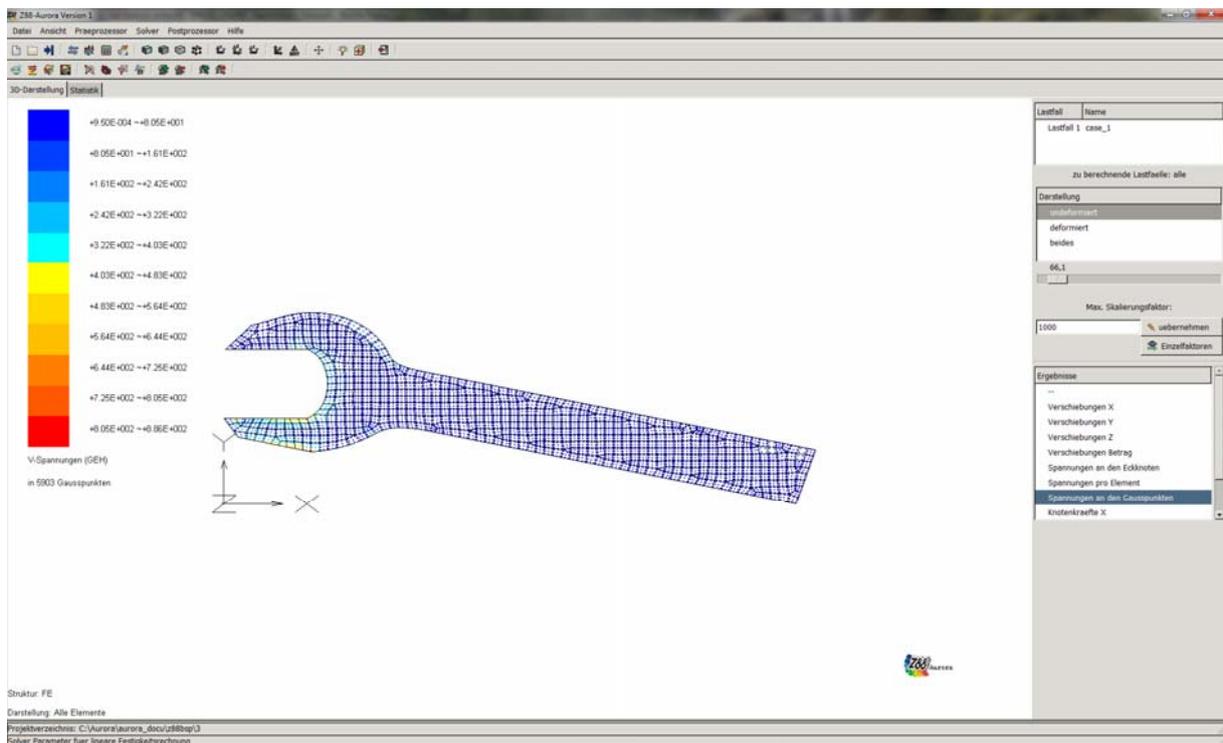




Das Theoriehandbuch



Version V1a



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

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

unter der Mithilfe von:

*Dr.-Ing. Bettina Alber-Laukant, Dipl.Wirtsch.-Ing. Reinhard Hackenschmidt,
Dipl.-Math. Martin Neidnicht, Dipl.-Ing. Florian Nützel, Dr.-Ing. Bernd Roith,
Dipl.-Ing. Alexander Troll, Dipl.-Ing. Christoph Wehmann, Dipl.-Ing. Jochen
Zapf, Dipl.-Ing. Markus Zimmermann, Dr.-Ing. Martin Zimmermann*

Alle Rechte bleiben beim Verfasser

Version 1a Dezember 2010



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

WILLKOMMEN ZU Z88 Aurora!

Z88 ist ein Softwarepaket für die Finite-Elemente-Methode (FEM) in der Struktur- und Kontinuumsmechanik, welches unter der GNU-GPL als freie Software mit Quelltext verfügbar ist. Die Software wird von Prof. Frank Rieg seit 1986 entwickelt.

Zu dem bisherigen kompakten Z88, welches momentan in der 13. Version zur Verfügung steht, wird seit 2009 ein erweitertes Programm Z88 Aurora von einem 10 köpfigen Team unter der Leitung von Prof. Rieg entwickelt. Z88 Aurora basiert auf Z88 und ist für Windows 32-bit und 64-bit, Linux 64-bit und MAC OS-X zum freien Download (als ausführbare Datei) verfügbar. Zu den in Z88 enthaltenen leistungsfähigen Solvern bietet Z88 Aurora zusätzlich eine graphische Bedienoberfläche, einen komplett neuen Präprozessor und eine Erweiterung des bewährten Postprozessors Z88O. Bei der Entwicklung von Z88 Aurora wurde besonders auf eine intuitive Bedienung Wert gelegt.

Die vorliegende Version Z88 Aurora bietet zusätzlich zu linearen statischen Festigkeitsanalysen eine Materialdatenbank mit über 50 gängigen Konstruktionswerkstoffen. Weitere Module wie nichtlineare Festigkeitsrechnungen, Eigenschwingungen, Kontakt- und thermische Analysen befinden sich in der Entwicklung.

Z88 Aurora 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 Z88 Aurora schon die ersten Beispiele gerechnet. Und die OnLine-Hilfe ist immer nur einen Tastendruck oder Mausklick entfernt. Z88 Aurora 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 Thematiken 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-Elemente-Methoden. Springer, Berlin Heidelberg, 2001, 2. Auflage.*
- *Rieg, F.; Hackenschmidt, R.: Finite Elemente Analyse für Ingenieure. Hanser-Verlag, München Wien 2009, 3. 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 Angewandte Naturwissenschaften
Universität Bayreuth
frank.rieg@uni-bayreuth.de
www.uni-bayreuth.de/departments/konstruktionslehre

Bayreuth, Dezember 2010

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

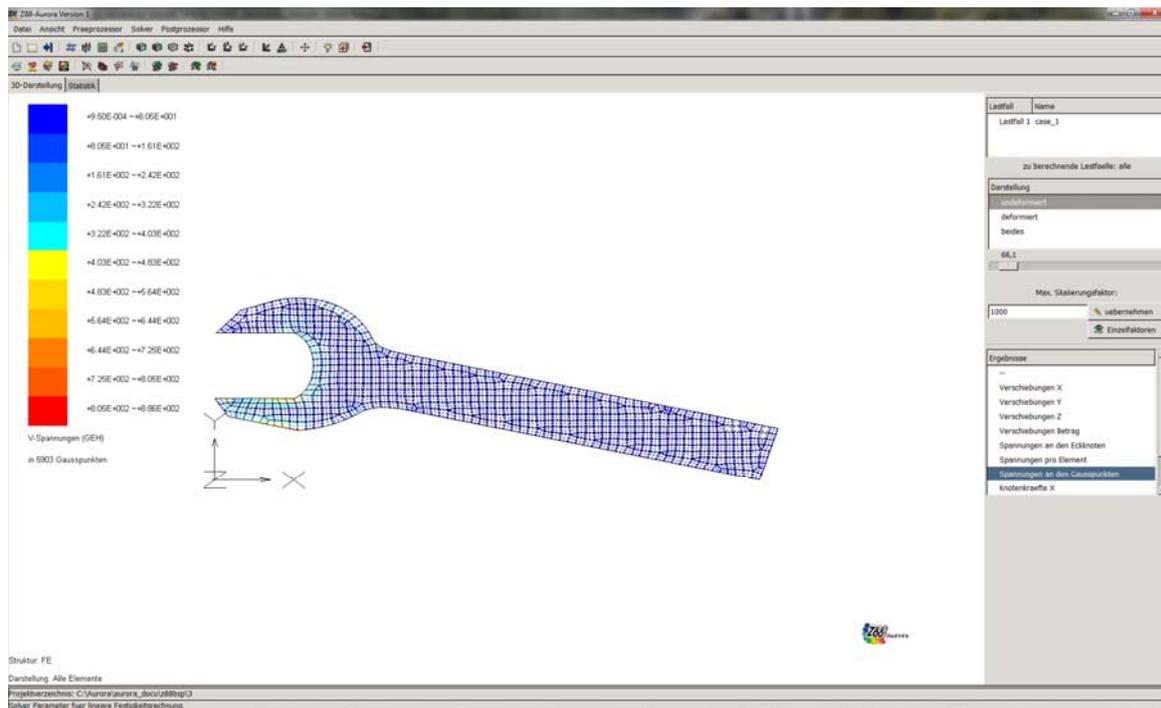
Die Unwirksamkeit einer oder mehrerer Bestimmungen dieses Vertrages berührt die Wirksamkeit des Vertrages im Übrigen nicht. An die Stelle einer unwirksamen Klausel sollen die gesetzlichen Bestimmungen treten. Für den Fall einer regelungsbedürftigen Lücke sollen die Vertragsparteien eine Regelung finden,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

INHALTSVERZEICHNIS

WILLKOMMEN ZU Z88 Aurora!	3
1. DAS FINITE-ELEMENTE PROGRAMM Z88 Aurora	7
1.1 ALLGEMEINES ZUM FE-PROGRAMM Z88 Aurora.....	7
1.2 Die Z88-Element-Bibliothek im Überblick:	9
Zweidimensionale Probleme: Scheiben, Platten, Balken, Stäbe	9
Axialsymmetrische Probleme:	12
Schalen Probleme:	13
Räumliche Probleme:	15
2. Die Z88-Module:	18
2.1 Allgemeines:	18
2.2 Die Module in Kurzform:	18
I. Der Prä- und Postprozessor	18
II. Der Solver	18
III. Die Kopplungsmodule zu CAD und FEM Systemen	19
IV. Der Netzgenerator für gerichtete Netze	20
2.3 Welche Z88-Elementtypen können automatisch erzeugt werden?	21
3. Die Ein- und Ausgabedateien von Z88 Aurora.....	22
3.1 EINGABE-DATEIEN ERZEUGEN	24
3.1.1 ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88I1.TXT	25
3.1.2 NETZGENERATOR-DATEI Z88NI.TXT	29
3.1.3 RANDBEDINGUNGSDATEI Z88I2.TXT	34
3.1.4 SPANNUNGS-PARAMETERFILE Z88I3.TXT.....	37
3.1.5 PARAMETERFILE Z88I4.TXT	38
3.1.6 STRECKEN- UND FLÄCHENLASTDATEI Z88I5.TXT.....	38
3.1.7  MATERIALDATEI Z88MAT.TXT	43
3.1.8  ELEMENTPARAMETERDATEI Z88ELP.TXT	44
3.1.9  SOLVERSTEUERUNGSDATEI Z88MANAGE.TXT	44
Im Menü "Solver" unter "Solveroptionen" können die Solverparameter der einzelnen Gleichungslöser editiert werden, näheres zum Gebrauch des Solvermenüs, siehe im Benutzerhandbuch, weiteres zum Unnummerierter Z88H siehe Kapitel 4.2.4.....	47
3.1.10 AUSGABEDATEIEN Z88O0.TXT bis Z88O8.TXT	47
Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über die Ausgabedateien von Z88 Aurora:	47
3.1.11 STEUERDATEI Z88.DYN	47
I. Zweck und Aufbau der Steuerdatei Z88.DYN	48
3.1.12  STEUERDATEI Z88ENVIRO.DYN	52
4. DIE Z88-MODULE.....	55
4.1 SCHNITTSTELLEN UND DATEIKONVERTER FÜR CAD- UND FE-PROGRAMME.....	55
4.1.1 DAS EINLESEN VON DATEN AUS VORHERGEHENDEN.....	58
Z88- VERSIONEN BIS V13.....	58
4.1.2 DER STEP-IMPORT IN Z88 AURORA Z88GEOKON(STEP).....	59
4.1.3 DER STL-KONVERTER Z88GEOCON(STL).....	61
4.1.4 DER DXF-KONVERTER IN AURORA: Z88X	62
4.1.5 VOM CAD- SYSTEM NACH Z88	64
4.1.6 VON Z88 ZUM CAD- SYSTEM	65
4.1.7 Z88X IM DETAIL	65
4.1.8 DER 3D-KONVERTER Z88G	77
4.1.9 DER ANSYS-KONVERTER Z88ANS	79
4.1.10 DIE ABAQUS-KONVERTER Z88AINP UND Z88AEXP	81
4.2 DER LINEARE SOLVER Z88R.....	83
4.2.1 WELCHEN SOLVER NEHMEN?	87

4.2.2	ERLÄUTERUNGEN ZUR SPANNUNGSBERECHNUNG	87
4.2.3	ERLÄUTERUNGEN ZUR KNOTENKRAFTBERECHNUNG.....	87
4.2.4	DAS CUTHILL- MCKEE PROGRAMM Z88H/ OPTION "UMNUMMERIERER"	87
4.3	DER MAPPED MESHER  / NETZGENERATOR Z88N.....	89
4.3.1	Allgemeines.....	89
4.4	DER POSTPROZESSOR	92
5.	BESCHREIBUNG DER FINITEN ELEMENTE.....	96
5.1	HEXAEDER NR.1 MIT 8 KNOTEN 	96
5.2	BALKEN NR.2 MIT 2 KNOTEN IM RAUM 	98
5.3	SCHEIBE NR.3 MIT 6 KNOTEN 	100
5.4	STAB NR.4 IM RAUM 	101
5.5	WELLE NR.5 MIT 2 KNOTEN 	102
5.6	TORUS NR.6 MIT 3 KNOTEN 	103
5.7	SCHEIBE NR.7 MIT 8 KNOTEN 	104
5.8	TORUS NR.8 MIT 8 KNOTEN 	106
5.9	STAB NR.9 IN DER EBENE 	108
5.10	HEXAEDER NR.10 MIT 20 KNOTEN 	109
5.11	SCHEIBE NR.11 MIT 12 KNOTEN 	111
5.12	TORUS NR.12 MIT 12 KNOTEN 	113
5.13	BALKEN NR.13 IN DER EBENE 	115
5.14	SCHEIBE NR.14 MIT 6 KNOTEN 	116
5.15	TORUS NR.15 MIT 6 KNOTEN 	118
5.16	TETRAEDER NR.16 MIT 10 KNOTEN 	120
5.17	TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN 	122
5.18	PLATTE NR.18 MIT 6 KNOTEN 	124
5.19	PLATTE NR.19 MIT 16 KNOTEN 	126
5.20	PLATTE NR.20 MIT 8 KNOTEN 	128
5.21	SCHALE NR.21 MIT 16 KNOTEN 	130
5.22	SCHALE NR.22 MIT 12 KNOTEN 	132
5.23	SCHALE NR.23 MIT 8 KNOTEN 	134
5.24	SCHALE NR.24 MIT 6 KNOTEN 	136

1. DAS FINITE-ELEMENTE PROGRAMM Z88 Aurora



1.1 ALLGEMEINES ZUM FE-PROGRAMM Z88 Aurora

Die Z88- Philosophie auch bei Z88 Aurora!:

- 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 Mac OS-X- Versionen verwenden die gleichen Rechenkerne
- Voller Datenaustausch von und zu CAD-Systemen
(*DXF, und neu: *.STP, *.STL)
- FE-Netz Import (*.COS, *.NAS und neu: *.BDF, *.ANS, *.INP)
und neu: FE Export (*.INP)
- Kontextsensitive Online-Hilfe und Lernvideos
- Einfachste Installation mit Microsoft® Installer (MSI)
- Z88 Aurora ist voll kompatibel zu Z88 V13. Bestehende Z88 V13 Dateien können einfach importiert werden!

Hinweis:

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

Beachten Sie ferner, dass bei Z88 Aurora (und auch anderen Finite-Elemente-Analyse-Programmen) mitunter Vorzeichendefinitionen gelten, die von den üblichen Definitionen der analytischen Technischen Mechanik abweichen.

Z88 Aurora ist ein leistungsfähiges, komplexes Computerprogramm, welches sich noch in der Entwicklungsphase befindet. Derzeit ist nur ein Teil der Funktionalitäten implementiert, daher bitten wir um Verständnis, falls Sie bestimmte Funktionen noch nicht anwählen können, bzw. das Ändern von Parametern im GUI zum Teil keine Wirkung zeigt.

Inwieweit Z88 Aurora sich mit anderen Programmen und Utilities usw. verträgt, ist noch nicht untersucht! Ziel dieser Forschungsversion ist es, Ihnen das grundsätzliche Bedienkonzept des Programms näher zu bringen. Die Entwickler von Z88 Aurora sind interessiert, die Software ständig zu verbessern. Vorschläge, Anregungen und Hinweise können an aurorasupport@z88.de gesendet werden. Auf der Homepage www.z88.de sind zusätzlich FAQ's erhältlich, ein Forum bietet Raum für den Erfahrungsaustausch.

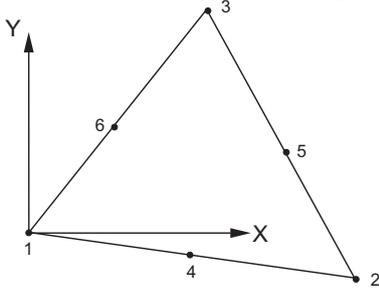
Die vorliegende Version Z88 Aurora V.1 wurde auf WINDOWS 7 32- und 64-BIT, WINDOWS Vista 32- und 64-BIT, WINDOWS XP 32- und 64-BIT, Linux 64-BIT und Mac OS-X getestet.

1.2 Die Z88-Element-Bibliothek im Überblick:

Zweidimensionale Probleme: Scheiben, Platten, Balken, Stäbe

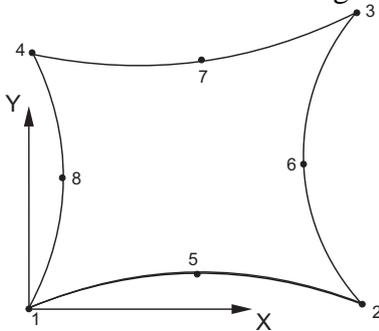
Scheibe Nr.3

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



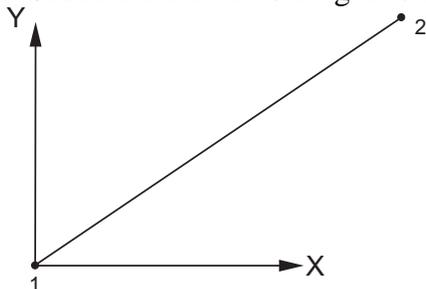
Scheibe Nr.7

- 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



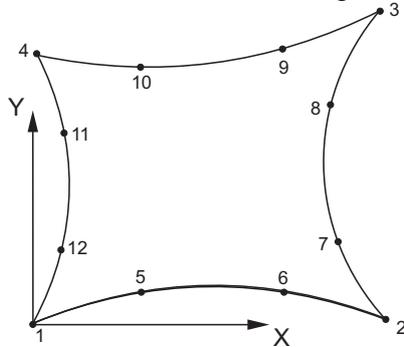
Stab Nr.9

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



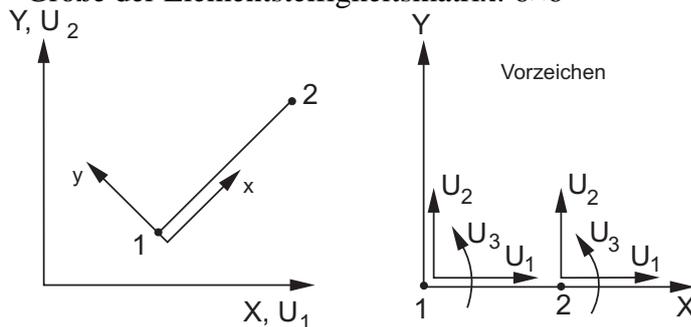
Scheibe Nr.11

- 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



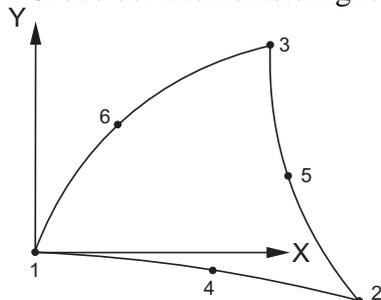
Balken Nr.13

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



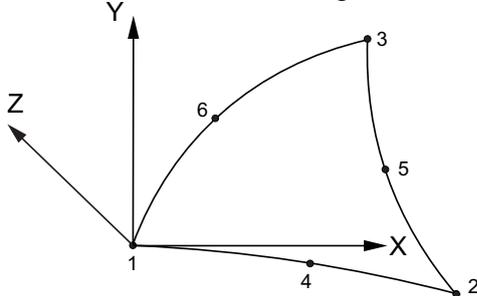
Scheibe Nr.14

- 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



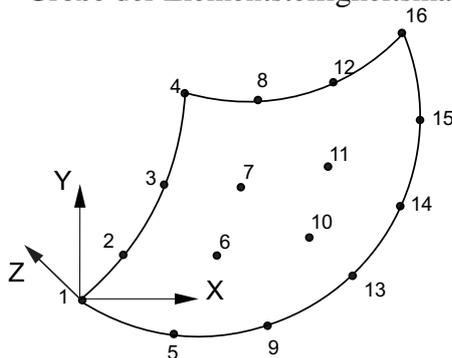
Platte Nr.18

- 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



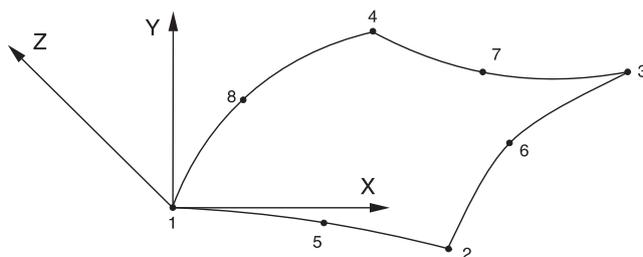
Platte Nr.19

- 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

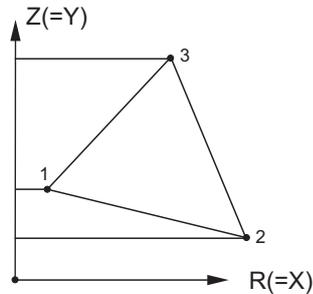
- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element mit Reissner-Mindlin Ansatz
- Güte der Verschiebungen: sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gauß-Punkten: gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten: recht gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 24×24



Axialsymmetrische Probleme:

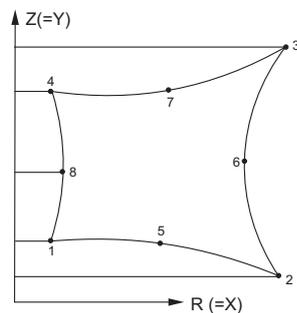
Torus Nr.6 

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



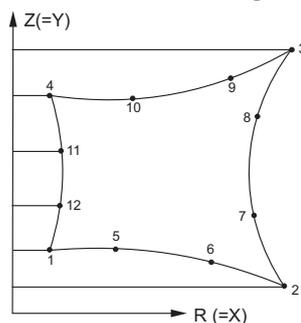
Torus Nr.8 

- 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



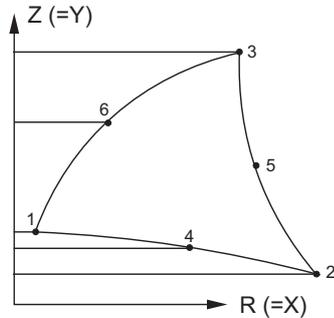
Torus Nr.12 

- 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



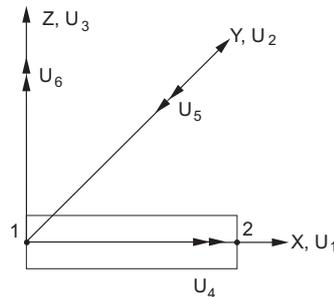
Torus Nr.15 

- 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 

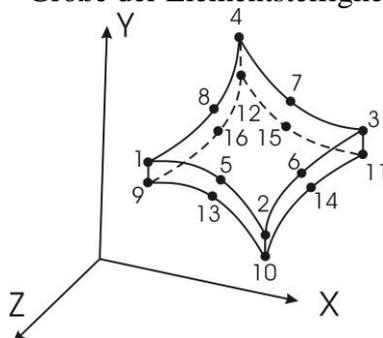
- linearer Ansatz für Zug und Torsion, kubischer Ansatz für Biegung
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hooke' schen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hooke' schen Gesetzes
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix: 12×12



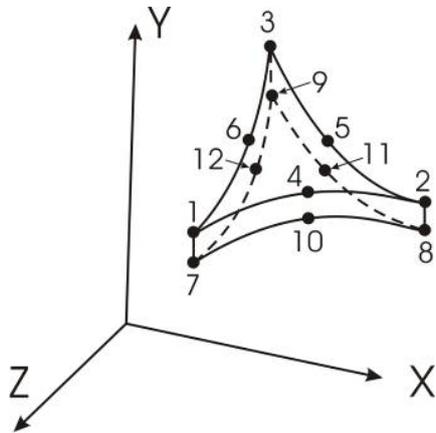
Schalen Probleme:

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

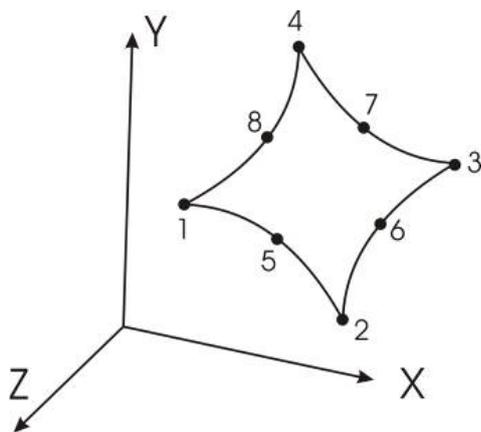


- krummliniges, isoparametrisches Serendipity-Volumenschalenelement
- isoparametrische Transformation
- beliebige Krümmung des Elements möglich
- sehr genaue Berechnung von Verschiebungen als auch Spannungen
- Spannungen an den Eckknoten (gut als Überblick) oder Gauß-Punkten (erheblich genauer)
- Rechenaufwand: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



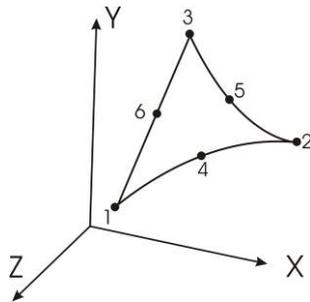
Schale Nr.23

- 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 

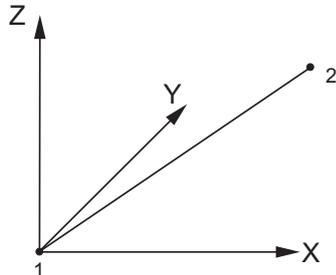
- krummliniges, isoparametrisches Serendipity-Schalenelement
- quadratischer Ansatz
- isoparametrische Transformation
- alle Knoten auf einer Ebene
- gute Berechnung von Verschiebungen als auch von Spannungen
- Spannungen an den Eckknoten (gut als Überblick) oder Gauß-Punkten (erheblich genauer)
- Rechenaufwand: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



Räumliche Probleme:

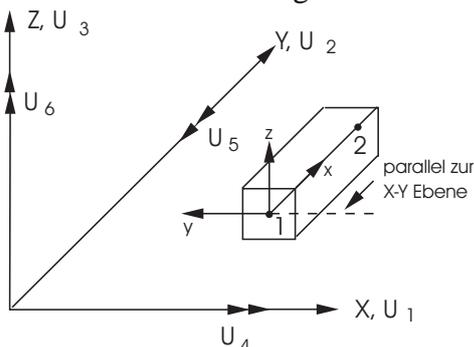
Stab Nr.4 

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



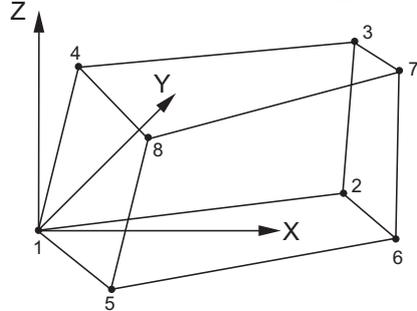
Balken Nr.2 

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



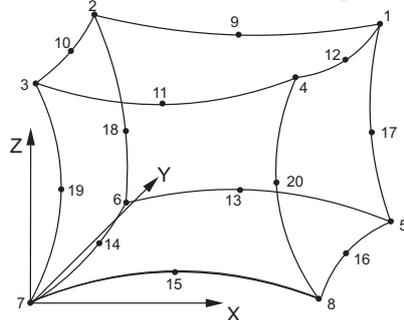
Hexaeder Nr.1

- 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



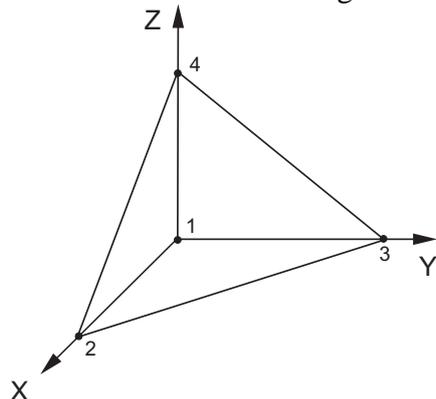
Hexaeder Nr.10

- 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



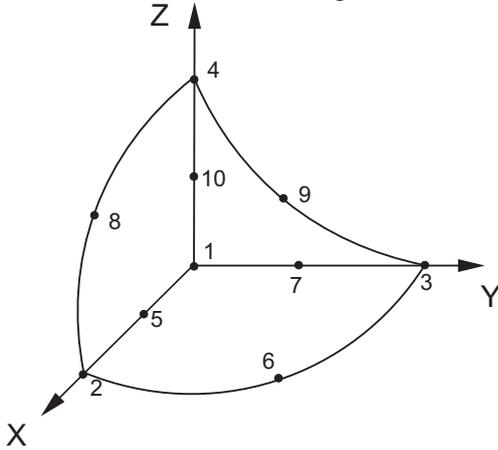
Tetraeder Nr.17

- 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:

Z88 Aurora erledigt, wie Z88, 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 Z88 Aurora über eine graphische Bedienoberfläche. Alle Eingaben die in Z88 V13 über die Eingabedateien Z88I1-5.TXT erfolgten, werden nun direkt in Z88 Aurora vorgenommen. Natürlich können aber jederzeit bestehende Eingabedaten aus Z88 V13 in Z88 Aurora eingelesen werden. Für die Darstellung der Ergebnisse wurde der bewährte Z88O erweitert und angepasst. Weiterhin können für die Weiterverwendung der Ergebnisse die Dateien Z88O1-8.TXT angezeigt und gedruckt werden.

II. Der Solver

Der **Solver** ist das Herz des Programmsystems. Er liest die allgemeinen Strukturdaten Z88I1.TXT und die Randbedingungen Z88I2.TXT sowie ggf. die Datei für Strecken- und Flächenlasten Z88I5.TXT 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 Kommunikation mit Z88 Aurora dienen.

Z88 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 wie alle direkten Solver empfindlich gegen ungeschickte Knotennummerierung; dies kann durch einen vorherigen Einsatz des Cuthill-McKee-Algorithmus, Z88H verbessert werden. Hinweise zur Ansteuerung von Z88H finden sich im Kapitel 4.2.4. Er ist die richtige Wahl für kleine und mittlere Strukturen bis 20.000 ... 30.000 Freiheitsgrade.

- 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 Z88 Aurora über das Solvermenü:

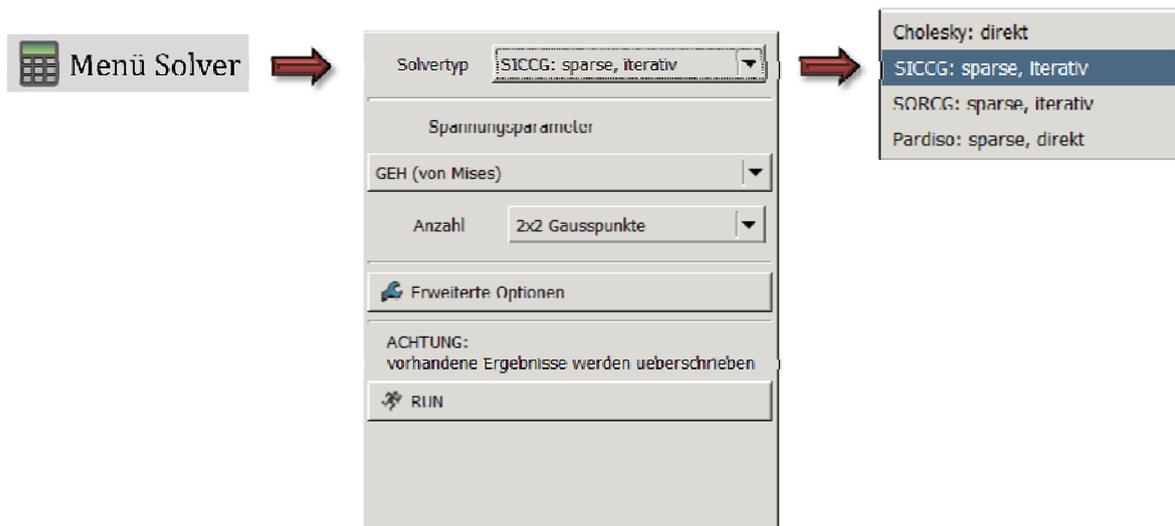


Abbildung 1: Solvermenü

III. Die Kopplungsmodule zu CAD und FEM Systemen



Z88 Aurora bietet Ihnen die Möglichkeit, eine Vielzahl von gängigen Dateiformaten aus kommerziellen Simulationsprogrammen einzuladen, reine Geometriedaten oder Superstrukturen zu importieren, sowie bestehende FE-Daten, bzw. CAD-Daten aus der Version 13 des Open Source Programms Z88 weiter zu verwenden. Darüber hinaus können Daten in verschiedenen Formaten exportiert werden. Jeder dieser Konverter bietet individuellen Funktionsumfang und gegebenenfalls eigene Einstellmöglichkeiten. Im Kapitel 4.1 werden die einzelnen Funktionen der Hilfsprogramme sowie das Vorgehen bei deren Benutzung genauer erläutert. Folgende Möglichkeiten bieten sich Ihnen:



Z88-Import: Daten aus Z88 V13 können in Z88 Aurora weiterhin verwendet werden.



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.



DXF-Import und -Export: Sie haben die Möglichkeit, in einem 2D-CAD-System (vorzugsweise AutoCAD) erstellte 2D- und 3D FE-Strukturen einzulesen, weiterzuarbeiten oder direkt zu berechnen. Eben so können die FE-Strukturen wieder als *.dxf ausgeschrieben werden.



STL-Import: Z88 Aurora verarbeitet Stereolithographie-Daten, welche eine triangulierte 3D-Struktur beinhalten. Dieses Format wird typischerweise auch als Eingangsdatum 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 Z88 Aurora eingelesen werden.



ABAQUS-Import und -Export: Ähnlich wie im Fall NASTRAN können auch die Input-Dateien (*.inp) des Programms ABAQUS verarbeitet werden. Zusätzlich können in Z88 Aurora erstellte FE-Daten als Input-Datei exportiert werden.



ANSYS-Import: Direkte Umwandlung von ANSYS-Daten in Daten für Z88 Aurora.



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

IV. Der Netzgenerator für gerichtete Netze

Der Netzgenerator ("*mapped-mesher*" im Menü "*Präprozessor*") liest die Superstrukturdaten Z88NI.TXT ein (die wiederum aus einem CAD-System gewonnen sein kann oder von Hand aufgestellt wurde) und gibt die allgemeinen Strukturdaten aus.

2.3 Welche Z88-Elementtypen 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	✗	✗	✗	✗	✓	✗	-

3. Die Ein- und Ausgabedateien von Z88 Aurora

Grundsätzlich werden die Ein- und Ausgabedateien in Z88 Aurora, anders als in Z88, während der Bedienung der Oberfläche erzeugt. Natürlich ist es möglich, in Z88 Aurora bestehende Z88 V13 Eingabedateien einzulesen und zu bearbeiten. Zusätzlich können alle Randbedingungen aus bestehenden Dateien direkt in der Z88 Aurora Oberfläche editiert und geändert werden. Einen Überblick über die Ein- und Ausgabedateien gibt folgende Tabelle:

Tabelle 2: Ein- und Ausgabedateien in Z88 Aurora

Name	Zweck	Anpassung
Steuerdateien		
Z88.DYN	Speicher- und Sprach-Steuerdatei	✓
Z88.FCD	Fonts, Farben, Größen-Steuerdatei	✗
Z88ENVIRO.DYN	Umgebungsvariablen Aurora	✗
Z88MANAGE.TXT	Steuerdatei Aurora	✗
Z88MAT.TXT + MAT*.CSV	Materialdaten Aurora	✗
Z88ELP.TXT	Strukturdaten von Balken und Platten für Aurora	✗
Eingabedateien ↻		
Z8811.TXT	Allgemeine Strukturdaten für die Berechnung und Darstellung in Z88 Aurora	✓
Z8812.TXT	Randbedingungen für die Berechnung und Darstellung in Z88 Aurora	✓
Z8813.TXT	Steuerwerte für die Spannungsberechnung	✓
Z8815.TXT	Strecken- und Flächenlasteneingabe	✓
Ausgabedateien ↻		
Z8800.TXT	Strukturdaten aufbereitet	-
Z8801.TXT	Randbedingungen aufbereitet	-
Z8802.TXT	berechnete Verschiebungen	-
Z8803.TXT	berechnete Spannungen	-
Z8804.TXT	berechnete Knotenkräfte	-
Z8805.TXT	für interne Zwecke Z88O	-
Z8806.TXT	für Eigenfrequenzen	-
Z8808.TXT	für interne Zwecke Z88O	-
Import-/Exportdateien		
*.COS	COSMOS-FE-Datei für Konverter Z88G	-
*.NAS	NASTRAN-FE-Datei für Konverter Z88G	-
*.INP	ABAQUS-FE-Datei für Konverter Z88AINP	-
*.ANS	ANSYS-FE-Datei für Konverter Z88ANS	-
*.DXF	Austauschdatei für CAD-Programme und für CAD-Konverter Z88X	-
*.STP	Import von Geometrie für internen Vernetzer	-
*.STL	Import von Geometrie für internen Vernetzer	-
Z88NI.TXT	Eingabedatei für den Netzgenerator Z88N	-
✗: nur in Ausnahmefällen editieren, kann bei falschen Eingaben Programmabbruch provozieren		

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/mm² eingesetzt werden.

Warum Arbeiten mit Dateien? Ist das nicht veraltet und geht das "interaktiv" nicht alles einfacher? In Z88 Aurora 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 Z88 Aurora 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 zum Kopieren Ihres Editors!

Jedes FEA-Programm kann, wie auch Z88 Aurora, 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 V13.0-Dateien sind voll kompatibel. Z88 V10.0- und V11.0-Dateien sind kompatibel, wenn ggf. noch das Plattenflag und das Flächenlastflag eingebaut werden. Unter den Importfunktionalitäten von Z88 Aurora befinden sich alle Möglichkeiten, bestehende Z88 Dateien zu importieren und diese in Z88 Aurora weiter zu verwenden.

Aus diesen Gründen wird hier nicht auf die Erklärung der Ein- und Ausgaben des Programmes verzichtet, Z88 Aurora soll für erfahrene Nutzer genauso transparent wie das zuverlässige Z88 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 Struktur ist nicht statisch bestimmt oder statisch beliebig überbestimmt, fehlende Randbedingungen passieren besonders leicht bei Balken Nr.2 und Nr.13 sowie Welle Nr.5
- die Koinzidenzliste ist nicht korrekt aufgestellt, besonders Hexaeder Nr.10 ist sehr empfindlich hinsichtlich falscher Nummerierung.

Z88 Eingabedateien haben für Windows, Linux und Mac OS-X den gleichen Aufbau. Sie können ohne Einschränkung Mac-Dateien in Windows laden und umgekehrt.

3.1 EINGABE-DATEIEN ERZEUGEN

Z88 Aurora ist ein Prä- und Postprozessor zu Z88. Prinzipiell kann der Benutzer das gewünschte Berechnungsmodell komplett in Z88 Aurora erstellen. Benutzern, die schon Z88 kennen, soll aber dennoch die Möglichkeit gewährt werden, wie gewohnt die Eingabedateien direkt mit einem Editor oder Textverarbeitungsprogramm zu editieren. Diese veränderten Dateien müssen zur Weiterverwendung in Z88 Aurora nochmals importiert werden. Bei Textverarbeitungssystemen müssen Sie darauf achten, dass Sie reine ASCII-Texte erzeugen, also ohne verdeckte Steuerzeichen. Jedes Textverarbeitungsprogramm hat eine solche Option. Die Eingabedateien von Z88 V13 lauten im Einzelnen:

- *Z88I1.TXT* (allgemeine Strukturdaten, Koordinaten, Koinzidenz, E-Gesetze)
 - *Z88I2.TXT* (Randbedingungen und Belastungen)
 - *Z88I3.TXT* (Steuerparameter für Spannungsprozessor)
 - *Z88I4.TXT* (Steuerdatei für den Iterationssolver Part 2 Z88I2, Pardiso Ansteuerung)
 - *Z88I5.TXT* (Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden)
- oder Z88NI.TXT (Eingabefile des Netzgenerators Z88N)

Da in Z88 Aurora noch weitere Funktionalitäten geplant sind, wie Eigenfrequenzberechnung, nichtlineares Materialverhalten, etc. sind die bestehenden Z88-Dateistrukturen den zusätzlichen Erfordernissen angepasst worden. Es existieren nun mehrere Steuerdateien, zusätzlich werden nicht mehr alle Informationen, die zur Berechnung notwendig sind, aus den Z88I Dateien verwendet. Die Änderungen, die sich dadurch ergeben, sind im Folgenden immer durch ein  gekennzeichnet. Die Eingabedateien von Z88 Aurora lauten im Einzelnen:

- *Z88I1.TXT* (allgemeine Strukturdaten, Koordinaten, Koinzidenz)
 - *Z88I2.TXT* (Lastfälle, Randbedingungen und Belastungen)
 - *Z88I5.TXT* (Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden)
 - *Z88MAT.TXT* (Materialdefinition)
 - *Z88ELP.TXT* (Elementparameter)
 - *Z88MANAGE.TXT* (Steuerparameter für Spannungsprozessor, Inhalt Z88I4.TXT)
- oder Z88NI.TXT (Eingabefile des Netzgenerators Z88N)

3.1.1 ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88I1.TXT

In der Z88I1.TXT sind die Geometrie- und Materialdaten der Struktur hinterlegt.

1. Eingabegruppe:

Allgemeine Daten in der ersten Zeile, beinhaltet 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: Anzahl Elastizitätsgesetze
6. Zahl: Koordinatenflag KFLAG (0 oder 1)
7. Zahl: Balkenflag IBFLAG (0 oder 1)
8. Zahl: Plattenflag IPFLAG (0 oder 1)
9. Zahl: Flächenlastflag IQFLAG (0 oder 1)  In Z88 Aurora erzeugten Z88I1.TXT nicht enthalten!
10. Zahl: Schalenflag IHFLAG (0 oder 1)

Erläuterungen:

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!

IBFLAG:

Wenn Balken Nr.2 oder Balken Nr.13 in der Struktur vorkommen, muss das Balkenflag zu „1“ gesetzt werden, ansonsten muss es „0“ sein.

***Beispiel :** Eine dreidimensionale Struktur aus Hexaedern Nr.10 und Balken Nr.2 soll 10 Elemente haben, 45 Knoten, 270 Freiheitsgrade, 3 Elastizitätsgesetze, die Koordinaten werden in kartesischen Koordinaten eingegeben.*

> Also: 3 45 10 270 3 0 1 0 0

IPFLAG:

Wenn Platten Nr.18, Nr.19 oder Nr.20 in der Struktur vorkommen, muss das Plattenflag zu 1 gesetzt werden, ansonsten muss es 0 sein.

***Beispiel :** Eine zweidimensionale Struktur aus Platten Nr.20 soll 100 Elemente haben, 180 Knoten, 540 Freiheitsgrade, 2 Elastizitätsgesetze, die Koordinaten werden in Zylinderkoordinaten eingegeben. Die Plattendrucke stehen in den Materialgesetzen (d.h. IQFLAG=0).*

> Also: 2 180 100 540 2 1 0 1 0

Achtung: Bei dieser Z88-Version schließen sich Balken und Platten gegenseitig aus! Eine Struktur kann also entweder Balken oder Platten beinhalten, aber nicht beides gleichzeitig, weil die jeweiligen Freiheitsgrade nicht kompatibel sind.

IQFLAG:

Das Flächenlastflag steuert, ob die optionale Datei der Strecken- und Flächenlasten Z88I5.TXT verwendet wird „1“ oder nicht „0“. In die Randbedingungsdatei Z88I2.TXT werden Lager, Verschiebungen und Einzelkräfte gegeben; dagegen werden Streckenlasten, Drücke und Flächenlasten – wenn vorhanden – in die Datei Z88I5.TXT gegeben.

 In Z88 Aurora erzeugten Dateien ist das IQFLAG in der Datei Z88MANAGE.TXT enthalten.

Folgende ebene Kontinuumselemente können Streckenlasten verarbeiten:
Scheiben Nr.7, 11 und 14, Toruselemente Nr.8, 12 und 15.

Folgende räumliche Kontinuumselemente können Flächenlasten verarbeiten:
Hexaeder Nr.1 und 10 sowie Tetraeder Nr.16 und 17, Schalen 21, 22, 23 und 24.

Die Plattenelemente Nr.18, 19 und 20 können ihre Flächenlasten via Z88I5.TXT erhalten, (dann sind IPFLAG = 1 und IQFLAG = 1) aber einfacher ist es, die Flächenlasten direkt in den Materialgesetzen der Datei Z88I1.TXT zu definieren (dann sind IPFLAG = 1 und IQFLAG = 0).

Beispiel 1:

Eine dreidimensionale Struktur aus Tetraedern Nr.16 soll 100 Elemente haben, 180 Knoten, 540 Freiheitsgrade, 1 Elastizitätsgesetz, keine Koordinatenumrechnung, keine Balken, keine Platten, verwende die Streckenlastdatei Z88I5.TXT.

> Also: 3 180 100 540 1 0 0 0 1 0

Beispiel 2:

Eine Platten-Struktur aus Dreiecks-Elementen Nr.18 soll 1000 Elemente haben, 2000 Knoten, 3000 Freiheitsgrade, 3 Elastizitätsgesetze, keine Koordinatenumrechnung, keine Balken, verwende die Streckenlastdatei Z88I5.TXT.

> Also: 2 2000 1000 3000 3 0 0 1 1 0

IHFLAG:

Das Schalenflag ist "1" bei der Verwendung von Schalenelementen.

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, enthält die Koinzidenz, also die Zuordnung des Elementtyps und die zugehörigen Knoten jedes Elementes. 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 24) [Long].

2.Zeile: je nach Elementtyp

1. Zahl: 1.Knotennummer für Koinzidenz
2. Zahl: 2.Knotennummer für Koinzidenz
- ...
20. Zahl: 20.Knotennummer für Koinzidenz

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

4. Eingabegruppe:

Beginnend nach letztem Element, enthält diese Eingabegruppe die Elastizitätsgesetze, 1 Zeile für jedes Elastizitätsgesetz. Alle Zahlen sind in eine Zeile zu schreiben und durch mindestens jeweils ein Leerzeichen zu trennen.

1. Zahl: Dieses E-Gesetz gilt ab Element Nr. incl. [Long]
2. Zahl: Dieses E-Gesetz gilt bis Element Nr. incl. [Long]
3. Zahl: Elastizitäts-Modul [Double]
4. Zahl: Querkontraktionszahl [Double]
5. Zahl: Integrationsordnung (0, 1, 2, 3, 4, 5, 7 oder 13) [Long]
6. Zahl: Querschnittswert QPARA [Double]

... und wenn Balken (aber keine Platten !) definiert sind, zusätzlich:

7. Zahl: Biegeträgheitsmoment um yy- Achse [Double]
8. Zahl: max. Randfaserabstand von yy-Achse [Double]
9. Zahl: Biegeträgheitsmoment um zz- Achse [Double]
10. Zahl: max. Randfaserabstand von zz-Achse [Double]
11. Zahl: Torsions-Trägheitsmoment [Double]
12. Zahl: Torsionswiderstandsmoment [Double]

... und wenn Platten (aber keine Balken !) definiert sind und IQFLAG=0, zusätzlich:

7. Zahl: Flächenlast

Erläuterung Querschnittswert **QPARA**:

QPARA ist elementtyp- abhängig, ist bei z.B. Hexaedern 0, bei Stäben die Querschnittsfläche und bei Scheiben die Dicke. Vgl. dazu die Liste der finiten Elemente, Kapitel 5.

Beispiel: Die Struktur habe 34 finite Elemente Typ 7. Die Elemente haben unterschiedlich Dicken: Elemente 1 bis 11 Dicke 10 mm, Elemente 12 bis 28 15 mm und Elemente 29 bis 34 18 mm. Werkstoff Stahl. Integrationsordnung soll 2 sein.

> Also drei E-Gesetze, für jedes 1 Zeile:

```
1 1 11 206000. 0.3 2 10.
2 12 28 206000. 0.3 2 15.
3 29 34 206000. 0.3 2 18.
```

⚠ Z88 Aurora wurde mit einer Materialdatenbank erweitert, aus diesem Grund werden die Materialdaten jetzt in der Z88MAT.TXT abgelegt, die sich wiederum auf eine Materialdatei im *.csv-Format bezieht. Beim Einlesen einer bestehenden Z88 Datei über die "Import" -Funktion wird die Z88MAT.TXT automatisch erstellt, es werden aber nachträgliche Änderungen an der Z88I1.TXT nach dem Import nicht mehr berücksichtigt. Die Beschreibung von Z88MAT.TXT folgt im laufenden Kapitel.

⚠ Z88 Aurora besitzt eine eigene Steuerdatei für Balken und Platteninformationen, diese Z88ELP.TXT kann ebenfalls aus einer bestehenden Z88I1.TXT automatisch erstellt werden, Änderungen, die an der Z88I1.TXT nach dem Import erfolgen, werden nicht berücksichtigt.

3.1.2 NETZGENERATOR-DATEI Z88NI.TXT

Der Aufbau von Z88NI.TXT ist mit dem Aufbau von Z88I1.TXT, also dem Eingabefile des FE-Prozessors, 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: Anzahl Elastizitätsgesetze
6. Zahl: Koordinatenflag KFLAGSS (0 oder 1)
7. Zahl: Balkenflag IBFLAG (muss hier 0 sein!)
8. Zahl: Plattenflag IPFLAG (0 oder 1)
9. Zahl: Flächenlastflag IQFLAG (0 oder 1)
10. Zahl: Schalenflag IHFLAG (0 oder 1)
- & 10. Zahl: Fangradiusflag NIFLAG (0 oder 1)
- & 11. Zahl: Koordinatenflag 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 und in dieser Form dann in Z88I1.TXT gestellt werden. Achtung: Die axialsymmetrischen Elemente 8 und 12 erwarten a-priori Zylinderkoordinaten, hier KFLAGSS zu 0 setzen!

IPFLAG:

Wenn Platten Nr.20 in der Struktur vorkommen, muss das Plattenflag zu 1 gesetzt werden, ansonsten muss es 0 sein.

IQFLAG:

Wenn später eine Flächenlastdatei Z88I5.TXT passend zur erzeugten Eingabedatei Z88I1.TXT definiert werden soll, dann kann hier bereits IQFLAG = 1 als „Merker“ gesetzt werden. Auf die interne Arbeitsweise von Z88N hat dies keinen Einfluss.

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 Fangradienten EPSX, EPSY und EPSZ werden dann als 6. Eingabegruppe von Z88NI.TXT definiert.

Beispiel: Super-Struktur 2-dimensional mit 37 Knoten, 7 Superelementen, 74 Freiheitsgraden, einem Elastizitätsgesetz. Kartesische Koordinaten, keine Balken (ohnehin verboten im Netzgeneratorfile), keine Platten, keine Flächenlasten, Fangradius Standardwert verwenden.

> Also: 2 37 7 74 1 0 0 0 0 0

KFLAG:

Intern arbeitet Z88N mit natürlichen bzw. kartesischen Koordinaten. Mitunter möchte man die Ausgabe von Z88N aber als Polar- bzw. Zylinderkoordinaten in die Ausgabedatei Z88I1.TXT geben. Mit diesem Flag (=1) erfolgt die Ausgabe in Polar- bzw. Zylinderkoordinaten. Dies ist unabhängig von dem Flag KFLAGSS für die Eingabedatei Z88NI.TXT.

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.

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, enthält sie die Koinzidenz, also die Zuordnung des Elementtyps und die zugehörigen Knoten jedes Elementes. 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

2. Zahl: 2.Knotennummer für Koinzidenz

...

20. Zahl: 20.Knotennummer für Koinzidenz

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

4. Eingabegruppe:

Beginnend nach letztem Super-Element, enthält diese Eingabegruppe die Elastizitätsgesetze, eine Zeile für jedes Elastizitätsgesetz. Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen.

1. Zahl: Dieses E-Gesetz gilt ab Super-Element- Nr. incl. [Long]
2. Zahl: Dieses E-Gesetz gilt bis Super-Element Nr. incl. [Long]
3. Zahl: Elastizitäts-Modul [Double]
4. Zahl: Querkontraktionszahl [Double]
5. Zahl: Integrationsordnung (1, 2, 3 oder 4) [Long]
6. Zahl: Querschnittswert QPARA [Double]

... und wenn Platten definiert sind und IQFLAG=0, zusätzlich:

7. Zahl: Flächenlast

Hier im Gegensatz zu Z88I1.TXT keine Balkenangaben, weil Balken für den Netzgenerator nicht vorgesehen sind.

Erläuterung Querschnittswert **QPARA**:

QPARA ist elementtyp- abhängig, ist bei z.B. Hexaedern 0, bei Stäben die Querschnittsfläche und bei Scheiben die Dicke. Vgl. dazu 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 16 Knoten

Beispiel: Die Struktur habe 34 Superelemente Typ 7. Die Elemente haben unterschiedlich Dicken: Elemente 1 bis 11 Dicke 10mm, Elemente 12 bis 28 15mm und Elemente 29 bis 34 18mm. Werkstoff Stahl. Integrationsordnung soll 2 sein.

> Also drei E-Gesetze, für jedes 1 Zeile:

1 1 11 206000. 0.3 2 10.

2 12 28 206000. 0.3 2 15.

3 29 34 206000. 0.3 2 18.

& 5. 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) [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

"l" : 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 nachstehender Skizze 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 dreimal 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)

& 6.Eingabegruppe, optional nach Ende 5.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!

& 7.Eingabegruppe, optional nach Ende 6.Eingabegruppe:

Ist nur erforderlich, wenn KFLAG auf 1 gesetzt werden soll, das heißt, dass eine Ausgabe in Polar- oder Zylinderkoordinaten erfolgen soll, ansonsten 0 für kartesische Koordinaten.

3.1.3 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. In Z88 Aurora wird es zukünftig die Möglichkeit geben, unterschiedliche Lastfälle (⚠) berechnen zu können, zusätzlich kann die Berechnung massebehaftet durchgeführt werden (⚠). Momentan ist nur die Berechnung *eines* Lastfalls möglich.

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. Die Randbedingungen werden einem Lastfall zugeordnet, die Massebehaftung wird definiert.

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

⚠ 2. Zahl: Nummer des Lastfalls

⚠ 3. Zahl: MGFLAG

⚠ 4. Zahl: Schwerkraftvektor X-Koordinate

⚠ 5. Zahl: Schwerkraftvektor Y-Koordinate

⚠ 6. Zahl: Schwerkraftvektor Z-Koordinate

⚠ weiterer Eintrag der 1. Eingabegruppe: Name des Lastfalls

⚠ Erläuterungen zur **MGFLAG**:

Wenn mit einer Massebehaftung gerechnet wird, muss das Massenflag zu „1“ gesetzt werden, ansonsten muss es „0“ sein.

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 0 0 0 0 Lastfall_1

1 1 2 0

1 2 2 0

1 3 2 0

3 2 1 -1648

5 2 2 0

Bei Flächenlasten ist zu beachten:

Strecken- und Flächenlasten wie Drucklasten und Tangentialschübe geben Sie vorteilhaft in die dafür vorgesehene Datei Z88I5.TXT, bei Platten Nr. 18, Nr. 19 und Nr. 20 können Sie die Flächenlast pro Element direkt im zugehörigen Materialgesetz (Datei Z88I1.TXT in Z88V13 oder Z88ELP.TXT in Z88 Aurora) angeben!

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:

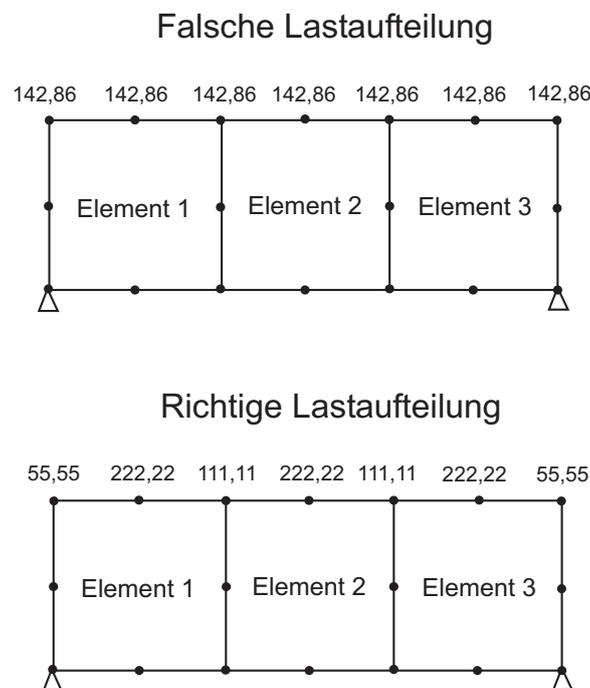


Abbildung 3: Richtige Lastverteilung einer Streckenlast auf die Knoten

Eine FE-Struktur möge aus drei Scheiben Nr.7 bestehen und am oberen Rand mit 1000 N in Y- Richtung verteilt belastet werden. 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:

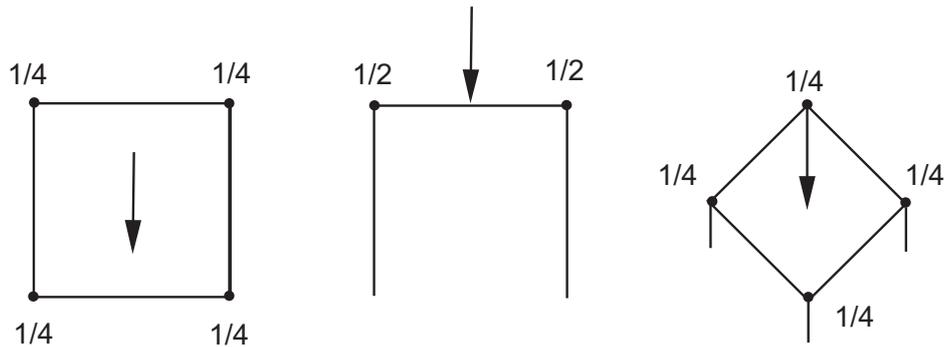


Abbildung 4: Elemente mit linearem Ansatz, z.B. Hexaeder Nr.1

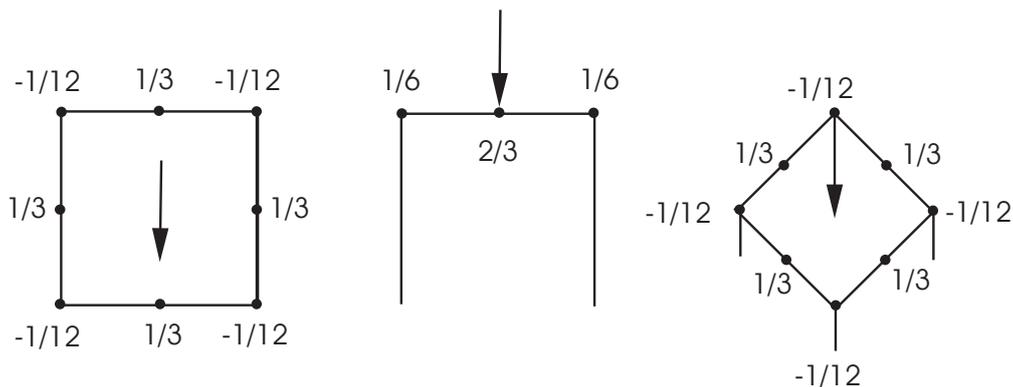


Abbildung 5: Elemente mit quadratischem Ansatz, z.B. Scheibe Nr.3 und Nr.7, Torus Nr.8, Hexaeder Nr.10

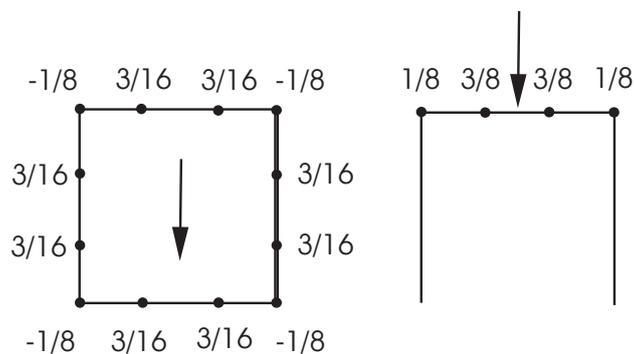


Abbildung 6: Elemente mit kubischem Ansatz, z.B. Scheibe Nr.11, Torus Nr.12

3.1.4 SPANNUNGS-PARAMETERFILE Z88I3.TXT

 In Z88 Aurora muss diese Datei nicht mehr explizit angelegt werden, die gleichen Informationen sind in der Datei Z88MANAGE.TXT enthalten. Beim Einlesen bestehender Z88 Dateien werden die in der Z88I3.TXT enthalten Daten automatisch in die Z88MANAGE.TXT übernommen. Späteres Ändern der Z88I3.TXT bleibt aber wirkungslos! Unmittelbar vor der Berechnung wird von Aurora eine neue Z88I3.TXT erzeugt, die alle aktuellen Parameter enthält.

Beachten Sie folgende Eingabeformate:
[Long] = 4-Byte oder 8-Byte Integerzahl

Die Datei besteht nur aus einer einzigen Zeile:

1. Zahl: Für isoparametrische Elemente Nr.1, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20:
Angabe der Integrationsordnung INTORD [Long]

Es gilt:

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

Für isoparametrische Elemente Nr.1, 7, 8, 10, 11, 12, 19, 20, 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, 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, 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 erste Wert hat für die Elementtypen Nr.2, 3, 4, 5, 6, 9 und 13 keine Bedeutung.

2. Zahl: Für die Elemente Scheibe Nr.3, 7, 11 und 14 KFLAG [Long]

0 = Standardspannungsberechnung
1 = zusätzliche Berechnung der Radial- und Tangentialspannungen

3. Zahl: Auswahl der Vergleichsspannungshypothese ISFLAG [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 soll in jedem finiten Element an 3 x 3 Gauß-Punkten die Spannungen anzeigen: $INTORD = 3$. Zusätzlich zur Standard-Spannungsberechnung sollen Radial- und Tangentialspannungen berechnet werden, also $KFLAG = 1$. Ferner sollen Vergleichsspannungen nach der Gestaltänderungsenergie-Hypothese berechnet werden: $ISFLAG = 1$.

> Also: 3 1 1

Beispiel 2: Für eine Struktur aus Scheiben Nr.7 soll an jedem finiten Element die Spannungen nur in den Eckknoten anzeigen. Nur Standard-Spannungsberechnung, also $KFLAG = 0$. Vergleichsspannungen interessieren nicht.

> Also: 0 0 0

3.1.5 PARAMETERFILE Z88I4.TXT

 Die Datei wird in Z88 Aurora nicht mehr benötigt; alle Informationen sind in der Z88MANAGE.TXT verfügbar, welche später im laufenden Kapitel beschrieben wird.

3.1.6 STRECKEN- UND FLÄCHENLASTDATEI Z88I5.TXT

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. Zahl: Nr. des Lastfalls

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.5.

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

Elementnummer mit Streckenlast [Long]

Druck, positiv auf die Kante zeigend [Double]

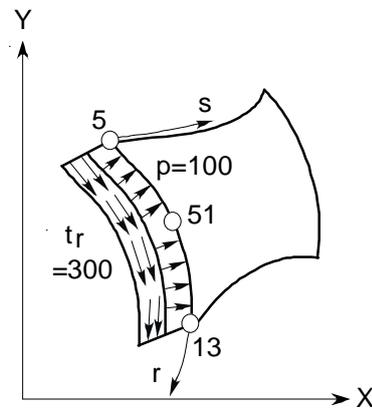
Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung [Double]

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/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:

>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/mm², die normal zur Fläche wirke, belastet werden. Also:

>356 100. 51 34 12

Tetraeder Nr.16:

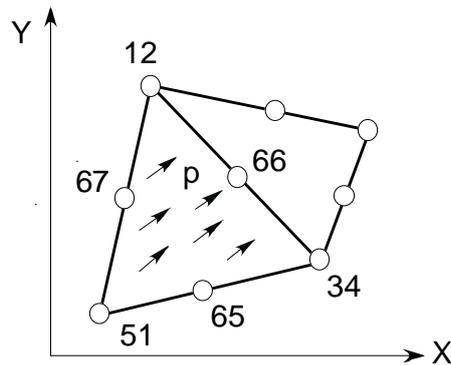
Elementnummer mit Flächenlast [Long]

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]

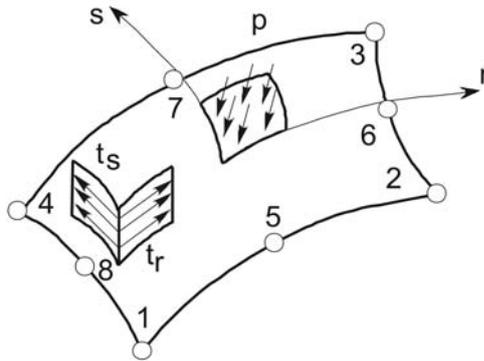
Einfacher als die Flächenlasteingabe über die Datei Z88I5.TXT ist die Eingabe der Flächenlasten für Platten direkt in die Strukturdatei Z88I1.TXT.

Schale Nr.21:

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.21 aufgegeben werden sollen:

- > *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.

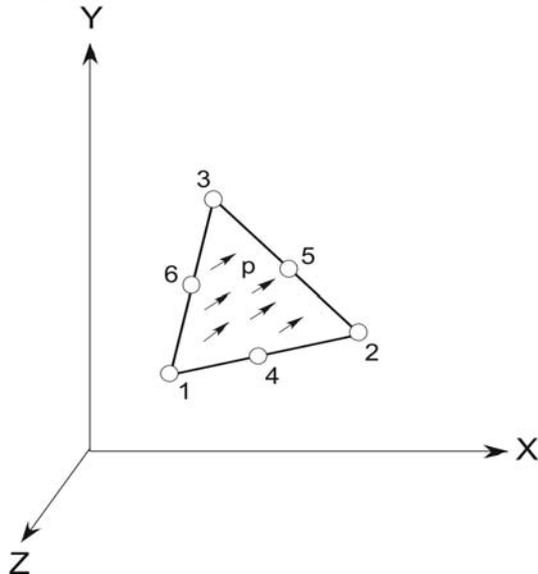


Schale Nr.21 mit Druckbelastung

Schale Nr.22:

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.22 aufgegeben werden sollen:

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

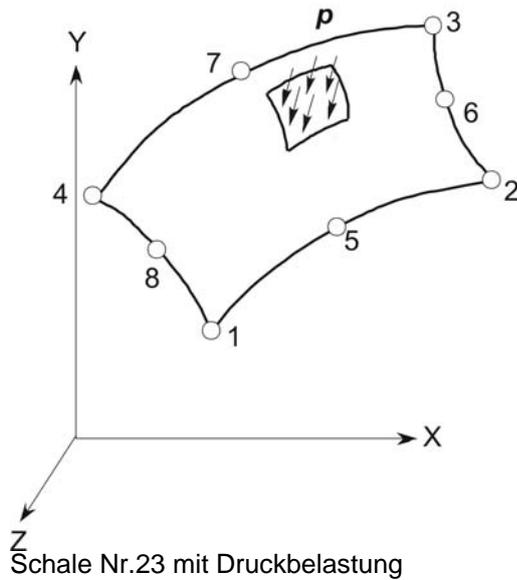


Schale Nr.22 mit Druckbelastung

Schale Nr.23:

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.23 aufgegeben werden sollen:

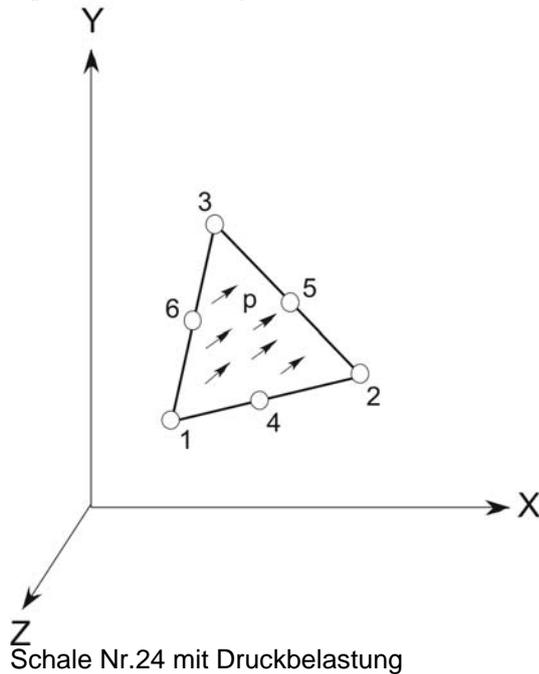
- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*
- > *4 Eckknoten und 4 Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*



Schale 24:

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.23 aufgegeben werden sollen:

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



Vereinfachtes Vorgehen für Schalen Nr.23 und Nr.24:

Wenn auf eine ganze Elementgruppe ein Druck wirkt, dann kann dieser Druck vereinfacht in der Sektion „Elastizitätsgesetze“ von Z88I1.TXT wie bei Platten angegeben werden:

4. Eingabegruppe, beginnend nach letztem Element, enthält:

Elastizitätsgesetze, 1 Zeile für jedes Elastizitätsgesetz.

Dieses E-Gesetz gilt ab Element- Nr. incl. [Long]
Dieses E-Gesetz gilt bis Element Nr. incl. [Long]
Elastizitäts-Modul [Double]
Querkontraktionszahl [Double]
Integrationsordnung [Long]
Querschnittswert QPARA [Double]
> Flächenlast [Double]

Dazu muss das Schalenflag IHFLAG ungleich 0 sein und gleichzeitig das Flächenlastflag IQFLAG dann 0 sein.

3.1.7 MATERIALDATEI Z88MAT.TXT

Durch die Erweiterung um eine Materialdatenbank sind die Materialdaten in Z88 Aurora in einer separaten Datei ausgelagert. Wenn eine bestehende Z88I1.TXT importiert wird, werden die Materialinformationen entnommen und automatisch in die Z88MAT.TXT übernommen. Allerdings ist ein späteres Editieren der Z88I1.TXT zwar möglich, die Informationen werden von Aurora nicht übernommen (Abhilfe: erneutes Importieren). Die Datei besteht lediglich aus einer Eingabegruppe in einer Zeile, es wird aus dieser Datei heraus eine *.csv Datei angesteuert, die die Materialdaten enthält. Der Aufbau ist dem der letzten Eingabegruppe in der Z88I1.TXT sehr ähnlich.

1. Eingabegruppe:

1. Zahl: Anzahl der Materialien

2. Eingabegruppe: jeweils eine Zeile pro verwendetes Material

1. Zahl: Material gilt von Element Nr. incl.

2. Zahl: Material gilt bis Element Nr. incl.

3. Zahl: Integrationsordnung

4. Zahl: Material wird zugewiesen Körper Nr.

5. Zahl: MATFLAG (0=Hooke'sches Material)

weiterer Eintrag der 1. Eingabegruppe: Name der *.csv- Datei

Erläuterungen zur MATFLAG:

Bei Z88 Aurora 1.0 noch keine Auswahlmöglichkeit, Standardwert 0 bedeutet Hooke'sches Materialverhalten. In späteren Z88 Aurora Versionen ist nichtlineares Materialverhalten geplant, hierzu wird das neue MATFLAG benötigt.

3.1.8 ELEMENTPARAMETERDATEI Z88ELP.TXT

Enthält die Platten-, Schalen- und Balkeninformationen, bekannt aus der letzten Eingabegruppe der Z88I1.TXT. Für diese Datei gilt das gleiche wie für Z88MAT.TXT: Beim Import einer bestehenden Z88 Datei werden die erforderlichen Daten automatisch übernommen, späteres Editieren der Z88I1.TXT hat aber keinen Einfluss mehr auf das Ergebnis.

1. Eingabegruppe:

1. Zahl: Anzahl der Elementparameter

2. Eingabegruppe: jeweils eine Zeile pro verwendetes Element

1. Zahl: Element gilt von

2. Zahl: Element gilt bis

3. Zahl: QPARA

für Balken:

4. Zahl: Biegeträgheitsmoment um yy-Achse [Double]

5. Zahl: max. Randfaserabstand von yy-Achse [Double]

6. Zahl: Biegeträgheitsmoment um zz-Achse [Double]

7. Zahl: max. Randfaserabstand von zz-Achse [Double]

8. Zahl: Torsions-Trägheitsmoment [Double]

9. Zahl: Torsionswiderstandsmoment [Double]

3.1.9 SOLVERSTEUERUNGSDATEI Z88MANAGE.TXT

Die Solversteuerungsdatei Z88MANAGE.TXT enthält viele Informationen, die früher in verschiedenen Dateien (Z88I3.TXT und Z88I4.TXT) verfügbar waren. Sie ist in drei Bereiche aufgeteilt: den Global-, den linearen Solver- und den Spannungsteil. Die folgende Abbildung zeigt eine typische Z88MANAGE.TXT.

DYNAMIC START

Z88aurora Version 1

GLOBAL

GLOBAL START

SIMCASE	1
NEG	1
IQFLAG	1
LOADCASE	1
LOADSELECT	0
LOADADD	0

GLOBAL END

LINEAR SOLVER

SOLVER START

ICFLAG	3
MFLAG	0
MAXIT	10000
EPS	1e-007

RALPHA	0.0001
ROMEGA	1.1
ICORE	4
OUTPATH	".\out_of_core\"
DUMPMAX	1000

SOLVER END

 STRESS

STRESS START	
NINTO	5
KSFLAG	0
ISFLAG	1

STRESS END

DYNAMIC END

Erläuterungen zu den einzelnen Angaben:

GLOBAL:

SIMCASE Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

NEG ist die Anzahl der Materialgesetze

IQFLAG ist das Flächenlastflag

LOADCASE Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

LOADSELECT Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

LOADADD Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

LINEAR SOLVER:

ICFLAG legt den Solvertyp fest (0=Cholesky, 1=SICCG, 2=SORCG, 3=Pardiso)

MFLAG Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

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!

RALPHA ist der Konvergenz-Beschleunigungsparameter α . Mit diesem Parameter für SIC-Vorkonditionierung wählen Sie den Shift-Faktor α für den Iterationsolver SICCG (zwischen 0 und 1, brauchbare Werte können zwischen 0.0001 und 0.1 liegen). Ein guter Startwert ist 0.0001.

ROMEGA ist der Konvergenz-Beschleunigungsparameter ω . Mit diesem Parameter für SOR-Vorkonditionierung wählen Sie den Relaxationsfaktor ω für den Iterationsolver 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.

ICORE ist ein Steuerungsparameter des Pardisosolvers. Er legt die Anzahl der CPUs bei Mehrprozessorsystemen, maximal 9, fest.

OCCFLAG ist die Out of Core Variable des Pardisosolvers.

OUTPATH ist ein Steuerungsparameter des Pardisosolvers. Er legt das Swapping-Verzeichnis fest.

DUMPMAX ist die vorgegebene maximale Speichermenge, die der Pardisosolver benutzt.

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:

```

MAXIT5000
EPS          0.0000001
RALPHA      Standardwert ohne Bedeutung
ROMEGA      0.9

```

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:

```

MAXIT10000
EPS          1e-9
RALPHA      0.001
ROMEGA      Standardwert ohne Bedeutung

```

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:

```

MAXITStandardwert ohne Bedeutung
EPS          Standardwert ohne Bedeutung
RALPHA      Standardwert ohne Bedeutung
ROMEGA      Standardwert ohne Bedeutung
ICORE4

```

Beispiel 4: Sie wollen mit dem Cholesky-Solver.

> Also:

Die Steuerwerte MAXIT, EPS, RALPHA, ROMEGA und ICORE können beliebig sein und haben keine Bedeutung.

STRESS:

Siehe Ausführungen zu Z88I3.TXT.

Im Menü "Solver" unter "Solveroptionen" können die Solverparameter der einzelnen Gleichungslöser editiert werden, näheres zum Gebrauch des Solvermenüs, siehe im Benutzerhandbuch, weiteres zum Umnummerierer Z88H siehe Kapitel 4.2.4.

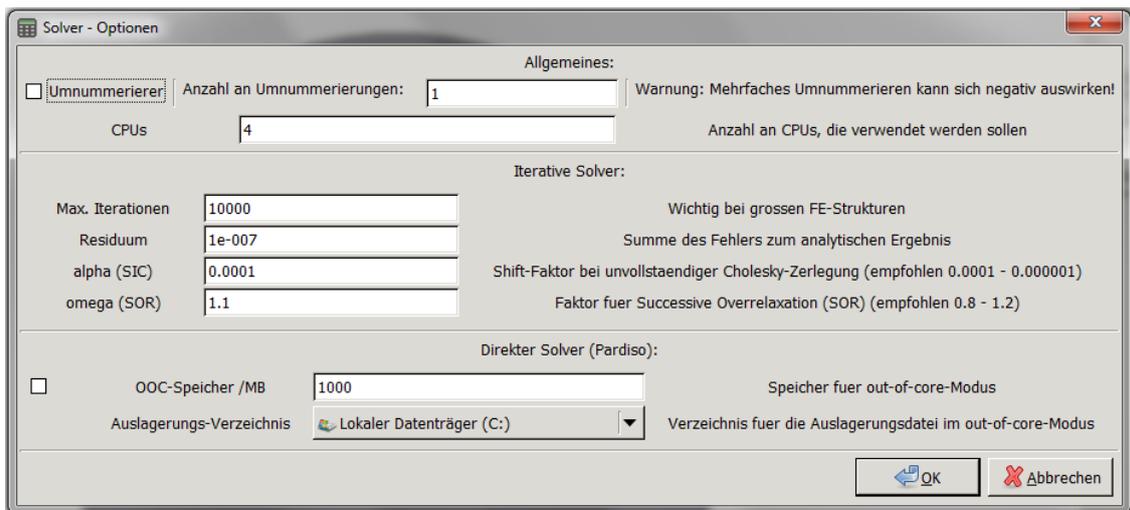


Abbildung 7: Solveroptionsmenü zur Steuerung der Solverparameter der vier integrierten Solvertypen

3.1.10 AUSGABEDATEIEN Z88O0.TXT bis Z88O8.TXT

Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über die Ausgabedateien von Z88 Aurora:

- Z88O0.TXT (aufbereitete Eingabedaten)
- Z88O1.TXT (aufbereitete Randbedingungen)
- Z88O2.TXT (berechnete Verschiebungen)
- Z88O3.TXT (berechnete Spannungen)
- Z88O4.TXT (berechnete Knotenkräfte)

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

3.1.11 STEUERDATEI Z88.DYN

Generelle Einstellungen, wie der Speicherbedarf oder das Erscheinungsbild von Z88 Aurora 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 Z88 Aurora Benutzerhandbuch.

Die Dateien befinden sich im Arbeitsverzeichnis von Z88 Aurora. Dies ist je nach Plattform in z88aurorav1/bin/*(*Auswahl* Betriebssystem) zu finden. Das Arbeitsverzeichnis ist nicht zu verwechseln mit dem Projektverzeichnis, das beim Programmstart vom Benutzer eigenständig gewählt bzw. definiert wird.

I. Zweck und Aufbau der Steuerdatei Z88.DYN

Z88 Aurora 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 Z88 Aurora 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. Am Ende dieses Kapitels sind sämtliche Steuerparameter aufgelistet. Zeigt sich während der Verwendung von Z88 Aurora, dass der Speicher nicht ausreicht, wird eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben, vgl. Abbildung 8.

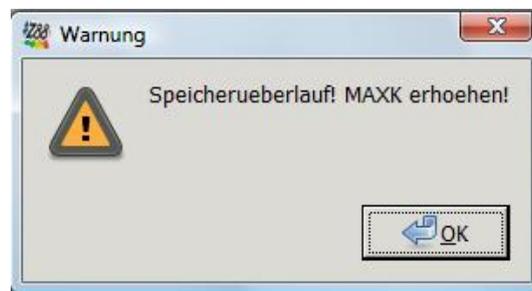


Abbildung 8: Speicherüberlauf bei zu vielen Knoten

Anschließend öffnet sich der Dialog "Optionen", bei dem unter der Registerkarte "Speicher" der entsprechende Parameter erhöht werden kann, vgl. Abbildung 9. 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 Z88 Aurora beendet. Im Hintergrund wurde die Steuerdatei entsprechend den Korrekturen geändert. Beim nächsten Neustart von Z88 Aurora 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 sämtliche Speicherparameter. Nach Beenden des Dialogs wird die Datei Z88.DYN aktualisiert und man kehrt ohne Neustart zu Z88 Aurora zurück.

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 (Ver-

sionen 64-Bit für Windows, Linux und Mac OS-X), damit die internen Schleifenzähler nicht überlaufen.

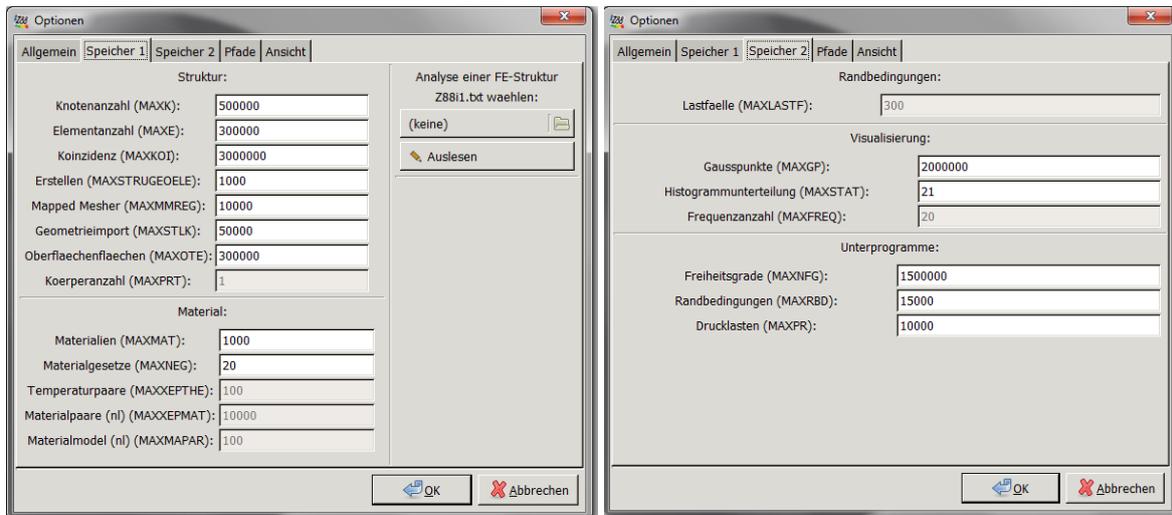


Abbildung 9: Speichereinstellungen im Optionsmenü

Z88 Aurora arbeitet bei den 32-Bit-Versionen mit

- Gleitkomma-Zahlen mit doubles = 8 Bytes und
- Ganzzahlen und Pointer mit longs = 4 Bytes.

Z88 arbeitet bei den 64-Bit-Versionen mit

- Gleitkomma-Zahlen mit doubles = 8 Bytes und
- Ganzzahlen und Pointer mit longs = 8 Bytes.

In Abbildung 10, auf der nächsten Seite, ist ein Beispiel für eine Datei Z88.DYN mit den erwähnten Schlüsselwörtern gezeigt.

```

DYNAMIC START
-----
-
Z88 new version 14.0                               Z88 neue Version 14.0
-----
-
-
-
LANGUAGE                                             SPRACHE
-----
-
GERMAN
-----
-
Common entries for all modules                       gemeinsame Daten fuer
alle Module
-----
-

```

```
COMMON START
  MAXKOI          3000000
  MAXK            700000
  MAXE            300000
  MAXNEG          100
  MAXGP           2000000
  MAXOTE          5000000
  MAXSTRUGEOELE  50
  MAXLASTF        300
  MAXSTLK         50000
  MAXMAT          1000
  MAXXEPTHE       100
  MAXXEPMAT       10000
  MAXMAPAR        100
  MAXMMREG        10000
  MAXSTAT         50
  MAXFREQ         20
  MAXNFG          100000
  MAXRBD          100000
  MAXPR           100
  MAXPRT          1
COMMON END
DYNAMIC END
```

Abbildung 10: 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`. Zwischen den Zeilen `COMMON START` und `COMMON END` stehen die Speicherparameter.

MAXKOI legt die Anzahl an Koinzidenzknoten fest. Es handelt sich dabei um die Summe der Knoten aller Elemente. Liegt z.B. eine Struktur aus zwei achtknotigen Hexaedern vor, die an vier Knoten aneinander hängen, so gibt es 12 Knoten ($\text{MAXK} = 12 + 5 = 17$) und aber 16 Koinzidenzknoten ($\text{MAXKOI} = 8 + 8 + 5 = 17$).

MAXK bestimmt die Maximalzahl an Knoten.

MAXE legt die größtmögliche Anzahl an Elementen fest.

MAXNEG ist die maximale Zahl der Materialgesetze bzw. der verschiedenen Materialien.

MAXGP legt höchste Zahl an Integrationspunkten für die visuelle Darstellung fest.

 **MAXOTE** ist die maximale Zahl an Oberflächen. Eine Oberfläche ist die Seite eines Elementes, sofern sie von außen sichtbar ist. Je nach Struktur können unter Umständen mehr Oberflächen als Elemente vorliegen.

 **MAXSTRGEOELE** legt die maximale Anzahl an Knoten und Elementen fest, die mit dem Werkzeug FE-Strukturerstellung erzeugt werden können.

 **MAXLASTF** Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

 **MAXSTLK** ist die Maximalzahl an Knoten für importierte STL-Netze.

 **MAXMAT** bezeichnet die maximale Zahl an Materialien, die in der Materialdatenbank gespeichert werden können.

 **MAXXEPH** Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

 **MAXXEPMAT** Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

 **MAXMAPAR** Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

MAXMMREG bezeichnet die größtmögliche Zahl an Regeln für die Vernetzung von Superstrukturen mit dem Modul Z88N.

 **MAXSTAT** ist die Maximalzahl der Intervalle in der Spannungsstatistik, Registerkarte "Statistik" des Postprozessors.

 **MAXFREQ** Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

MAXNFG bezeichnet die Maximalzahl an Freiheitsgraden. Bei Kontinuumselementen beispielsweise besitzt jeder Knoten drei Freiheitsgrade. Somit ergibt sich die Anzahl an Freiheitsgraden durch Multiplikation der Knotenzahl mit dem Faktor drei.

MAXRBD ist die maximal mögliche Anzahl an Randbedingungen, die aufgegeben werden können.

MAXPR bezeichnet die maximale Zahl an Drucklasten, die aufgegeben werden können.

 **MAXPRT** Dummywert, hat in Z88 Aurora Version 1 noch keine Bedeutung

3.1.12 ⚠️ STEUERDATEI Z88ENVIRO.DYN

Z88 Aurora beinhaltet eine Projektmappenverwaltung. Während der Arbeit mit Z88 Aurora muss ein Projektverzeichnis gewählt sein. Hier werden alle Ein- und Ausgabedateien, sowie Protokolldateien abgelegt. Die Datei Z88ENVIRO.DYN beinhaltet den Pfad dieses Projektverzeichnisses. 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.

Tabelle 3: Liste der Flags der Dateien Z88ENVIRO.DYN

Flag	Bedeutung	Mögliche Werte
NODEPICK	Steuert, ob Mittenknoten bei Hexaedern Nr. 10 mit 20 Knoten und Tetraedern Nr. 16 mit 10 Knoten angewählt werden können (1) oder nicht (0)	0: Mittenknoten nicht anwählbar 1: Mittenknoten anwählbar
RANDSTART	Legt fest, ob zu Programmstart alle Elemente (0) oder nur die Oberflächenelemente (1) angezeigt werden	0: Alle Elemente 1: Nur Oberflächenelemente
LANG	Stellt die Sprache ein, wird stets konform der Z88.DYN gehalten	1: Deutsch 2: Englisch
CPU	Standardwert für die Anzahl der verwendeten Rechenkerne bei der Berechnung, es handelt sich um die Zahl, die unter "erweiterte Einstellungen" im Solver steht	z.B. 1: Ein Rechenkern z.B. 4: Vier Rechenkerne
OCC_MEM	Maximaler Speicher für Swapping des Solvers "Pardiso"	z.B. 2000
OCC_PATH	Pfad für Swapping des Solvers "Pardiso"	z.B. D:\OOC
TOOLBAR_IMP	Einblendung des zusätzlichen Toolbars "Import"	0: ausgeblendet 1: eingeblendet
TOOLBAR_VIEW	Einblendung des zusätzlichen Toolbars "Ansicht"	0: ausgeblendet 1: eingeblendet
TOOLBAR_PRE	Einblendung des zusätzlichen Toolbars "Preprozessing"	0: ausgeblendet 1: eingeblendet
SCROLLER	Geschwindigkeit Mousrad für Ansichtsdarstellung	1 bis 299
ROTATOR	Geschwindigkeit der Rotation für Ansichtsdarstellung	0,1 bis 2,0
TRANSLATOR	Verschiebungsfaktor für Ansichtsdarstellung	0,1 bis 2,0

In Abbildung 11 ist ein Beispiel für eine Steuerdatei Z88ENVIRO.DYN gezeigt. Die Z88ENVIRO.DYN befindet sich ebenfalls im Unterverzeichnis z88aurorav1/bin/* (Auswahl Betriebssystem).

```
#Projektverzeichnis auch von der letzten Sitzung

WORKPATH          C:\aurora_berechnungen

#Addons die hinzugeschaltet werden koennen

ADDONS    A01_GEOCON    C:\z88aurorav1\addons\geocon
ADDONS    A02_TETGEN    C:\z88aurorav1\addons\tetgen
ADDONS    A03_NETGEN    C:\z88aurorav1\addons\netgen

#FLAGS zum Ansteuern der verschiedenen Optionen

FLAG NODEPICK          1
FLAG RANDSTART        0
FLAG    LANG            1
FLAG    CPU             4
FLAG    OCC_MEM         2000
FLAG    OCC_PATH        D:\OCC
FLAG    TOOLBAR_IMP     1
FLAG    TOOLBAR_VIEW    1
FLAG    TOOLBAR_PRE     1
FLAG    SCROLLER        250
FLAG    ROTATOR          1
FLAG    TRANSLATOR      1

#PFADE zu externen Programmen

PATH P01_ACROBAT    C:\Program Files (x86)\Adobe\Acrobat
9.0\Acrobat.exe
PATH P02_PLAYER     C:\ (Vorgabe in Windows nicht nötig)
PATH P03_BROWSER    C:\Program Files (x86)\Mozilla Fire-
fox\firefox.exe
PATH P04_MEDIAPLAYER

#ENDE
```

Abbildung 11: Beispiel Z88ENVIRO.DYN

Zeilen, denen ein Balkenkreuz (#) voran steht, werden von Z88 Aurora nicht beachtet. Sie dienen dem Leser der Datei als Hilfestellung. Hinter WORKPATH steht das Projektverzeichnis, das momentan bearbeitet wird. Hinter ADDONS stehen die Pfade von Zusatzmodulen. Die Flags, die in Tabelle 3 aufgelistet sind, werden durch das vorangestellte Schlüsselwort FLAG gekennzeichnet. Sie können unter "Hilfe" > "Optionen" in der Registerkarte "Ansicht" geändert werden, vgl. Abbildung 12.

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 Optionen im Menü Hilfe eingestellt werden, vgl. Abbildung 12. Erfahrene Nutzer können sie auch direkt in der Datei editieren.

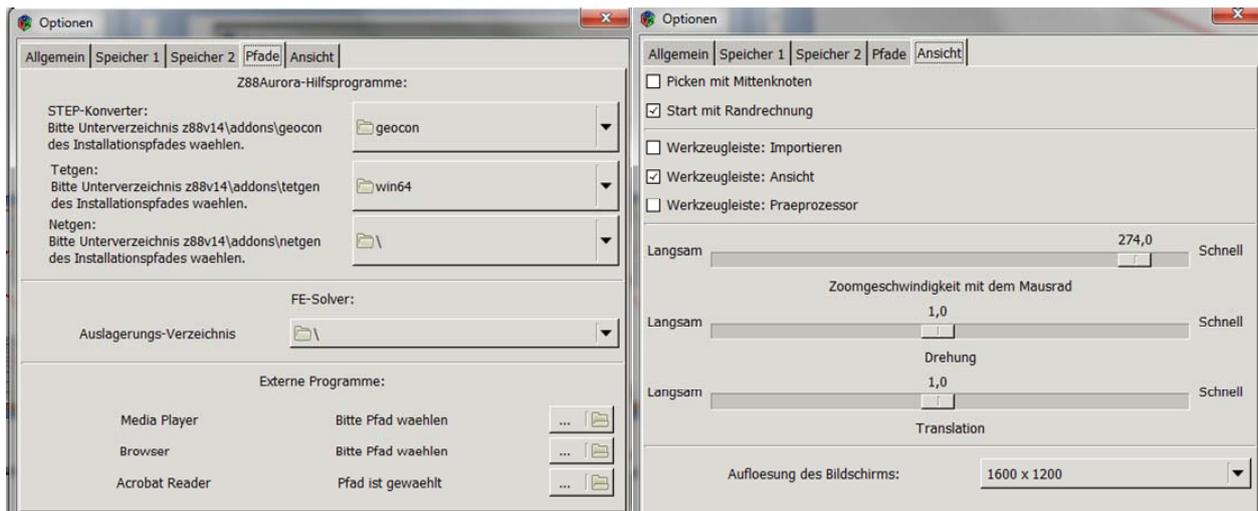


Abbildung 12: Flags für die Standardansicht (links) und die Pfadeinstellungen (rechts)

DIE Z88-MODULE

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

3.2 SCHNITTSTELLEN UND DATEIKONVERTER FÜR CAD-UND FE-PROGRAMME

Z88 Aurora bietet Ihnen die Möglichkeit, eine Vielzahl von gängigen Dateiformaten aus kommerziellen Simulationsprogrammen einzuladen, reine Geometriedaten oder Superstrukturen zu importieren, sowie bestehende FE-Daten aus der Version 13 des Open Source Programms Z88 weiter zu verwenden. Darüber hinaus können Daten in verschiedenen Formaten exportiert werden. Jeder dieser Konverter bietet individuellen Funktionsumfang und gegebenenfalls eigene Einstellmöglichkeiten.

Da aber insbesondere die eigentlich proprietären Datenformate der Simulationsprogramme keinem nationalen oder internationalen Standard 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 Convertern kompatibel sind. Bitte beachten Sie die entsprechenden Hilfestellungen in den Erklärungen.

Es bestehen zwei Möglichkeiten den Import und Export von Dateien aufzurufen:

1. Über das Textmenü (Abbildung 13)
2. Über die Toolbar (Abbildung 14)

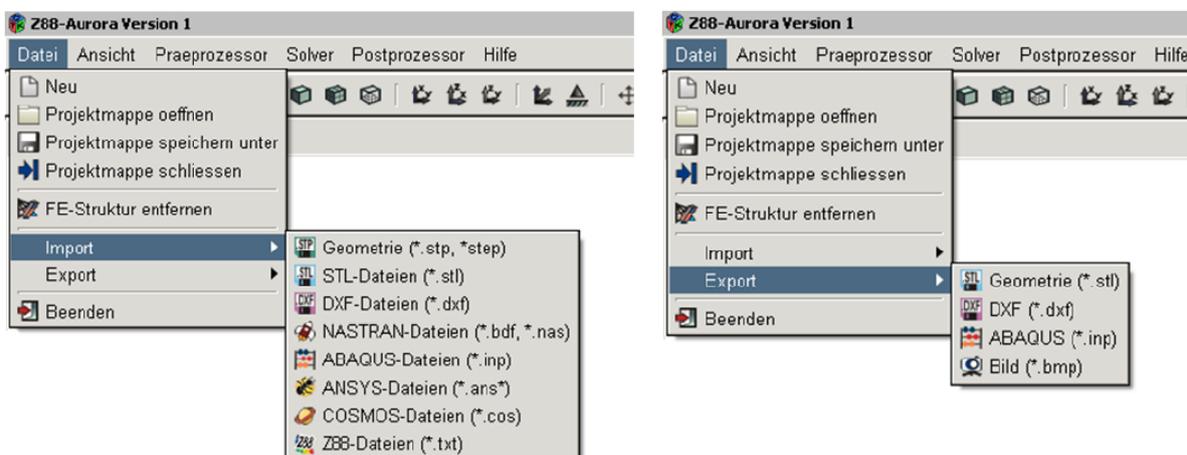


Abbildung 13: Import und Export im Textmenü

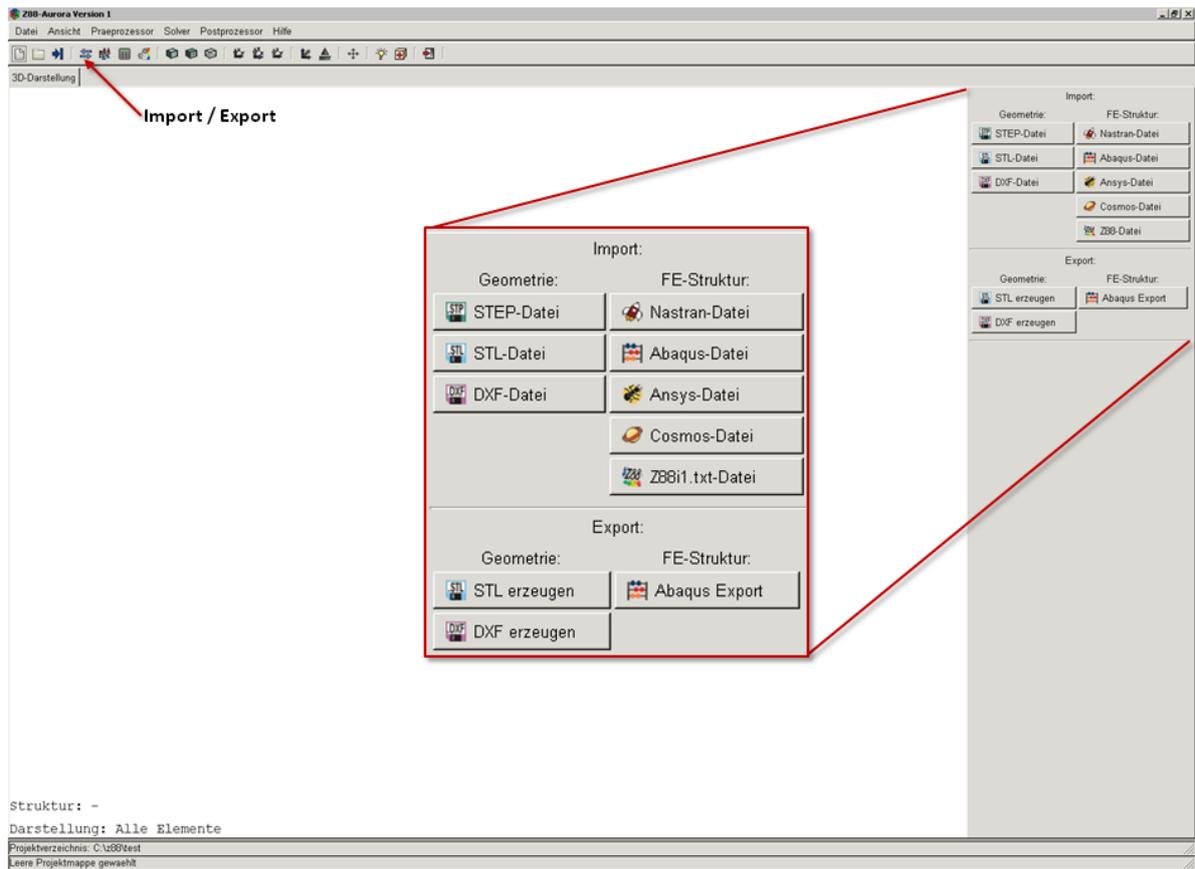


Abbildung 14: Import und Export über die Toolbar

Je nach Funktionsumfang des Konverters kann eine Vielzahl von FE-Modelldaten importiert oder exportiert 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 Z88 Aurora überführt, und Materialdaten können übernommen werden.

Je nach Inhalt der ursprünglichen Daten ist es, abhängig von der Schnittstelle, auch möglich Randbedingungen, also Festhaltungen und Lasten, zu übertragen. Sie können diese aber natürlich auch in Aurora aufbringen. Eine entsprechende Übersicht über die Modelldaten, welche Sie übernehmen können, finden Sie in den Tabellen Tabelle 1, Tabelle 4 und Tabelle 5, Informationen zu den möglichen Elementtypen entnehmen Sie bitte der Tabelle 1 im Kapitel 2.

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

Tabelle 4: Modelldaten, die aus FE-Strukturdaten übernommen werden können

	Z88V13 	DXF 	ABAQUS 	ANSYS 	COSMOS 	NASTRAN 
FE-Struktur	✓	✓	✓	✓	✓	✓
FE-Superstruktur	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Materialgesetze	✓	✓	✓ (1 Material)	✓	✓	✓
Einzellasten	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Festhaltungen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Flächenlasten	✓	✓	✓ nur Import	✓	✓	✓
Solveroptionen	✓	✗	✗	✗	✗	✗

Tabelle 5: Übersicht über die erzeugbaren Z88 Eingabedaten aus Fremddaten

	Z88 V13 	DXF 	ABAQUS 	ANSYS 	COSMOS 	NASTRAN 
Z88I1.TXT	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Z88I2.TXT	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Z88I3.TXT	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Z88I4.TXT	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Z88I5.TXT	✓	✓	✓	✓	✓	✓

3.2.1 DAS EINLESEN VON DATEN AUS VORHERGEHENDEN

Z88- VERSIONEN BIS V13

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 Z88 Aurora verwendet werden. Gegebenenfalls sind nur ein paar kleine Anpassungen nötig.

Welche Z88-Versionen können mit Z88 Aurora zusammenarbeiten?

Prinzipiell kann jede Eingabedatei aus jeder vorhergehenden Version eingelesen werden. Hauptsächlich ist die Funktion für den Import von Dateien aus der Version 13 vorgesehen. Daher müssen ältere Daten auf den Stand dieser Version gebracht werden. Dafür genügt meist das Hinzufügen einzelner Flags oder Werte, entsprechend einem Handbuch der V13.

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Natürlich können Sie jedes aus vorhergehenden Z88-Releases bekannte Element verwenden.

Welche Funktionen bietet der Konverter?

Importfunktionen des Konverters :

Konvertierung > von Z88I1.TXT(V13) nach Z88I1.TXT

Konvertierung > von Z88I2.TXT(V13) nach Z88I2.TXT

Import > von Z88I3.TXT(V13) in die Optionseinstellungen von Z88 Aurora

Konvertierung > von Z88I5.TXT(V13) nach Z88I5.TXT

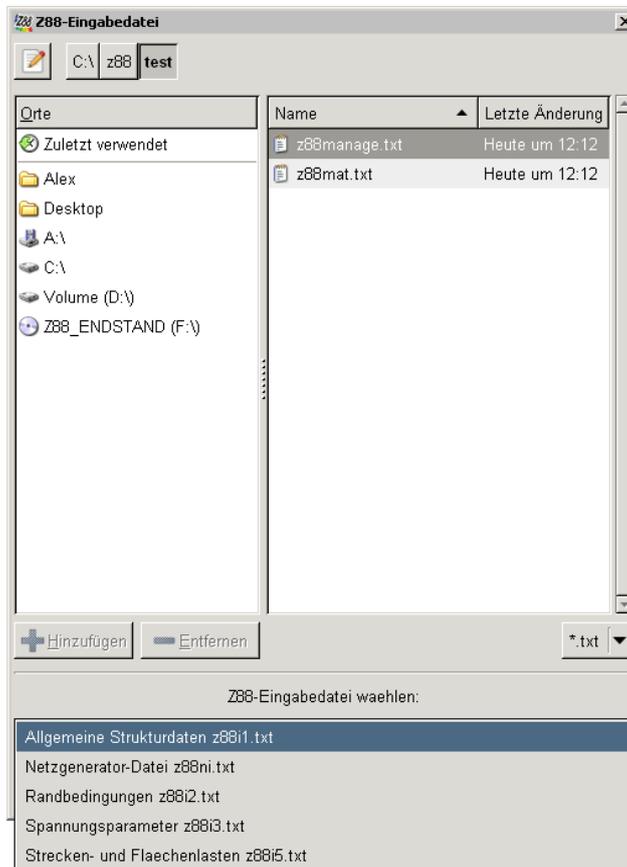


Abbildung 15: Import von Dateien aus früheren Versionen von Z88 in Aurora

Wie ist die Vorgehensweise?

1. Zunächst müssen Sie die Strukturdaten Ihres alten Modells einlesen:
In Z88 Aurora wählen Sie im Menü *Datei > Import > Z88-Dateien* und im anschließenden Auswahlmenü die Option *Allgemeine Strukturdaten* (Abbildung 1). Damit werden alle Knoten, Elemente, sowie vorhandene Materialgesetze direkt übernommen. Falls Sie keine Randbedingungen oder Spannungsparameter nachziehen wollen, haben Sie es jetzt schon geschafft.
2. Randbedingungen, Spannungsparameter und Druck nacheinander importieren:
Wählen Sie *Datei > Import > Z88(Z88I2.TXT, Z88I3.TXT, Z88I5.TXT)*. Bitte beachten Sie, dass jedes Mal nur eine Datei ausgewählt werden kann! Also bitte diesen Schritt wiederholen, bis alle gewünschten Daten vorhanden sind.

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

3.2.2 DER STEP-IMPORT IN Z88 AURORA Z88GEOKON(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 Z88 Aurora 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 Z88X 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 Z88 Aurora 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) überführt werden.

Welche Funktionen bietet der Konverter?

Z88Geokon > Konvertierung > von *.step oder *.stp nach visualisierter Superstruktur Z88II.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 Z88 Aurora 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 1).
3. Z88Geokon erstellt aus Ihrer Datei eine STL, welche für die Visualisierung in Z88 Aurora benötigt wird. Diese Darstellung können Sie nun vernetzen und weiterbearbeiten.

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

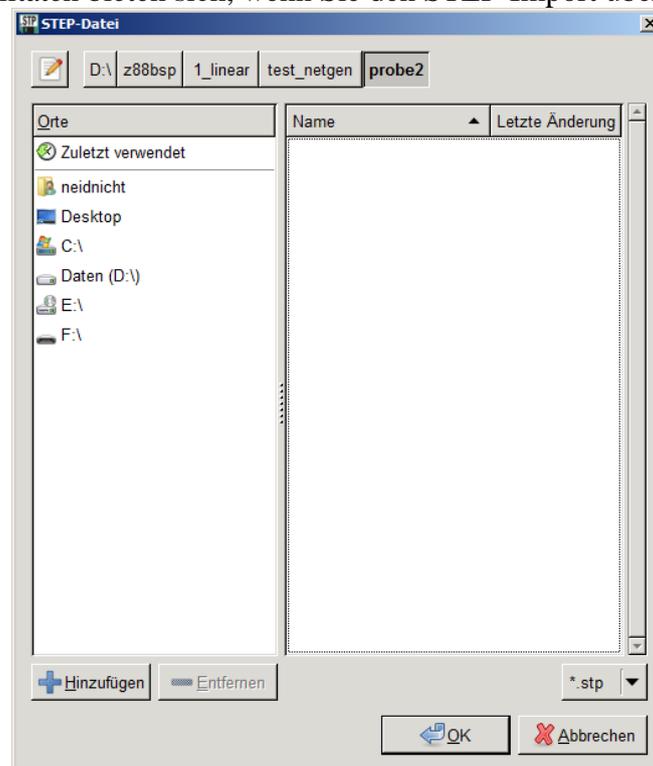


Abbildung 16: Einlesen von STEP-Daten

3.2.3 DER STL-KONVERTER Z88GEOCON(STL)

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Ebenso wie STEP ist STL (Stereolithographie) 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 Ihrem 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 Z88GEOCON zusammenarbeiten?

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

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Aus den importierten STL-Daten erstellt Z88 Aurora zunächst eine Visualisierung. Diese kann mittels der vorhandenen Vernetzer in Strukturen aus Elementen Nr.16 oder Nr.17 (lineare oder quadratische Tetraeder) 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 Z88 Aurora 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 (Bild).
3. Die Geometrie wird in Z88 Aurora visualisiert und kann weiterverarbeitet werden. Dieselben Funktionalitäten bieten sich, wenn Sie den STEP-Import über die Toolbar aufrufen.

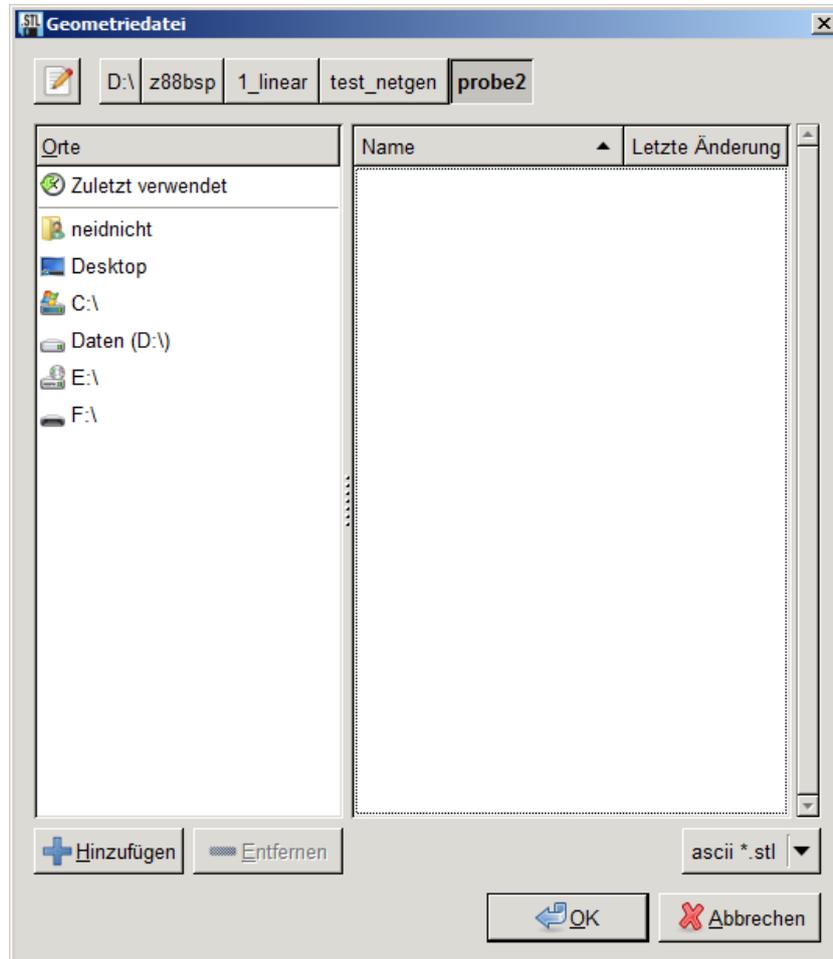


Abbildung 17: Einlesen von STL-Dateien

3.2.4 DER DXF-KONVERTER IN AURORA: Z88X

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 Z88 Aurora zu überführen, auch ohne ein kostspieliges 3D-System. Hierfür ist der Layer basierte Aufbau der DXF-Dateien wie geschaffen. Interessant ist die Tatsache, dass der CAD-Konverter Z88X in beide Richtungen arbeitet.

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 V13 ist im Zusammenspiel mit verschiedenen 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 und AC1012. **Wählen Sie am besten als Austauschformat AutoCAD R12 DXF!**

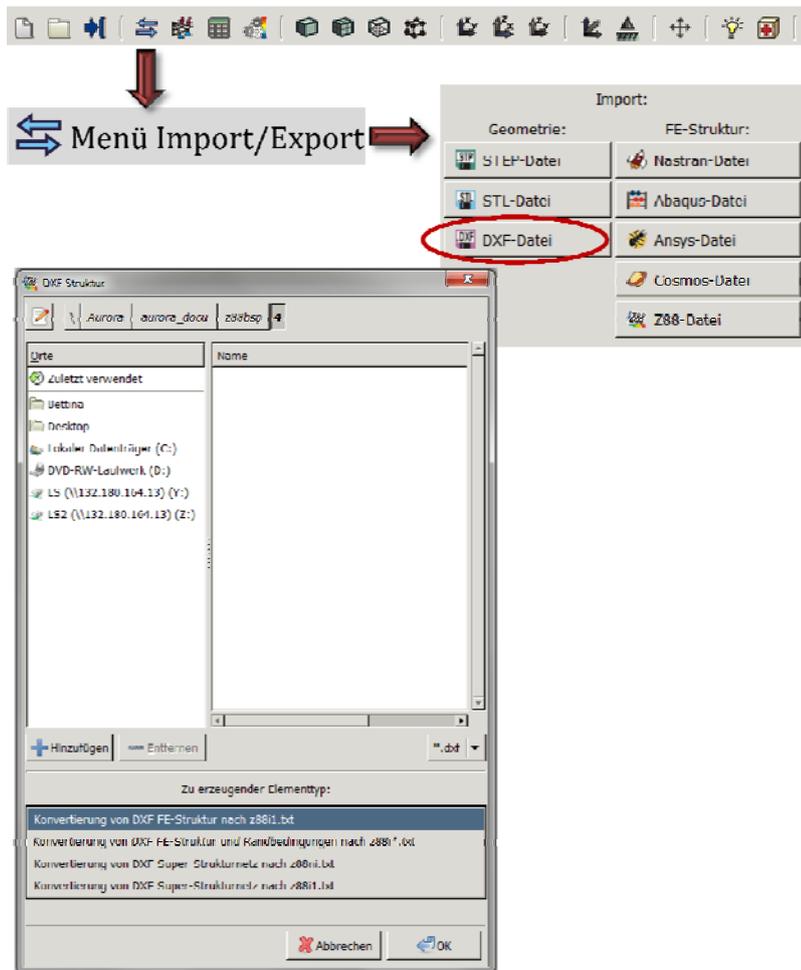


Abbildung 18: Aufruf des DXF-Konverters Z88X und Importmöglichkeiten in Z88 Aurora

Welche Elemente unterstützt der Konverter?

Alle Elementtypen von 1 bis 24 außer den Tetraedern 16 und 17

Welche Funktionen bietet der Konverter?

Importfunktionen des Konverters :

Z88X > Konvertierung > von Z88X.DXF nach Z88I1.TXT

Z88X > Konvertierung > von Z88X.DXF nach Z88I*.TXT

Z88X > Konvertierung > von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT

Exportfunktionen des Konverters:

Z88X, > Konvertierung > von Z88I1.TXT nach Z88X.DXF

Z88X, > Konvertierung > von Z88I*.TXT nach Z88X.DXF

Z88X, > Konvertierung > von Z88NI.TXT nach Z88X.DXF

Da der Konverter *völlig kompatibel in beide Richtungen* ist, können Sie diese Möglichkeiten beliebig oft nacheinander ausführen. Sie werden keinen Datenverlust feststellen! Damit ergibt sich eine höchst interessante Variante:

Mischbetrieb, z.B.

- Bauteil- und Super-Strukturentwurf in **CAD**
- Konvertierung CAD → Z88
- Netzgenerieren in **Z88**
- Konvertieren Z88 → CAD
- Ergänzen der FE-Struktur in **CAD**, z.B. mit nicht-netzgeneratorfähigen Elementen
- Konvertierung CAD → Z88
- Ändern z.B. von Elastizitätsgesetzen in **Z88**
- Konvertierung Z88 → CAD
- Einbau der Randbedingungen in **CAD**
- Konvertieren CAD → Z88
- FE-Analyse in **Z88**
- usw.

Wie ist die Vorgehensweise?

3.2.5 VOM CAD- SYSTEM NACH Z88

Im CAD- System:

Anmerkung: Dieser Punkt Fall 1.1 wird in Kapitel 4.1.7 ausführlicher erläutert. Dies ist ein Überblick.

- 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, Elastizitätsgesetze und Steuerinformationen für den Spannungsprozessor Z88D.
- 7) Auf dem Layer Z88RBD definieren Sie die Randbedingungen.
- 8) Auf dem Layer Z88FLA definieren Sie die Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden.
- 9) Exportieren (Speichern) Sie Ihre Zeichnung unter dem Namen **Z88X.DXF** .

In Z88 Aurora: Starten des CAD-Konverters Z88X

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

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

- *eine Datei der allgemeinen Strukturdaten Z88I1.TXT oder*
- *ein vollständiger Z88-Datensatz mit Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT, ggf. Z88I5.TXT*
- *eine Z88I1.TXT aus einer Superstruktur, welche Sie von Hand in Aurora vernetzen können*

- eine *Z88I1.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.

3.2.6 VON Z88 ZUM CAD- SYSTEM

In Z88: Eingabedateien Z88xx.TXT

Sie haben die Eingabedateien wie

- Netzgeneratordatei *Z88NI.TXT* oder
- Datei der allgemeinen Strukturdaten *Z88I1.TXT* oder
- einen vollständiger Z88-Datensatz mit *Z88I1.TXT*, *Z88I2.TXT*, *Z88I3.TXT*, ggf. *Z88I5.TXT*

entweder per Editor, Textverarbeitungsprogramm, EXCEL oder einer eigenen Routine erzeugt bzw. haben vom CAD-Konverter Z88X generierte Dateien nachträglich verändert bzw. erweitert.

In Z88 Aurora: Starten des CAD-Konverters Z88X im Exportmodus

Wählen Sie im Menü *Datei > Export > DXF-Dateien*.

Alle im aktuellen Projekt vorhandenen Daten, also Struktur und Randbedingungen werden in die Datei *Z88X.DXF* ausgeschrieben. Lagen die Eingabedateien in Polar- oder Zylinderkoordinaten vor, dann werden sie in kartesische Koordinaten umgerechnet.

Im CAD- System:

Importieren Sie die DXF-Datei *Z88X.DXF*. Speichern Sie die geladene Zeichnung unter einem gültigen CAD-Namen (z.B. bei AutoCAD *Name.DWG*) und arbeiten Sie mit der Zeichnung, wobei Sie die verschiedenen Z88-Layer wahlweise ausblenden können.

3.2.7 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 *Z88I1.TXT*. Enthält ferner die Elastizitätsgesetze (4. Eingabegruppe im Netzgenerator-Eingabefile *Z88NI.TXT* und Allgemeine Strukturdaten *Z88I1.TXT*). Dazu kommt ggf. der Inhalt der Datei der Spannungs-Parameter *Z88I3.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.

Z88RBD: Layer, der den Inhalt der Datei der *Randbedingungen* *Z88I2.TXT* enthält.

Z88FLA: Layer, der den Inhalt der Datei der *Strecken- und Flächenlasten* *Z88I5.TXT* enthält, wenn vorhanden.

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 20 (außer 16 und 17):

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 dreimal 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

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 dreimal 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 **LINE-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) :

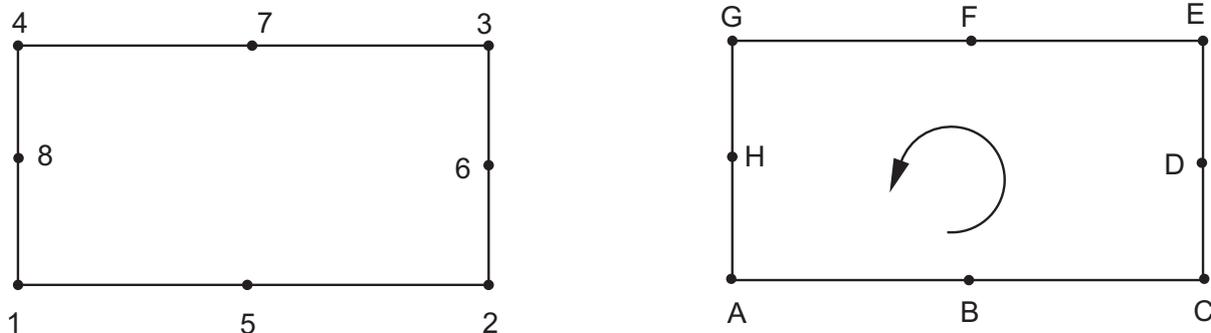
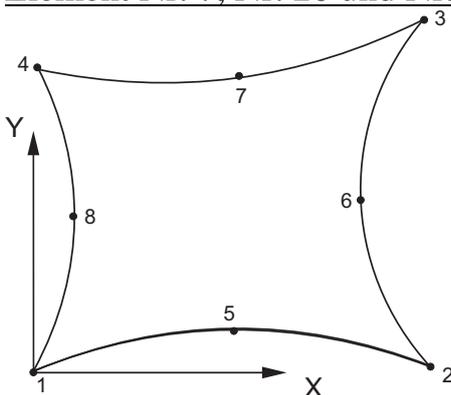


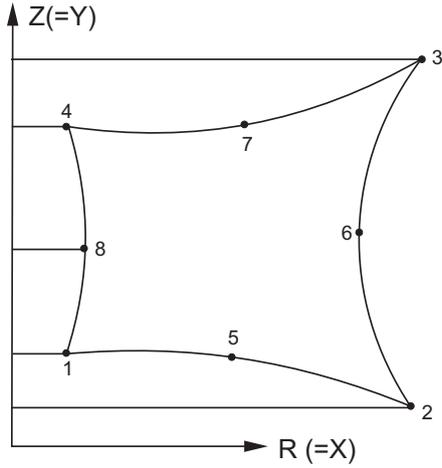
Abbildung 19: Beispiel für richtige Umfassungssinne

Nachfolgend die CAD- Umfassungssinne für alle Elemente außer Nr.16 und Nr.17 (diese Tetraeder lassen sich nur maschinell erzeugen, von Hand ist das kaum möglich):

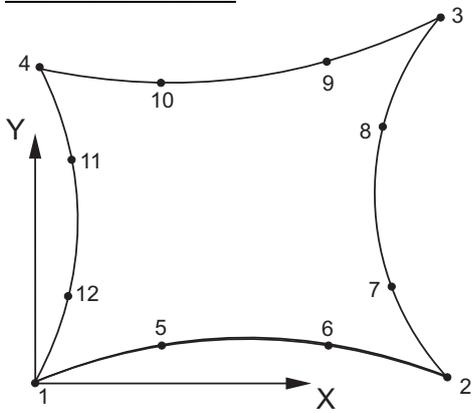
Element Nr. 7, Nr. 20 und Nr. 23: 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1



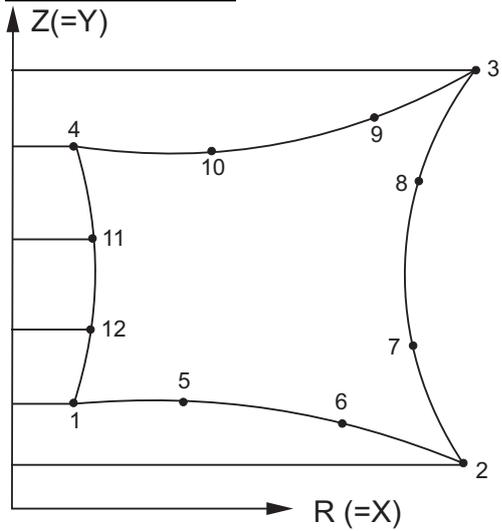
Element Nr. 8: 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1



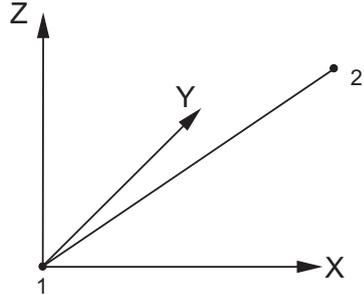
Element Nr.11: 1 - 5 - 6 - 2 - 7 - 8 - 3 - 9 - 10 - 4 - 11 - 12 - 1



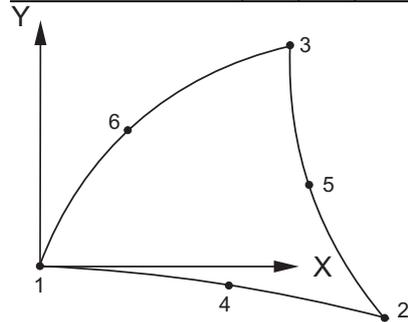
Element Nr.12: 1 - 5 - 6 - 2 - 7 - 8 - 3 - 9 - 10 - 4 - 11 - 12 - 1



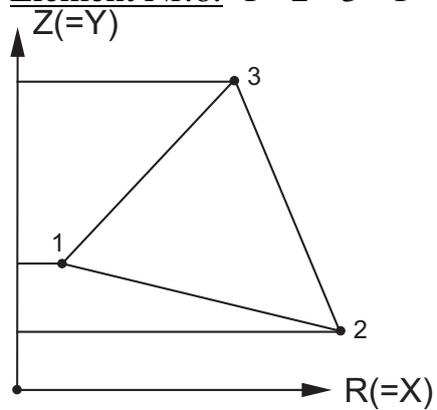
Element Nr. 2, 4, 5, 9, 13: Linie von Knoten 1 nach Knoten 2



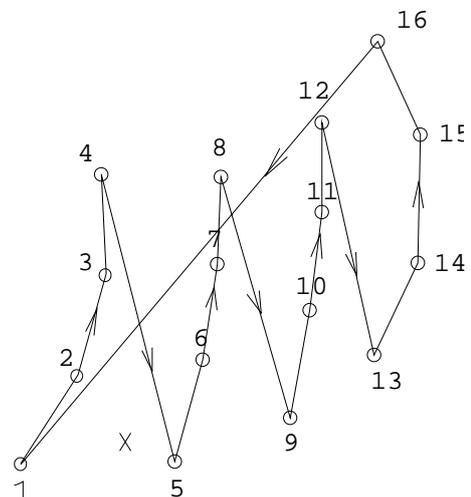
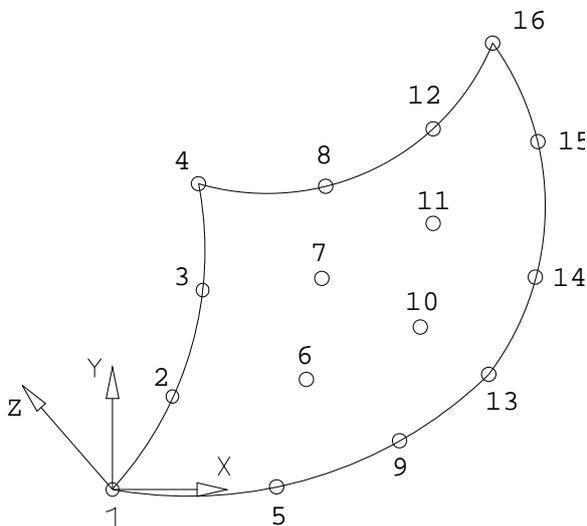
Elemente Nr. 3, 14, 15, 18 und 24: 1 - 4 - 2 - 5 - 3 - 6 - 1



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



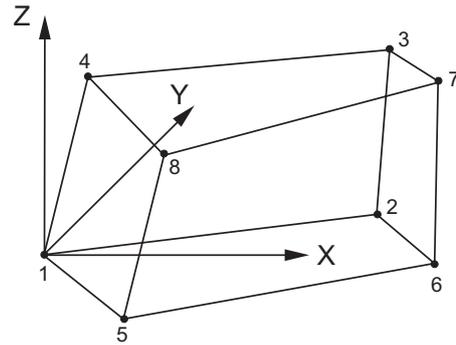
Element Nr.19: 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 11 - 12 - 13 - 14 - 15 - 16 - 1



Element Nr.1:

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

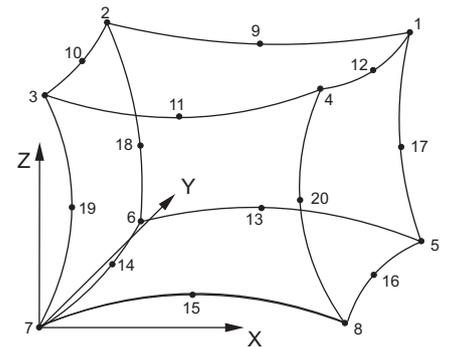
- 1 - 5, Linie beenden
- 2 - 6, Linie beenden
- 3 - 7, Linie beenden
- 4 - 8, Linie beenden



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

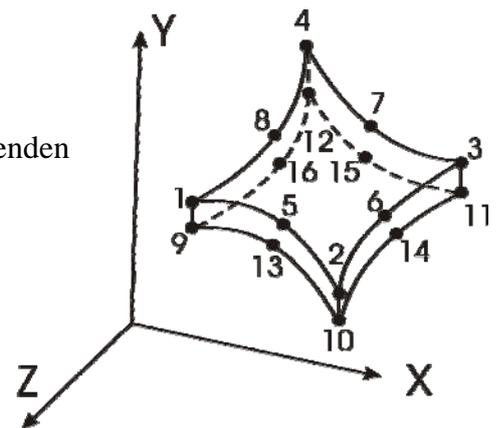
- 1 - 17 - 5, Linie beenden
- 2 - 18 - 6, Linie beenden
- 3 - 19 - 7, Linie beenden
- 4 - 20 - 8, Linie beenden



Element Nr.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

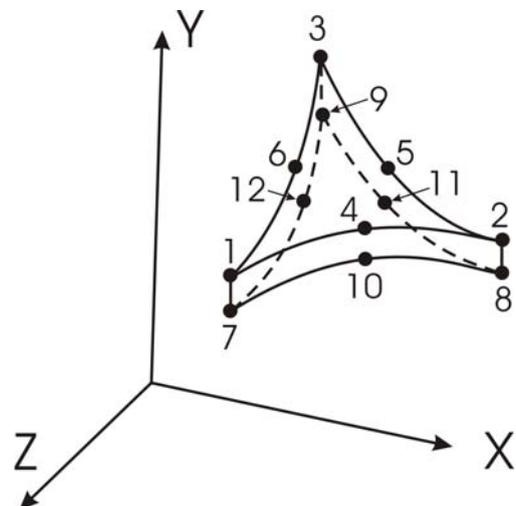
- 1 - 9, Linie beenden
- 2 - 10, Linie beenden
- 3 - 11, Linie beenden
- 4 - 12, Linie beenden



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):

6.1 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

Anzahl Elastizitätsgesetze

Koordinatenflag (0 oder 1)

Balkenflag (0 oder 1)

Plattenflag (0 oder 1)

Flächenlastflag (0 oder 1)

Schalenflag (0 oder 1, 2, 3, 4)

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, 5 Elastizitätsgesetzen. Eingabe in kartesischen Koordinaten, Struktur enthält keine Balken Nr.2 oder Nr.13, Flächenlasten. *Z88I1.TXT 3 150 89 450 5 0 0 0 1*

im Falle Z88NI.TXT (also Superstruktur) :

Z88NI.TXT

Dimension der Struktur

Anzahl Knoten

Anzahl Superelement

Anzahl Freiheitsgrade

Anzahl Elastizitätsgesetze

Koordinatenflag (0 oder 1)

Balkenflag (muss hier 0 sein!)

Plattenflag (0 oder 1)

Flächenlastflag (0 oder 1)

Fangradius- Steuerflag (meist 0)

Koordinatenflag Ausgabe (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, einem Elastizitätsgesetz. Kartesische Koordinaten, keine Balken (ohnehin verboten im Netzgeneratorfile), keine Platten, keine Flächenlasten, Fangradius Standardwert verwenden.

Z88NI.TXT 2 37 7 74 1 0 0 0 0 0

6.2 Elastizitätsgesetze :

Für jedes Elastizitätsgesetz eine Zeile:

MAT

Nummer des Elastizitätsgesetzes

Das E-Gesetz gilt ab Element Nr.abc einschließlich

Das E-Gesetz gilt bis Element Nr.xyz einschließlich

E- Modul

Querkontraktionszahl

Integrationsordnung (von 1 bis 4)

Querschnittsparameter (z.B. bei Scheiben und Platten die Dicke)

... und wenn Balken (aber keine Platten!) definiert sind, zusätzlich:

Biegeträgheitsmoment um yy- Achse

max. Randfaserabstand von yy-Achse

Biegeträgheitsmoment um zz- Achse

max. Randfaserabstand von zz-Achse

Torsions-Trägheitsmoment

Torsionswiderstandsmoment

... und wenn Platten oder Schalen (aber keine Balken!) definiert sind, zusätzlich:

Flächenlast

Alle Werte durch mindestens ein Leerzeichen trennen. **Unbedingt im Layer Z88GEN schreiben.**

Beispiel: Die Struktur habe 34 Superelemente Typ 7. Die Elemente haben unterschiedlich Dicken: Elemente 1 bis 11 Dicke 10mm, Elemente 12 bis 28 15mm und Elemente 29 bis 34 18mm. Werkstoff Stahl. Integrationsordnung soll 2 sein.

MAT 1 1 11 206000. 0.3 2 10.

MAT 2 12 28 206000. 0.3 2 15.

MAT 3 29 34 206000. 0.3 2 18.

6.3 Spannungsparameter :

also die Eingabezeile der Spannungsparameter-Datei Z88I3.TXT

Z88I3.TXT

Integrationsordnung (0 bis 4)

KFLAG (0 oder 1)

Vergleichsspannungs- Hypothese (0 oder 1)

Alle Werte durch mindestens ein Leerzeichen trennen. **Unbedingt im Layer Z88GEN schreiben.**

Beispiel: Die Struktur nutzt finite Elemente Typ 7. Die Spannungsberechnung soll in 3 *3 Gauß-Punkte pro Element erfolgen, es sollen zusätzlich Radial- und Tangentialspannungen berechnet werden. Ferner sollen Vergleichsspannungen nach der Gestaltänderungsenergie-Hypothese berechnet werden. *Z88I3.TXT 3 1 1*

7. Schritt: Legen Sie den Layer **Z88RBD** an und aktivieren Sie ihn. Schreiben Sie mit der TEXT- Funktion an eine freie Stelle (also an irgendeine Stelle Ihrer Zeichnung):

7.1 Anzahl der Randbedingungen, also die erste Eingabegruppe der Datei der Randbedingungen Z88I2.TXT

Z88I2.TXT *Anzahl der Randbedingungen*

in eine Zeile, Werte durch mindestens ein Leerzeichen trennen. **Unbedingt im Layer Z88RBD schreiben.**

Beispiel: Die Struktur wird mit insgesamt 10 Randbedingungen beaufschlagt, z.B. zwei Lasten und acht Auflagerreaktionen. *Z88I2.TXT* 10

7.2 Randbedingungen, also die zweite Eingabegruppe der Randbedingungsdatei Z88I2.TXT
RBD

Nummer der Randbedingung

Knotennummer

Freiheitsgrad

Steuerflag Kraft / Weg (1 oder 2)

Wert

Alle Werte durch mindestens ein Leerzeichen trennen. **Unbedingt im Layer Z88RBD schreiben.**

Beispiel: Die Struktur soll ein Fachwerk aus Stäben sein. Knoten 1 soll in Y und Z gesperrt sein, Knoten 2 in X und Z gesperrt sein. An Knoten 7 und 8 werden in Z- Richtung je 30.000 N nach unten aufgebracht. Knoten 19 sei in X und Z gesperrt, Knoten 20 in Y und Z.

```
RBD 1 1 2 2 0
RBD 2 1 3 2 0
RBD 3 2 1 2 0
RBD 4 2 3 2 0
RBD 5 7 3 1 -30000
RBD 6 8 3 1 -30000
RBD 7 19 1 2 0
RBD 8 19 3 2 0
RBD 9 20 2 2 0
RBD 10 20 3 2 0
```

8. Schritt: Wenn Strecken- und Flächenlasten vorhanden sind: Legen Sie den Layer **Z88FLA** an und aktivieren Sie ihn. Schreiben Sie mit der TEXT-Funktion an eine freie Stelle (also an irgendeine Stelle Ihrer Zeichnung):

8.1 Anzahl der Strecken- und Flächenlasten

Also die erste Eingabegruppe der Datei der Strecken- und Flächenlasten Z88I5.TXT
Z88I5.TXT *Anzahl der Strecken- und Flächenlasten*

in eine Zeile, Werte durch mindestens ein Leerzeichen trennen. **Unbedingt im Layer Z88FLA schreiben.**

Beispiel: Die Struktur wird mit 12 Flächenlasten beaufschlagt. Also: *Z88I5.TXT* 12

8.2 Strecken- und Flächenlasten

Also die zweite Eingabegruppe der Strecken- und Flächenlastdatei Z88I5.TXT

FLA Nummer der Strecken- bzw. Flächenlast

Die weiteren Eingaben hängen vom Elementtyp mit Strecken –bzw. Flächenlast ab:

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

Elementnummer mit Streckenlast

Druck, positiv auf die Kante zeigend

Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung

3 Knoten der belasteten Kante

Beispiel: Das Scheibenelement 97 ist das dritte Element mit Streckenlast und 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: *FLA 3 97 100. 300. 5 13 51*

→ **Hexaeder Nr.1:**

Elementnummer mit Streckenlast

Druck, positiv auf die Kante zeigend

Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung

Tangentialschub, positiv in lokaler s-Richtung

4 Knoten der belasteten Fläche

Beispiel: Das Hexaederelement 356 ist das 34. Element mit Flächenlasten und 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: *FLA 34 356 100. 200. 300. 51 34 99 12*

→ **Hexaeder Nr. 10, Volumenschalen Nr. 21 und Nr. 22:**

Elementnummer mit Streckenlast

Druck, positiv auf die Kante zeigend

Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung

Tangentialschub, positiv in lokaler s-Richtung

8 Knoten der belasteten Fläche

→ **Plattenelemente Nr.18, 19 und 20, Schalen Nr. 23 und Nr. 24:**

Elementnummer mit Flächenlast

Druck, positiv auf die Fläche zeigend

(Einfacher als die Flächenlasteingabe über die Datei Z88I5.TXT ist die Eingabe der Flächenlasten für Platten direkt in die Strukturdatei Z88I1.TXT.)

Alle Werte durch mindestens ein Leerzeichen trennen. **Unbedingt im Layer Z88FLA schreiben.**

9. Schritt : Exportieren (Speichern) Sie Ihre Zeichnung unter dem Namen **Z88X.DXF** im DXF-Format.. Als Genauigkeit Dezimalstellen nehmen Sie am besten den Standardwert, den das CAD-Programm vorschlägt. Achten Sie darauf, dass Sie gleich in das Z88- Directory hineinexportieren bzw. kopieren Sie die Datei Z88X.DXF von Hand ins Z88-Directory, denn der CAD-Konverter Z88X erwartet die Ein- und Ausgabedateien im gleichen Verzeichnis, in dem er selbst steht.

Anschließend können Sie den CAD-Konverter Z88X starten.

Hinweis: Wenn Sie Z88-Textdateien als Z88X.DXF nach CAD konvertieren wollen, können Sie die Textgröße, die für alle Texte wie Knotennummern, Elementnummern etc. gilt, vorwählen. Das ist mitunter sehr wichtig, da es z.B. in AutoCAD keine Möglichkeit gibt, im Nachhinein die Textgröße *global* zu verändern. Mitunter müssen Sie einige Versuche machen, bis Sie die passende Textgröße für die jeweilige Z88- Datei gefunden haben. Rufen Sie einfach Z88X erneut mit einer anderen Textgröße auf.

Windows: In Z88X : Datei > Textgröße

UNIX : `z88x -i1tx | -iatx | -nitx | -i1fx | -iafx | -nifx -ts Zahl`

Achtung, wichtiger Hinweis: Verwenden Sie die Z88X-Schlüsselworte "**P Zahl, FE Werte, SE Werte, MAT, RBD, Z88NI.TXT, Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und Z88I3.TXT**" nur da, wo sie wirklich gebraucht werden. Achten Sie darauf, dass sie nicht in sonstigen Zeichnungsbeschriftungen vorkommen!

3.2.8 DER 3D-KONVERTER Z88G

3D-CAD-Programme enthalten mitunter sog. Automeshes, 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.

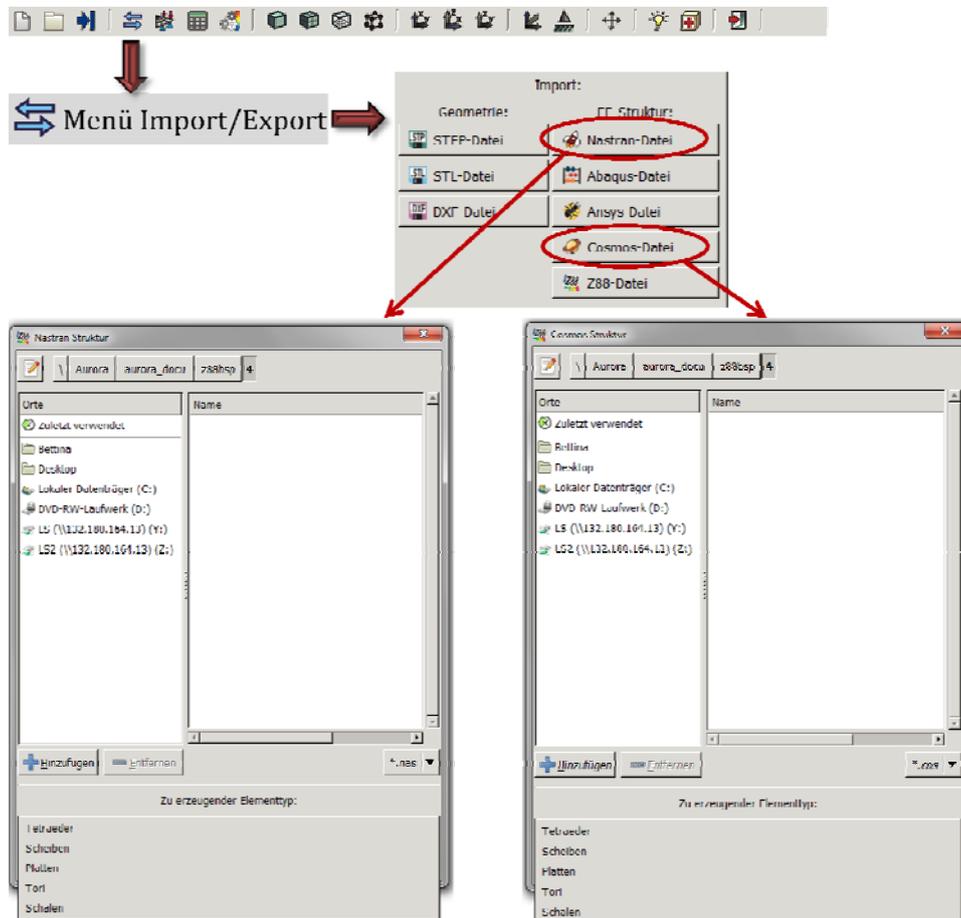


Abbildung 20: Aufruf des 3D-Konverters Z88G und Importmöglichkeiten in Z88 Aurora

Z88G ist entwickelt und getestet für Pro/ENGINEER von Parametric Technology, USA. Pro/ENGINEER muss die Option (den Zusatzmodul) Pro/MECHANICA enthalten. Achten Sie darauf, dass Sie in Pro/ENGINEER die Materialdaten und dgl. (z.B. für Stahl, es kommt nur auf den E-Modul und die Querkontraktionszahl an) definiert haben.

Dann können Sie nach Erzeugung Ihres 3D-Modells auf den Menüpunkt *FEM* gehen, definieren ein Koordinatensystem (das mit Z88 harmonieren muss!) und fügen Kräfte und Verschiebungen ein. Das kann an einzelnen Punkten sein, die Sie vorher als *Bezugspunkte* setzen, bei Platten auch *Druck, gleichmäßig*. Vergessen Sie ab Pro/ENGINEER Wildfire 2 nicht, eine Analyse zu definieren, sonst werden keine Randbedingungen übergeben.

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 *z88g.nas* für NASTRAN-Files bzw. *z88g.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 herausschreibt, auch wenn es sich eigentlich um Scheiben, Toruselemente oder Platten handelt. Z88G erzeugt dann automatisch die Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und Z88I3.TXT, ggf. auch Z88I5.TXT. Ändern Sie ggf. dann von Hand darin einzelne Daten wie Materialgesetze und Integrationsordnung.

Die erzeugten Dateien sollten Sie einem Test mit dem Filechecker Z88V unterziehen. Dann sollten Sie vor einem Rechenlauf mit Z88O plotten. Stellen Sie 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 <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>)

Bitte beachten Sie, dass der Konverter nur im Falle von NASTRAN-Dateien auch direkt Drucklasten aus Pro/ENGINEER übernehmen kann; es wird dann zusätzlich die Datei Z88I5.TXT für Strecken- und Flächenlasten generiert. Für COSMOS-Dateien ist dies nicht vorgesehen. Hier müssen Drücke über Einzelkräfte auf die Knoten definiert sein.

Wie gehen Sie vor? Wählen Sie zunächst NASTRAN oder COSMOS-Datei: Wenn Sie NASTRAN anwählen, wird die Datei Z88G.NAS, bei Anwahl von COSMOS die Datei Z88G.COS geladen. Sie müssen also wissen und angeben, welche Datei Sie zuvor erzeugt haben.

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.

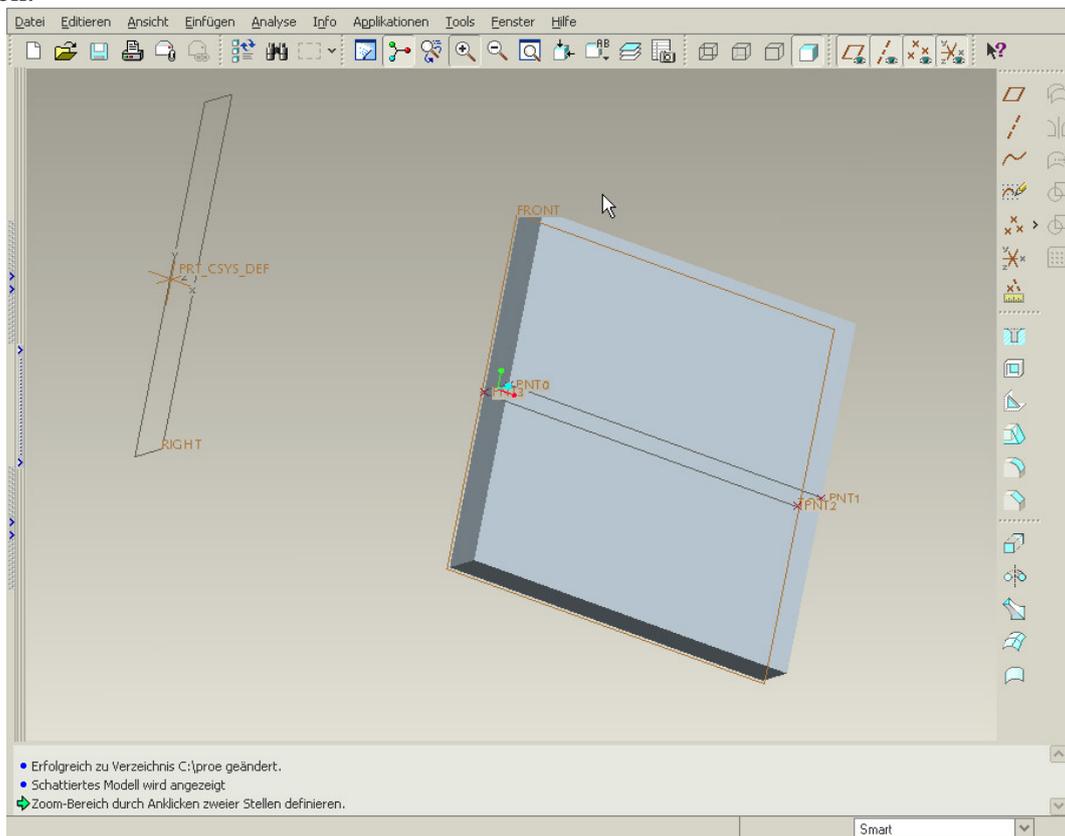
Wählen Sie vor dem Start den Typ der zu erzeugenden Elemente aus.

Das Erzeugen von Volumenkörpern ist einfach. Spannender wird's 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, vgl. Abbildung.

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 (hier Wildfire 4) Toruselemente. Bei Platten und Schalen geht man sinngemäß vor

3.2.9 DER ANSYS-KONVERTER Z88ANS

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Neben NASTRAN und COSMOS unterstützt Pro/ENGINEER auch das Ausschreiben von Simulationsdaten als ANSYS-Datei (*.ans). Die so ausgeschriebenen Daten können dann sowohl an ANSYS, als auch an Z88 Aurora weitergegeben werden. Zu beachten ist allerdings, dass dieses Datenformat ebenfalls vom Hersteller beliebig verändert werden kann, was unter Umständen zu Kompatibilitätsproblemen führen kann.

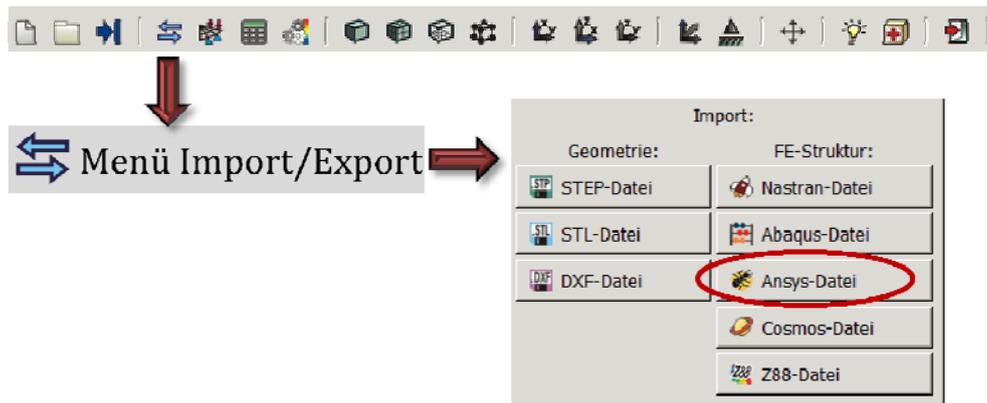


Abbildung 21: Aufruf des ANSYS-Konverters Z88ANS

Es kann ein Körper mit beliebig vielen Materialien (linear elastisch) konvertiert werden. Der Körper muss aus einem Elementtyp aufgebaut sein. Es können beliebige kartesische Festhaltungen, Einzel- und Flächenkräfte sowie Drücke aufgebracht werden. ACHTUNG: z88ans erstellt aus den Materialinformationen in der Quelldatei direkt die mat*.csv Daten für Z88 Aurora. In die Z88I1.TXT werden nur reduzierte E-Gesetze eingetragen, in denen für E-Modul und Querkontraktionszahl jeweils der Wert 0 gesetzt wird.

Welche ANSYS-Daten können von Z88 Aurora 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?

Sie können Tetraeder benutzen, sowohl in linearer, als auch in quadratischer Form:

Konvertierung > von TET 4 nach Elementtyp 17 und umgekehrt

Konvertierung > von TET 10 (E 92) nach Elementtyp 16 und umgekehrt

Welche Funktionen bietet der Konverter?

Importfunktionen des Konverters z88ans:

Erzeugung > von Z88I1.TXT aus einer ANSYS-Datei

Erzeugung > von Z88I2.TXT aus einer ANSYS-Datei

Erzeugung > von Z88I5.TXT aus einer ANSYS-Datei

Erzeugung > von MAT.TXT aus einer ANSYS-Datei*

Wie ist die Vorgehensweise?

1. Bauen Sie Ihr Modell entsprechend den Anweisungen für den NASTRAN-Konverter z88g auf.
2. Achten Sie darauf bei der Ausgabe der Simulationsdaten das ANSYS-Format anzuwählen.
3. Importieren Sie das Simulationsmodell in Z88Aurora, wie in Abbildung 21 beschrieben. Dazu wählen Sie unter Datei > Import > ANSYS-Datei.

3.2.10 DIE ABAQUS-KONVERTER Z88AINP UND Z88AEXP

Was ist der Grundgedanke und welche Besonderheiten gibt es?

Wenn Sie die Ergebnisse einer Simulation in einem zweiten System gegenrechnen wollen, so ist eine der Grundvoraussetzungen, dass Sie so viele Eingabedaten wie möglich wieder verwenden, um möglichst gleiche Ausgangsvoraussetzungen zu schaffen. Ebenso wie der ANSYS-Konverter sollen Z88AINP und Z88AEXP für einen exakten Austausch von Netz, Material und Randbedingungen zwischen den einzelnen Systemen sorgen. 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) mit einem Material (linear elastisch) konvertiert werden. Der Körper muss aus einem Elementtyp aufgebaut sein. Es können beliebige kartesische Festhaltungen, Kräfte (Concentrated Force) und Drücke (Pressure) aufgebracht werden.

Welche ABAQUS-Versionen können mit Z88 Aurora zusammenarbeiten?

Getestet wurde der vorliegende Konverter mit ABAQUS 6.8.4, so dass hier der volle Funktionsumfang zur Verfügung steht.

Da das ABAQUS-Format im Prinzip 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 Z88 Aurora ausgetauscht werden im Normalfall folgende Elementumwandlungen auftreten:

*Konvertierung > von C3D4 nach Elementtyp 17 und umgekehrt
Konvertierung > von C3D10 nach Elementtyp 16 und umgekehrt
Konvertierung > von C3D8 nach Elementtyp 1
Konvertierung > von C3D20 nach Elementtyp 10*

Welche Funktionen bietet der Konverter?

Importfunktionen des Konverters z88ainp:

*Erzeugung > von Z88I1.TXT aus einer ABAQUS-Input-Datei
Erzeugung > von Z88I2.TXT aus einer ABAQUS-Input-Datei
Erzeugung > von Z88I5.TXT aus einer ABAQUS-Input-Datei*

Exportfunktionen des Konverters z88aexp:

Erzeugung > von z88.inp aus Z88I1.TXT und Z88I2.TXT

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 und achten Sie auf Groß- und Kleinschreibung. 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. Erstellen Sie ein Material mit elastischen, isotropen Eigenschaften (Abbildung 22) und definieren eine *Section* mit diesem Material. Weisen Sie Ihr Bauteil dieser *Section* zu. Weisen Sie als Vernetzungseigenschaften entweder *Hex* oder *Tet* zu (Abbildung 22) und erzeugen Sie ein Netz, das Ihren Ansprüchen genügt.

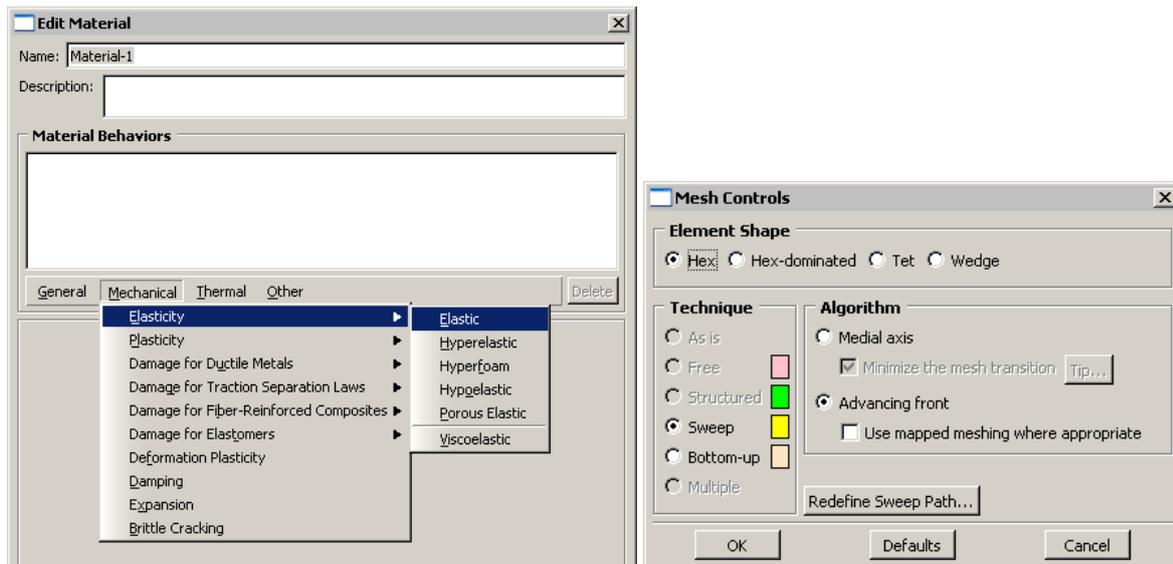


Abbildung 22: Erstellung eines neuen linear elastischen Material und Zuweisung des passenden Elementtyps in ABAQUS 6.8.4

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

2. Aufbringen von Festhaltungen und Lasten:

Lasten definieren Sie am besten über die Option *Displacement/Rotation* und durch Festlegung der entsprechenden Freiheitsgrade (Abbildung 22). Der Konverter ist aber auch in der Lage, die Bedingungen *Pinned* und *Encastre* zu verarbeiten. Als mögliche Lasten verwenden Sie bitte die Typen *Concentrated Force* für Einzel- bzw. Flächenkräfte und *Pressure* für Drücke.

Anmerkungen: Z88ainp verarbeitet alle Lasten, die in der ABAQUS-Datei vorliegen. Sollten Sie also mehrere Simulationsschritte (*Steps*) in Ihrer CAE definiert haben, so beachten Sie, dass Sie, falls Sie nur einen Berechnungsschritt exportieren wollen, am besten ein neues Modell durch Kopie erstellt wird, in dem alle außer dem gewünschten Simulationsschritt gelöscht werden.

Falls Sie nicht ABAQUS in der Verbindung mit TOSCA verwenden, so müssen Sie die Option **nopartscae** in Ihrer Environment-Datei auskommentieren, da dieser die Input-Datei stark verändert. Mit dieser Option können nur die Knoten- und Elementdaten übersetzt werden.

3. Schreiben Sie das Input-Deck als *.inp-Datei aus.
4. In Z88 Aurora 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 (Bild).
5. Die konvertierte Struktur wird angezeigt und Sie können sich Festhaltungen und Lasten von Z88 Aurora anzeigen lassen. Sie sollen den Netz-Check von Aurora verwenden um die Qualität des Netzes zu überprüfen.

Für den Export als ABAQUS-Datei gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Erstellen Sie Ihr Modell in Z88 Aurora. Dabei können Sie alle Festhaltungen und alle Einzelkräfte verwenden.
2. In Z88 Aurora wählen Sie aus dem Menü *Datei > Export > ABAQUS-Daten*.

3.3 DER LINEARE SOLVER Z88R

Der lineare Solver Z88R enthält intern drei verschiedene Gleichungslöser:

- Der sog. *Cholesky-Gleichungslöser* ohne *Fill-In*, mit sog. Jennings-Speicherung. Er ist unkompliziert und bei kleinen und mittleren Strukturen sehr schnell. Er ist wie alle einfachen direkten Solver empfindlich gegen ungeschickte Knotennummerierung; dies kann durch einen vorherigen Einsatz des Cuthill-McKee-Algorithmus Z88H verbessert werden (weitere Informationen und Aufruf von Z88H siehe Kapitel 4.2.4). Er ist die richtige Wahl für kleine und mittlere Strukturen bis 20.000 ~ 30.000 Freiheitsgrade. Typischer Anwendungsfall: Stab- und Balkenfachwerke, ebene Kontinuumselemente.
- Der sog. *Direkte Sparsematrix-Solver mit Fill-In*. Er nutzt den sog. PARDISO-Solver. Dieser Solver ist sehr schnell, da er mehr-CPU-fähig ist, zieht aber sehr viel dynamisches Memory 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 oder mit partieller Cholesky-Zerlegung (SIC) 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. *Dieser sehr bewährte und stabile Solver funktioniert nach unseren Beobachtungen immer, sodass Sie ihn ruhig als Standardsolver verwenden können.*

Hinweis: Die folgenden Erläuterungen für den "manuellen" Start des Solvers dienen nur dem ggf. tieferen Verständnis. Z88 Aurora erledigt dies alles für Sie!

Der Solver Z88R läuft im Konsolenmodus und benötigt zwei Steuerflags:

z88r -mode -solver

Dabei ist *mode*:

- t : Testmodus. Z88R ermittelt den erforderlichen Speicher und gibt diese Einstellungen in die Speicher-Steuerdatei Z88R.DYN.
- c : Rechenmodus. Z88R.DYN wird eingelesen.

Man lässt daher den Solver zunächst im Testmode laufen und anschließend ein zweites Mal im Rechenmodus bei *gleicher Einstellung* des zweiten Parameters *solver*:

Dabei ist *solver*:

- choly : Start des einfachen Cholesky-Solvers ohne Fill-In mit Jennings-Speicherung
- parao : Start des direkten Sparsematrix-Solvers mit Fill-In und Solver PARDISO
- siccg : Start des Iterations-Solvers Konjugierte Gradienten mit SIC-Vorkonditionierung
- sorcg : Start des Iterations-Solvers Konjugierte Gradienten mit SOR-Vorkonditionierung

Eingabedateien für beide Modi:

- Z88I1.TXT allgemeine Strukturdaten
- Z88I2.TXT Randbedingungen
- Z88I3.TXT Steuerwerte für die Spannungsberechnung
- ggf. Z88I5.TXT Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden
- ggf. Z88MAT.TXT und eine Materialdatei im .CSV-Format, wenn das neue Z88-Aurora-Format genutzt werden soll. Andernfalls werden die Materialwerte wie bei Z88 V13 aus der Datei Z88I1.TXT gelesen

HINWEIS: Diese Dateien sind in Kapitel 3 näher beschrieben

Ausgabedateien im Rechenmodus:

- Z88O0.TXT aufbereitete Strukturdaten für Dokumentation
- Z88O1.TXT aufbereitete Randbedingungen für Dokumentation
- Z88O2.TXT Verschiebungen
- Z88O3.TXT Spannungen
- Z88O4.TXT Knotenkräfte

Steuerdateien für den Solver:

- Z88MANAGE.TXT
hier ist besonders darauf zu achten, dass hier die Parameter NEG (Anzahl Materialgesetze) und IQFLAG (Flächenlastflag) gesetzt werden, was bei der Z88 V13 in der ersten Zeile der Datei Z88I1.TXT erfolgt.

HINWEIS: Diese Datei ist in Kapitel 3 näher beschrieben

Erläuterungen zu den Sparsematrix-Iterationssolvern SICCG und SORCG

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

- Pointervektor IP zeigt auf die Diagonalelemente GS(i, i)
- Pointervektor IEZ zeigt auf die Spaltenindices 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 (*shiftet incomplete Cholesky decomposition SIC*) ist die Standardeinstellung, 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 Z88MANAGE.TXT geben. Dies geschieht über die "erweiterten Optionen" im Menü "Solver":

- 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).
- Anzahl der zu verwendeten CPUs.

HINWEIS: Die hier genannten Dateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT, Z88I5.TXT, Z88MAT und Z88MANAGE.TXT sind in Kapitel 3 näher beschrieben.

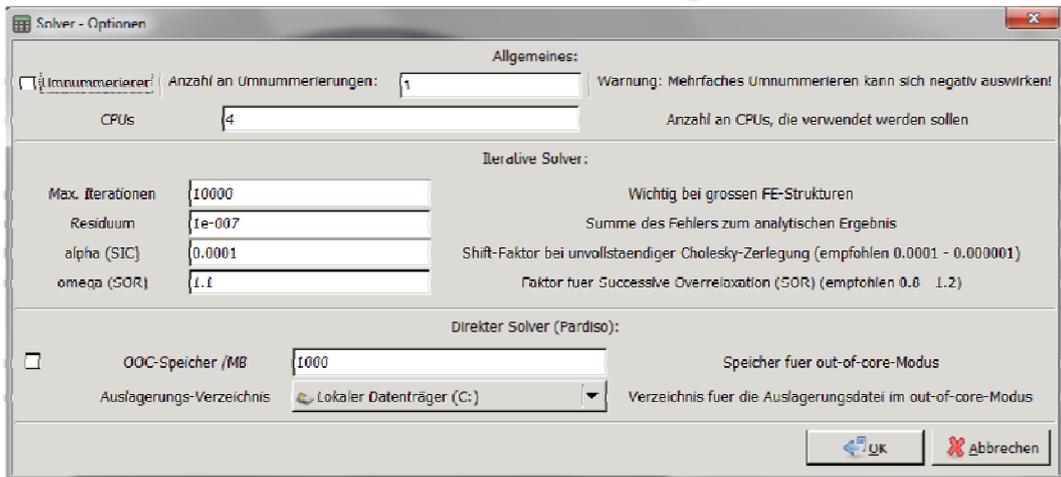


Abbildung 23: Erweiterte Optionen des Solvermenüs

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 Z88MANAGE.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 Z88MANAGE.TXT kollidieren.

3.3.1 WELCHEN SOLVER NEHMEN?

Als Faustregel: Für kleine Strukturen 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.

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	Vorher Einsatz von Z88H u.U. sehr sinnvoll
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	nein	Ausgesprochen sicherer und stabiler Solver für sehr große Strukturen

3.3.2 ERLÄUTERUNGEN ZUR SPANNUNGSBERECHNUNG

Die Ergebnisse werden in Z88O3.TXT gegeben. Die Steuerung der Spannungsberechnung ist mit dem File Z88MANAGE.TXT, 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.

3.3.3 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.

3.3.4 DAS CUTHILL- MCKEE PROGRAMM Z88H/ OPTION "UMNUMMERIERER"

Die Wahl der Knotennummerierung ist extrem wichtig für den Aufbau der Gesamtsteifigkeitsmatrix, und ungünstige Knotennummerierungen können den Speicherbedarf ganz unnötigerweise stark in die Höhe treiben.

Z88H kann den Speicherbedarf für den Direkten Cholesky Solver Z88F sehr merklich verringern; bei den Sparsematrix-Solvern Z88I1/Z88I2 bzw. Z88I1/Z88PAR sind die Verbesserungen viel geringer, da die Sparsematrix-Solver durch ihre Nicht-Nullelemente Speicherung hier a-priori sehr günstig sind.

Grundsätzlich ist anzustreben, dass die sog. Knotenzahldifferenz je Element möglichst klein wird, d.h. die Knotennummern an einem Finiten Element sollen alle ähnlich groß sein. Das

lässt sich nicht immer ganz vermeiden, denn bei z.B. ringförmigen Strukturen entstehen, wenn man bei 0° beginnt zu nummerieren und dann im Uhrzeigersinn weiterläuft, an den "Stoßstellen", wenn man sich also 360° nähert, dann zwangsläufig Elemente mit großen Knotenzahldifferenzen.

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. Viele dieser Automesher erzeugen aber Netze mit extrem großen Knotenzahldifferenzen. So erzeugt der Pro/ENGINEER-Modul Pro/MECHANICA bei der Anforderung *parabolischer Tetraedernetze* intern zunächst Tetraeder mit linearem Ansatz (also statt 10 nur 4 Knoten) bei geraden Elementseiten. Dann werden einfach Mittenknoten auf die Elementseiten gelegt, um Elemente mit 10 Knoten zu erzeugen. Diese Mittenknoten haben zwangsläufig hohe Knotennummern, und da die Eckknoten zuerst da waren, weist nun jedes Finite Element Eckknoten mit relativ niedrigen Knotennummern, aber Mittenknoten mit relativ hohen Knotennummern auf. Bei *Schalen Dreiecken parabolisch* sieht das nicht anders aus. Daher hat bei solchen mit dem Automesher Pro/MECHANICA erzeugten Netzen jedes Finite Element hohe Knotenzahldifferenzen.

Diese Netze müssen bei großen Strukturen in geeigneter Weise unnummeriert werden, damit Finite Elemente mit kleinen Knotenzahldifferenzen entstehen. Hier sind in der Literatur verschiedenen Vorgehensweisen bekannt geworden. Ein guter Kompromiss ist der sog. Cuthill-McKee-Algorithmus, der von graphentheoretischen Überlegungen ausgeht. Eine Abwandlung ist der RCMK-Algorithmus (reverse Cuthill-McKee-Algorithmus). Für tiefer gehende Erläuterungen konsultieren Sie *Schwarz, H.R.: Die Methode der finiten Elemente*. Das C-Programm Z88H basiert im Kern auf einem FORTRAN77-Programm von H.R. Schwarz, das für den Gebrauch mit Z88 umgearbeitet wurde. Der Rechenkern von H.R. Schwarz entscheidet intern, ob der normale oder ggf. der umgekehrte Cuthill-McKee-Algorithmus genutzt wird.

Der Cuthill-McKee-Algorithmus **Z88H** ist eigentlich für FE-Netze gedacht, die mit dem 3D-Konverter Z88G erzeugt wurden. Aber er kann grundsätzlich für alle Z88-Netze verwendet werden. Er liest die Z88-Eingabedateien Z88I1.TXT (allgemeine Strukturdaten) und Z88I2.TXT (Randbedingungen), ggf. auch Z88I5.TXT (Flächenlasten) ein, erstellt davon Sicherheitskopien Z88I1.OLD, Z88I2.OLD und ggf. Z88I5.OLD und berechnet dann modifizierte Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und ggf. Z88I5.TXT.

Experimente haben gezeigt, dass mitunter die Nummerierungen in Z88I1.TXT und Z88I2.TXT nach einem ersten Lauf von Z88H durch einen zweiten Lauf von Z88H weiter verbessert werden können. Ein dritter Lauf von Z88H scheint das Ergebnis wieder leicht zu verschlechtern. In Extremfällen erzeugt der Cuthill-McKee-Algorithmus, also Z88H, aber auch kontraproduktive Ergebnisse, d.h. deutlich schlechtere Nummerierungen, als sie die Ursprungsstruktur hatte. Hier müssen Sie einfach etwas probieren, denn der Cuthill-McKee-Algorithmus erzeugt nicht immer optimale Ergebnisse.

Den Umnummerierer findet man im Menü "Solver" unter „Erweiterte Optionen“.

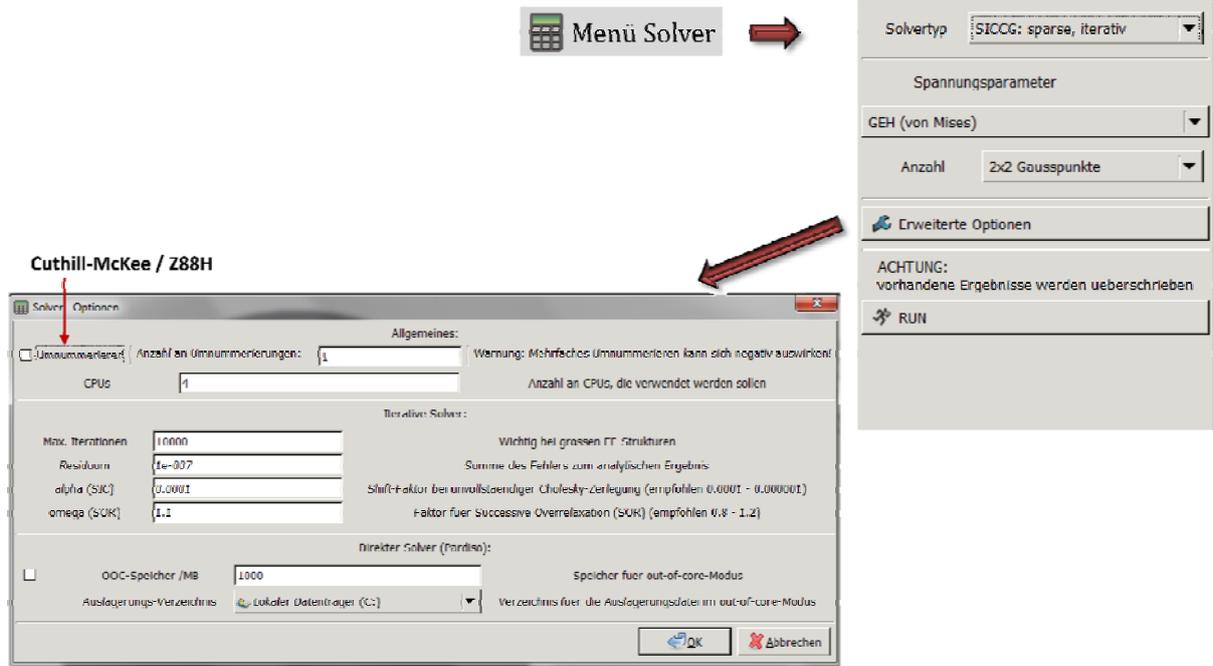


Abbildung 24: Solvermenü, bzw. erweiterte Optionen mit Ummummerierer

3.4 DER MAPPED MESHER / NETZGENERATOR Z88N

3.4.1 Allgemeines

Der Netzgenerator Z88N aus Z88 ist mit allen Funktionalitäten in Z88 Aurora integriert. Dieser kann 2-dimensionale und 3-dimensionale Netze erzeugen. Die Netzgenerator-Eingabedatei wird eingelesen und die allgemeinen Strukturdaten dargestellt. Er wird über das Präprozessormenü über das Icon  **Superelemente** aufgerufen.

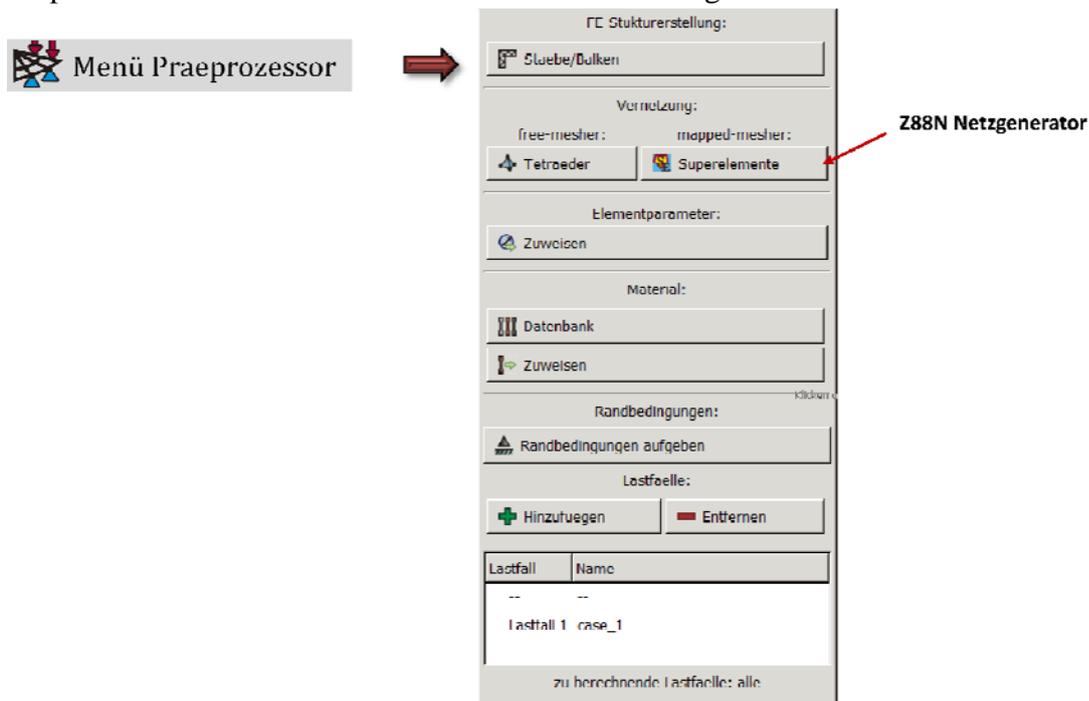


Abbildung 25: Menü "Präprozessor" mit Starticon "Superelemente" des Netzgenerators Z88N

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

Tabelle 7: Mögliche Superstrukturen in Z88 Aurora

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.

In einem solchen Fall lässt man erst den Netzgenerator über die Super-Struktur, die keine Stäbe enthält, laufen. Danach können entweder in Z88 Aurora per Hand die zusätzlichen Stäbe eingefügt werden oder man exportiert mit dem DXF-Konverter die vom Netzgenerator erzeugte Datei, lädt diese DXF-Datei ins CAD-System und fügt dort die Stäbe ein; gegebenenfalls gibt man auch gleich die Randbedingungen dazu oder editiert diese in Z88 Aurora. Sodann importiert man die DXF-Datei zurück in Z88 Aurora.

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:

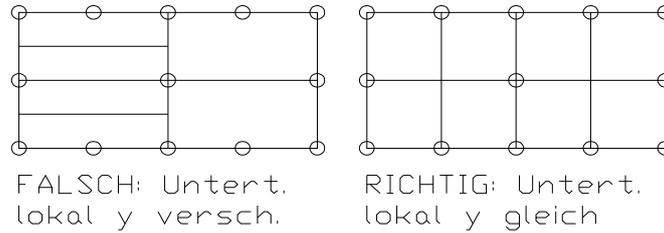


Abbildung 26: Unterteilung der Superelemente

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 26.

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.

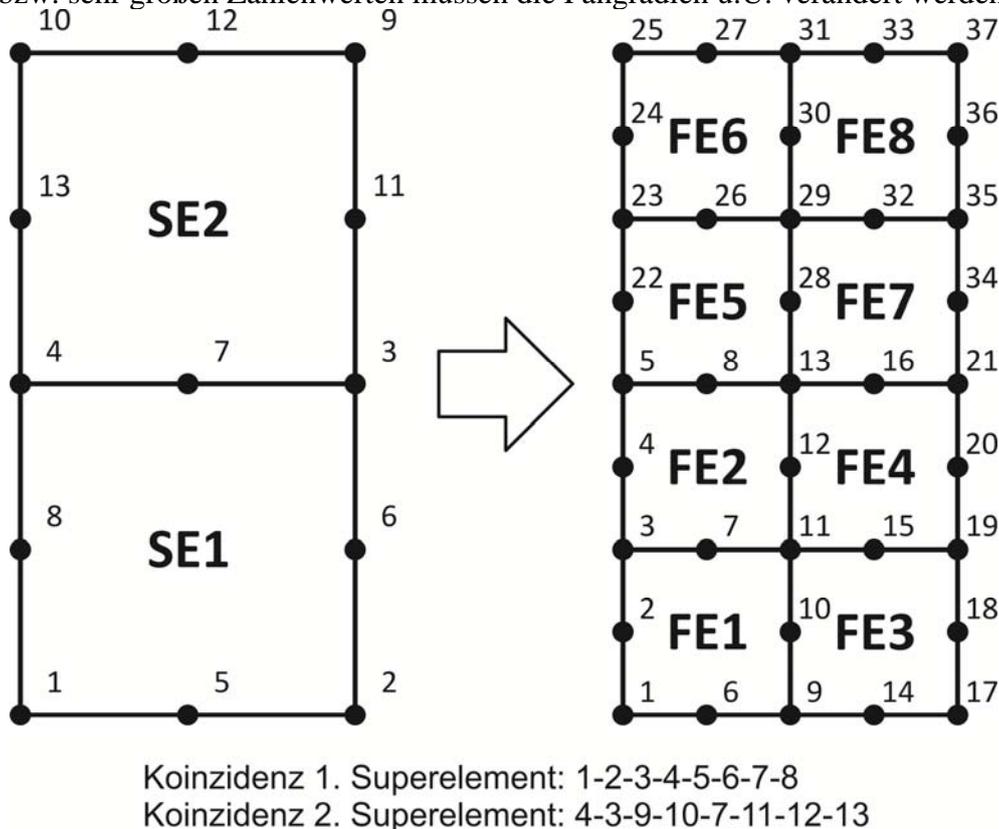


Abbildung 27: Umwandlung von Superelementen in Finite Elemente

Achtung Netzgenerator Z88N: Der Generator kann mit Leichtigkeit Eingabefiles erzeugen, die alle Grenzen des FE-Prozessors sprengen. Daher zunächst größere FE- Strukturen gene-

rieren 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 Super-elemente 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 Z88I1.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 Z88I1.TXT die Koordinaten in Polar- bzw. Zylinderkoordinaten ausgewiesen und KFLAG in Z88I1.TXT wird 1 gesetzt.

3.5 DER POSTPROZESSOR

Mit drei Lichtquellen beleuchtete Strukturen, 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. Unter der "Export"- Funktion besteht in Z88 Aurora die Möglichkeit die aktuelle Ansicht als ein Bild als *.bmp zu exportieren.



Abbildung 28: Export der aktuellen Ansicht als Bild in Z88 Aurora

Z88 Aurora 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: Sie müssen über ein gewisses Grundwissen über die Arbeitsweise von OpenGL verfügen, wenn Sie Lichteffekte und dgl. gezielt ändern wollen. Sonst gibt es schnell lange Gesichter, weil anscheinend nichts mehr richtig geht. Einige Hinweise sind als Kommentare in Z88.FCD eingefügt, aber ich kann hier keine Einführung in OpenGL geben.

Konsultieren Sie z.B. Rieg, F: *Grafikprogrammierung für Windows*. Carl Hanser Verlag. München, Wien: 2005.

Tabelle 8: Erforderliche Dateien für die Ergebnisdarstellung

erford. Files:	Superstrukturen	unverformte FE- Strukturen	verformte FE- Strukturen
Z88NI.TXT	ja	nein	nein
Z88I1.TXT	nein	ja	ja
Z88I2.TXT	nein	ja, wenn Anzeige der Randbedingungen	ja, wenn Anzeige der Randbedingungen
Z88I5.TXT	nein	ja, wenn Anzeige der Flächenlasten	ja, wenn Anzeige der Flächenlasten
Z88O2.TXT	nein	nein	ja
Z88O5.TXT	nein	ja, wenn Anzeige der Vergleichsspannungen in den Gauß-Punkten	nein
Z88O8.TXT	nein	ja, wenn Anzeige der Vergleichsspannungen in den Eckknoten oder Element-Durchschnittswerte	ja, wenn Anzeige der Vergleichsspannungen in den Eckknoten oder Element-Durchschnittswerte

Besonderheiten des Renderns: Um möglichst rasch zu arbeiten, verbindet Z88 Aurora 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 Z88O 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 kann die Darstellung *"Rand/Voll-Darstellung"* schaffen, die sich im Ansichtsmenü befindet. 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 Z88O intern) und Z88O8.TXT (für Z88 Aurora 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 habe ich mich nach vielen Versuchen mit realen FE-Strukturen zu folgendem Vorgehen entschlossen:

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 genau so 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 INTORD in der Steuerdatei Z88MANAGE.TXT haben keinen Einfluss, INTORD 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 INTORD in der Steuerdatei Z88MANAGE.TXT haben jetzt Einfluss, INTORD 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. INTORD muss > 0 sein.

Z88 Aurora kann die unten genannten Vergleichsspannungen – aber immer nur jeweils eine-je nach vorherigem Rechenlauf anzeigen:

- 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 Z88 Aurora 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 29.

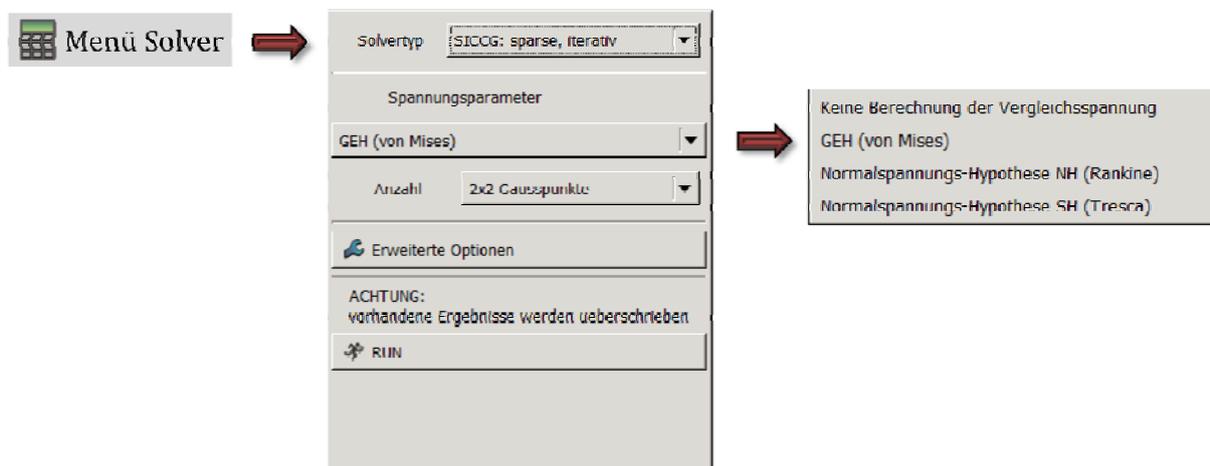


Abbildung 29: Einstellungsmöglichkeiten Spannungsparameter im Menü "Solver"

Verschiebungsanzeige: Sie können die Struktur unverformt, verformt oder beides überlagert plotten. Der Vergrößerungsfaktor (Standard ist jeweils 100 für X, Y und Z) ist wählbar. 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 Legendendarstellung kann angepasst werden.

Weitere Informationen hierzu siehe im Z88 Aurora Benutzerhandbuch. Mit einem Schieberegler kann die Verformung auch kontinuierlich skaliert werden.

Tabelle 9: Kombination der verschiedenen Modi im Postprocessing

	3D	2D	RB	un-ver.	verfor.	Knoten	Elem.
Licht	+	+	+	+	+	-	-
Hidden Line	+	-	+	+	+	0	-
Wireframe	+	+	+	+	+	+	+
Spannungen Eckknoten	+	+	-	+	+	-	-
Spannungen Elemente	+	+	-	+	+	-	-
Spannungen Gauß-Punkte	+	+	-	+	-	-	+
Verschiebungen X	+	+	-	+	+	-	-
Verschiebungen Y	+	+	-	+	+	-	-
Verschiebungen Z	+	+	-	+	+	-	-

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".

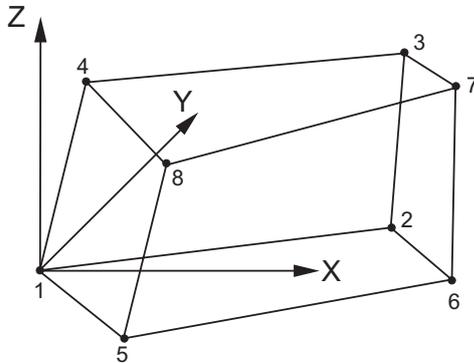
Für weitere Informationen hinsichtlich der Benutzung und der Möglichkeiten des Postprocessing, konsultieren Sie bitte das Z88 Aurora Benutzerhandbuch.

4. BESCHREIBUNG DER FINITEN ELEMENTE

4.1 HEXAEDER NR.1 MIT 8 KNOTEN

Das Hexaeder-Element berechnet räumliche Spannungszustände. 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 bei der Eingabe mit mindestens 2 vorzuzwählen. Hexaeder Nr.1 ist auch gut als dickes Plattenelement einsetzbar, wenn die Plattendicke nicht zu klein gegenüber den anderen Abmessungen ist. Das Element bedingt einen sehr hohen Rechenaufwand und benötigt sehr viel Speicher, da die Elementsteifigkeitsmatrizen die Ordnung 24×24 haben.

Hexaeder Nr.1 können durch den Netzgenerator Z88N aus Superelementen Hexaeder Nr.10 und Hexaeder Nr.1 generiert werden.



CAD : (vgl. Kap. 4.1.7):

- 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

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > *IQFLAG=1*, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 1
- > 8 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist 0 oder beliebig, kein Einfluss
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 2 ist meist gut.

Z88I3.TXT

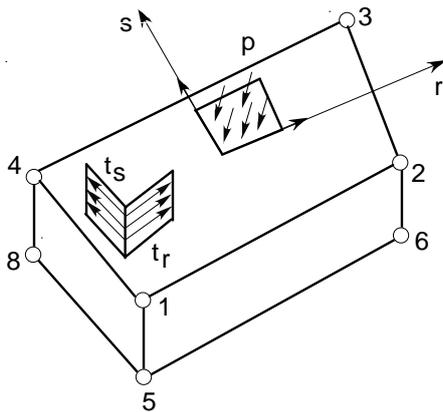
- > Integrationsordnung *INTORD* für Spannungsberechnung:
Kann ohne weiteres von *INTORD* in Z88I1.TXT abweichen.
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten
- > *KFLAG* beliebig, hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:
0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3= Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (*INTORD* ungleich 0!)

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.1 aufgegeben werden sollen:

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*
- > *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*
- > *Tangentialschub in lokaler s-Richtung*
- > *4 Eckknoten 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, 2, 3, 4 für die Flächenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3, 4 für die Koinzidenzliste.


Ausgaben:

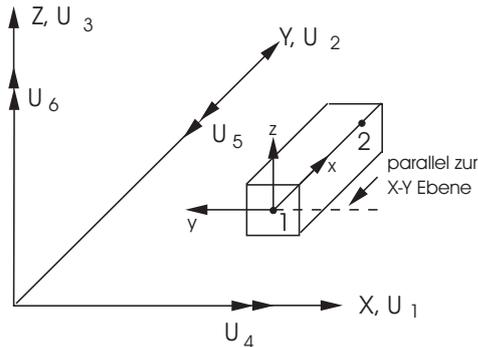
Verschiebungen in X, Y und Z

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.

4.2 BALKEN NR.2 MIT 2 KNOTEN IM RAUM

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 Z88I1.TXT bzw. Z88ELP.TXT 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 Hooke'schen Gesetzes exakt, keine Näherungslösung wie bei den Kontinuums-elementen.



Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

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

bei den Elastizitätsgesetzen:

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

Z88I3.TXT

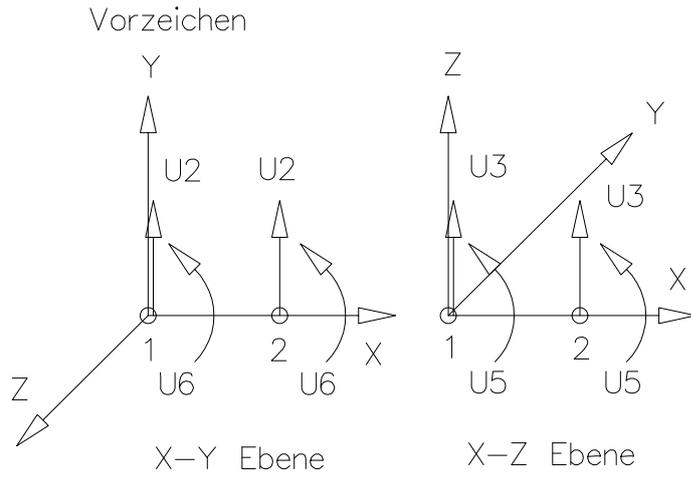
Hat keinen Einfluss auf Balken Nr.2, muss aber (mit beliebigen Inhalt) existieren.

Ausgaben:

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

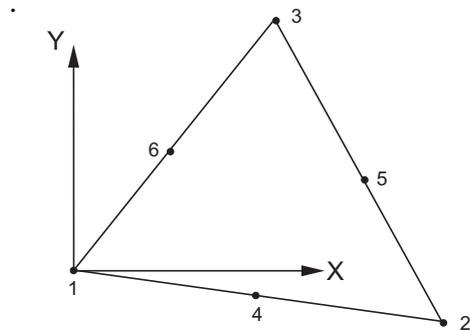
Spannungen: SIGXX,TAUXX: Normalspannung, Schubspannung, SIGZZ1,SIGZZ2: Biegespannung um z-z, 1. und 2. Knoten, SIGYY1,SIGYY2: Biegespannung um y-y, 1. und 2. Knoten

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



4.3 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, vgl. Kapitel 3.4, Abbilden über Einzelkräfte. Keine Einträge in Flächenlastdatei Z88I5.TXT!



Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

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

Z88I3.TXT

- > **Integrationsordnung INTORD**: gleichgültig, hat keinen Einfluss
- > **KFLAG** = 0 : Berechnung von SIGXX, SIGYY und TAUXY
- > **KFLAG** = 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:

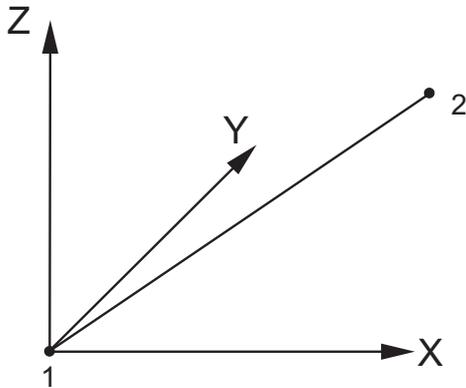
Verschiebungen in X und Y

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.

4.4 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 Hooke'schen Gesetzes.



Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 4
- > 2 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist die Querschnittsfläche des Stabes

Z88I3.TXT

Hat keinen Einfluss auf Stabberechnung, muss aber (mit beliebigem Inhalt) existieren.

Ausgaben:

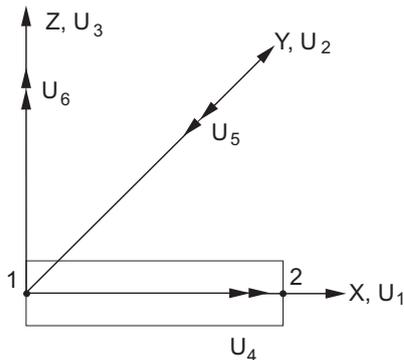
Verschiebungen in X, Y und Z

Spannungen: Zug/Druckspannungen

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

4.5 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 Hooke'schen Gesetzes exakt und keine Näherungslösungen wie bei den Kontinuumselementen.



Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.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
- > Querschnittsparameter QPARA ist der Durchmesser des Wellenstücks

Z88I3.TXT

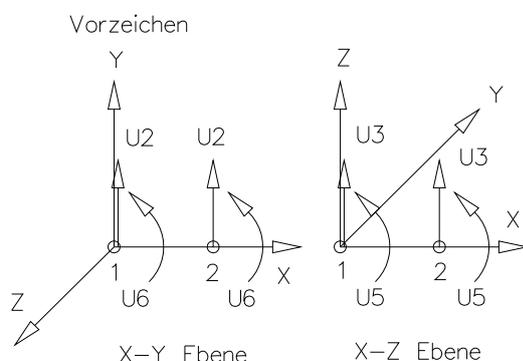
Hat keinen Einfluss auf Wellenberechnung, muss aber (mit beliebigem Inhalt) existieren.

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

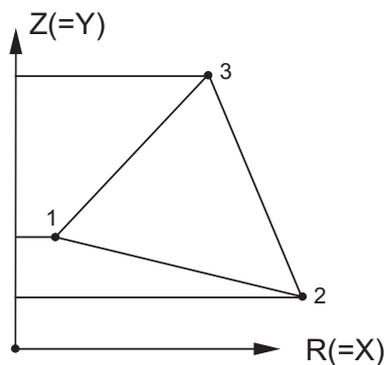
Knotenkräfte in X, Y und Z, Knotenmomente um X, Y und Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.



4.6 TORUS NR.6 MIT 3 KNOTEN

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

Dies ist ein einfaches, dreieckiges Toruselement mit linearem Ansatz für rotationssymmetrische Strukturen. Durch seinen sehr simplen Ansatz ist zwar die Verschiebungsrechnung noch recht brauchbar, die Spannungsberechnung dagegen ist ungenau. Die Spannungen werden zwar intern in den Eckknoten berechnet, jedoch dann als Mittelwert im Elementschwerpunkt ausgegeben. Besser ist bei höheren Genauigkeitsansprüchen besonders an die Spannungsberechnung die Verwendung der Toruselemente Nr.8 oder Nr.12 oder Nr.15. Keine Einträge in die Flächenlastdatei Z88I5.TXT!



Eingabewerte:

CAD : 1-2-3-1 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.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
- > Querschnittsparameter QPARA ist 0 oder beliebig, kein Einfluss

Z88I3.TXT

- > INTORD beliebig, kein Einfluss
- > KFLAG beliebig, kein Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:
 0 = keine Vergleichsspannungsberechnung
 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH, gemittelt im Elementschwerpunkt

Ausgaben:

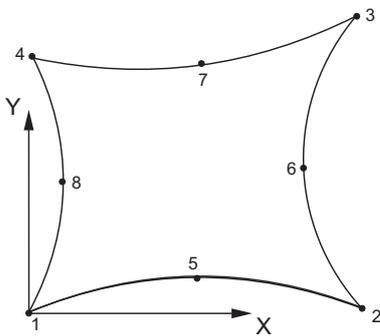
Verschiebungen in R und Z (= X und Y)

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.

4.7 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT. Das Element kann mit Scheibe Nr.3 oder besser Scheibe Nr.14 kombiniert werden. 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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > *IQFLAG*=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 7
- > 8 Knoten pro Element
- > *Querschnittsparameter QPARA* ist die Elementdicke
- > *Integrationsordnung je E-Gesetz*. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> *Integrationsordnung INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

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

- > *KFLAG* = 0 : Berechnung von SIGXX,SIGYY und TAUXY
- > *KFLAG* = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR,SIGTT und TAURT

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

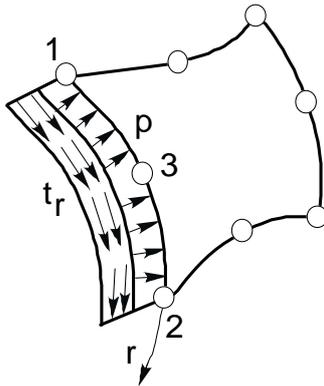
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTORD ungleich 0!)

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.7 aufgegeben werden sollen:

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Kante zeigend*
- > *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*
- > *Zwei Eck- und ein Mittenknoten der Kante, die Streckenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokale r-Richtung wird durch die Knoten 1-2 festgelegt. Die lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Streckenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Koinzidenzliste.



Ausgaben:

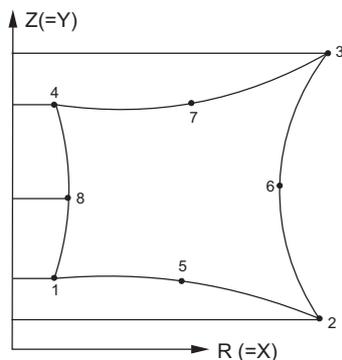
Verschiebungen in X und Y

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.

4.8 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT. 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. 4.1.7

Z88I1.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
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist 0 oder beliebig, kein Einfluss
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

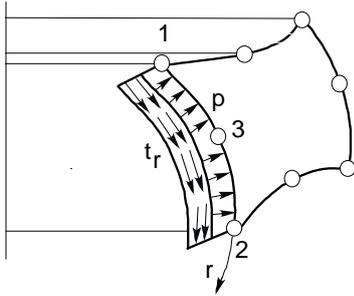
- > Integrationsordnung: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:
0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten
- > *KFLAG* hat keinen Einfluss
- > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:
0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTORD ungleich 0!)

Z8815.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.8 aufgegeben werden sollen:

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Kante zeigend*
- > *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*
- > *Zwei Eck- und ein Mittenknoten der Kante, die Streckenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokale r-Richtung wird durch die Knoten 1-2 festgelegt. Die lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Streckenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Koinzidenzliste.



Ausgaben:

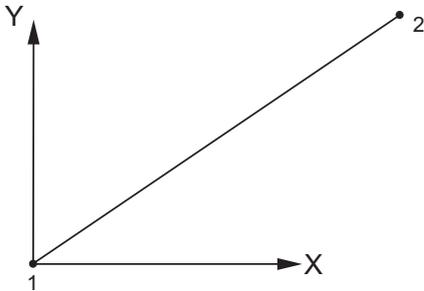
Verschiebungen in R und Z (= X und Y)

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.

4.9 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 Hooke'schen Gesetzes.



Eingabewerte:

CAD : Linie von 1 nach 2 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 9
- > 2 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist die Querschnittsfläche des Stabes

Z88I3.TXT

Hat keinen Einfluss auf Stabberechnung, muss aber (mit beliebigem Inhalt) existieren.

Ausgaben:

Verschiebungen in X und Y

Spannungen: Zug/Druckspannungen

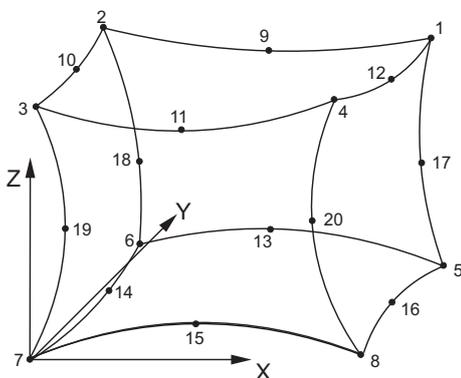
Knotenkräfte in X und Y, elementweise und knotenweise aufaddiert

4.10 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 Z88I1.TXT bei der Eingabe der Elastizitätsgesetze vorzuzwählen. Die Ordnung 3 ist gut. Die Güte der Verschiebungs- und der Spannungsberechnungen ist weitaus besser als die des Hexaederelements 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.



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.

Achtung bei Flächenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Flächenlasten über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT.

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. 4.1.7):

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

Z88I1.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
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist 0 oder beliebig, kein Einfluss

> Integrationsordnung je E-Gesetz. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> Integrationsordnung INTORD für Spannungsberechnung:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

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

> KFLAG beliebig

> Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

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

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.10 aufgegeben werden sollen:

> Elementnummer

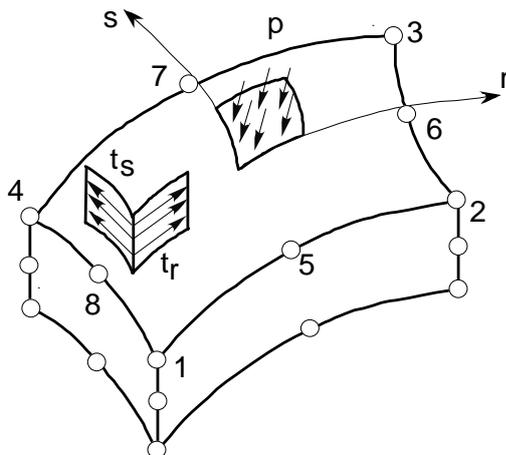
> Druck, positiv auf die Fläche zeigend

> 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.



Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z

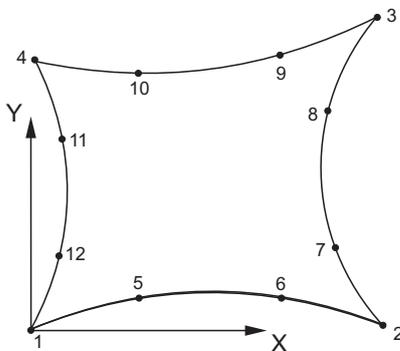
Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte.
Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert

4.11 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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. Achtung bei Streckenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT.

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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > *IQFLAG*=1, wenn Eingabe von Streckenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 11
- > 12 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist die Elementdicke
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> Integrationsordnung *INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

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

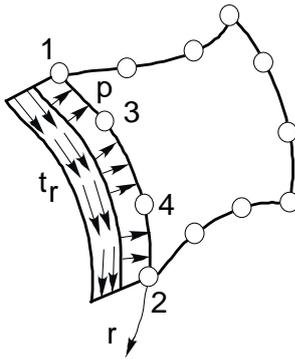
- > *KFLAG* = 0 : Berechnung von SIGXX,SIGYY und TAUXY
- > *KFLAG* = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR,SIGTT und TAURT
- > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTORD ungleich 0!)

Z8815.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.11 aufgegeben werden sollen:

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Kante zeigend*
- > *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*
- > *Zwei Eck- und zwei Mittenknoten der Kante, die Streckenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokale r-Richtung wird durch die Knoten 1-2 festgelegt. Die lokalen Knoten 1, 2, 3,4 für die Streckenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3,4 für die Koinzidenzliste.

**Ausgaben:**

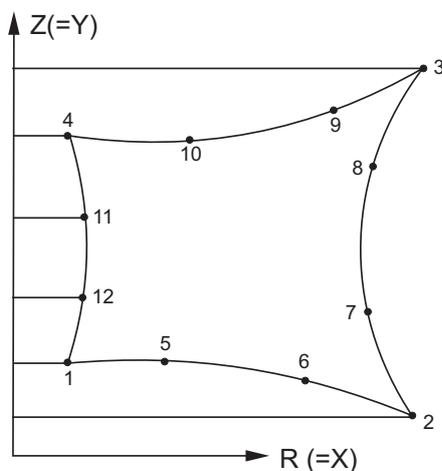
Verschiebungen in X und Y

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 rotationsymmetrische Struktur vorliegt). Zur leichteren Orientierung werden der jeweilige Radius und Winkel der Knoten/Punkte ausgewiesen. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

4.12 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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. Achtung bei Streckenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT. 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. 4.1.7

Z88I1.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
- > Querschnittsparameter QPARA ist 0 oder beliebig, kein Einfluss
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> Integrationsordnung INTORD: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

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

> KFLAG hat keinen Einfluss

> Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

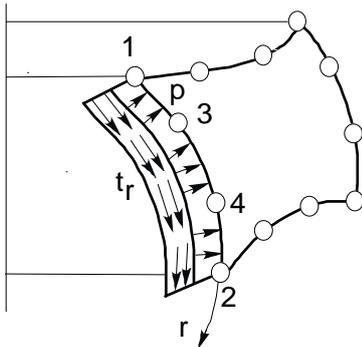
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTORD ungleich 0!)

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.12 aufgegeben werden sollen:

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Kante zeigend*
- > *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*
- > *Zwei Eck- und zwei Mittenknoten der Kante, die Streckenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokale r-Richtung wird durch die Knoten 1-2 festgelegt. Die lokalen Knoten 1, 2, 3,4 für die Streckenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3,4 für die Koinzidenzliste.

**Ausgaben:**

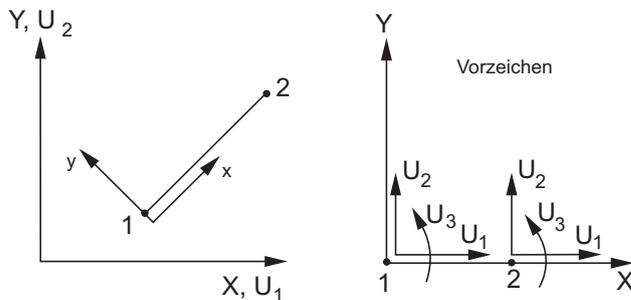
Verschiebungen in R und Z (= X und Y)

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.

4.13 BALKEN NR.13 IN DER EBENE

Balkenelement mit beliebigem, aber symmetrischen Profil. Die Profilwerte werden in Z88I1.TXT 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 Hooke'schen Gesetzes exakt, keine Näherungslösung wie bei den Kontinuumselementen.



Eingabewerte:

CAD: Linie von 1 nach 2, vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

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

bei den Elastizitätsgesetzen:

- > 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

Z88I3.TXT

Hat keinen Einfluss auf Balken Nr.13, muss aber (mit beliebigem Inhalt) existieren.

Ausgaben:

Verschiebungen in X und Y, Rotationen um Z

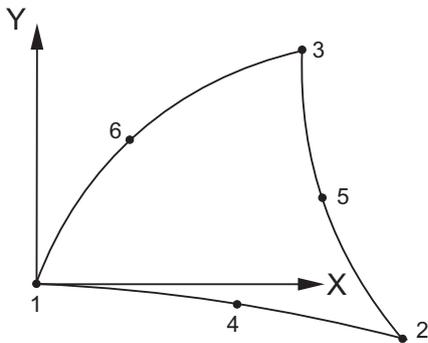
Spannungen: SIGXX,TAUXX: Normalspannung, Schubspannung SIGZZ1,SIGZZ2: Biegespannung um z-z, 1. und 2.Knoten

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

4.14 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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. Achtung bei Streckenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT.

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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > *IQFLAG*=1, wenn Eingabe von Streckenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 2 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 14
- > 6 Knoten pro Element
- > *Querschnittsparameter QPARA* ist die Elementdicke
- > *Integrationsordnung je E-Gesetz*. 7 ist meist gut. Möglich sind: 3 für drei Integrationsstützpunkte sowie 7 und 13 für 7 bzw. 13 Integrationsstützpunkte. Damit sich dieses Element mit Scheibe Nr.7, z.B. via Pro/ENGINEER, kombinieren lässt, wird automatisch intern in der Routine ISOD88 gesetzt:

<i>Integrationsordnung 1 oder 2 in Z88I1.TXT:</i>	3 Gauß-Punkte
<i>Integrationsordnung 4 in Z88I1.TXT:</i>	7 Gauß-Punkte

Beispiel: In Z88I1.TXT ist INTORD zu 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.

Z88I3.TXT

- > *Integrationsordnung INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
 3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte). Siehe Bemerkung zu Z88I1.TXT. Hier gilt Sinngemäßes.

> *KFLAG* = 0 : Berechnung von SIGXX,SIGYY und TAUXY
 > *KFLAG* = 1 : zusätzliche Berechnung von SIGRR,SIGTT und TAURT

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

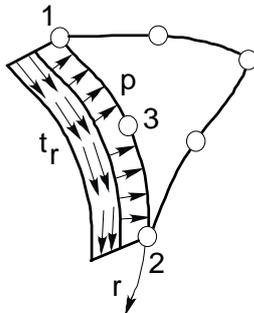
0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
 1,2,3 = Vergleichsspannungen nach GEH, NH oder SH in den Gauß-Punkten (INTORD ungleich 0!)

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.14 aufgegeben werden sollen:

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Kante zeigend*
- > *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*
- > *Zwei Eck- und ein Mittenknoten der Kante, die Streckenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokale r-Richtung wird durch die Knoten 1-2 festgelegt. Die lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Streckenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Koinzidenzliste.



Ausgaben:

Verschiebungen in X und Y

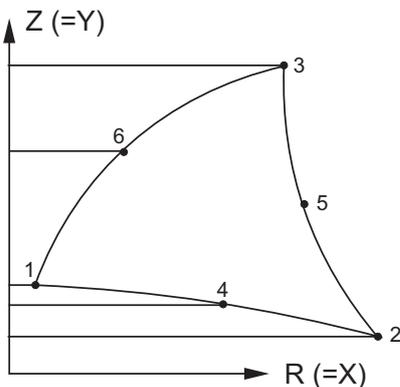
Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Bei *KFLAG* = 1 werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische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

Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

4.15 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 in der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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. Achtung bei Streckenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT.

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 Dreieckstoros Nr.15, sollte Torus Nr.8 bevorzugt verwendet werden.



Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.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 15
- > 6 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist 0 oder beliebig, kein Einfluss
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 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 in Z88I1.TXT: 3 Gauß-Punkte

Integrationsordnung 4 in Z88I1.TXT: 7 Gauß-Punkte

Beispiel: In Z88I1.TXT ist INTORD zu 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.

Z88I3.TXT

> *Integrationsordnung*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte). Siehe Bemerkung zu Z88I1.TXT. Hier gilt Sinngemäßes.

> *KFLAG* hat keinen Einfluss

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

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

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.8 aufgegeben werden sollen:

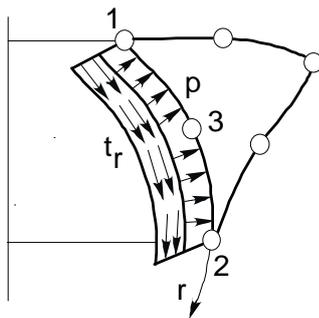
> *Elementnummer*

> *Druck, positiv auf die Kante zeigend*

> *Tangentialschub in lokaler r-Richtung*

> *Zwei Eck- und ein Mittenknoten der Kante, die Streckenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokale r-Richtung wird durch die Knoten 1-2 festgelegt. Die lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Streckenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Koinzidenzliste.



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.

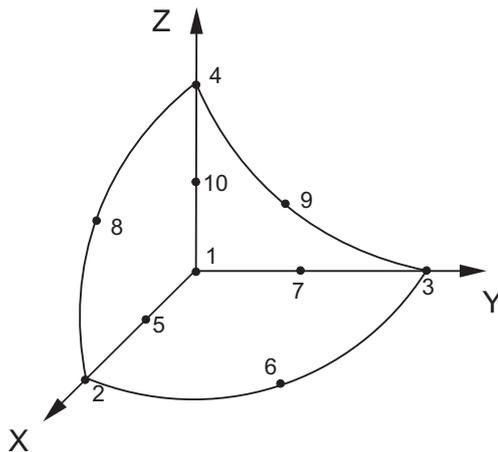
Knotenkräfte elementweise und knotenweise aufaddiert.

4.16 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 Z88I1.TXT bei der Eingabe der Elastizitätsgesetze vorzuwählen. Die Ordnung 4 ist gut. Die Güte der Verschiebungs- und der Spannungsberechnungen ist weitaus besser als die des Tetraederelements Nr.17, jedoch spürbar schlechter als die des Hexaederelements Nr.10.

Dieses Element ist nur für den Datenaustausch mit Auto-Vernetzern von z.B. dem 3D-CAD System Pro/ENGINEER von Parametric Technology vorgesehen, die Konverterfunktionalität in Z88 Aurora bietet die Möglichkeit, entsprechende Dateien mit Hilfe von Z88G diesen Elementtyp einzulesen und weiter zu verarbeiten. Näheres finden Sie im Kapitel 4.1.8; eine DXF-Datenübernahme mit Z88X ist nicht implementiert, weil nicht sinnvoll.

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. Achtung bei Flächenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Flächenlasten über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT.



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 nicht realisiert, weil Tetraederelemente aufgrund ihrer eigenwilligen Geometrie sehr schwer "von Hand" im Raum platzierbar sind. Dieses Element ist nur für Auto-Vernetzer von Fremdanbietern gedacht. 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.

Eingabewerte:

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > IQFLAG=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 16

- > 10 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist 0 oder beliebig, kein Einfluss
- > Integrationsordnung je *E*-Gesetz. 4 ist meist gut. Zulässig sind 1 für einen Integrationsstützpunkt und 4 und 5 für 4 bzw. 5 Integrationsstützpunkte.

Z88I3.TXT

> Integrationsordnung *INTORD* 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)

> *KFLAG* beliebig

> Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:

0 = keine Vergleichsspannungsberechnung

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

Z88I5.TXT

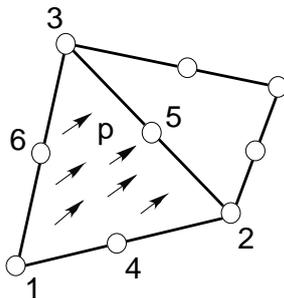
Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.16 aufgegeben werden sollen:

> *Elementnummer*

> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

> *Drei Eck- und drei Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokalen Knoten 1 bis 6 für die Flächenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1 bis 6 für die Koinzidenzliste.



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

4.17 TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN

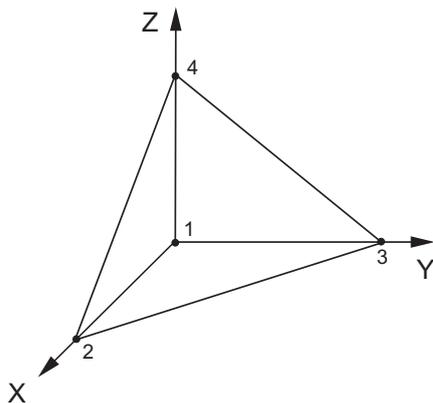
Das Tetraeder-Element berechnet räumliche Spannungszustände. Die Transformation ist isoparametrisch, die Integration erfolgt numerisch in allen drei Achsen nach Gauß-Legendre. Daher ist die Integrationsordnung in Z88I1.TXT bei der Eingabe der Elastizitätsgesetze vorzuzählen. Die Ordnung 1 ist i.a. ausreichend.

Dieses Element ist nur für den Datenaustausch mit Auto-Vernetzern von z.B. dem 3D-CAD System Pro/ENGINEER von Parametric Technology vorgesehen, die Konverterfunktionalität in Z88 Aurora bietet die Möglichkeit, entsprechende Dateien mit Hilfe von Z88G diesen Elementtyp einzulesen und weiter zu verarbeiten. Näheres finden Sie im Kapitel 4.1.8; eine DXF-Datenübernahme mit Z88X ist nicht implementiert, weil nicht sinnvoll.

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. Um es zu wiederholen: Tetraeder Nr.17 ist ein reines CAD-Datenaustausch-Element. Wann 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 nicht realisiert, weil Tetraederelemente aufgrund ihrer eigenwilligen Geometrie sehr schwer "von Hand" im Raum platzierbar sind. Dieses Element ist nur für Auto- Vernetzer von Fremdanbietern gedacht. 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.



Eingabewerte:

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > IQFLAG=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 17
- > 4 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist 0 oder beliebig, kein Einfluss
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 1 ist meist gut. Zulässig sind 1 für einen Integrationsstützpunkt und 4 und 5 für 4 bzw. 5 Integrationsstützpunkte.

Z88I3.TXT

> *Integrationsordnung INTORD* für Spannungsberechnung:

Kann ohne weiteres von INTORD in Z88I1.TXT abweichen.

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

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

> *KFLAG* 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 (INTORD ungleich 0!)

Z88I5.TXT

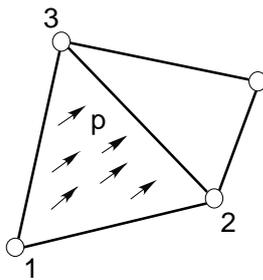
Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Streckenlasten auf die Elemente Nr.17 aufgegeben werden sollen:

> *Elementnummer*

> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

> *Drei Eckknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*

Die lokalen Knoten 1, 2, 3 für die Flächenlasten brauchen naturgemäß nicht identisch sein mit den lokalen Knoten 1 bis 3 für die Koinzidenzliste.



Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z

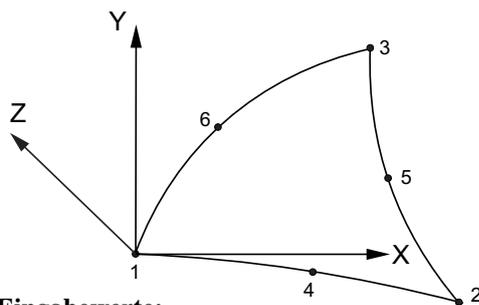
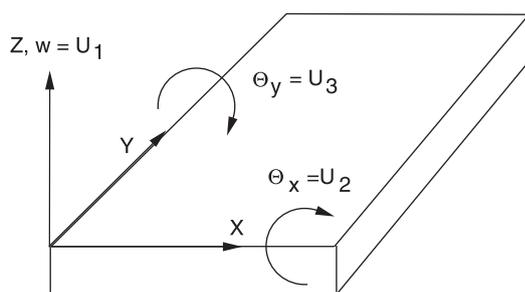
Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte.
Optional Vergleichsspannungen.

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

4.18 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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. Flächenlasten werden bei den E- Gesetzen eingegeben, und zwar anstelle des Balkenparameters RIYY. Für dieses Element das Plattenflag IPFLAG in der ersten Zeile von Z88I1.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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Plattenflag IPFLAG zu 1 setzen (bzw. 2 zum Dämpfen des Schubeinflusses)
- > Flächenlastflag IQFLAG normalerweise zu 0 setzen. Die Eingabe der Flächenlast erfolgt dann über den „Balkenparameter RIYY“, siehe unten. Wenn IQFLAG zu 1 gesetzt wird, dann Eingabe der Flächenlast über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT.
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden (w, θ_x, θ_y)
- > Elementtyp ist 18
- > 6 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist die Elementdicke

- > Balkenparameter RIYY ist die Flächenlast, wenn IQFLAG zu 0 gesetzt wurde
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 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 in Z88I1.TXT: 3 Gauß-Punkte
 Integrationsordnung 4 in Z88I1.TXT: 7 Gauß-Punkte

Beispiel: In Z88I1.TXT 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.

Z88I3.TXT

- > Integrationsordnung INTORD: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
 3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte). Siehe Bemerkung zu Z88I1.TXT. Hier gilt Sinngemäßes.

- > KFLAG hat keine Bedeutung

- > Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:

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

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und an sich hier unnötig, denn Flächenlasten auf Platten geben Sie sehr einfach in der Strukturdatei Z88I1.TXT an. Diese alternative Eingabemöglichkeit über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT ist nur aus Gründen der Durchgängigkeit zu den anderen Elementtypen vorgesehen.

- > Elementnummer
- > Druck, positiv auf die Fläche zeigend

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 x Länge / Länge)

Plattentorsionsmomente $M_{xy} = M_{yx}$ (Einheit: Kraft x Länge / Länge)

die Querkräfte Q_{yz} und Q_{zx} (Einheit: Kraft / Länge)

die echten Spannungen, die aus den Plattenmomenten und Querkräften resultieren ausgegeben. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

4.19 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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.

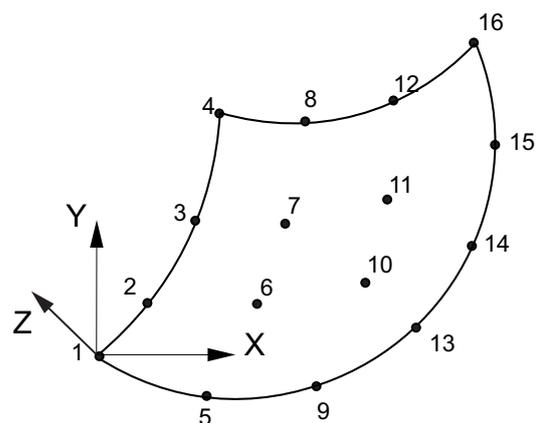
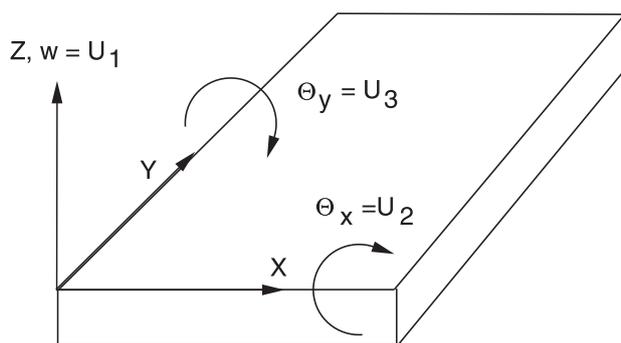
Bei der Spannungsberechnung kann die Integrationsordnung erneut gewählt werden, es können die Spannungen in den Eckknoten (gut als Überblick) oder in den Gauß-Punkten (erheblich genauer) berechnet werden. Flächenlasten werden bei den E- Gesetzen eingegeben, und zwar anstelle des Balkenparameters RIYY. Für dieses Element das Plattenflag IPFLAG in der ersten Zeile von Z88I1.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:

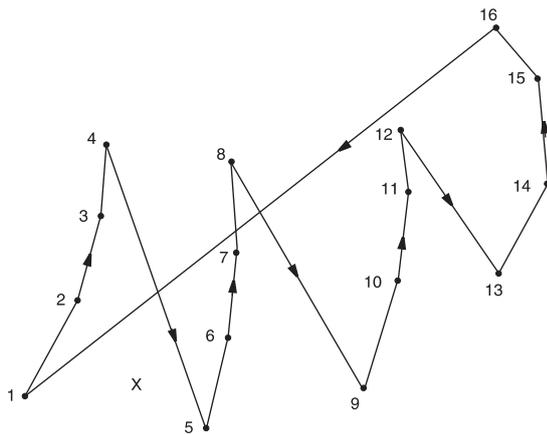
```

.....
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 dreimal äquidistant in X- Richtung und dreimal
             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. 4.1.7. 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 Z88I1.TXT mit Elementen vom Typ 19 generieren lassen. Anschließend mit dem Postprozessor von Z88 Aurora plotten, die entsprechenden Knotennummern für die Randbedingungen ablesen und Randbedingungen- Datei Z88I2.TXT editieren.



Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > *Plattenflag IPFLAG* zu 1 setzen (bzw. 2 zum Dämpfen des Schubeinflusses)
- > *Flächenlastflag IQFLAG* normalerweise zu 0 setzen. Die Eingabe der Flächenlast erfolgt dann über den „Balkenparameter RIYY“, siehe unten. Wenn *IQFLAG* zu 1 gesetzt wird, dann Eingabe der Flächenlast über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT.
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden (w, θ_x, θ_y)
- > Elementtyp ist 19
- > 16 Knoten pro Element
- > *Querschnittsparameter QPARA* ist die Elementdicke
- > *Balkenparameter RIYY* ist die Flächenlast, wenn *IQFLAG* zu 0 gesetzt wurde
- > *Integrationsordnung* je E-Gesetz. 4 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> *Integrationsordnung INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

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

> *KFLAG* hat keine Bedeutung

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

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

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und an sich hier unnötig, denn Flächenlasten auf Platten geben Sie sehr einfach in der Strukturdatei Z88I1.TXT an. Diese alternative Eingabemöglichkeit über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT ist nur aus Gründen der Durchgängigkeit zu den anderen Elementtypen vorgesehen.

- > *Elementnummer*
- > *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

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)

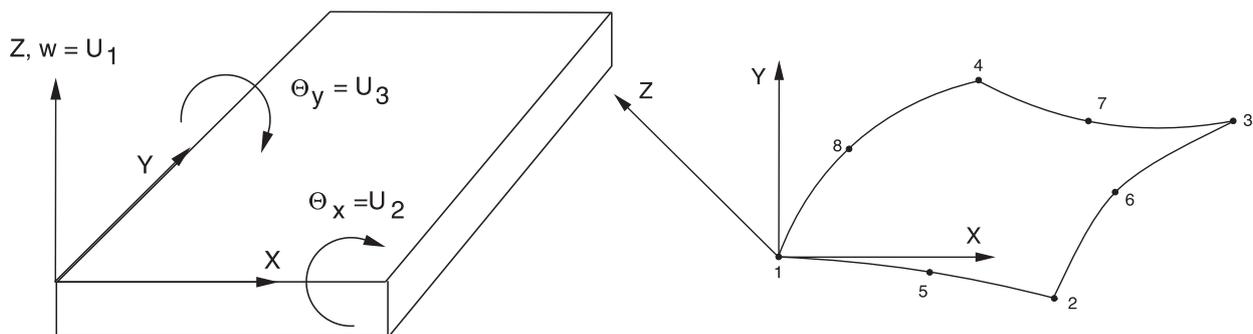
die echten Spannungen, die aus den Plattenmomenten und Querkräften resultieren ausgegeben. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

4.20 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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. Flächenlasten werden bei den E-Gesetzen eingegeben, und zwar anstelle des Balkenparameters RIYY. Für dieses Element das Plattenflag IPFLAG in der ersten Zeile von Z88I1.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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Polarkoordinaten (1)
- > Plattenflag IPFLAG zu 1 setzen (bzw. 2 zum Dämpfen des Schubeinflusses)
- > Flächenlastflag IQFLAG normalerweise zu 0 setzen. Die Eingabe der Flächenlast erfolgt dann über den „Balkenparameter RIYY“, siehe unten. Wenn IQFLAG zu 1 gesetzt wird, dann Eingabe der Flächenlast über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT.
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden (w, θ_x, θ_y)
- > Elementtyp ist 20
- > 8 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist die Elementdicke
- > Balkenparameter RIYY ist die Flächenlast, wenn IQFLAG zu 0 gesetzt wurde
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 2 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> Integrationsordnung INTORD: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

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

> *KFLAG* hat keine Bedeutung

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

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

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und an sich hier unnötig, denn Flächenlasten auf Platten geben Sie sehr einfach in der Strukturdatei Z88I1.TXT an. Diese alternative Eingabemöglichkeit über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT ist nur aus Gründen der Durchgängigkeit zu den anderen Elementtypen vorgesehen.

> *Elementnummer*

> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

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)

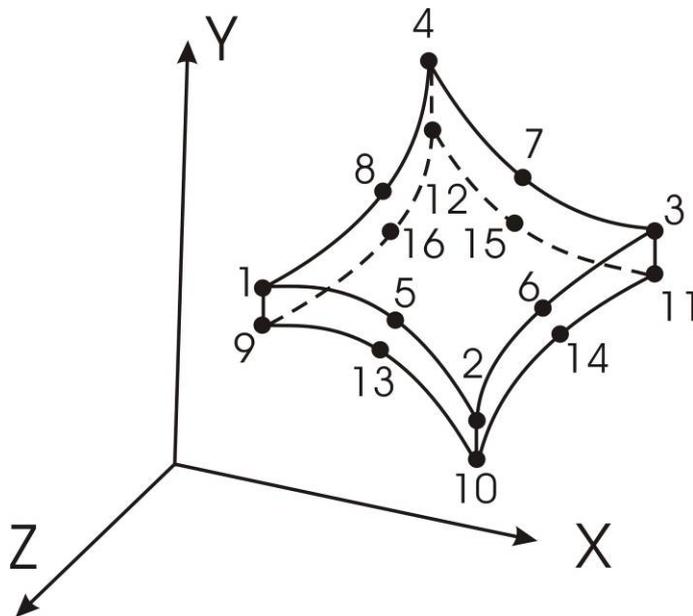
die Querkräfte Q_{yz} und Q_{zx} (Einheit: Kraft / Länge)

die echten Spannungen, die aus den Plattenmomenten und Querkräften resultieren ausgegeben. Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

4.21 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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 → 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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Flächenlastflag *IQFLAG*=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 21
- > 16 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist bedeutungslos
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

- > Integrationsordnung *INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten
- > *KFLAG* hat keine Bedeutung

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:*

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

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

Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.21 aufgegeben werden sollen:

> *Elementnummer*

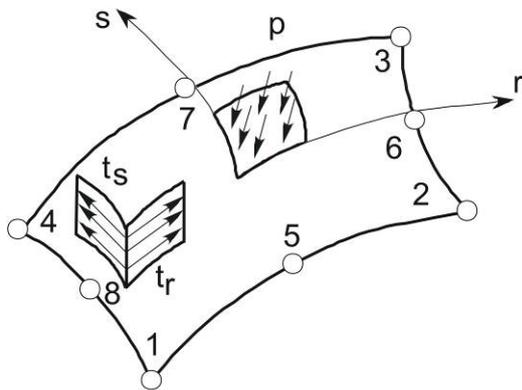
> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

> *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.



Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z

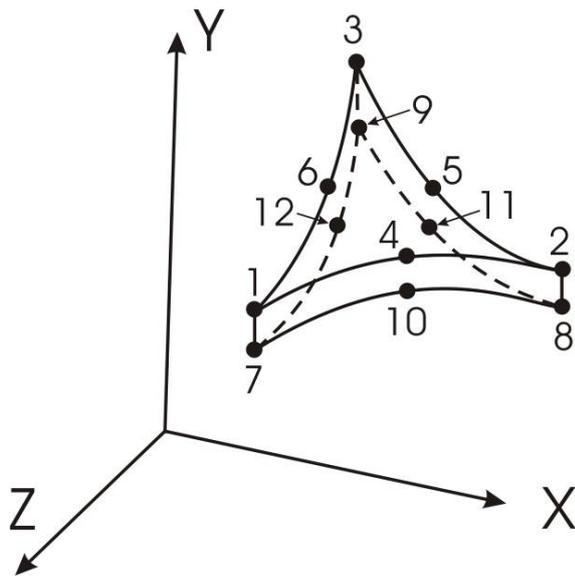
Spannungen: SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gauß-Punkte.

Optional Vergleichsspannungen.

Knotenkräfte in X, Y und Z elementweise und knotenweise aufaddiert

4.22 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 der Sektion E-Gesetz in Z88I1.TXT 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. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Flächenlastflag *IQFLAG*=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 3 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 22
- > 12 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist bedeutungslos
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3, 7 und 13 sind möglich; 7 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> Integrationsordnung *INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte).

> *KFLAG* hat keine Bedeutung

> Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:

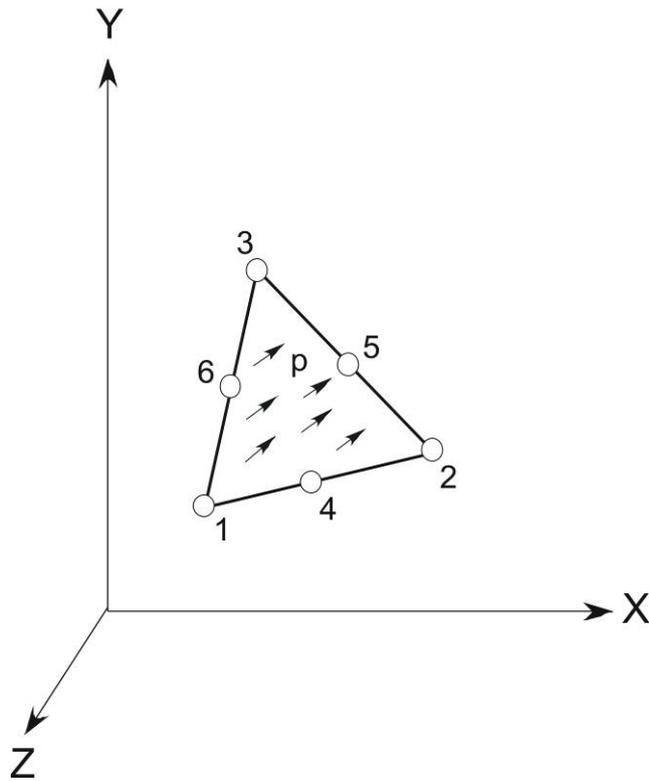
0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

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

Z8815.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.22 aufgegeben werden sollen:

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


Ausgaben:

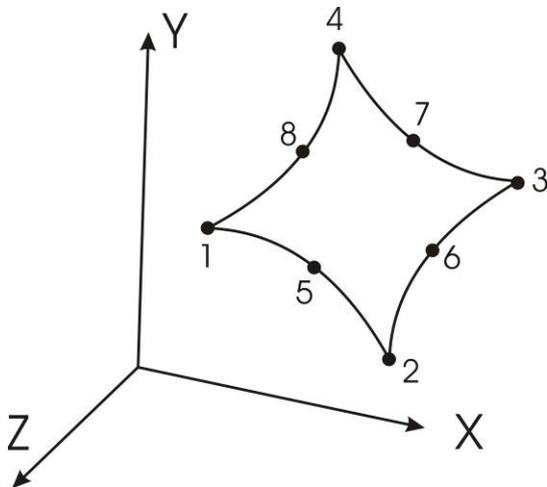
Verschiebungen in X, Y und Z

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

4.23 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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 der ersten Zeile von Z88I1.TXT zu 0 oder 1 setzen, bei dünnen Schalen setzt man IHFLAG zu 2 oder 3, bei *sehr* dünnen Schalen zu 4. Wenn IHFLAG ungleich 0 ist, kann eine Flächenlast vereinfacht bei den Materialgesetzen eingegeben werden. Dann sollte aber das Flächenlastflag IQFLAG 0 sein.



Die ersten drei Freiheitsgrade sind die globalen Verschiebungen in X, Y und Z, die Freiheitsgrade 4 und 5 sind die Verdrehungen am jeweiligen Knoten; 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.

Eingabewerte:

CAD : 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > KFLAG für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Schalenflag IHFLAG zu 0 oder 1 setzen, bzw. 2 oder 3 bei dünnen, 4 bei sehr dünnen Schalen. Wenn IHFLAG ungleich 0 ist, kann eine vorhandene Flächenlast vereinfacht bei den Materialgesetzen in Z88I1.TXT über den „Balkenparameter RIYY“ eingelesen werden. Ansonsten wird der „Balkenparameter RIYY“ zu 0 gesetzt.
- > Flächenlastflag IQFLAG=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 6 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 23
- > 8 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter QPARA ist die Elementdicke
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> *Integrationsordnung INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

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

> *KFLAG* hat keine Bedeutung

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

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

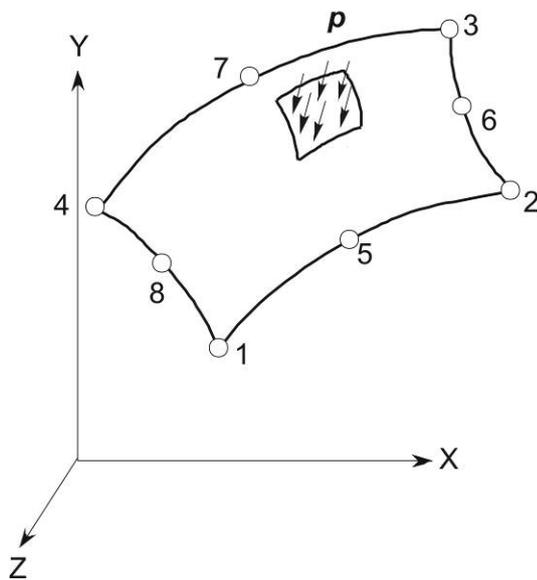
Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.23 aufgegeben werden sollen:

> *Elementnummer*

> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

> *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.

Ausgaben:

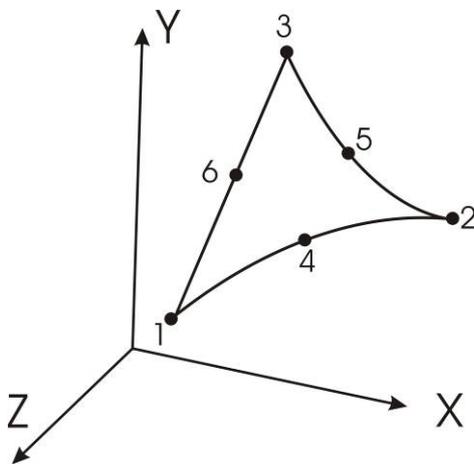
Verschiebungen in X, Y und Z und **Rotationen** (Neigungen) um X- und Y-Achse (θ_x u. θ_y)

Spannungen: Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mit ausgegeben. Es werden die Spannungen SIGXX, SIGYY und TAUXY sowie optional die Vergleichsspannungen ausgegeben.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

4.24 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 der Sektion E-Gesetze in Z88I1.TXT 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 der ersten Zeile von Z88I1.TXT zu 0 oder 1 setzen, bei dünnen Schalen setzt man IHFLAG zu 2 oder 3, bei *sehr* dünnen Schalen zu 4. Wenn IHFLAG ungleich 0 ist, kann eine Flächenlast vereinfacht bei den Materialgesetzen eingegeben werden. Dann sollte aber das Flächenlastflag IQFLAG 0 sein.



Die ersten drei Freiheitsgrade sind die globalen Verschiebungen in X, Y und Z, die Freiheitsgrade 4 und 5 sind die Verdrehungen am jeweiligen Knoten; 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.

Eingabewerte:

CAD : 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 4.1.7

Z88I1.TXT

- > *KFLAG* für Kartesische (0) bzw. Zylinderkoordinaten (1)
- > Schalenflag *IHFLAG* zu 0 oder 1 setzen, bzw. 2 oder 3 bei dünnen, 4 bei *sehr* dünnen Schalen. Wenn *IHFLAG* ungleich 0 ist, kann eine vorhandene Flächenlast vereinfacht bei den Materialgesetzen in Z88I1.TXT über den „Balkenparameter *RIYY*“ eingelesen werden. Ansonsten wird der „Balkenparameter *RIYY*“ zu 0 gesetzt.
- > Flächenlastflag *IQFLAG*=1, wenn Eingabe von Flächenlasten über Z88I5.TXT
- > Knoten mit je 6 Freiheitsgraden
- > Elementtyp ist 24
- > 6 Knoten pro Element
- > Querschnittsparameter *QPARA* ist die Elementdicke
- > Integrationsordnung je E-Gesetz. 3, 7 und 13 sind möglich; 7 ist meist gut.

Z88I3.TXT

> *Integrationsordnung INTORD*: Zweckmäßigerweise wie in Z88I1.TXT bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:

0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten

3,7,13 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten (z.B. 7 = 7 Gauß-Punkte).

> *KFLAG* hat keine Bedeutung

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

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

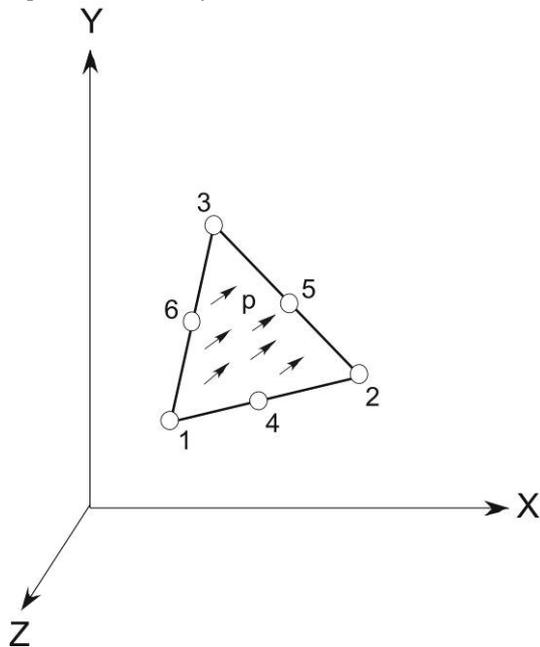
Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und wird nur angelegt, wenn zusätzlich zu Einzelkräften auch Flächenlasten auf die Elemente Nr.23 aufgegeben werden sollen:

> *Elementnummer*

> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

> *3 Eckknoten und 3 Mittenknoten der Fläche, die Flächenlasten erhält. Mathematisch positiv bei Draufsicht.*



Ausgaben:

Verschiebungen in X, Y und Z 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 Spannungen SIGXX, SIGYY und TAUXY sowie optional die Vergleichsspannungen ausgegeben.

Knotenkräfte zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.