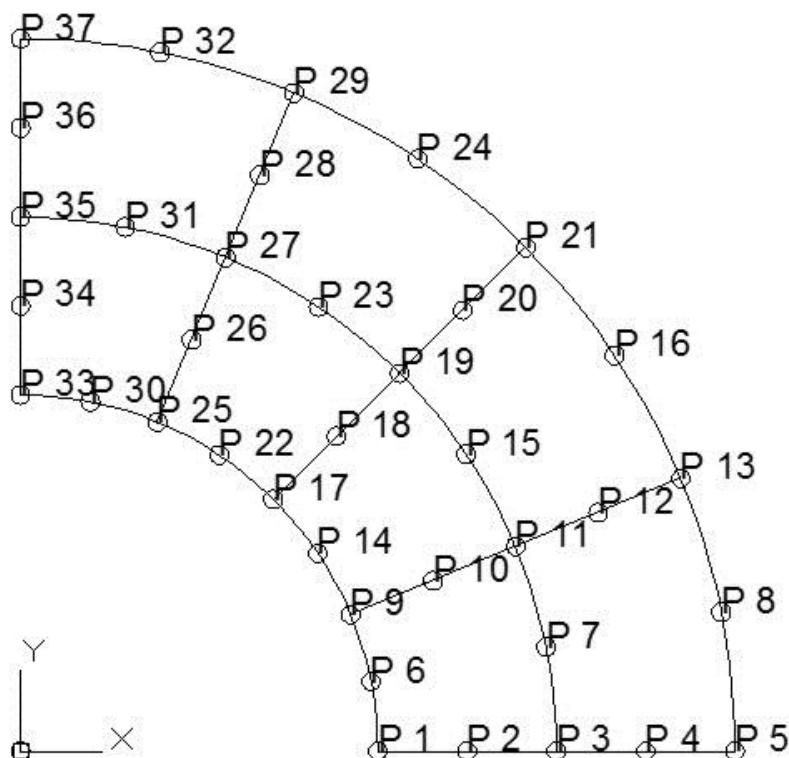
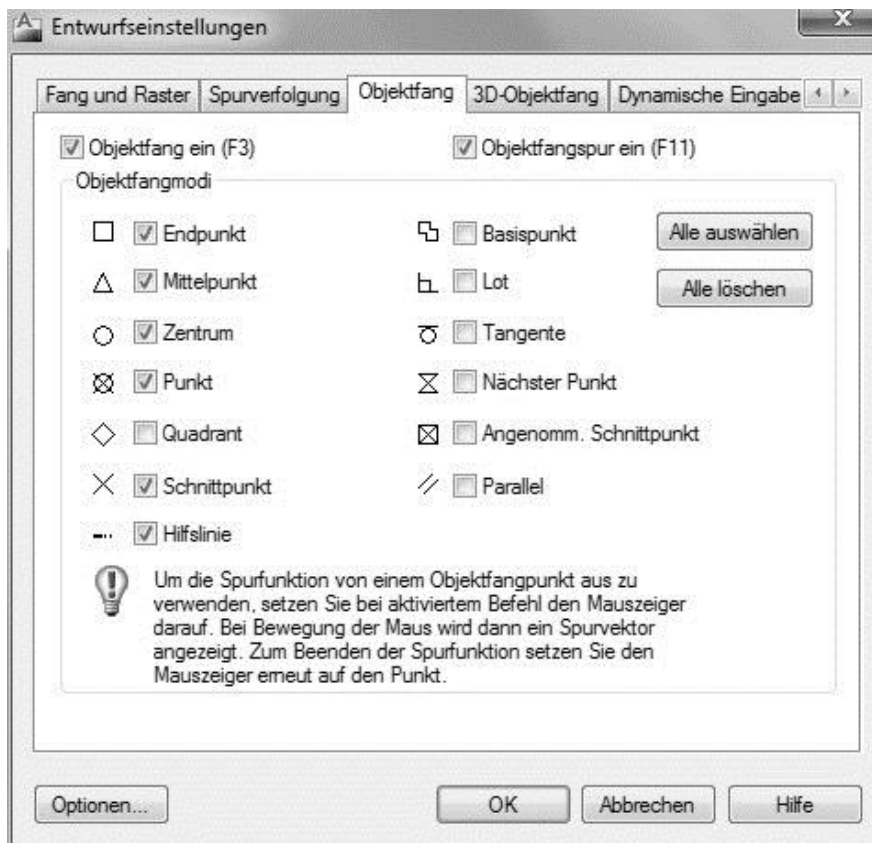
Achten Sie darauf, gut sichtbare Punkte zu setzen. Das können Sie mit dem AutoCAD-Befehl DDPTYPE beeinflussen:

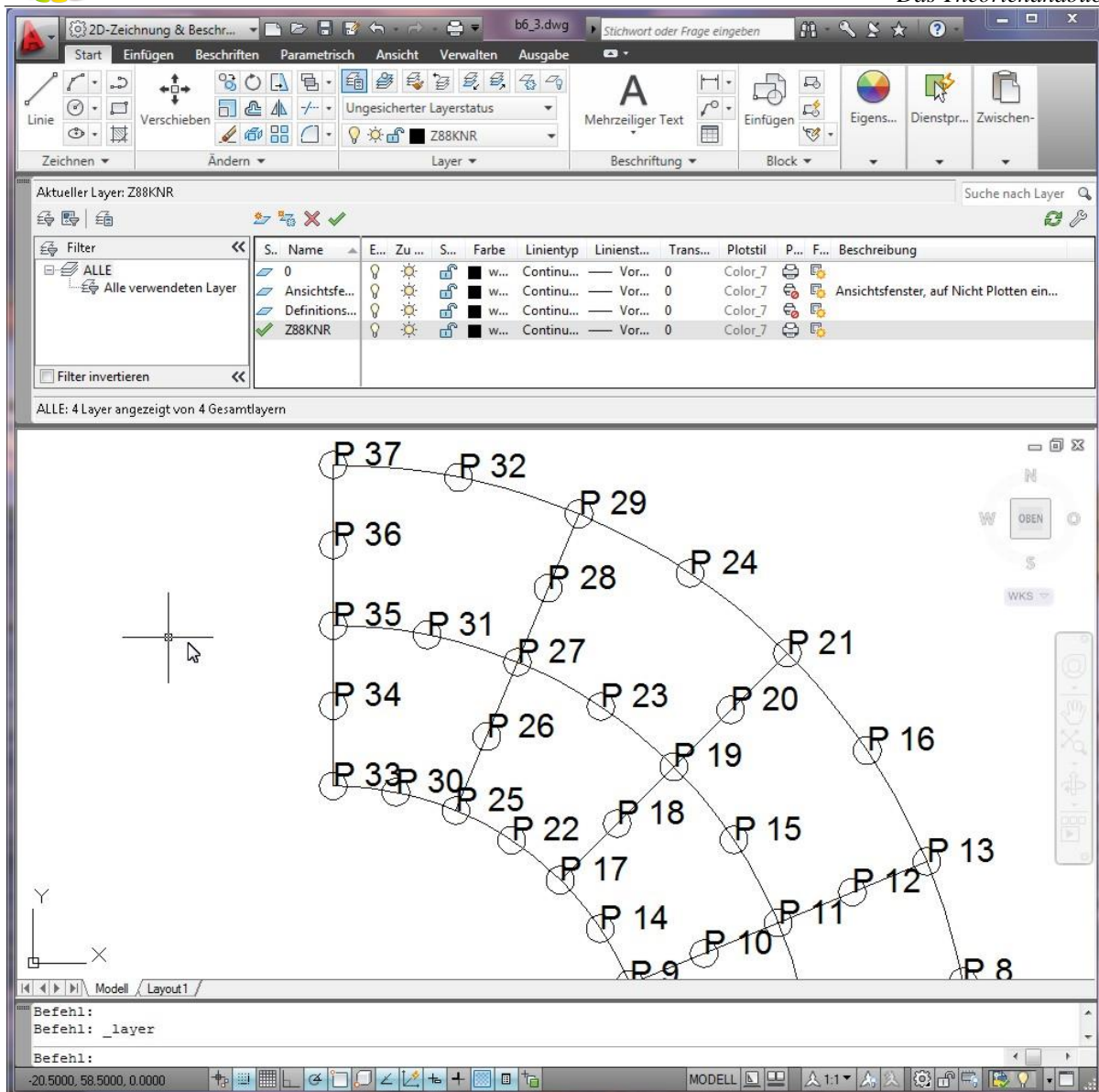


Damit man dann das Wesentliche besser erkennt, könnten Sie anschließend nicht benötigte Hilfslinien und andere Hilfskonstruktion löschen:



3. Schritt: Legen Sie den Z88-Layer Z88KNR an und gehen Sie auf ihn. Fangen Sie jeden FE- Knoten, die Sie ja bereits im 1. Schritt durch Ihre Konstruktion selbst bzw. im 2. Schritt ergänzt haben und nummerieren Sie die Knoten. Schreiben Sie an jeden Knoten P Leerzeichen und seine Knotennummer mit der TEXT-Funktion des CAD-Programms, also z.B. P 33. Achten Sie darauf, dass der Einfügepunkt der Nummer, also des Textes, genau auf dem Knoten liegt. Mit den Fangmodi z.B. von AutoCAD (Fange Schnittpunkt, Endpunkt usw.) ist das problemlos. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist beliebig.

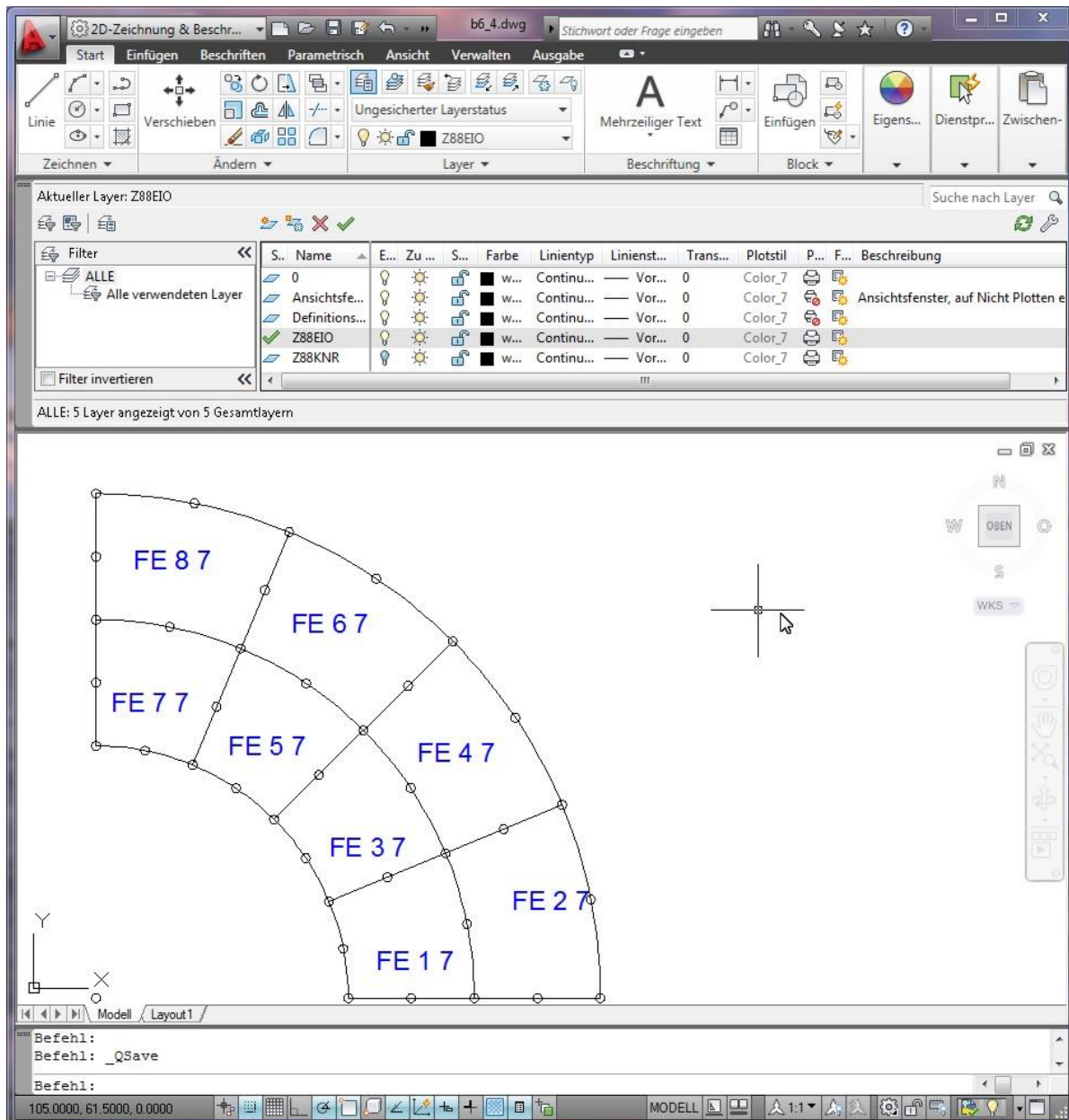




4. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88EIO** an und gehen Sie auf ihn. Schreiben Sie prinzipiell irgendwo hin (besser natürlich in die Nähe oder Mitte des jeweiligen finiten Elements bzw. Superelements) die Element-Informationen mit der TEXT-Funktion. Die Reihenfolge der Arbeitsfolge ist beliebig.

FE Elementnummer Elementtyp

Dabei ist es nicht schlecht, wenn Sie eine andere Farbe für die Objekte auf diesem Layer wählen, z.B. blau, damit man diese Infos später besser erkennt (aber nötig ist das nicht). Zur besseren Übersicht ist der vorherige Layer Z88KNR ausgeschaltet.



5. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88NET** an und gehen Sie auf ihn. Für diesen Schritt brauchen Sie Konzentration, denn hier muss eine feste und starre Arbeitsfolge wegen der gerichteten Informationen eingehalten werden. In diesem Schritt wird eine der wichtigsten Informationen, die Koinzidenz, also welches Element durch welche Knoten definiert ist, eingebaut. Wählen Sie eine Farbe für Linien, die sich gut von den bisher verwendeten Farben abhebt und blenden Sie alle überflüssigen Informationen aus. Wählen Sie den **LINIE-Befehl (Linien-Befehl)** aus und stellen Sie die **Fangmodi** Punkte, Schnittpunkte und ggf. Endpunkte ein.

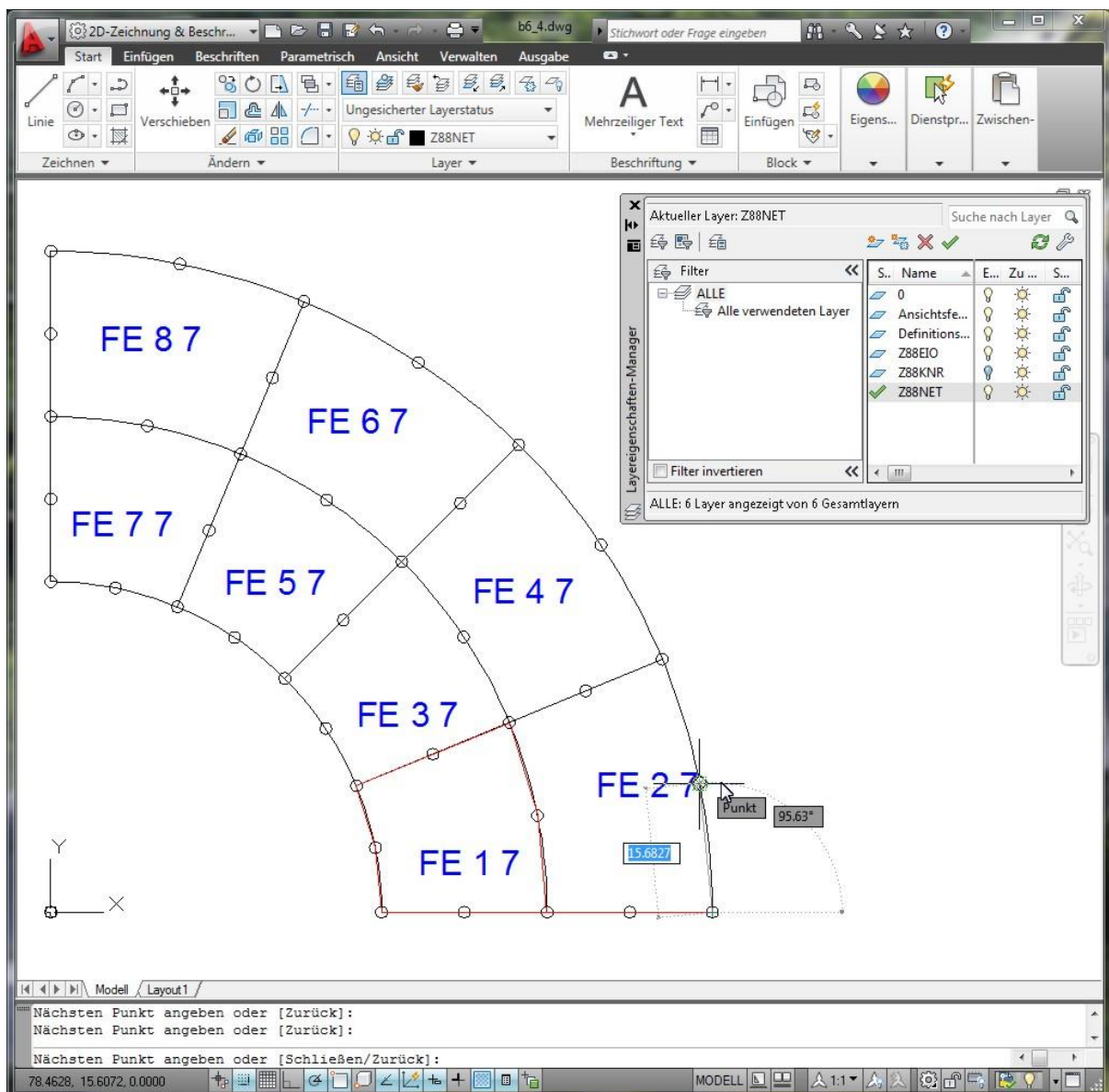
Beginnen Sie beim ersten Element. Das erste Element ist für Z88 das Element, mit dem Sie nun beginnen, also das Sie als erstes Element ausgesucht haben. Klicken Sie den Knoten an, der der erste Knoten des Elements sein soll und ziehen Sie eine Linie auf den Knoten, der der zweite Knoten des Elements sein soll. Ziehen Sie weiter auf den Knoten, der der dritte Knoten des Elements sein soll. Alle erforderlichen Knoten passieren und zuletzt auf den Startpunkt, also den ersten Knoten; dann Linien-Funktion aufheben. Mit welchem Knoten beginnen Sie?

Das ist vollkommen egal, aber wie wäre es mit dem Knoten, der dem Koordinatensystem am nächsten liegt. Dann gegen den Uhrzeigersinn umfahren.

Wir könnten also wie folgt die Linie ziehen: P1-P2-P3-P7-P11-P10-P9-P6-P1, Linie beenden. Aber vollkommen legitim wären auch P9-P6-P1-P2-P3-P7-P11-P10-P9 oder P3-P7-P11-P10-P9-P6-P1-P2-P3 oder P11-P10-P9-P6-P1-P2-P3-P7-P11.

Dasselbe machen Sie dann mit dem zweiten Element. Denken Sie daran: **Sie geben mit dieser Reihenfolge vor, welches der Elemente nun zum echten zweiten Element wird.** Im vorherigen 4. Schritt haben Sie lediglich definiert, um **was** es sich für einen Elementtyp beim z.B. zweiten Element handelt. Hier geben Sie vor, **wie** das Element topologisch definiert ist. Wir könnten die Linie wie folgt ziehen: P3-P4-P5-P8-P13-P12-P11-P7-P3, Linie beenden.

Das Ganze funktioniert viel einfacher, komfortabler und schneller, als man es hier beschreiben kann: Für diese 8 Elemente brauchen Sie weniger als zwei Minuten.



6. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88GEN** an und aktivieren Sie ihn. Schreiben Sie mit der TEXT- Funktion an eine freie Stelle (also an irgendeine Stelle Ihrer Zeichnung) die

allgemeine Informationen, also die erste Eingabegruppe der allgemeinen Strukturdaten Z88II.TXT:

Z88II.TXT

Dimension der Struktur

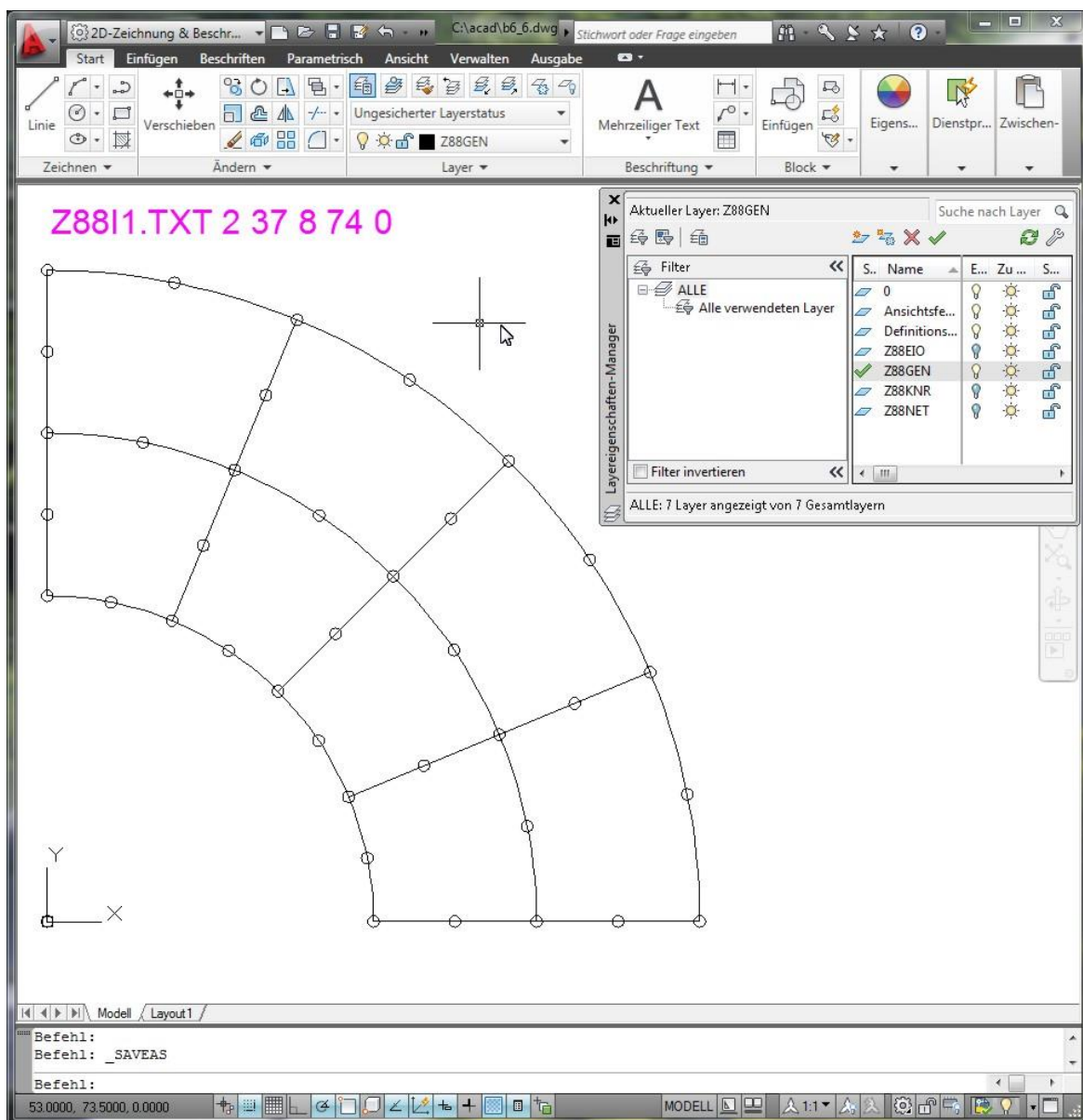
Anzahl Knoten

Anzahl finite Elemente

Anzahl Freiheitsgrade

Koordinatenflag (0 oder 1)

In unserem Fall also: Z88II.TXT 2 37 8 74 0



An dieser Stelle könnten Sie aussteigen: Sie könnten das Ganze als DXF-Datei abspeichern und dann in Z88Aurora als Typ Z88II.TXT laden. In Aurora könnten Sie dann interaktiv die Randbedingungen und Streckenlasten aufbringen.

7. Schritt : Speichern Sie Ihre Zeichnung im DXF-Format. Wählen Sie als Austauschformat AutoCAD R12 DXF als kleinste Untermenge, aber AutoCAD 2011 DXF geht ebenso. Als

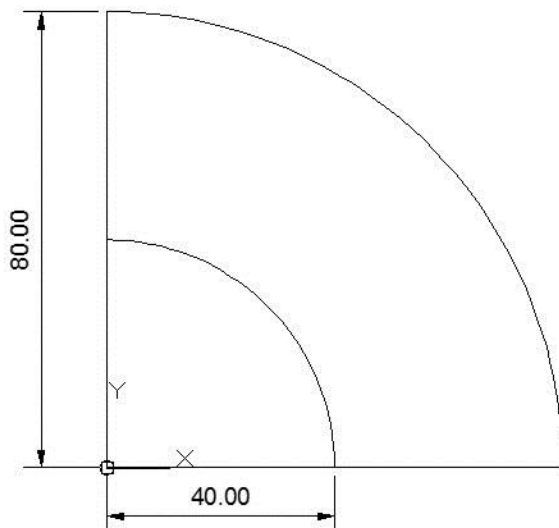
Genauigkeit Dezimalstellen nehmen Sie am besten den Standardwert, den das CAD-Programm vorschlägt. Anschließend können Sie die Datei in Z88Aurora laden. In Aurora würden Sie dann noch Randbedingungen, Material, Elementdicke und Integrationsordnungen definieren.

▪ BEISPIEL 2 ZU Z88X: SUPER-STRUKTUR

Dieses Beispiel lehnt sich an das vorherige an, aber diesmal soll eine Superstruktur erzeugt werden, die dann später via DXF-Import in Z88Aurora geladen und dann automatisch in ein FE-Netz mit dem Mapped-Mesher Z88N gewandelt wird.

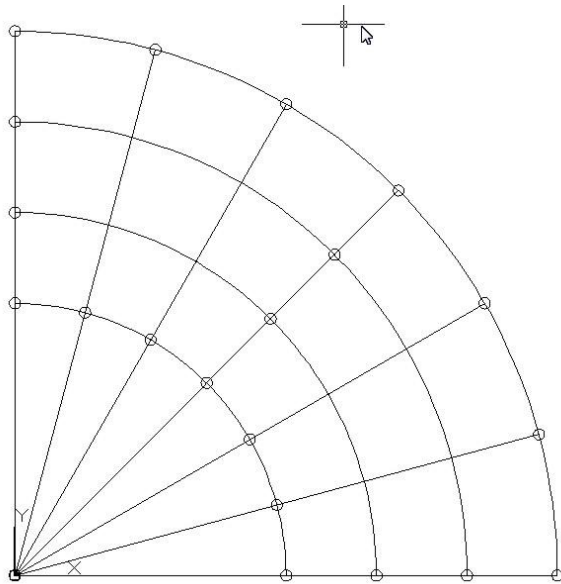
Wir betrachten ein Rohr unter Innendruck von $1.000 \text{ bar} = 100 \text{ N/mm}^2$. Rohrrinnendurchmesser 80 mm, Rohraußendurchmesser 160 mm, Länge 40 mm. Wenn man die Auflager geschickt wählt, genügt ein Viertelbogen, um das Problem abzubilden.

1.Schritt: Skizzieren Sie das Rohr:

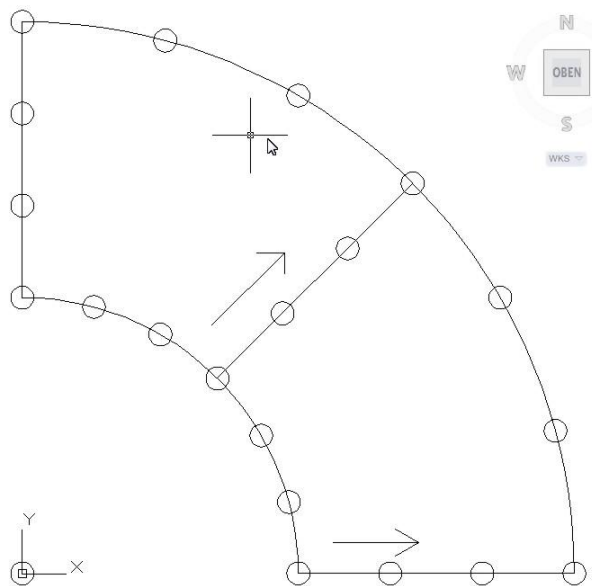


2. Schritt: Wir wollen diese ebene Struktur mit nur zwei Superelementen Typ 11 mit jeweils 12 Knoten darstellen – was durch den kubischen Ansatz vollkommen reicht, um Kreisbögen abzubilden. Planen Sie die Netzaufteilung, unterteilen Sie die Super-Struktur durch Linien in Super-Elemente, setzen Sie alle Knotenpunkte, die noch nicht vorhanden sind. Reihenfolge und Layer sind beliebig. Verwenden Sie aber besser nicht die Layer Z88NET, Z88GEN, Z88PKT, Z88KNR, Z88EIO.

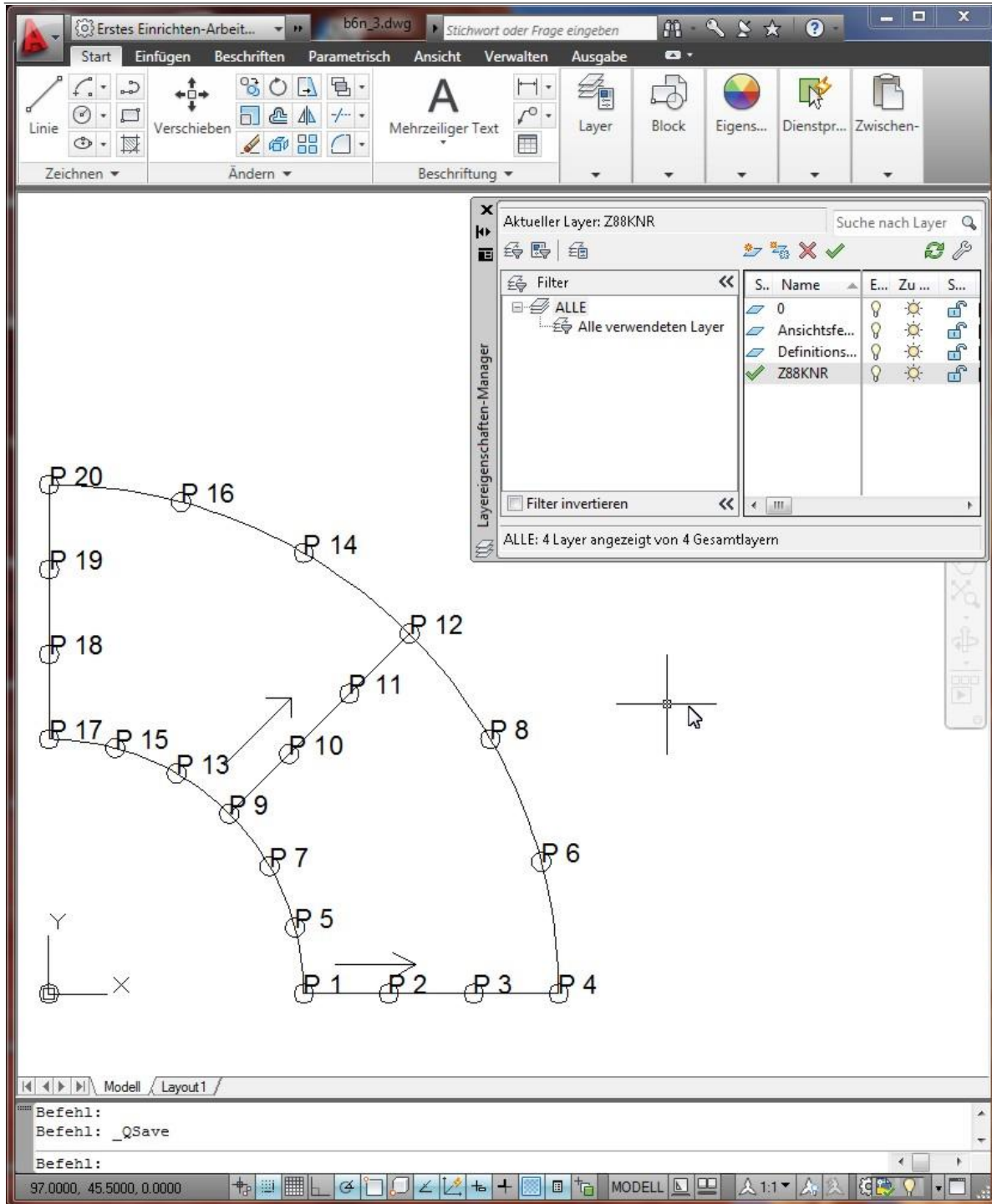
Achten Sie darauf, gut sichtbare Punkte zu setzen. Das können Sie mit dem AutoCAD-Befehl DDPTYPE beeinflussen.



Damit man dann das Wesentliche besser erkennt, könnten Sie anschließend nicht benötigte Hilfslinien und andere Hilfskonstruktion löschen. Wenn Sie mit Super-Elementen arbeiten, ist es sinnvoll, bereits in dieser Skizze die lokalen x-Achsen durch z.B. Pfeile zu markieren, damit Sie es später beim Umfahren leichter haben und den Startpunkt haben. Dies ist wichtig wegen der lokalen Unterteilungen der Elementachsen.



3. Schritt: Legen Sie den Z88-Layer Z88KNR an und gehen Sie auf ihn. Fangen Sie jeden Super-Knoten, die Sie ja bereits im 1. Schritt durch Ihre Konstruktion selbst bzw. im 2. Schritt ergänzt haben und nummerieren Sie die Knoten. Schreiben Sie an jeden Knoten P Leerzeichen und seine Knotennummer mit der TEXT-Funktion des CAD-Programms, also z.B. P 33. Achten Sie darauf, dass der Einfügapunkt der Nummer, also des Textes, genau auf dem Knoten liegt. Mit den Fangmodi z.B. von AutoCAD (Fange Schnittpunkt, Endpunkt usw.) ist das problemlos. Die Reihenfolge der Arbeitsschritte ist beliebig.



4. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88EIO** an und gehen Sie auf ihn. Schreiben Sie prinzipiell irgendwo hin (besser in die Nähe oder Mitte des jeweiligen Superelements) die Elementinformationen mit der TEXT-Funktion. Die Reihenfolge der Arbeitsfolge ist beliebig.

SE

Elementnummer

Super-Elementtyp

Typ der zu erzeugenden finiten Elemente

Unterteilung in lokaler x- Richtung

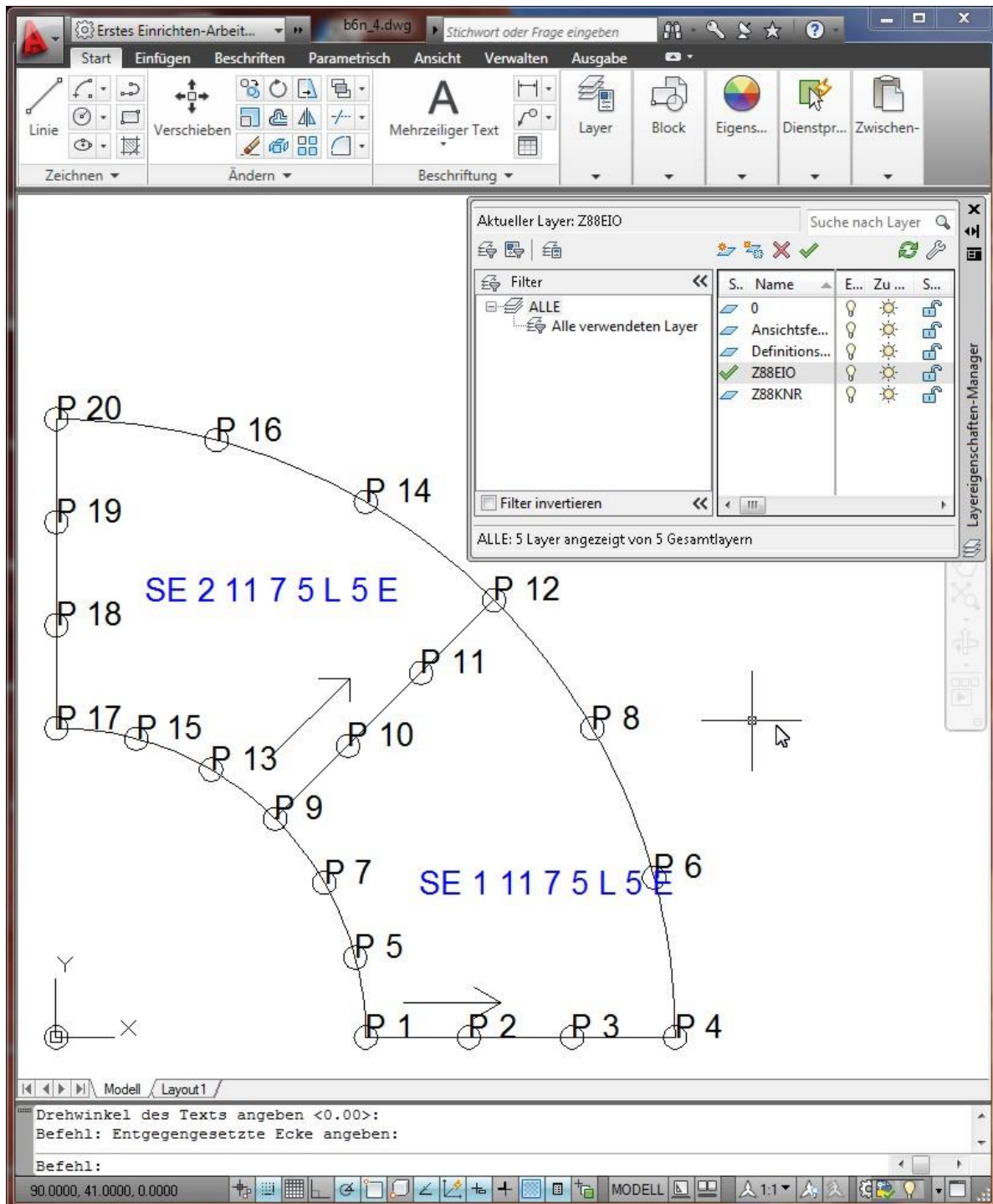
Art der Unterteilung in lokaler x-Richtung

Unterteilung in lokaler y- Richtung

Art der Unterteilung in lokaler y-Richtung

Nehmen wir einmal an, wir wollten das erste Superelement, das vom Typ 11 ist, in finite Elemente vom Typ 7 zerlegen lassen, und zwar in lokaler x-Richtung 5-mal geometrisch aufsteigend (innen engere Unterteilung) und in lokaler y-Richtung 5-mal mit gleichem Abstand. Also: SE 1 11 7 5 L 5 E

Dabei ist es nicht schlecht, wenn Sie eine andere Farbe für die Objekte auf diesem Layer wählen, z.B. blau, damit man diese Infos später besser erkennt (aber nötig ist das nicht).



5. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88NET** an und gehen Sie auf ihn. Für diesen Schritt brauchen Sie Konzentration, denn hier muss eine feste und starre Arbeitsfolge wegen der gerichteten Informationen eingehalten werden. In diesem Schritt wird eine der wichtigsten Informationen, die Koinkidenz, also welches Element durch welche Knoten definiert ist,

eingebaut. Wählen Sie eine Farbe für Linien, die sich gut von den bisher verwendeten Farben abhebt und blenden Sie alle überflüssigen Informationen aus. Wählen Sie den **LINIE-Befehl (Linien-Befehl)** aus und stellen Sie die **Fangmodi** Punkte, Schnittpunkte und ggf. Endpunkte ein.

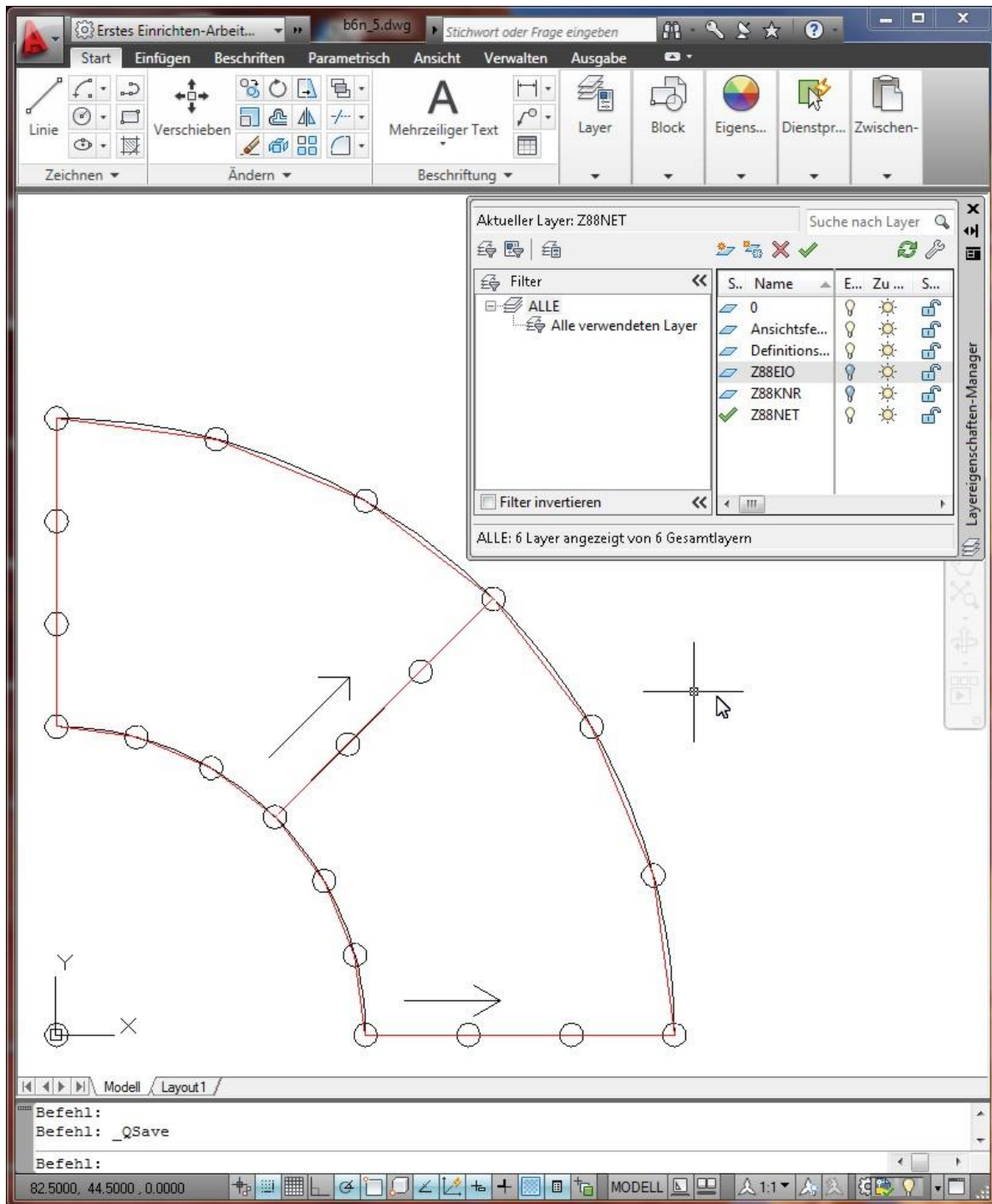
Beginnen Sie beim ersten Element. Das erste Element ist für Z88 das Element, mit dem Sie nun beginnen, also das Sie als erstes Element ausgesucht haben. Klicken Sie den Knoten an, der der erste Knoten des Elements sein soll und ziehen Sie eine Linie auf den Knoten, der der zweite Knoten des Elements sein soll. Ziehen Sie weiter auf den Knoten, der der dritte Knoten des Elements sein soll. Alle erforderlichen Knoten passieren und zuletzt auf den Startpunkt, also den ersten Knoten; dann Linien-Funktion aufheben. Mit welchem Knoten beginnen Sie? Das ist vollkommen egal, aber wie wäre es mit dem Knoten, der dem Koordinatensystem am nächsten liegt. Dann gegen den Uhrzeigersinn umfahren.

Wir werden also wie folgt die Linie ziehen: P1-P2-P3-P4-P6-P8-P12-P11-P10-P9-P7-P5-P1. Durch die beiden Eckknoten P1 und P4 wird die lokale x-Achse festgelegt, und das hatten wir mit dem Hilfspfeil schon angedeutet, der nur für uns als Hilfe gesetzt wurde und keine Interpretation durch Z88X erfährt. Dazu passt unsere Definition SE 1 11 7 5 L 5 E.

Was wäre passiert, wenn wir so die Linie gezogen hätten: P4-P6-P8-P12-P11-P10-P9-P7-P5-P1-P2-P3-P4? An sich nichts, nur müsste die Element-Definition dann so lauten, denn Sie haben damit die lokale x-Achse durch die Knoten P4 und P12 festgelegt, und da die lokale y-Achse dann von Knoten P4 nach P1 gebildet wird: SE 1 11 7 5 E 5 1

Dasselbe machen Sie dann mit dem zweiten Element. Denken Sie daran: **Sie geben mit dieser Reihenfolge vor, welches der Elemente nun zum echten zweiten Element wird.** Im vorherigen 4. Schritt haben Sie lediglich definiert, um **was** es sich für einen Elementtyp beim z. B. zweiten Element handelt. Hier geben Sie vor, **wie** das Element topologisch definiert ist. Wir könnten die Linie wie folgt ziehen: P9-P10-P11-P12-P14-P16-P20-P19-P18-P17-P15-P13-P9, Linie beenden.

Diese Arbeit haben Sie in einer halben Minute erledigt.



6. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88GEN** an und aktivieren Sie ihn. Schreiben Sie mit der TEXT-Funktion an eine freie Stelle (also an irgendeine Stelle Ihrer Zeichnung) die **allgemeine Informationen**, also die erste Eingabegruppe der allgemeinen Super-Strukturdaten Z88NI.TXT:

Z88NI.TXT

Dimension der Struktur

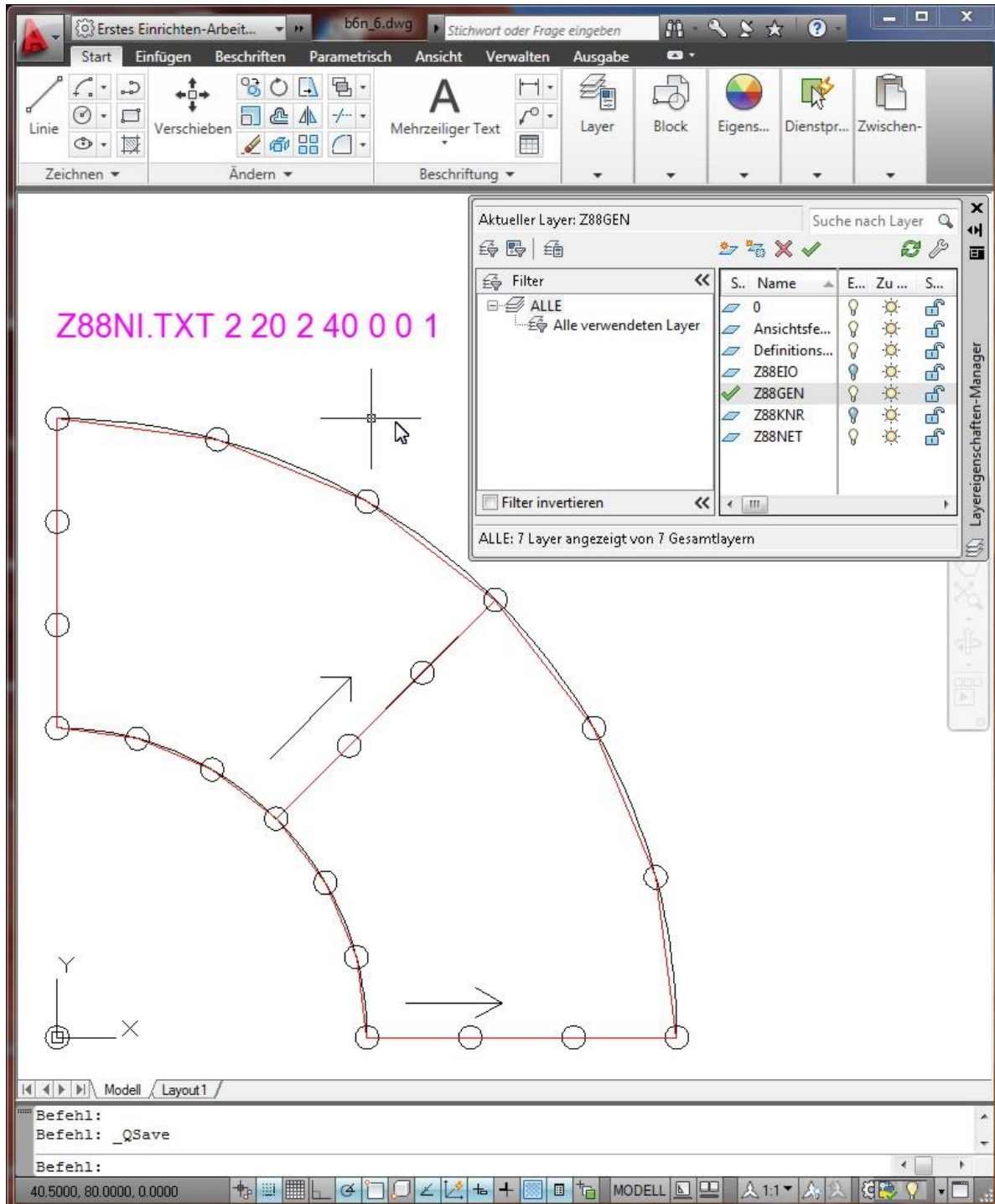
Anzahl Knoten

Anzahl Superelement

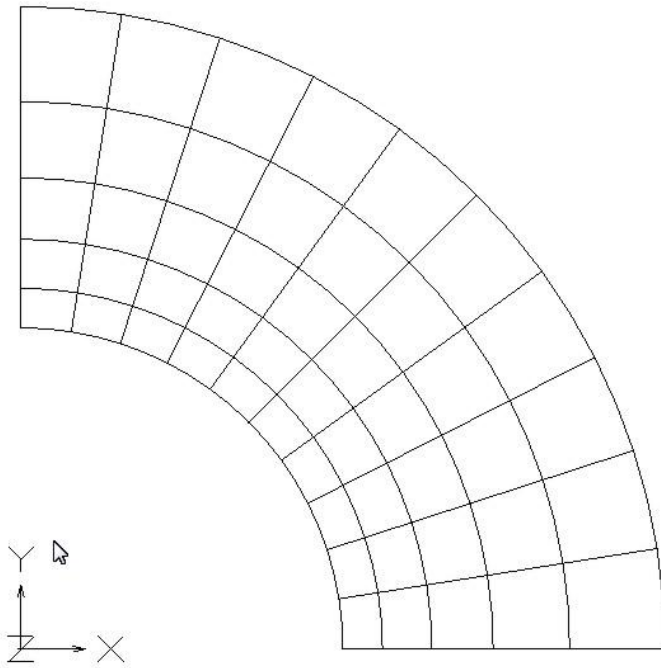
Anzahl Freiheitsgrade

Koordinatenflag Superelemente (0 oder 1)
 Fangradius-Steuerflag (meist 0)
 Koordinatenflag finite Elemente (0 oder 1)

In unserem Fall werden wir schreiben: Z88NI.TXT 2 20 2 40 0 0 1. Damit wird später unsere FE-Struktur gleich in Polarkoordinaten von Z88N herausgeschrieben.



7.Schritt: Wir speichern die so erzeugte Struktur als DXF-Datei. In Z88Aurora importieren wir sie als DXF-Import mit der Option *DXF Superstruktur nach Z88Aurora Struktur*. Damit interpretiert Aurora sie als Superstruktur und startet sofort automatisch den Mapped-Mesher Z88N. Er wird folgende FE-Struktur aufbauen:



Diese FE-Struktur würden Sie nun in Aurora komfortabel mit Randbedingungen und Linienlasten versehen und würden Material, Elementdicke und Integrationsordnungen definieren.

4.1.6 DER NASTRAN UND COSMOS-KONVERTER Z88G

3D-CAD-Programme enthalten mitunter sog. Automesher, die das 3D-Modell in finite Elemente zerlegen können. Das so erzeugte Netz kann sodann in einem wählbaren Format passend für diverse FEA-Programme abgespeichert werden.

Zwei dieser FE-Formate sind das NASTRAN- und das COSMOS-Format für die gleichnamigen FEA-Systeme.

Z88G ist entwickelt und getestet für Pro/ENGINEER von Parametric Technology, USA. Pro/ENGINEER muss die Option (den Zusatzmodul) Pro/MECHANICA enthalten. Dann können Sie nach Erzeugung Ihres 3D-Modells auf den Menüpunkt *FEA* gehen und definieren ein Koordinatensystem (das mit Z88 harmonieren muss!)

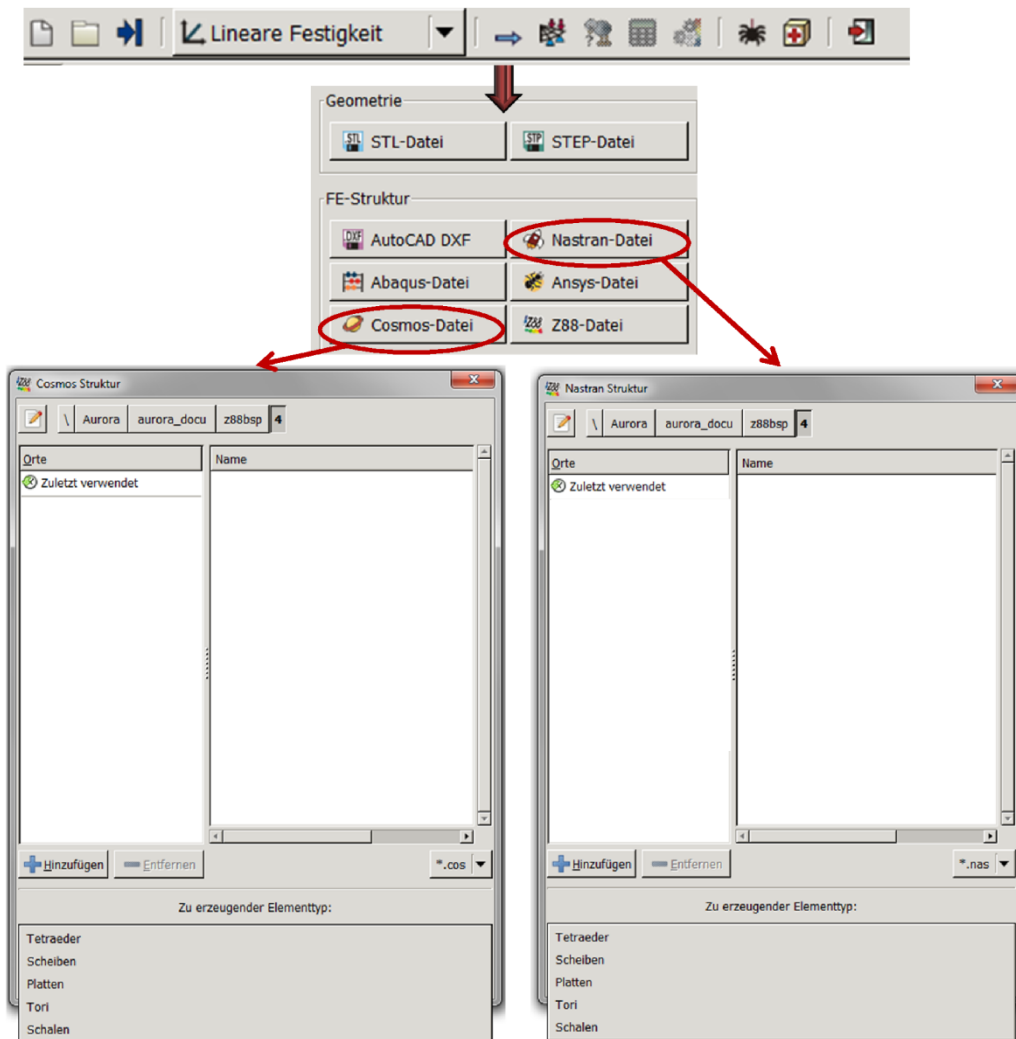


Abbildung 28: Aufruf des 3D-Konverters Z88G und Importmöglichkeiten in Z88Aurora

Bitte beachten Sie: Die Materialdaten definieren Sie nach dem Import komfortabel in Z88Aurora (auch wenn diese Informationen teilweise schon in diesen Eingabedecks enthalten sind), damit eine durchgängige Verwendung der Aurora-eigenen Materialdatenbank erfolgen kann. Nur so ist eine saubere Datenkonsistenz in Z88Aurora - Projekten gewährleistet.

Verändern Sie ggf. die Netzkontrollwerte. Lassen Sie das Netz erzeugen mit *Erzeuge Modell*, dabei ist der Elementtyp zu wählen, z. B. *Tetraeder*. Geben Sie es dann mit *Ausgabe Modell* aus, wählen Sie *NASTRAN* oder *COSMOS/M* und dazu *linear* oder *parabolisch* (dabei ist die Option *Elemente beheben* nicht schlecht). Bei Abfrage des Dateinamens geben Sie einen beliebigen Namen **.nas* für NASTRAN-Files bzw. **.cos* für COSMOS-Files ein.

Dann starten Sie den Konverter **Z88G**. Wählen Sie den Dateityp aus und geben Sie den zu erzeugenden Elementtyp an. Beides muss natürlich mit dem korrelieren, was Sie vorher in Pro/ENGINEER geplant haben. Der Hintergrund besonders der Wahl des Elementtyps besteht darin, dass Pro/ENGINEER den Typ *Schale* herauschreibt, auch wenn es sich eigentlich um *Scheiben*, *Toruselemente* oder *Platten* handelt. Z88G erzeugt dann automatisch die Eingabedatei *Z88STRUCTURE.TXT*. Die Materialgesetze geben Sie später in Z88Aurora interaktiv ein, obwohl Materialdaten – aber ohne Datenbankzuordnung! - u. U. bereits in den NASTRAN- oder COSMOS-Dateien stehen.

Stellen Sie beim Betrachten fest, dass z.B. ein 3D- Modell völlig platt ist, dann haben Sie in Pro/ENGINEER ein Koordinatensystem CS0 definiert, das nicht zu Z88 passt. Sie brauchen dann nur in Pro/ENGINEER ein neues Koordinatensystem festlegen, das Sie bei der Modellausgabe als Bezug mit angeben.

Bei Schwierigkeiten bei derartigen Datei-Konversionen beachten Sie bitte, dass sich diese FEA-Formate wie das NASTRAN-Format und deren Ausgabe aus Programmen wie Pro/ENGINEER fast im Vierteljahresrhythmus ändert.

Es lassen sich die Z88-Typen erzeugen:

Tetraeder Nr.16	(in Pro/ENGINEER <i>Tetraeder parabolisch</i>)
Tetraeder Nr.17	(in Pro/ENGINEER Tetraeder linear)
Scheibe Nr. 14	(in Pro/ENGINEER Schalen Dreieck parabolisch)
Scheibe Nr.7	(in Pro/ENGINEER Schalen Viereck parabolisch)
Platte Nr.18	(in Pro/ENGINEER Schalen Dreieck parabolisch)
Platte Nr. 20	(in Pro/ENGINEER Schalen Viereck parabolisch)
Torus Nr. 15	(in Pro/ENGINEER Schalen Dreieck parabolisch)
Torus Nr. 8	(in Pro/ENGINEER Schalen Viereck parabolisch)
Schalen Nr. 23	(in Pro/ENGINEER Schalen Viereck parabolisch)
Schalen Nr. 24	(in Pro/ENGINEER Schalen Dreieck parabolisch)

Wählen Sie vor dem Start den einzulesenden Datei-Typ aus.

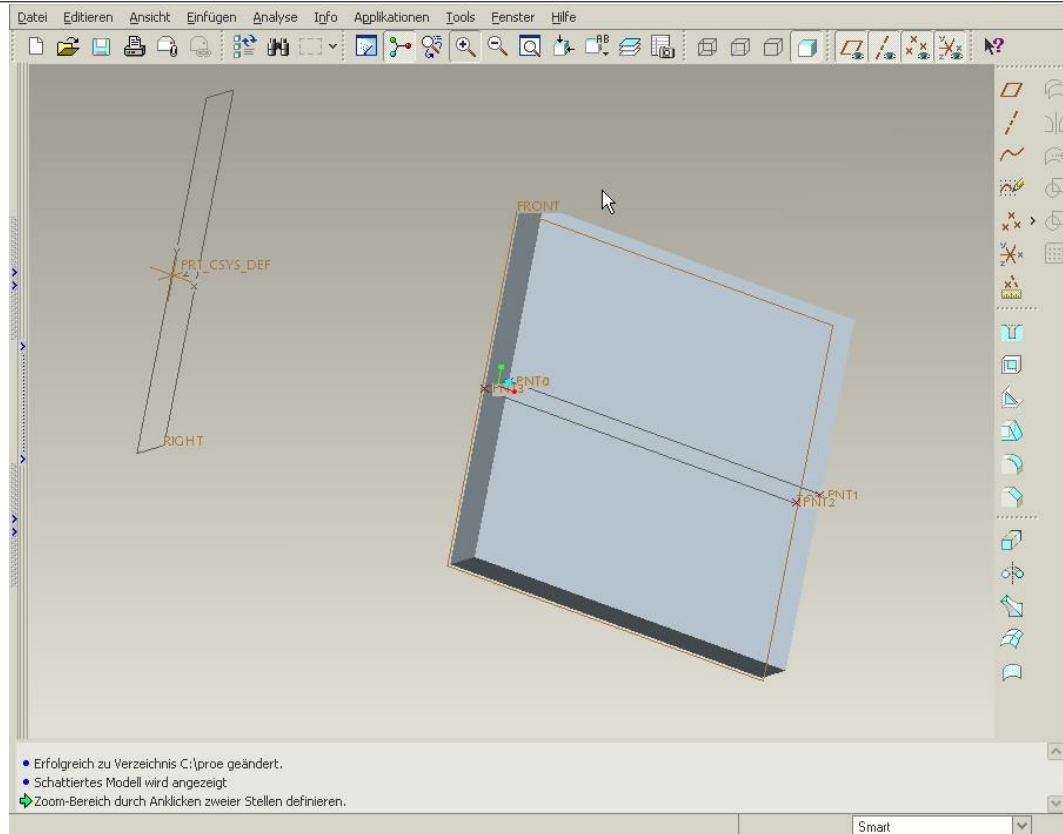
Im nächsten Schritt müssen Sie angeben, ob Volumenelemente, Scheiben, Platten, Schalen oder Tori erzeugt werden sollen. Das liegt daran, dass Pro/ENGINEER nur den FE-Typ Schale oder Volumen kennt. Auch hier müssen Sie das Passende angeben, d. h. was Sie bereits in Pro/ENGINEER vorbereitet haben.

Wählen Sie vor dem Start den Typ der zu erzeugenden Elemente aus.

Das Erzeugen von Volumenkörpern ist einfach. Spannender wird es bei Schalen, Platten und Tori (axialsymmetrischen Elementen): Hier erzeugen Sie in Pro/E zunächst einen Volumenkörper mit einer (geringen) Dicke. Setzen Sie besonders bei Tori *Bezugspunkte* für Auflager. Wechseln Sie dann in Pro/MECHANICA und geben Sie bei *Modell* ferner *Idealisierungen* > *Schalen* > *Mittenflächen* an. Damit verschwindet die Tiefenausdehnung. Bei Tori achten Sie darauf, dass Sie gedanklich in Zylinderkoordinaten arbeiten: Ihr Koordinatensystem liegt auf der Rotationsachse und der „Volumenkörper“ auf den entsprechenden Radien.

Beachten Sie: Diese Dateiformate, besonders das NASTRAN-Format, ändern sich fast täglich.

Trotzdem: Z88G sieht ganz harmlos aus, aber bei richtigem Gebrauch ist es ein sehr mächtiges Werkzeug, mit dem Sie im Handumdrehen sehr große FEA-Strukturen an Z88 übergeben können.



So erzeugt man in Pro/ENGINEER Toruselemente. Bei Platten und Schalen geht man sinngemäß vor

4.1.7 DER ANSYS-KONVERTER Z88ASY

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Neben NASTRAN und COSMOS unterstützt Pro/ENGINEER auch das Einlesen von Simulationsdaten als ANSYS-Datei im PREP7-Format (*.ans). Die so ausgeschriebenen Daten können dann sowohl an ANSYS als auch an Z88Aurora weitergegeben werden. Zu beachten ist allerdings, dass dieses Datenformat ebenfalls vom Hersteller beliebig verändert werden kann, was unter Umständen zu Kompatibilitätsproblemen führen kann.

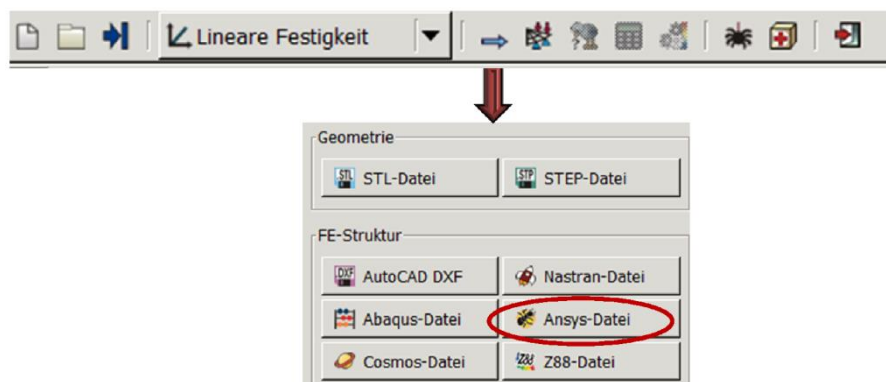


Abbildung 29: Aufruf des ANSYS-Konverters Z88ASY

Es kann ein Körper konvertiert werden. Der Körper muss aus einem Elementtyp aufgebaut sein.

Bitte beachten Sie: Die Materialdaten definieren Sie nach dem Import komfortabel in Z88Aurora (auch wenn diese Informationen teilweise schon in diesen Eingabedecks enthalten sind), damit eine durchgängige Verwendung der Aurora-eigenen Materialdatenbank erfolgen kann. Nur so ist eine saubere Datenkonsistenz in Z88Aurora - Projekten gewährleistet.

Welche ANSYS-Daten können von Z88Aurora importiert werden?

ANSYS-Daten können je nach Herkunft sehr unterschiedliche Strukturen und Inhalte aufweisen, weshalb genaue Aussagen zur Kompatibilität nicht gemacht werden können. Insbesondere eingebundene Skripte können zu Problemen führen. Entwickelt und getestet wurde der vorliegende Konverter für Pro/ENGINEER Wildfire 4. Daten, die mit der ANSYS Workbench erstellt wurden, können nicht eingelesen werden.

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Tetraeder Nr.16	(in Pro/ENGINEER <i>Tetraeder parabolisch</i>)
Tetraeder Nr.17	(in Pro/ENGINEER <i>Tetraeder linear</i>)
Scheibe Nr. 14	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Dreieck parabolisch</i>)
Scheibe Nr.7	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Viereck parabolisch</i>)
Platte Nr.18	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Dreieck parabolisch</i>)
Platte Nr. 20	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Viereck parabolisch</i>)
Torus Nr. 15	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Dreieck parabolisch</i>)
Torus Nr. 8	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Viereck parabolisch</i>)
Schalen Nr. 23	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Viereck parabolisch</i>)
Schalen Nr. 24	(in Pro/ENGINEER <i>Schalen Dreieck parabolisch</i>)

Wählen Sie vor dem Start den einzulesenden Datei-Typ aus.

Im nächsten Schritt müssen Sie angeben, ob Volumenelemente, Scheiben, Platten, Schalen oder Tori erzeugt werden sollen. Das liegt daran, dass Pro/ENGINEER nur den FE-Typ Schale oder Volumen kennt. Auch hier müssen Sie das Passende angeben, d.h. was Sie bereits in Pro/ENGINEER vorbereitet haben.

Wie ist die Vorgehensweise?

1. Bauen Sie Ihr Modell entsprechend den Anweisungen für den NASTRAN-Konverter Z88G auf (siehe vorheriges Kapitel).
2. Achten Sie darauf bei der Ausgabe der Simulationsdaten das ANSYS-Format anzuwählen.
3. Importieren Sie das Simulationsmodell in Z88Aurora, wie in Abbildung 29 beschrieben. Dazu wählen Sie unter *Datei > Import > ANSYS-Datei*.

4.1.8 DER ABAQUS-KONVERTER Z88INP

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

ABAQUS ist mittlerweile ein im industriellen Umfeld weit verbreitetes Simulationstool, welches sowohl einen großen Leistungsumfang als auch einfache Bedienung bietet. Aufgrund des hohen Funktionsumfangs wurden bei den Funktionen des Konverters folgende Einschränkungen gemacht:

Es kann ein Körper (1 Instanz) und nur ein Lastschritt (1 Step) konvertiert werden. Der Körper muss aus einem Elementtyp aufgebaut sein. Es können beliebige kartesische Festhaltungen, Kräfte (Concentrated Force) und Drücke (Pressure) aufgebracht werden. Materialdaten brauchen Sie nicht zu definieren, denn:

Bitte beachten Sie: Die Materialdaten definieren Sie nach dem Import komfortabel in Z88Aurora (auch wenn diese Informationen teilweise schon in diesen Eingabedecks enthalten sind), damit eine durchgängige Verwendung der Aurora-eigenen Materialdatenbank erfolgen kann. Nur so ist eine saubere Datenkonsistenz in Z88Aurora - Projekten gewährleistet.

Welche ABAQUS-Versionen können mit Z88Aurora zusammenarbeiten?

Getestet wurde der vorliegende Konverter mit ABAQUS 6.12.3, so dass hier der volle Funktionsumfang zur Verfügung steht. Da das ABAQUS-Format proprietär ist kann es jederzeit zu Änderungen kommen, welche die Funktionsweise des Konverters beeinträchtigen. Ältere Versionen von ABAQUS z.B. 6.6 oder 6.7 schreiben auch keine Versionsinformationen in die Dateien. Daher wird auch eine versionsabhängige Konvertierung erschwert.

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Sie können alle Tetraeder und Hexaeder aus ABAQUS benutzen, da aber im Normalfall keine Akustik- oder Thermosimulationen zwischen ABAQUS und Z88Aurora ausgetauscht werden, können im Normalfall folgende Elementumwandlungen auftreten:

Konvertierung > von C3D4 nach Elementtyp 17

Konvertierung > von C3D10 nach Elementtyp 16

Konvertierung > von C3D8 nach Elementtyp 1

Konvertierung > von C3D20 nach Elementtyp 10

Welche Funktionen bietet der Konverter?

Erzeugung > von Z88STRUCTURE.TXT, Z88SETSACTIVE.TXT und Z88SETS.TXT aus einer ABAQUS-Input-Datei.

Wie ist die Vorgehensweise?

Sie können sowohl Dateien aus ABAQUS CAE als auch selbst erstellte Eingabedecks verwenden. Bitte suchen Sie sich dann aus der ABAQUS-Dokumentation die entsprechenden Schlüsselwörter, die Sie in die Datei INPENVIRO.Z88 eintragen, und achten Sie auf Groß- und Kleinschreibung. Für ABAQUS 6.12.3 liegt die entsprechende INPENVIRO.Z88 im BIN-Verzeichnis von Z88Aurora bei. ABAQUS-Skripte können nicht verarbeitet werden.

Für den Import einer ABAQUS-Datei wählen Sie folgendes Vorgehen:

1. Importieren und Vernetzen des Bauteils in ABAQUS:

Der ABAQUS-Konverter verarbeitet nur ein Bauteil, welches Sie auf beliebige Weise in ABAQUS-CAE importieren und in eine *Assembly* einbauen können. Hierbei ist es Ihnen überlassen, ob Sie *Mesh on Part* oder *Mesh on Instance* wählen. Weisen Sie als Vernetzungseigenschaften entweder *Hex* oder *Tet* zu (Abbildung 30) und erzeugen Sie ein Netz, das Ihren Ansprüchen genügt.

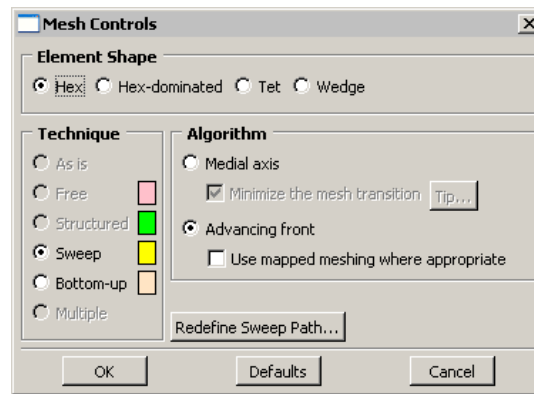


Abbildung 30: Zuweisung des passenden Elementtyps in ABAQUS 6.12.3

Anmerkung: Erweiterte Einstellungen der Netzkontrolle und Elementwahl werden nicht mit übernommen, da keine entsprechenden Äquivalente in Z88Aurora existieren. Falls Sie also Hybrid Formulation oder gar ein Element für akustische Berechnung gewählt haben, wird dieses beim Import in Z88Aurora zu einem reinen Z88-Typ nicht berücksichtigt.

Anmerkungen: Z88AINP verarbeitet alle Lasten eines *Steps*, die in der ABAQUS-Datei vorliegen. Sollten Sie also mehrere Simulationsschritte (*Steps*) in Ihrer CAE definiert haben, so beachten Sie, dass Sie am besten ein neues Modell durch Kopie erstellt wird, in dem alle außer dem gewünschten Simulationsschritt gelöscht werden.

2. Schreiben Sie das Input-Deck als *.inp-Datei aus.
3. In Z88Aurora wählen Sie aus dem Menü *Datei > Import > ABAQUS-Daten*. In dem folgenden Auswahldialog können Sie automatisch nur .inp-Dateien anwählen. Wählen Sie also die gewünschte Datei an.
4. Die konvertierte Struktur wird angezeigt und Sie können sich Festhaltungen und Lasten von Z88Aurora anzeigen lassen.

4.2 DAS SET-MANAGEMENT UND DAS PICKING MODUL

Randbedingungen, Materialdefinitionen, Flächenlasten – all diese Eigenschaften einer FE-Analyse, die in der Open Source Version über die Inputdateien Z88I1.TXT bis Z88I5.TXT gesteuert werden, sind in Z88Aurora mit dem Set-Management verknüpft. Im Prinzip ist das Vorgehen immer gleich. Im Picking Menü können Knoten- Element- oder Flächengruppen markiert werden.

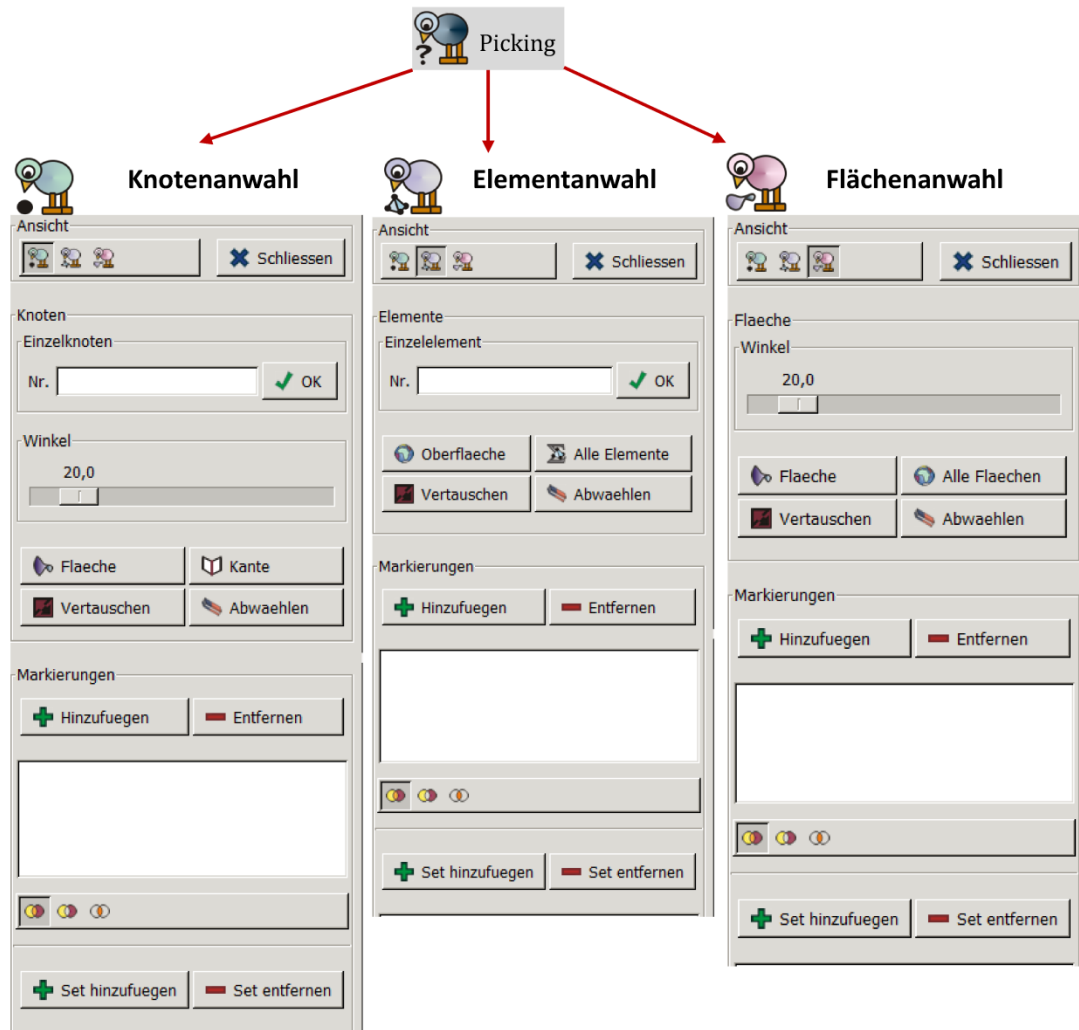


Abbildung 31: Pickingoptionen in Z88Aurora

Aus diesen Markierungen erstellt man anschließend mittels Boolescher Operationen Sets.

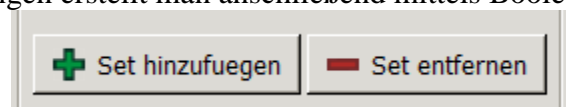


Abbildung 32: Seterstellung

Im Laufe des Präprozessings können diesen Set Eigenschaften zugewiesen werden, wie Materialien, Lasten, Randbedingungen, Vernetzungsregeln, etc. Die letzten Einträge in den jeweiligen Menü, abgelegt in der Datei SETACTIVE.TXT, steuern danach die Berechnung. Z88Aurora ist in der Gestalt konzipiert, dass das Präprozessing interaktiv vom Benutzer in einer graphischen Oberfläche durchgeführt wird. Die Dateien sind zwar verständlich und

logisch aufgebaut, die Erstellung von Hand fällt jedoch schwer. Dies ist nicht Fokus von Aurora, sondern von Z88 V14 OS. Die Handhabung des Pickings und der Setverwaltung findet sich im Benutzerhandbuch.

4.2.1 FLÄCHENLASTEN

Obwohl die Aufgabe der Randbedingungen von Hand in Aurora nicht verlangt ist, muss bei der Lastaufgabe auf die Eigenheiten der FE eingegangen werden. Bei Strecken- und Flächenlasten wie Drucklasten und Tangentialschübe sind einige Besonderheiten zu beachten.

Selten befindet sich eine Last punktuell auf einem Körper, meist spiegeln Belastungen Flächenlasten wider. Für die Verteilung dieser Lasten auf das Bauteil gibt es mehrere Möglichkeiten:

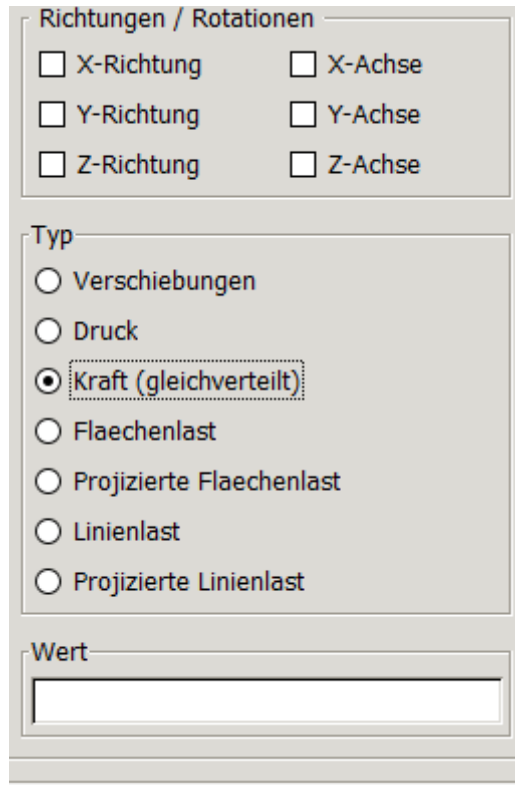


Abbildung 33: Möglichkeiten der Randbedingungsaufrage im Randbedingungs Menü

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.

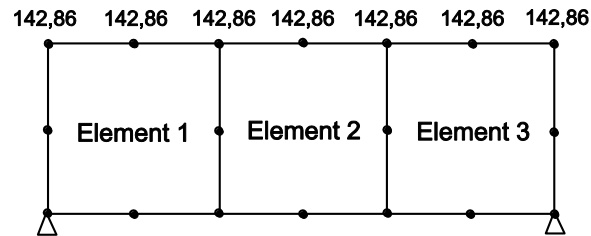
Sie können Strecken- und Flächenlasten „von Hand“ auf entsprechende Einzelkräfte wie folgt umrechnen: Bei den Elementen mit linearem Ansatz, wie z.B. Hexaeder Nr.1 und Torus Nr.6, werden Lastverteilungen wie Flächen- oder Volumenlasten einfach und geradlinig auf die jeweiligen Knoten verteilt.

Bei Elementen mit höheren Ansätzen, d.h. quadratisch (Scheiben Nr.3, Nr.7, Torus Nr.8, Hexaeder Nr.10) oder kubisch (Scheibe Nr.11, Torus Nr.12) werden Lastverteilungen nicht mehr physikalisch-anschaulich, sondern nach festen Regeln vorgenommen. Verblüffenderweise treten hier sogar mitunter negative Lastkomponenten auf. Dieser Sachverhalt ist zwar nicht anschaulich, führt aber zu korrekten Ergebnissen, was bei

intuitiver, d.h. gleichmäßiger Verteilung einer Last auf die betreffenden Knoten nicht der Fall ist.

Ein Beispiel, erst falsch, dann richtig, soll den Sachverhalt verdeutlichen:

Falsche Lastaufteilung



Richtige Lastaufteilung

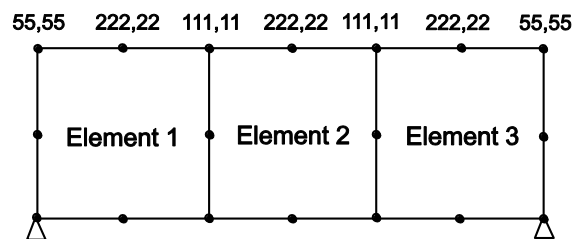


Abbildung 34: Lastverteilung einer Streckenlast auf die Knoten

Eine FE-Struktur möge aus drei Scheiben Nr.7 bestehen und am oberen Rand mit 1.000 N in Y- Richtung verteilt belastet werden. Abbildung 34: Oben falsche, unten korrekte Lastverteilung, weil:

FALSCH: $1000\text{N} / 7 = 142.86\text{ N}$ pro Knoten. Nicht richtig für Elemente mit quadratischem Ansatz.

RICHTIG: $2 * 1/6 + 2 * (1/6 + 1/6) + 3 * 2/3 = 18/6 = 3$, entspricht 1000 N

"1/6- Punkte" = $1000/18 * 1 = 55.55$

"2/6- Punkte" = $1000/18 * 2 = 111.11$

"2/3- Punkte" = $1000/18 * 4 = 222.22$

Kontrolle: $2 * 55.55 + 2 * 111.11 + 3 * 222.22 = 1000\text{ N}$, o.k.

Denn es gilt:

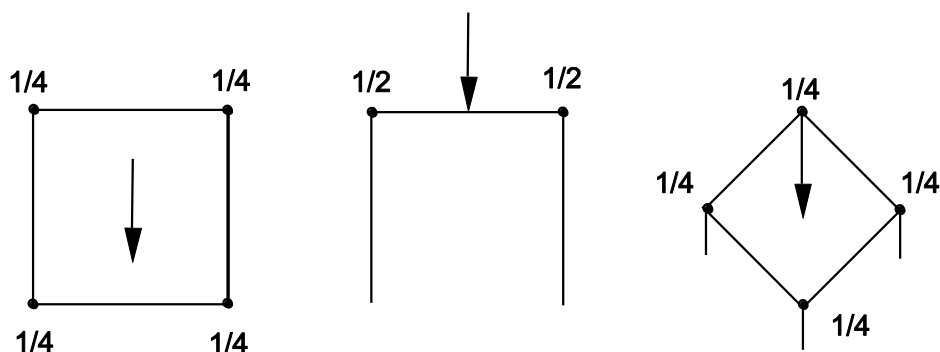


Abbildung 35: Elemente mit linearem Ansatz, z.B. Hexaeder Nr.1

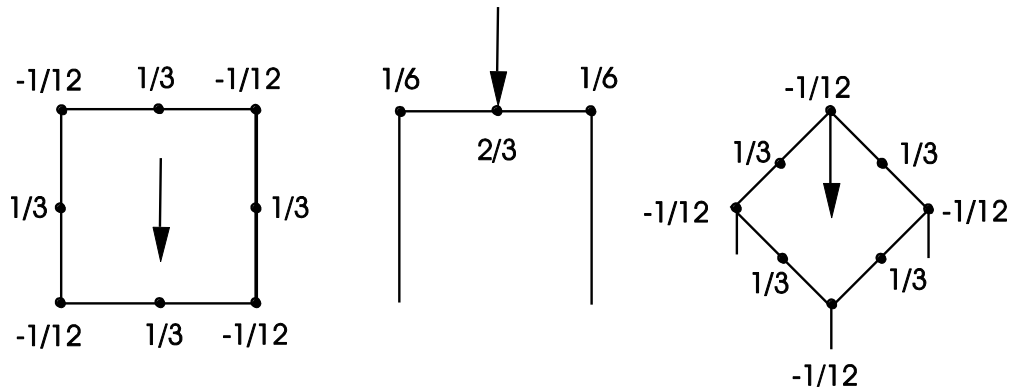


Abbildung 36: Elemente mit quadratischem Ansatz,
z.B. Scheibe Nr.3 und Nr.7, Torus Nr.8, Hexaeder Nr.10

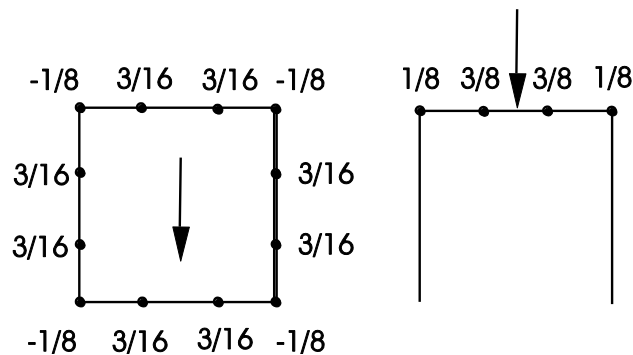


Abbildung 37: Elemente mit kubischem Ansatz,
z.B. Scheibe Nr.11, Torus Nr.12

Die Auswahlflächen „Projizierte Flächenlast“ und „Projizierte Linienlast“ tragen der Tatsache Rechnung, dass durch eine Vernetzung mit Free-Meshern sehr häufig ungleichmäßige Knotenverteilungen, besonders bei gekrümmten Flächen, auftreten. Wenn eine Fläche in ihrer rechten Hälfte mehr Knoten als links enthält, erfolgt die Lastaufbringung einseitig. Dieser Effekt wird durch die Projektion abgeschwächt.

Näheres zum Aufbringen von Randbedingungen siehe Benutzerhandbuch.

4.3 DER LINEARE SOLVER Z88R

Der lineare Solver Z88R enthält intern drei verschiedene Gleichungslöser:

- Der sog. *Cholesky-Gleichungslöser* ohne *Fill-In*, mit sog. Jennings-Speicherung Z88R -choly. Er ist unkompliziert 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 können nur Stab- und Balkenfachwerke mit diesem Gleichungslöser berechnet werden.**
- Der sog. *Direkte Sparsematrix-Solver mit Fill-In*. Er nutzt den sog. PARDISO-Solver. Dieser Solver Z88R -parao ist sehr schnell, da er mehr-CPU-fähig ist, zieht aber sehr viel dynamischen Arbeitsspeicher zur Laufzeit an, sodass ggf. mit Programmabbrüchen gerechnet werden muss, wenn der Hauptspeicher erschöpft ist. Er ist die richtige Wahl für mittelgroße Strukturen bis ca. 150.000 Freiheitsgrade bei handelsüblichen 32-Bit PCs. Wir haben auch Strukturen mit ca. 1 Mio. Freiheitsgraden sehr flott gerechnet, allerdings auf einem Computer mit 32 GByte Hauptspeicher (!), 4 CPUs, 64-Bit Version Z88.
- Der sog. *Sparsematrix-Iterationssolver*. Er löst das System mit dem Verfahren der Konjugierten Gradienten. Dabei kann gewählt werden, ob das System mit einem SOR-Verfahren Z88R -sorcg oder mit partieller Cholesky-Zerlegung (SIC) Z88R -siccg vorkonditioniert wird. Dieser Solver hat einen minimalen Speicherbedarf. 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 Z88 bei ca. 6 GByte Hauptspeicher verwenden. Die bisher größte berechnete Struktur hatte 12 Mio. Freiheitsgrade – auf einem PC! *Dieser sehr bewährte und stabile Solver funktioniert nach unseren Beobachtungen immer, sodass Sie ihn ruhig als Standardsolver verwenden können.*

Erläuterungen zu den Sparsematrix-Iterationssolvern SICCg und SORCG

Der Iterationssolver arbeitet nur mit den sog. Nicht-Nullelementen – was ein absolutes Minimum an Speicherbedarf bedeutet. Er baut folgende Pointer für die untere Hälfte der Gesamt-StEIFigkeitsmatrix GS auf:

- Pointervektor IP zeigt auf die Diagonalelemente GS(i, i)
- Pointervektor IEZ zeigt auf die Spaltenindizes GS(x, j)

Beispiel (vgl. Schwarz, H.R: Methode der finiten Elemente): Sei die untere Hälfte von GS

GS(1,1)					
GS(2,1)	GS(2,2)				
	GS(3,2)	GS(3,3)			
GS(4,1)			GS(4,4)		
GS(5,1)		GS(5,3)		GS(5,5)	
	GS(6,2)		GS(6,4)		GS(6,6)

GS wird zu folgendem Vektor der Nicht-Nullelemente:

GS(1,1)	GS(2,1)	GS(2,2)	GS(3,2)	GS(3,3)	GS(4,1)	GS(4,4)
GS(5,1)	GS(5,3)	GS(5,5)	GS(6,2)	GS(6,4)	GS(6,6)	

Damit wird IEZ:

1	1	2	2	3	1	4	1	3	5	2	4	6
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

und IP:

1	3	5	7	10	13
---	---	---	---	----	----

Der Pointer IEZ besteht aus MAXIEZ Elementen, der Vektor GS aus MAXGS Elementen. Diese Grenzen werden im Testmodus des Solvers ermittelt.

Im zweiten Lauf, dem eigentlichen Rechenlauf, berechnet der Solver die Elementsteifigkeitsmatrizen, kompiliert die Gesamt-Steifigkeitsmatrix, baut die Randbedingungen ein, skaliert das Gleichungssystem und löst das (riesige) Gleichungssystem mit dem Verfahren der Konjugierten Gradienten. Zuvor wird vorkonditioniert, um eine schnellere Konvergenz zu erreichen. Dabei können Sie wählen, ob mit einem SOR-Schritt vorkonditioniert wird oder eine sog. Partielle Cholesky-Zerlegung zur Vorkonditionierung eingesetzt wird. Die Partielle Cholesky-Zerlegung (*shifted incomplete Cholesky decomposition SIC*) ist die Standard-einstellung, weil sie hinsichtlich des Steuerparameters, des sog. Shift-Faktors α , unkritisch ist. Die SOR-Vorkonditionierung braucht weniger Speicher, aber der Steuerparameter, der Relaxationsparameter ω , ist nicht a-priori bestimmbar.

Ferner müssen Sie noch einige Steuerwerte in die Datei Z88CONTROL.TXT (siehe 3.2.7) geben. Dies geschieht über die "Solverparameter" im Menü "Solver" des jeweiligen Solvers:

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

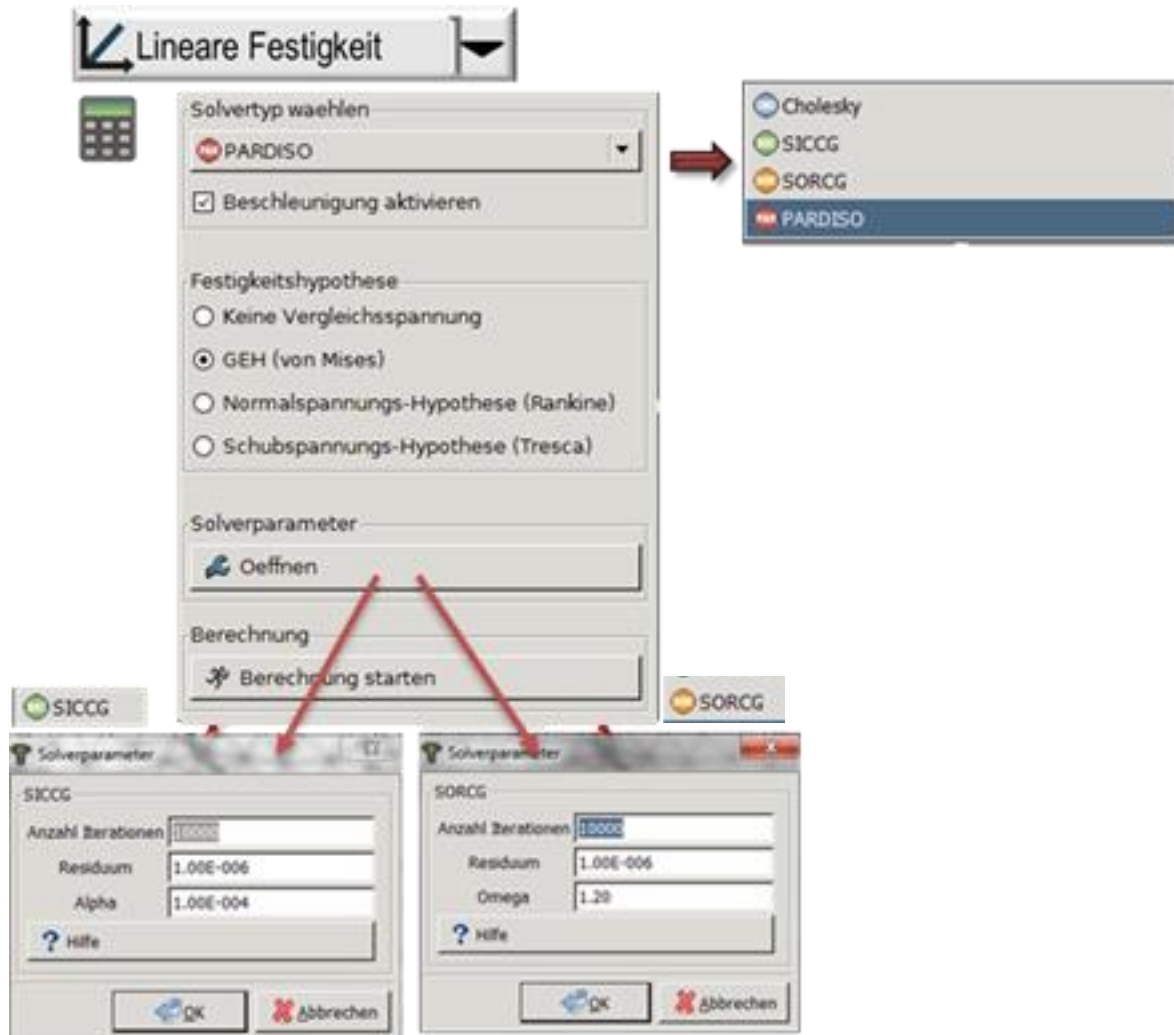


Abbildung 38: Solverparameter der jeweiligen Solver des Solvermenüs

Erläuterungen zum direkten Sparsematrix-Solver mit Fill-In

Dieser Solver führt eine direkte Zerlegung aus, aber im Gegensatz zu dem einfachen Cholesky-Solver arbeitet er mit *Fill-In*, d. h. für die durch den Zerlegungsprozess neu entstehenden Speicherstellen fordert er ständig weiteren Speicherplatz an. Dadurch ist a-priori der Speicherbedarf nicht kalkulierbar. Reicht während der Berechnung der Hauptspeicher nicht mehr aus, bricht der Solver zwangsläufig ab. Dieser Solver arbeitet bei mittelgroßen Strukturen (100.000 ~ 1.000.000 Freiheitsgrade) sehr schnell, da er mehrprozessorfähig ist, braucht aber um Zehnerpotenzen mehr Hauptspeicher als der Iterationssolver. Daher ist der Einsatz dieses Solvers nur sinnvoll bei sehr viel Hauptspeicher, was dann wieder 64-Bit Pointer und Integers impliziert. Wir empfehlen für diesen Solver die 64-Bit Version Z88-Aurora mit einem 64-Bit Windows Betriebssystem und mindestens 4 GByte Hauptspeicher (besser 8 oder 16 GByte). Bei 32-Bit Betriebssystemen und 4 GByte Hauptspeicher werden Sie keine Strukturen mit mehr als ~150.000 Freiheitsgraden berechnen können. Als eigentlicher Solverkern wird PARDISO, entwickelt von O. Schenk, Universität Basel, genutzt. Die Anzahl der zu verwendeten CPUs stellen Sie in Z88CONTROL.TXT ein. Die Werte davor haben keine Bedeutung, müssen aber vorhanden sein. Achten Sie darauf, dass in den Windows-Einstellung *System > Erweitert > Umgebungsvariable* nicht derartige Variable gesetzt sind: NUM_THREADS, OMP_SET_NUM_THREADS. Dies kann mit Einstellungen in Z88CONTROL.TXT kollidieren.

Ein- und Ausgabedateien linearer Solver

Eingabedateien:

- Z88I1.TXT allgemeine Strukturdaten
- Z88I2.TXT Randbedingungen
- Z88I5.TXT Strecken- und Flächenlasten oder 0 in der ersten Zeile
- Z88MAT.TXT Materialsteuerdaten und eine oder mehrere TXT-Materialdateien
- *.TXT Materialdatei
- Z88ELP.TXT Elementparameter
- Z88INT.TXT Integrationsordnung
- Z88MAN.TXT Solver-Parameter für Z88R

Ausgabedateien:

- Z88O0.TXT – aufbereitete Strukturdaten
- Z88O1.TXT – aufbereitete Randbedingungen
- Z88O2.TXT – berechnete Verschiebungen
- Z88O3.TXT – berechnete Spannungen
- Z88O4.TXT – berechnete Knotenkräfte
- Z88O5.TXT – Vergleichsspannung in den Gaußpunkten
- Z88O8.TXT – Vergleichsspannungen in den Eckknoten

4.3.1 WELCHEN LINEAREN SOLVER NEHMEN?

Als Faustregel: Für kleine Stäbe und Balkenstrukturen ist der einfache Cholesky-Solver Z88R –choly genau das Richtige. Der Sparsematrix-Iterations-Solver Z88R –siccg bzw. –sorcg funktioniert *immer*, auch bei sehr großen Strukturen, selbst in der 32-Bit Version. Für mittelgroße Strukturen kann der direkte Sparsematrix-Solver mit Fill-In Z88R –parao aufgrund seiner großen Geschwindigkeit sehr interessant sein.

Da sämtliche Modifikationen für die beschleunigten Versionen des SICCG, SORCG und PARDISO nicht den numerischen Ablauf berühren, bleiben Vor- und Nachteile der Solver-Auswahl prinzipiell bestehen. Jedoch kann insbesondere bei den iterativen CG-Verfahren schon bei zwei CPUs eine deutliche Zeitersparnis erwartet werden, sodass der Geschwindigkeitsabstand zum PARDISO-Solver sinkt. Auch für mittelgroße Strukturen ist nun also eine in Sachen Geschwindigkeit vergleichbare Alternative gegeben. Für die Berechnung großer und sehr großer Strukturen bleiben die CG-Löser das Mittel der Wahl. Auch wenn in der parallelisierten Version doppelt so viel Arbeitsspeicher benötigt wird, ist Anforderung auch auf kleineren PCs problemlos erfüllbar.

Tabelle 6: Übersicht über die integrierten Solver und ihre Leistungsfähigkeit

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

						PARDISO Löser aus Z88R
Z88RS -t/c -siccg oder -sorcg	Konjugierte Gradienten Solver mit Vorkonditionierung	Keine Grenze (bis 12. Mio. FG liefen auf einem besseren PC)	sehr gering	groß	ja	benötigt doppelt so viel Memory wie Z88R, ermöglicht jedoch mehrere CPUs

Beachten Sie, dass sich das Abbruchkriterium bei den iterativen Solvern in Z88RS geändert hat. Geben Sie hier das mathematische Residuum ein. Das ist die Wurzel des Kriteriums in Z88R!

4.3.2 ERLÄUTERUNGEN ZUR SPANNUNGSBERECHNUNG

Die Ergebnisse werden in Z88O3.TXT gegeben. Die Steuerung der Spannungsberechnung ist mit Z88ENVIRO.DYN, vgl. Kap.3, möglich. Damit wird u. a. festgelegt:

- Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten oder in den Eckknoten
- zusätzliche Berechnung von Radial- und Tangentialspannungen für Elemente Nr.3, 7, 8, 11 und 12, 14 und 15.
- Berechnung von Vergleichsspannungen für Kontinuumselemente Nr. 1, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 15 ~ 24.

4.3.3 ERLÄUTERUNGEN ZUR KNOTENKRAFTBERECHNUNG

Die Ergebnisse werden in Z88O4.TXT ausgegeben. Die Knotenkräfte werden elementweise berechnet. Greifen an einem Knoten mehrere Elemente an, so erhält man die gesamte Knotenkraft für diesen Knoten durch Addition der Knotenkräfte der angreifenden Elemente. Dies wird weiter unten in der Knotenkraftdatei Z88O4.TXT ausgewiesen.

4.4 DER EIGENSCHWINGUNGSSOLVER Z88EI

Dieser Rechenkern bietet die Möglichkeit, Bauteile hinsichtlich ihrer Eigenfrequenzen sowie der daraus hervorgerufenen Schwingungsformen zu untersuchen. Beschleunigende und dämpfende Knotenkräfte, die durch Massenträgheit beziehungsweise Rückstellkräfte aus Steifigkeitseigenschaften hervorgerufen werden, halten sich bei diesen Frequenzen gerade die Waage. Wie beim linearen Gleichungssystem-Löser Z88R werden also Angaben zum E-Modul und der Querkontraktion nötig. Darüber hinaus wird zur Massenberechnung noch die Massendichte benötigt. Alle Materialangaben sind in der Materialdatenbank hinterlegt. Abbildung 39 zeigt die Auswahl und Ansteuerung des Eigenschwingungsmoduls. Die Analyse ist für Tetraeder und Hexaeder mit linearem und quadratischem Ansatz (Elementtypen: 1, 10, 16, 17) möglich.

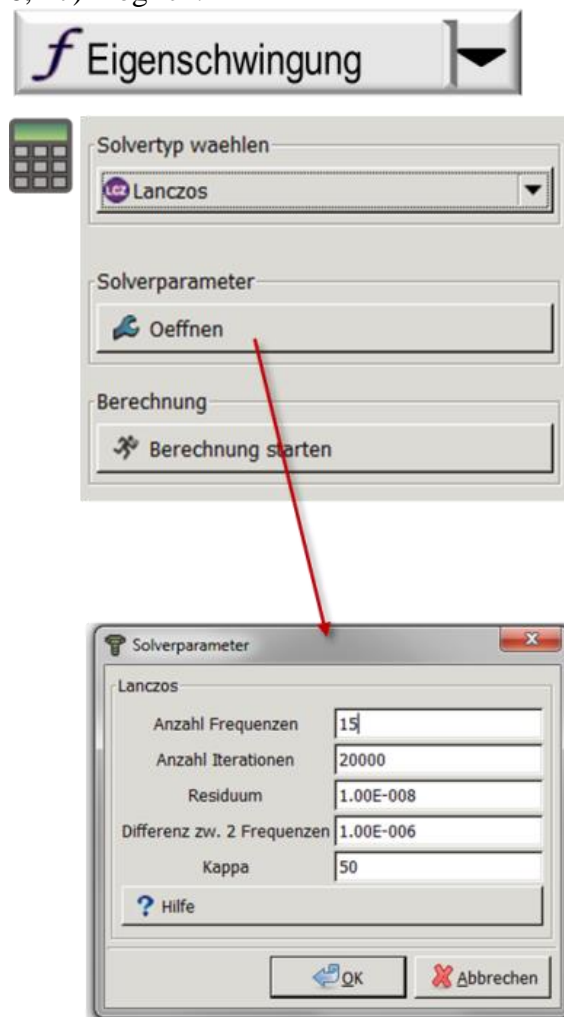


Abbildung 39: Ansteuerung des Eigenschwingungs-Moduls

Vorsicht ist bei den Randbedingungen geboten. Während fixierende Randbedingungen (Verschiebung gleich Null) wie gewohnt auf beliebige Knotensets - auch in einzelnen Freiheitsgraden - aufgebracht werden können, werden Kräfte, Drücke sowie inhomogene Verschiebungen ignoriert. Ziel der Eigenschwingungssimulation ist die Berechnung von freien Eigenschwingungen; etwaige dynamische Anregungen oder externe Lasten fallen nicht darunter. Andererseits muss ein Bauteil für die Schwingungsanalyse keineswegs statisch bestimmt sein. Es kann auch gänzlich ohne Randbedingungen eine reibungslose Berechnung durchgeführt werden.

Mathematisch ist diesmal kein Gleichungssystem zu lösen, sondern eine Eigenwertberechnung einer Systemmatrix durchzuführen, die sowohl Informationen über die Steifigkeits- als auch über Massenverteilungen bezüglich des FE-Netzes enthält. Die Eigenwertberechnung ist numerisch erheblich aufwendiger als die Lösung des Gleichungssystems und beansprucht in der Praxis entsprechend mehr Rechenzeit. Der Ablauf lässt sich grundsätzlich in zwei Phasen aufgliedern: Zunächst wird iterativ eine sogenannte Tridiagonalmatrix

berechnet, welche in der Lage ist, ausgerechnet die kleinsten – und technisch interessantesten – Eigenwerte der Systemmatrix anzunähern. Die Bestimmung dieser Näherungs-Eigenwerte erfolgt jedoch nicht in jedem Schritt, sondern wird im Interesse erhöhter Geschwindigkeit nur in festgelegten Schrittweiten durchgeführt. Sobald die Eigenwerte sich (fast) nicht mehr ändern, wird die Iteration beendet. Die zweite Phase beinhaltet die Suche nach den Eigenvektoren und deren Transformation zu den sogenannten Formvektoren. Zu jedem Eigenwert (definiert die Frequenz) wird durch eine einmalige Lösung des Gleichungssystems ein zugehöriger Vektor berechnet.

Für die Ansteuerung des Rechenkerns sind die folgenden fünf Werte nutzbar.

Anzahl Frequenzen: Hier wird festgelegt, welche Anzahl der kleinsten Eigenfrequenzen bestimmt werden soll. Doch obwohl man sich häufig nur für eine oder einige wenige Frequenzen interessiert, sollte die Anzahl nicht zu klein gewählt werden. Häufig befinden sich aus numerischen Gründen sogenannte Starrkörpermoden unter den Schwingungen der geringsten Frequenzen. Die Berechnungszeit steigt mit größerer Anzahl auch nur wenig an, da die Iteration weiterhin nur einmal ausgeführt wird. Lediglich der relativ wenig aufwändige Teil der Eigenwertapproximation beansprucht dann mehr Zeit. Als Standardwert hat sich 15 bewährt.

Anzahl Iterationen: Ähnlich zum Parameter MAXIT bei iterativen Gleichungssystemlösern kann hier eine Schranke eingestellt werden, nach der die iterative Phase I des Lanczos-Solvers abgebrochen wird. Diese dient in erster Linie dazu, bei Testrechnungen schon nach kurzer Zeit überprüfen zu können, ob das Modell wie gewünscht rechenbar ist. Wie immer bei iterativen Verfahren sind die Ergebnisse, die nach der maximalen Iterationszahl erzeugt wurden, mit Vorsicht zu genießen. In diesen Fällen kann noch nicht von einer Konvergenz gegen die korrekte Lösung gesprochen werden. Nützlich ist die Aussage, dass spätestens nach derjenigen Iterationszahl, die der Freiheitsgrad-Anzahl des Modells entspricht, die maximale Genauigkeit erreicht ist.

Residuum: Um die aktuelle Konvergenz zu messen, wird ein sogenanntes relatives Residuum benutzt. Es misst, um welchen Wert sich zwei aufeinanderfolgende Eigenwertapproximationen im Laufe der Iteration verändert haben. Für die gewünschte Anzahl kleinster Eigenwerte (später Eigenfrequenzen) wird die relative Differenz ermittelt; und zwar jeweils nach einer festgelegten Anzahl von Lanczos-Iterationen. Unterschreitet nun der berechnete Fortschrittswert die eingegebene Schwelle, wird Konvergenz angenommen und Phase I beendet. Da es erfahrungsgemäß auch nach vielen Iterationen zu Veränderungen kommen kann, empfiehlt es sich, den Wert sehr klein zu wählen, um nicht zu früh abzurechnen. Ein Wert von $1,0\text{E-}8$ hat sich gut bewährt.

Differenz zw. zwei Frequenzen: Besonders bei symmetrischen Bauteilen kommt es häufig vor, dass sich zwei aufeinanderfolgende Eigenfrequenzen nur sehr wenig unterscheiden. Die Schwingungsformen sind dann oft um die Symmetrieachse gedreht und ansonsten völlig gleich. Mathematisch handelt es sich dabei um sogenannte Vielfachheiten der zugehörigen

Eigenwerte. Um diese in Phase I auszuschließen, kann eine Minstdifferenz (in Hz) eingestellt werden, ab der zwei Frequenzen auch tatsächlich als verschieden angesehen werden sollen. Der Wert muss echt größer Null sein; schon kleine Werte wie $1,0E-6$ bewirken das Gewünschte.

Kappa: Dieser Wert legt fest, nach welcher festen Anzahl von Lanczos-Iterationen eine Eigenwertapproximation ausgeführt werden soll. Wird beispielsweise der Standardwert 50 verwendet, erfolgt eine Approximation nur nach 50, 100, 150, ... Iterationen. Alle 49 Zwischenschritte werden im Interesse kürzerer Rechenzeit ohne die aufwändige Prüfung des Abbruchkriteriums ausgeführt, auch wenn die Konvergenz eventuell schon erreicht ist. Eine Vergrößerung des Wertes führt gleichzeitig zu einem strengerem Abbruchkriterium, umgekehrt schwächt ein kleiner Wert dessen Aussagekraft ab.

Der Start der Berechnung bewirkt den Aufruf des Solvers Z88EI, der mit folgenden Ein- und Ausgabedateien arbeitet.

Eingabedateien:

- | | |
|---------------|---|
| • Z88I1.TXT | allgemeine Strukturdaten |
| • Z88I2.TXT | Randbedingungen (Fixierungen) |
| • Z88I2EI.TXT | Steuerdatei mit obigen Parametern |
| • Z88MAT.TXT | Materialsteuerdaten und eine oder mehrere TXT-Materialdateien |
| • *.TXT | Materialdatei |
| • Z88INT.TXT | Integrationsordnung |
| • Z88MAN.TXT | Solver-Parameter für die Compilation |

Ausgabedateien:

- | | |
|-------------|------------------------------------|
| • Z88O2.TXT | Verschiebungen für alle Frequenzen |
|-------------|------------------------------------|

4.5 DER THERMOSOLVER Z88TH

In dem neuen Modul Z88THERMO von Z88Aurora kann sowohl eine rein thermische Wärmeleitung als auch eine thermo-mechanische Simulation durchgeführt werden. Der erste Schritt, um das Modul und somit den Solver zur Temperaturberechnung auszuwählen, gelingt indem der Reiter in der Menüleiste von "Lineare Festigkeit" auf "Stationär thermisch" gewechselt wird, siehe Abbildung 40.



Abbildung 40: Ansteuerung des Thermosolvers

Der erste kleine Unterschied zur Elastostatik ist der Import von Bauteilen. Generell ist es möglich über die bekannten Schnittstellen eine reine Geometriestruktur einzuladen. Jedoch bei FE-Strukturen können nur die Elemente Tetraeder und Hexaeder (jeweils linear oder quadratisch) ohne thermische Randbedingungen importiert werden. Bei der Materialdatenbank müssen für die Thermoanalyse die Wärmeleitfähigkeit und für die thermo-mechanische Simulation zusätzlich die Wärmeausdehnung angegeben werden. Abbildung 41 zeigt exemplarisch ein in der Materialdatenbank schon vorhandenes Material, bei dem diese schon vordefiniert sind.

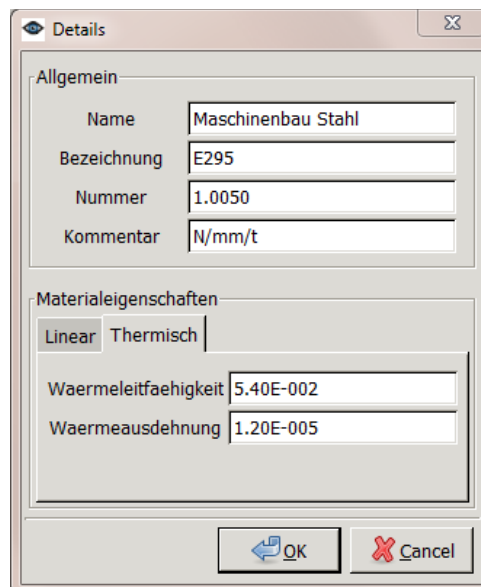



Abbildung 41: Thermische Materialdefinition

Im eigentlichen Randbedingungsmenü gibt es eine Erweiterung (Abbildung 42) um thermische Randbedingungen (Temperatur, Wärmestrom und Wärmestromdichte), welche in

der Ansicht durch ein  gekennzeichnet sind. Nach dem Anlegen von vordefinierten Sets können diese Randbedingungen zugewiesen werden, wobei eine Angabe der Richtungen nicht notwendig ist, da die thermischen Randbedingungen nur einen Freiheitsgrad im Raum besitzen.

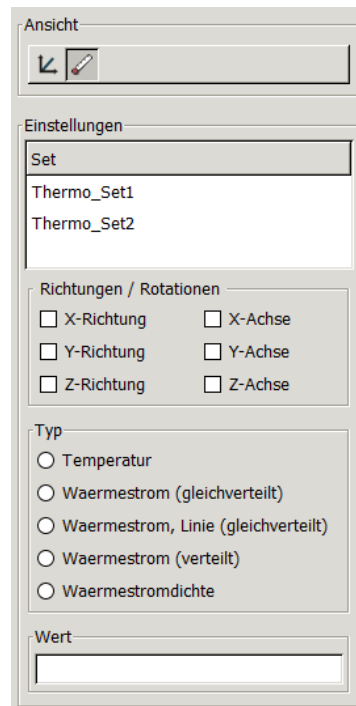


Abbildung 42: Thermische Randbedingungen

Die Temperatur kann der Benutzer entweder in Kelvin (K) oder in ° Celsius ($^{\circ}C$) angeben. Für die Berechnungsergebnisse macht dies hier keinen Unterschied. Die Wärmestromdichte ist eine flächenbezogene Last, d.h. sie gibt den Wärmestrom pro Fläche an (Einheit: W/mm^2). Der Wärmestrom (Einheit: W), die punktuelle Last, kann entweder gleichverteilt oder verteilt aufgegeben werden. Gleichverteilt bedeutet hier, dass jedem Knoten der gleiche angegebene Wert zugewiesen wird, wohin gegen verteilt die Verteilung nach FE-Regeln darstellt. Möchte man eine thermo-mechanische Simulation durchführen, so muss man nur neue Sets mit zusätzlichen mechanischen Randbedingungen (z.B. einer Festhaltung) anlegen. Der Solver erkennt dann automatisch, dass der Benutzer eine solche Simulation durchführen möchte. Als Berechnungskern kann zwischen den drei bekannten Gleichungslösern Pardiso (direkt und mehrkernfähig), SICCg und SORCG (iterativ) gewählt werden (Abbildung 43). Der Cholesky-Solver entfällt hier.

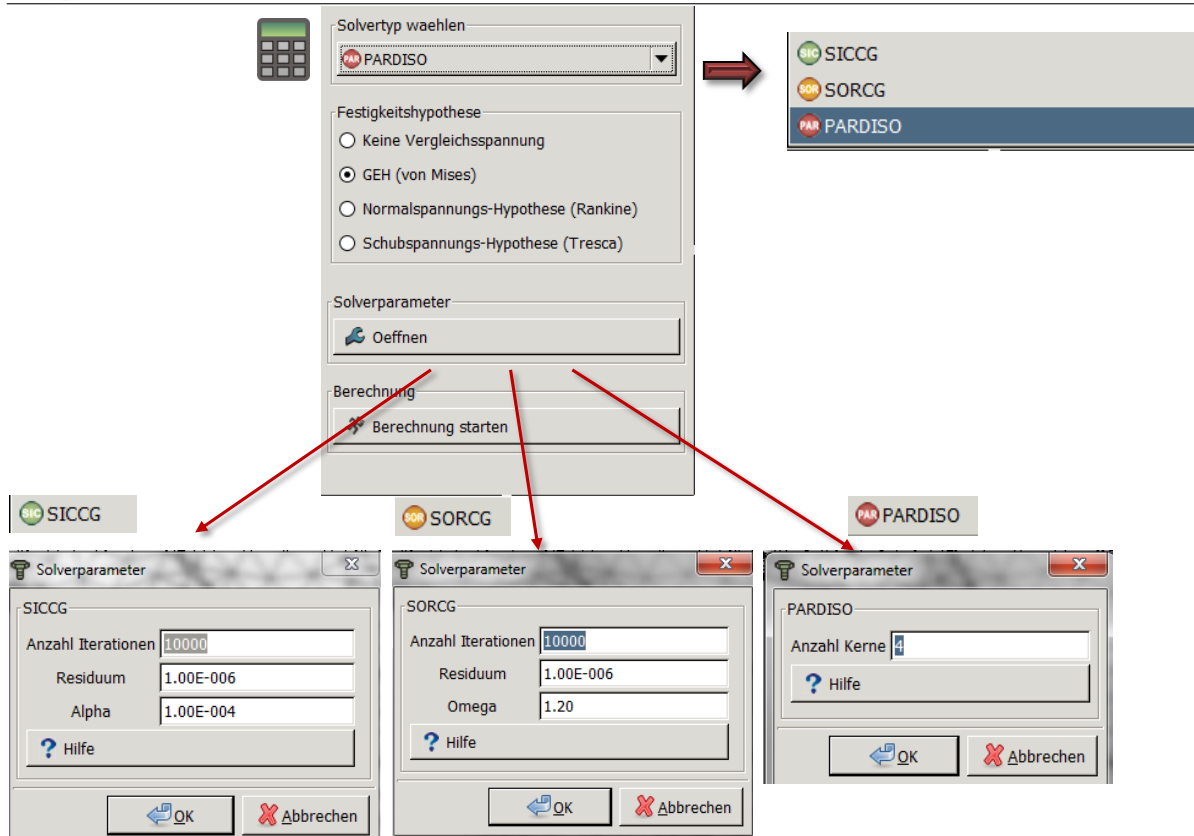


Abbildung 43: Solvereinstellungen Z88Thermo

Im Postprozessor sind die Anzeigen um die thermischen Ergebnisse Temperatur und Wärmestrom als auch um die thermo-mechanischen Ergebnisse thermische Dehnung und thermische Kraft erweitert.

Für eine thermische oder thermo-mechanische Berechnung gibt es wie gewohnt auch weiterhin die Eingabe- und Ausgabedaten in Form von .txt-Dateien.

Eingabedateien:

- Z88I1.TXT allgemeine Strukturdaten
- Z88I2.TXT mechanische Randbedingungen
- Z88I5.TXT mechanische Strecken- und Flächenlasten oder 0 in der ersten Zeile
- Z88TI2.TXT thermische Randbedingungen (Temperatur, Wärmestrom)
- Z88TI5.TXT thermische Flächenlasten (Wärmestromdichte oder 0 in der ersten Zeile)
- Z88MAT.TXT Materialsteuerdaten und eine oder mehrere TXT-Materialdateien
- Z88INT.TXT Integrationsordnung
- Z88MAN_TH.TXT Solver-Parameter für Z88THERMO

Ausgabedateien:

- Z88TH.LOG Datei für Meldungen, Warnungen und Fehler von Z88Thermo
- Z88AG2THI.LOG Datei für Meldungen, Warnungen und Fehler im Konverter von Z88Aurora zu Z88Thermo
- Z88TH.DYN verwendete Speicherparameter (automatisch ermittelt)
- Z88TO0.TXT Ergebnis Temperatur

- Z88TO1.TXT Ergebnis Wärmestrom
- Z88TO2.TXT Ergebnis thermische Dehnung
- Z88TO3.TXT Ergebnis thermische Kraft
- Z88TO4.TXT Ergebnis Verschiebungen
- Z88TO6.TXT Ergebnis Kraft
- Z88TO7.TXT Ergebnis Spannungen

Wie schnell zu erkennen ist, sind die Dateien der Struktur und der mechanischen Randbedingungen gleich derer in der Elastostatik. In der thermischen Solver-Datei Z88MAN_TH.TXT gibt es dahingegen neben den Einstellungen für die iterativen Solver zwei neue Flags. Das erste Flag `THERMOMODE` muss immer auf 1 stehen. Das zweite Flag `THERMOMECHANIC` muss für eine rein thermische Simulation (0) und für eine thermo-mechanische Simulation (1) sein.

```
TMSOLVER START
MAXIT                10000
EPS                  1.000000E-006
RALPHA               1.000000E-004
ROMEGA               1.200000E+000
THERMOMODE           1
THERMOMECHANIC       1
TMSOLVER END
```


4.6 DER NICHTLINEARE SOLVER Z88NL

Das Modul Z88NL stellt einen Gleichungslöser dar, der für nichtlineare Berechnungen ausgelegt ist. Nichtlinearitäten können dabei geometrische Nichtlinearitäten oder Materialnichtlinearitäten sein.



Abbildung 44: Ansteuerung des nichtlinearen Berechnungsmoduls

In Abbildung 44 ist zu sehen, wie in Z88Aurora auf nichtlineare Berechnungen umgeschaltet wird. Für den Import und das Präprozessing ergeben sich keine Unterschiede im Vergleich mit der linearen Festigkeitsrechnung, außer dass lediglich die Elemente der Typen 1, 4, 7, 8, 10, 16, 17 verwendet werden können. Ist gemäß Bild 41 "Nichtlineare Festigkeit" eingestellt, öffnet sich beim Wechsel zum Solver allerdings ein anderes Menü, Bild 42. In diesem können in drei verschiedenen Registerkarten die Einstellungen für den nichtlinearen Lösungsprozess (Registerkarte Verfahren), den linearen Sub-Gleichungslöser (Registerkarte Solver) und die Ergebnisausgabe (Registerkarte Ausgabe) justiert werden. Eine Vergleichsspannungsberechnung durch Z88NL ist nur nach der GEH (d.h. v. Mises) möglich.

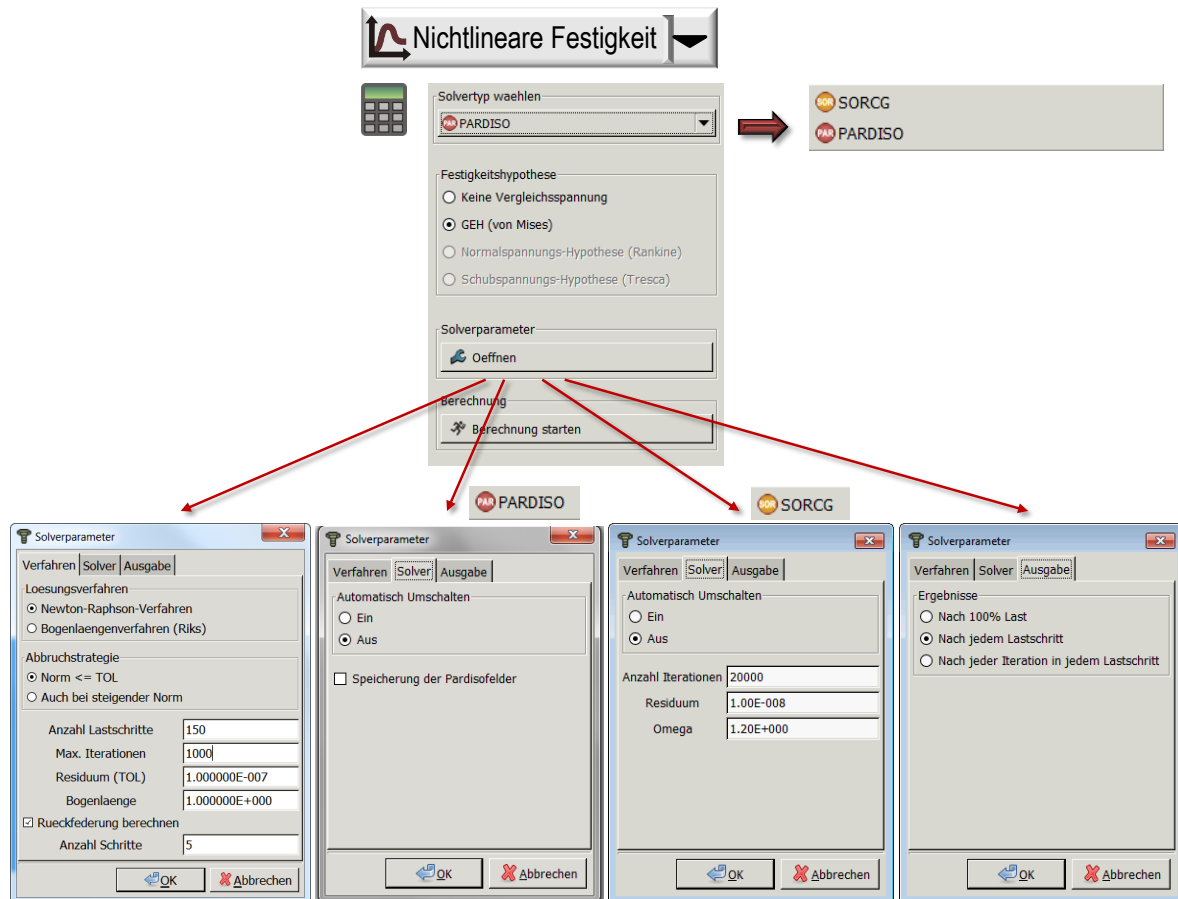


Abbildung 45: Solvereinstellungen Z88NL

Der Start der Berechnung bewirkt den Aufruf des Gleichungslösers Z88NL, der mit folgenden Ein- und Ausgabedateien arbeitet.

Eingabedateien:

- | | |
|---------------|---|
| • Z88I1.TXT | allgemeine Strukturdaten |
| • Z88I2.TXT | Randbedingungen |
| • Z88I5.TXT | Strecken- und Flächenlasten oder 0 in der ersten Zeile |
| • Z88NLI7.TXT | Steuerung von Verlaufsvariablen oder 0 in der ersten Zeile |
| • Z88MAT.TXT | Materialsteuerdaten und eine oder mehrere TXT-Materialdateien |
| • Z88ELP.TXT | Elementparameter |
| • Z88INT.TXT | Integrationsordnung |
| • Z88MAN.TXT | Solver-Parameter für Z88NL |

Ausgabedateien:

- | | |
|---------------|--|
| • Z88NL.LOG | Datei für Meldungen, Warnungen und Fehler von Z88NL |
| • Z88NLKV.LOG | Konvergenzverlauf von Z88NL |
| • Z88NL.DYN | verwendete Speicherparameter (automatisch ermittelt) |
| • Z88NLO2.TXT | Verschiebungen |
| • Z88NLO3.TXT | Spannungen (Cauchy-Spannungen), wenn gewünscht |
| • Z88NLOH.TXT | Verlaufsvariablen, wenn vorhanden |

Sämtliche Eingabedateien, bis auf die Dateien Z88NLI7.TXT und Z88MAN.TXT, sind identisch mit den Eingabedateien von Z88R und daher gleich benannt. Die Steuerdatei Z88MAN.TXT des Solvers enthält nun eine zusätzliche Sektion, die im Folgenden kurz beschrieben wird. Die neue Sektion wird durch die Schlüsselwörter NONLINEAR START und NONLINEAR END begrenzt:

```

NONLINEAR START
  NLFLAG              1
  NLAERH              25
  MAXNLIT             1000
  EXIT                1
  TOL                 1E-7
  AUTOGAUSS           0
  OUTPUTFLAG          1
  OUT_CAUCHY          1
  OUT_INT9OFFS        1
  PARSP               1
  ELEFORM             1
  BGLAENG             1.0
  LASTST              0
NONLINEAR END

```

Die Parameter werden durch die Einstellungen im Solvermenü gesetzt. Sie haben die nachfolgenden Bedeutungen.


- 1. Wert: Lösungsverfahren: NLFLAG : Newton-Raphson-Verfahren (1) oder Bogenlängenverfahren nach Riks (2)
- 2. Wert: Anzahl der Lastschritte: NLAERH : gibt an, in wie vielen Schritten die Gesamtlast aufgebracht wird
- 3. Wert: maximale Iterationszahl: MAXNLIT : gibt an, wie viele Schritte des nichtlinearen Lösungsverfahrens maximal durchgeführt werden
- 4. Wert: Steuerung des Abbruchverhaltens: EXIT : Abbruch des nichtlinearen Lösungsverfahrens nur wenn die Norm unter die Abbruchschranke TOL fällt (1) oder Abbruch auch, wenn die Norm steigt (2).
- 5. Wert: Abbruchschranke bzw. Residuum TOL : Wert, unter den die Norm fallen muss, damit die Lösung gefunden ist.
- 6. Wert: Automatische Solverumschaltung: AUTOGAUSS : Ist das Flag aktiviert (1), erfolgt bei sehr kleinen Strukturen eine automatische Umschaltung des Solvers, ist es deaktiviert (0), erfolgt keine Umschaltung
- 7. Wert: Ausgabesteuerung: OUTPUTFLAG : steuert die Ergebnisausgabe, Ausgabe nur am Ende des Lösungsverfahrens für die Gesamtlast (0), Ausgabe nach jeder Teillast (1) oder Ausgabe nach jedem Iterationsschritt jeden Lastschritts (2).
- 8. Wert: Spannungsberechnung: OUT_CAUCHY : steuert die Durchführung der Spannungsberechnung: wird durchgeführt (1) oder wird nicht durchgeführt (0)
- 9. Wert: Speichermanagement für Integrationspunktgrößen mit 9 Werten: OUT_INT9OFFS : aktiviert die Bereitstellung eines speziellen Speicherfeldes, welches beispielsweise für die Spannungsberechnung erforderlich ist (bei aktivierter Spannungsberechnung muss dieses Flag auch aktiviert sein), aktiv (1) oder inaktiv (0)
- 10. Wert: Speichermanagement: PARSP : Ist das Flag aktiviert (1), wird zusätzlicher Speicher für die Sicherung der Sparse-Pointer IP und IEZ allokiert, um das Rechenverfahren zu beschleunigen, ist es deaktiviert (0), erfolgt eine iterative Neuberechnung

- 11. Wert: ELEFORM bestimmt die verwendete Elementformulierung. Standard ist 1 für die Lagrange'sche Elementformulierung, die geometrische Nichtlinearitäten erfasst. Die Euler'sche Elementformulierung, ebenfalls für geometrische Nichtlinearitäten geeignet, wird bei 2 eingesetzt. Für Materialnichtlinearitäten ist ELEFORM auf 3 zu stellen. Dann wird die Mehrfeldformulierung von Simo und Hughes angesteuert. Dieser Flag muss in der Regel jedoch nicht manuell eingestellt werden, da Z88Aurora bzw. der Konverter AG2NL automatisch den Flag in Abhängigkeit des Materialgesetzes einstellt.
- 12. Wert: Bogenlänge: BGLAENG : legt die Bogenlänge für das Verfahren von Riks fest
- 13. Wert: LASTST legt fest, ob äquidistante Lastschritte (ohne Rückfederung) verwendet werden (LASTST auf 0 setzen) oder ob die Laststeuerung über die Datei Z88NLI8.TXT aktiviert werden soll (LASTST auf 1 setzen). Die Laststeuerung wird z.B. automatisch aktiviert, wenn die Rückfederung berechnet werden soll.

4.7 DER SUPERELEMENTE-GENERATOR

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

- Z88N für Hexaeder, Tori, Scheibe, Platte und Volumenschalen
- Tetraederverfeinerer für Tetraeder
- Schalenaufdicker für einfache Schalen
- Der STL-Verfeinerer für importierte STL-Netze (4.1.4)

Er wird über das Präprozessormenü über das Icon  Superelemente aufgerufen.

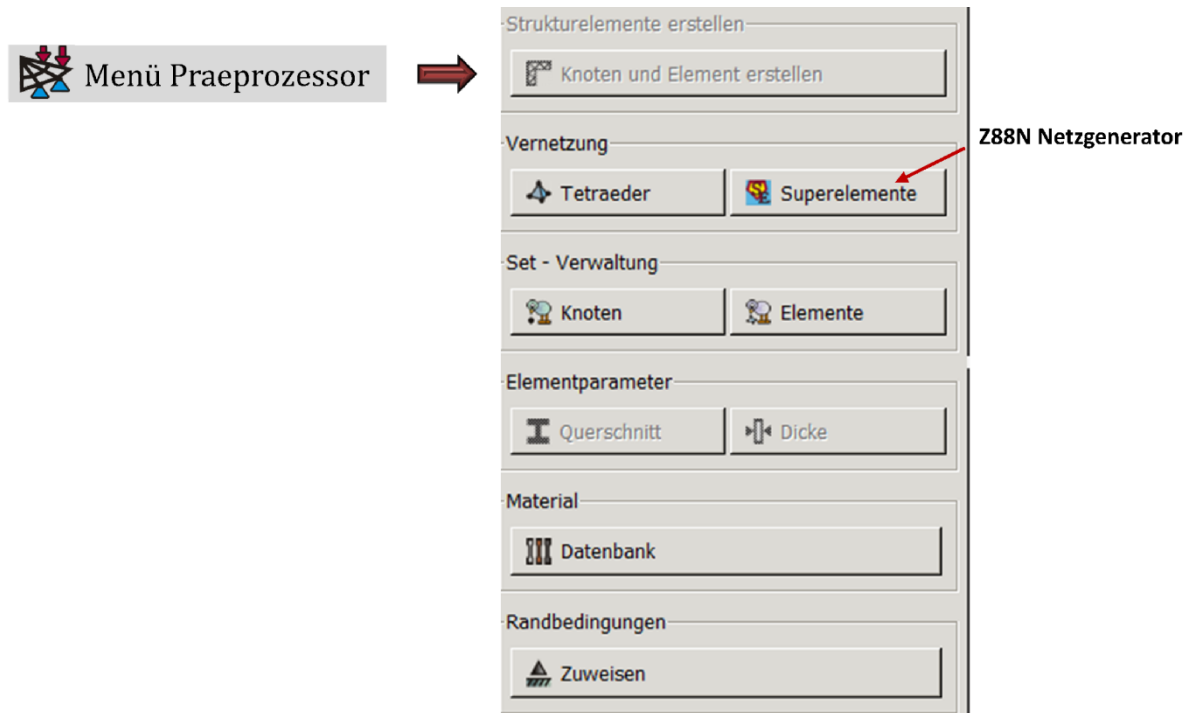


Abbildung 46: Menü "Präprozessor" mit Starticon "Superelemente" des Netzgenerators Z88N

4.7.1 Z88N FÜR 2D- UND 3D-ELEMENTE

Eine Netzgenerierung ist nur für Kontinuums-elemente sinnvoll und zulässig, einen Überblick über die möglichen Finite Elemente Strukturen zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: 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

Gemischte Strukturen, die z.B. neben Scheiben Nr.7 auch Stäbe Nr.9 enthalten, können nicht verarbeitet werden.

Arbeitsweise des Netzgenerators:

Zur Generierung von FE- Netzen wird wie folgt vorgegangen: Das Kontinuum wird durch sog. Superelemente (kurz SE) beschrieben, was praktisch einer ganz groben FE- Struktur entspricht.

Diese Superstruktur wird sodann verfeinert. Dies erfolgt superelementweise, beginnend mit SE 1, SE 2 bis zum letzten SE. Dabei erzeugt SE 1 die Finiten Elemente (kurz FE) 1 bis j, SE 2 die FE j+1 bis k, SE 3 die FE k+1 bis m usw. Innerhalb der SE bestimmt die Lage der lokalen Koordinaten die Knoten- und Elementnummerierung der FE- Struktur. Es gilt:

- lokale x-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 2
- lokale y-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 4
- lokale z-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 5

Bei räumlichen Super-Strukturen wird zuerst in z, dann in y und zum Schluss in x-Richtung unterteilt, d.h. die FE-Elementnummerierung beginnt zunächst längs der z-Achse zu laufen. Für ebene und axialsymmetrische Strukturen gilt sinngemäß: Dort beginnt die Nummerierung zunächst längs der y-Achse bzw. bei axialsymmetrischen Elementen längs der z-Achse (Zylinderkoordinaten!).

Entlang der lokalen Achsen kann nun wie folgt unterteilt werden:

- äquidistant
- geometrisch aufsteigend von Knoten 1 nach 4 bzw. 5: Netz wird gröber
- geometrisch fallend von Knoten 1 nach 4 bzw. 5: Netz wird feiner

Es ist klar, dass an Linien bzw. Flächen, die zwei Superelementen gemeinsam haben, die Superelemente genau gleich unterteilt sein müssen! Der Netzgenerator prüft das nicht und generiert dann unsinnige FE-Netze. Beispiel:

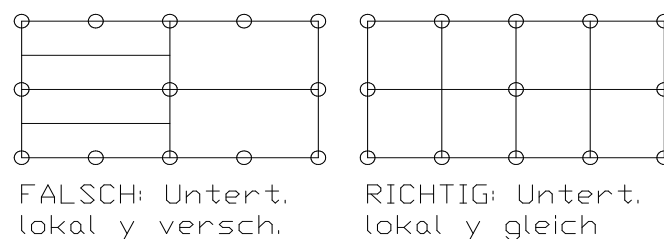


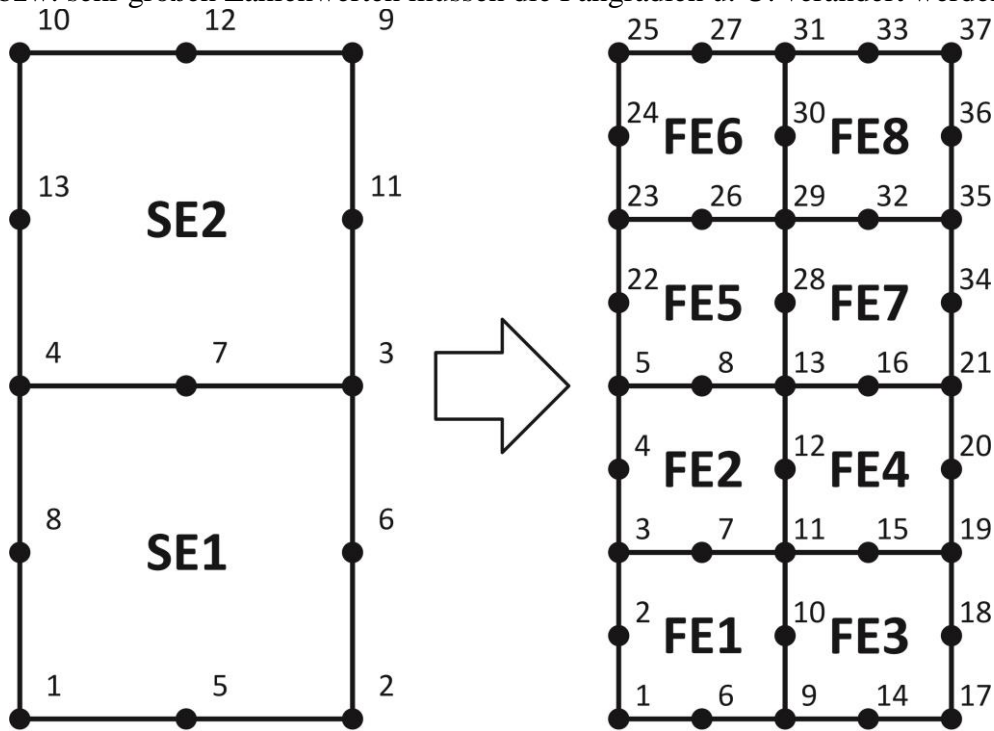
Abbildung 47: Unterteilung der Superelemente

Da die lokalen Richtungen x, y und z durch die Lage der lokalen Knoten 1, 4 und 5 bestimmt wird, können durch entsprechenden Aufbau der Koinzidenzliste im Netzgenerator- Eingabefile Z88NI.TXT fast beliebige Nummerierungsrichtungen für Knoten und Elemente der FE-Struktur generiert werden.

Beispiel für die Generierung einer FE-Struktur mit 8 FE Scheiben Nr.7 aus Superstruktur mit 2 Scheiben Nr.7 (sieht mit Tori Nr.8 genauso aus), Abbildung 47.

Feinheiten:

Der Netzgenerator prüft bei der Erzeugung von neuen FE-Knoten, welche Knoten bereits bekannt sind. Dazu braucht er einen Fangradius (denn auf "genau gleich" kann man bei Real-Zahlen nie abfragen). Dieser Fangradius ist für alle 3 Achsen mit je 0.01 vorgegeben. Bei sehr kleinen bzw. sehr großen Zahlenwerten müssen die Fangradien u. U. verändert werden.



Koinzidenz 1. Superelement: 1-2-3-4-5-6-7-8

Koinzidenz 2. Superelement: 4-3-9-10-7-11-12-13

Abbildung 48: Umwandlung von Superelementen in Finite Elemente

Achtung Netzgenerator Z88N: Der Generator kann mit Leichtigkeit Eingabefiles erzeugen, die alle Grenzen des FE-Prozessors sprengen. Daher zunächst größere FE-Strukturen generieren lassen, die Ergebnisse überprüfen und gegebenenfalls die Berechnung mit einem feineren Netz wiederholen. Ein guter Startwert: ca. 5...10-mal so viel Finite Elemente wie Superelemente erzeugen lassen.

Hinweis Netzgenerator Z88N: Ist in Netzgenerator-Eingabedateien Z88NI.TXT das Koordinatenflag KFLAGSS gesetzt, also Polar- oder Zylinderkoordinaten als Eingangswerte gegeben, dann sind die Netzgenerator- Ausgabedateien Z88STRUCTURE.TXT normalerweise in kartesischen Koordinaten gehalten und dort ist dann KFLAG 0. Setzen Sie hingegen das Koordinatenflag Ausgabe KFLAG zu 1, dann werden in der Ausgabedatei Z88STRUCTURE.TXT die Koordinaten in Polar- bzw. Zylinderkoordinaten ausgewiesen und KFLAG in Z88STRUCTURE.TXT wird 1 gesetzt.

4.7.2 DER TETRAEDERVERFEINERER (MTV)

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 durch 8 Tetraeder.

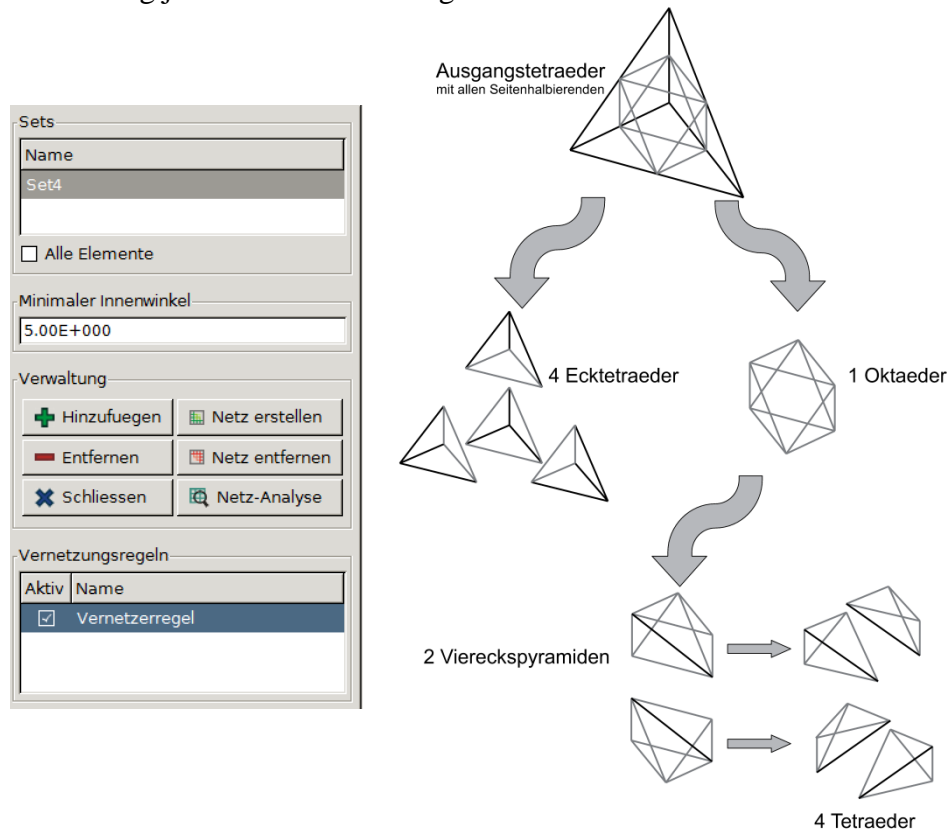


Abbildung 49: Eingabemaske Tetraederverfeinerer (links),
Ablauf der Tetraederverfeinerung (rechts)

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.

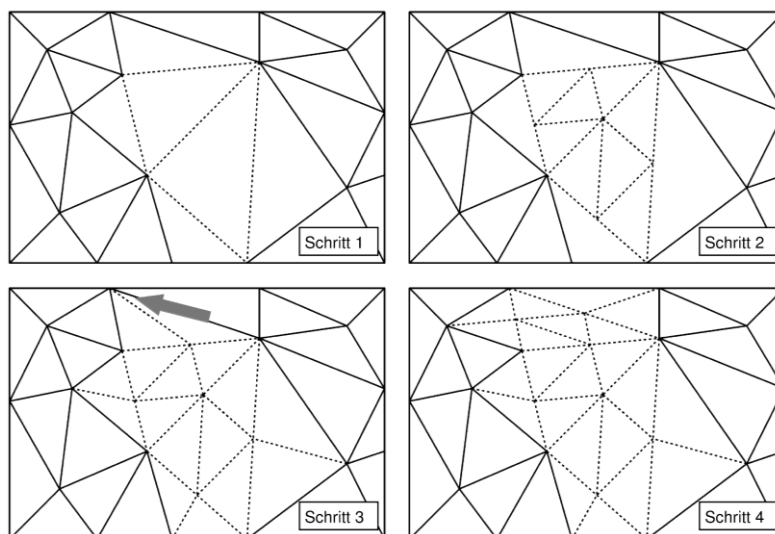


Abbildung 50: Verlauf des Verfeinerungsalgorithmus mit Winkelkriterium

Statt des idealen Innenwinkels von 60° ist bei einer FE-Vernetzung eine Vorgabe des Winkels zwischen $3-10^\circ$ realistisch. Näheres zur Anwendung siehe Benutzerhandbuch.

4.7.3 DER SCHALENAUFDICKER (MVS)

Mit dieser Funktionalität ist es möglich, bestehende einfache Schalen aus dem NASTRAN- oder DXF-Import aufzudicken und so Volumenschalen (Element Nr.21 und Element Nr.22) zu erhalten. Näheres zur Anwendung siehe Benutzerhandbuch.

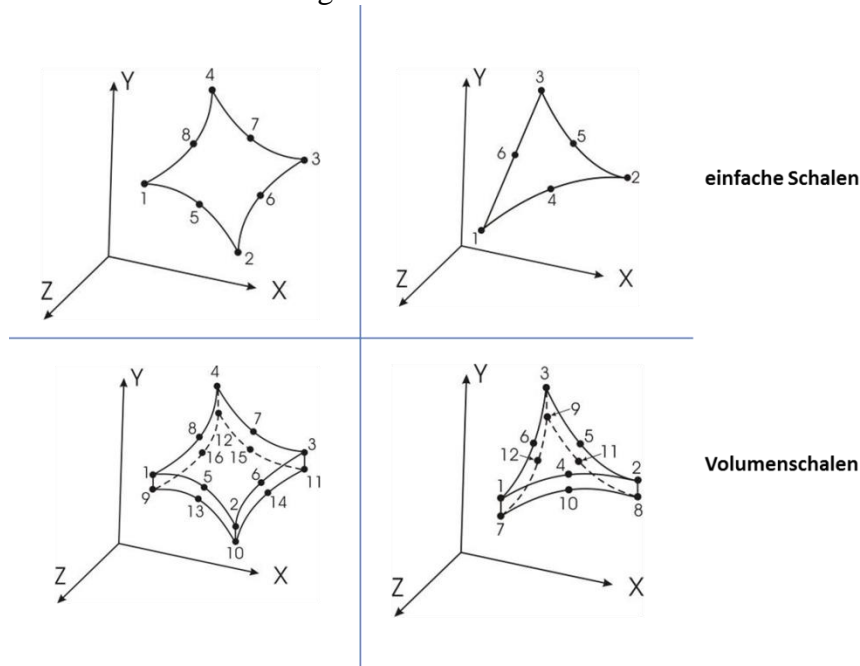


Abbildung 51: Einfache Schalen (oben) und Volumenschalen (unten)

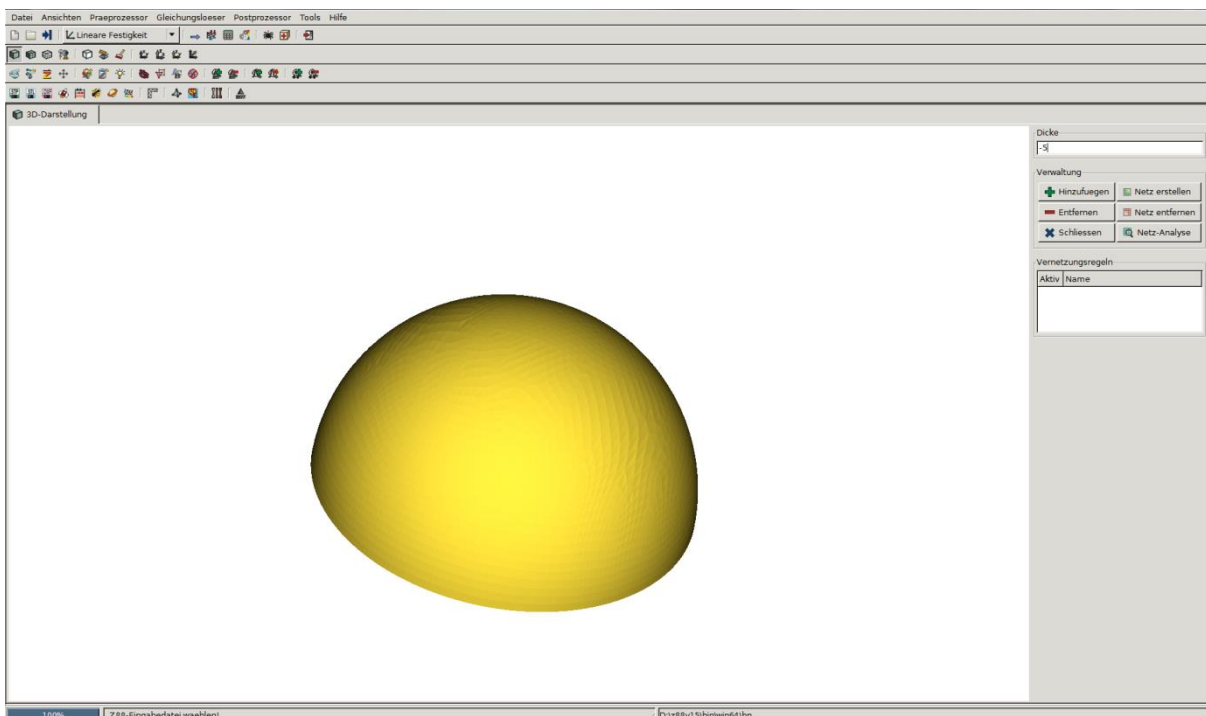


Abbildung 52: Schalenaufdicker in Z88Aurora

4.8 DER POSTPROZESSOR

Wireframe- oder Hiddenline-Strukturen können unverformt, verformt oder beides überlagert geplottet werden, ebenso können Farbverläufe für Spannungen und X-, Y- und Z-Verformungen gezeigt werden. Bei Knoten- und Elementnummern können Bereiche angegeben werden, was bei großen Strukturen sehr hilfreich ist. Eine Plotter- oder Druckerausgabe ist explizit nicht vorgesehen – wozu auch, machen Sie einfach einen Screenshot mit Shift-Druck in die Zwischenablage und bearbeiten bzw. drucken Sie sie mit dem Windows-eigenen Programm Paint oder einem Malprogramm wie z.B. CorelPaint etc.

Z88Aurora arbeitet mit OpenGL. Daher muss Ihr Computer OpenGL-fähig sein. Bei allen neueren Windows-Versionen ist dies standardmäßig aktiviert, und es reicht meist eine Billig-Grafikkarte. Sehen Sie allerdings sicherheitshalber in den Systemeinstellungen nach – mitunter kann OpenGL-Hardwarebeschleunigung aktiviert werden.

Die Bildschirmfarben und -größe, Lichtquellen, Materialeigenschaften, der Polygonoffset u.a. können in der Datei Z88.FCD eingestellt werden. Seien Sie allerdings vorsichtig beim Ändern von Z88.FCD. Konsultieren Sie z.B. *Rieg, F: Grafikprogrammierung für Windows. Carl Hanser Verlag. München, Wien: 2005.*

Wichtige Änderungen können über das Optionsmenü oder die dargestellten Icons vorgenommen werden.

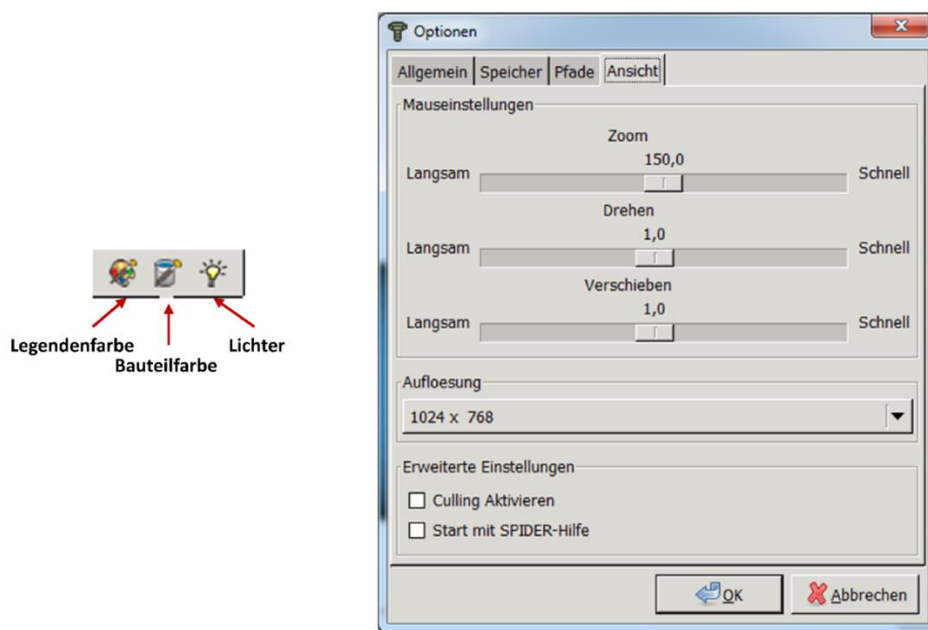


Abbildung 53: Optionsmenü „Ansicht“ und die Wahl der Lichter, Legenden und Bauteilfarbe über die jeweiligen Icons

Besonderheiten des Renderns: Um möglichst rasch zu arbeiten, verbindet Z88Aurora bei beleuchteten Szenen und im Hiddenline-Modus lediglich die Eckpunkte, und diese auch nur mit geraden Linien, obwohl bei Serendipity-Elementen die Kanten der Elemente quadratische bzw. kubische Kurven sind; im Wireframe-Modus werden alle Knoten mit geraden Linien verbunden. Der Rechenaufwand ist besonders bei beleuchteten Szenen und im Hiddenline-Modus immens. Wenn ein Bauteil in Ihrem CAD-System, z.B. Pro/ENGINEER, schön schnell gedreht wird und die dort in ein FE-Netz zerlegte Struktur dann in Z88Aurora relativ langsam gedreht, gezoomt oder verschoben wird, dann ist das ganz normal: CAD-Programm malen nur ein „paar“ Hüllkurven, FE-Programme müssen *jedes* finite Element rendern, d. h.

Normalenvektoren für alle Elementflächen berechnen, Farbverläufe dafür bestimmen usw. Besonders rechenintensiv sind Hiddenline-Darstellungen. Abhilfe können die Darstellungen "*Rand/Voll-Darstellung*" oder „*schnelle Ansicht aktivieren*“ schaffen, die sich im Ansichtsmenü befinden. Hier werden nur die äußeren Körperkanten berechnet und gänzlich dargestellt, allerdings ist diese Darstellung nicht für alle Funktionalitäten geeignet.

Was können Sie anzeigen? Eigentlich alles, wenn vorher der Solver, der die Verformungsdatei Z88O2.TXT und die drei Spannungsdateien Z88O3.TXT (für Sie zum Ablesen der Spannungen), Z88O5.TXT (für Z88Aurora intern) und Z88O8.TXT (für Z88Aurora intern) erzeugt, gelaufen ist. Selbst bei Stäben können Sie jetzt „Vergleichsspannungen“, also die Zug- und Druckspannungen, farbig anzeigen lassen; lediglich für Balken Nr.2 und Nr.13 sowie für Wellen Nr.5 können nur die Verformungen angezeigt werden. Warum? Weil Sie bei Balken und Wellen beispielsweise die Kerbwirkung mit einrechnen müssen, was ein FEA-Programm naturgemäß bei einer *Gesamtstruktur* nicht kann. Natürlich können Sie nur den Bereich um die Kerbe mit einem FE-Netz modellieren und dann mit Z88 rechnen. Dafür müssen Sie dann aber Scheiben- oder Volumenelemente nehmen. Mit Balken oder Stäben ist das nicht möglich.

Spannungsanzeige: Die Art der Spannungsanzeige bei FEA-Programmen hat durchaus philosophischen Charakter. Fakt ist, dass durchaus sehr teure, kommerzielle FEA-Programme in bestimmten Situationen Spannungen *falsch* anzeigen, wie umfangreiche Versuche am Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD der Universität Bayreuth ergeben haben. Am präzisesten ist die Spannungsanzeige direkt in den Gauß-Punkten. Dies ist bei OpenGL aber nicht in allen Modi vernünftig darstellbar, daher arbeitet Z88Aurora nach folgendem Verfahren:

1. *Vergleichsspannungen in den Eckknoten.* In Wirklichkeit werden die Spannungen eben nicht in den Eckknoten berechnet, was besonders bei sehr spitzen Elementen zu ganz falschen Ergebnissen führt (sic!), sondern in Gauß-Punkten, die in der Nähe der jeweiligen Eckknoten liegen. Es werden die Spannungen für genauso viele Gauß-Punkte berechnet, wie Eckknoten vorhanden sind. Da meist an einen Knoten mehrere Elemente anschließen, werden diese Spannungen dann noch gemittelt über alle anschließenden Elemente. Dies führt zu recht ausgeglichenen Spannungsverläufen, die im Mittel aber geringer sind als die Maximalspannungen aus den Gauß-Punkten. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTOS haben keinen Einfluss, INTOS in der Steuerdatei Z88ENVIRO.DYN muss aber > 0 sein.
2. *Vergleichsspannungen pro Element gemittelt.* Es werden die Spannungen in den Gauß-Punkten im jeweiligen Element berechnet, aufsummiert und durch die Anzahl der Gauß-Punkte geteilt. Dies ergibt eine mittlere Vergleichsspannung pro Element. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTOS haben jetzt Einfluss, INTOS muss > 0 sein.
3. *Vergleichsspannungen direkt in den Gauß-Punkten.* Diese Darstellung ist am genauesten, aber dafür optisch nicht so schön wie 1. und 2. INTOS muss > 0 sein.

Z88Aurora kann die unten genannten Vergleichsspannungen – aber immer nur jeweils eine- je nach vorherigem Rechenlauf darstellen:

- Gestaltänderungsenergie-Hypothese *GEH*, d.h. von *Mises*
- Normalspannungs-Hypothese *NH*, d. h. *Rankine* bzw. *principal stresses*
- Schubspannungs-Hypothese *SH*, d.h. *Tresca*

Wenn Sie also vorher die *GEH*-Vergleichsspannungen berechnet haben, dann zeigt Z88Aurora diese an. Wenn Sie nun z.B. *NH*-Vergleichsspannungen anzeigen wollen, müssen

Sie den Solver erneut laufen lassen, und zwar mit der Einstellung "Normalspannungs-Hypothese SH (Tresca)", siehe Abbildung 54. Auf den ersten Blick erscheint es sehr aufwändig, dass für eine andere Spannungshypothese der Solver erneut laufen muss. Aber: Sie wissen doch vorher, welche Spannungshypothese für Ihr Material und Ihren Beanspruchungsfall sinnvoll ist. Mit Spannungshypothesen spielt man nicht herum, nur um „passende“ Ergebnisse zu erhalten!

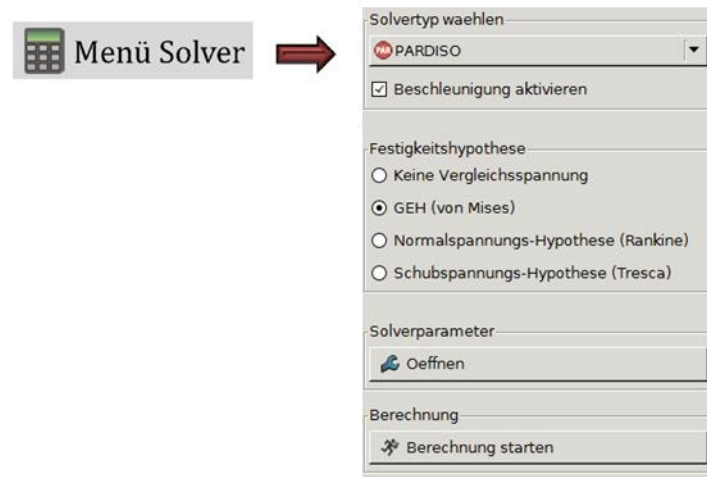


Abbildung 54: Einstellungsmöglichkeiten Festigkeitshypothese im Menü "Solver"

Verschiebungsanzeige: Sie können die Struktur unverformt, verformt oder beides überlagert plotten. Der Vergrößerungsfaktor ist frei wählbar, standardmäßig beträgt der Faktor 10% vom größten Verschiebungsbetrag. Zusätzlich können Sie sich die Verschiebungen für X, für Y oder für Z farblich abgestuft anzeigen lassen. Dies ist besonders bei komplizierten Raumstrukturen sehr angenehm. Sie können die Spannungsanzeige (bis auf „Gauß-Punkt“) oder die Verschiebungen für X, für Y oder für Z oder die Hiddenline-Darstellung oder die Wireframe-Darstellung auch bei verformter Struktur aufrufen. Die Hintergrundfarben und Legenden-darstellung kann angepasst werden. Weitere Informationen hierzu siehe im Z88Aurora

Benutzerhandbuch. Mit einem Schieberegler kann die Verformung auch kontinuierlich skaliert werden.

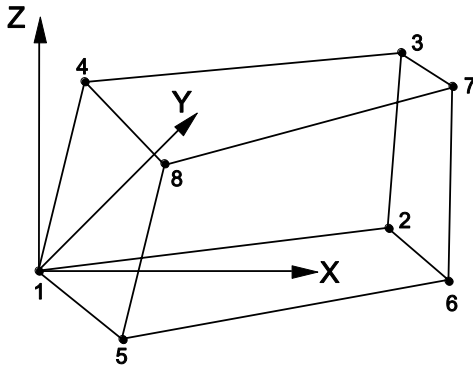
Das „Koordinatensystem“: OpenGL arbeitet mit einem *Clipping Volume*, d. h. mit einer Art Würfel, der durch X_{min} und X_{max} in horizontaler Richtung, durch Y_{min} und Y_{max} in vertikaler Richtung und Z_{min} (liegt zum Betrachter hin) und Z_{max} (zeigt vom Betrachter weg) definiert wird. Wenn Sie jetzt einen Körper zu stark zoomen oder zu sich heran schieben, dann wird der Bereich von Z_{min} überschritten und Teile der Struktur liegen außerhalb des Betrachtungsbereiches. Das können Sie einerseits sehr schön verwenden, um in eine Struktur hineinzublicken – auch, um die Spannungen im Inneren zu sehen! Wenn Sie das nicht wollen, verändern Sie den Wert von Z_{min} (Standardwert ist -100) zu kleineren Werten, z.B. zu -200: Menü "Ansicht" > "Z-Limit zum Betrachter".

Für weitere Informationen hinsichtlich der Benutzung und der Möglichkeiten des Post-processing, konsultieren Sie bitte das Z88Aurora Benutzerhandbuch.

5. BESCHREIBUNG DER FINITEN ELEMENTE

5.1 HEXAEDER NR.1 MIT 8 KNOTEN

Das Hexaeder-Element berechnet räumliche Spannungszustände mit linearen Formfunktionen. Es handelt sich um ein transformiertes Element, es kann also Keilform oder eine andere schiefwinklige Form haben. Die Transformation ist isoparametrisch, die Integration erfolgt numerisch in allen drei Achsen nach Gauß-Legendre. Daher ist die Integrationsordnung wählbar, 2 ist meist gut: Z88ENVIRO.DYN. Hexaeder Nr.1 ist auch gut als dickes Plattenelement einsetzbar, wenn die Plattendicke nicht zu klein gegenüber den anderen Abmessungen ist. Hexaeder Nr.1 können durch den Netzgenerator Z88N aus Superelementen Hexaeder Nr.10 und Hexaeder Nr.1 generiert werden.



CAD : (vgl. Kap. 4.1.4):
 obere Fläche: 1-2-3-4-1, Linie beenden
 untere Fläche: 5-6-7-8-4, Linie beenden
 1-5, Linie beenden
 2-6, Linie beenden
 3-7, Linie beenden
 4-8, Linie beenden

Z88STRUCTURE.TXT

> *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
 > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
 > Elementtyp ist 1
 > 8 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung *INTORD* für Verschiebungsberechnung. 2 ist meist gut
 > Integrationsordnung *INTOS* für Spannungsberechnung:
 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

> Radial/Tangentialspannungs-Flag *KDFLAG* beliebig, hat keinen Einfluss
 > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:
 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (*INTOS* ungleich 0!)

Ausgaben:

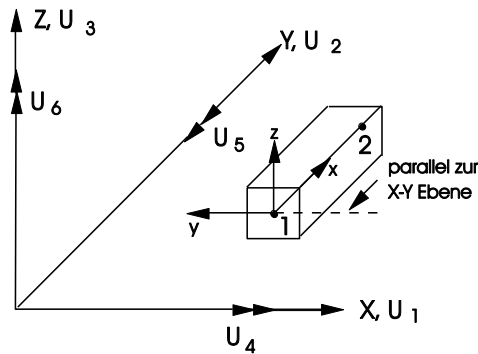
Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte.
 Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.2 BALKEN NR.2 MIT 2 KNOTEN IM RAUM

Räumliches Balkenelement mit beliebigem, aber symmetrischem Profil (keine schiefe Biegung) mit der Einschränkung, dass die lokale y-y Achse parallel zur globalen X-Y Ebene liegen muss. Die Profilwerte werden in der Oberfläche bereitgestellt. So wird im Gegensatz zu anderen FE-Programmen eine Vielfalt von unterschiedlichen Balken-Subroutinen vermieden, womit doch nicht alle denkbaren symmetrischen Profile erfasst werden können. Das Element ist im Rahmen der Bernoulli-Biegetheorie bzw. des Hookeschen Gesetzes exakt, es ist keine Näherungslösung wie bei den Kontinuumelementen.

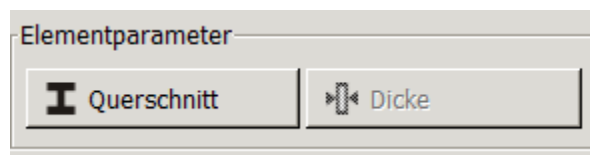


Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 6 Freiheitsgraden Achtung bei FG 5 (nicht Rechte-Hand-Regel), vgl. Skizze nächste Seite
- > Elementtyp ist 2
- > 2 Knoten pro Element



hier die Profilwerte eingeben

- > Querschnittsfläche QPARA
- > Biegeträgheitsmoment um yy- Achse I_{yy} [Double]
- > max. Randfaserabstand von yy-Achse e_{yy} [Double]
- > Biegeträgheitsmoment um zz- Achse I_{zz} [Double]
- > max. Randfaserabstand von zz-Achse e_{zz} [Double]
- > Torsionsträgheitsmoment I_T [Double]
- > Torsionswiderstandsmoment W_T [Double]

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung INTOS: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

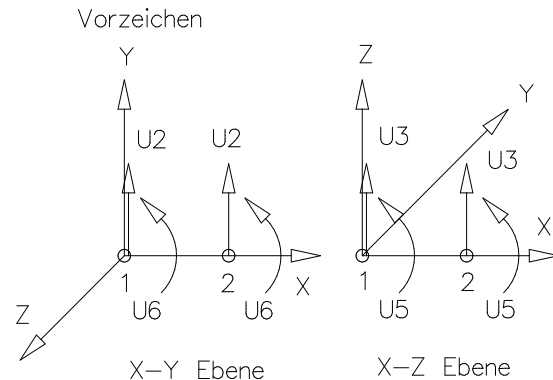
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z, Rotationen um X, Y und Z. Achtung bei FG 5 (nicht Rechte-Hand-Regel), vgl. Skizze unten

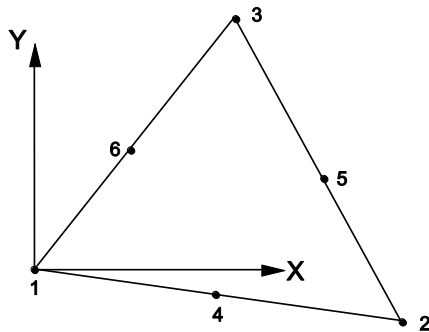
Spannungen: SIGXX,TAUXX: Normalspannung, Schubspannung, SIGZZ1,SIGZZ2: Biegespannung um z-z, 1. und 2. Knoten, SIGYY1,SIGYY2: Biegespannung um y-y, 1. und 2. Knoten

Knotenkräfte in X, Y, Z und Knotenmomente um X, Y, Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.



5.3 SCHEIBE NR.3 MIT 6 KNOTEN

Dies ist ein einfaches, dreieckiges Scheibenelement mit vollständigem quadratischem Ansatz. Dieses Element ist nur aus historischen Gründen und zu Studienzwecken enthalten. Viel besser sind Scheiben Nr. 7 oder Nr. 11 oder Nr. 14. Achtung bei Streckenlasten, Abbilden über Einzelkräfte. Keine Einträge in Flächenlastdatei Z88I5.TXT!

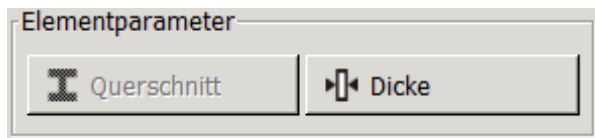


Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 3
- > 6 Knoten pro Element



hier die Elementdicke eingeben

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung INTOS: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG = 0 : Berechnung von SIGXX, SIGYY und TAUXY
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR, SIGTT und TAURT
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung von Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Elementschwerpunkten

Ausgaben:

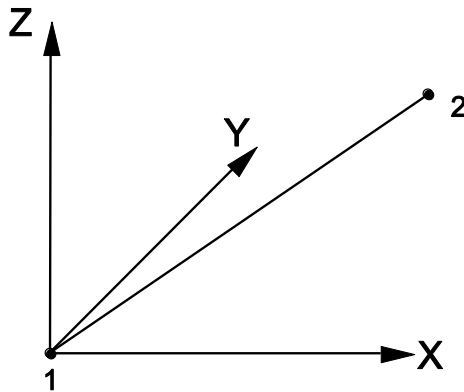
Verschiebungen in X und Y

Spannungen: Die Spannungen werden im Elementschwerpunkt berechnet. Die Schwerpunkts-Koordinaten werden daher ausgegeben. Bei KFLAG = 1 werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische Struktur vorliegt). Zur leichteren Orientierung werden der jeweilige Radius und Winkel des Schwerpunktes ausgewiesen. Optional Vergleichsspannungen in Elementschwerpunkten.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.4 STAB NR.4 IM RAUM

Das Stabelement Nr.4 kann eine beliebige Lage im Raum einnehmen. Es gehört zu den einfachsten Elementen in Z88 und wird extrem schnell berechnet. Die Stabelemente sind exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes. Sie sind auch als federnde oder schiefe Auflager sehr geeignet.

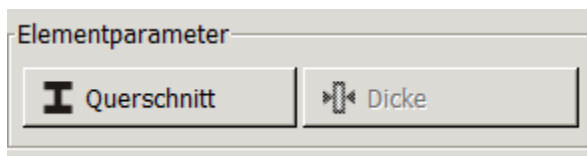


Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 4
- > 2 Knoten pro Element



hier die Profilwerte eingeben

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung INTOS: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Ausgaben:

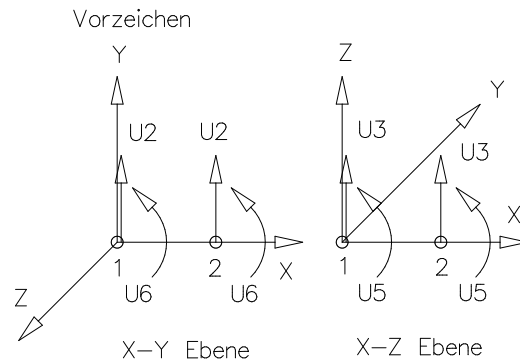
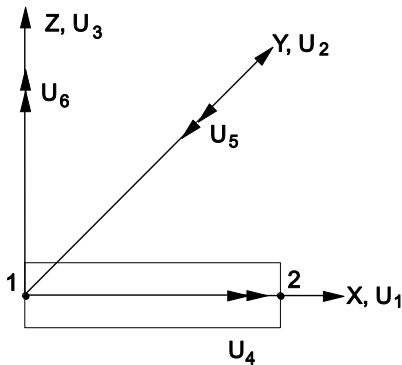
Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: Zug/Druckspannungen

Knotenkräfte in X, Y und Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.5 WELLE NR.5 MIT 2 KNOTEN

Das Wellenelement ist eine Vereinfachung des allgemeinen Balkenelementes Nr.2: Es wird von einem kreisförmigen Querschnitt ausgegangen, das Element liegt konzentrisch zur X-Achse, somit sind lokale und globale Koordinaten richtungsgleich. Dadurch werden Eingaben und Berechnungen stark vereinfacht. Wie beim Balkenelement sind die Ergebnisse im Rahmen der Bernoulli-Balkentheorie bzw. des Hookeschen Gesetzes exakt und keine Näherungslösungen wie bei den Kontinuumsselementen.

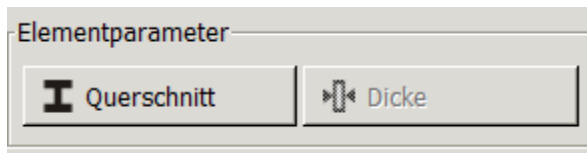


Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG auf 0 für Kartesische Koordinaten setzen
- > Knoten mit je 6 Freiheitsgraden. Achtung bei FG 5, vgl. Skizze
- > Elementtyp ist 5
- > 2 Knoten pro Element



hier den Durchmesser eingeben

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung INTOS: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Ausgaben:

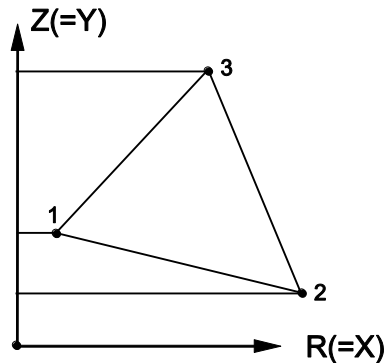
Verschiebungen in X, Y und Z, Rotationen um X, Y und Z, Achtung bei FG 5 (nicht Rechte-Hand-Regel), vgl. Skizze

Spannungen: SIGXX = Zug/Druckspannung, TAUXX = Torsionsspannung, SIGXY1, SIGXY2 = Biegespannung in X-Y Ebene, SIGXZ1, SIGXZ2 = Biegespannung in X-Z Ebene

Knotenkräfte in X, Y und Z, Knotenmomente um X, Y und Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.6 TORUS NR.6 MIT 3 KNOTEN

Dieses Element ist nur aus historischen Gründen, zu Studienzwecken und eventuellem Datenaustausch zu anderen FE-Systemen enthalten. Viel besser: Tori Nr.8 oder Nr.12 oder Nr.15.



Eingabewerte:

CAD : 1-2-3-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > Es werden grundsätzlich Zylinderkoordinaten erwartet: *KFLAG* muss 0 sein!
 - R*-Koordinate (= *X*), immer positiv
 - Z*-Koordinate (= *Y*), immer positiv
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden, *R* und *Z* (= *X* und *Y*).
- > Elementtyp ist 6
- > 3 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung *INTORD*: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung *INTOS*: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag *KDFLAG*: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:
 - 0 = keine Vergleichsspannungsberechnung
 - 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH, gemittelt im Elementschwerpunkt

Ausgaben:

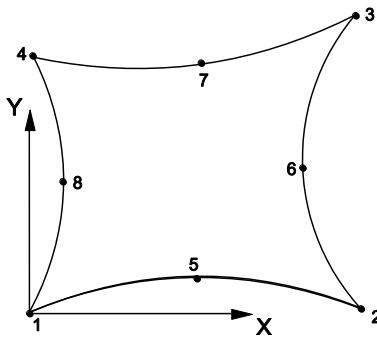
Verschiebungen in *R* und *Z* (= *X* und *Y*)

Spannungen: Die Spannungen werden gemittelt aus Eckknoten in den Element-Schwerpunkten ausgegeben. Es ist: *SIGRR* = Spannung in *R*-Richtung = Radialspannung (= *X*-Richtung), *SIGZZ* = Spannung in *Z*-Richtung (= *Y*-Richtung), *TAURZ* = Schubspannung in *RZ*-Ebene (= *XY*-Ebene), *SIGTE* = Spannung in Umfangsrichtung = Tangentialspannung. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.7 SCHEIBE NR.7 MIT 8 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Scheibenelement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element sehr genau. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Achtung bei Streckenlasten über Einzelkräfte. Scheiben Nr.7 können durch den Netzgenerator Z88N aus Superelementen Scheibe Nr.7 oder Nr.11 generiert werden. Scheibe Nr.7 ist also superelementgeeignet.

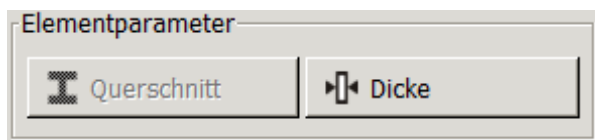


Eingabewerte:

CAD : 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 7
- > 8 Knoten pro Element



hier die Elementdicke eingeben

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KFLAG = 0 : Berechnung von SIGXX, SIGYY und TAUXY
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KFLAG = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR, SIGTT und TAURT
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

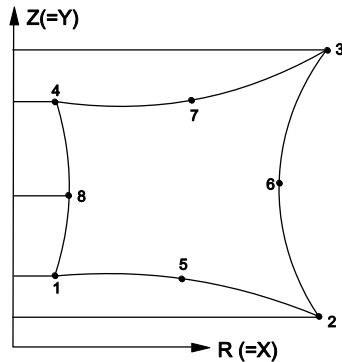
Verschiebungen in X und Y

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Bei KFLAG = 1 werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische Struktur vorliegt). Zur leichten Orientierung werden der jeweilige Radius und Winkel der Knoten/Punkte ausgewiesen. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.8 TORUS NR.8 MIT 8 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Toruselement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element sehr genau. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Das Element kann mit Torus Nr.15 kombiniert werden. Tori Nr.8 können durch den Netzgenerator Z88N aus Superelementen Torus Nr.8 oder Nr.12 generiert werden. Torus Nr.8 ist also superelementgeeignet.



Eingabewerte:

CAD : 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > Es werden grundsätzlich Zylinderkoordinaten erwartet: KFLAG muss 0 sein!
 R-Koordinate (= X), immer positiv
 Z-Koordinate (= Y), immer positiv
- > IQFLAG=1, wenn Eingabe von Streckenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden, R und Z (= X und Y).
- > Elementtyp ist 8
- > 8 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG : keine Bedeutung
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

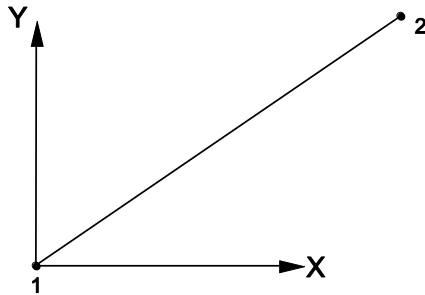
Verschiebungen in R und Z (= X und Y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es ist: SIGRR = Spannung in R-Richtung = Radialspannung (= X-Richtung), SIGZZ = Spannung in Z-Richtung (= Y-Richtung), TAURZ = Schubspannung in RZ-Ebene (= XY-Ebene), SIGTE = Spannung in Umfangsrichtung = Tangentialspannung. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.9 STAB NR.9 IN DER EBENE

Das Stabelement Nr.9 kann eine beliebige Lage in der Ebene einnehmen. Es ist das einfachste Element in Z88 und wird extrem schnell berechnet. Die Stabelemente sind exakt im Rahmen des Hookeschen Gesetzes. Sie sind auch als federnde oder schiefe Auflager sehr geeignet.

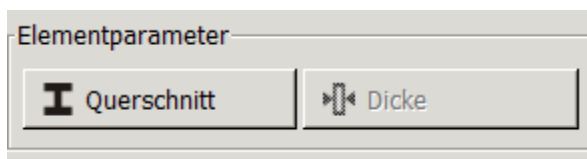


Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 9
- > 2 Knoten pro Element



Querschnittsfläche des Stabes hier eingeben

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung *INTORD*: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung *INTOS*: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag *KDFLAG*: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*: gleichgültig, hat keinen Einfluss

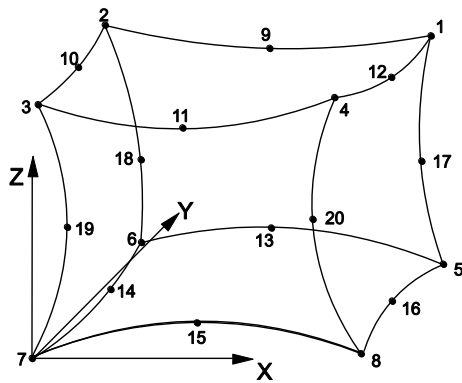
Ausgaben:

Verschiebungen in X und Y

Spannungen: Zug/Druckspannungen

Knotenkräfte in X und Y, elementweise und knotenweise aufaddiert

5.10 HEXAEDER NR.10 MIT 20 KNOTEN



Dies ist ein krummliniges Serendipity-Volumenelement mit quadratischem Ansatz; die Integration erfolgt numerisch in allen drei Achsen nach Gauß-Legendre. Daher ist die Integrationsordnung in Z88ENVIRO.DYN vorzuwählen. Die Ordnung 3 ist gut. Die Güte der Verschiebungs- und der Spannungsberechnungen ist weitaus besser als die des Hexaederelementes Nr.1. Hexaeder Nr.10 ist auch gut als dickes Plattenelement einsetzbar, wenn die Plattendicke nicht zu klein gegenüber den anderen Abmessungen ist.

Das Element bedingt einen enormen Rechenaufwand und benötigt extrem viel Speicher, da die Elementsteifigkeitsmatrizen die Ordnung 60×60 haben – aber es ist das präziseste Element für räumliche Continua!

Die Knoten-Nummerierungen des Elements Nr.10 müssen sorgfältig (genau nach Skizze) vorgenommen werden. Lage des Achsensystems beachten! Die eventuelle Fehlermeldung "Jacobi-Determinante Null oder negativ" ist ein Hinweis für nicht korrekte Knoten- Nummerierung.

Hexaeder Nr.10 können durch den Netzgenerator Z88N aus Superelementen Hexaeder Nr.10 generiert werden. Hexaeder Nr.10 ist also superelementgeeignet. Ferner kann Superelement Hexaeder Nr.10 Finite Elemente Hexaeder Nr.1 erzeugen.

Eingabewerte:

CAD : (vgl. Kap. 4.1.4):

obere Fläche: 1-9-2-10-3-11-4-12-1, Linie beenden

untere Fläche: 5-13-6-14-7-15-8-16-5, Linie beenden

1-17-5, Linie beenden

2-18-6, Linie beenden

3-19-7, Linie beenden

4-20-8, Linie beenden

Z88STRUCTURE.TXT

> **KFLAG** für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)

> **IQFLAG=1**, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT

> **Knoten mit je 3 Freiheitsgraden**

> **Elementtyp ist 10**

> **20 Knoten pro Element**

Z88ENVIRO.DYN

> **Integrationsordnung INTORD** für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut

> **Integrationsordnung INTOS** für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

> **Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG** beliebig, hat keinen Einfluss

> **Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:**

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

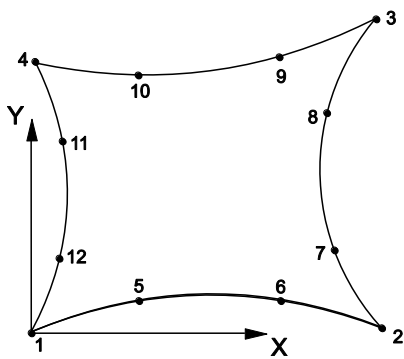
Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte.

Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.11 SCHEIBE NR.11 MIT 12 KNOTEN



Dies ist ein krummliniges Serendipity-Scheibenelement mit kubischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element ausgezeichnet. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Das Element ist durch seine 24×24 Elementsteifigkeitsmatrizen sehr speicherintensiv.

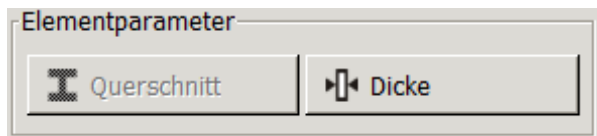
Scheibe Nr.11 ist superelementgeeignet und kann Finite Elemente Scheibe Nr.7 erzeugen. Scheiben Nr.11 selbst können nicht durch Z88N generiert werden.

Eingabewerte:

CAD : 1-5-6-2-7-8-3-9-10-4-11-12-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 11
- > 12 Knoten pro Element



hier die Elementdicke eingeben

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KFLAG = 0 : Berechnung von SIGXX, SIGYY und TAUXY
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KFLAG = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR, SIGTT und TAURT
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

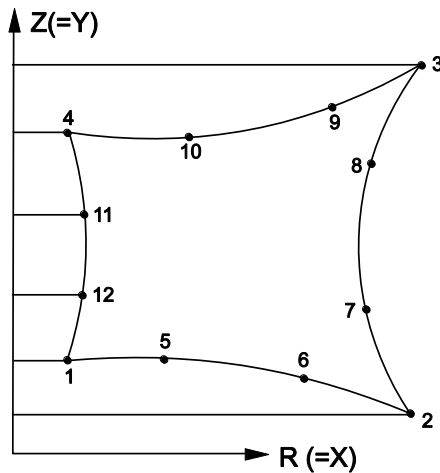
Verschiebungen in X und Y

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Bei KFLAG = 1 werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische Struktur vorliegt). Zur leichteren Orientierung werden der jeweilige Radius und Winkel der Knoten/Punkte ausgewiesen. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.12 TORUS NR.12 MIT 12 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Toruselement mit kubischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element ausgezeichnet. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Das Element ist durch seine 24×24 Elementsteifigkeitsmatrizen sehr speicherintensiv. Torus Nr.12 ist superelementgeeignet und kann Finite Elemente Torus Nr.8 erzeugen. Tori Nr.12 selbst können nicht durch Z88N generiert werden.



Eingabewerte:

CAD : 1-5-6-2-7-8-3-9-10-4-11-12-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > Es werden grundsätzlich Zylinderkoordinaten erwartet: KFLAG muss 0 sein!
 R-Koordinate (= X), immer positiv
 Z-Koordinate (= Y), immer positiv
- > IQFLAG=1, wenn Eingabe von Streckenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden, R und Z (= X und Y).
- > Elementtyp ist 12
- > 12 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG : keine Bedeutung
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

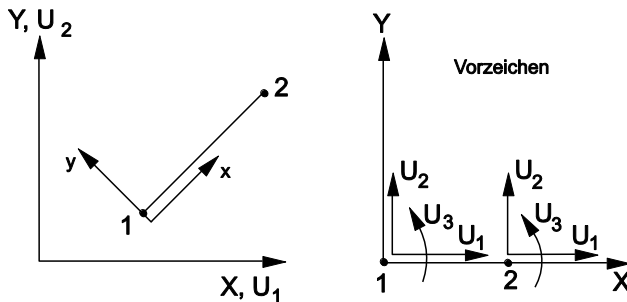
Verschiebungen in R und Z (= X und Y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es ist: SIGRR = Spannung in R-Richtung = Radialspannung (= X-Richtung), SIGZZ = Spannung in Z-Richtung (= Y-Richtung), TAURZ = Schubspannung in RZ-Ebene (= XY-Ebene), SIGTE = Spannung in Umfangsrichtung = Tangentialspannung. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.13 BALKEN NR.13 IN DER EBENE

Ebenes Balkenelement mit beliebigem, aber symmetrischem Profil. Die Profilwerte werden in der Oberfläche bereitgestellt. So wird im Gegensatz zu anderen FE-Programmen eine Vielfalt von unterschiedlichen Balken-Subroutinen vermieden, womit doch nicht alle denkbaren symmetrischen Profile erfasst werden können. Das Element ist im Rahmen der Bernoulli-Biegetheorie bzw. des Hookeschen Gesetzes exakt, keine Näherungslösung wie bei den Kontinuums-Elementen.

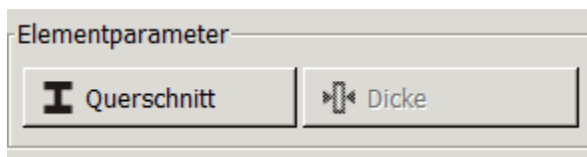


Eingabewerte:

CAD: Linie von 1 nach 2, vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 13
- > 2 Knoten pro Element



Profilwerte in der Oberfläche eingeben

- > Querschnittsfläche QPARA
- > Biege-Trägheitsmoment RIYY um y-y Achse 0 einsetzen
- > max. Randfaserabstand EYY von y-y Achse 0 einsetzen
- > Biege-Trägheitsmoment RIZZ um z-z Achse: Wert
- > max. Randfaserabstand EZZ von z-z Achse: Wert
- > Torsions-Trägheitsmoment RIT : 0 einsetzen
- > Torsions-Widerstandsmoment WT : 0 einsetzen

Ausgaben:

Verschiebungen in X und Y, Rotationen um Z

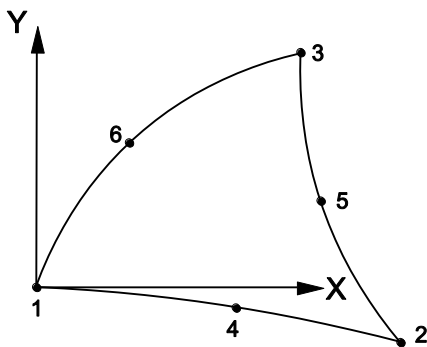
Spannungen: SIGXX,TAUXX: Normalspannung, Schubspannung SIGZZ1,SIGZZ2: Biegespannung um z-z, 1. und 2.Knoten

Knotenkräfte in X, Y und Knotenmomente um Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.14 SCHEIBE NR.14 MIT 6 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Scheibenelement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 7 ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element recht genau. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden.

Dieses Element ist für den Datenaustausch mit Auto-Vernetzern von z.B. dem 3D-CAD System Pro/ENGINEER von Parametric Technology vorgesehen; eine Netzgenerierung mit Z88N ist nicht implementiert, weil nicht nötig. Hier stehen die Scheiben Nr.7 zur Verfügung. Da Scheibe Nr.7 prinzipbedingt genauer rechnet als die krummlinige Dreiecksscheibe Nr.14, sollte Scheibe Nr.7 bevorzugt verwendet werden.

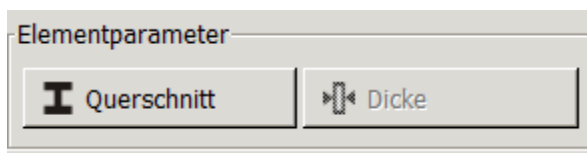


Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 14
- > 6 Knoten pro Element



Elementdicke in der Oberfläche

Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung INTORD. 7 ist meist gut. Möglich sind: 3 für drei Integrationsstützpunkte sowie 7 und 13 für 7 bzw. 13 Integrationsstützpunkte. Damit sich dieses Element mit Scheiben Nr.7, z.B. via Pro/ENGINEER, kombinieren lässt, wird automatisch intern in der Routine ISOD88 gesetzt:

Integrationsordnung 1 oder 2: 3 Gauß-Punkte

Integrationsordnung 4: 7 Gauß-Punkte

Beispiel: INTORD ist 2 gesetzt: Damit werden für Scheiben Nr.7 $2 \times 2 = 4$ Gauß-Punkte und für Scheiben Nr.14 dann 3 Gauß-Punkte zum Integrieren angesetzt.

> Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte). Hier gilt Sinngemäßes wie für INTORD.

Z88CONTROL.TXT

> Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG = 0 : Berechnung von SIGXX, SIGYY und TAUXY

> Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR, SIGTT und TAURT

> Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in X und Y

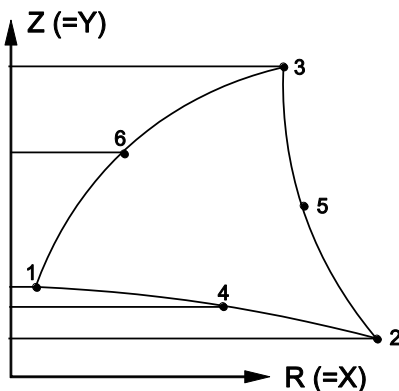
Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Bei $KFLAG = 1$ werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische Struktur vorliegt). Zur leichteren Orientierung werden der jeweilige Radius und Winkel der Knoten/Punkte ausgewiesen. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.15 TORUS NR.15 MIT 6 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Toruselement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 7 ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element sehr genau. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden.

Dieses Element ist für den Datenaustausch mit Auto-Vernetzern von z.B. dem 3D-CAD System Pro/ENGINEER von Parametric Technology vorgesehen; eine Netzgenerierung mit Z88N ist nicht implementiert, weil nicht nötig. Hier stehen die Tori Nr.8 zur Verfügung. Da Torus Nr.8 prinzipbedingt genauer rechnet als der krummlinige Dreieckstorus Nr.15, sollte Torus Nr.8 bevorzugt verwendet werden.



Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

> Es werden grundsätzlich Zylinderkoordinaten erwartet: *KFLAG* muss 0 sein!

R-Koordinate (= X), immer positiv

Z-Koordinate (= Y), immer positiv

> Knoten mit je 2 Freiheitsgraden, *R* und *Z* (= X und Y).

> Elementtyp ist 15

> 6 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung INTORD. 7 ist meist gut. Möglich sind: 3 für drei Integrationsstützpunkte sowie 7 und 13 für 7 bzw. 13 Integrationsstützpunkte. Damit sich dieses Element mit Torus Nr.8, z.B. via Pro/ENGINEER, kombinieren lässt, wird automatisch intern in der Routine ISOD88 gesetzt:

Integrationsordnung 1 oder 2: 3 Gauß-Punkte

Integrationsordnung 4: 7 Gauß-Punkte

Beispiel: INTORD ist 2 gesetzt: Damit werden für Tori Nr.8 $2 \times 2 = 4$ Gauß-Punkte und für Tori Nr.15 dann 3 Gauß-Punkte zum Integrieren angesetzt.

> Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte). Hier gilt Sinngemäßes wie für INTORD.

Z88CONTROL.TXT

> Radial/Tangentialspannungs-Flag *KDFLAG* : keine Bedeutung

> Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in R und Z (= X und Y)

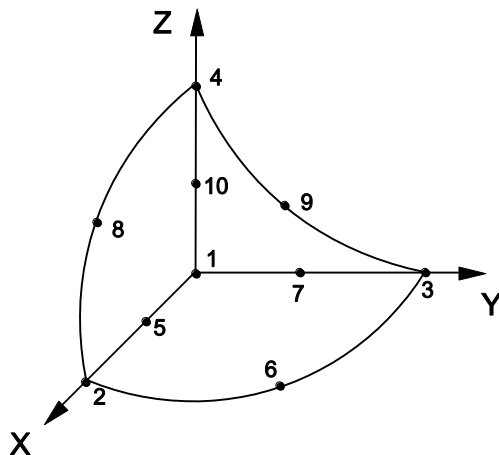
Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es ist: SIGRR = Spannung in R-Richtung = Radialspannung (= X-Richtung), SIGZZ = Spannung in Z-Richtung (= Y-Richtung), TAURZ = Schubspannung in RZ-Ebene (= XY-Ebene), SIGTE = Spannung in Umfangsrichtung = Tangentialspannung. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.16 TETRAEDER NR.16 MIT 10 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Volumenelement mit quadratischem Ansatz; die Integration erfolgt numerisch in allen drei Achsen nach Gauß-Legendre. Daher ist die Integrationsordnung in Z88ENVIRO.DYN vorzuwählen. Die Ordnung 4 ist gut. Die Güte der Verschiebungs- und der Spannungsberechnungen ist weitaus besser als die des Tetraederelementes Nr.17, jedoch spürbar schlechter als die des Hexaederelementes Nr.10.

Tetraeder Nr.16 ist auch gut als dickes Plattenelement einsetzbar, wenn die Plattendicke nicht zu klein gegenüber den anderen Abmessungen ist. Das Element bedingt einen großen Rechenaufwand und benötigt viel Speicher, da die Elementsteifigkeitsmatrizen die Ordnung 30×30 haben.



Die Knoten-Nummerierungen des Elements Nr.16 müssen sorgfältig (genau nach Skizze) vorgenommen werden. Lage des Achsensystems beachten! Die eventuelle Fehlermeldung "Jacobi-Determinante Null oder negativ" ist ein Hinweis für nicht korrekte Knoten- Nummerierung.

Tetraeder Nr.16 können nicht durch den Netzgenerator Z88N generiert werden. Ein DXF- Austausch mit Z88X ist zwar realisiert, aber Tetraederelemente sind aufgrund ihrer eigenwilligen Geometrie sehr schwer "von Hand" im Raum platzierbar. Achtung: Oft generieren die Auto-Vernetzer von CAD-Systemen sehr ungünstige Element- und Knoten-Nummerierungen, wodurch der Speicherbedarf für Z88R (Einstellung Cholesky-Solver) völlig nutzloserweise stark erhöht wird. Ein Umnummerieren kann sehr sinnvoll sein. Oder besser gleich mit einem der Sparse-Solver (SICCG, SORCG, Pardiso) arbeiten.

Eingabewerte:**Z88STRUCTURE.TXT**

> *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)

> Knoten mit je 3 Freiheitsgraden

> Elementtyp ist 16

> 10 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 4 ist meist gut. Zulässig sind 1 für einen Integrationsstützpunkt und 4 und 5 für 4 bzw. 5 Integrationsstützpunkte.

> Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

1,4,5 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 4 = 4 Gauß-Punkte)

Z88CONTROL.TXT

> Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss

> Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert

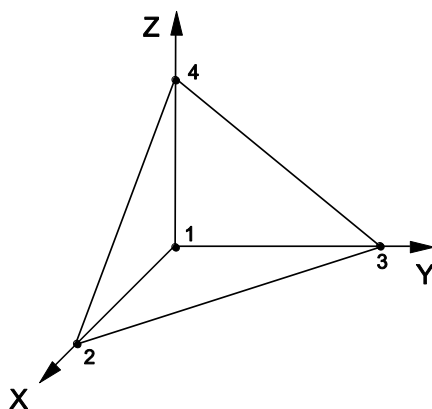
5.17 TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN

Das Tetraeder-Element berechnet räumliche Spannungszustände. Die Transformation ist isoparametrisch, die Integration erfolgt numerisch in allen drei Achsen nach Gauß-Legendre. Daher ist die Integrationsordnung in Z88ENVIRO.DYN vorzuzählen. Die Ordnung 1 ist i.a. ausreichend.

Tetraeder Nr.17 ist auch gut als dickes Plattenelement einsetzbar, wenn die Plattendicke nicht zu klein gegenüber den anderen Abmessungen ist.

Insgesamt betrachtet ist die Rechengenauigkeit von Tetraeder Nr.17 schlecht. Es sind extrem feine Netze nötig, um brauchbare Resultate zu erhalten. Wenn immer möglich, sollte mit Tetraedern Nr.16, Hexaedern Nr.1 und (am besten) mit Hexaedern Nr.10 gearbeitet werden.

Tetraeder Nr.17 können nicht durch den Netzgenerator Z88N generiert werden. Ein DXF- Austausch mit Z88X ist zwar realisiert, aber Tetraederelemente sind aufgrund ihrer eigenwilligen Geometrie sehr schwer "von Hand" im Raum platzierbar. Achtung: Oft generieren die Auto-Vernetzer von CAD-Systemen sehr ungünstige Element- und Knoten-Nummerierungen, wodurch der Speicherbedarf für Z88R (Einstellung Cholesky-Solver) völlig nutzloserweise stark erhöht wird. Ein Umnummerieren kann sehr sinnvoll sein. Oder besser gleich mit einem der Sparse-Solver (SICCG, SORCG, Pardiso) arbeiten.



Eingabewerte:

Z88STRUCTURE.TXT

> KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)

> Knoten mit je 3 Freiheitsgraden

> Elementtyp ist 17

> 4 Knoten pro Element

Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung *INTORD* für Verschiebungsberechnung. 1 ist meist gut. Zulässig sind 1 für einen Integrationsstützpunkt und 4 und 5 für 4 bzw. 5 Integrationsstützpunkte.

> Integrationsordnung *INTOS* für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

1,4,5 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 4 = 4 Gauß-Punkte)

Z88CONTROL.TXT

> Radial/Tangentialspannungs-Flag *KDFLAG* beliebig, hat keinen Einfluss

> Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (*INTOS* ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z

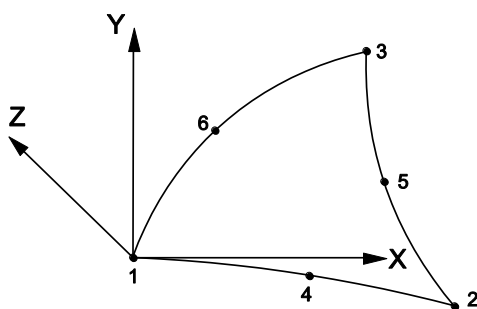
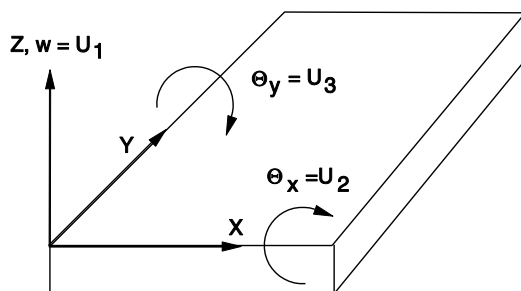
Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert.

5.18 PLATTE NR.18 MIT 6 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Reissner-Mindlin Plattenelement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in *Z88ENVIRO.DYN* gewählt, der Grad 3 (also 3 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet (reduzierte Integration). Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element recht ordentlich. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Für dieses Element das Plattenflag *IPFLAG* in *Z88CONTROL.TXT* zu 1 setzen. Achtung: Im Gegensatz zu den üblichen Definitionen der Technischen Mechanik ist hier θ_x die Rotation bzw. Neigung um die X-Achse und θ_y die Rotation um die Y-Achse.

Dieses Element ist für den Datenaustausch mit Auto-Vernetzern von z.B. dem 3D-CAD System *Pro/ENGINEER* von *Parametric Technology* vorgesehen; eine Netzgenerierung mit *Z88N* ist nicht implementiert, weil nicht nötig. Hier stehen die Platten Nr.20 zur Verfügung. Da Platten Nr.20 prinzipbedingt genauer rechnen als die krummlinigen Dreiecksplatten Nr.18, sollten bevorzugt Platten Nr.20 verwendet werden.

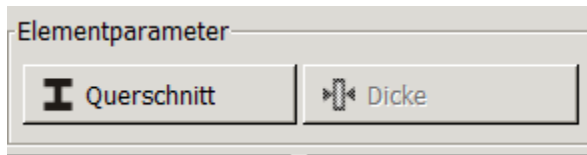


Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden (w, θ_x, θ_y)
- > Elementtyp ist 18
- > 6 Knoten pro Element



Elementdicke in der Oberfläche

Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut. Möglich sind: 3 für drei Integrationsstützpunkte sowie 7 und 13 für 7 bzw. 13 Integrationsstützpunkte. Damit sich dieses Element mit Platte Nr.20, z.B. via Pro/ENGINEER, kombinieren lässt, wird automatisch intern in der Routine SPLA88 gesetzt:

Integrationsordnung 1 oder 2: 3 Gauß-Punkte

Integrationsordnung 4: 7 Gauß-Punkte

Beispiel: Ist INTORD zu 2 gesetzt: Damit werden für Platten Nr.20 $2 \times 2 = 4$ Gauß-Punkte und für Platten Nr.18 dann 3 Gauß-Punkte zum Integrieren angesetzt.

> Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte). Hier gilt Sinngemäßes wie für INTORD.

Z88CONTROL.TXT

> Plattenflag IPFLAG zu 1 setzen (bzw. 2 zum Dämpfen des Schubeinflusses)

> Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss

> Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in Z (w) und Rotationen (Neigungen) um X- und Y-Achse (θ_x und θ_y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es werden die

Plattenbiegemomente M_{xx} und M_{yy} (Einheit: Kraft \times Länge / Länge)

Plattentorsionsmomente $M_{xy} = M_{yx}$ (Einheit: Kraft \times Länge / Länge)

die Querkkräfte Q_{yz} und Q_{zx} (Einheit: Kraft / Länge)

die echten Spannungen, die aus den Plattenmomenten und Querkkräften resultieren ausgegeben. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

5.19 PLATTE NR.19 MIT 16 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Lagrange-Reissner-Mindlin Plattenelement mit vollständigem kubischen Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 4 (also 4×4 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element sehr genau. Der Eingabeaufwand ist erheblich, das Netz am besten vom Netzgenerator Z88N erzeugen lassen.

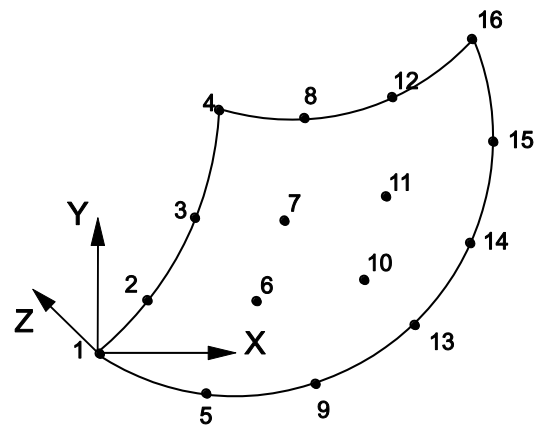
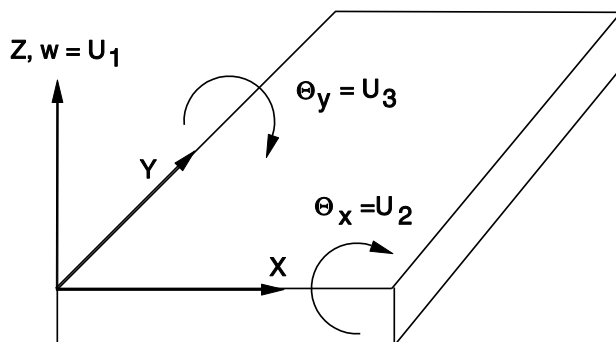
Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Für dieses Element das Plattenflag IPFLAG in **Z88CONTROL.TXT** zu 1 setzen. Achtung: Im Gegensatz zu den üblichen Definitionen der Technischen Mechanik ist hier θ_x die Rotation bzw. Neigung um die X- Achse und θ_y die Rotation um die Y- Achse.

Netzgenerierung mit Z88N: Als Superelemente werden pro-forma Platten Nr.20 verwendet, daraus können mit Z88N dann finite Elemente vom Typ 19 generiert werden (Platten Nr.20 können per AutoCAD bzw. Pro/ENGINEER generiert werden, vgl. die Beschreibungen von Z88X und Z88G). Etwas tricky, aber wirkungsvoll.

Hier als Beispiel ein Ausschnitt aus einer Netzgenerator- Eingabedatei Z88NI.TXT:

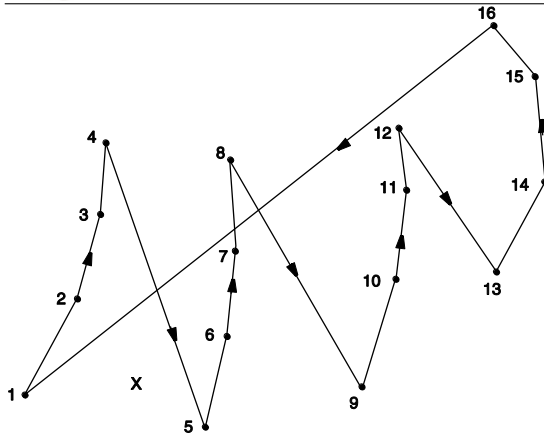
```
5  20      Superelement 5 vom Typ 20
20 25 27 22 24 26 28 21
```

```
5  19      erzeuge aus dem Superelement 5 (das vom Typ 20 ist, siehe oben) Finite Elemente vom Typ
           19
3 E  3 E    ... und unterteile sie 3-mal äquidistant in X- Richtung und 3-mal äquidistant in Y- Richtung
```



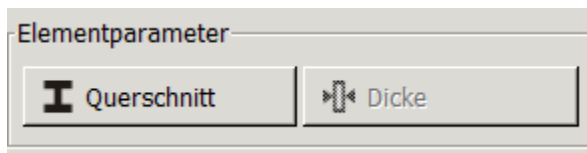
Eingabewerte:

CAD : 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-1 , vgl. Kap. 4.1.4. Üblicherweise werden Sie das nicht machen, sondern ein viel einfacheres Superelemente- Netz aus 8-Knoten Platten Nr.20 konstruieren, dieses von Z88X als Netzgenerator- File Z88NI.TXT ausgeben lassen und dann mit dem Netzgenerator Z88N das eigentliche FE- Netz Z88STRUCTURE.TXT mit Elementen vom Typ 19 generieren lassen.



Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden (w , θ_x , θ_y)
- > Elementtyp ist 19
- > 16 Knoten pro Element



Elementdicke in der Oberfläche

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 4 ist meist gut.
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > Plattenflag IPFLAG zu 1 setzen (bzw. 2 zum Dämpfen des Schubeinflusses)
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in Z (w) und **Rotationen** (Neigungen) um X- und Y-Achse (θ_x u. θ_y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es werden die

Plattenbiegemomente M_{xx} und M_{yy} (Einheit: Kraft \times Länge / Länge),

Plattentorsionsmomente $M_{xy} = M_{yx}$ (Einheit: Kraft \times Länge / Länge),

die Querkkräfte Q_{yz} und Q_{zx} (Einheit: Kraft / Länge) und

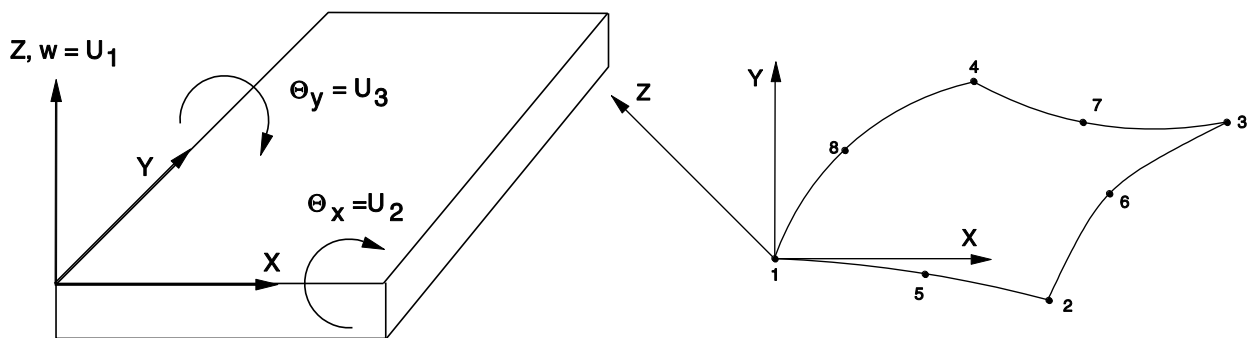
die echten Spannungen, die aus den Plattenmomenten und Querkkräften resultieren ausgegeben. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

5.20 PLATTE NR.20 MIT 8 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Reissner-Mindlin Plattenelement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 2 (also 2×2 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet (reduzierte Integration). Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element recht ordentlich. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Für dieses Element das Plattenflag IPFLAG in **Z88CONTROL.TXT** zu 1 setzen. Achtung: Im Gegensatz zu den üblichen Definitionen der Technischen Mechanik ist hier θ_x die Rotation bzw. Neigung um die X- Achse und θ_y die Rotation um die Y- Achse.

Dieses Element ist für den Datenaustausch mit Auto-Vernetzern von z.B. dem 3D-CAD System Pro/ENGINEER von Parametric Technology vorgesehen, und eine Netzgenerierung mit Z88N ist möglich. Hier kann es nicht nur Finite Elemente Nr.20 erzeugen, sondern auch Finite Elemente Nr.19 mit 16 Knoten.

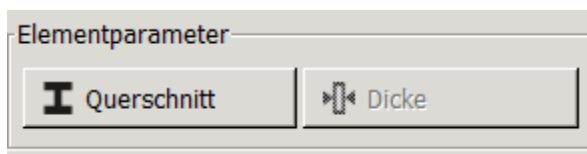


Eingabewerte:

CAD : 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden (w , θ_x , θ_y)
- > Elementtyp ist 20
- > 8 Knoten pro Element



Elementdicke in der Oberfläche

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 2 ist meist gut.
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > Plattenflag IPFLAG zu 1 setzen (bzw. 2 zum Dämpfen des Schubeinflusses)
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in Z (w) und **Rotationen** (Neigungen) um X- und Y-Achse (θ_x u. θ_y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es werden die

Plattenbiegemomente M_{xx} und M_{yy} (Einheit: Kraft \times Länge / Länge),

Plattentorsionsmomente $M_{xy} = M_{yx}$ (Einheit: Kraft \times Länge / Länge),

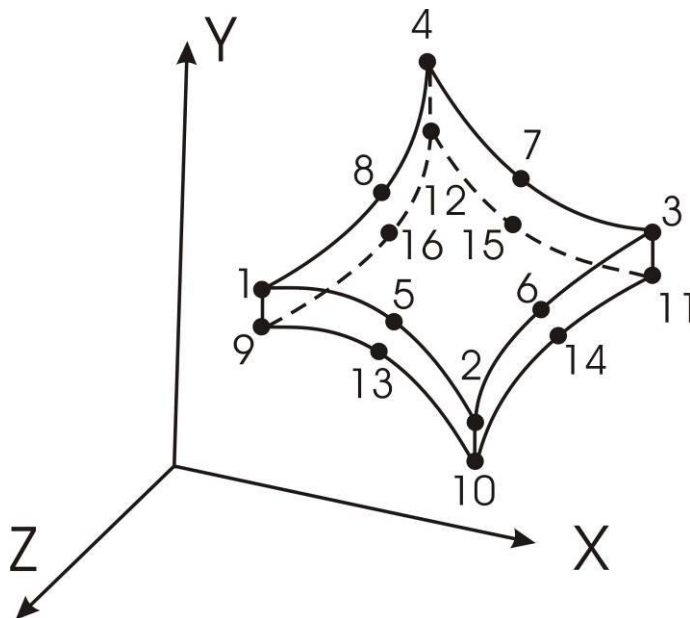
die Querkräfte Q_{yz} und Q_{zx} (Einheit: Kraft / Länge) und

die echten Spannungen, die aus den Plattenmomenten und Querkraften resultieren ausgegeben. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

5.21 SCHALE NR.21 MIT 16 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Volumenschalenelement. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Das Element kann beliebig gekrümmt sein; es ist eigentlich ein Hexaeder, der in den Flächenebenen einen quadratischen Ansatz und in der Tiefenrichtung einen linearen Ansatz hat. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 (also 3×3 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element sehr genau. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden.



Die drei Freiheitsgrade sind die globalen Verschiebungen in X, Y und Z. Rotationsfreiheitsgrade gibt es nicht, da es ein Volumenelement ist. Das Element kann vom Netzgenerator Z88N erzeugt werden: Typ 21 \rightarrow Typ 21.

Eingabewerte:

CAD : obere Ebene: 1-5-2-6-3-7-4-8-1; untere Ebene: 9-13-10-14-11-15-12-16-9;

Linien: 1-9; 2-10; 3-11; 4-12, vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

> KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)

> Knoten mit je 3 Freiheitsgraden

> Elementtyp ist 21

> 16 Knoten pro Element

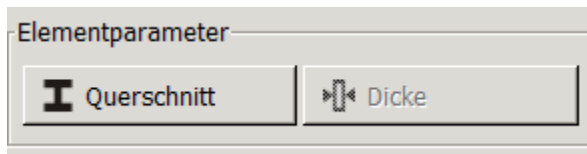
Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut.

> Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten



Elementdicke in der Oberfläche

Z88CONTROL.TXT

> *Radial/Tangentialspannungs-Flag* *KDFLAG* beliebig, hat keinen Einfluss

> *Vergleichsspannungs-Flag* *ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

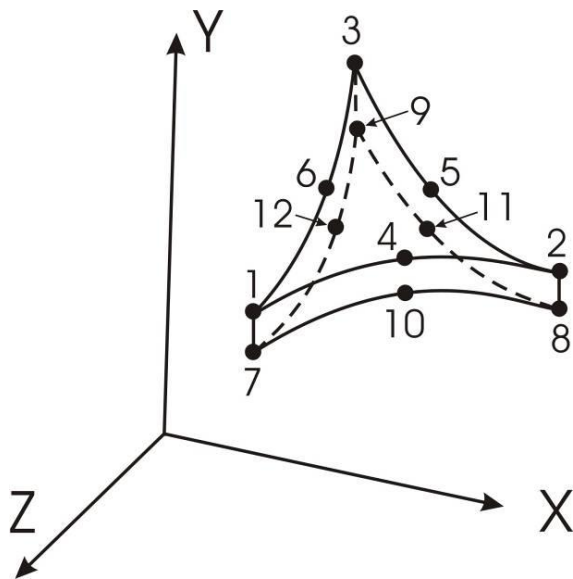
Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert

5.22 SCHALE NR.22 MIT 12 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Volumenschalenelement. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Das Element kann beliebig gekrümmt sein; es ist eigentlich ein Art Tortenstück, der in den Flächenebenen einen quadratischen Ansatz und in der Tiefenrichtung einen linearen Ansatz hat. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 (also 3×3 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element sehr genau. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden.



Die drei Freiheitsgrade sind die globalen Verschiebungen in X, Y und Z. Rotationsfreiheitsgrade gibt es nicht, da es ein Volumenelement ist.

Eingabewerte:

CAD : obere Ebene: 1-4-2-5-3-6-1; untere Ebene: 7-10-8-11-9-12-7;

Linien: 1-7; 2-8; 3-9; vgl. Kap. 3.2.7

Z88STRUCTURE.TXT

> *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)

> *Knoten mit je 3 Freiheitsgraden*

> *Elementtyp ist 22*

> 12 Knoten pro Element

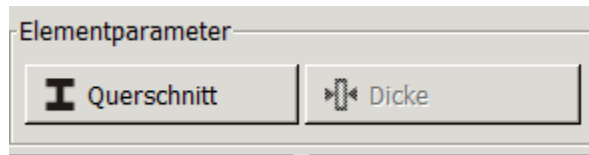
Z88ENVIRO.DYN

> Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3, 7 und 13 sind möglich; 7 ist meist gut.

> Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte).



Elementdicke in der Oberfläche

Z88CONTROL.TXT

> Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss

> Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

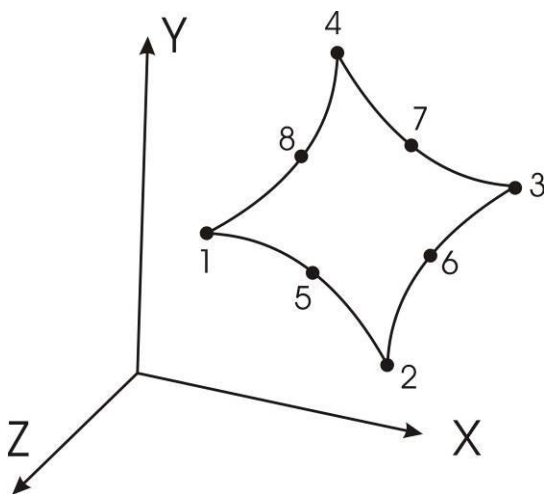
Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUZY, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert

5.23 SCHALE NR.23 MIT 8 KNOTEN

Dies ist ein krummliniges Serendipity-Schalenelement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Alle Knoten müssen auf einer gemeinsamen, aber beliebig im Raum platzierten Ebene liegen – was für den Datenaustausch mit 3D-CAD-Systemen sehr praktisch ist. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 3 (also 3×3 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element recht ordentlich. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Für dieses Element das Schalenflag IHFLAG in Z88CONTROL.TXT zu 0 oder 1 setzen, bei dünnen Schalen setzt man IHFLAG zu 2 oder 3, bei *sehr* dünnen Schalen zu 4.



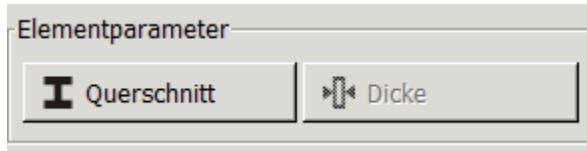
Die ersten drei Freiheitsgrade sind die globalen Verschiebungen in X, Y und Z, die Freiheitsgrade 4 und 5 sind die *globalen* Verdrehungen am jeweiligen Knoten (daher wenig brauchbar); der Freiheitsgrad 6 ist ein Pseudo-Freiheitsgrad, der keine praktische Bedeutung hat. Praktisch brauchbar und interessant sind lediglich die globalen Verschiebungen in X, Y und Z – und die reichen auch für die Praxis!

Eingabewerte:

CAD : 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 3.2.7

Z88STRUCTURE.TXT

- > *KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)*
- > *Knoten mit je 6 Freiheitsgraden*
- > *Elementtyp ist 23*
- > *8 Knoten pro Element*



Elementdicke in der Oberfläche

Z88ENVIRO.DYN

- > *Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3 ist meist gut.*
- > *Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:*
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten

Z88CONTROL.TXT

- > *Schalenflag IHFLAG zu 0 oder 1 setzen, bzw. 2 oder 3 bei dünnen, 4 bei sehr dünnen Schalen.*
- > *Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss*
- > *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:*
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

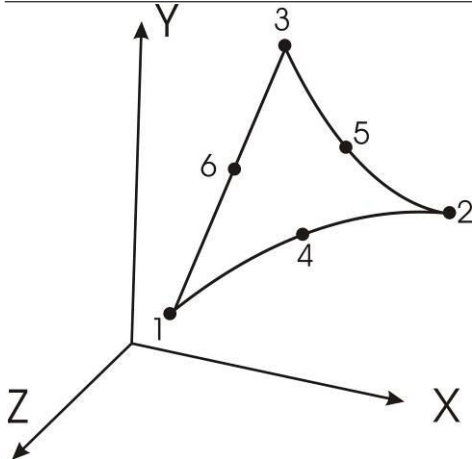
Verschiebungen in X, Y und Z und globale **Rotationen** um X- und Y-Achse (θ_x u. θ_y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es werden die Spannungen SIGXX, SIGYY und TAUXY sowie optional die Vergleichsspannungen ausgegeben.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

5.24 SCHALE NR.24 MIT 6 KNOTEN

Dies ist ein krummlinig berandetes Serendipity-Schalenelement mit quadratischem Ansatz. Die Transformation ist isoparametrisch, die numerische Integration erfolgt nach Gauß-Legendre. Alle Knoten müssen auf einer gemeinsamen, aber beliebig im Raum platzierten Ebene liegen – was für den Datenaustausch mit 3D-CAD-Systemen sehr praktisch ist. Die Integrationsordnung wird in Z88ENVIRO.DYN gewählt, der Grad 7 (also 7 Gauß-Punkte) ist meist am besten geeignet. Sowohl Verschiebungen als auch Spannungen berechnet dieses Element recht ordentlich. Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Für dieses Element das Schalenflag IHFLAG in Z88CONTROL.TXT zu 1 setzen, bei dünnen Schalen setzt man IHFLAG zu 2 oder 3, bei *sehr* dünnen Schalen zu 4.



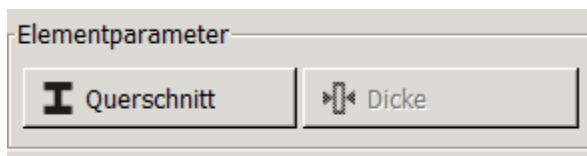
Die ersten drei Freiheitsgrade sind die globalen Verschiebungen in X, Y und Z, die Freiheitsgrade 4 und 5 sind die *globalen* Verdrehungen am jeweiligen Knoten (daher wenig brauchbar); der Freiheitsgrad 6 ist ein Pseudo-Freiheitsgrad, der keine praktische Bedeutung hat. Praktisch brauchbar und interessant sind lediglich die globalen Verschiebungen in X, Y und Z – und die reichen auch für die Praxis!

Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 6 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 24
- > 6 Knoten pro Element



Elementdicke in der Oberfläche

Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD für Verschiebungsberechnung. 3, 7 und 13 sind möglich; 7 ist meist gut.
- > Integrationsordnung INTOS für Spannungsberechnung:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte).

Z88CONTROL.TXT

- > Schalenflag IHFLAG zu 0 oder 1 setzen, bzw. 2 oder 3 bei dünnen, 4 bei sehr dünnen Schalen.
- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG beliebig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTOS ungleich 0!)

Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z und globale **Rotationen** um X- und Y-Achse (θ_x u. θ_y)

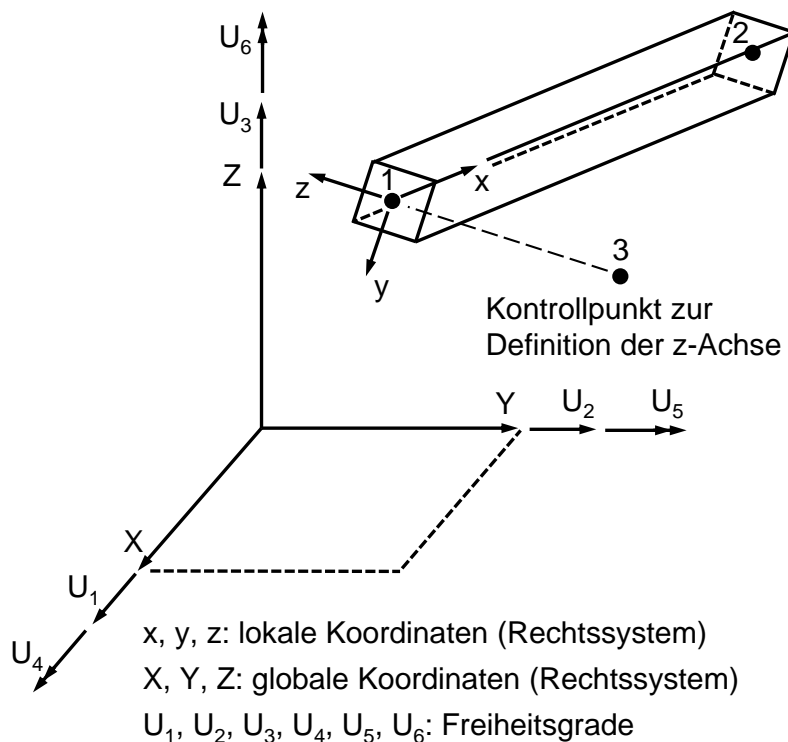
Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es werden die Spannungen SIGXX, SIGYY und TAUXY sowie optional die Vergleichsspannungen ausgegeben.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

5.25BALKEN NR.25 MIT 2 KNOTEN IM RAUM

Räumliches Balkenelement mit beliebigem, aber symmetrischem Profil (keine schiefe Biegung). Der Querschnitt dieses Elements kann im Gegensatz zu dem von Balken Nr.2 beliebige Orientierungen einnehmen. Die Orientierung wird dabei durch einen zusätzlichen Kontrollpunkt / Kontrollknoten (gekennzeichnet durch „3“ in der untenstehenden Abbildung) definiert. Der Kontrollpunkt muss nicht zwingend senkrecht zur Achse 1-2 in der Abbildung liegen. Er darf nur nicht direkt auf der Geraden durch 1 und 2 liegen. Er kann für alle Elemente gleich gewählt werden, solange diese Bedingung erfüllt ist. Die Achse, die in der durch 1, 2 und 3 aufgespannten Ebene senkrecht zur Achse 1-2 liegt, ist dann die lokale z-Richtung. Die lokale x-Richtung zeigt von 1 nach 2 und die lokale y-Richtung wird schließlich durch das Kreuzprodukt der beiden gebildet.

Die Profilwerte werden in der Oberfläche bereitgestellt, sie beziehen sich auf das lokale Koordinatensystem. Das Balkenelement kann wahlweise nach der Bernoulli- oder der Timoshenko-Biegetheorie rechnen. Wenn nach der Timoshenko-Theorie gerechnet wird, muss zusätzlich ein Schubkorrekturfaktor angegeben werden. Das Element ist im Rahmen des Hookeschen Gesetzes exakt, es ist keine Näherungslösung wie bei den Kontinuumelementen.



Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.4

Z88STRUCTURE.TXT

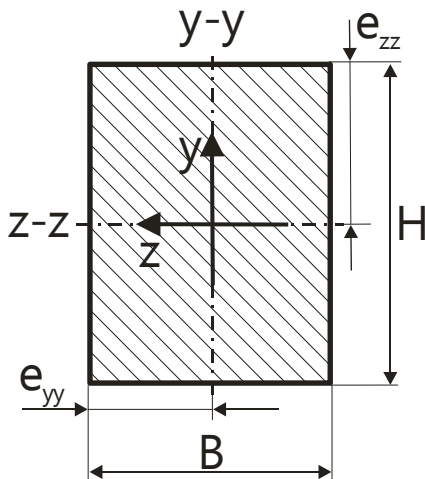
- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 6 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 25
- > 2 Knoten pro Element

Z88ELP.TXT

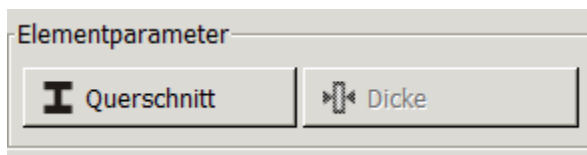
- > Querschnittsfläche QPARA
- > Biegeträgheitsmoment um yy-Achse I_{yy} [Double]
- > max. Randfaserabstand von yy-Achse e_{yy} [Double]
- > Biegeträgheitsmoment um zz-Achse I_{zz} [Double]
- > max. Randfaserabstand von zz-Achse e_{zz} [Double]
- > Torsionsträgheitsmoment I_T [Double]
- > Torsionswiderstandsmoment W_T [Double]
- > Flag zur Steuerung, ob Bernoulli-Theorie (0) oder Timoshenko-Theorie (1) zum Einsatz kommt
- > X-Koordinate des Kontrollpunkts

- > Y-Koordinate des Kontrollpunkts
- > Z-Koordinate des Kontrollpunkts
- > Schubverhältnis (Schubkorrekturfaktor), z.B. bei Rechteckquerschnitt $= 5/6 \approx 0.8333$

Die nachfolgende Abbildung befindet sich in Z88Aurora in der Registerkarte „Elementgeometrie“, sie beschreibt die Lage der Randfaserabstände und Achsen für die Berechnung der Flächenträgheitsmomente. Zusätzlich wurde hier das lokale Koordinatensystem eingezeichnet. Das Flächenträgheitsmoment I_{yy} beispielsweise ergibt sich bei Drehung um die y-Achse wie sie unten eingezeichnet ist.



Den Dialog zur Eingabe der oben aufgelisteten Elementparameter erreichen Sie über den Button „Querschnitt“, der unten abgebildet ist.



Z88ENVIRO.DYN

- > Integrationsordnung INTORD: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Integrationsordnung INTOS: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Z88CONTROL.TXT

- > Radial/Tangentialspannungs-Flag KDFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG: gleichgültig, hat keinen Einfluss

Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z, Rotationen um X, Y und Z.

Spannungen: SIGXX,TAUXX: Normalspannung, Schubspannung, SIGZZ1,SIGZZ2: Biegespannung um z-z, 1. und 2. Knoten, SIGYY1,SIGYY2: Biegespannung um y-y, 1. und 2. Knoten

Knotenkräfte in X, Y, Z und Knotenmomente um X, Y, Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.