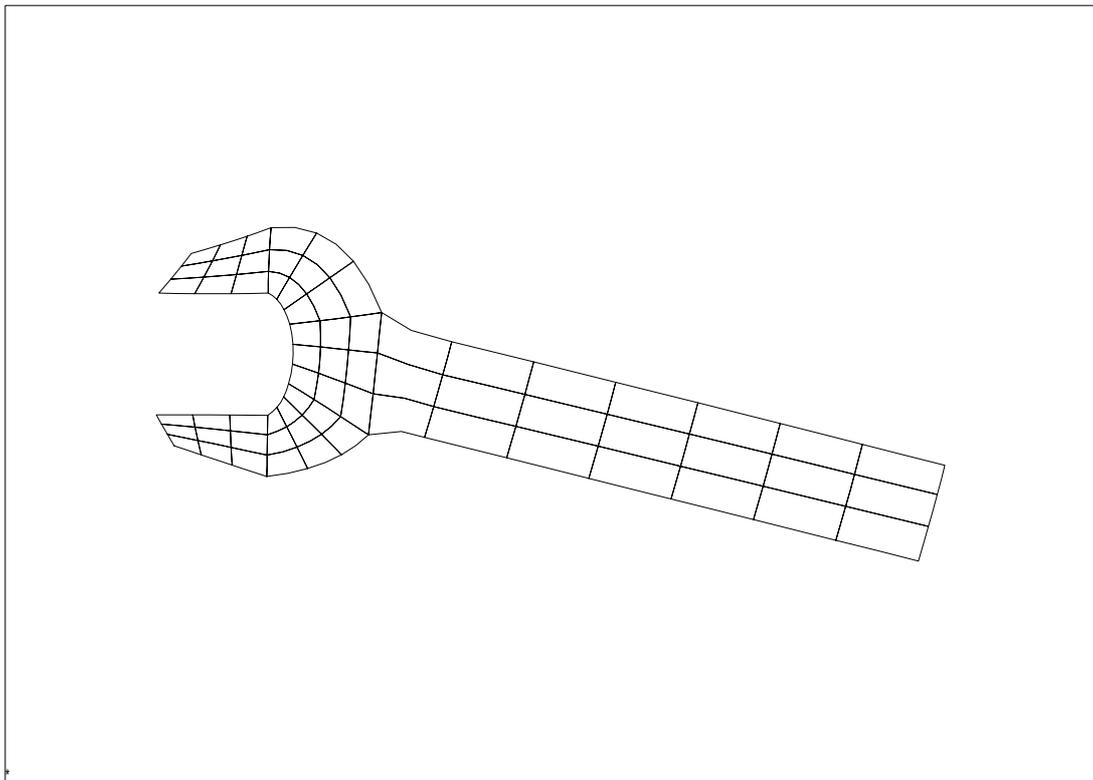


# Z88<sup>®</sup>

*Das kompakte Finite Elemente  
System*



*Version 12.0*

# Z88<sup>®</sup>

*Ein modulares, kompaktes und schnelles  
Finite- Elemente Programm in ANSI-C  
für alle Windows- und UNIX-Computer*

*Die UNIX- und die Windows- Versionen sind  
Freeware und unterliegen der  
GNU General Public License GPL*

*Verfaßt und herausgegeben von  
Univ.Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg  
Lehrstuhl Konstruktionslehre und CAD  
Universität Bayreuth*

*Alle Rechte bleiben beim Verfasser*

*Version 12.0 März 2006*

Z88 ist eine eingetragene Marke (Nr. 397 40 245) für Univ.Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg

# WILLKOMMEN ZU Z88!

*Z88 für UNIX und Windows ist Freeware und unterliegt der GNU General Public License, die nächsten Seiten.*

Z88<sup>®</sup> ist kompakt und schnell. Ursprünglich für PCs entwickelt, läuft es heute sauber auf LINUX- PCs, Windows- PCs ab Windows95 bis XP und Hochleistungs-UNIX-Workstations. Ganz einfach zu compilieren und installieren. Einfach zu handhaben. Mit kontextsensitiver OnLine- Hilfe. In zahllosen Windows-, UNIX- und LINUX- Anwendungen weltweit bewährt. Für statische Berechnungen in Maschinenbau und Bauwesen. Für den Anwender absolut transparent durch Ein- und Ausgabe mit Textdateien. Z88<sup>®</sup> ist ganz bewußt als kompaktes und schnelles System angelegt. Daher wurde sein Einsatzgebiet auf statische Tragwerksberechnung beschränkt. Z88<sup>®</sup> 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<sup>®</sup> schon die ersten Beispiele gerechnet. Und die OnLine- Hilfe ist immer nur einen Tastendruck oder Mausklick entfernt. Z88 arbeitet mit deutscher oder englischer Sprache, je nach Ihrer Einstellung (GERMAN oder ENGLISH) in der Steuerdatei Z88.DYN.

Die Version 12.0 unterscheidet sich äußerlich fast nicht von der Vorgängerversion 11.0, jedoch ist nun durchgängig 64-Bit Unterstützung für LINUX und UNIX realisiert. Ferner – und das bedingte sehr tiefe Eingriffe in die Solvermodule – können nun Strecken-, Flächen- und Drucklasten direkt aufgegeben werden. Dies ist von besonderer Bedeutung bei der Übernahme von z.B. NASTRAN-Files aus Pro/ENGINEER.

Wenn Sie bereits FE- Erfahrungen haben, können Sie gleich loslegen. Falls Sie absoluter Neuling auf diesem Gebiet sind, würde ich begleitend Sekundärliteratur empfehlen. Hier eine kleine Auswahl:

- *Zienkiewicz, O.C.; Taylor, R.L.: The Finite Element Method, Volumes 1-3, 5<sup>th</sup> edition, Butterworth- Heinemann bzw. John Wiley & Sons, 2000*
- *Bathe, K.J.: Finite- Elemente- Methoden. 2. Auflage. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2001*
- *Schwarz, H.R.: Methode der finiten Elemente. Teubner Verlag, 3. Auflage, Stuttgart 1991*
- *Rieg, F.; Hackenschmidt, R.: Finite Elemente Analyse für Ingenieure. Hanser- Verlag, München Wien 2003, 2. Auflage*

Wenn Sie Z88<sup>®</sup> weiterentwickeln, wäre ich an Ihrem Feedback interessiert. Falls Sie Z88 für UNIX compilieren möchten, dann sollte jeder beliebige C-Compiler zusammen mit den *Motif*- und *OpenGL*-Libraries funktionieren - ich habe den GNU *gcc* und die C-Compiler von SGI und SUN getestet. Falls Sie Z88 für Windows compilieren möchten, dann sollte jeder beliebige C- oder C++ Compiler funktionieren - ich habe den freien *LCC* und die C-Compiler von Microsoft, Borland und Watcom getestet.

Da Z88<sup>®</sup> der GNU General Public License unterliegt, ist es Ehrensache, daß Sie Änderungen und Verbesserungen wieder der Öffentlichkeit zur Verfügung stellen. Fördern Sie die Idee der Freien Software! Die Z88-Internetseite: [www.z88.de](http://www.z88.de)

Univ.Prof. Dr.-Ing. Frank Rieg  
Lehrstuhl für Konstruktionslehre und CAD  
Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften  
Universität Bayreuth  
[frank.rieg@uni-bayreuth.de](mailto:frank.rieg@uni-bayreuth.de)  
[www.uni-bayreuth.de/departments/konstruktionslehre](http://www.uni-bayreuth.de/departments/konstruktionslehre)

Bayreuth, März 2006

# GNU GENERAL PUBLIC LICENSE

Version 2, June 1991

Copyright (C) 1989, 1991 Free Software Foundation, Inc.  
675 Mass Ave, Cambridge, MA 02139, USA

Everyone is permitted to copy and distribute verbatim copies of this license document, but changing it is not allowed.

## Preamble

The licenses for most software are designed to take away your freedom to share and change it. By contrast, the GNU General Public License is intended to guarantee your freedom to share and change free software--to make sure the software is free for all its users. This General Public License applies to most of the Free Software Foundation's software and to any other program whose authors commit to using it. (Some other Free Software Foundation software is covered by the GNU Library General Public License instead.) You can apply it to your programs, too.

When we speak of free software, we are referring to freedom, not price. Our General Public Licenses are designed to make sure that you have the freedom to distribute copies of free software (and charge for this service if you wish), that you receive source code or can get it if you want it, that you can change the software or use pieces of it in new free programs; and that you know you can do these things.

To protect your rights, we need to make restrictions that forbid anyone to deny you these rights or to ask you to surrender the rights. These restrictions translate to certain responsibilities for you if you distribute copies of the software, or if you modify it.

For example, if you distribute copies of such a program, whether gratis or for a fee, you must give the recipients all the rights that you have. You must make sure that they, too, receive or can get the source code. And you must show them these terms so they know their rights.

We protect your rights with two steps: (1) copyright the software, and (2) offer you this license which gives you legal permission to copy, distribute and/or modify the software.

Also, for each author's protection and ours, we want to make certain that everyone understands that there is no warranty for this free software. If the software is modified by someone else and passed on, we want its recipients to know that what they have is not the original, so that any problems introduced by others will not reflect on the original authors' reputations.

Finally, any free program is threatened constantly by software patents. We wish to avoid the danger that redistributors of a free program will individually obtain patent licenses, in effect making the program proprietary. To prevent this, we have made it clear that any patent must be licensed for everyone's free use or not licensed at all.

The precise terms and conditions for copying, distribution and modification follow.

## GNU GENERAL PUBLIC LICENSE TERMS AND CONDITIONS FOR COPYING, DISTRIBUTION AND MODIFICATION

0. This License applies to any program or other work which contains a notice placed by the copyright holder saying it may be distributed under the terms of this General Public License. The "Program", below, refers to any such program or work, and a "work based on the Program" means either the Program or any derivative work under copyright law: that is to say, a work containing the Program or a portion of it, either verbatim or with modifications and/or translated into another language. (Hereinafter, translation is included without limitation in the term "modification".) Each licensee is addressed as "you".

Activities other than copying, distribution and modification are not covered by this License; they are outside its scope. The act of running the Program is not restricted, and the output from the Program is covered only if its contents constitute a work based on the Program (independent of having been made by running the Program). Whether that is true depends on what the Program does.

1. You may copy and distribute verbatim copies of the Program's source code as you receive it, in any medium, provided that you conspicuously and appropriately publish on each copy an appropriate copyright notice and disclaimer of warranty; keep intact all the notices that refer to this License and to the absence of any warranty; and give any other recipients of the Program a copy of this License along with the Program.

You may charge a fee for the physical act of transferring a copy, and you may at your option offer warranty protection in exchange for a fee.

2. You may modify your copy or copies of the Program or any portion of it, thus forming a work based on the Program, and copy and distribute such modifications or work under the terms of Section 1 above, provided that you also meet all of these conditions:

a) You must cause the modified files to carry prominent notices stating that you changed the files and the date of any change.

b) You must cause any work that you distribute or publish, that in whole or in part contains or is derived from the Program or any part thereof, to be licensed as a whole at no charge to all third parties under the terms of this License.

c) If the modified program normally reads commands interactively when run, you must cause it, when started running for such interactive use in the most ordinary way, to print or display an announcement including an appropriate copyright notice and a notice that there is no warranty (or else, saying that you provide a warranty) and that users may redistribute the program under these conditions, and telling the user how to view a copy of this License. (Exception: if the Program itself is interactive but does not normally print such an announcement, your work based on the Program is not required to print an announcement.)

These requirements apply to the modified work as a whole. If identifiable sections of that work are not derived from the Program, and can be reasonably considered independent and separate works in themselves, then this License, and its terms, do not apply to those sections when you distribute them as separate works. But when you distribute the same sections as part of a whole which is a work based on the Program, the distribution of the whole must be on the terms of this License, whose permissions for other licensees extend to the entire whole, and thus to each and every part regardless of who wrote it.

Thus, it is not the intent of this section to claim rights or contest your rights to work written entirely by you; rather, the intent is to exercise the right to control the distribution of derivative or collective works based on the Program.

In addition, mere aggregation of another work not based on the Program with the Program (or with a work based on the Program) on a volume of a storage or distribution medium does not bring the other work under the scope of this License.

3. You may copy and distribute the Program (or a work based on it, under Section 2) in object code or executable form under the terms of Sections 1 and 2 above provided that you also do one of the following:

a) Accompany it with the complete corresponding machine-readable source code, which must be distributed under the terms of Sections 1 and 2 above on a medium customarily used for software interchange; or,

b) Accompany it with a written offer, valid for at least three years, to give any third party, for a charge no more than your cost of physically performing source distribution, a complete machine-readable copy of the corresponding source code, to be distributed under the terms of Sections 1 and 2 above on a medium customarily used for software interchange; or,

c) Accompany it with the information you received as to the offer to distribute corresponding source code. (This alternative is allowed only for noncommercial distribution and only if you received the program in object code or executable form with such an offer, in accord with Subsection b above.)

The source code for a work means the preferred form of the work for making modifications to it. For an executable work, complete source code means all the source code for all modules it contains, plus any associated interface definition files, plus the scripts used to control compilation and installation of the executable. However, as a special exception, the source code distributed need not include anything that is normally distributed (in either source or binary form) with the major components (compiler, kernel, and so on) of the operating system on which the executable runs, unless that component itself accompanies the executable.

If distribution of executable or object code is made by offering access to copy from a designated place, then offering equivalent access to copy the source code from the same place counts as distribution of the source code, even though third parties are not compelled to copy the source along with the object code.

4. You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Program except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense or distribute the Program is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

5. You are not required to accept this License, since you have not signed it. However, nothing else grants you permission to modify or distribute the Program or its derivative works. These actions are prohibited by law if you do not accept this License. Therefore, by modifying or distributing the Program (or any work based on the Program), you indicate your acceptance of this License to do so, and all its terms and conditions for copying, distributing or modifying the Program or works based on it.

6. Each time you redistribute the Program (or any work based on the Program), the recipient automatically receives a license from the original licensor to copy, distribute or modify the Program subject to these terms and conditions. You may not impose any further restrictions on the recipients' exercise of the rights granted herein. You are not responsible for enforcing compliance by third parties to this License.

7. If, as a consequence of a court judgment or allegation of patent infringement or for any other reason (not limited to patent issues), conditions are imposed on you (whether by court order, agreement or otherwise) that contradict the conditions of this License, they do not excuse you from the conditions of this License. If you cannot distribute so as to satisfy simultaneously your obligations under this License and any other pertinent obligations, then as a consequence you may not distribute the Program at all. For example, if a patent license would not permit royalty-free redistribution of the Program by all those who receive copies directly or indirectly through you, then the only way you could satisfy both it and this License would be to refrain entirely from distribution of the Program.

If any portion of this section is held invalid or unenforceable under any particular circumstance, the balance of the section is intended to apply and the section as a whole is intended to apply in other circumstances.

It is not the purpose of this section to induce you to infringe any patents or other property right claims or to contest validity of any such claims; this section has the sole purpose of protecting the integrity of the free software distribution system, which is implemented by public license practices. Many people have made generous contributions to the wide range of software distributed through that system in reliance on consistent application of that system; it is up to the author/donor to decide if he or she is willing to distribute software through any other system and a licensee cannot impose that choice.

This section is intended to make thoroughly clear what is believed to be a consequence of the rest of this License.

8. If the distribution and/or use of the Program is restricted in certain countries either by patents or by copyrighted interfaces, the original copyright holder who places the Program under this License may add an explicit geographical distribution limitation excluding those countries, so that distribution is permitted only in or among countries not thus excluded. In such case, this License incorporates the limitation as if written in the body of this License.

9. The Free Software Foundation may publish revised and/or new versions of the General Public License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns.

Each version is given a distinguishing version number. If the Program specifies a version number of this License which applies to it and "any later version", you have the option of following the terms and conditions either of that version or of any later version published by the Free Software Foundation. If the Program does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published by the Free Software Foundation.

10. If you wish to incorporate parts of the Program into other free programs whose distribution conditions are different, write to the author to ask for permission. For software which is copyrighted by the Free Software

Foundation, write to the Free Software Foundation; we sometimes make exceptions for this. Our decision will be guided by the two goals of preserving the free status of all derivatives of our free software and of promoting the sharing and reuse of software generally.

## NO WARRANTY

11. BECAUSE THE PROGRAM IS LICENSED FREE OF CHARGE, THERE IS NO WARRANTY FOR THE PROGRAM, TO THE EXTENT PERMITTED BY APPLICABLE LAW. EXCEPT WHEN OTHERWISE STATED IN WRITING THE COPYRIGHT HOLDERS AND/OR OTHER PARTIES PROVIDE THE PROGRAM "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY AND FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. THE ENTIRE RISK AS TO THE QUALITY AND PERFORMANCE OF THE PROGRAM IS WITH YOU. SHOULD THE PROGRAM PROVE DEFECTIVE, YOU ASSUME THE COST OF ALL NECESSARY SERVICING, REPAIR OR CORRECTION.

12. IN NO EVENT UNLESS REQUIRED BY APPLICABLE LAW OR AGREED TO IN WRITING WILL ANY COPYRIGHT HOLDER, OR ANY OTHER PARTY WHO MAY MODIFY AND/OR REDISTRIBUTE THE PROGRAM AS PERMITTED ABOVE, BE LIABLE TO YOU FOR DAMAGES, INCLUDING ANY GENERAL, SPECIAL, INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES ARISING OUT OF THE USE OR INABILITY TO USE THE PROGRAM (INCLUDING BUT NOT LIMITED TO LOSS OF DATA OR DATA BEING RENDERED INACCURATE OR LOSSES SUSTAINED BY YOU OR THIRD PARTIES OR A FAILURE OF THE PROGRAM TO OPERATE WITH ANY OTHER PROGRAMS), EVEN IF SUCH HOLDER OR OTHER PARTY HAS BEEN ADVISED OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGES.

## END OF TERMS AND CONDITIONS

### Appendix: How to Apply These Terms to Your New Programs

If you develop a new program, and you want it to be of the greatest possible use to the public, the best way to achieve this is to make it free software which everyone can redistribute and change under these terms.

To do so, attach the following notices to the program. It is safest to attach them to the start of each source file to most effectively convey the exclusion of warranty; and each file should have at least the "copyright" line and a pointer to where the full notice is found.

```
<one line to give the program's name and a brief idea of what it does.>  
Copyright (C) 19yy <name of author>
```

This program is free software; you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation; either version 2 of the License, or (at your option) any later version.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details.

You should have received a copy of the GNU General Public License along with this program; if not, write to the Free Software Foundation, Inc., 675 Mass Ave, Cambridge, MA 02139, USA.

Also add information on how to contact you by electronic and paper mail.

If the program is interactive, make it output a short notice like this when it starts in an interactive mode:

```
Gnomovision version 69, Copyright (C) 19yy name of author  
Gnomovision comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY; for details type `show w'.  
This is free software, and you are welcome to redistribute it under certain conditions; type `show c' for details.
```

The hypothetical commands `show w' and `show c' should show the appropriate parts of the General Public License. Of course, the commands you use may be called something other than `show w' and `show c'; they could even be mouse-clicks or menu items--whatever suits your program.

You should also get your employer (if you work as a programmer) or your school, if any, to sign a "copyright disclaimer" for the program, if necessary. Here is a sample; alter the names:

Yoyodyne, Inc., hereby disclaims all copyright interest in the program  
'Gnomovision' (which makes passes at compilers) written by James Hacker.

<signature of Ty Coon>, 1 April 1989  
Ty Coon, President of Vice

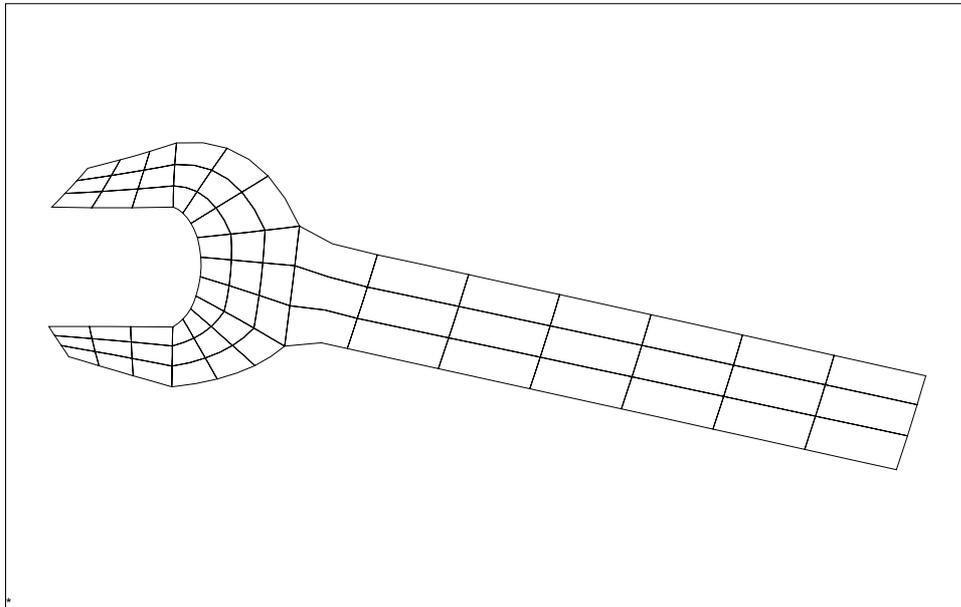
This General Public License does not permit incorporating your program into proprietary programs. If your program is a subroutine library, you may consider it more useful to permit linking proprietary applications with the library. If this is what you want to do, use the GNU Library General Public License instead of this License.

# INHALTSVERZEICHNIS

WILLKOMMEN ZU Z88!	3
GNU GENERAL PUBLIC LICENSE	4
1 DAS FINITE- ELEMENTE PROGRAMM Z88	11
1.1 ALLGEMEINES ZUM FE-PROGRAMM Z88	11
1.2 SO INSTALLIEREN SIE Z88: Windows 95 bis XP	28
1.3 So installieren Sie Z88 für LINUX und UNIX	36
1.3.1 LINUX- Installation für SuSE and Fedora	36
1.3.2 Installation für UNIX- Systeme bzw. andere LINUX- Versionen	37
1.4 DYNAMISCHER SPEICHER Z88	41
2 DIE Z88- MODULE	47
2.1 DER DIREKTE CHOLESKY SOLVER Z88F	47
2.2 DER ITERATIONSSOLVER Z88I1/Z88I2	48
2.3 DER SPANNUNGS- PROZESSOR Z88D	51
2.4 DER KNOTENKRAFT- PROZESSOR Z88E	52
2.5 DER NETZGENERATOR Z88N	52
2.6 DAS PLOTPROGRAMM Z88P	55
2.7 DER CAD- KONVERTER Z88X	62
2.7.1 ÜBERBLICK Z88X	62
2.7.2 Z88X IM DETAIL	65
2.8 DER COSMOS- KONVERTER Z88G	76
2.9 DAS CUTHILL- McKEE PROGRAMM Z88H	80
2.10 DER FILECHECKER Z88V	82
2.11 DAS OPENGL PLOTPROGRAMM Z88O	83
3 EINGABE-DATEIEN ERZEUGEN	92
3.1 ALLGEMEINES	92
3.2 ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88I1.TXT	95
3.3 NETZGENERATOR-DATEI Z88NI.TXT	98
3.4 RANDBEDINGUNGEN Z88I2.TXT	102
3.5 SPANNUNGS-PARAMETERFILE Z88I3.TXT	105
3.6 PARAMETERFILE Z88I4.TXT FÜR DEN ITERATIONSSOLVER PART 2: Z88I2	106
3.7 STRECKEN- UND FLÄCHENLASTDATEI Z88I5.TXT	107
4 BESCHREIBUNG DER FINITEN ELEMENTE	110
4.1 HEXAEDER NR.1 MIT 8 KNOTEN	111
4.2 BALKEN NR.2 MIT 2 KNOTEN IM RAUM	113
4.3 SCHEIBE NR.3 MIT 6 KNOTEN	114
4.4 STAB NR.4 IM RAUM	115
4.5 WELLE NR.5 MIT 2 KNOTEN	116
4.6 TORUS NR.6 MIT 3 KNOTEN	117
4.7 SCHEIBE NR.7 MIT 8 KNOTEN	119
4.8 TORUS NR.8 MIT 8 KNOTEN	120
4.9 STAB NR.9 IN DER EBENE	122
4.10 HEXAEDER NR.10 MIT 20 KNOTEN	123
4.11 SCHEIBE NR.11 MIT 12 KNOTEN	125
4.12 TORUS NR.12 MIT 12 KNOTEN	127
4.13 BALKEN NR.13 IN DER EBENE	129
4.14 SCHEIBE NR.14 MIT 6 KNOTEN	130
4.15 TORUS NR.15 MIT 6 KNOTEN	132
4.16 TETRAEDER NR.16 MIT 10 KNOTEN	134
4.17 TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN	136
4.18 PLATTE NR.18 MIT 6 KNOTEN	138
4.19 PLATTE NR.19 MIT 16 KNOTEN	140
4.20 PLATTE NR.20 MIT 8 KNOTEN	142
5 BEISPIELE	145
5.0 ALLGEMEINES	145
5.1 SCHRAUBENSCHLÜSSEL AUS SCHEIBEN NR.7	147
5.1.1 EINGABEN	149
5.1.2 AUSGABEN	153
5.2 KRANTRÄGER AUS STÄBEN NR.4	154

5.2.1 EINGABEN .....	156
5.2.2 AUSGABEN .....	158
5.3 GETRIEBEWELLE MIT WELLE NR.5 .....	159
5.3.1 EINGABEN .....	161
5.3.2 AUSGABEN .....	163
5.4 BIEGETRÄGER MIT BALKEN NR.13 .....	165
5.4.1 EINGABEN .....	166
5.4.2 AUSGABEN .....	167
5.5 PLATTENSEGMENT AUS HEXAEDERN NR.1 .....	168
5.5.1 EINGABEN .....	169
5.5.2 AUSGABEN .....	172
5.6 ROHR UNTER INNENDRUCK, SCHEIBEN NR.7 .....	173
5.6.1 EINGABEN .....	174
5.6.2 AUSGABEN .....	178
5.7 ROHR UNTER INNENDRUCK, TORI NR. 8 .....	178
5.7.1 EINGABEN .....	179
5.7.2 AUSGABEN .....	182
5.8 MOTORRAD- KURBELWELLE, TETRAEDER NR. 16 .....	183
5.9 RECHTECKPLATTE, PLATTE NR. 19 .....	189
5.10 DIESELKOLBEN, TETRAEDER NR.16 UND NR.17 .....	195

# 1 DAS FINITE- ELEMENTE PROGRAMM Z88



## 1.1 ALLGEMEINES ZUM FE-PROGRAMM Z88

### Die Z88- Philosophie:

- + Schnell und kompakt: für PCs entwickelt, kein portiertes Großsystem
- + Flexibel und transparent: Steuerung über Textdateien
- + "Small is beautiful" - modularer Aufbau, kein monolithisches Monster
- + native UNIX- bzw. Windows- Programme, keine Emulationen
- + UNIX- und Windows- Version verwenden die gleichen Rechenkerne
- + Voller Datenaustausch von und zu CAD-Systemen mit DXF-Schnittstelle
- + FE- Netz Import aus Pro/ENGINEER
- + kontextsensitive OnLine- Hilfe
- + Einfachste Installation: Keine Subdirectories, kein Verändern der Systemdateien
- + Bei UNIX: automatische Steuerung und kumulative Läufe möglich

### Hinweise:

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

Beachten Sie ferner, daß bei Z88 (und auch anderen FEA- Programmen) mitunter Vorzeichendefinitionen gelten, die von den üblichen Definitionen der analytischen Technischen Mechanik abweichen.

Z88 ist ein komplexes Computerprogramm. Inwieweit Z88 sich mit anderen Programmen und Utilities usw. verträgt, ist nicht vorhersagbar. Wir können hier keine Beratung und Unterstützung geben ! Sie sollten zunächst sämtliche anderen Programme und Utilities deaktivieren. Fahren Sie Z88 "pur" und nehmen dann Zug um Zug weitere Programme hinzu.

Z88 selbst verwendet nur dokumentierte Betriebssystem- Aufrufe von Windows bzw. UNIX  
!

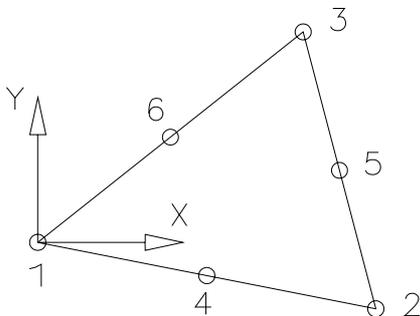
## Die Z88- Element- Bibliothek im Überblick:

(Die genaue Beschreibung der Element- Bibliothek finden Sie im Kapitel 4.)

### Zweidimensionale Probleme: Scheiben, Platten, Balken, Stäbe

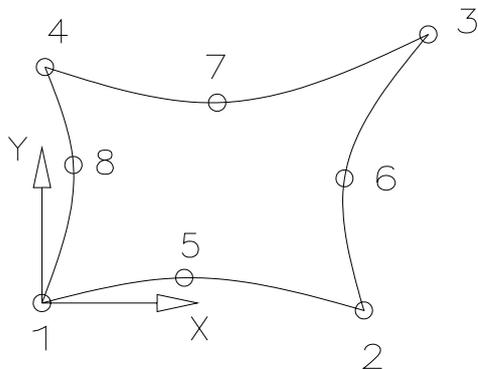
#### Scheibe Nr.3

- 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

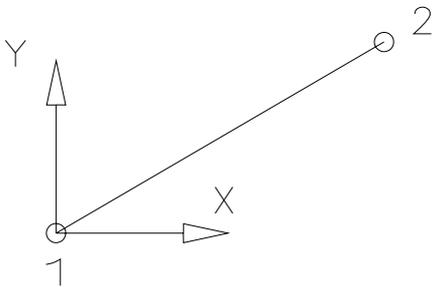
- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten gut
- Rechenaufwand: hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $16 * 16$



#### Stab Nr.9

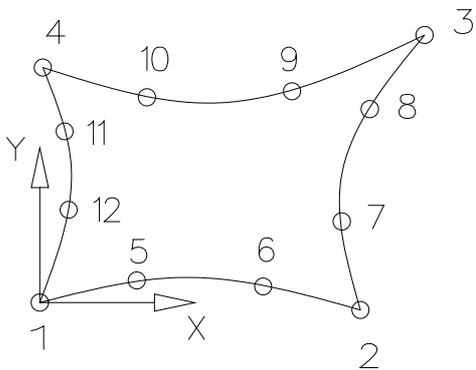
- linearer Ansatz

- 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:  $4 * 4$



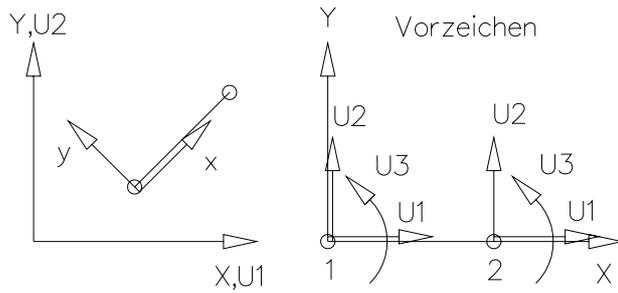
### **Scheibe Nr.11**

- kubisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Eckknoten gut
- Rechenaufwand: sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $24 * 24$



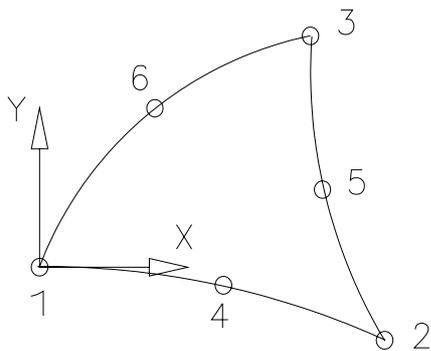
### **Balken Nr.13**

- 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:  $8 * 8$



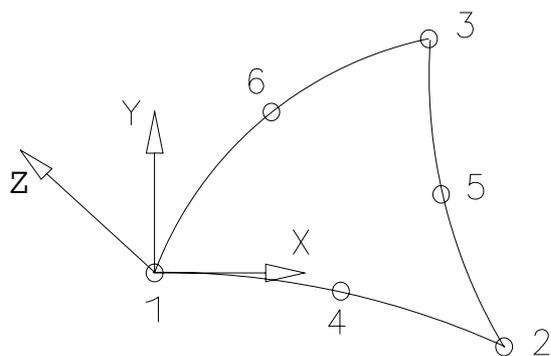
### Scheibe Nr.14

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $12 * 12$



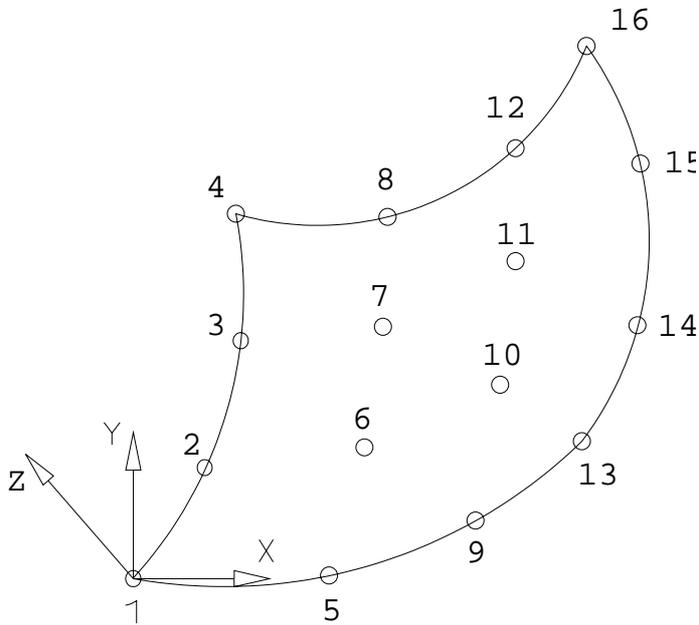
### Platte Nr.18

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



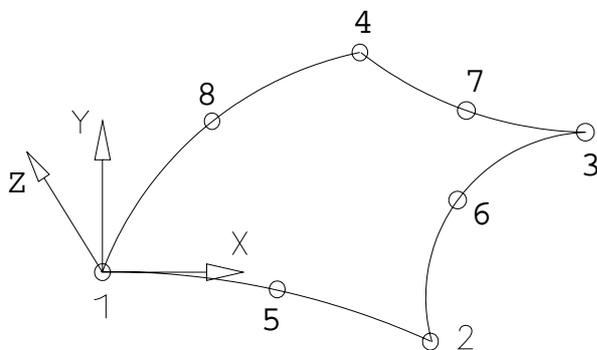
### Platte Nr.19

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



### Platte Nr.20

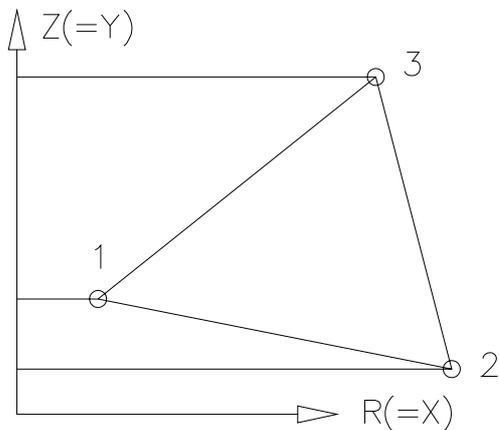
- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element mit Reissner- Mindlin Ansatz
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten recht gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $24 * 24$



### **Axialsymmetrische Probleme:**

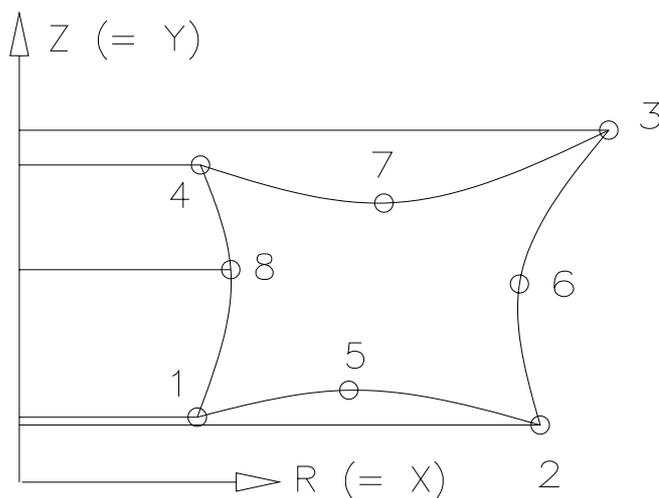
## Torus Nr.6

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



## Torus Nr.8

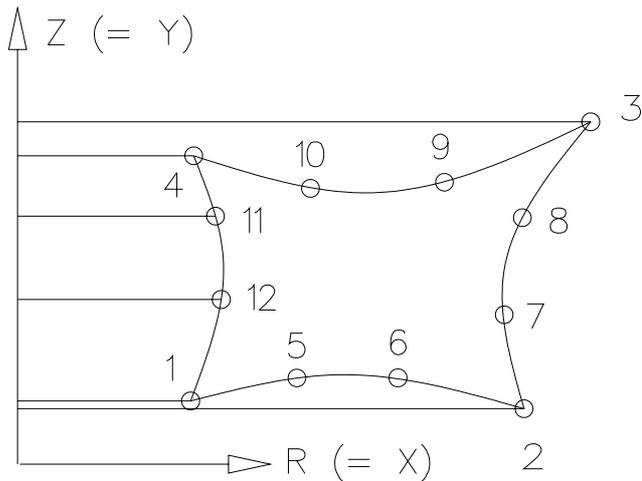
- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten gut
- Rechenaufwand: hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $16 * 16$



## Torus Nr.12

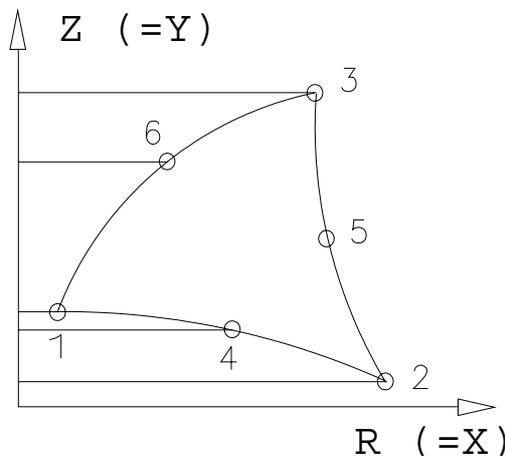
- kubisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten ausgezeichnet
- Güte der Spannungen in den Eckknoten gut
- Rechenaufwand: sehr hoch

- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $24 * 24$



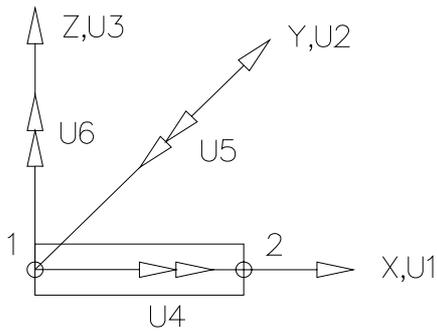
### **Torus Nr.15**

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Güte der Spannungen in den Gausspunkten sehr gut
- Güte der Spannungen in den Eckknoten gut
- Rechenaufwand: mittel
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $12 * 12$



### **Welle Nr.5**

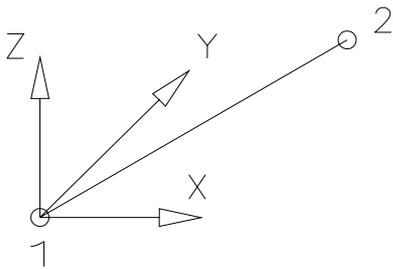
- linearer Ansatz für Zug und Torsion, kubischer Ansatz für Biegung
- Güte der Verschiebungen exakt im Rahmen des Hooke' schen Gesetzes
- Güte der Spannungen exakt im Rahmen des Hooke' schen Gesetzes
- Rechenaufwand: gering
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $12 * 12$



## Räumliche Probleme:

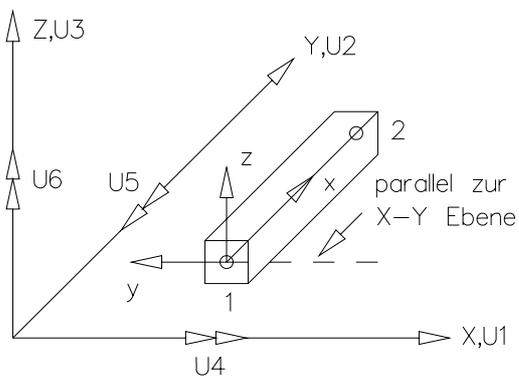
### Stab Nr.4

- 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:  $6 * 6$



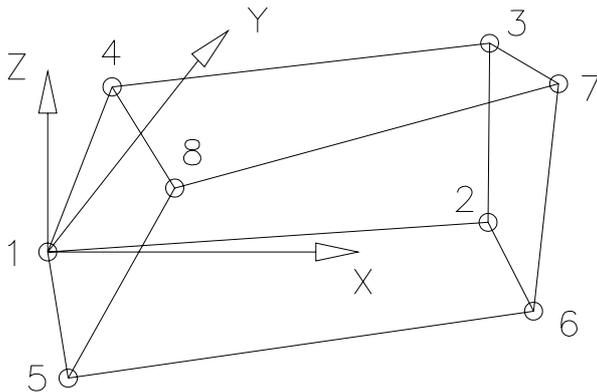
### Balken Nr.2

- 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:  $12 * 12$



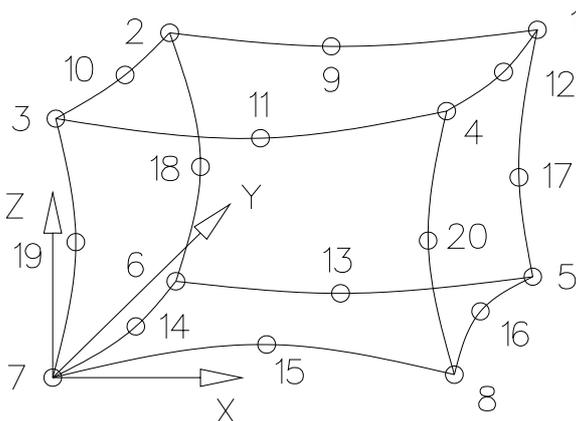
## Hexaeder Nr.1

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen mittel
- Spannungen an den Gausspunkten brauchbar
- Spannungen an den Eckknoten ungenau
- Rechenaufwand sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $24 * 24$



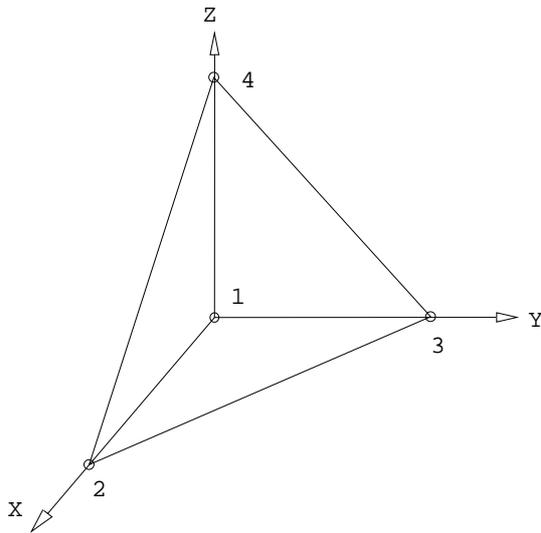
## Hexaeder Nr.10

- quadratisches isoparametrisches Serendipity Element
- Güte der Verschiebungen sehr gut
- Spannungen an den Gausspunkten sehr gut
- Spannungen an den Eckknoten gut
- Rechenaufwand extrem hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $60 * 60$



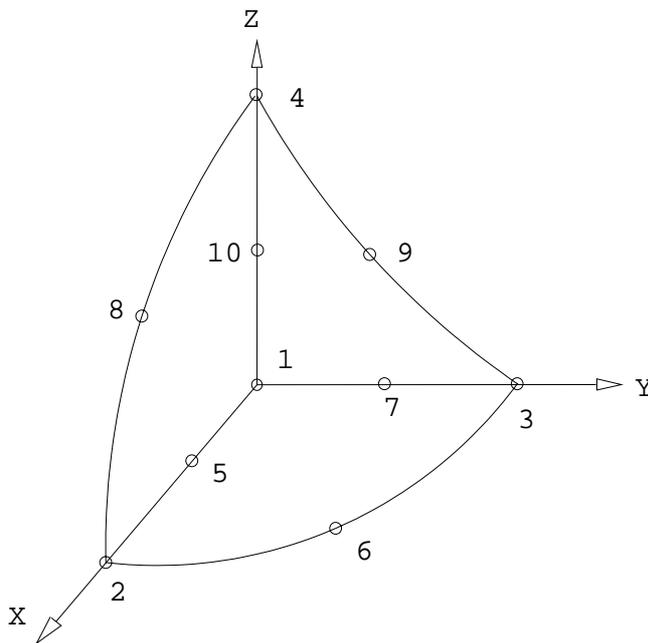
## Tetraeder Nr.17

- linearer Ansatz
- Güte der Verschiebungen schlecht
- Spannungen an den Gausspunkten 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 Gausspunkten sehr gut
- Spannungen an den Eckknoten gut
- Rechenaufwand sehr hoch
- Größe der Elementsteifigkeitsmatrix:  $30 * 30$



## Die Z88- Module:

### Allgemeines:

Z88 erledigt immer nur die Aufgaben, die Sie ihm momentan stellen. Daher ist Z88 keine 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. Auch dadurch erzielt Z88 seine gegenüber vielen anderen FE- Programmen überragende Geschwindigkeit und Fehlerfreiheit ! Die Z88- Module kommunizieren miteinander durch Dateien, vgl. Kap.3.

### Die Module in Kurzform:

#### I. 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 COSMOS- 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, compiliert die Gesamt-Steifigkeitsmatrix, skaliert das Gleichungssystem, löst das (riesige) Gleichungssystem und gibt die Verschiebungen in Z88O2.TXT aus. Damit ist die Grundaufgabe jedes FEM-Systems, also die Berechnungen der Verschiebungen gelöst. Sodann können auf Wunsch Spannungen mit Z88D berechnet und/oder Knotenkräfte mit Z88E berechnet werden.

Z88 verfügt über zwei grundverschiedene Solver:

**Z88F:** Dies ist ein sog. *Direkter Solver* mit *Skyline- Speicherung* und *Cholesky-Gleichungslöser*. Das ist sozusagen der Standardsolver, 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. Er ist die richtige Wahl für kleine und mittlere Strukturen bis 20.000 ... 50.000 Freiheitsgrade.

**Z88I1** und **Z88I2:** Das ist ein sog. *Iterationssolver*. Er besteht aus zwei Teilen, die nacheinander gestartet werden müssen: Z88I1 baut die Struktur der Gesamtsteifigkeitsmatrix auf. Z88I2 berechnet dann die Gesamtsteifigkeitsmatrix, baut die Randbedingungen ein und 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 vorkonditioniert wird. Dieser Solver verlangt mehr Mitdenken, ist aber bei Strukturen über 100.000 Freiheitsgraden so schnell, daß er kaum langsamer als die Solver der großen, kommerziellen und teuren FEA- Systeme ist. Gleichzeitig ist der Speicherbedarf minimal. Er ist die richtige Wahl für große Strukturen.

## II. Die Kopplungsmodule zu CAD- Systemen

Der **CAD-Konverter Z88X** konvertiert DXF- Austauschdateien von CAD-Systemen in Z88-Eingabedateien (Netzgenerator- Eingabedatei Z88NI.TXT, Allgemeine Strukturdaten Z88I1.TXT, Randbedingungen Z88I2.TXT, Flächenlasten Z88I5.TXT und Spannungsparameter Z88I3.TXT) bzw., und das ist das Besondere, auch umgekehrt Z88-Eingabedateien in DXF-Dateien. Sie können also nicht nur Eingabedaten im CAD- System erzeugen und dann in Z88 verwenden, sondern Sie können auch Z88-Eingabedateien, die immer einfache ASCII-Dateien sind, z.B. per Texteditor, mit Textverarbeitung, mit EXCEL oder z.B. durch selbstgeschriebene Programme erzeugen und dann ins CAD-System per CAD-Konverter Z88X geben, dort auch ggf. ergänzen und weiterbearbeiten und dann wieder zurück ins Z88 konvertieren. Diese Flexibilität ist einzigartig !

Der **COSMOS Konverter Z88G** liest FE-Eingabedateien im sog. NASTRAN-Format oder im sog. COSMOS-Format ein und erzeugt automatisch die Z88-Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I5.TXT und Z88I3.TXT. NASTRAN- und COSMOS-Dateien können in verschiedenen 3D-CAD-Systemen erzeugt werden. Z88G ist umfangreich getestet mit Pro/ENGINEER und Pro/ MECHANICA von Fa. Parametric Technology Corporation, USA. Damit ist eine direkte Weiterverarbeitung von Pro/ENGINEER-Modellen möglich!

Der **Cuthill- McKee Algorithmus Z88H** ist primär für die Zusammenarbeit mit Z88G gedacht. Er kann FE- Netze unnummerieren und so besonders bei Netzen, die aus Automeshern kommen, die Speicherbedarfe merklich verringern.

## III. Der Netzgenerator für gerichtete Netze

Der **Netzgenerator Z88N** liest die Superstrukturdaten Z88NI.TXT ein (die wiederum aus einem CAD- System über Z88X gewonnen sein kann oder von Hand aufgestellt wurde) und gibt die allgemeinen Strukturdaten Z88I1.TXT aus. Die Netzgenerator- Datei Z88NI.TXT hat prinzipiell den gleichen Aufbau wie die Datei der allgemeinen Strukturdaten Z88I1.TXT. Auch sie kann per CAD-Konverter Z88X, per Editor oder Textverarbeitungssystem oder mit einem gemischten Vorgehen generiert werden.

## IV. Die Postprozessoren

**Spannungen** werden mit **Z88D** berechnet. Zuvor muß der Solver Z88F oder Z88I1/Z88I22 gelaufen sein. Z88D liest eine Steuerdatei Z88I3.TXT ein und gibt die Spannungen in Z88O3.TXT.

**Knotenkräfte** werden mit **Z88E** berechnet. Zuvor muß der Solver Z88F oder Z88I1/Z88I22 gelaufen sein. Z88E gibt die Knotenkräfte in Z88O4.TXT.

Die **Plotprogramme Z88P und Z88O** plotten Verformungen und Spannungen auf den Bildschirm, Z88P auch auf einen HP- GL- Plotter bzw. einen HP- GL- fähigen Drucker, z.B. HP LaserJet. Z88P und Z88O sind zum schnellen Betrachten von unverformten und verformten Strukturen sowie zur Spannungsanzeige geeignet. Natürlich können Sie unverformte Strukturen auch direkt in Ihrem DXF- fähigen CAD- Programm via CAD-Konverter Z88X anzeigen und plotten, aber Z88P und Z88O sind ungleich schneller.

## V. Der Filechecker

Der **Filechecker Z88V** prüft die Eingabedateien Z88NI.TXT bzw. Z88I1.TXT bis Z88I5.TXT auf formale Richtigkeit. Zusätzlich kann er den momentan von Ihnen in der Datei Z88.DYN definierten Speicher anzeigen.

## Alle Module von Z88 fordern Memory dynamisch an:

Dies kann der Anwender in der Datei **Z88.DYN** steuern. Z88 wird mit Standardwerten geliefert, die Sie aber jederzeit beliebig verändern können und auch, wenn nötig, sollen. Die Z88- Module sind 32-Bit (bzw. bei passender Compilierung 64-Bit) Programme und fordern ihren Speicher beim Betriebssystem via *calloc* an; die Steuerdatei Z88.DYN gibt vor, wieviel Speicher angefordert werden soll. Sie können allen virtuellen Speicher (virtueller Speicher = Hauptspeicher + Auslagerungsdatei (der sog. Swap- Bereich)) anfordern, den das Betriebssystem bereithält. Daher sind der Größe der Z88- Finite- Elemente- Strukturen keine Grenzen gesetzt ! In Z88.DYN können Sie auch festlegen, ob Z88 mit deutscher oder englischer Sprache arbeitet: Schlüsselwort *GERMAN* oder *ENGLISH* .

## Multitasking von Z88:

Bei **Windows ab Windows95** und **UNIX** ist uneingeschränktes Multitasking möglich, d.h. es können mehrere Z88- Module bzw. andere echte Windows- Programme parallel laufen. Beachten Sie dabei jedoch, daß Sie alle Fenster nicht überlappend anordnen, sondern nebeneinander, da die Z88- Module, wenn sie einmal gestartet sind, aus Geschwindigkeitsgründen kein sog. WM\_PAINT- Signal mehr auswerten. Das bedeutet, daß, obwohl die Programme voll weiterrechnen, Bildschirmanzeigen t.w. zerstört werden, wenn Sie laufende Z88- Fenster vergrößern, verkleinern, verschieben oder durch andere Programme abdecken. Auf die Rechenergebnisse hat dies keinen Einfluß, und nur durch diese Maßnahme kann die hohe Geschwindigkeit von Z88 gehalten werden. Beachten Sie, daß große Raumstrukturen mit z.B. 20-Knoten- Hexaedern enorme Anforderungen an Speicher und Rechenpower stellen, die den Computer total fordern können. Lassen Sie dann Z88 möglichst allein laufen und starten Sie keine Speicherfresser wie die diversen Office- Programme.

## Hinweise zum Starten von Z88 :

### Windows:

Alle Z88- Module können direkt via Explorer, aus einer Gruppe, welche die diversen Z88- Module enthält, oder mit "Ausführen" gestartet werden. Es genügt, den Z88- Commander **Z88COM** aufzurufen. Er kann dann alle weiteren Module starten.

### UNIX:

Bei der **UNIX**- Version werden die Module einzeln, aus dem Z88-Commander **Z88COM** oder als erweiterte Möglichkeit, z.B. für großkalibrige Nachtläufe, aus einem Shell- Script heraus gestartet. (*sh, bash, ksh* etc.) Hier haben Sie alle unbegrenzten Freiheiten des UNIX- Systems. Alle Module außer Z88COM, Z88O und Z88P können von Consolen im Textmodus gestartet werden, aber natürlich auch in einem X-Fenster. Z88COM, der Z88-Commander, Z88P und Z88O, die Plotprogramme, müssen als Motif- Programme von einem Window- Manager aus X gestartet werden. Für ein bequemes Arbeiten mit Z88 starten Sie Ihren X-

Window Manager, öffnen ein X-Term und starten Z88COM. Stellen Sie Z88COM und das X-Term, das Z88COM startete, nebeneinander oder übereinander.

## Die Ein- und Ausgabe von Z88 :

Die Ein- und Ausgabedateien werden entweder mit einem **Editor** (z.B. der Editor bzw. Notepad von Windows, DOS- Editoren wie edit, UNIX- Tools wie vi, emacs, joe), **Textprogramm** (z.B. WinWord etc.), **Tabellenkalkulationsprogramm** (z.B. Excel) oder via **CAD-Konverter Z88X** direkt in einem CAD- Programm, das DXF- Dateien erzeugen und einlesen kann (z.B. AutoCAD) oder aus einem 3D- CAD- System, das sog. COSMOS- oder NASTRAN- Finite Elemente- Eingabedateien erzeugen kann (z.B. Pro/ENGINEER mit Pro/MECHANICA) und anschließender Konvertierung mit **COSMOS- Konverter Z88G** erzeugt bzw. bearbeitet.

Dies sichert für den Anwender maximale Flexibilität und Transparenz, denn es sind ganz einfach strukturierte ASCII- also Textdateien. Eingabedateien können Sie mit beliebigen Tools oder von Hand befüllen, natürlich auch mit **selbstgeschriebenen Programmen**. Es sind lediglich die Z88- Konventionen für den jeweiligen Dateiaufbau zu beachten, vgl. Kap.3. Ausgabedateien können Sie beliebig umbauen, erweitern, auf das für Sie Wesentliche reduzieren oder als Eingabe für weitere Programme nutzen.

Dimensionen, d.h. Maßeinheiten, werden nicht explizit ausgewiesen. Sie können in beliebigen Maßsystemen, also z.B. im metrischen oder angloamerikanischen Maßsystem arbeiten, mit Newton, pounds, Tonnen, Millimetern, Metern, inches - kurz, wie immer Sie wollen. Nur müssen natürlich die Maßeinheiten konsistent und durchgängig eingehalten werden. Beispiel: Sie arbeiten mit mm und N. Dann muß der E-Modul natürlich in N/(mm\*mm) eingesetzt werden.

### Hinweis:

Die Z88- Eingabedateien heißen *grundsätzlich*

+ Z88G.COS	COSMOS- FE- Datei aus 3D-CAD-System für Konverter Z88G
+ Z88G.NAS	NASTRAN- FE- Datei aus 3D-CAD-System für Konverter Z88G
+ Z88X.DXF	Austauschdatei für CAD- Programme und für CAD- Konverter Z88X
+ Z88NI.TXT	Eingabedatei für den Netzgenerator Z88N
+ Z88I1.TXT	Eingabedatei (Strukturdaten) für den FE- Prozessor Z88F
+ Z88I2.TXT	Eingabedatei (Randbedingungen) für den FE- Prozessor Z88F
+ Z88I3.TXT	Eingabedatei (Steuerwerte) für den Spannungsprozessor Z88D
+ Z88I4.TXT	Eingabedatei (Steuerwerte) für den Iterationssolver Z88I1/Z88I2
+ Z88I5.TXT	Eingabedatei für die Flächenlasten für die Solver Z88F und Z88I2

Die Z88- Ausgabedateien heißen *grundsätzlich*

+ Z88O0.TXT	aufbereitete Strukturdaten für Dokumentationszwecke
+ Z88O1.TXT	aufbereitete Randbedingungen für Dokumentationszwecke
+ Z88O2.TXT	berechnete Verschiebungen
+ Z88O3.TXT	berechnete Spannungen
+ Z88O4.TXT	berechnete Knotenkräfte

Diese Dateinamen werden von den Z88- Modulen erwartet, und sie müssen im gleichen Directory wie die Z88- Module stehen. Sie können also keine eigenen Namen für Datensätze

vergeben. Aber natürlich können Sie nach den Rechenläufen diese Dateien nach Ihren Wünschen umbenennen und in anderen Directories speichern usw.

### Erzeugung:

Wie erwähnt, können die Netzgeneratordateien Z88NI.TXT bzw. die Strukturdatei Z88I1.TXT, die Randbedingungsdatei Z88I2.TXT, die Datei der Strecken- und Flächenlasten Z88I5.TXT und die und die Spannungsparameterdatei Z88I3.TXT grundsätzlich und immer per Hand, also per Editor aufgestellt werden.

Bei automatischer Generierung gibt es folgende Möglichkeiten:

<i>CAD- System, z.B.</i>	<i>erzeugt</i>	<i>Konverter</i>	<i>erzeugt</i>	<i>Netzgenerator</i>	<i>erzeugt</i>
Pro/ENGINEER Pro/MECHANICA	Z88G.COS Z88G.NAS	<b>Z88G</b>	Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT Z88I5.TXT	nicht nötig	Dateien schon vorhanden
AutoCAD	Z88X.DXF	<b>Z88X</b>	Z88NI.TXT	<b>Z88N</b>	Z88I1.TXT
AutoCAD	Z88X.DXF	<b>Z88X</b>	Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT, Z88I5.TXT	nicht nötig	Dateien schon vorhanden

### Z88- Protokolldateien :

Die Z88- Module beschreiben immer Protokoll- Dateien .LOG, z.B. für Z88F dann Z88F.LOG, die den Verlauf der Berechnung dokumentieren bzw. Fehler festhalten. Im Zweifelsfall hier nachsehen. Hier stehen auch die aktuellen Speicherbedarfe. Achtung UNIX: Stellen Sie sicher, daß die Zugriffsrechte auch für die .LOG-Dateien stimmen. Nutzen Sie ggf. *umask*.

### Drucken von Z88-Files

ist nicht in den Z88- Kommandoprozessor integriert. Das machen Sie bei Windows z.B. via Explorer oder aus einem Editor oder Textverarbeitungsprogramm. Bei UNIX nutzen Sie die Druckroutinen des Betriebssystems.

Welche Z88- Elementtypen können automatisch erzeugt werden ?

<i>Elementtyp</i>	<i>Ansatz</i>	<i>COSMOS NASTRAN (Z88G)</i>	<i>DXF (Z88X)</i>	<i>Superelement (Z88N)</i>	<i>erzeugt FE (Z88N)</i>
Hexaeder Nr.1	linear	nein	ja	nein	-
Hexaeder Nr.10	quadratisch	nein	ja	ja	Hexa Nr.10 u. Nr.1
Tetraeder Nr.16	quadratisch	ja	nein	nein	-
Tetraeder Nr.17	linear	ja	nein	nein	-
Scheibe Nr.3	quadratisch	nein	ja	nein	-
Scheibe Nr.7	quadratisch	ja	ja	ja	Scheibe Nr.7
Scheibe Nr.11	kubisch	nein	ja	ja	Scheibe Nr.7
Scheibe Nr.14	quadratisch	ja	ja	nein	-
Torus Nr.6	linear	nein	ja	nein	-
Torus Nr.8	quadratisch	ja	ja	ja	Torus Nr.8
Torus Nr.12	kubisch	nein	ja	ja	Torus Nr.8
Torus Nr.15	quadratisch	ja	ja	nein	-
Platte Nr.18	quadratisch	ja	ja	nein	-
Platte Nr.19	kubisch	nein	ja	nein	-
Platte Nr.20	quadratisch	ja	ja	ja	Platte Nr.19 u. Nr.20
Stab Nr.4	exakt	nein	ja	nein	-
Stab Nr.9	exakt	nein	ja	nein	-
Balken Nr.2	exakt	nein	ja	nein	-
Welle Nr.5	exakt	nein	ja	nein	-
Balken Nr.13	exakt	nein	ja	nein	-

## Überblick über alle Z88-Dateien:

Name	Typ	Richtung	Zweck	anpassen, verändern	MS- Win	UNIX
Z88.DYN	ASCII	Eingabe	Speicher- und Sprach-Steuerdatei	Empfohlen	Ja	Ja
Z88G.COS	ASCII	Eingabe	COSMOS nach Z88	Ja, 1)	Ja	Ja
Z88G.NAS	ASCII	Eingabe	NASTRAN nach Z88	Ja, 1)	Ja	Ja
Z88X.DXF	ASCII	Ein/Ausg.	DXF von und nach Z88	Ja, 1)	Ja	Ja
Z88NI.TXT	ASCII	Eingabe	Netzgenerator- Eingabedatei	Ja	Ja	Ja
Z88I1.TXT	ASCII	Eingabe	Allgemeine Strukturdaten	Ja	Ja	Ja
Z88I2.TXT	ASCII	Eingabe	Randbedingungen	Ja	Ja	Ja
Z88I3.TXT	ASCII	Eingabe	Spannungs- Steuerdatei	Ja	Ja	Ja
Z88I4.TXT	ASCII	Eingabe	Steuerdatei für Iterationssolver	Ja	Ja	Ja
Z88I5.TXT	ASCII	Eingabe	Strecken- und Flächenlasten	Ja	Ja	Ja
Z88O0.TXT	ASCII	Ausgabe	Strukturdaten aufbereitet	Möglich	Ja	Ja
Z88O1.TXT	ASCII	Ausgabe	Randbedingungen aufbereitet	Möglich	Ja	Ja
Z88O2.TXT	ASCII	Ausgabe	berechnete Verschiebungen	Möglich	Ja	Ja
Z88O3.TXT	ASCII	Ausgabe	berechnete Spannungen	Möglich	Ja	Ja
Z88O4.TXT	ASCII	Ausgabe	berechnete Knotenkräfte	Möglich	Ja	Ja
Z88O5.TXT	ASCII	Ausgabe	für interne Zwecke Z88P	Nein 2)	Ja	Ja
Z88O6.TXT	ASCII	Ausgabe	Haupt- HP- GL- Datei aus Z88P	Ja 1)	Ja	Ja
Z88O7.TXT	ASCII	Ausgabe	Hilfs- HP- GL- Datei aus Z88P	Ja 1)	Ja	Ja
Z88O8.TXT	ASCII	Ausgabe	für interne Zwecke Z88O	Nein 2)	Ja	Ja
Z88P.COL	ASCII	Eingabe	Farb- Steuerdatei Z88P MS-Win	Möglich	Ja	Nein
Z88O.OGL	ASCII	Eingabe	Farb- Steuerdatei Z88O MS-Win	Möglich	Ja	Nein
Z88.FCD	ASCII	Eingabe	Fonts, Farben, Größen bei UNIX für Z88COM, Z88P und Z88O	Möglich	Nein	Ja
Z88COM.CFG	ASCII	Eingabe	Konfigurationsdatei Z88COM	Nein 2)	Ja	Nein
Z88O1.BNY	Binär	Ein/Ausg.	schnelle Kommunikationsdatei	Nein 3)	Ja	Ja
Z88O3.BNY	Binär	Ein/Ausg.	schnelle Kommunikationsdatei	Nein 3)	Ja	Ja
Z88O4.BNY	Binär	Ein/Ausg.	schnelle Kommunikationsdatei	Nein 3) 4)	Ja	Ja

1) prinzipiell ja, aber nicht nötig, da maschinell erzeugt

2) nur in Notfällen

3) nein, auf keinen Fall, sonst ggf. schwere Fehler

4) kann recht groß werden, für Kommunikation des Iterationssolvers Z88I1 und Z88I2

## 1.2 SO INSTALLIEREN SIE Z88: Windows 95 bis XP

**Bemerkung:** Natürlich könnten wir die Standard-Installationsroutinen oder fertige Installationsprogramme für Z88 nutzen, aber da keinerlei .DLLs irgendwo versteckt werden, .INI- Dateien umgebaut werden müssen, sparen wir uns das. Sie werden sehen, es geht ganz einfach:

### Windows in fünf Schritten:

#### 1. Schritt: Z88- Datenträger in ein neues Directory kopieren und entpacken:

Wir nehmen einmal an, daß Sie die Datei **Z88RUNG.EXE** von der Z88-CD oder aus dem Internet in ein neues Directory namens Z88 kopiert haben, das auf der Platte D: stehen möge. Haben Sie dagegen Z88 in C:\IRGENDWO kopiert, dann ersetzen Sie in der folgenden Beschreibung D:\Z88 durch C:\IRGENDWO. Starten Sie nun **Z88RUNG.EXE**, z.B. mit > Start > Ausführen oder vom "DOS- Prompt". Damit wird Z88 entpackt.

Weiter passiert nichts! Es werden vor allen Dingen keinerlei Veränderungen in Windows vorgenommen.

Sodann könnten Sie Z88RUNG.EXE löschen, damit es nicht später versehentlich aufgerufen wird (und Ihnen damit ggf. eigene Eingabedateien überschreibt).

#### 2. Schritt: Z88 startbar machen:

Bei Windows sind zwei unterschiedliche Methoden üblich:

##### *1) Ordner auf Arbeitsoberfläche:*

Definieren Sie einen neuen Ordner auf der Arbeitsoberfläche: rechte Maustaste, Neu > Ordner. Namen vergeben, z.B. Z88. Nehmen Sie in den neuen Ordner mindestens **Z88COM** auf: Ordner öffnen, Datei > Neu > Verknüpfung. Eingeben D:\Z88\Z88COM.EXE, weiter > Z88COM.

Sie können zusätzlich dann mit dem gleichen Vorgehen (Datei > Neu > Verknüpfung) die einzelnen Z88-Module aufnehmen: Z88F, Z88I1, Z88I2, Z88D, Z88E, Z88X, Z88G, Z88H, Z88N, Z88V, Z88P, Z88O. Müssen Sie aber nicht, wenn Sie die Module ausschließlich über den Z88-Kommandoprozessor Z88COM starten wollen.

##### *2) Einbau in "Start":*

Zeigen Sie auf den "Start"- Button, rechte Maustaste, Öffnen anklicken. Ordner "Programme" per Doppelklick öffnen. Datei > Neu > Verknüpfung, Befehlszeile eingeben: D:\Z88\Z88COM.EXE. Sie können hier aber auch einen ganzen Ordner hineinstellen.

#### 3. Schritt: Z88 Ihren bevorzugten Editor nennen

Sie können alle Eingabedateien entweder mit einem CAD- Programm, das DXF- Dateien lesen und generieren kann in Zusammenarbeit mit dem CAD-Konverter Z88X, erzeugen oder aber, da es sich um ASCII- Dateien handelt, auch per Editor schreiben. Zum Betrachten der Z88- Ergebnisse ist ein Editor ebenfalls sehr nützlich, sodaß Sie ihn definieren sollten:

Als Editoren sind bei **Windows edit** oder der *Editor* aus "Start > Programme > Zubehör" sehr geeignet. Sie können aber auch DOS- Uraltprogramme wie *WordStar* oder den *Norton- Editor* nutzen.

Mal angenommen, Sie wollen *edit*, das in Windows enthalten ist, als Z88- Editor benennen. Dann starten Sie Z88COM, Datei > Editor festlegen. Bei "Editorname" tragen Sie eine ansich beliebige Benennung ein, z.B. *EDIT*. Bei "Editorname, ggf. mit Pfad" tragen Sie ein: *edit* . Wollen Sie hingegen Editor einbauen, dann tragen Sie bei "Editorname" z.B. *Editor* ein und bei "Editorname, ggf. mit Pfad" tragen Sie *notepad* ein. Weiteres Beispiel: Word für Windows. Hier müssen Sie, wie schon beim Browser, feststellen, wo Word für Windows liegt. Also Start > Suchen > Dateien/Ordner "winword.exe". Mal angenommen, es würde bei *C:\MSOffice\Winword* liegen. Dann könnten Sie in Z88COM eintragen: *Word4Windows* und *C:\MSOffice\Winword\winword*. **Achten Sie bei der Verwendung von z.B. Winword darauf, daß Sie im reinen Textmodus arbeiten und speichern !**

#### 4. Schritt: einen Internet-Browser für die OnLine- Hilfe einbauen:

Sie sollten Z88 Ihren bevorzugten Internet-Browser bekannt machen. Das kann *Mozilla*, der *Microsoft- Internet Explorer* oder dgl. sein.

1) Der nächste Schritt ist wesentlich: Z88 muß den Browser starten können! Dazu müssen Sie ihn entweder in den PATH legen, oder den PATH in Z88COM eintragen oder den ganzen Browser ins Z88-Directory kopieren.

Stellen Sie zunächst fest, wo Ihr Internet-Browser liegt. Nutzen Sie Start > Suchen > Dateien/Ordner. Der Microsoft Internet- Explorer heißt *iexplore.exe*, der Mozilla Browser heißt *mozilla.exe*. Notieren Sie den gefundenen Pfad.

1.Möglichkeit: Pfad in die PATH-Variable eintragen: Start > Einstellungen > Systemsteuerung > System > Fortgesch. > Umgebung. Das können Sie immer tun, wenn der Pfad auch Leerzeichen enthält.

Beispiel: Bei einem amerikanischen Windows 2000 steht der Internet-Explorer in : *c:\Program Files\Internet Explorer* (mit Leerzeichen zwischen Program und Files bzw. zwischen Internet und Explorer).

Nehmen wir mal an, Ihre bisherige PATH- Variable sieht wie folgt aus:

*D:\WATCOM\BINNT;D:\WATCOM\BINW;*

Dann müßte sie nunmehr so aussehen:

*D:\WATCOM\BINNT;D:\WATCOM\BINW;c:\Program Files\Internet Explorer;*

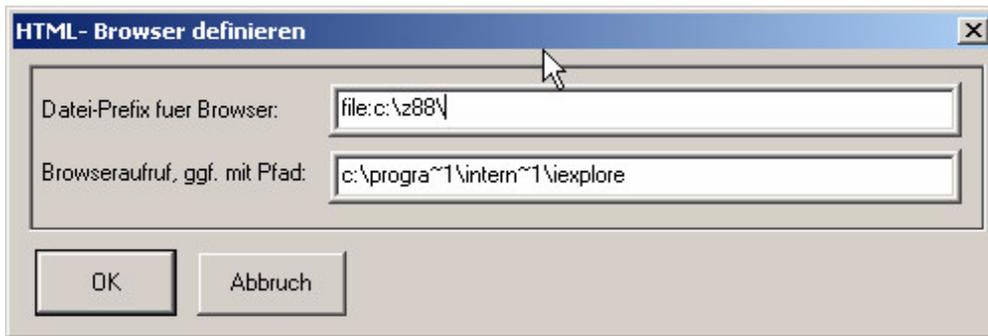
Anschließend abmelden und neu anmelden.

2. Möglichkeit: Pfad direkt in Z88COM angeben: Mal angenommen, der Mozilla Browser steht bei Ihnen unter *D:\MOZILLA\PROGRAM\*. Also Z88COM starten, Datei > Browser festlegen und in "Browseraufruf, ggf mit Pfad" eintragen:

*D:\MOZILLA\PROGRAM\MOZILLA.*

Jetzt für Fortgeschrittene: Bei amerikanischen Windows 2000 steht der Microsoft Internet Explorer unter *c:\Program Files\Internet Explorer\*. Wegen der Leerzeichen muß der Eintrag wie folgt sein: Z88COM starten, Datei > Browser festlegen und in "Browseraufruf, ggf mit Pfad" eintragen:

*c:\progra~1\intern~1\iexplore*



Das sind die "alten" DOS- Namen mit maximal 8 Buchstaben ohne Leerzeichen. Wie finden Sie diese Namen heraus ? Mit **dir /X** in einem DOS- Fenster. Probieren Sie's einmal.

2) Nun ist noch zu berücksichtigen, daß derartige Internet-Browser direkt beim Starten Kontakt zum Internet herstellen wollen. Hier sollen sie aber sofort eine HTML-Datei laden. Dazu müssen je nach Browser unterschiedliche Datei-Prefixe eingestellt werden. Bei Mozilla ist das *file:///Z88-Pfad*, beim Microsoft Internet- Explorer *file:Z88-Pfad*.

Mit obengenannten Erläuterungen, und unter der Annahme, daß Sie alle Z88-Dateien nach D:\Z88 kopiert haben, würde in Z88COM bei Datei > Browser festlegen definiert werden:

Microsoft- Internet Explorer:	Mozilla Browser (gilt auch für Netscape):
Datei- Prefix für Browser: <i>file:d:\z88\</i>	Datei- Prefix für Browser: <i>file:///d:/z88/</i>
Browseraufruf, ggf mit Pfad: <i>c:\progra~1\intern~1\iexplore</i>	Browseraufruf,ggf mit Pfad: <i>d:\progra~1\mozilla.org\Mozilla\Mozilla.exe</i>

### 5. Schritt: Z88 starten:

Z88 ist startfertig! Sie könne sofort durch Aufruf des Z88-Commanders Z88COM starten, und Sie können sofort die OnLine- Hilfe nutzen. Arbeiten Sie am besten nun Beispiel 5.1 durch.

Hinweise zum Z88- Commander Z88COM:



Er startet alle Z88-Module, sofern Sie sie nicht explizit einzeln starten wollen (was jederzeit und ohne jede Einschränkung geht), erlaubt das unmittelbare Editieren der Ein- und Ausgabedateien und ruft die kontextsensitive OnLine-Hilfe auf. Und das geht so: Klicken Sie in einem beliebigen Pulldown-Menü den Punkt "Hilfe-Mode" an. Der Cursor wechselt in ein

Fragezeichen. Wenn Sie nun auf einen Menüpunkt klicken, dann wird nicht der Befehl ausgeführt, sondern es erscheint die dazugehörige Hilfe. Der Hilfe- Mode bleibt solange aktiv, bis Sie erneut auf einen Menüpunkt "Hilfe-Mode" klicken.

Ferner bietet der Z88-Commander Z88COM Unterstützung beim Plotten der HP-GL-Dateien, wie das Generieren von Steuersequenzen für HP-Plotter und HP-LaserJets.

Ihre Einstellungen zum Internet-Browser und Editor speichert Z88COM in einer Datei Z88COM.CFG. Sollte diese Datei einmal zerstört sein, so können Sie sie auch selbst mit einem Editor anlegen:

1. Zeile: Editorname
2. Zeile: Editoraufruf
3. Zeile: Browser- Prefix
4. Zeile: Browseraufruf

Beispiel:

*Word4Windows*

*c:\MSOffice\Winword\winword*

*file:///d:/z88/*

*d:\progra~1\mozilla.org\Mozilla\Mozilla.exe*

... und wie entfernen Sie Z88 ?

Einfach alle Dateien im Directory, in dem Z88 liegt, komplett löschen. Dann ggf. das Directory selbst löschen. Bei Windows sollten Sie noch die unter 1.2 erstellten Verknüpfungen löschen. Das ist alles !

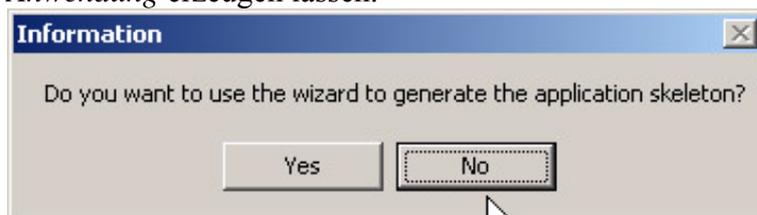
## Und wie compilieren Sie Z88 für Windows?

Das brauchen Sie nur, wenn Sie selbst Verbesserungen an Z88 vornehmen wollen. Es sollte ansich jeder für Windows geeignete C- oder C++ Compiler funktionieren. Ich habe den freien LCC und die Compiler von Microsoft (Visual C++), Borland (C++ Builder) und Watcom (C/C++ 10.6 und OpenWatcom) ausprobiert. Da alle Windows- Compiler ein jeweils anderes Projekt- Management haben, können wir nicht so einfach von fertigen Makefiles wie bei UNIX ausgehen. Wie gehen Sie vor ? Ich habe hier anhand des freien LCC beispielhaft eine Compiler- Sitzung für den Iterationsolver Part 2 Z88I2 vorbereitet, aber Microsoft Visual C++, der Borland C++ Builder und der Watcom C/C++ Compiler werden sinngemäß bedient:

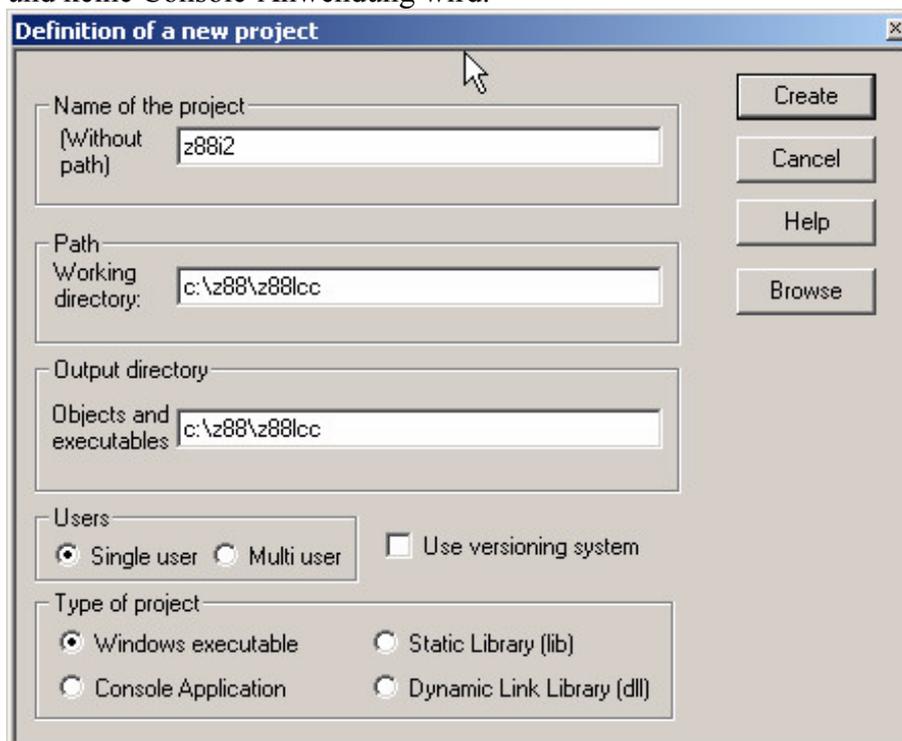
1. Legen Sie ein neues Projekt an.



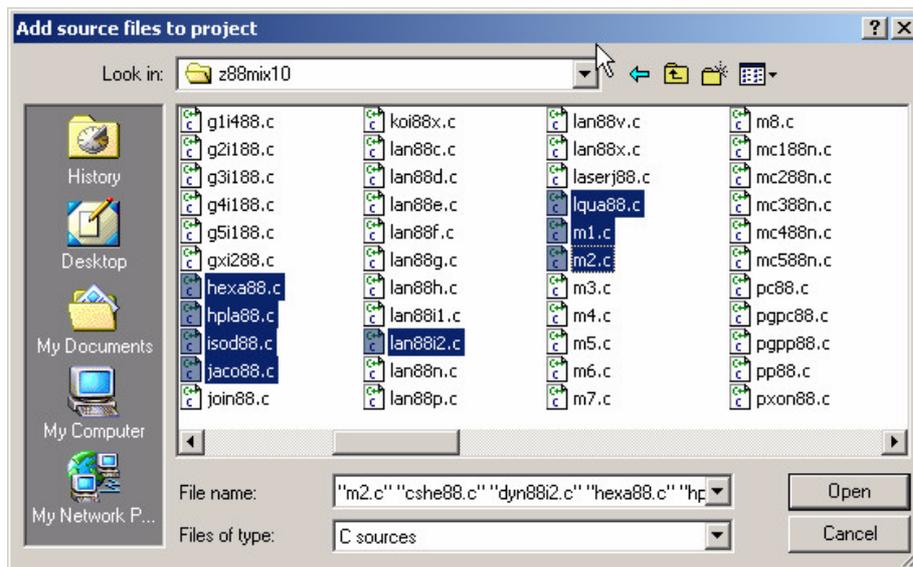
2. Achten Sie darauf, daß es eine reine Win32-Anwendung "ohne alles" ist, also weder ein *application skeleton* noch irgendeinen *application wizard* nutzen, noch eine "Hallo Welt" Anwendung erzeugen lassen.



3. Geben Sie die gewünschten Directories an und stellen Sie sicher, daß es eine Windows- und keine Console-Anwendung wird.



4. Fügen Sie Ihrem Projekt die nötigen Quellen (vgl. Tabelle weiter unten) hinzu, also die C-Quellen und die entsprechende Ressource-Datei \*.rc (hier also Z88I2.RC).



5. Ein ganz wichtiger Schritt:



Stellen Sie den Compiler, den Linker und den Ressource-Compiler ein: Teilen Sie dem Compiler-System mit

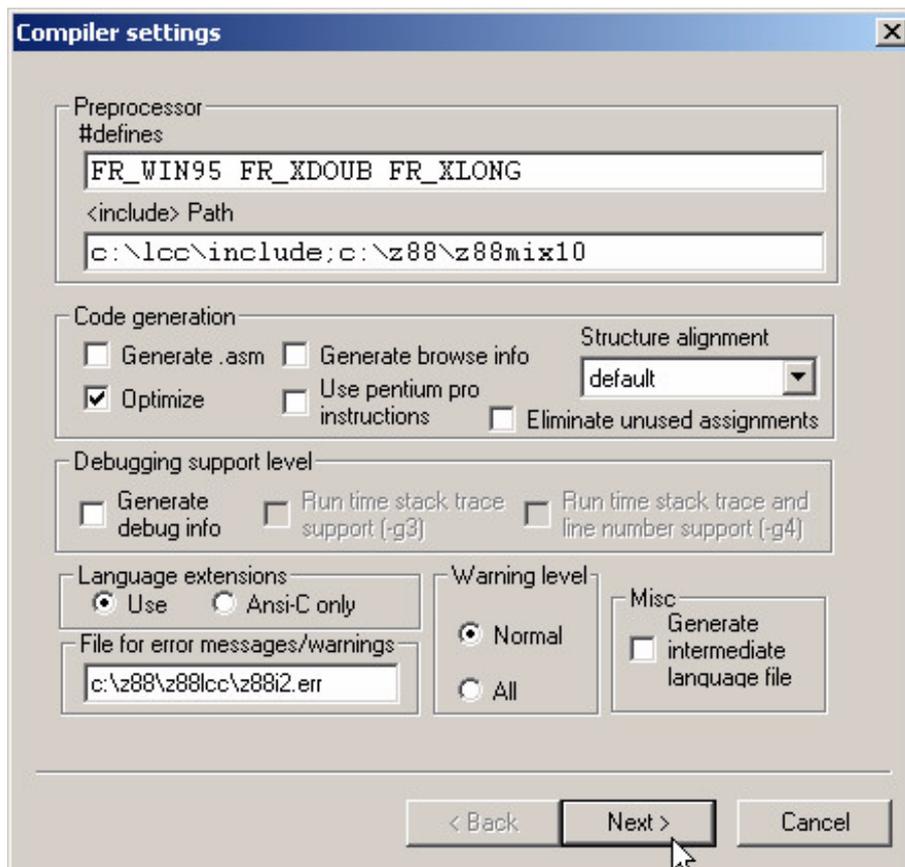
- wo sich die *Headerfiles Z88\*.H* (die sog. Includefiles) befinden
- welche *Defines* gesetzt werden müssen (hier *FR\_WIN95*, *FR\_XDOUB*) (vgl. Tabelle weiter unten).

Die meisten Übersetzungsprobleme kommen aus dieser Ecke, wenn Sie nicht aufpassen!

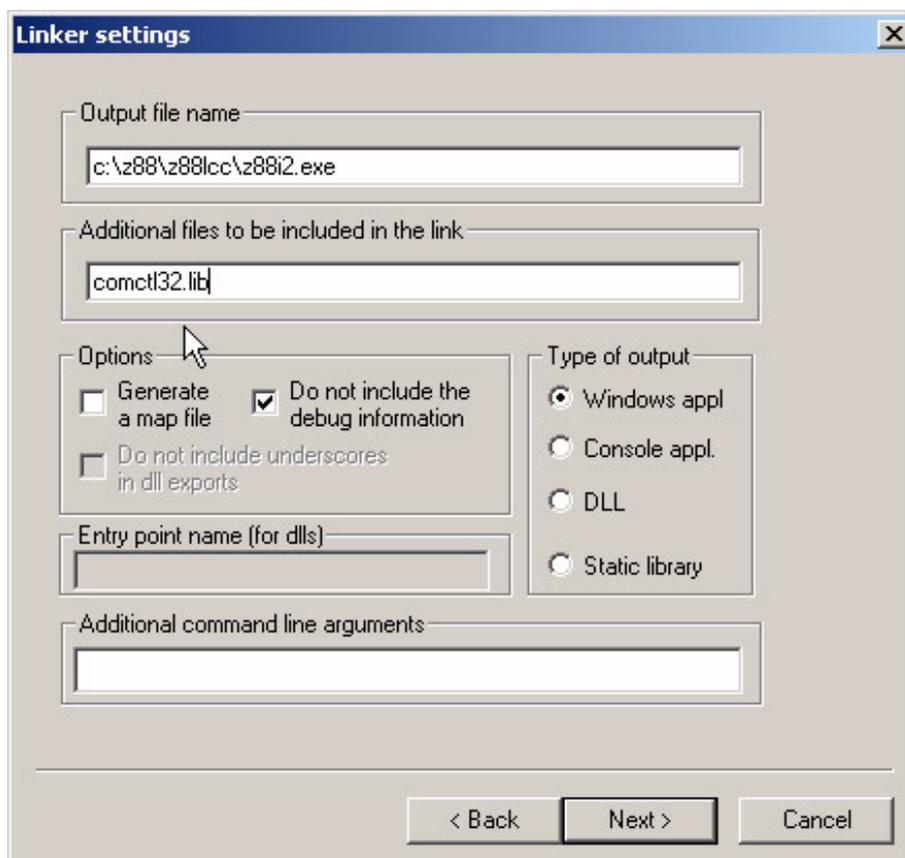


Die Debug-Infos können Sie sich schenken und beim Optimieren sollten Sie eine milde bis mittlere Optimierungsstufe wählen.

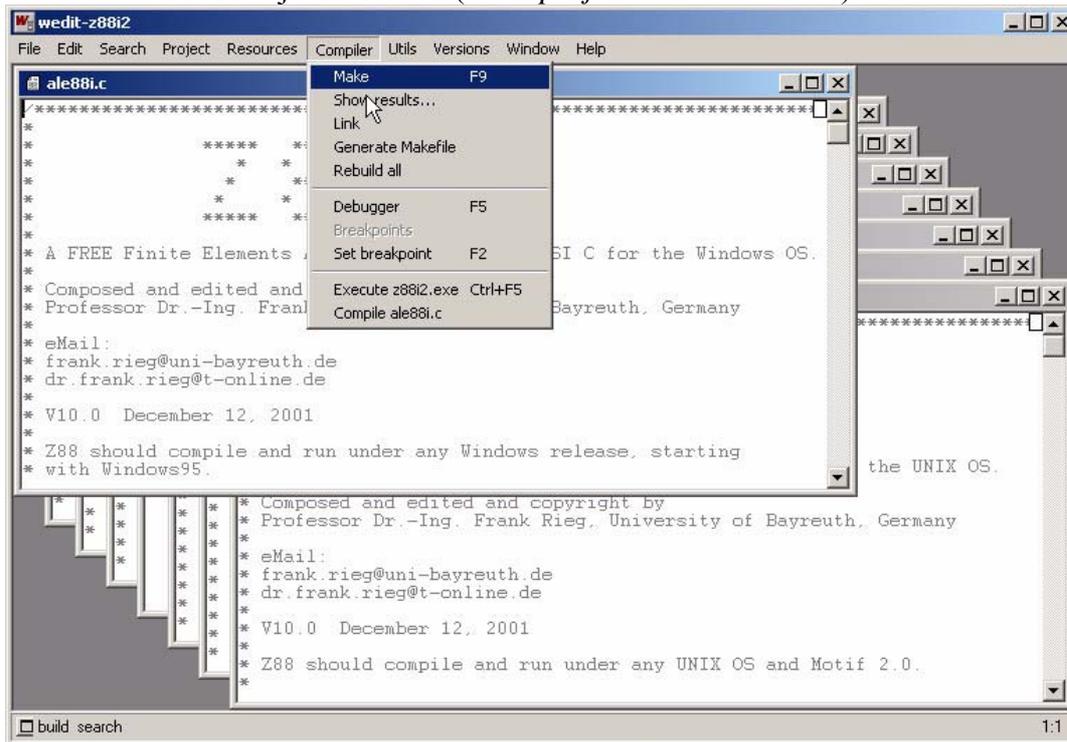
Überhaupt sollten Sie im Zweifelsfall das Optimieren ganz ausschalten, wenn Sie nicht genau wissen, was welche Feinheiten bedeuten. Wenn Sie nicht wissen, was ein *Framepointer* ist, was *inline functions*, *Parameterübergabe per Stack* oder *Parameterübergabe per Memory* und *Aliases* sind, dann Finger weg!



6. Vergessen Sie nicht, die Bibliothek *comctl32.lib* (Common Control Library) miteinzulinken! Sie ist Teil Ihres Compilers und damit auf Ihrem System vorhanden.



## 7. Lassen Sie das Projekt erstellen (*make project* oder *rebuild all*)



8. Stellen Sie sicher, daß in dem Verzeichnis, in dem Ihre gerade übersetzten Executable stehen, die Dateien *Z88.DYN*, *Z88COM.CFG* sowie *Z88O.UGL* und *Z88P.COL* stehen, sonst müssen Sie sich beim Starten nicht über dubiose Fehlermeldungen wundern. Und die jeweiligen Eingabe- Dateien müssen natürlich auch da sein.

Name	Sources, unterschiedlich für Windows u. UNIX	gemeinsame Windows- und UNIX Sources	Defines	Libraries für Windows
z88f	z88f.c ale88f.c <a href="#">easyfont.c</a> <a href="#">tob88f.c</a> wrim88f.c <a href="#">z88f.rc</a>	apla88.c bapla88.c bcshe88.c bhexa88.c bhpla88.c blqua88.c bqshe88.c bspla88.c bspur88.c btetr88.c choy88.c cshe88.c dyn88f.c hexa88.c hpla88.c isod88.c lan88f.c lqua88.c m1.c m2.c prf188.c qshe88.c ri188.c spla88.c spur88.c tetr88.c wlog88f.c wria88f.c z88a.c z88b.c z88cc.c z88f.h	FR_WIN95 FR_XDOUB (FR_XQUAD)	comctl32.lib
z88i1	z88i1.c ale88i.c <a href="#">easyfont.c</a> <a href="#">tob88i1.c</a> wrim88i.c <a href="#">z88i1.rc</a>	dyn88i1.c lan88i1.c ri188i.c w4y88i.c wlog88i1.c wria88i.c z88ai.c z88i.h	FR_WIN95 FR_XDOUB (FR_XQUAD)	comctl32.lib
z88i2	z88i2.c ale88i.c <a href="#">easyfont.c</a> <a href="#">tob88i2.c</a> wrim88i.c <a href="#">z88i2.rc</a>	apla88.c bapla88.c bcshe88.c bhexa88.c bhpla88.c blqua88.c bqshe88.c bspla88.c bspur88.c btetr88.c cshe88.c dyn88i2.c hexa88.c hpla88.c isod88.c jaco88.c lan88i2.c lqua88.c m1.c m2.c prf188.c qshe88.c r1y88i.c r4y88i.c spla88.c spur88.c tetr88.c wlog88i2.c z88bi.c z88ci.c z88i.h	FR_WIN95 FR_XDOUB (FR_XQUAD)	comctl32.lib
z88d	z88d.c ale88d.c <a href="#">easyfont.c</a> <a href="#">tob88d.c</a> wrim88d.c <a href="#">z88d.rc</a>	dyn88d.c fuvs88.c lan88d.c m3.c m4.c riy88d.c sapl88.c scsh88.c shex88.c shpl88.c siso88.c slqu88.c span88.c sqsh88.c ssp188.c sspu88.c stet88.c wlog88d.c z88d.h	FR_WIN95 FR_XDOUB (FR_XQUAD)	comctl32.lib
z88e	z88e.c ale88e.c <a href="#">easyfont.c</a> <a href="#">tob88e.c</a> wrim88e.c <a href="#">z88e.rc</a>	apla88.c cshe88.c dyn88e.c forc88.c hexa88.c hpla88.c isod88.c lan88e.c lqua88.c m1.c m2.c qshe88.c riy88.c spla88.c spur88.c tetr88.c wlog88e.c z88e.h	FR_WIN95 FR_XDOUB (FR_XQUAD)	comctl32.lib
z88n	z88n.c ale88n.c <a href="#">easyfont.c</a> <a href="#">tob88n.c</a> wrim88n.c <a href="#">z88n.rc</a>	dyn88n.c join88.c lan88n.c mc188n.c mc288n.c mc388n.c mc488n.c mc588n.c mi88.c subn88.c wlog88n.c z88n.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib

Name	Sources, unterschiedlich für Windows u. UNIX	gemeinsame Windows- und UNIX Sources	Defines	Libraris für Windows
z88v	z88v.c ale88v.c g1i188.c g1i388.c g1i488.c g2i188.c g3i188.c g4i188.c g5i188.c gxi288.c gxi588.c <u>tob88v.c</u> <u>z88v.rc</u>	dyn88v.c lan88v.c wlog88v.c z88v.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib
z88x	z88x.c ale88x.c <u>easyfont.c tob88x.c</u> wrim88x.c z88x.rc	dyn88x.c koi88x.c lan88x.c rea88x.c sub88x.c wlog88x.c wria88x.c z88fx.c z88tx.c z88x.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib
z88g	z88g.c ale88g.c <u>easyfont.c tob88g.c</u> wrim88g.c z88g.rc	cosm88.c dnas88.c nast88.c lan88g.c wlog88g.c z88g.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib
z88h	z88h.c ale88h.c <u>easyfont.c tob88h.c</u> wrim88h.c <u>z88h.rc</u>	lan88h.c rdy88h.c wlog88h.c z88h.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib
z88p	z88p.c ale88p.c <b>cb88p.c</b> <u>easyfont.c</u> m8.c <u>rcol88.c</u> <u>tob88p.c</u> vc88.c vgpc88.c vgp88.c vp88.c wlog88p.c <u>z88p.rc</u>	dyn88p.c lan88p.c m5.c m6.c m7.c pc88.c pgpc88.c pgpp88.c pp88.c z88p.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib
z88o	z88o.c ale88o.c <b>cb88o.c</b> <u>m11.c</u> <u>m13.c</u> <u>m14.c</u> <u>m15.c</u> <u>oglfont.c</u> <u>rogl88.c</u> <u>tob88o.c</u> wlog88o.c <u>z88o.rc</u>	dyn88o.c lan88o.c m9.c m10.c m12.c oc88.c z88o.h	FR_WIN95 FR_XDOUB	comctl32.lib opengl32. lib
z88com	z88com.c ale88c.c <b>cb88c.c</b> <u>easyfont.c</u> <u>tob88c.c</u> <u>z88com.rc</u>	lan88c.c wlog88c.c z88c.h	FR_WIN95	comctl32.lib

Die Z88- Executables und ihre zugehörigen Sources, Defines und Libraries(diese Dateien existieren nur in Windows, diese **Dateien** existieren nur in UNIX)

## 1.3 So installieren Sie Z88 für LINUX und UNIX

### 1.3.1 LINUX- Installation für SuSE and Fedora

Z88 für LINUX läßt sich besonders komfortabel mit dem RPM- dem RedHat Package Manager- der Bestandteil aller gängigen LINUX- Distributionen ist, installieren. Gehen Sie dann als *root* wie folgt vor:

#### **Automatisch bei SuSE LINUX:**

Legen Sie die CD ein, gehen Sie dort ins Directory */unix/rpm*, klicken Sie die RPM-Datei an und lassen Sie Z88 mit YaST installieren. Das funktioniert auch für vom Internet downgeladete Z88-RPMs.

#### **Manuell bei anderen LINUX Distributionen:**

Prüfen Sie zunächst, ob der Browser Mozilla, der Editor Gedit und OpenMotif installiert sind. Wie prüfen Sie das:

- *rpm -q mozilla*
- *rpm -q gedit*
- *rpm -q openmotif*

Installieren Sie ggf. diese Pakete nach. Sie sind eigentlich in allen Distributionen enthalten. Den Browser Mozilla und den Editor Gedit können Sie später durch entsprechende

Programme Ihrer Wahl ersetzen. Sie können aber die Installation auch ohne diese beiden Programme mit `--nodeps` erzwingen. OpenMotif muß aber auf jeden Fall da sein. Mounten Sie die CD ein, falls sie nicht automatisch gemountet wird:

- `mount -t iso9660 /dev/cdrom /cdrom`

Falls der Mount-Point `/cdrom` nicht existiert, legen Sie ihn an, indem Sie ins root-Directory gehen und diesen Befehl geben:

- `mkdir cdrom`

Gehen Sie dann nach `/cdrom/unix/rpm` und installieren Sie Z88 für 32-Bit LINUX:

- `rpm -i z88-12.0-1.i586.rpm` (normal)
- `rpm -i --nodeps z88-12.0-1.i586.rpm` (erzwingen, s.o.)

Bei AMD Athlon64-LINUX-Systemen ist der Aufruf für 64-Bit Z88:

- `rpm -i z88-12.0-1.x86_64.rpm` (normal)
- `rpm -i --nodeps z88-12.0-1.x86_64.rpm` (erzwingen, s.o.)

### **Z88 starten:**

Sodann gehen Sie als normaler Benutzer in ein beliebiges (Arbeits-) Verzeichnis und starten Z88 mit dem Befehl

- `z88`

Damit wird der Z88- Commander Z88COM gestartet und wichtige Steuerdateien geprüft bzw. installiert. Bei erstmaligem Aufruf von `z88` wird auch automatisch das erste Beispiel geladen, sodaß Sie unverzüglich das erste Beispiel durcharbeiten können. Die weiteren Beispiele stehen unter `/usr/share/z88`. Stellen Sie Z88COM und das X-Term, von dem Z88 aus gestartet wurde, neben- oder übereinander, damit Sie beide gleichzeitig sehen.

### 1.3.2 Installation für UNIX- Systeme bzw. andere LINUX- Versionen

Wenn Sie älteres oder ggf. neueres LINUX- System oder ein UNIX- System haben, dann müssen Sie Z88 zunächst einmal übersetzen - das ist aber ganz einfach, wie Sie weiter hinten sehen.

### **LINUX bzw. UNIX- Installation in 4 Schritten:**

Alle hier aus Gründen der Deutlichkeit großgeschriebenen Modul- und Dateinamen sind in der Realität, wie bei UNIX üblich, kleingeschrieben.

#### **1.Schritt: Kopieren der Z88-Dateien in ein Directory:**

Stellen Sie einfach alle Z88- Dateien in ein existierendes oder neues Directory. Achten Sie darauf, daß Sie das als normaler User tun und daß Sie Schreib/Lese- Rechte haben, was in Ihrem Home- Directory oder einem dort liegenden Subdirectory normalerweise der Fall ist. Natürlich ist das auch als Superuser möglich, aber dann müssen Pfade eingestellt werden. Achten Sie darauf, daß alle Datei- Zugriffsrechte in Ordnung sind. Ggf. `umask` nutzen. Ggf. müssen Sie Z88 noch entpacken, wenn nur eine Datei `z88src.tar.gz` aus dem Internet vorliegt:

- `gunzip z88src.tar.gz`
- `tar -xvf z88src.tar`

Alle Dateien am besten zunächst auf 777 setzen:

- `chmod 777 *`

#### **2. Schritt: Compilieren Sie Z88 für UNIX bzw. LINUX:**

Voraussetzung: C- Compiler, make, X11, Motif bzw. OpenMotif, OpenGL

Es sollte ansich jeder beliebige UNIX- C oder C++ Compiler funktionieren. Ausprobiert wurde der GNU `gcc` und die Compiler von SGI und SUN.

- Für LINUX: `COMPILE.LINUX32` oder `COMPILE.LINUX64`  
Diese Bibliotheken müssen installiert sein:

- `xorg-x11-devel` (X11)

- xorg-x11-Mesa-devel (OpenGL)
- openmotiv-devel (Motif)

- Für SGIs: *COMPILE.SGI32* oder *COMPILE.SGI64* oder *COMPILE.SGI128*
- Für SUNs: *COMPILE.SUN64* oder *COMPILE.SUN128*
- Andere: eines der Makefiles (\*.mk.\*) und eines der *COMPILE.\** Files anpassen. Dann die Datei *Z88.FCD* so anpassen, daß sie die Motif- Programme Z88COM, Z88O und Z88P sauber und vollständig anzeigt.

### **Feinheiten (Überspringen Sie das zunächst und fahren Sie beim 3.Schritt fort)**

Das ist das Standardvorgehen. Bei größeren Maschinen haben Sie mitunter die Auswahl, daß für Integerzahlen statt 4 Bytes dann 8 Bytes verwendet werden (was bei SGI- und SUN-Maschinen einfach über entsprechende Compiler-Switches eingesteuert wird; daher braucht *FR\_LONG* nicht explizit gesetzt zu werden) und für Gleitkommazahlen statt 8 Bytes dann 16 Bytes verwendet werden. Dies kann in den Makefiles über Defines eingestellt werden:

Integer normal	Float normal	Float extended
<i>FR_XLONG</i>	<i>FR_XDOUB</i>	<i>FR_XQUAD</i>
<i>long</i>	<i>double</i>	<i>long double</i>
<i>4 Bytes oder 8 Bytes</i>	<i>8 Bytes</i>	<i>16 Bytes</i>
<i>%ld</i>	<i>%lf</i>	<i>%LF, %LE, %LG</i>

Für die Solvermodule Z88F, Z88I1 und Z88I2 und die Spannungs- und Knotenkraftmodule Z88D und Z88E funktioniert das durchgängig. Für die restlichen Module wie Z88COM, Z88G, Z88H, Z88N, Z88O, Z88P, Z88V und Z88X ist nur *FR\_XDOUB* vorgesehen, weil es für z. B. die Plotprogramme oder den DXF-Konverter unnötig ist, mit erhöhter Genauigkeit zu rechnen. 64-Bit Integers und Pointer sind dagegen möglich. Daher gibt es zwei Makefiles, die am besten nacheinander laufen:

Computer/OS	für die Solvermodule	für alle restlichen
LINUX 32-Bit (I586)	<i>z88.mk.kernel.linux32</i>	<i>z88.mk.other.linux32</i>
LINUX 64-Bit (AMD Atlon64)	<i>z88.mk.kernel.linux64</i>	<i>z88.mk.other.linux64</i>
SGI64 (-n32)	<i>z88.mk.kernel.sgi32</i>	<i>z88.mk.other.sgi32</i>
SGI64 (-64)	<i>z88.mk.kernel.sgi64</i>	<i>z88.mk.other.sgi64</i>
SGI128 (-64) und <i>FR_XQUAD</i>	<i>z88.mk.kernel.sgi128</i>	<i>z88.mk.other.sgi64</i>
SUN64 (-xarch=v9)	<i>z88.mk.kernel.sun64</i>	<i>z88.mk.other.sun64</i>
SUN128 (-xarch=v9) und <i>FR_XQUAD</i>	<i>z88.mk.kernel.sun128</i>	<i>z88.mk.other.sun64</i>

Im Normalfall würden Sie so compilieren, Beispiele:

LINUX 32-Bit	<i>cp z88.fcd.linux z88.fcd</i>
	<i>make -f z88.mk.kernel.linux32 kernel</i>
	<i>make -f z88.mk.other.linux32 other ready</i>
	<i>cp z88.fcd.sgi z88.fcd</i>

SGI (-64), d.h. mit 64-Bit für Integer und Pointer	<code>cp z88.fcd.sgi z88.fcd</code>
	<code>make -f z88.mk.kernel.sgi64 clean kernel</code>
	<code>make -f z88.mk.other.sgi64 other clean ready</code>
...	... sinngemäß

Für erhöhte Gleitkomma-Genauigkeit würden Sie so compilieren:

Beispiel: SGI mit 64-Bit Integer und 128-Bit Floats bei den Solvern	<code>cp z88.fcd.sgi z88.fcd</code>
	<code>make -f z88.mk.kernel.sgi128 clean kernel</code>
	<code>make -f z88.mk.other.sgi64 other clean ready</code>
Beispiel: SUN mit 64-Bit Integer und 128-Bit Floats bei den Solvern	<code>cp z88.fcd.sun z88.fcd</code>
	<code>make -f z88.mk.kernel.sun128 clean kernel</code>
	<code>make -f z88.mk.other.sun64 other clean ready</code>
...	... sinngemäß

### **3.Schritt: Nennen Sie Z88 Ihren bevorzugten Internet- Browser**

Für die Online- Hilfe sollten Sie einen Internet- Browser zur Hand haben z.B. *Netscape*, *Mozilla* oder *Firefox*. Editieren Sie dazu die Steuerdatei *Z88.FCD*. Geben Sie den richtigen Browser Prefix (Schlüsselwort CPREFIX) für Ihren Browser an. Der Prefix veranlaßt den Browser, eine definierte HTML- Datei von Ihrem Computer und nicht etwa vom Internet zu laden. Beispiel:

- Mozilla: `file:///home/werner/z88/`, unter der Annahme, daß die Z88- HTML und Bild- Dateien im Directory `/home/werner/z88` stehen.

Sie können den erforderlichen Prefix für Ihren Browser leicht ermitteln, indem Sie ihn von einem X-Term mit einer Z88- HTML- Datei starten, z.B.

- `mozilla file:///home/werner/z88/g88ix.htm`

Das Hilfesystem ist leicht zu bedienen:

- Das Betätigen des großen *Z88 Commander* Schalters lädt das Inhaltsverzeichnis für alle Z88- Kapitel. Wenn nichts passiert - warten Sie einen Moment ab.
- Betätigen des *Hilfe* Schalters aktiviert die kontextsensitive Online- Hilfe: Der *Hilfe* Schalter invertiert seine Farben, um anzuzeigen, daß der Hilfemodus aktiv ist. Betätigen Sie nun einen beliebigen Befehlsschalter, um den Browser mit dem passenden Hilfetext zu starten. Der Hilfemodus bleibt solange aktiv, bis Sie den *Hilfe* Schalter erneut betätigen: Der Kommandomodus ist dann wieder aktiv.

### **4.Schritt: Nennen Sie Z88 Ihren bevorzugten Editor**

Sie können jeden beliebigen ASCII- Editor verwenden. Mir gefällt *joe* als guter Esatz für den guten, alten *vi*. Auch *nedit* ist sehr schön. Editieren Sie dazu *Z88.FCD*.

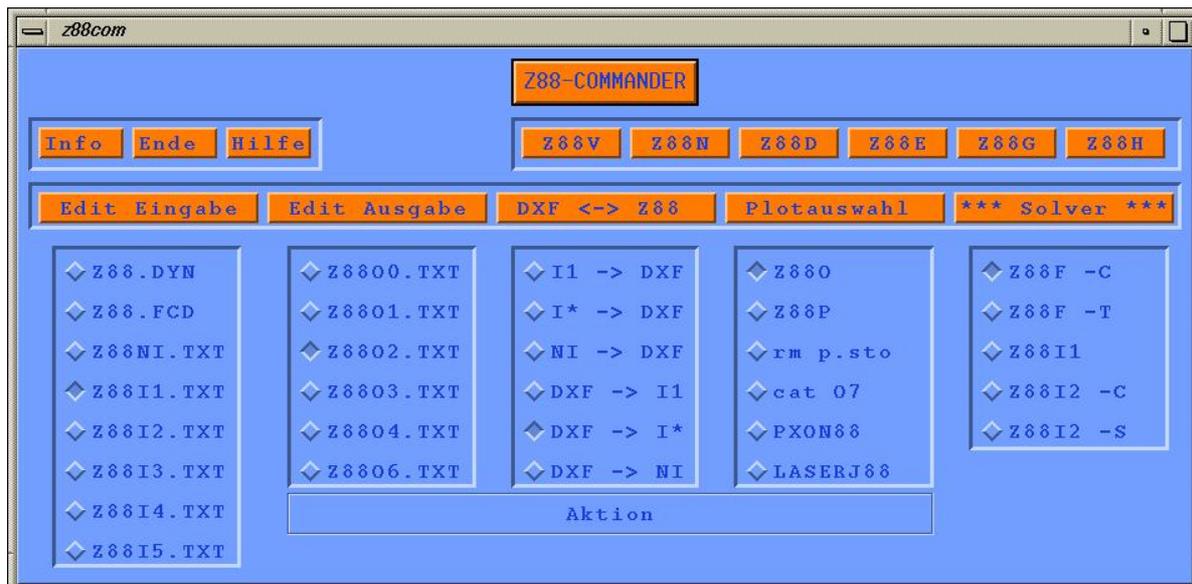
### **Und nun: Starten Sie Z88:**

Achten Sie darauf, daß Sie die Z88-Module aus Ihrem gewünschten Directory starten können. Ändern Sie ggf. Ihre `.profile`, `.bash_profile`, z.B. so:

```
PATH=$PATH: (auf den Punkt hinter dem Doppelpunkt kommt's an!)
export PATH
```

Sie können die diversen Module von einer Console, von einem X-Term oder durch ein Shell-Script starten. Der Z88-Commander Z88COM und die Plotprogramme Z88O und Z88P müssen von einer X- Window Oberfläche gestartet werden. Daher ist es naheliegend, alle Z88- Module durch den Z88-Commander Z88COM von einem X-Term zu starten, also ...

Starten Sie Ihr X-Window System, öffnen Sie ein X-Term und starten Z88COM. Stellen Sie Z88COM und das X-Term, von dem Z88COM aus gestartet wurde, neben- oder übereinander, damit Sie beide gleichzeitig sehen. Das X-Term wird für Konsoleingaben und -ausgaben für die textbasierten Module Z88F, Z88I1, Z88I2, Z88N, Z88D, Z88E, Z88X, Z88G, Z88H, Z88V genutzt.



Falls Ihnen die Farben oder Fonts oder die Größe der Fenster nicht gefallen, dann können Sie die Steuerdatei *Z88.FCD* ändern. Sichern Sie aber die Originaldatei *Z88.FCD*, damit Sie eine erprobte Steuerdatei zur Hand haben, falls Ihre Änderungen nicht richtig waren. Denn Z88COM und Z88P laufen nur mit korrekten *Z88.FCD*.

### ... und wie entfernen Sie Z88 ?

Wenn Sie bei LINUX via RPM installiert haben: `rpm -e z88`

Wenn Sie gemäß Kapitel 1.3.2 installiert haben: Einfach alle Dateien im Directory, in dem Z88 liegt, komplett löschen. Dann ggf. das Directory selbst löschen. Das ist alles !

## 1.4 DYNAMISCHER SPEICHER Z88

### Speichersteuerdatei Z88.DYN und Filechecker Z88V

Alle Z88- Module fordern Memory dynamisch an. Obgleich Z88 mit Standardwerten in Z88.DYN geliefert wird, kann und soll der Anwender diese Werte anpassen. Dazu wird die Datei Z88.DYN editiert.

**Ferner wird in Z88.DYN die Sprache definiert.** Tragen Sie in eine Zeile, am besten zwischen DYNAMIC START und NET START, die gewünschte Sprache als **GERMAN** oder **ENGLISH** ein.

**Z88.DYN** beginnt mit dem Schlüssel DYNAMIC START und endet mit DYNAMIC END. Dazwischen gibt es eine Sektion für den Netzgenerator (NET START, NET END), eine für alle Module gemeinsame Sektion (COMMON START, COMMON END), eine Sektion für das Plotprogramm (PLOT START, PLOT END) und eine Sektion für das Cuthill- McKee-Programm (CUTKEE START, CUTKEE END). Dazwischen können beliebig Leerzeilen oder Kommentare sein, es werden nur die großgeschriebenen Schlüsselworte erkannt. Nach dem jeweiligen Schlüssel folgt eine Integerzahl, durch mindestens ein Leerzeichen getrennt. Die Reihenfolge der Schlüsselworte ist beliebig.

Mit dem **Filechecker Z88V** können Sie den in Z88.DYN definierten Datenspeicherbedarf für die speicherkritischen Module Z88F, Z88I1, Z88I2 feststellen. Zu den jeweiligen Werten müssen Sie noch ca. 200 KByte für die Programm-Module addieren, was bei Windows und bei UNIX allerdings vernachlässigbar ist.

Ein Anpassen der Speicheranforderung ist durchaus sinnvoll.

*Fordern Sie aber nicht unnötig viel Speicher an, da dies, insbesondere bei virtuellem Memory, Geschwindigkeitseinbußen bedingt.*

Bei großen Strukturen lassen Sie am besten einen Test laufen. Je nach Solver gehen Sie wie folgt vor:

#### **Der direkte Cholesky- Solver Z88F:**

*Windows:* Z88F > Mode > Testmode, Berechnung > Start

*UNIX:* z88f -t (Console) oder Z88F mit -T (Z88COM)

laufen. Erhalten Sie hier z.B. GS= 100.000, dann schreiben Sie in Z88.DYN für MAXGS vielleicht 120.000, aber nicht 1.000.000 ! Dann überschlagen Sie den Gesamtspeicherbedarf, wie weiter unten beschrieben, bzw. nutzen Sie Z88V.

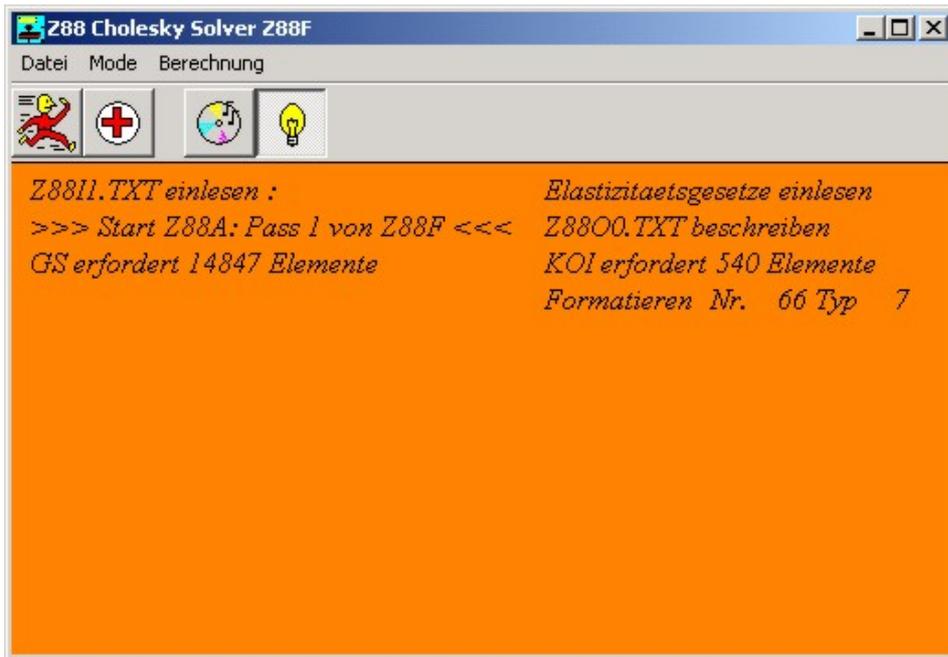
Bei großen Strukturen für Z88 gehen Sie also beim direkten Solver in 2 Schritten vor:

#### 1. MAXGS feststellen mit

*Windows:* Z88F > Mode > Testmode, Berechnung > Start

*UNIX:* z88f -t (Console) oder Z88F mit -T (Z88COM)

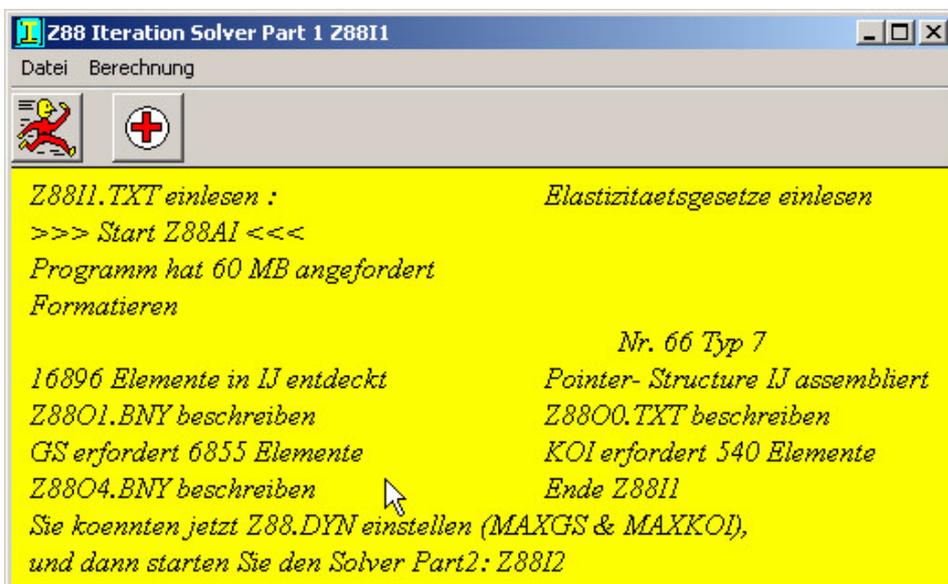
#### 2. Z88.DYN ggf. korrigieren, Datenspeicherbedarf Z88F mit Z88V ermitteln



(Ablezen des Speicherbedarfs MAXGS und MAXKOI bei Windows. Bei UNIX sieht das sinngemäß aus)

### Der Iterationsolver Z88I1 und Z88I2:

Hier gibt es keinen Testmode, denn der erste Teil des Iterationsolvers, d.h. Z88I1, ermittelt diesen Bedarf und zeigt ihn für den zweiten Part, d.h. Z88I2, an:



(Ablezen des Speicherbedarfs MAXGS und MAXKOI bei Windows. Bei UNIX sieht das sinngemäß aus)

Allerdings ist das Vorgehen beim Iterationsolver etwas subtiler, denn Sie müssen vorab Speicher MAXSOR für den eigentlichen Aufbau der Sparse- Matrix bereitstellen. Es gibt leider keine Möglichkeit, diesen Speicherbedarf vorab zu schätzen, aber Z88I1 teilt Ihnen mit, wenn dieser Wert zu klein war. Sie müssen ihn dann in Z88.DYN erhöhen und Z88I1 erneut

starten. Den Wert MAXPUF in Z88.DYN stellen Sie so ein, daß er etwa ein Viertel bis ein Zehntel des Wertes von MAXSOR hat, z.B. so:

```
MAXSOR  5000000
MAXPUF   500000
```

Bei großen Strukturen für Z88 gehen Sie also beim direkten Solver in 3 oder mehr Schritten vor:

1. Z88I1 starten

2. Wenn Z88I1 sauber gelaufen ist, Werte für MAXGS und MAXKOI ablesen und Z88.DYN ggf. korrigieren. Damit ist der Speicher für den eigentlichen Solver Z88I2 eingestellt.

3. Wenn Z88I1 abbrach, weil MAXSOR zu niedrig war, MAXSOR in Z88.DYN erhöhen und Z88I1 erneut starten. Wählen Sie für MAXPUF etwa Viertel bis ein Zehntel des Wertes von MAXSOR. Ggf. diesen Schritt solange wiederholen, bis Z88I1 sauber durchläuft.

Stellen Sie sicher, daß Ihr Swap-Space ausreichend ist. Gegebenenfalls einstellen:

**Windows:**

Start > Einstellungen > Systemsteuerung > System > Leistungsmerkmale > virtueller Arbeitsspeicher , ggf. > ändern. Die Größe der permanenten Auslagerungsdatei wählen Sie nach eigenen Vorstellungen. Hinweis: Die momentane Z88-Version für Windows ist mit 32-Bit Integers compiliert. Für die 32-Bit Windows-Versionen bis XP sollte das reichen. Jedoch könnten sehr große Strukturen größer als 2~3 Mio. Freiheitsgrade die internen Zähler und Pointer zum Überlaufen bringen, denn  $2^{32}$  ist nur ca. +/-2 Milliarden.

**UNIX:**

Je nach System kann die Swap- Partition problemlos dynamisch vergrößert werden oder es muß ein zusätzliches Swap- File angelegt werden oder die Swap- Area muß gelöscht und vergrößert neu angelegt werden.

Ich empfehle eine Größe zwischen 100 und 1000 MByte. Der Wert hängt von der zu rechnender FE-Strukturgröße ab. Erhalten Sie bei einem Rechenmodul (meist von Z88F) eine Meldung "Nicht genügend dynamisches Memory", dann setzen Sie die Größe der Auslagerungsdatei hoch.

Für Windows und UNIX gilt:

*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 (vgl. Kap.1.3.2), damit die internen Schleifenzähler nicht überlaufen.*

Die Z88- Module prüfen, ob die vorgegebenen Werte für das aktuelle Problem ausreichen, bzw. Limits erreicht sind, und brechen ggf. ab.

Bei kommentarlosem Abbruch eines Z88- Moduls dessen .LOG -Datei betrachten. Oft ist MAXKOI zu klein gewesen!

Die mitgelieferten FEA-Beispieldateien kommen mit den gelieferten Standard-Einstellungen in Z88.DYN absolut aus. Sie nehmen dann in Z88.DYN Veränderungen vor, wenn Sie eigene, große Strukturen rechnen wollen.

In den .LOG- Dateien wird bei Erfolg der erforderliche Datenspeicher protokolliert, dazu kommt natürlich der Speicher für das eigentliche Programm, lokale Arrays und Stack, den man allerdings bei Windows und UNIX vernachlässigen kann.

Zu beachten ist: Z88 arbeitet normalerweise bei

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

Bei bestimmten UNIX-Maschinen können die Solvermodule so compiliert (Compiler-Switches und Direktive FR\_XQUAD, vgl. Kap. 1.3.2) werden, daß sie mit

- Gleitkomma-Zahlen mit long doubles = 16 Bytes
- Ganzzahlen mit 64-Bit longs = 8 Bytes.

rechnen. Achtung: 64-Bit Integers können für sehr große Strukturen (> 2~3 Mio. Freiheitsgrade) ohne weiteres erforderlich sein, damit die internen Pointer-und Ganzzahl-Berechnungen noch funktionieren! Hingegen brauchen Gleitkomma-Zahlen mit Quad-Precision, d.h. 128 Bit, unverhältnismäßig viel Rechenzeit gegenüber Gleitkomma-Zahlen mit Double-Precision, d.h. 64 Bit. Tests mit einer SUN FIRE V890 und einer SGI ORIGIN 2000 mit Quad-Precision ergaben bei uns am Lehrstuhl eine fünf- bis zehnfache Verlängerung der Rechenzeit gegenüber Double-Precision. Ich würde also auf größeren Maschinen zu jeweils 64-Bit für Ganz- und Gleitkommazahlen raten.

**Speicherkritisch sind Z88F, Z88I1 und Z88I2. Wenn diese Module laufen, läuft auch der Rest.**

Es folgt die allgemeine Beschreibung für Z88.DYN.

## **DYNAMIC START**

Sprache einstellen:

**GERMAN** oder ENGLISH. Wird hier nichts bzw. falsch angewählt, wird automatisch englische Sprache eingestellt.

Sektion Netzgenerator:

### **NET START**

**MAXSE** Maximale Anzahl interner Knoten für FE- Netzerzeugung. Muß deutlich höher sein als erzeugte FE- Knoten.

**MAXESS** Maximale Anzahl Superelemente

**MAXKSS** Maximale Anzahl Superknoten

**MAXAN** Maximale Anzahl von Knoten, die jeweils an ein Superelement anschließen können. Der Standardwert von 15 hat sich selbst für komplexe Raumstrukturen mit Hexaedern Nr. 10 bewährt. Kann im Zweifelsfall hochgesetzt werden.

**NET END**

Gemeinsame Daten:  
**COMMON START**

- MAXGS** Maximale Anzahl Plätze in der Gesamtsteifigkeitsmatrix. Anzahl GS wird bei Z88F und Z88I1 ausgewiesen.
- MAXKOI** Maximale Anzahl Plätze im Koinzidenzvektor = Anzahl Knoten pro Element mal Anzahl Finite Elemente. Beispiel: 200 Finite Elemente Typ 10 = 20 Knoten/Element x 200 = 4000. Bei gemischten Strukturen geht man von dem Elementtyp aus, der die meisten Knoten hat und multipliziert mit der Gesamtanzahl Elemente. Benötigte Anzahl NKOI wird bei Z88F und Z88I2 ausgewiesen.
- MAXK** Maximale Anzahl Knoten der Struktur.
- MAXE** Maximale Anzahl Elemente der Struktur.
- MAXNFG** Maximale Anzahl Freiheitsgrade der Struktur.
- MAXNEG** Maximale Anzahl Elastizitätsgesetze der Struktur.
- MAXPR** Maximale Anzahl der Flächenlasten
- MAXSOR** Nur für Iterationssolver Part 1, d.h. Z88I1. Z88I1 verwendet einen Vektor für Sortierzwecke, der die Größe MAXSOR hat. Es gibt leider keine Möglichkeit, diesen Speicherbedarf vorab zu schätzen, aber Z88I1 teilt Ihnen mit, wenn dieser Wert zu klein war. Sie müssen ihn dann erhöhen und Z88I1 erneut starten.
- MAXPUF** Nur für Iterationssolver Part 1, d.h. Z88I1. Startet das Zwischensortieren. MAXPUF sollte ca. 1/4 bis 1/10 von MAXSOR betragen

**COMMON END**

Für Plotprogramm Z88P:

**PLOT START**

- MFACCOMMON** Folgende Werte aus COMMON werden mit dem hier stehenden Faktor multipliziert: MAXKOI, MAXE, MAXK. Standardfaktor 2. Ist für Überprüfungen von Eingabefiles, die der Netzgenerator erzeugt hat, sinnvoll.
- MAXGP** Maximale Anzahl Gaußpunkte für Spannungsplots. Beispiel: 200 Finite Elemente Typ 10, Integrationsordnung 3: Pro Element dann  $3 \times 3 \times 3 = 27$  Gaußpunkte/Element, also  $27 \times 200 = 5400$  Gaußpunkte.

**PLOT END**

Für den Cuthill- McKee- Algorithmus:

**CUTKEE START**

- MAXGRA** Maximaler Grad der Knotenpunkte
- MAXNDL** Stufen des Algorithmus

**CUTKEE END**

**DYNAMIC END**

Wie schon erwähnt, können Sie mit Z88V feststellen, was die diversen Z88- Module an Speicher anfordern:



*(Definierten Speicher bei Windows anzeigen lassen. Geht bei UNIX sinngemäß)*



## 2 DIE Z88- MODULE

### 2.1 DER DIREKTE CHOLESKY SOLVER Z88F

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

Dieser Solver arbeitet mit Skyline-Speicherung und einem *in-situ* Cholesky-Gleichungslöser. Er ist bewährt, sehr schnell und stabil für kleinere Strukturen. Die vornehmlichste Aufgabe jedes FE-Programms ist die Berechnung der Verschiebungen. Das erledigt Z88F. Die berechneten Verschiebungen sind der Ausgangspunkt für eine Spannungsberechnung mit Z88D bzw. Knotenkraftberechnung mit Z88E.



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

#### 1) Rechenmodus

Windows: Z88F > Mode > Rechenmode, Berechnung > Start

UNIX: z88f -c (Konsole) oder Z88F mit Option -C (Z88COM)

Eingabedateien:

- Z88I1.TXT (allgemeine Strukturdaten)
- Z88I2.TXT (Randbedingungen)
- ggf. Z88I5.TXT (Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden)

Ausgabedateien:

- Z88O0.TXT (aufbereitete Strukturdaten für Dokumentation)
- Z88O1.TXT (aufbereitete Randbedingungen für Dokumentation)
- Z88O2.TXT (Verschiebungen)

Ferner werden generell die beiden Binärfiles Z88O1.BNY und Z88O3.BNY erzeugt. Diese Binärfiles werden dann von Z88D (Spannungsprozessor) und Z88E (Knotenkraftprozessor) genutzt.

## 2) Testmodus

Windows: Z88F > Mode > Testmode, Berechnung > Start

UNIX: z88f -t (Konsole) oder Z88F mit Option Test Mode (Z88COM)

Eingabedateien:

- Z88I1.TXT (allgemeine Strukturdaten)

Ausgabedateien:

- Z88O0.TXT (aufbereitete Strukturdaten für Dokumentation)

Es wird lediglich das Ausgabefile Z88O0.TXT mit den aufbereiteten Strukturdaten erzeugt, und es werden die Speicherbedarfe für die Gesamtsteifigkeitsmatrix und den Koinzidenzvektor am Bildschirm gezeigt. Dieser Mode wird eingesetzt,

- um den Speicherbedarf für MAXGS und MAXKOI festzustellen.
- zu prüfen, ob Z88F die Daten aus Z88I1.TXT korrekt interpretiert und wunschgemäß in Z88O0.TXT stellt.

## 2.2 DER ITERATIONSSOLVER Z88I1/Z88I2

### **HINWEIS:**

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

Die vornehmlichste Aufgabe jedes FE- Programms ist die Berechnung der Verschiebungen. Das erledigt der Iterationssolver. Die berechneten Verschiebungen sind der Ausgangspunkt für eine Spannungs- Berechnung mit Z88D bzw. Knotenkraft- Berechnung mit Z88E.

Der Iterationssolver ist genau das Richtige für große Strukturen. Für kleine und mittlere Strukturen wählen Sie den direkten Solver Z88F.

Der Iterationssolver arbeitet nur mit den sog. Nicht- Nullelementen - was ein absolutes Minimum an Speicherbedarf bedeutet - und besteht aus zwei Teilen:

**Iterationssolver Part 1: Z88I1:** Er baut folgende Pointer für die untere Hälfte der Gesamt-Steifigkeitsmatrix GS auf:

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

Dazu wird zunächst eine Structure IJ aufgebaut, die dann mit einem QSORT- Algorithmus sortiert (nach einer Idee von Dr.-Ing. Frank Koch) wird. Dieser Schritt kann durchaus sehr viel Speicher brauchen, aber da es reine Integer- Operationen sind, geschieht dies relativ schnell.

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
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

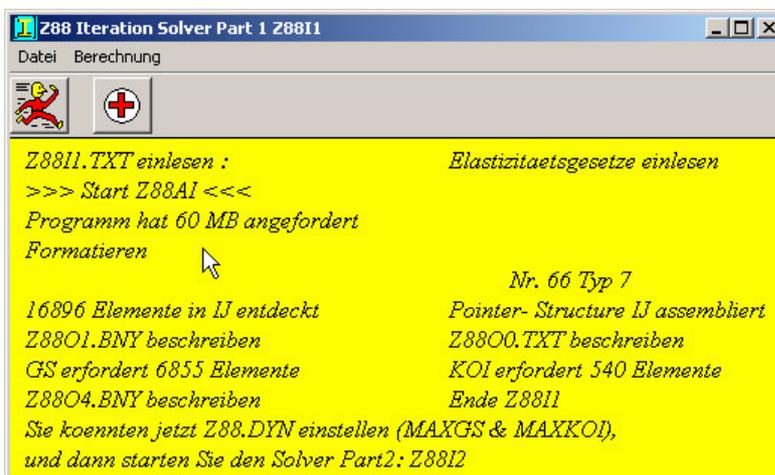
und IP:

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

Die Structure IJ besteht aus MAXSOR Elementen, vgl. Speichersteuerdatei Z88.DYN. Sie müssen vorab Speicher MAXSOR für den eigentlichen Aufbau der Sparse- Matrix bereitstellen. Es gibt leider keine Möglichkeit, diesen Speicherbedarf vorab zu schätzen, aber Z88I1 teilt Ihnen mit, wenn dieser Wert zu klein war. Sie müssen ihn dann in Z88.DYN erhöhen und Z88I1 erneut starten. Den Wert MAXPUF (sorgt für ein Zwischensortieren) in Z88.DYN stellen Sie so ein, daß er etwa ein Viertel bis ein Zehntel des Wertes von MAXSOR hat, z.B. so:

```
MAXSOR 5000000
MAXPUF 500000
```

Z88I1 schreibt die beiden Pointervektoren in eine Binärdatei Z88O4.BNY, die recht groß werden kann.



Z88I1 teilt Ihnen mit, wieviel Speicher Sie für GS (= MAXGS) und KOI (= MAXKOI) vorsehen müssen; dies in Z88.DYN einstellen. Hier ein beispielhafter Ausschnitt aus Z88.DYN:

```
COMMON START
  MAXGS      600000    ← das müssen Sie vor Z88I2 einstellen
  MAXKOI     132000    ← das müssen Sie vor Z88I2 einstellen
  MAXK       11000
  MAXE       33000
  MAXNFG     32000
  MAXNEG      32
  MAXSOR     5000000    ← das müssen Sie vor Z88I1 einstellen
  MAXPUF     500000    ← das müssen Sie vor Z88I1 einstellen
COMMON END
```

Bei großen Strukturen für Z88 gehen Sie also beim direkten Solver in 3 oder mehr Schritten vor:

### 1. Z88I1 starten

2. Wenn Z88I1 sauber gelaufen ist, Werte für MAXGS und MAXKOI ablesen und Z88.DYN ggf. korrigieren. Damit ist der Speicher für den eigentlichen Solver Z88I2 eingestellt.

3. Wenn Z88I1 abbrach, weil MAXSOR zu niedrig war, MAXSOR in Z88.DYN erhöhen und Z88I1 erneut starten. Wählen Sie für MAXPUF etwa Viertel bis ein Zehntel des Wertes von MAXSOR. Ggf. diesen Schritt solange wiederholen, bis Z88I1 sauber durchläuft.

**Iterationsolver Part 2: Z88I2:** Er berechnet die Elementsteifigkeitsmatrizen, compiliert 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. Standard ist SOR- Vorkonditionierung, das braucht auch weniger Speicher. Die Partielle Cholesky- Zerlegung (*shifted incomplete Cholesky decomposition SIC*) verwenden Sie nur in Sonderfällen.



### 1.) Konjugierte Gradienten mit SOR- Vorkonditionierung:

Windows: Z88I2 > Mode > Vorkon: Überrelaxation, Berechnung > Start

UNIX: z88i2 -s (Console) oder Solver: Z88I2 -S (Z88COM)

### 2.) Konjugierte Gradienten mit SIC- Vorkonditionierung:

Windows: Z88I2 > Mode > Vorkon: unvoll. Cholesky Zer., Berechnung > Start

UNIX: z88i2 -c (Console) oder Solver: Z88I2 -C (Z88COM)

Ferner müssen Sie noch drei Steuerwerte in die Steuerdatei Z88I4.TXT geben:

- Abbruchkriterium: maximale Anzahl der Iterationen (z.B. 10000) überschritten
- Abbuchkriterium: Residuenvektor < Grenzwert *Epsilon* (z.B.  $1e-7$ )
- Steuerwert für die Konvergenzbeschleunigung. Je nach gewähltem Vorkonditionierer hat er eine unterschiedliche Bedeutung:
  1. Im Falle SOR: Relaxationsfaktor *Omega* (zwischen 0 und 2, brauchbare Werte können oft zwischen 0.8 und 1.2 liegen).
  2. im Falle SIC: Shift- Faktor *Alpha* (zwischen 0 und 1, brauchbare Werte können oft zwischen 0.0001 und 0.1 liegen). Näheres entnehmen Sie ggf. der Spezialliteratur)

### HINWEIS:

**Die hier genannten Dateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I4.TXT und Z88I5.TXT sind in Kapitel 3 näher beschrieben.**

#### Eingabedateien:

- Z88I1.TXT (allgemeine Strukturdaten)
- Z88I2.TXT (Randbedingungen)
- Z88I4.TXT (Steuerdatei für den Iterationssolver Part 2: Z88I2)
- ggf. Z88I5.TXT (Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden)

#### Ausgabedateien:

- Z88O0.TXT (aufbereitete Strukturdaten für Dokumentation)
- Z88O1.TXT (aufbereitete Randbedingungen für Dokumentation)
- Z88O2.TXT (Verschiebungen)

Ferner werden generell die beiden Binärfiles Z88O1.BNY und Z88O3.BNY erzeugt. Diese Binärfiles werden dann von Z88D (Spannungsprozessor) und Z88E (Knoten- Kraftprozessor) genutzt.

## 2.3 DER SPANNUNGS- PROZESSOR Z88D

Eine Spannungsberechnung mit Z88D kann erst erfolgen, wenn zuvor die Verschiebungen mit Z88F oder Z88I1 und Z88I2 berechnet wurden. Sie ist unabhängig von der Knotenkraft-Berechnung. Die Ergebnisse werden in Z88O3.TXT gegeben.

Für die Steuerung von Z88D ist das File Z88I3.TXT vorgesehen.

Damit wird u.a. festgelegt:

- > Berechnung der Spannungen in den Gaußpunkten 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, 16, 17, 18, 19 und 20.

**Eingabeformat von Z88I3.TXT siehe Kapitel 3.**

## 2.4 DER KNOTENKRAFT- PROZESSOR Z88E

Eine Knotenkraft- Berechnung mit Z88E kann erst erfolgen, wenn zuvor die Verschiebungen mit Z88F oder Z88I1 und Z88I2 berechnet wurden. Sie ist unabhängig von der Spannungs- Berechnung. Die Ergebnisse werden in Z88O4.TXT gegeben.

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.

## 2.5 DER NETZGENERATOR Z88N

Der Netzgenerator Z88N kann 2-dimensionale und 3-dimensionale Netze erzeugen. Z88N liest die Netzgenerator- Eingabedatei Z88NI.TXT ein und gibt die allgemeinen Strukturdaten Z88I1.TXT aus.

**Zur Beschreibung von Z88NI.TXT siehe Kapitel 3.**

*Eine Netzgenerierung ist nur für Kontinuumselemente sinnvoll und zulässig:*

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
Platte Nr.20	Platte Nr.20
Platte Nr.20	Platte Nr.19

***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, konvertiert dann mit dem CAD-Konverter Z88X die vom Netzgenerator erzeugte Datei Z88I1.TXT als DXF- Datei Z88X.DXF, lädt diese DXF- Datei ins CAD- System und fügt dort die Stäbe ein; gegebenenfalls gibt man auch gleich die Randbedingungen dazu. Sodann läßt man Z88X erneut laufen und konvertiert in Richtung Z88 als Datei Z88I1.TXT (allgemeine Strukturdaten) sowie ggf. Z88I2.TXT (Randbedingungen).

### **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. Superelemente können sein: Hexaeder Nr.10, Scheiben Nr.7 und Scheiben Nr.11 sowie Tori Nr.8 und Tori Nr.12 und Platten Nr.20.

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:

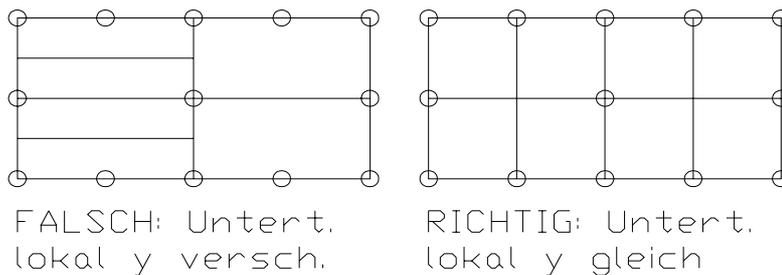
- lokale x-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 2
- lokale y-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 4
- lokale z-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 5

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 (Zylinderkoord. !).

Entlang der lokalen Achsen kann nun wie folgt unterteilt werden:

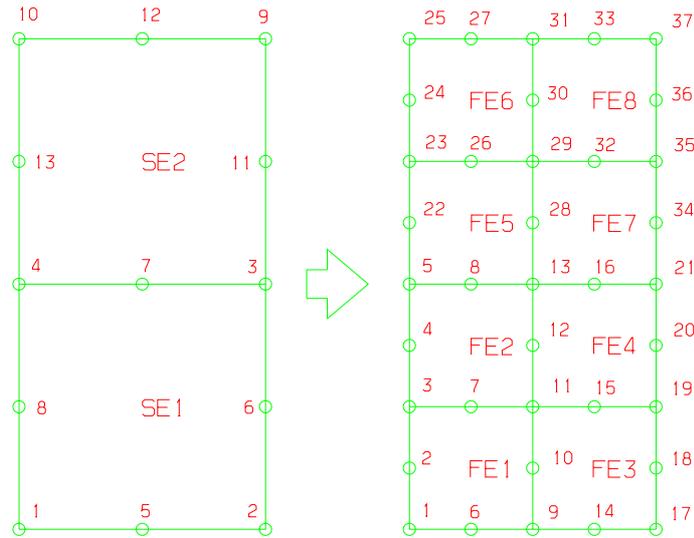
- äquidistant
- geometrisch aufsteigend von Knoten 1 nach 4 bzw. 5 : Netz wird gröber
- geometrisch fallend von Knoten 1 nach 4 bzw. 5 : Netz wird feiner

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:



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):



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

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

### 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.

Ferner ermittelt der Netzgenerator für ein Superelement i, welche anderen Superelemente an SE i anschließen. Für Scheiben Nr.7 und Nr.11 bzw. Tori Nr.8 und Nr.12 können dies höchstens 8 andere SE sein. Diese Maximalanzahl anschließender SE wird in Z88 als MAXAN mit standardmäßig 15 vorgegeben. Für Hexaeder Nr.10 können rein theoretisch 26 andere Elemente anschließen (6 Flächen, 8 Ecken, 12 Kanten). Die Praxis zeigte, daß selbst kompliziertere Raumstrukturen mit MAXAN= 15 bisher auskamen. Im Zweifelsfall MAXAN in Z88.DYN erhöhen.

**Achtung Netzgenerator Z88N:** Der Generator kann mit Leichtigkeit Eingabefiles erzeugen, die alle Grenzen des FE- Prozessors sprengen. Daher zunächst gröbere FE- Strukturen generieren lassen, mit Z88F Mode > Testmode prüfen, ob sie in den Speicher passen, dann ggf. verfeinern. Ein guter Startwert: ca. 5..10 mal soviel Finite Elemente wie Superelemente erzeugen lassen.

**Hinweis Netzgenerator Z88N:** Ist in Netzgenerator- Eingabedateien Z88NI.TXT das Koordinatenflag KFLAG gesetzt, also Polar- oder Zylinderkoordinaten als Eingangswerte gegeben, dann sind die Netzgenerator- Ausgabedateien Z88I1.TXT immer in kartesischen Koordinaten gehalten und dort ist dann KFLAG 0.

## 2.6 DAS PLOTPROGRAMM Z88P

**Das modernere Z88- Plotprogram ist das neue OpenGL-Plotprogramm Z88O, vgl. Kap.2.11. Das bewährte Z88P bleibt aber Teil von Z88.**

Mit dem Plotprogramm Z88P können unverformte, verformte sowie un- und verformte Strukturen sowie Superstrukturen geplottet werden.

Die Ausgabe kann auf den Bildschirm oder in eine Datei erfolgen, wobei die Plotdatei sog. HP-GL- Befehle enthält, die von HP- Plottern genutzt werden. Die HP-GL- Dateien können natürlich in beliebiger Weise auch in anderen Programmen weiterverarbeitet werden, z.B. in CorelDraw, WinWord etc., ggf. die Endung .TXT ändern. Winword (bis Word 95) erwartet z.B. die Endung .HGL für HP-GL-Dateien.

Zusätzlich können Vergleichsspannungen auf dem Bildschirm gezeigt oder auf einen Plotter gegeben werden. Die Bildschirmfarben können für Windows in der Datei Z88P.COL eingestellt werden; für UNIX bestehen viel umfassendere Möglichkeiten in der Datei Z88.FCD, in der nicht nur Farben und Fonts, sondern auch die Größen und Lagen der Pushbuttons, Radioboxes etc. definiert sind. Sie können also bei UNIX das ganze Aussehen von Z88P ganz nach Ihren Wünschen anpassen.

<b>erford. Files:</b>	<b>Superstrukturen</b>	<b>unverformte FE- Str.</b>	<b>verformte FE- Strukturen</b>
Z88NI.TXT	ja	nein	nein
Z88I1.TXT	nein	ja	ja
Z88O2.TXT	nein	nein	ja
Z88O5.TXT	nein	ja, wenn Anzeige der Vergleichsspannungen	nein

Um möglichst rasch zu arbeiten, verbindet Z88P die Knotenpunkte mit geraden Linien, obwohl bei Serendipity- Elementen 7,8,10,11 und 12 die Kanten der Elemente quadratische bzw. kubische Kurven sind.

**Hinweis:** Superstrukturen und unverformte finite- Elemente- Strukturen können Sie natürlich auch via CAD-Konverter Z88X in Ihrem CAD- Programm anzeigen lassen, aber Anzeige der verformten Struktur sowie Spannungsanzeige ist nur in Z88P möglich.

Z88P speichert den letzten Strukturfile- Namen, die Einstellfaktoren und Labeleinstellungen in einem File Z88P.STO. Beim Starten von Z88P wird dieses File automatisch angezogen, sodaß die letzte Struktur wieder angezeigt werden kann. Möchte man mit einer neuartigen Struktur beginnen, so sollte vorher das File Z88P.STO gelöscht werden. Dies kann mit *Plotten > Löschen Z88P.STO* (Windows) bzw. *Plotauswahl mit rm p.sto* (UNIX) im Z88- Commander Z88COM erfolgen.

### **Tasten- Sonderfunktionen bei Windows:**

BILD HOCH : Zoom stärker  
BILD RUNTER : Zoom geringer  
CURSOR LINKS : Struktur in X-Richtung schieben  
CURSOR RECHTS : Struktur in X-Richtung schieben  
CURSOR HOCH : Struktur in Y-Richtung schieben  
CURSOR RUNTER : Struktur in Y-Richtung schieben

*..und für 3-D-Strukturen zusätzlich bei Windows:*

POS1 : Struktur in Z-Richtung schieben  
ENDE : Struktur in Z-Richtung schieben  
F2 : Struktur um X-Achse rotieren  
F3 : Struktur um X-Achse rotieren  
F4 : Struktur um Y-Achse rotieren  
F5 : Struktur um Y-Achse rotieren  
F6 : Struktur um Z-Achse rotieren  
F7 : Struktur um Z-Achse rotieren  
F8 : Rotationen um X,Y und Z auf 0 setzen

**Bei UNIX gelten die üblichen X- bzw. Motif- Tastendefinitionen, also TAB, dann Pfeiltasten zum Anwählen und Leertaste zum Aktivieren.**

Stiftplotter nutzen zum Zeichnen der unverformten Struktur den Pen 1, für die verformte Struktur den Pen 2.

### **Erläuterung einiger Menüpunkte:**

#### **Name der Strukturdatei:**

**Windows :** *Datei > Strukturfile*  
**UNIX :** *Stru. , Textfeld direkt auf Window*

Hier wird das Strukturfile gewählt. Namen, ggf. mit Pfad, eingeben, RETURN. Die neue Struktur wird geladen und sofort gezeichnet.

#### **Name der Plotdatei:**

**Windows:** *Datei > Interface*  
**UNIX :** *Plot. , Textfeld direkt auf Window*

Damit wird eine Plotdatei angewählt. Standardvorgabe ist File Z88O6.TXT. Die Plotdatei enthält HP-GL-Befehle im ASCII-Code, die natürlich auch mit anderen Programmen weiterverarbeitet werden können.

**Windows: Plotter:** Eine Direktausgabe aus Z88P auf einen Plotter funktioniert nicht immer. Gegebenenfalls muß mit dem Z88- Commander nach Erzeugen von Z88O6.TXT eine Xon/Xoff- Sequenz in Z88O6.TXT gestellt werden. Sodann kann Z88O6.TXT mit

*copy /B Z88O6.TXT com1: (bzw. com2:)*

auf einen seriell angeschlossenen Plotter gegeben werden. Sie können auch das *Hyperterminal* von Windows nutzen. Probieren Sie hier bei "Datei > Eigenschaften > Einstellungen > ASCII": "gesendete Zeichen enden mit CR-LF" und "lokales Echo", Zeilenverzögerung 10 msec, Zeichenverzögerung 1 msec. Trotzdem können bei großen Dateien Timeouts auftreten. Das ist eine generelle Eigenschaft von seriellen Schnittstellen, vgl. die Hinweise weiter unten für UNIX.

**Windows: LaserJet:** Manche Laserdrucker können von Hand zwischen PCL und HP-GL umgeschaltet werden, bei anderen funktioniert das leider nur durch Software. In diesem Fall muß mit dem Z88- Commander Z88COM nach Erzeugen von Z88O6.TXT eine LaserJet-Sequenz in Z88O6.TXT gestellt werden. Dann ist normales Drucken möglich.

**UNIX : Plotter :** Serielle Schnittstellen werden als *root* mit *stty* eingestellt, z.B.

```
stty sane ixon ispeed 9600 cs8 -cstopb -parenb < /dev/ttyS1
```

Dabei ist hier */dev/ttyS1* die zweite serielle Schnittstelle. Die erste serielle Schnittstelle ist */dev/ttyS0*. Benötigt Ihr Plotter eine Softwareumschaltung auf Protokoll Xon/Xoff, so starten Sie nach der Erzeugung von Z88O6.TXT mit Z88P das kleine Hilfsprogramm *pxon88*. Sodann können Sie Z88O6.TXT als *root* auf die Schnittstelle geben:

```
cat z88o6.txt > /dev/ttyS1
```

Sie können den seriellen Plotter aber auch direkt als raw- device in */etc/printcap* stellen. Angenommen, er hieße dort *HP7475A-a3-raw*. Dann können Sie als normaler User mit

```
lpr -PHP7475A-a3-raw z88o6.txt
```

direkt über das UNIX- Spooling- System fahren.

**Achtung:** Serielle Stiftplotter sind extrem langsame Geräte, d.h. sie können aufgrund der sehr effizienten HP-GL- Sprache mit extrem wenig Informationen viel zeichnen. Das kann bei großen HP- GL- Dateien dazu führen, daß die serielle Schnittstelle trotz Xon/Xoff *zuwenig* Bytes an den Plotter nachliefern kann und ein Timeout bekommt. Diese generelle Problematik ist bei LINUX unter */usr/doc/howto* bei *printer-howto* und *serial-howto* nachzulesen.

**UNIX : LaserJet :** Manche Laserdrucker können von Hand zwischen PCL und HP-GL umgeschaltet werden, bei anderen funktioniert das leider nur durch Software. In diesem Fall muß nach Erzeugen von Z88O6.TXT mit Z88P eine LaserJet- Sequenz mit dem kleinen Hilfsprogramm *laserj88* in Z88O6.TXT gestellt werden. Achten Sie darauf, daß der Laser-Drucker auch einen **raw - Eintrag** in */etc/printcap* hat. Denn das UNIX- Spooling- System soll die HP- GL- Dateien ja völlig ungefiltert weiterleiten. Plotten Sie mit

```
lpr -Praw z88o6.txt
```

**Hinweise Windows und UNIX:** Die von Z88 erzeugten HP-GL- Befehle arbeiten einwandfrei auf verschiedenen HP- und IBM- Plottern, wenn die physikalischen Übertragungen richtig eingestellt sind. Prüfen Sie bei Problemen, ob Ihr Plotter wirklich 100 % HP- kompatibel ist !

Ein weiterer Filename mit vorbelegter Bedeutung ist Z88O7.TXT. Man kann so mit einer Plottersitzung nacheinander die Files Z88O6.TXT für die unverformte und dann Z88O7.TXT für die verformte Struktur erzeugen, falls dies nicht in einem Zug mit Struktur un/verformt geschehen soll. Das File Z88O7.TXT kann später wahlweise an Z88O6.TXT angehängt werden, sodaß unverformte und verformte Struktur in einem Durchgang geplottet werden können. Dazu muß die Reihenfolge eingehalten werden: erst Z88O6.TXT und dann Z88O7.TXT erzeugen. Aber auch völlig verschiedene Strukturen können so übereinander geplottet werden.

## Verformungszustand der Struktur:

**Windows:** *Struktur > Unverformt, Verformt, Un- und Verformt*  
**UNIX :** **Radiobox** *Unverfo., Verformt, Un+Verfo.*

Zeichnen der Struktur unverformt oder verformt oder beides. Nur bei unverformten Strukturen können Spannungen gezeigt werden. Bei Struktur Un- und Verformt werden Knoten- und Elementlabels für die unverformte Struktur geplottet.

**ACHTUNG** Struktur Verformt und Un-und Verformt: Der Bediener ist dafür verantwortlich, daß er bei Nutzung dieser Funktion eine Verschiebungsrechnung ausgeführt hat. Also vor Nutzung von Z88P einen FE- Lauf mit Z88F laufen lassen. Sonst werden irgendwelche Files Z88O2.TXT (Verschiebungen) aus früheren Rechnungen angezogen !!

## Ausgabe in Plotterdatei:

**Windows:** *Ausgabe > CRT, Plotter*  
**UNIX :** **Pushbutton** *Plot.*

CRT ist Bildschirmausgabe, der Defaultwert. Bei Auswahl Plotter wird ein HP-GL- File erzeugt, dessen Name mit Interface ausgewählt wurde. Das geht sehr schnell. Nach Schreiben der HP-GL-Datei schaltet Z88P sofort wieder auf CRT zurück, nachdem Sie die entsprechende Messagebox quittiert haben.

## Wahl der Ansicht:

**Windows:** *Ansicht > XY, XZ, YZ, 3-Dim*  
**UNIX :** **Radiobox** *XY, XZ, YZ, 3D*

Je nach Struktur Ansicht auswählen: Bei 2-dimensionalen Strukturen XY, bei 3-dimensionalen Strukturen zunächst 3-Dim. Achtung 3-D- Strukturen: Mit XY, XZ und YZ können die betreffenden Seitenansichten gezeigt werden, jedoch werden die Knoten- und Elementlabels in der Reihenfolge aufsteigend geplottet (Knoten/Element 1 aufsteigend zum letzten Knoten/Element), die Spannungspunkte in der Reihenfolge der Gaußpunkte, elementweise aufsteigend. Daher können die fertigen Bilder Knoten- und Elementnummern sowie Spannungen zeigen, die nicht in der Ebene der Seitenansicht liegen ! Eine verlässliche Aussage gibt hier nur Ansicht 3-Dim. **Hinweis:** Wenn Sie mit einer "frischen" 3-D Struktur in Z88P gehen, stehen bei Windows der Menühaken ansich unkorrekt auf XY bzw. bei UNIX der Radiobutton auf XY, weil die Menüs *vor* Einlesen der Z88- Dateien aufgebaut werden.

## Zeichnen der Knoten- und Elementnummern:

**Windows:** *Labels > No Lables, Elemente, Knoten, Alles Labeln*  
**UNIX :** **Radiobox** *No Lables, Elemente, Knoten, Alles*

Labels = Plotten der Element-, der Knotennummern oder der Element- und Knotennummern. Bei komplizierten Raumstrukturen kann dies unübersichtlich werden, weil je nach Ansicht Nummern mehrfach übereinander geplottet werden. Positionieren Sie sorgfältig Strukturausschnitte durch entsprechende Rotationen.

## Koordinatensystem:

Es wird bei allen Betrachtungen von einem Koordinatensystem ausgegangen, das in der Mitte des CRT bzw. der Papiermitte liegt. Dabei ist generell festgelegt:

	CRT	Plotter
X-Achse:	-100 bis +100	X-Achse: -138 bis +138
Y-Achse:	-100 bis +100	Y-Achse: -100 bis +100
Z-Achse:	-100 bis +100	Z-Achse: -100 bis +100

Dabei wird bei 3-dimensionalen Strukturen die Transformation von 3-D-Koordinaten auf das Bildsystem mit Hilfe einer isometrischen Darstellung nach DIN 5 vorgenommen. Sind die Rotationswinkel *ROTX*, *ROTY* und *ROTZ* jeweils 0, dann gilt: X:Y:Z = 1:1:1, Z weist nach oben und X und Y sind unter 30 Grad geneigt.

**Windows:** Die Rotationswinkel können in 10 Grad-Schritten mit den Tasten *F2..F7* verändert werden oder mit Faktoren > Rotationen in beliebigen Werten. *F8* setzt alle Rotationswinkel wieder auf 0 Grad.

**UNIX :** Die Rotationswinkel können in 10 Grad-Schritten mit den Pushbuttons *RX+*, *RX-*, *RY+*, *RY-*, *RZ+* und *RZ-* verändert werden. Pushbutton *Rot 0* setzt alle Rotationswinkel wieder auf 0 Grad.

Meist passen Plots, die vollständig auf dem Bildschirm dargestellt werden, auch mit den gleichen Faktoren auf den Plotter. Da Plotter aber ein anderes X-Y-Verhältnis haben, müssen für Plotterausgabe mitunter etwas veränderte Faktoren gewählt werden.

## **Globale Vergrößerungen :**

**Windows:** *Faktoren > Globale Vergrößerungen*

Zoomen erfolgt entweder in Sprüngen mit den Tasten *BILD HOCH* und *BILD RUNTER* oder feinfühlig mit Faktoren *FACX*, *FACY*, *FACZ*. Die Eingabe von Faktoren ist auch sinnvoll, wenn verschiedene Strukturen mit den gleichen Maßstäben geplottet werden sollen.

**UNIX :** *Pushbuttons Zoom+ und Zoom-*

## **Schieben (Panning):**

**Windows:** *Faktoren > Zentrierfaktoren*

Schieben (Panning) erfolgt in X-Richtung mit Tasten *CURSOR LINKS* und *CURSOR RECHTS*, in Y mit *CURSOR HOCH* und *CURSOR RUNTER* und in Z (bei dreidimensionalen Strukturen) mit *POS 1* und *ENDE*. Alternativ kann Faktoren > Zentrierfaktoren genutzt werden: *CX*, *CY* und *CZ*.

**UNIX :** *Pushbuttons X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-*

## **Vergrößern der Verschiebungen:**

**Windows:** *Faktoren > Verschiebungen*

**UNIX :** **Textfelder *FUX, FUY* und *FUZ***

Vergrößern der Verschiebungen erfolgt mit *Faktoren > Verschiebungen* : *FUX, FUY* und *FUZ*. Standardwerte je 100. Achtung UNIX: Wie bei UNIX üblich, greifen die Änderungen nur bei einem jeweiligen RETURN. Sie können aber auch alle drei Felder einfach ausfüllen und dann den Pushbutton *Regen* (für Regenerieren) betätigen.

## **Rotationen:**

**Windows:** *Faktoren > Rotationen*

Die Rotationen um X, Y und Z werden mit *Faktoren > Rotationen* definiert: ROTX, ROTY und ROTZ. Standardwerte je 0. Mit den Tasten F2..F7 kann in 10-Grad Sprüngen gedreht werden.

**UNIX :** **Pushbuttons *RX+*, *RX-*, *RY+*, *RY-*, *RZ+*, *RZ-***

Drehung in 10 Grad Schritten. Pushbutton *Rot 0* setzt sie zurück.

## **Höhen- Seitenverhältnis:**

**Windows:** *Faktoren > X-Korrektur FXCOR*

**UNIX :** **Textfeld *FXCOR***

Mit der Funktion X-Korrektur FXCOR kann das Höhen-Seitenverhältnis zur Monitoranpassung verändert werden. Es wird der Default-Wert 0.75 geladen, der aber ggf. je nach Monitortyp eine gewisse Anpassung brauchen. Der Wert wird in Z88P.STO gespeichert, sodaß er bei einer erneuten Sitzung dann stimmt.

## **Vergleichsspannungen:**

**Windows:** *V-Spannungen > keine V-Spannungen, zeige V-Spannungen*

**UNIX :** **Pushbutton *Vspan***

Wurden vorher Vergleichsspannungen mit Z88D berechnet (dies ist nur für Kontinuumselemente 1, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19 und 20 möglich und sinnvoll), so können diese Vergleichsspannungen für die Gaußpunkte (Elemente 1,7,8,10,11 und 12) bzw. für die Elementschwerpunkte (Elemente 3 und 6) am Bildschirm oder Plotter sichtbar gemacht werden.

Das geht nur, wenn Sie bei *Struktur > Unverformt* angewählt haben. Ansonsten merkt sich Z88P, daß Sie Vergleichsspannungen plotten wollen und zeigt bzw. plottet diese, wenn Sie nach *> Zeige V-Spannungen* anschließend auf *Struktur > Unverformt* gehen.

Mit Menüfunktion *Zeige V-Spannungen* werden die mit Z88D berechneten Vergleichsspannungen bei Auswahl Plotter in eine Buchstabenskala von A bis J umgesetzt.

Bei Bildschirmausgaben Ausgabe in Form einer Farbskala. Diese Farbskala können Sie in Z88P.COL (Windows) oder Z88.FCD (UNIX) nach persönlichen Wünschen einstellen.

Genaue Spannungs-Ergebnisse der Ausgabedatei Z88O3.TXT entnehmen.

**ACHTUNG: Der Bediener ist dafür verantwortlich, das er bei Nutzung dieser Funktion eine Spannungsberechnung ausgeführt hat. Also vor Nutzung von Z88P einen FE- Lauf mit Z88F oder dem Iterationsolver und einen Spannungslauf mit Z88D laufen lassen. Sonst werden irgendwelche Files Z88O5.TXT (Spannungen) aus früheren Rechnungen angezogen !!**

Es gilt:

- Zuvor Spannungsberechnung mit Z88D. Dabei war im File Z88I3.TXT das Vergleichs-Spannungsflag ISFLAG 1, und für Elemente 1, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16 oder 17 war die Integrationsordnung INTORD in Z88I3.TXT ungleich 0.
- Kontinuums-Elemente vom Typ 1, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19 und 20.
- unverformter Zustand.

**Beachte:** Damit eine "schöne" Spannungsskala entsteht, sollten die Spannungswerte zwischen 0..100 oder 0..1000 liegen. Ggf. über Randbedingungen beim Rechnen steuern, auf echte Werte hoch- oder runterrechnen. Dies liegt daran, daß die Spannungsskala aus ganzzahligen Werten gebildet wird.

### **Autoskalieren:**

**Windows:**    *Autoscale > No Autoscale, Yes Autoscale*

**UNIX :**        **Pushbutton AutoS**

Die Autoscale-Funktion sorgt dafür, daß Strukturen vollständig auf den Bildschirm passen.

Sie wird beim Laden einer Struktur mit Datei > Strukturfile oder wenn kein File Z88P.STO vorhanden ist, automatisch aktiviert. Sie wird dann gleich wieder deaktiviert, daher steht der Haken dann auf No Autoscale. Ist dagegen ein File Z88P.STO vorhanden, werden die Faktoren aus diesem File gezogen. Sie können dann mit Autoscale > Yes Autoscale passend skalieren lassen. Sodann schaltet Autoscale sofort wieder auf No Autoscale. Autoscale > Yes Autoscale ist also eine Art Tipptaste. Das oben Gesagte gilt sinngemäß auch für UNIX.

## 2.7 DER CAD- KONVERTER Z88X

### 2.7.1 ÜBERBLICK Z88X

Der CAD- Konverter Z88X arbeitet in zwei Richtungen:

**I) Sie entwerfen Ihr Bauteil in einem CAD- System und erzeugen Z88- Daten.** Sie überziehen im CAD- System Ihr Bauteil mit einem FE- Netz oder einen Super- Strukturnetz nach bestimmten Regeln, die weiter unten folgen, definieren ggf. Randbedingungen und Elastizitätsgesetze. Sodann lassen Sie eine DXF- Datei von Ihrem CAD- System erzeugen und starten den CAD- Konverter Z88X. Damit sind die Z88- Eingabedateien erzeugt und Sie können mit der FE- Analyse beginnen.

#### Windows:

Z88X > Konvertierung > 4 von Z88X.DXF nach Z88I1.TXT

Z88X > Konvertierung > 5 von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT

Z88X > Konvertierung > 6 von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT

.. und > Berechnung > Start



#### UNIX :

z88x -i1fx (Z88X.DXF nach Z88I1.TXT, "i1 from x")

z88x -iafx (Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT, "i all from x")

z88x -nifx (Z88X.DXF nach Z88NI.TXT, "ni from x")

... oder den Z88-Commander mit der geeigneten Option für Z88X nutzen

**II) Sie konvertieren Z88- Eingabedateien in CAD- Daten.** Dies ist sehr interessant für schon existierende Z88- Datensätze, für Kontrollen, für Ergänzungen der FE- Struktur, aber auch zum Plotten der FE- Struktur via CAD- Programm.

### **Windows:**

Z88X, > Konvertierung > 1 von Z88II.TXT nach Z88X.DXF

Z88X, > Konvertierung > 2 von Z88I\*.TXT nach Z88X.DXF

Z88X, > Konvertierung > 3 von Z88NI.TXT nach Z88X.DXF

.. und > Berechnung > Start

### **UNIX :**

z88x -i1tx (Z88II.TXT nach Z88X.DXF, "i1 to x")

z88x -iatx (Z88I\*.TXT nach Z88X.DXF, "i all to x")

z88x -nitx (Z88NI.TXT nach Z88X.DXF, "ni to x")

... oder den Z88-Commander mit der geeigneten Option für Z88X nutzen

Da der Konverter *völlig kompatibel in beide Richtungen* ist, können Sie die Möglichkeiten I und II beliebig oft nacheinander ausführen. Sie werden keinen Datenverlust feststellen !

Damit ergibt sich eine höchst interessante Variante:

### **III) 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.

### **Welche CAD- Systeme können mit Z88 zusammenarbeiten ?**

Alle CAD- Systeme, die DXF- Dateien importieren und exportieren, also lesen und schreiben können. Garantie kann hier verständlicherweise nicht übernommen werden. Z88 V12 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!**

### **Die generelle Philosophie eines CAD- FEA- Datenaustausch:**

CAD- Dateien enthalten sog. ungerichtete Informationen. Es sind nichts weiter als Ansammlungen von Linien, Punkten und Texten, die auch noch obendrein in der Reihenfolge ihrer Erzeugung abgespeichert werden.

**Ein FEA- System braucht grundsätzlich gerichtete Informationen, die ein CAD- System per se nicht liefern kann.** Das FEA- System muß vereinfacht wissen, daß diese und jene Linien ein finites Element bilden und daß dazu diese und jene Punkte gehören. Das ist prinzipiell dann zu machen, wenn man im CAD- System in einer ganz fest vorgegebenen Reihenfolge konstruieren würde. Experimente zeigten, daß dies mit sehr einfachen Bauteilen auch darstellbar ist, bei komplexeren Bauteilen aber, und genau dann will man ja die FEA-Analyse einsetzen, in der Praxis nicht mehr durchführbar ist. Diese Problematik ist seit

langem bekannt und tritt beim Datenaustausch CAD- NC gleichfalls auf. Um dies halbwegs in den Griff zu bekommen, gibt es integrierte CAD- FEA- Systeme, die in den obersten Preisregionen angesiedelt sind. Ein denkbarer Ansatz ist, das CAD- System z.B. durch Zusatzmodule oder Makros derart zu erweitern, daß halbwegs nutzbare FEA- Daten erzeugt werden können. Dieser Weg wird häufig beschritten. Er hat den Nachteil, daß er nicht für beliebige CAD- Programme verwirklicht werden kann bzw. dann sehr unterschiedlich ausfällt, aber auch innerhalb derselben Herstellerfamilie versionsabhängig ist. Eine andere Variante unternimmt im CAD- System selbst nichts, hingegen enthält das FEA- System eine Art Mini- CAD- System, um die zunächst noch total unbrauchbaren CAD- Daten mit mitunter kräftiger Unterstützung des Bedieners FEA- gerecht aufzubereiten. Der Nachteil ist hier, daß der Bediener zwei CAD- Systeme beherrschen muß und das integrierte Mini- CAD- System nicht die Leistung des echten CAD- Systems bringt. Bei Z88 wird die Problematik wie folgt gelöst:

## **1: VOM CAD- SYSTEM NACH Z88:**

### **1.1 Im CAD- System:**

*Anmerkung: Dieser Punkt Fall 1.1 wird in Kapitel 2.7.2 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** .

### **1.2 In Z88: Starten des CAD- Konverters Z88X**

Sie können wählen, je nach Ihren Ausgangsdaten, ob

- eine Netzgeneratordatei Z88NI.TXT oder
- eine Datei der allgemeinen Strukturdaten Z88II.TXT oder
- ein vollständiger Z88- Datensatz mit Z88II.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT, ggf. Z88I5.TXT

generiert wird. Alles andere läuft automatisch.

### **1.3 In Z88: Starten der anderen Z88- Module**

Prüfen Sie von Z88X erzeugten Eingabedateien nochmals mit dem Filechecker Z88V.

Führen Sie die FEM- Analyse durch wahlweises Starten der verschiedenen Z88- Module:

- *Netzgenerator Z88N*
- *Plotprogramm Z88P*
- *Direkter Cholesky Solver Z88F*
- *Iterationssolver Z88I1/Z88I2*
- *Spannungs-Prozessor Z88D*
- *Knotenkraft-Prozessor Z88E*

## **2: VON Z88 ZUM CAD- SYSTEM**

### **2.1 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.

### **2.2 In Z88: CAD- Konverters Z88X starten**

Geben Sie an, welche Z88- Eingabedateien konvertiert werden sollen. Die von Z88X erzeugte DXF- Datei ist Z88X.DXF. Lagen die Eingabedateien in Polar- oder Zylinderkoordinaten vor, dann werden sie in kartesische Koordinaten umgerechnet.

### **2.3 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.

#### **2.7.2 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, Bemessungen 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 FEM- 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 FEM- 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.

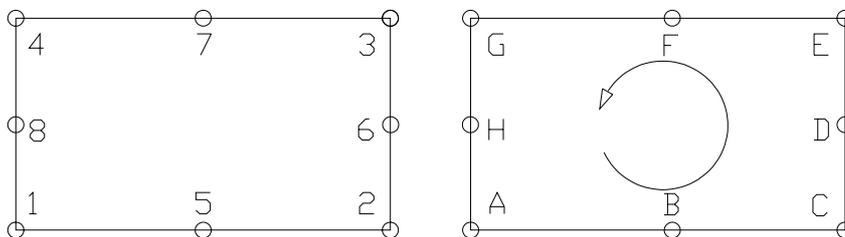
**Beginnen Sie beim ersten Element.** Das erste Element ist für Z88 das Element, mit dem Sie nun beginnen, also das Sie als erstes Element ausgesucht haben. Klicken Sie den Knoten an, der der erste Knoten des Elements sein soll (das kann global z.B. der Knoten 150 sein) und ziehen Sie eine Linie auf 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 nochmal 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.

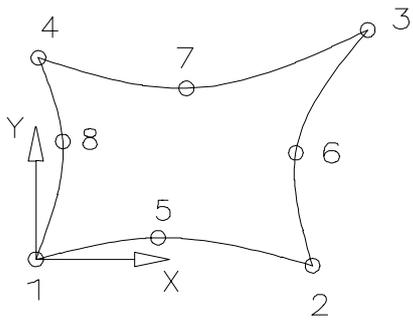
**Sie müssen folgende Umfahrungssinne einhalten, die für Ihren Komfort teilweise von denen abweichen, wie sie bei den Elementbeschreibungen angegeben sind. Z88X sortiert dann intern richtig.**

**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) :

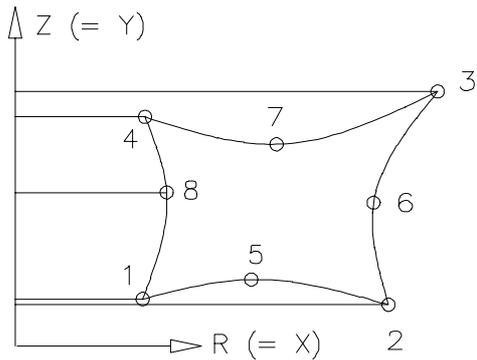


**Nachfolgend die CAD- Umfahrungssinne für alle Elemente außer Nr.16 und Nr.17 (diese Tetraeder lassen sich nur maschinen- erzeugen, von Hand ist das kaum möglich):**

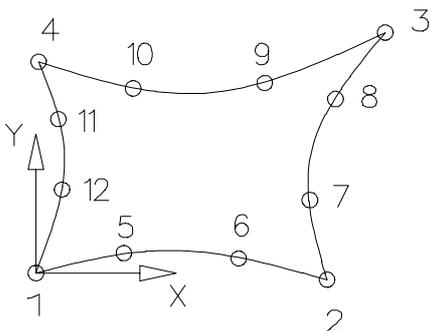
Element Nr.7 und Nr.20: 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1



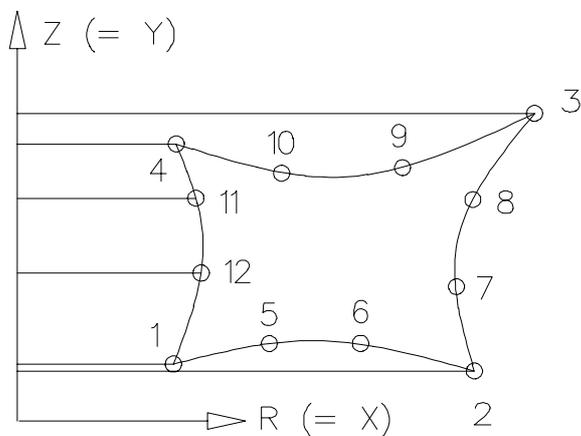
**Element Nr.8:** 1 - 5 - 2 - 6 - 3 - 7 - 4 - 8 - 1



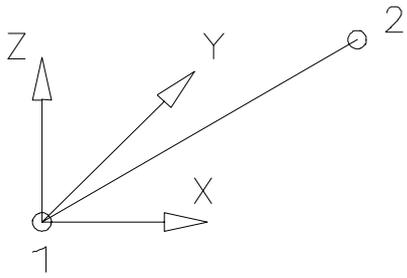
**Element Nr.11:** 1 - 5 - 6 - 2 - 7 - 8 - 3 - 9 - 10 - 4 - 11 - 12 - 1



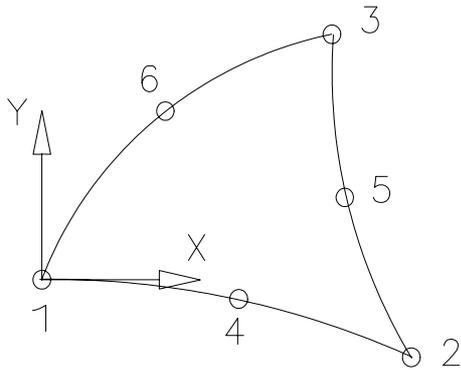
**Element Nr.12:** 1 - 5 - 6 - 2 - 7 - 8 - 3 - 9 - 10 - 4 - 11 - 12 - 1



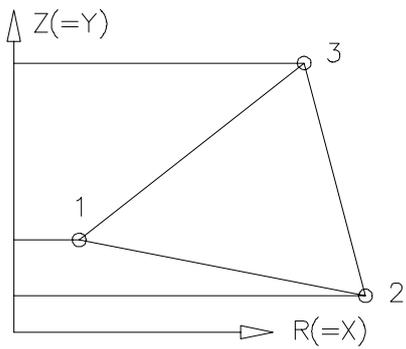
**Element Nr. 2, 4, 5, 9, 13:** Linie von Knoten 1 nach Knoten 2



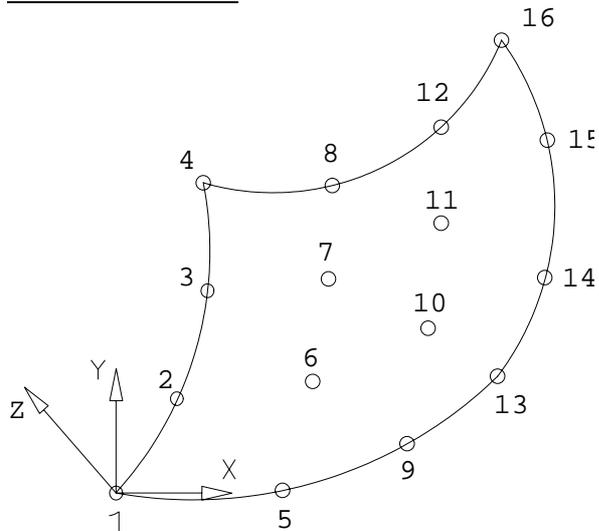
Elemente Nr.3, 14, 15 und 18: 1 - 4 - 2 - 5 - 3 - 6 - 1

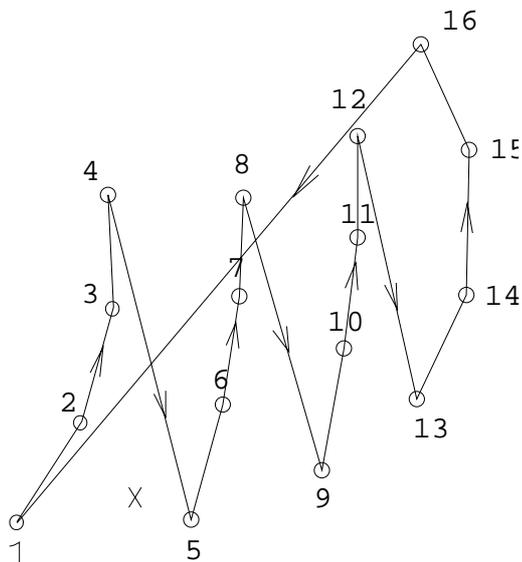


Element Nr.6: 1 - 2 - 3 - 1



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

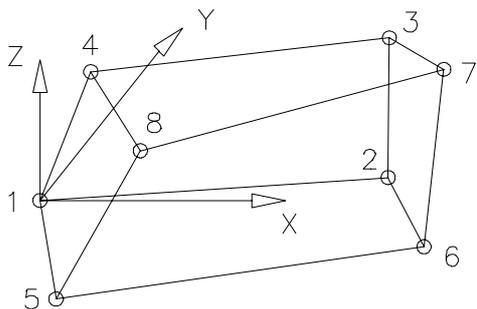
untere Fläche: 5 - 6 - 7 - 8 - 5, Linie beenden

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

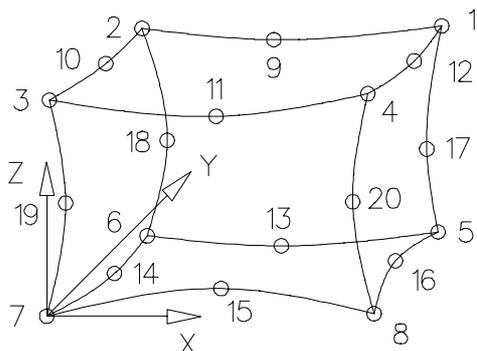
untere Fläche: 5 - 13 - 6 - 14 - 7 - 15 - 8 - 16 - 5, Linie beenden

1 - 17 - 5, Linie beenden

2 - 18 - 6, Linie beenden

3 - 19 - 7, Linie beenden

4 - 20 - 8, Linie beenden



**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)*

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)*

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 (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 Gausspunkten pro Element erfolgen, es sollen zusätzlich Radial- und Tangentialspannungen berechnet werden. Ferner sollen Vergleichsspannungen nach der Gestaltsänderungsenergie-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/mm<sup>2</sup>, die normal zur Fläche wirke, einer Tangentiallast in lokaler r-Richtung von 200 N/mm<sup>2</sup> und einer Tangentiallast in lokaler s-Richtung von 300 N/mm<sup>2</sup> belastet werden. Also: *FLA 34 356 100. 200. 300. 51 34 99 12*

**→ Hexaeder Nr.10:**

*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:**

*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, Z88N1.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 !

## 2.8 DER COSMOS- KONVERTER Z88G

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

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

Z88G ist entwickelt und getestet für Pro/ENGINEER von Parametric Technology, USA. Pro/ENGINEER muß die Option (den Zusatzmodul) Pro/MECHANICA enthalten. 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 harmonisieren 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 herauschreibt, 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 Z88P oder 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.

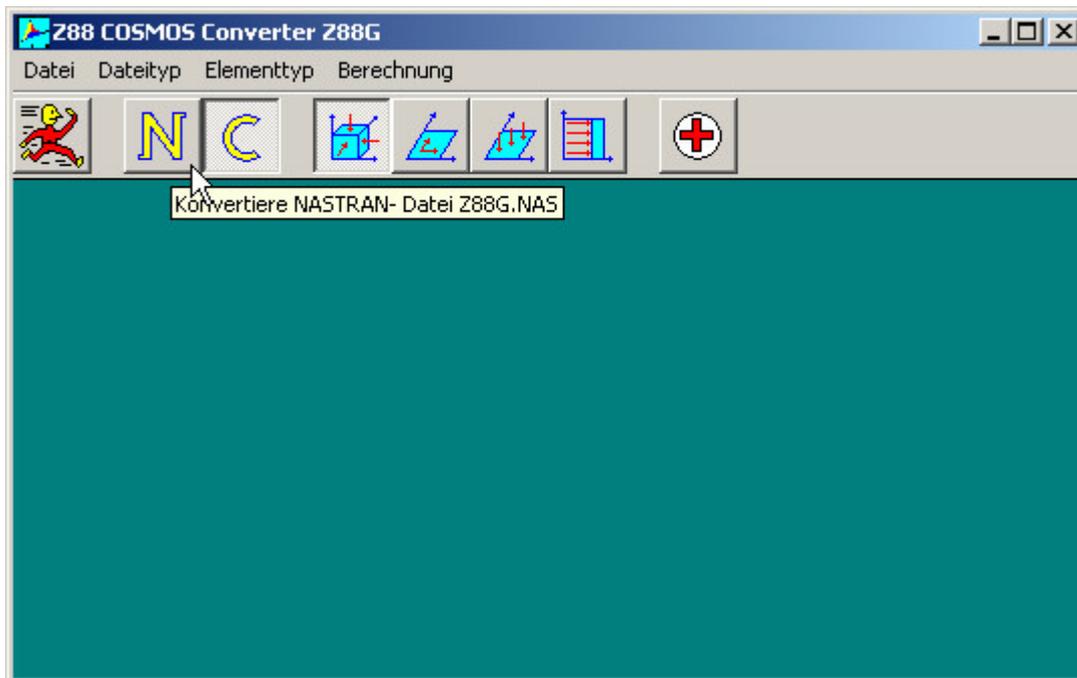
Bei Schwierigkeiten bei derartigen Datei-Konversionen beachten Sie bitte, daß sich diese FEA-Formate wie das NASTRAN-Format und deren Ausgabe aus Programmen wie Pro/ENGINEER fast im Vierteljahresrhythmus ändert. Sehen Sie ggf. auf unserer Website [www.z88.de](http://www.z88.de) nach, ob es neuere Versionen von Z88G gibt.

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> )

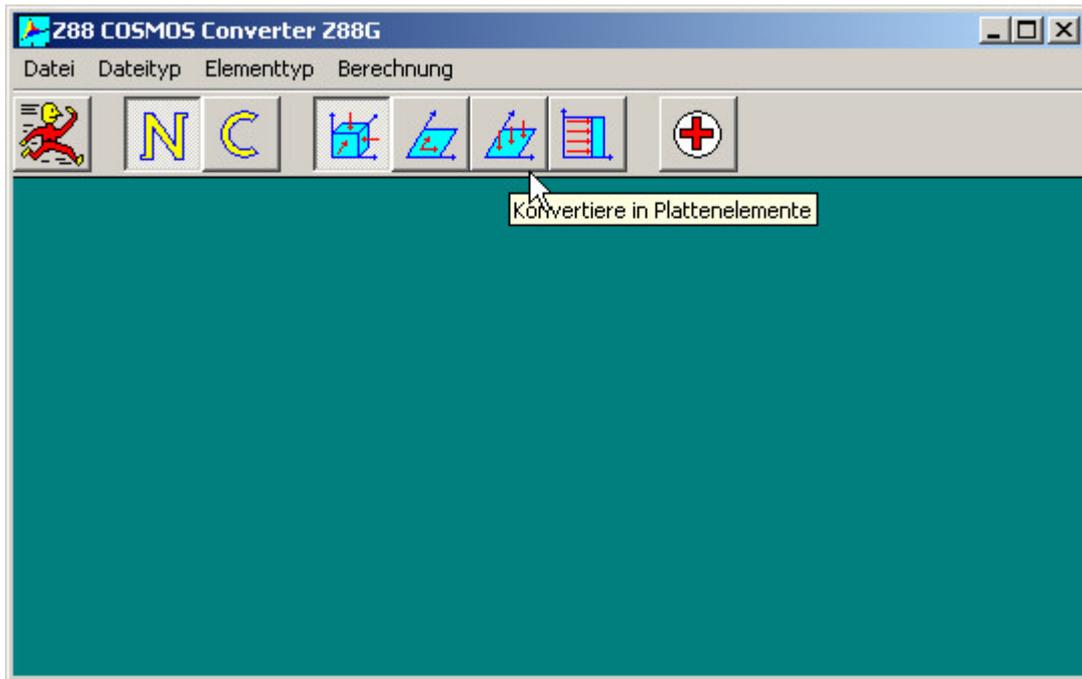
Bitte beachten Sie, daß der Konverter nur im Falle von NASTRAN-Dateien auch direkt Drucklasten aus Pro/ENGINEER übernehmen kann; es wird dann zusätzlich die Datei Z88I5.TXT für Strecken- und Flächenlasten generiert. Für COSMOS-Dateien ist dies nicht vorgesehen. Hier müssen Drücke über Einzelkräfte auf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



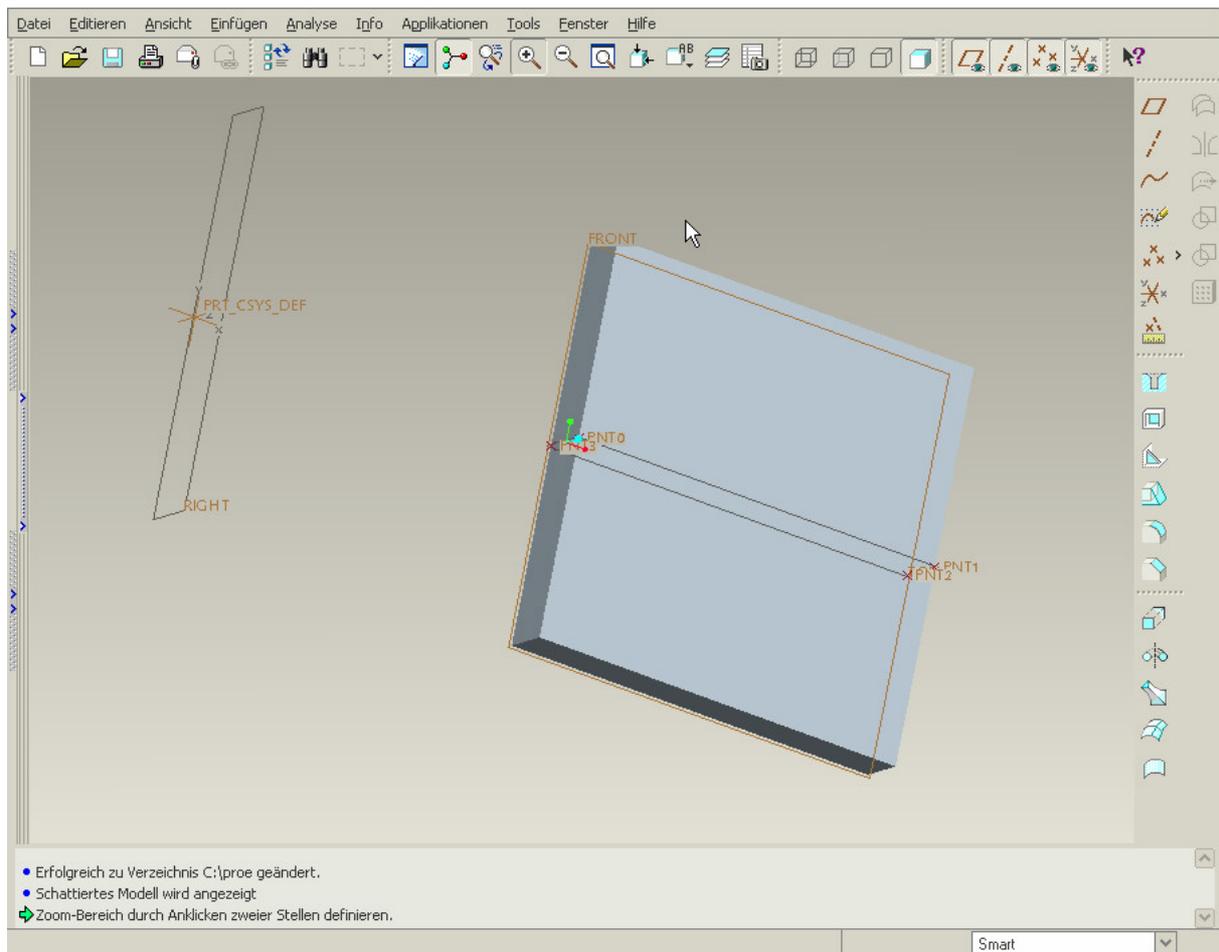
*(Wählen Sie vor dem Start den einzulesenden Datei-Typ aus. Bei UNIX geht das sinngemäß im Consolmodus)*

Im nächsten Schritt müssen Sie angeben, ob Volumenelemente, Scheiben, Platten 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. Bei UNIX geht das sinngemäß im Consolmodus)

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:



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

Beachten Sie: Diese Dateiformate, besonders das NASTRAN- Format, ändern sich fast täglich. Warum sollte man sie auch konstant lassen? Das COSMOS- Format ist stabiler, fehlt aber seit Pro/ENGINEER Wildfire. Leider. Sie sollten bei Pro/E- Versionen bis Pro/E- 2001 COSMOS- Dateien erzeugen und ab Wildfire NASTRAN- Dateien. Bei Pro/E- Versionen bis Pro/E- 2001 müssen Sie die erzeugten NASTRAN- Dateien überprüfen und ggf. korrigieren: Materialwerte werden als inkorrekte Gleitkomma-Zahlen wie z.B. 2.06+5 angegeben, ändern Sie solche Werte in das saubere Zahlenformat, hier entweder 206000. oder 2.06E+5.

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.

## 2.9 DAS CUTHILL- McKEE PROGRAMM Z88H

**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; beim Iterationssolver Z88I1/Z88I2 sind die Verbesserungen viel geringer, da der Iterationssolver durch seine Nicht- Nullelemente Speicherung hier a-priori sehr günstig ist.**

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 umnummeriert 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 tiefere 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 COSMOS-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.

Und so gehen Sie gezielt vor:

**1) Erstellen Sie ein FE- Netz**, also die Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und ggf. Z88I5.TXT. Das kann

- von Hand
- mit dem Z88- Netzgenerator Z88N (nur Z88I1.TXT, von Hand dann Z88I2.TXT und ggf. Z88I5.TXT erstellen)
- aus einem DXF- File mit Z88X
- aus einem COSMOS- File mit Z88G

generiert werden.

**2) Passen Sie ggf. Z88.DYN an:** Sehr wichtig ist hier der Wert von MAXKOI (Anzahl der Knoten pro Element \* Elementanzahl), ferner MAXK, MAXE und MAXNFG.

**3) Starten Sie Z88F mit der Testoption**, also

*Windows: Z88F > Mode > Testmode, Berechnung > Start*

*UNIX: z88f -t (Console) oder Z88F mit Option -T (Z88COM)*

Lesen Sie nun die Zahl für GS ab, also erforderliche Anzahl der Speicherplätze in der Gesamtsteifigkeitsmatrix (wenn Sie diese Zahl mit 8 multiplizieren, haben Sie den Speicherbedarf in Bytes).

**4) Starten Sie Z88H.**

**5) Wiederholen Sie Schritt 3**, d.h. Z88F mit Testoption, und prüfen Sie, ob GS kleiner geworden ist. Das kann sein, wenn Sie die Eingabefiles Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und ggf. Z88I5.TXT aus z.B. einem Pro/E-File mit Z88G gewonnen haben. Sonst wieder zurückspeichern, denn Ihre Ausgangsdateien wurden automatisch als Z88I1.OLD, Z88I2.OLD und ggf. Z88I5.OLD gesichert.

**6) Setzen Sie den Wert von GS in Z88.DYN als MAXGS ein** und starten Sie Z88F im Rechenmodus, also z.B.

*Windows: Z88F > Mode > Kompaktmode, Berechnung > Start*

*UNIX: z88f -c (Console) oder Z88F mit Option -C (Z88COM)*

### **Anmerkung:**

In der zentralen Steuerdatei Z88.DYN gibt es eine Sektion für Z88H:

**CUTKEE START**

**MAXGRA 200** (Maximaler Grad der Knotenpunkte)

**MAXNDL 1000** (Stufen des Algorithmus)

**CUTKEE END**

Diese Werte können bei sehr großen Strukturen erhöht werden.

## 2.10 DER FILECHECKER Z88V

Dieses Programm untersucht die Z88-Eingabefiles Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, (beide für die Solver Z88F und Z88I1/Z88I2), Z88I3.TXT (Steuerdatei für den Spannungsprozessor Z88D), Z88I4.TXT (Steuerdatei für den Iterationssolver Part 2: Z88I2), Z88I5.TXT (Flächen- und Streckenlasten für die Solver Z88F bzw. Z88I2) sowie das Netzgenerator-Eingabefile Z88NI.TXT (für den Netzgenerator Z88N) hinsichtlich Schreibfehlern und logischer Fehler. Es werden Cross-Checks ausgeführt, d. h. Z88I2.TXT, Z88I3.TXT und Z88I5.TXT werden erst untersucht, nachdem ein Check über Z88I1.TXT gelaufen ist.



(Windows- Version, bei der UNIX- Z88 läuft Z88V im Console- Modus)

Obwohl Z88V intern recht aufwendig ist und viele denkbare Fehlermöglichkeiten erkennt, gibt es hier wie bei Compilern Situationen, in denen Fehler nicht oder an anderer Stelle erkannt werden. Es wird in Warnungen und Fehler unterschieden. Bei Warnungen läuft Z88V direkt weiter oder fragt, ob weitergeprüft werden soll. Beim Aufspüren des ersten Fehlers wird Z88V gestoppt, da sonst meist daraus resultierende Folgefehler generiert werden. Ein erkannter Fehler muß also erst bereinigt werden.

Ein von Z88V als fehlerfrei erkanntes Eingabefile kann dennoch zu subtilen Fehlern beim späteren Programmlauf führen. Die Wahrscheinlichkeit ist allerdings einigermaßen gering. Diese Aussage bezieht sich auf formale Fehler: Inkonsistente Strukturen, falsche oder zuwenige Randbedingungen kann Z88V nicht erkennen !

### **HINWEIS:**

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

## 2.11 DAS OPENGL PLOTPROGRAMM Z88O

Mit dem OpenGL-Plotprogramm Z88O wird eine neue Dimension in Z88 eröffnet: Mit drei Lichtquellen beleuchtete Strukturen oder Hiddenline-Strukturen können unverformt oder verformt 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.

Z88O 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. Bei kommerziellen UNIX-Workstations ist OpenGL integraler Bestandteil. Achten Sie allerdings beim Compilieren darauf, daß die Libraries *libGLw* und *libGL* und sowie die Headerdateien *gl.h*, *glx.h* und *GlwMDrawA.h* vorhanden sind. Dies gilt auch für LINUX-Systeme; hier kann es aber je nach Grafikkarte manchmal Probleme geben. Das liegt dann nicht an Z88O, das wurde auf einer SGI als OpenGL-Referenzmaschine entwickelt. Aber mit neueren RedHat- und SuSE-Distributionen sollten Sie Z88O nach etwas Basteln zum Laufen bekommen. Falls es gar nicht funktioniert:

Das bewährte Plotprogramm Z88P, das mit der WinAPI bzw. der X11-Bibliothek arbeitet, bleibt weiterhin in Z88, vgl. Kap. 2.6.

Die Bildschirmfarben, Lichtquellen, Materialeigenschaften, der Polygonoffset u.a. können für Windows in der Datei Z88O.OGL eingestellt werden; für UNIX bestehen viel umfassendere Möglichkeiten in der Datei Z88.FCD, in der nicht nur Farben, Fonts und OpenGL-Steuerwerte, sondern auch die Größen und Lagen der Pushbuttons, Radioboxes etc. definiert sind. Sie können also bei UNIX das ganze Aussehen von Z88O ganz nach Ihren Wünschen anpassen. Seien Sie allerdings vorsichtig beim Ändern von Z88O.OGL (Windows) bzw. Z88.FCD (UNIX/LINUX): 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 Z88O.OGL bzw. Z88.FCD eingefügt, aber ich kann hier keine Einführung in OpenGL geben. Konsultieren Sie die beiden Bücher „OpenGL Programming Guide“ und „OpenGL Reference Manual“ des Addison-Wesley Verlags.

**Starten des Renderns:** Wenn Z88O angelaufen ist, ist OpenGL initialisiert. Das eigentliche Rendern starten Sie bei Windows mit dem Icon ganz links *Start frei* bzw. bei UNIX mit dem Pushbutton obere Reihe rechts *<Los>*.

<i>erford. Files:</i>	<i>Superstrukturen</i>	<i>unverformte FE- Str.</i>	<i>verformte FE-Strukturen</i>
Z88NI.TXT	ja	nein	nein
Z88I1.TXT	nein	ja	ja
Z88O2.TXT	nein	nein	ja
Z88O8.TXT	nein	ja, wenn Anzeige der Vergleichsspannungen	ja, wenn Anzeige der Vergleichsspannungen

**Besonderheiten des Renderns bei Z88O:** Um möglichst rasch zu arbeiten, verbindet Z88O lediglich die Eckpunkte, und diese auch nur mit geraden Linien, obwohl bei Serendipity-Elementen die Kanten der Elemente quadratische bzw. kubische Kurven sind. Der Rechenaufwand ist besonders bei beleuchteten Szenen ohnehin schon 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.

**Was können Sie mit Z88O anzeigen?** Eigentlich alles, wenn vorher ein Solver (Z88F oder Z88I1 mit Z88I2), der die Verformungsdatei Z88O2.TXT erzeugt, und dann der Spannungsprozessor Z88D, der die drei Spannungsdateien Z88O3.TXT (für Sie zum Ablesen der Spannungen), Z88O5.TXT (für Z88P) und Z88O8.TXT (für Z88O) erzeugt, gelaufen sind. 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 miteinrechnen müssen, was ein FEA-Programm naturgemäß bei einer *Gesamtstruktur* nicht kann.

**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 Gaußpunkten, wie dies Z88P realisiert. Dies ist bei OpenGL nicht 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 Gaußpunkten, die in der Nähe der jeweiligen Eckknoten liegen. Es werden die Spannungen für genau so viele Gaußpunkte 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 Z88P. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTORD in der Steuerdatei Z88I3.TXT haben keinen Einfluß, INTORD muß aber  $> 0$  sein.
2. *Vergleichsspannungen pro Element gemittelt.* Es werden die Spannungen in den Gaußpunkten im jeweiligen Element berechnet, aufsummiert und durch die Anzahl der Gaußpunkte geteilt. Dies ergibt eine mittlere Vergleichsspannung pro Element. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTORD in der Steuerdatei Z88I3.TXT haben jetzt Einfluß, INTORD muß  $> 0$  sein.

**Verschiebungsanzeige:** Sie können die Struktur unverformt oder verformt 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. Im Gegensatz zu Z88P können Sie die Spannungsanzeige oder die Verschiebungen für X, für Y oder für Z oder die Hiddenline-Darstellung auch bei verformter Struktur aufrufen.

### **Bedienungshinweise Zoomen, Verschieben und Rotieren:**

1. Sie können ohne irgendwelche Beschränkungen mit den Sondertasten (s.u.) bei Windows bzw. den Pushbuttons bei UNIX zoomen, verschieben und rotieren. Damit sollten Sie immer arbeiten, wenn Sie sehr stark zoomen, genau verschieben und definiert rotieren wollen. Dies ist der Standardmodus. Die Maussteuerung funktioniert jetzt nicht.
2. Sie können bei Z880 –im Gegensatz zu Z88P- auch mit der Maus arbeiten: Aktivieren Sie bei Windows das Maus-Icon bzw. bei UNIX den Pushbutton *Pushbu* (der dann auf *Maus* wechselt): Jetzt können Sie
  - mit Maustaste links gedrückt zoomen
  - mit Maustaste Mitte gedrückt verschieben
  - mit Maustaste rechts gedrückt rotieren

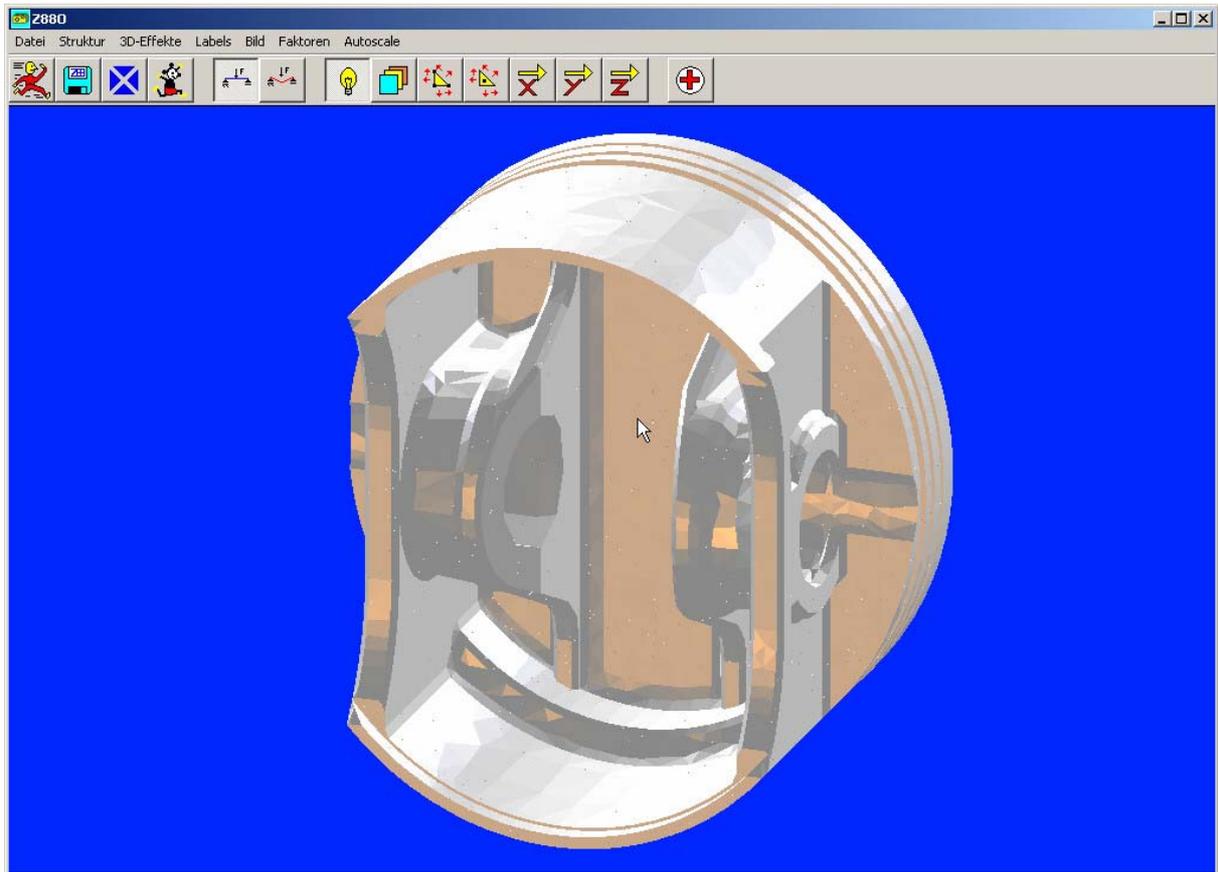
Diese Option verwenden Sie für eingeschränkte Zoom- und Verschiebebereiche sowie für schnelles, aber unpräzises Drehen. Sie könnten jetzt auch mit den Tasten gemäß 1. zusätzlich arbeiten, aber diese gemischte Arbeitsweise ist nicht vorgesehen und kann zu unvorhersehbaren Ergebnissen führen. Das liegt daran, daß in Z880 unterschiedliche Berechnungen für beide Modi verwendet werden.

### **Tasten- Sonderfunktionen bei Windows:**

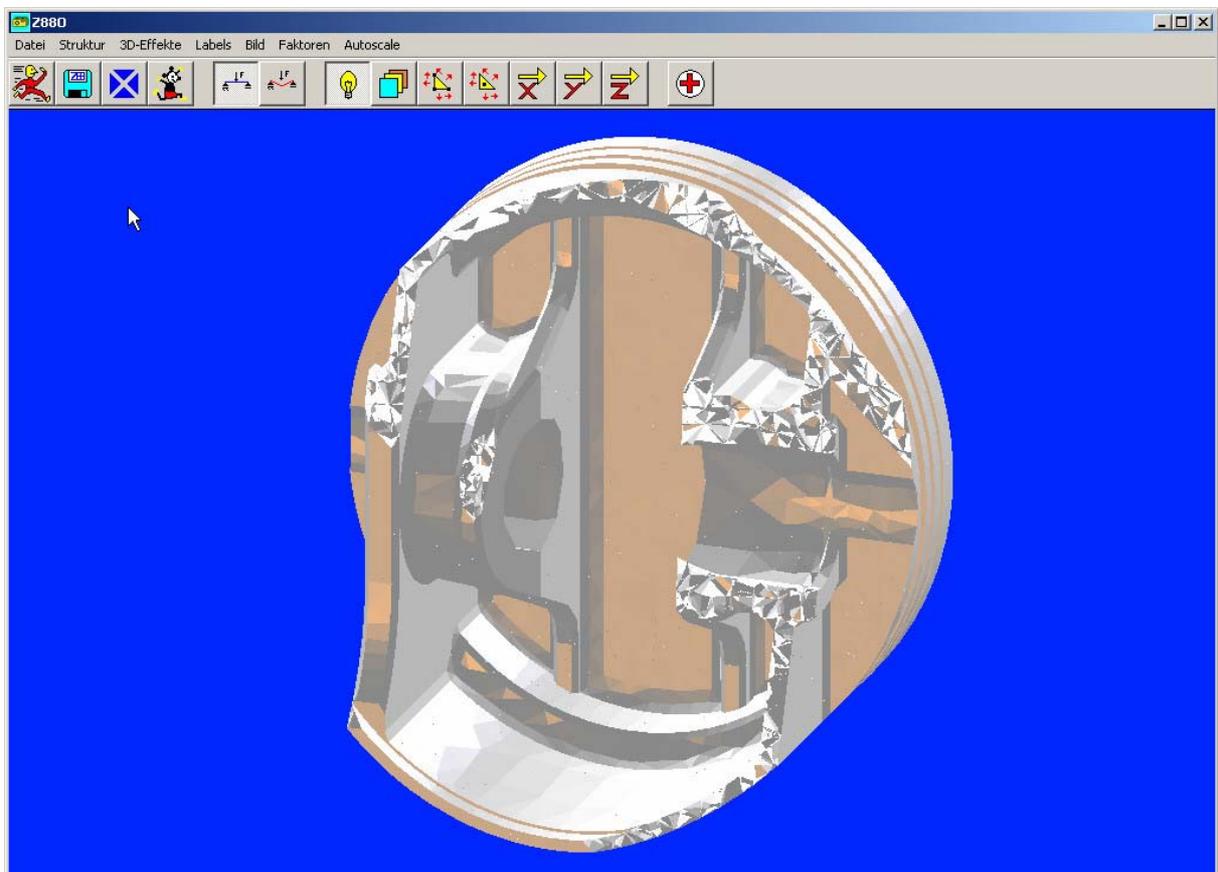
BILD HOCH	: Zoom stärker
BILD RUNTER	: Zoom geringer
CURSOR LINKS	: Struktur in X-Richtung schieben
CURSOR RECHTS	: Struktur in X-Richtung schieben
CURSOR HOCH	: Struktur in Y-Richtung schieben
CURSOR RUNTER	: Struktur in Y-Richtung schieben
POS1	: Struktur in Z-Richtung schieben
ENDE	: Struktur in Z-Richtung schieben
F2	: Struktur um X-Achse rotieren
F3	: Struktur um X-Achse rotieren
F4	: Struktur um Y-Achse rotieren
F5	: Struktur um Y-Achse rotieren
F6	: Struktur um Z-Achse rotieren
F7	: Struktur um Z-Achse rotieren
F8	: Rotationen um X,Y und Z auf 0 setzen

**Bei UNIX** gelten die üblichen X- bzw. Motif- Tastendefinitionen, also TAB, dann Pfeiltasten zum Anwählen und Leertaste zum Aktivieren.

**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 herschieben, 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. Wenn Sie das nicht wollen, verändern Sie den Wert von  $Z_{min}$  (Standardwert ist  $-100$ ) zu kleineren Werten, z.B. zu  $-1000$ : Bei Windows im Menü *Faktoren > Z-Limit zum Betrachter*, bei UNIX das Textfeld „Zlimit“ rechts unten. Die folgenden Bilder stellen den Sachverhalt dar:



Windows: Kolben eines BMW-Motorradmotors, Zlimit auf Standardwert  $-100$ .



Windows: Kolben eines BMW-Motorradmotors, Zlimit auf  $-10$  gesetzt: Kolben halb geschnitten.

## Erläuterung einiger Menüpunkte:

### Name der Strukturdatei:

Windows : *Datei > Strukturfile* oder das Disketten-Icon  
UNIX : *Stru.* , Textfeld direkt auf Window

Hier wird das Strukturfile gewählt. Namen, ggf. mit Pfad, eingeben, RETURN. Die neue Struktur wird geladen. Das eigentliche Rendern starten Sie bei Windows mit dem Icon ganz links *Start frei* bzw. bei UNIX mit dem Pushbutton obere Reihe rechts *<Los>*.

### Verformungszustand der Struktur:

Windows: *Struktur > Unverformt, Verformt* oder die entsprechenden Icons  
UNIX : Radiobox *Unverfo.* bzw. *Verformt*

Zeichnen der Struktur unverformt oder verformt. Sie können alle sonstigen Render-Operationen mit der unverformten oder auch der verformten Struktur durchführen.

**ACHTUNG** Struktur Verformt: Der Bediener ist dafür verantwortlich, daß er bei Nutzung dieser Funktion eine Verschiebungsrechnung ausgeführt hat. Also vor Nutzung von Z880 einen FE- Lauf mit Z88F oder dem Iterationssolver laufen lassen. Sonst werden irgendwelche Files Z8802.TXT (Verschiebungen) aus früheren Rechnungen angezogen !

### Wahl der 3D-Effekte:

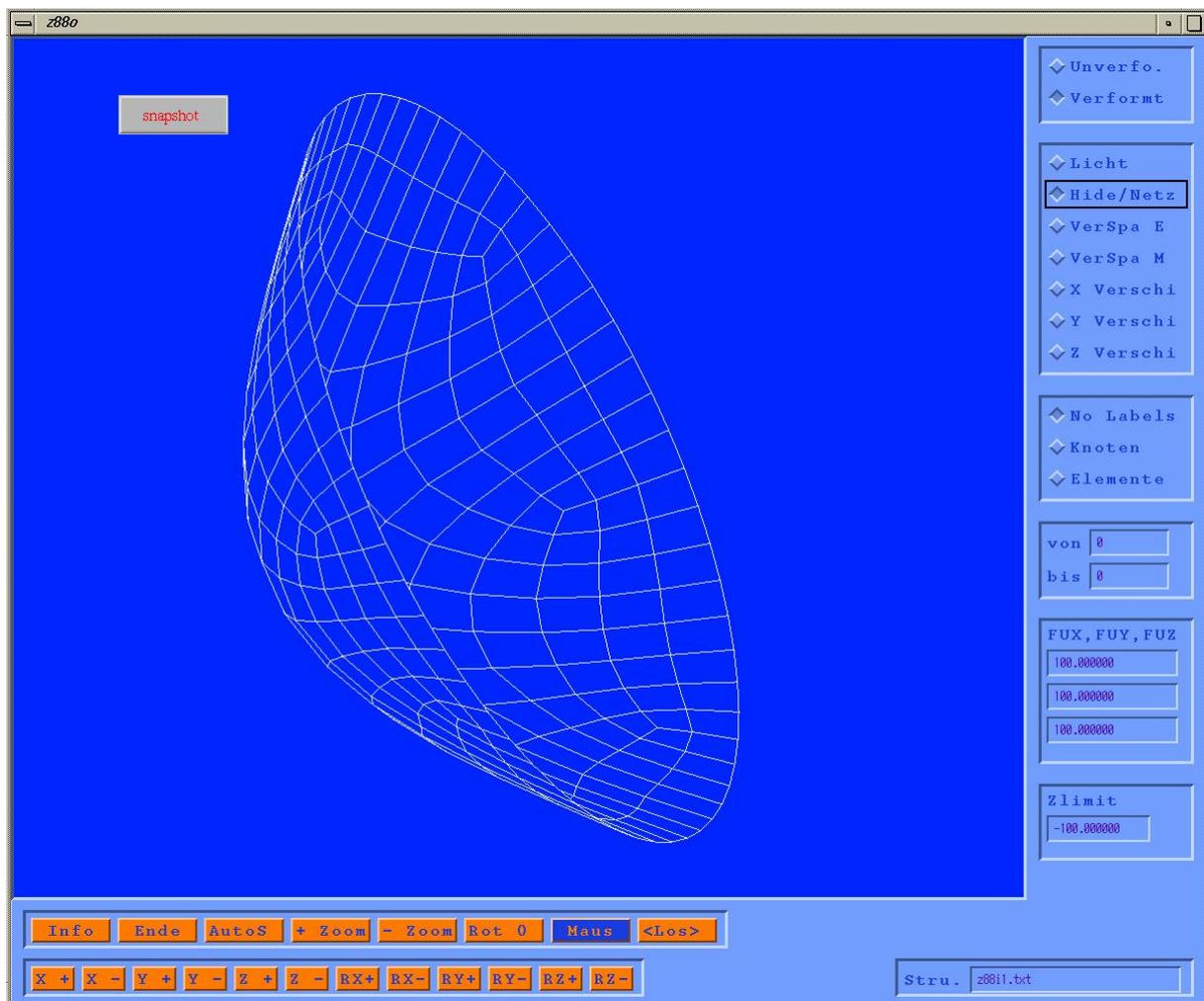
Windows: *3D-Effekte >* 1. *Licht an*,  
2. *Hidden Line an*,  
3. *V-Spannungen (Eckknoten)*,  
4. *V-Spannungen (Elemente)*,  
5. *X-Verschiebungen an*,  
6. *Y-Verschiebungen an*,  
7. *Z-Verschiebungen an*  
oder die entsprechenden Icons

UNIX : Radiobox 1. *Licht*,  
2. *Hide/Netz*,  
3. *VerSpa E*,  
4. *VerSpa M*,  
5. *X-Verschi*,  
6. *Y-Verschi*,  
7. *Z-Verschi*

1. Die Struktur wird mit drei Lichtquellen beleuchtet. Die Eigenschaften der Lichtquellen können in den Steuerdateien Z880.OGL (Windows) und Z88.FCD (UNIX) verändert werden.
2. Es wird bei Raumstrukturen das FE-Netz mit verdeckten Linien gerendert oder bei 2D-Strukturen das reine FE-Netz gezeichnet (da kann man nichts verdecken). Nur in diesem Modus können Sie *alle* gewünschten Knoten- und Elementlabels auch sehen. Der Polygonoffset kann in den Steuerdateien Z880.OGL (Windows) und Z88.FCD (UNIX) verändert werden.

3. Es werden die Vergleichsspannungen in den Eckknoten angezeigt. In Wirklichkeit werden die Spannungen nicht in den Eckknoten berechnet, sondern in Gaußpunkten, die in der Nähe der jeweiligen Eckknoten liegen. Es werden die Spannungen für genau so viele Gaußpunkte 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 Z88P. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTORD in der Steuerdatei Z88I3.TXT haben keinen Einfluß, INTORD muß aber > 0 sein.
4. Es werden die Vergleichsspannungen, pro Element gemittelt, gezeigt. Es werden die Spannungen in den Gaußpunkte im jeweiligen Element berechnet, aufsummiert und durch die Anzahl der Gaußpunkte geteilt. Dies ergibt eine mittlere Vergleichsspannung pro Element. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTORD in der Steuerdatei Z88I3.TXT haben jetzt Einfluß, INTORD muß > 0 sein.
5. Anzeige der Verschiebungen für X farblich abgestuft
6. Anzeige der Verschiebungen für Y farblich abgestuft
7. Anzeige der Verschiebungen für Z farblich abgestuft

Für die Pos. 3. bis 7. kann die Farbskala in in den Steuerdateien Z88O.OGL (Windows) und Z88.FCD (UNIX) verändert werden.



UNIX: Hiddenline- Darstellung einer verformten Platte, Maussteuerung eingeschaltet.

### **Zeichnen der Knoten- und Elementnummern:**

Windows: *Labels > No Labels, Knoten, Elemente*  
UNIX : *Radiobox No Labels, Knoten, Elemente*

Labels = Plotten von Knotennummern oder Elementnummern. Im Gegensatz zu Z88P können Sie hier jeweils Bereiche *von-bis* angeben, z.B. plote die Knotennummern von 11 bis 19 oder plote das Element 3, d.h. von 3 bis 3. Z88O merkt sich Ihre Einstellungen, auch wenn Sie zwischenzeitlich wieder auf *No Labels* zurückgehen. Achten Sie bei UNIX bzw. LINUX darauf, daß, wenn Sie ein Textfeld ausgefüllt haben, Sie dann gleich die Return-Taste drücken, damit der Wert auch übernommen wird. Das ist keine Z88O-Eigenheit, sondern das normale Verhalten von Motif- Textfeldern.

Beachten Sie, daß Sie nur alle gewünschten Labels auf der Oberfläche gerendert bekommen, wenn Sie bei den 3D-Effekten im Hiddenline- Modus sind. Bei allen anderen Modi werden die Labels teilweise verdeckt. Und Labels im Inneren eines räumlichen Körpers kann man normalerweise ohnehin nicht sehen, weil sie von den Tetraeder- und Hexaederflächen verdeckt werden. Daher schaltet Z88O dann den Hiddenline- Modus aus – Sie sehen dann das Netz ohne verdeckte Linien wie bei Z88P. Sobald Sie wieder auf *No Labels* gehen, wird wieder mit verdeckten Linien gearbeitet.

### **Vergrößern - Verkleinern (Zoomen):**

Windows: *Tasten BILD HOCH und BILD RUNTER*  
UNIX : *Pushbuttons Zoom+ und Zoom-*  
Bei Maussteuerung aktiv: *linke Maustaste gedrückt*

### **Verschieben (Panning):**

Windows: *X: CURSOR LINKS und CURSOR RECHTS*  
*Y: CURSOR HOCH und CURSOR RUNTER*  
*Z: POS 1 und ENDE*  
UNIX : *Pushbuttons X+, X-, Y+, Y-, Z+, Z-*  
Bei Maussteuerung aktiv: *mittlere Maustaste gedrückt*

### **Rotieren:**

Windows: *Faktoren > Rotationen*  
Die Rotationen um X, Y und Z werden mit *Faktoren > Rotationen* definiert: ROTX, ROTY und ROTZ. Standardwerte je 0. Mit den Tasten F2..F7 kann in 10-Grad Sprüngen gedreht werden.  
UNIX : *Pushbuttons RX+, RX-, RY+, RY-, RZ+, RZ-*  
Drehung in 10 Grad Schritten. Pushbutton *Rot 0* setzt sie zurück.  
Bei Maussteuerung aktiv: *rechte Maustaste gedrückt*

### **Vergrößern der Verschiebungen:**

Windows: *Faktoren > Verschiebungen > FUX, FUY, FUZ*  
UNIX : *Textfelder FUX, FUY und FUZ*

Vergrößern der Verschiebungen erfolgt bei Windows mit *Faktoren > Verschiebungen* : *FUX*, *FUY* und *FUZ*. Standardwerte je 100. Achtung UNIX: Wie bei UNIX üblich, greifen die Änderungen nur bei einem jeweiligen RETURN.

### **Anmerkungen Vergleichsspannungen:**

Windows:     *3D-Effekte > Vergleichsspannungen (Eckknoten)* bzw. Icon Nr. 9 von links  
              *3D-Effekte > Vergleichsspannungen (Elemente)* bzw. Icon Nr. 10 von links  
UNIX :        Radiobutton *VerSpa E*           (= Eckknoten)  
              Radiobutton *VerSpa M*       (= Mittelwert pro Element)

Wurden vorher Vergleichsspannungen mit Z88D berechnet (dies ist für alle Elemente außer den Balken Nr.2, Nr.13 und den Wellen Nr.5 möglich und sinnvoll), so können diese Vergleichsspannungen entweder in den Eckknoten oder als Mittelwert je Element angezeigt werden. Und bevor Sie den Spannungsprozessor Z88D laufen ließen, mußten Sie davor die Verschiebungen mit Z88F oder dem Iterationssolver berechnen. Die Reihenfolge ist also:

1. Cholesky Solver Z88F oder Iterationssolver Z88I1 und Z88I2
2. Spannungsprozessor Z88D
3. Z88O, falls Sie Spannungen plotten wollen

*Vergleichsspannungen in den Eckknoten:* Die Spannungen werden tatsächlich berechnet in Gaußpunkten, die in der Nähe der jeweiligen Eckknoten liegen. Es werden die Spannungen für genau so viele Gaußpunkte berechnet, wie Eckknoten vorhanden sind. Da meist an einen Knoten mehrere Elemente anschließen, werden diese Spannungen dann noch gemittelt über alle anschließenden Elemente. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTORD in der Steuerdatei Z88I3.TXT haben keinen Einfluß, INTORD muß aber > 0 sein.

*Vergleichsspannungen, Mittelwert pro Element.* Es werden die Spannungen in den Gaußpunkten im jeweiligen Element berechnet, aufsummiert und durch die Anzahl der Gaußpunkte geteilt. Dies ergibt eine mittlere Vergleichsspannung pro Element. Die Einstellungen hinsichtlich der Integrationsordnung INTORD in der Steuerdatei Z88I3.TXT haben jetzt Einfluß, INTORD muß > 0 sein. Beispiel: Wenn Sie bei Hexaedern Nr.10 für INTORD 3 angeben, denn werden die Vergleichsspannungen in  $3 \times 3 \times 3 = 27$  Gaußpunkten berechnet, aufsummiert und dann durch 27 geteilt.

Die Ausgabe erfolgt in Form einer Farbskala. Diese Farbskala können Sie in Z88O.OGL (Windows) oder Z88.FCD (UNIX) nach persönlichen Wünschen einstellen. Natürlich auch die Fonts bei UNIX – da müssen Sie je nach System etwas experimentieren, bis es gefällig aussieht. Diese Anpassungen machen Sie einmalig.

Zuvor muß eine Spannungsberechnung mit Z88D erfolgen. Dabei war im File Z88I3.TXT das Vergleichs- Spannungsflag *ISFLAG 1* und die Integrationsordnung *INTORD > 0*. Genaue Spannungs-Ergebnisse der Ausgabedatei Z88O3.TXT entnehmen.

**ACHTUNG:** Der Bediener ist dafür verantwortlich, das er bei Nutzung dieser Funktionen eine Spannungsberechnung ausgeführt hat. Davor mußten Sie Verformungen mit Z88F oder dem Iterationssolver berechnen. Also vor Nutzung von Z88O einen Spannungs-Lauf mit Z88D ausführen. Sonst werden irgendwelche Files Z88O8.TXT (Spannungen) aus früheren Rechnungen angezogen !

### **Autoskalieren:**

Windows:     *Autoscale > No Autoscale, Yes Autoscale* bzw 3.Icon von links  
UNIX :        Pushbutton *AutoS*

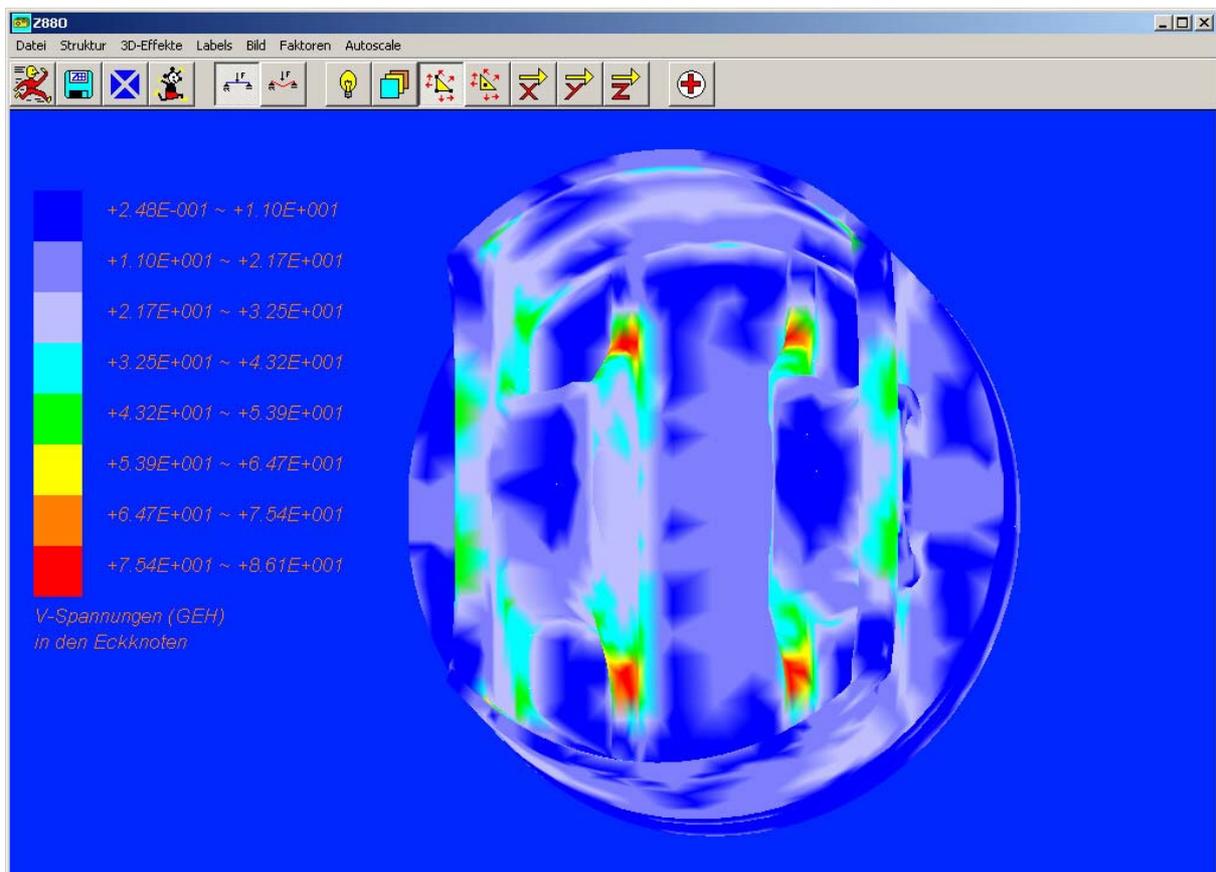
Die Autoscale-Funktion sorgt dafür, daß Strukturen vollständig auf den Bildschirm passen.

Sie wird beim Laden einer Struktur mit *Datei > Strukturfile* automatisch aktiviert. Sie wird dann gleich wieder deaktiviert, daher steht der Haken dann auf *No Autoscale*. Sie können dann mit *Autoscale > Yes Autoscale* passend skalieren lassen. Sodann schaltet Autoscale sofort wieder auf *No Autoscale*. *Autoscale > Yes Autoscale* ist also eine Art Tiptaste. Das oben Gesagte gilt sinngemäß auch für UNIX.

### Höhen- Seitenverhältnis FYCOR:

Windows: Datei Z880.OGL  
 UNIX : Datei Z88.FCD

Das Höhen- Seitenverhältnis zur Monitoranpassung kann verändert werden. Dazu gibt es in den Dateien Z880.OGL (Windows) bzw. Z88.FCD den Wert FYCOR. Laden Sie eine kreisrunde oder quadratische Struktur und verändern Sie FYCOR, bis die Struktur auf Ihrem Monitor genau rund oder quadratisch dargestellt wird. Beachten Sie, daß der Wert FYCOR beim Start von Z880 geladen wird, sodaß Sie nach Veränderung dieses Wertes Z880 neu starten müssen, um eine Änderung zu sehen. Diese Anpassung brauchen Sie nur ein einzigesmal zu machen.



Windows: Anzeige der Vergleichsspannungen in den Eckknoten bei einem BMW-Motorradkolben.

## 3 EINGABE-DATEIEN ERZEUGEN

### 3.1 ALLGEMEINES

Z88 arbeitet mit folgenden Dateien:

#### 1. Eingabefiles:

- *Z88I1.TXT* (allgemeine Strukturdaten, Koordinaten, Koinzidenz, E-Gesetze)
- *Z88I2.TXT* (Randbedingungen und Belastungen)
- *Z88I3.TXT* (Steuerparameter für Spannungsprozessor Z88D)
- *Z88I4.TXT* (Steuerparameter für den Iterationssolver Z88I1/Z88I2)
- *Z88I5.TXT* (Strecken- und Flächenlasten, wenn vorhanden)
- *Z88NI.TXT* (Eingabefile des Netzgenerators)

Diese Eingabedateien erzeugen Sie mit Ihrem CAD- Programm und dem DXF- Konverter Z88X bzw. dem COSMOS- Konverter Z88G oder erstellen sie mit einem Editor (z.B. *EDIT* oder *Notepad* von Windows, *vi*, *emacs*, *joe* bei UNIX) oder Textverarbeitungsprogramm (z.B. *Wordpad* oder *Word* für Windows bei Windows). Sie können auch in andere Programme integrierte Editoren nutzen, z.B. die Programm-Editoren von Compilern. Bei Textverarbeitungssystemen müssen Sie darauf achten, daß Sie reine ASCII- Texte erzeugen, also ohne verdeckte Steuerzeichen... jedes Textverarbeitungsprogramm hat eine solche Option. Warum stellen Sie selbst den Editor bei (wenn Sie nicht mit CAD arbeiten wollen oder können)?

Damit Sie mit dem Editor/Textverarbeitungsprogramm arbeiten, mit dem Sie vertraut sind.

**Näheres zu den Eingabefiles siehe Abschnitte 3.2 ff.**

#### 2. Ausgabefiles:

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

Die Files *Z88O5.TXT* und *Z88O8.TXT* sind kein reguläres Z88- Ausgabefile. Sie werden intern für die Plotprogramme Z88P bzw. Z88O genutzt. Sie werden als ASCII-Files abgelegt, damit ggf. fortgeschrittene Benutzer sie für eigene Routinen nutzen können.

Das Plotprogramm Z88P erzeugt auf Wunsch eine HP-GL- Datei, also eine Plotterdatei, die standardmäßig *Z88O6.TXT* heißt. Andere Dateinamen sind möglich.

#### 3. Binärfiles:

Diese Files werden intern genutzt und sind nicht editierbar. Sie dienen dem schnellen Datenaustausch zwischen Z88- Modulen.

- *Z8801.BNY*
- *(Z8802.BNY wird in der aktuellen Z88 Version 12 nicht mehr genutzt)*
- *Z8803.BNY*
- *Z8804.BNY (wird vom Iterationssolver für interne Kommunikation verwendet)*

Warum Arbeiten mit Dateien ? Ist das nicht veraltet und geht das "interaktiv" nicht alles einfacher ? Z88 ist fortschrittlich als offenes, transparentes System im Sinne der UNIX-Philosophie konzipiert: Mehrere, kompakte Module kommunizieren über Dateien miteinander.

- Es ist ein **Maximum an Speicher** für die FE- Daten **nutzbar**, da immer nur relativ kleine, kompakte Programme ins RAM geladen werden.
- Durch die offene Struktur ist Z88 sehr flexibel und anpaßbar. **Eigenes Pre- und Postprozessing sind kompromißlos möglich.** Sie können die Eingabedateien durch kleine, selbstgeschriebene Vorprogramme erzeugen lassen (ein solches Vorprogramm ist der Netzgenerator Z88N) oder die Datenauswertung durch andere Programme: z.B. können Sie Z88- Ausgabedateien relativ leicht in EXCEL laden und dort analysieren.
- Jedes FEM- Programm kann, wie auch Z88, 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.
- 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 von Ihrem Editor !

#### **Abwärtskompatibilität:**

Z88 V8.0, V8.0A, V8.0B, V9.0, V9.0B, V10.0 und V11.0 - Dateien sind kompatibel, wenn ggf. noch das Plattenflag und das Flächenlastflag eingebaut werden.

Eingabefiles, die für Z88- Versionen *früher als* Z88 V8.0 bestimmt waren, können von Z88 V12.0 nicht ohne weiteres verarbeitet werden, da sich Änderungen in den Sektionen "Koinzidenz" und "Elastizitätsgesetze" für Z88I1.TXT und Z88NI.TXT ergeben haben. Die Eingabedateien Z88I2.TXT und Z88I3.TXT haben dasselbe Format wie ältere Versionen. Die Balkenparameter- Datei Z88I4.TXT ist nun ersatzlos weggefallen und hat als Z88I4.TXT in der Version 12 eine völlig andere Bedeutung. Neu ist die Strecken- und Flächenlastdatei Z88I5.TXT.

#### **Regeln für Werte- Angaben:**

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.

### **Eingabefiles immer vor Rechenlauf mit Z88V checken.**

Z88V prüft auf formale Richtigkeit der Eingabedateien. Falsche oder unsinnige Strukturen und Randbedingungen kann es kaum erkennen. Prüfen Sie bei Fehlermeldungen oder gar Programmabbrüchen von Z88:

- Sind die Dateien wirklich reine Textdateien, also im ASCII-Format ? Oder wurden durch Ihr Textprogramm Steuerzeichen unbemerkt hinzugefügt ?
- Sind die Dateien in der letzten Zeile mit einem Return abgeschlossen ?
- Ist MAXKOI in Z88.DYN groß genug ? Setzen Sie es im Zweifelsfall auf 1000000 oder noch höher.
- Ist Ihre Struktur statisch bestimmt oder statisch beliebig überbestimmt ? Oder ist sie doch unterbestimmt, d.h. es fehlen Randbedingungen. Kann besonders leicht bei Balken Nr.2 und Nr.13 sowie Welle Nr.5 passieren.
- Ist die Koinzidenzliste korrekt aufgestellt ? Besonders Hexaeder Nr.10 ist sehr empfindlich hinsichtlich falscher Numerierung.
- Plotten Sie die Eingangsstruktur mit Z88O oder Z88P. Wenn da nichts Vernünftiges kommt, kann der Rest kaum besser werden !
- Machen Sie grundsätzlich eine Überschlagsrechnung ! Sind die berechneten Verformungen abnormal groß ? Dann ganz genau die Randbedingungen prüfen !
- Und für UNIX: Sind alle Zugriffsrechte richtig gesetzt ? Auch für die .LOG Dateien ? Führen Sie ein *chmod 777* aus !
- Z88 Eingabedateien haben für Windows und UNIX den gleichen Aufbau. Sie können ohne Einschränkung UNIX- Dateien in Windows laden und umgekehrt. Aber haben Sie die geeigneten Konversionen vorgenommen ? Windows terminiert Zeilen mit einem CR/LF, UNIX aber nur mit einem LF. Bei vielen UNIX- Systemen gibt es die Konverter *unix2dos* und *dos2unix*.

## 3.2 ALLGEMEINE STRUKTURDATEN Z88II.TXT

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte Integerzahl

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

### 1. Eingabegruppe, d.h. erste Zeile, enthält:

*Dimension der Struktur (2 oder 3)*

*Anzahl Knoten der Struktur*

*Anzahl Elemente*

*Anzahl Freiheitsgrade*

*Anzahl Elastizitätsgesetze*

*Koordinatenflag KFLAG ( 0 oder 1)*

*Balkenflag IBFLAG (0 oder 1)*

*Plattenflag IPFLAG (0 oder 1)*

*Flächenlastflag IQFLAG (0 oder 1)*

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

#### **Erläuterung KFLAG:**

Bei Eingabe von 0 werden die Koordinaten orthogonal- kartesisch erwartet, dagegen werden bei Eingabe von 1 Polar- oder Zylinderkoordinaten erwartet, die sodann in kartesische Koordinaten umgewandelt und in dieser Form dann in Z88O0.TXT gestellt werden. Achtung: Die axialsymmetrischen Elemente 6, 8, 12 und 15 erwarten a-priori Zylinderkoordinaten, hier KFLAG zu 0 setzen !

#### **Erläuterung 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*

#### **Erläuterung 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.**

### **Erläuterung 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.

- Folgende ebene Kontinuums-elemente können Streckenlasten verarbeiten: Scheiben Nr.7, 11 und 14, Toruselemente Nr.8, 12 und 15.
- Folgende räumliche Kontinuums-elemente können Flächenlasten verarbeiten: Hexaeder Nr.1 und 10 sowie Tetraeder Nr.16 und 17.
- 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

### **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 1000 2000 3000 3 0 0 1 1

## **2. Eingabegruppe, beginnend ab Zeile 2, enthält:**

Koordinaten, für jeden Knoten eine Zeile.

*Knotennummer, streng aufsteigend [Long]*

*Anzahl der Freiheitsgrade an diesem Knoten [Long]*

*X- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, R-Koord. [Double]*

*Y- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, PHI-Koord. [Double]*

*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:**

Koinzidenz, für jedes finite Element zwei Zeilen

### **1. Zeile:**

*Elementnummer, streng aufsteigend*

*Elementtyp (1 bis 20)*

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

## **2.Zeile: je nach Elementtyp**

1.Knotennummer für Koinzidenz

2.Knotennummer für Koinzidenz

.....

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:**

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 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 7 oder 13) [Long]*

*Querschnittswert QPARA [Double]*

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

*Biegeträgheitsmoment um yy- Achse [Double]*

*max. Randfaserabstand von yy-Achse [Double]*

*Biegeträgheitsmoment um zz- Achse [Double]*

*max. Randfaserabstand von zz-Achse [Double]*

*Torsions-Trägheitsmoment [Double]*

*Torsionswiderstandsmoment [Double]*

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

*Flächenlast*

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

## **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 4.

**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.

### 3.3 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. Grund: Z88NI.TXT ist direkt für das Plotprogramm Z88P nutzbar, ferner kann Z88NI.TXT auch als FE-Eingabefile Z88I1.TXT direkt umkopiert werden und so für FE-Rechnungen (z.B. zum Abschätzen der Eigenschaften der Superstruktur) genutzt werden.

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte Integerzahl

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

[Character] = ein Buchstabe

#### 1. Eingabegruppe, d.h. erste Zeile, enthält:

*Dimension der Struktur (2 oder 3)*

*Anzahl Knoten der Superstruktur*

*Anzahl Super- Elemente*

*Anzahl Freiheitsgrade*

*Anzahl Elastizitätsgesetze*

*Koordinatenflag KFLAG ( 0 oder 1)*

*Balkenflag IBFLAG (muß hier 0 sein !)*

*Plattenflag IPFLAG (0 oder 1)*

*Flächenlastflag IQFLAG (0 oder 1)*

*& Fangradiusflag NIFLAG ( 0 oder 1)*

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

#### **Erläuterung KFLAG:**

Bei Eingabe von 0 werden die Koordinaten orthogonal- kartesisch erwartet, dagegen werden bei Eingabe von 1 Polar- oder Zylinderkoordinaten erwartet, die sodann in kartesische Koordinaten umgewandelt und in dieser Form dann in Z88I1.TXT gestellt werden. Achtung: Die axialsymmetrischen Elemente 8 und 12 erwarten a-priori Zylinderkoordinaten, hier KFLAG zu 0 setzen !

#### **Erläuterung IPFLAG:**

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

#### **Erläuterung 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.

#### **Erläuterung 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 Fanggradienten 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

## **2. Eingabegruppe, beginnend ab Zeile 2, enthält:**

Koordinaten, für jeden Knoten eine Zeile.

*Knotennummer, streng aufsteigend [Long]*

*Anzahl der Freiheitsgrade an diesem Knoten [Long]*

*X- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, R-Koord. [Double]*

*Y- oder, wenn KFLAG auf 1 gesetzt, PHI-Koord. [Double]*

*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:**

Koinzidenz, für jedes Super-Element zwei Zeilen

### **1. Zeile:**

*Elementnummer, streng aufsteigend [Long]*

*Super-Elementtyp (7,8,10,11,12,20) [Long]*

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

### **2. Zeile: je nach Elementtyp**

*1. Knotennummer für Koinzidenz [Long]*

*2. Knotennummer für Koinzidenz [Long]*

.....

*20. Knotennummer für Koinzidenz [Long]*

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

**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:**

Elastizitätsgesetze, 1 Zeile für jedes Elastizitätsgesetz.

*Dieses E-Gesetz gilt ab Super-Element- Nr. einschließlich [Long]*

*Dieses E-Gesetz gilt bis Super-Element Nr. einschließlich [Long]*

*Elastizitäts-Modul [Double]*

*Querkontraktionszahl [Double]*

*Integrationsordnung (1, 2, 3 oder 4) [Long]*

*Querschnittswert QPARA [Double]*

... und wenn Platten definiert sind und IOFLAG=0, zusätzlich:  
Flächenlast

Alle Zahlen in eine Zeile schreiben, durch mindestens jeweils ein Leerzeichen trennen. Hier im Gegensatz zu Z8811.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

**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:**

die beschreibenden Angaben für den Generierungsprozeß,2 Zeilen für jedes Superelement

##### **1. Zeile:**

*Superelement Nr. [Long]*

*zu erzeugender Finite-Elemente-Typ (Typen 1,7,8,10,19,20) [Long]*

##### **2. Zeile:**

*Finite Elemente in lokaler x-Richtung [Long]*

*Art der Unterteilung CMODE x [Character]*

*Finite Elemente in lokaler y-Richtung [Long]*

*Art der Unterteilung CMODE y [Character]*

*Finite Elemente in lokaler z-Richtung [Long]*

*Art der Unterteilung CMODE z [Character]*

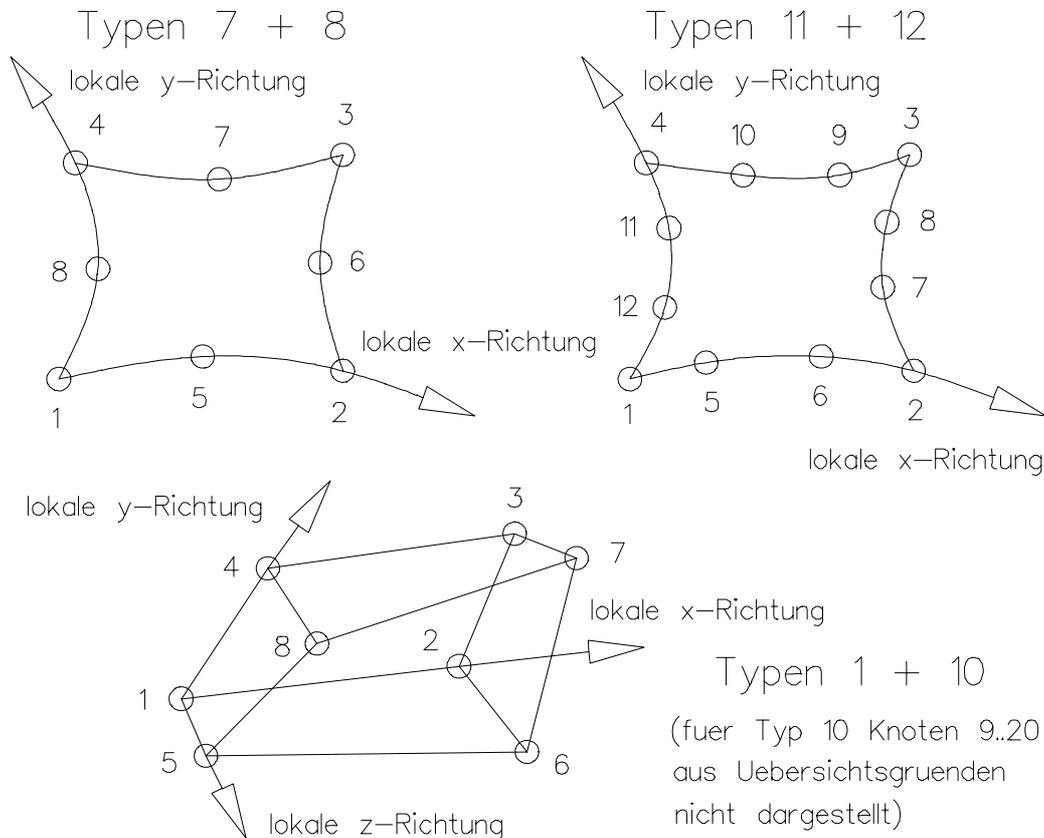
Die beiden Angaben für z entfallen bei zweidimensionalen Strukturen.

Erläuterungen CMODE kann folgende Werte annehmen:

- "E" : Unterteilung äquidistant ("e" ist auch erlaubt)
- "L" : Unterteilung geometrisch aufsteigend in lokaler Koordinatenrichtung
- "I" : Unterteilung geometrisch fallend in lokaler Koordinatenrichtung (kleines L)

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

- lokale x-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 2
  - lokale y-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 4
  - lokale z-Richtung in Richtung lokaler Knoten 1 und 5
- Dies wird in 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 Fangradienten geändert werden sollen. Sie besteht aus 1 Zeile:

Fangradius in globaler X-Richtung EPSX [Double]

Fangradius in globaler Y-Richtung EPSY [Double]

Fangradius in globaler Z-Richtung EPSZ [Double]

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

Beispiel : Die Fanggradienten 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 !

### 3.4 RANDBEDINGUNGEN Z88I2.TXT

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte Integerzahl

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

#### 1.Eingabegruppe, d.h. erste Zeile, enthält:

*Anzahl der Randbedingungen/Belastungen [Long]*

#### 2.Eingabegruppe, beginnend ab 2.Zeile, enthält:

Randbedingungen und Belastungen. Für jede Randbedingung und für jede Belastung jeweils eine Zeile.

*Knotennummer mit Randbedingung/Last [Long]*

*Jeweiliger Freiheitsgrad (1,2,3,4,5,6) [Long]*

*Steuerflag: 1 = Kraft vorgegeben [Long] oder 2 = Verschiebung vorgegeben [Long]*

*Größe der Last bzw. Verschiebung [Double]*

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

*> Also:*

6

1 1 2 0

1 2 2 0

1 3 2 0

3 2 1 -1648

5 2 2 0

5 3 2 0

#### Bei Flächenlasten ist zu beachten:

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

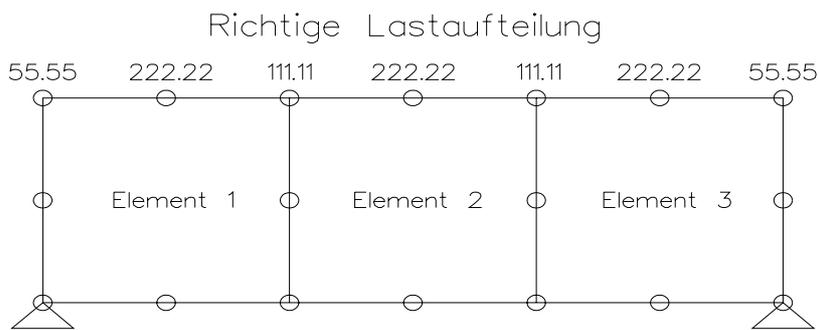
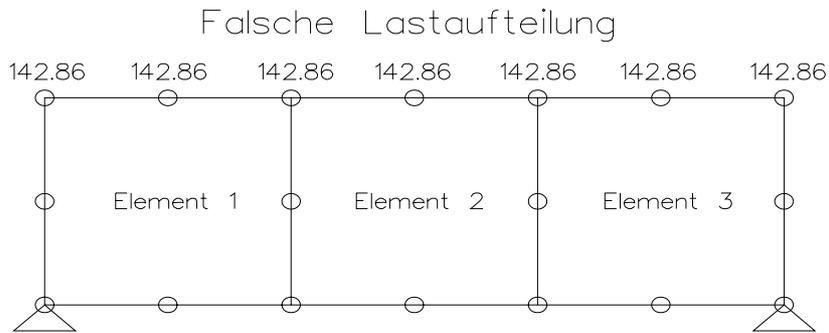
Lediglich Einzelkräfte und Lagerbedingungen werden hier in Z88I2.TXT eingebaut.

Sie können aber auch Strecken- und Flächenlasten „von Hand“ auf entsprechende Einzelkräfte umrechnen und hier in die Datei Z88I2.TXT eingeben (was ansich 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:



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" =  $1000/18 * 1 = 55.55$

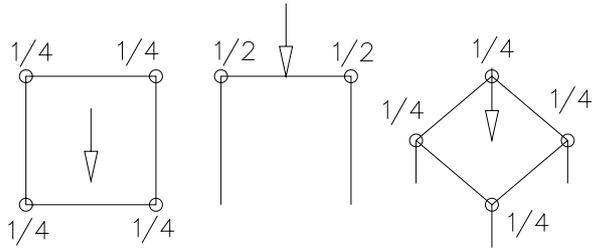
"2/6- Punkte" =  $1000/18 * 2 = 111.11$

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

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

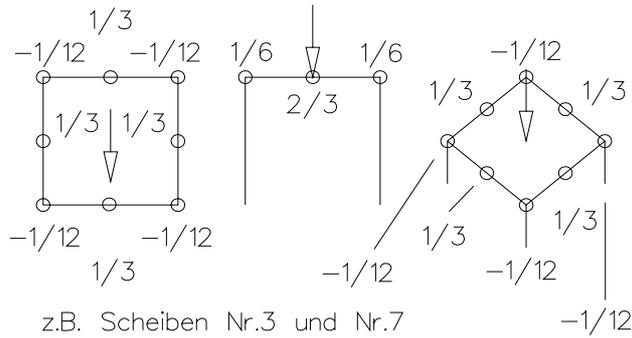
Denn es gilt:

Elemente mit linearem Ansatz



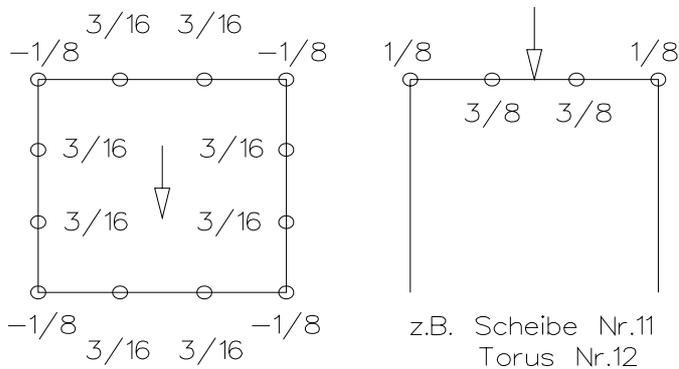
z.B. Hexaeder Nr.1

Elemente mit quadratischem Ansatz



z.B. Scheiben Nr.3 und Nr.7  
Torus Nr.8, Hexaeder Nr.10

Elemente mit kubischem Ansatz



z.B. Scheibe Nr.11  
Torus Nr.12

### 3.5 SPANNUNGS-PARAMETERFILE Z88I3.TXT

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte Integerzahl

Datei besteht nur aus einer einzigen Zeile:

**1. Wert** : 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:

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

Für isoparametrische Elemente Nr.14, 15, 18:

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

Für isoparametrische Elemente Nr.16, 17:

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

**Dieser erste Wert hat für die Elementtypen Nr.2, 3, 4, 5, 6, 9 und 13 keine Bedeutung. Sie sollten mindestens eine Eins setzen, damit der Filechecker Z88V keinen Fehler meldet.**

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

0 = Standardspannungsberechnung

1 = zusätzliche Berechnung der Radial- und Tangentialspannungen

**3. Wert** : *Auswahl der Vergleichsspannungshypothese ISFLAG [Long]*

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1 = Gestaltsänderungsenergie- Hypothese

**Beispiel 1** : Für eine Struktur aus Scheiben Nr.7 soll der Spannungsprozessor Z88D in jedem finiten Element an 3 x 3 Gaußpunkten die Spannungen anzeigen: INTORD = 3. Zusätzlich zur

Standard- Spannungsberechnung sollen Radial- und Tangentialspannungen berechnet werden, also  $KFLAG = 1$ . Ferner sollen Vergleichsspannungen nach der Gestaltsänderungsenergie- Hypothese berechnet werden:  $ISFLAG = 1$ .

> Also: 3 1 1

**Beispiel 2 :** Für eine Struktur aus Scheiben Nr.7 soll der Spannungsprozessor Z88D an jedem finiten Element die Spannungen nur in den Eckknoten anzeigen. Nur Standard-Spannungsberechnung, also  $KFLAG = 0$ . Vergleichsspannungen interessieren nicht.

> Also: 0 0 0

### 3.6 PARAMETERFILE Z88I4.TXT FÜR DEN ITERATIONSSOLVER PART 2: Z88I2

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte Integerzahl

[Double]= 8-Byte Gleitkommazahl

Datei besteht nur aus einer einzigen Zeile:

**1. Wert :** Anzahl der Iterationen  $MAXIT$  [Long]. Bei Erreichen dieser Zahl wird der Iterationssolver in jedem Fall abgebrochen. Die bis dahin erreichten Werte des Lösungsvektors werden aber ausgeschrieben. Dies ist das erste Abbruchkriterium. Geben Sie einen nicht zu kleinen Wert vor, vielleicht 10000.

**2. Wert :** Grenzwert  $EPS$  [Double]. Dieser Wert wird mit einer Norm des Residuenvektors verglichen. Wenn dieser Wert 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. Das sind ganz gute und erprobte Werte. *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!

**3. Wert :** Konvergenz- Beschleunigungsparameter  $RP$  [Double]. Hängt hier davon ab, mit welchem Vorkonditionierer (der eigentliche Solver ist *Konjugierte Gradienten*) Sie arbeiten wollen.

- Im Falle SOR, d.h. Vorkonditionierung über einen SOR- Schritt: Relaxationsfaktor  $\Omega$  (zwischen 0 und 2, brauchbare Werte können zwischen 0.8 und 1.2 liegen).
- im Falle SIC, d.h. Vorkonditionierung über eine partielle Cholesky- Zerlegung: Shift-Faktor  $\alpha$  (zwischen 0 und 1, brauchbare Werte können zwischen 0.0001 und 0.1 liegen). Näheres entnehmen Sie ggf. der Spezialliteratur)

Im Standardfall werden Sie mit dem SORCG- Verfahren (Konjugierte Gradienten mit SOR-Vorkonditionierung) arbeiten, weil dieser Solver nur ca. 2/3 des Speicher des alternativen

Solvers SICCG (Konjugierte Gradienten mit Vorkonditionierung über eine partielle Cholesky- Zerlegung) benötigt. Welchen Wert wählen Sie für  $RP$  (der hier die Bedeutung  $\Omega$  hat) ? Gute Frage ! Probieren Sie  $RP$  mit  $1$ , das wird nie ganz schlechte Ergebnisse bringen und variieren Sie dann, wenn Sie weitere Rechenläufe mit dieser Struktur machen wollen.

**Beispiel:** Sie wollen in jem Fall nach 5000 Iterationen abbrechen, der Grenzwert soll 0.00001 sein und der Konvergenz- Beschleunigungsparameter soll 1 sein, da Sie mit dem SORCG-Solver rechnen wollen.

> Also: 5000 0.00001 1.

### 3.7 STRECKEN- UND FLÄCHENLASTDATEI Z88I5.TXT

Beachte folgende Eingabeformate:

[Long] = 4-Byte Integerzahl

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

#### 1. Eingabegruppe, d. h. erste Zeile, enthält:

Anzahl der Strecken- und Flächenlasten [Long]

#### 2. Eingabegruppe, beginnend ab 2. Zeile, enthält:

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 Numerierungen müssen vom Richtungssinn den Elementnumerierungen entsprechen, vgl. Kap.4.

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

Elementnummer mit Streckenlast [Long]

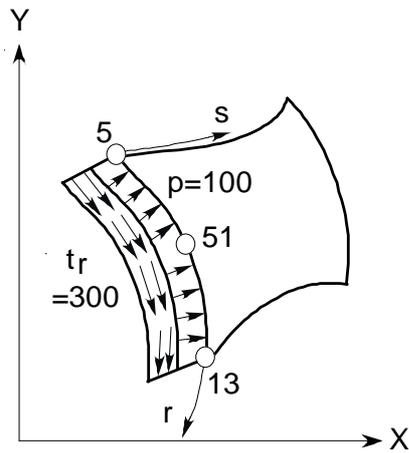
Druck, positiv auf die Kante zeigend [Double]

Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung [Double]

3 Knoten der belasteten Kante [3 x Double]

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

> 97 100. 300. 5 13 51



Scheibenelement mit Streckenlasten

### Hexaeder Nr.1:

*Elementnummer mit Streckenlast [Long]*

*Druck, positiv auf die Kante zeigend [Double]*

*Tangentialschub, positiv in lokaler r-Richtung [Double]*

*Tangentialschub, positiv in lokaler s-Richtung [Double]*

*4 Knoten der belasteten Fläche [4 x Double]*

**Beispiel:** Das Hexaederelement 356 soll auf der Fläche, die durch die Eckknoten 51, 34, 99 und 12 definiert sei, mit einer Streckenlast von  $100 \text{ N/mm}^2$ , die normal zur Fläche wirke, einer Tangentiallast in lokaler r-Richtung von  $200 \text{ N/mm}^2$  und einer Tangentiallast in lokaler s-Richtung von  $300 \text{ N/mm}^2$  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  $100 \text{ N/mm}^2$ , die normal zur Fläche wirke, einer Tangentiallast in lokaler r-Richtung von  $200 \text{ N/mm}^2$  und einer Tangentiallast in lokaler s-Richtung von  $300 \text{ N/mm}^2$  belastet werden. Also:

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

### Tetraeder Nr.17:

*Elementnummer mit Flächenlast [Long]*

*Druck, positiv auf die Fläche zeigend [Double]*

*3 Knoten der belasteten Fläche [3 x Double]*

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

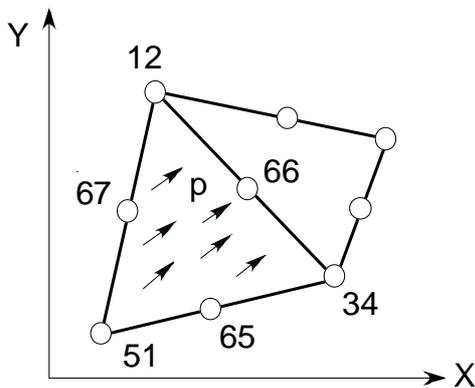
>356 100. 51 34 12

### Tetraeder Nr.16:

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

**Beispiel:** Das Tetraederelement 888, Bild 11.7-2, soll auf der Fläche, die durch die Eckknoten 51, 34 und 12 sowie die Mittenknoten 65, 66 und 67 definiert sei, mit einer Streckenlast von  $100 \text{ N/mm}^2$ , 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.

## 4 BESCHREIBUNG DER FINITEN ELEMENTE

4.1 HEXAEDER NR.1 MIT 8 KNOTEN

4.2 BALKEN NR.2 MIT 2 KNOTEN IM RAUM

4.3 SCHEIBE NR.3 MIT 6 KNOTEN

4.4 STAB NR.4 IM RAUM

4.5 WELLE NR.5 MIT 2 KNOTEN

4.6 TORUS NR.6 MIT 3 KNOTEN

4.7 SCHEIBE NR.7 MIT 8 KNOTEN

4.8 TORUS NR.8 MIT 8 KNOTEN

4.9 STAB NR.9 IN DER EBENE

4.10 HEXAEDER NR.10 MIT 20 KNOTEN

4.11 SCHEIBE NR.11 MIT 12 KNOTEN

4.12 TORUS NR.12 MIT 12 KNOTEN

4.13 BALKEN NR.13 IN DER EBENE

4.14 SCHEIBE NR.14 MIT 6 KNOTEN

4.15 TORUS NR.15 MIT 6 KNOTEN

4.16 TETRAEDER NR.16 MIT 10 KNOTEN

4.17 TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN

4.18 PLATTE NR.18 MIT 6 KNOTEN

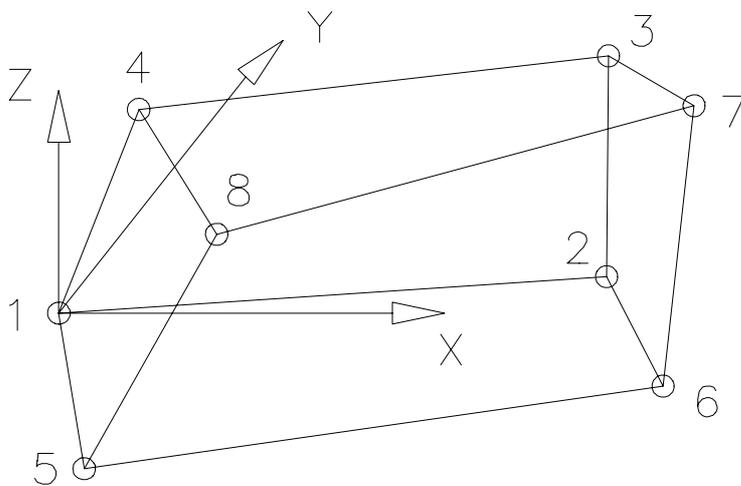
4.19 PLATTE NR.19 MIT 16 KNOTEN

4.20 PLATTE NR.20 MIT 8 KNOTEN

## 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 in Z88I1.TXT bei der Eingabe der Elastizitätsgesetze vorzuzwählen. Die Ordnung 2 ist i.a. ausreichend. 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 generiert werden, aber als Superelement selbst ist Hexaeder Nr.1 nicht vorgesehen.



### Eingabewerte:

**CAD** : (vgl. Kap. 2.7.2):

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 Gaußpunkten

> *KFLAG* beliebig, hat keinen Einfluß

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie-Hypothese in den Gaußpunkten  
(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*

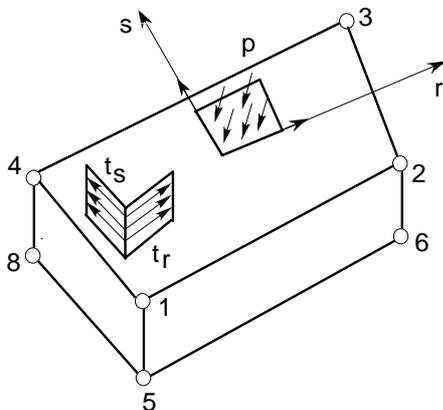
> *Druck, positiv auf die Fläche zeigend*

> *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:

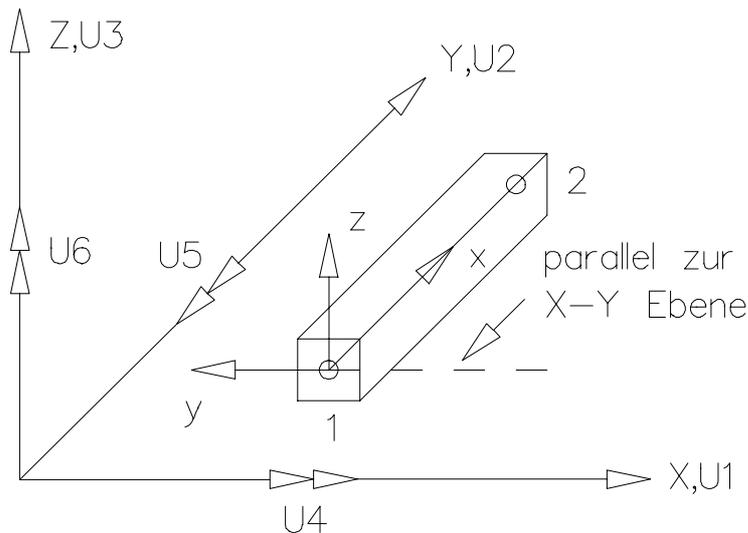
**Verschiebungen** in X, Y und Z

**Spannungen:** SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gaußpunkte. 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 symmetrischen Profil (keine schiefe Biegung) mit der Einschränkung, daß die lokale y-y Achse parallel zur globalen X-Y Ebene liegen muß, vgl. Grafische Hilfe. 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. 2.7.2

### 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

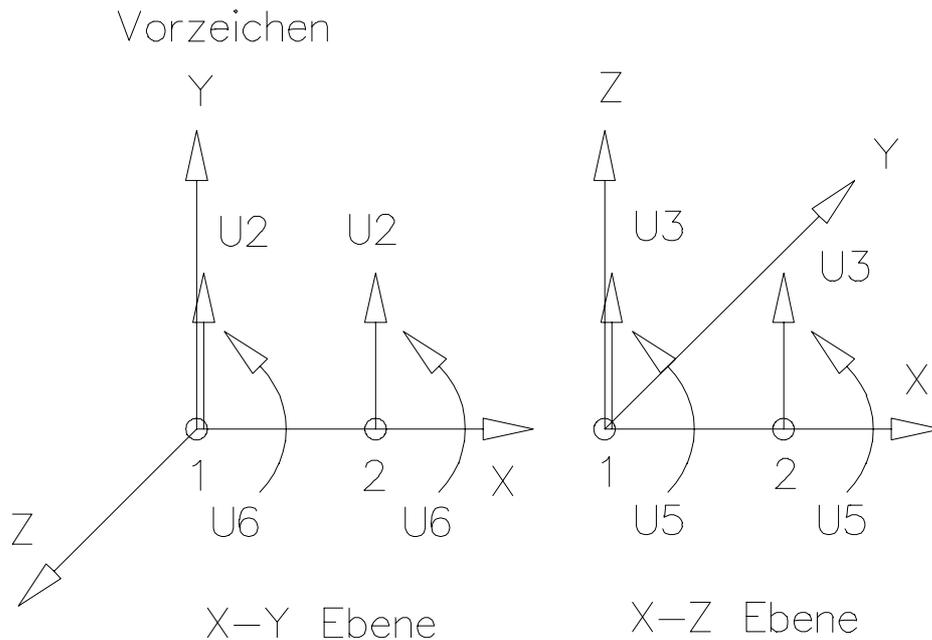
Hat keinen Einfluß auf Balken Nr.2, muß aber (mit beliebigen Inhalt) existieren.

## Ausgaben:

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

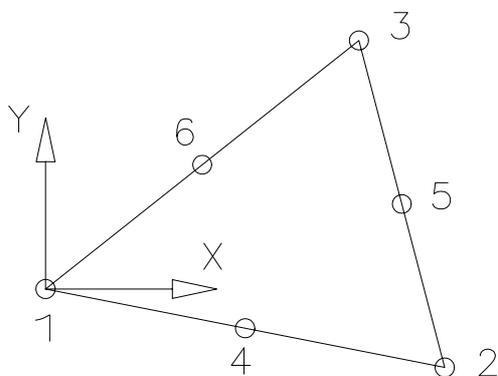
**Spannungen:** SIGXX,TAUXX : Normalspannung, Schubspannung, SIGZZ1,SIGZZ2: Biegespannung um z-z, 1. und 2. Knoten, SIGYY1,SIGYY2: Biegespannung um y-y, 1. und 2. Knoten

**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. 2.7.2

## 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 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in Element-Schwerpunkten

### Ausgaben:

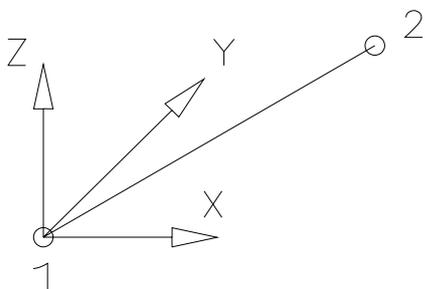
#### Verschiebungen in X und Y

**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. 2.7.2

## 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:

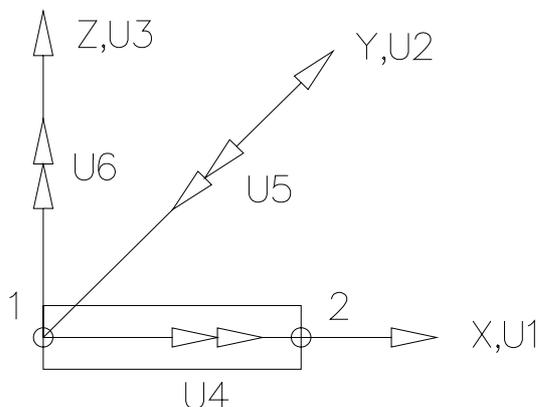
**Verschiebungen** in X, Y und Z

**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. 2.7.2

## 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

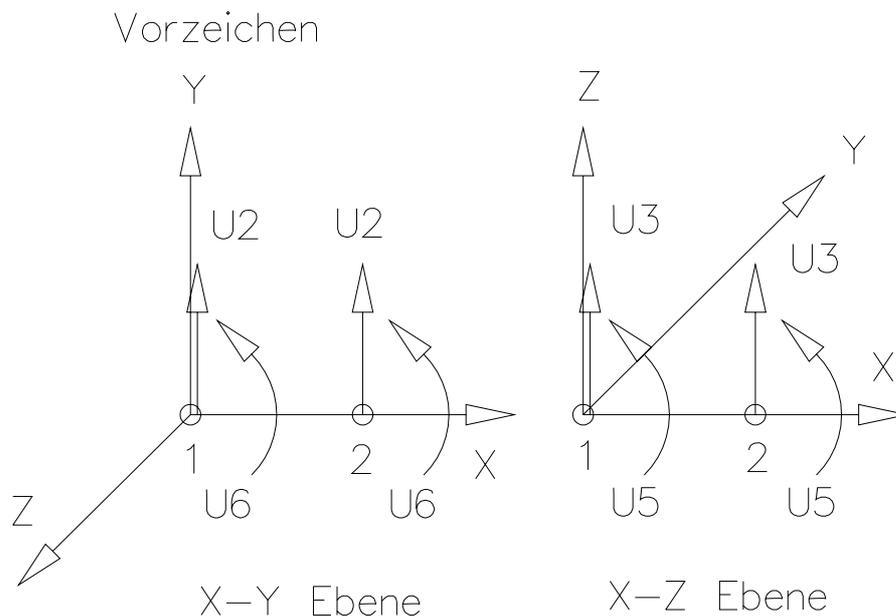
Hat keinen Einfluß auf Wellenberechnung, muß aber (mit beliebigem Inhalt) existieren.

### 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

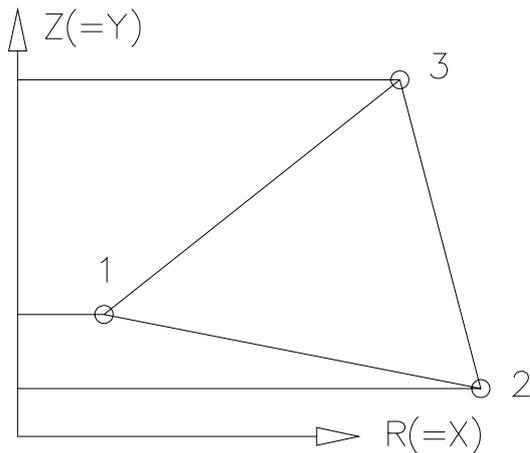
**Knotenkräfte** in X, Y und Z, Knotenmomente um X, Y und Z, elementweise und knotenweise aufaddiert.



## 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. 2.7.2

### 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 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese, gemittelt im Elementschwerpunkt

### Ausgaben:

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

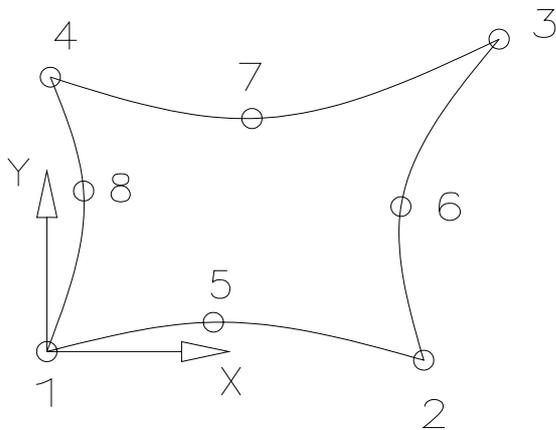
**Spannungen**: Die Spannungen werden gemittelt aus Eckknoten in den Elementschwerpunkten ausgegeben.

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 Superelement-geeignet.



### Eingabewerte:

**CAD** : 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 2.7.2

### 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 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (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:

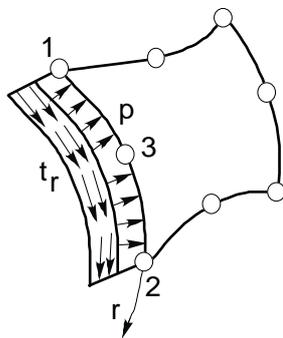
> *Elementnummer*

> *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

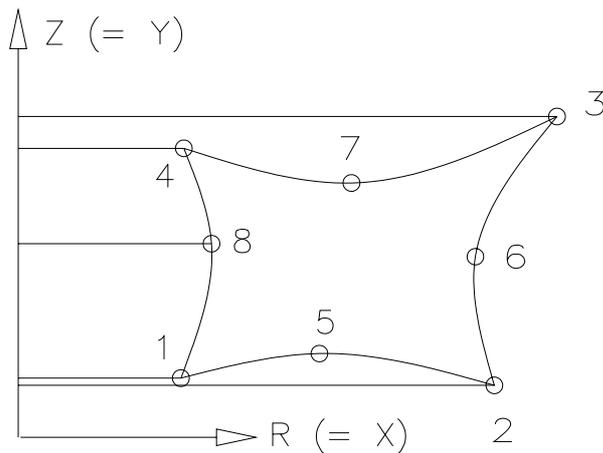
**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. Bei KFLAG = 1 werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische 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 Superelement-geeignet.



### Eingabewerte:

**CAD :** 1-5-2-6-3-7-4-8-1 , vgl. Kap. 2.7.2

### 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

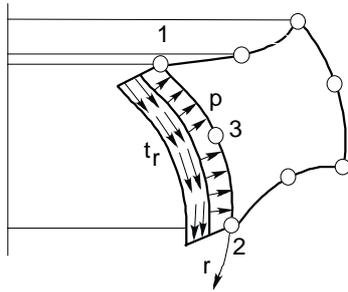
- > *Integrationsordnung*: Zweckmäßigerweise wie in *Z88I1.TXT* bereits gewählt. Kann aber durchaus unterschiedlich sein:
  - 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
  - 1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gauß-Punkten
- > *KFLAG* hat keinen Einfluß
- > *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:
  - 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
  - 1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (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:

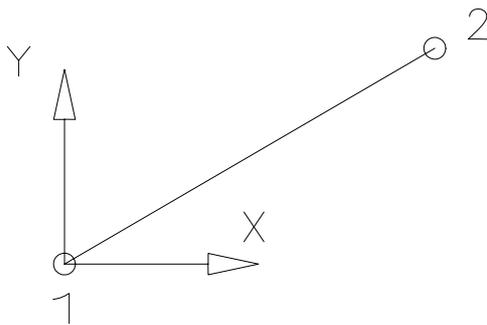
**Verschiebungen** in R und Z (= X und Y)

**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. 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. 2.7.2

### 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

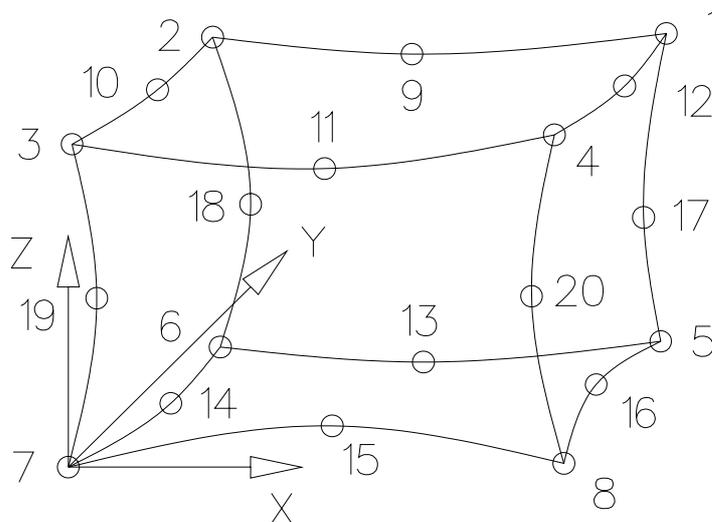
**Knotenkräfte** in X und Y, elementweise und knotenweise aufaddiert

## 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 vorzuwählen. Die Ordnung 3 ist gut. Die Güten der Verschiebungs- und der Spannungsberechnungen sind 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  $60 \times 60$  haben.



**Die Knoten-Numerierungen 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- Numerierung.**

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 Superelement-geeignet. Ferner kann Superelement Hexaeder Nr.10 Finite Elemente Hexaeder Nr.1 erzeugen.

**Eingabewerte:**

**CAD :** (vgl. Kap. 2.7.2):  
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**

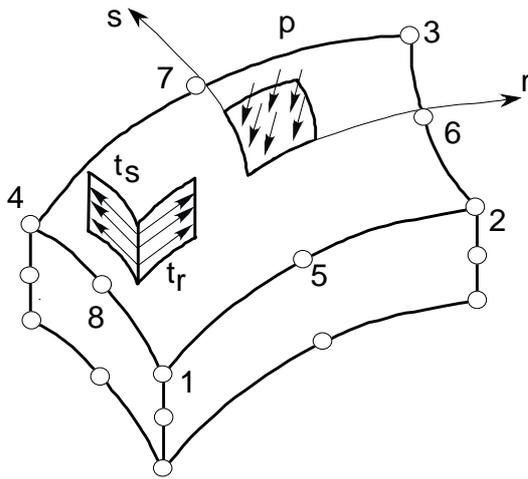
- > *Integrationsordnung INTORD* für Spannungsberechnung:  
0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten  
1,2,3,4 = Berechnung der Spannungen in den Gaußpunkten
  
- > *KFLAG* beliebig
  
- > *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:  
0 = keine Vergleichsspannungsberechnung  
1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese für Gaußpunkte  
(*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 *Mittelnknoten* 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

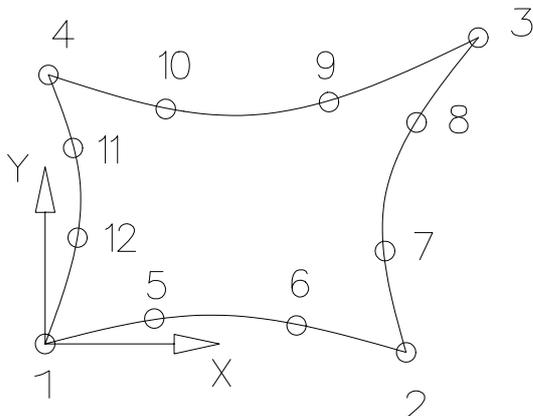
**Spannungen:** SIGXX,SIGYY,SIGZZ,TAUXY,TAUYZ,TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gaußpunkte. Optional Vergleichsspannungen.

**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 Superelement-geeignet 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. 2.7.2

### **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*:

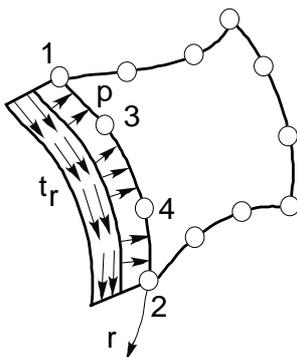
- 0 = keine Vergleichsspannungsberechnung
- 1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese für Gaußpunkte (INTORD ungleich 0 !)

### **Z88I5.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

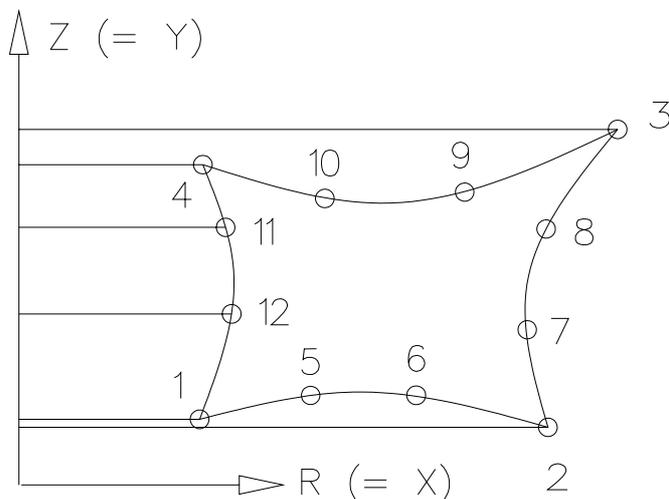
**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. Bei  $KFLAG = 1$  werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische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

**Knotenkräfte** elementweise und knotenweise aufaddiert.

## 4.12 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  $24 \times 24$  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 Superelement-geeignet 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. 2.7.2

### 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*:

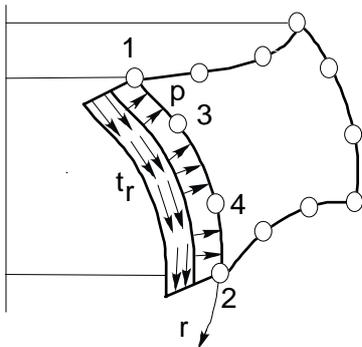
- 0 = keine Vergleichsspannungsberechnung
- 1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese für Gaußpunkte (*INTORD* ungleich 0 !)

### 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:

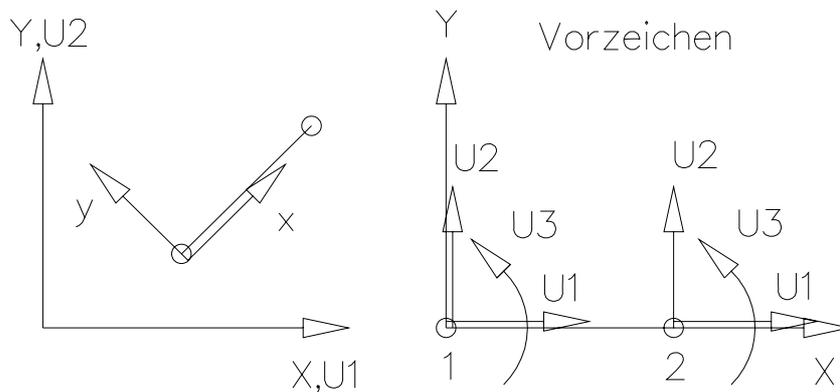
**Verschiebungen** in R und Z (= X und Y)

**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. 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. 2.7.2

### 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

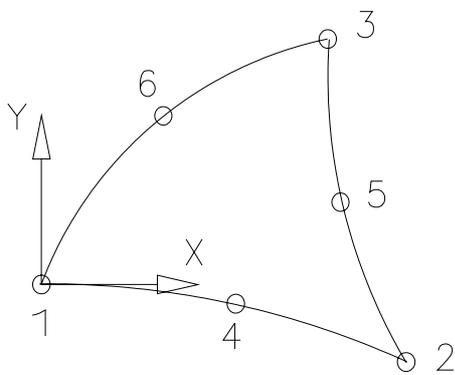
**Spannungen:** SIGXX,TAUXX : Normalspannung, Schubspannung SIGZZ1,SIGZZ2:  
Biegespannung um z-z, 1. und 2.Knoten

**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. 2.7.2

### 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:

*Integrationsordnung 1 oder 2 in Z88I1.TXT:*            3 Gaußpunkte  
*Integrationsordnung 4 in Z88I1.TXT:*                7 Gaußpunkte

*Beispiel: In Z88I1.TXT ist INTORD zu 2 gesetzt: Damit werden für Scheiben Nr.7 2\*2= 4 Gaußpunkte und für Scheiben Nr.14 dann 3 Gaußpunkte 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 Gaußpunkte). 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 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (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:

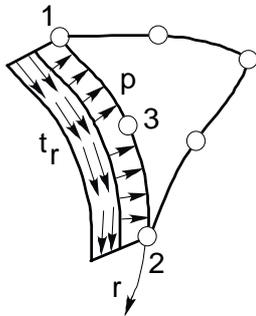
> *Elementnummer*

> *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

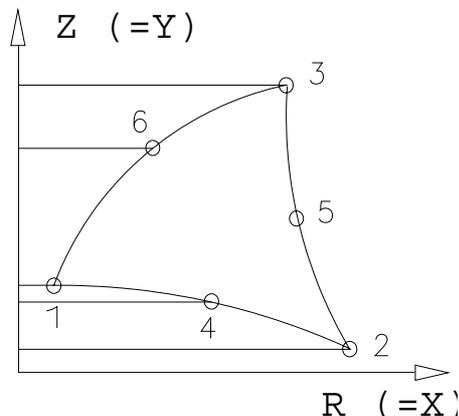
**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. Bei *KFLAG* = 1 werden zusätzlich die Radialspannungen SIGRR, die Tangentialspannungen SIGTT und die zugehörigen Schubspannungen SIGRT bestimmt (dies hat nur Sinn, wenn eine rotationssymmetrische 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-Gesetz 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 Dreieckstorus Nr.15, sollte Torus Nr.8 bevorzugt verwendet werden.*



### Eingabewerte:

**CAD :** 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 2.7.2

### 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 Gaußpunkte  
Integrationsordnung 4 in Z88I1.TXT:            7 Gaußpunkte

*Beispiel: In Z88I1.TXT ist INTORD zu 2 gesetzt: Damit werden für Tori Nr.8  $2*2= 4$  Gaußpunkte und für Tori Nr.15 dann 3 Gaußpunkte 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 Gaußpunkte). Siehe Bemerkung zu Z88I1.TXT. Hier gilt Sinngemäßes.

> *KFLAG* hat keinen Einfluß

> *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG*:

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (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:

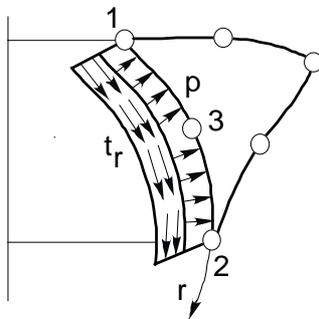
> *Elementnummer*

> *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 mitausgegeben. 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.

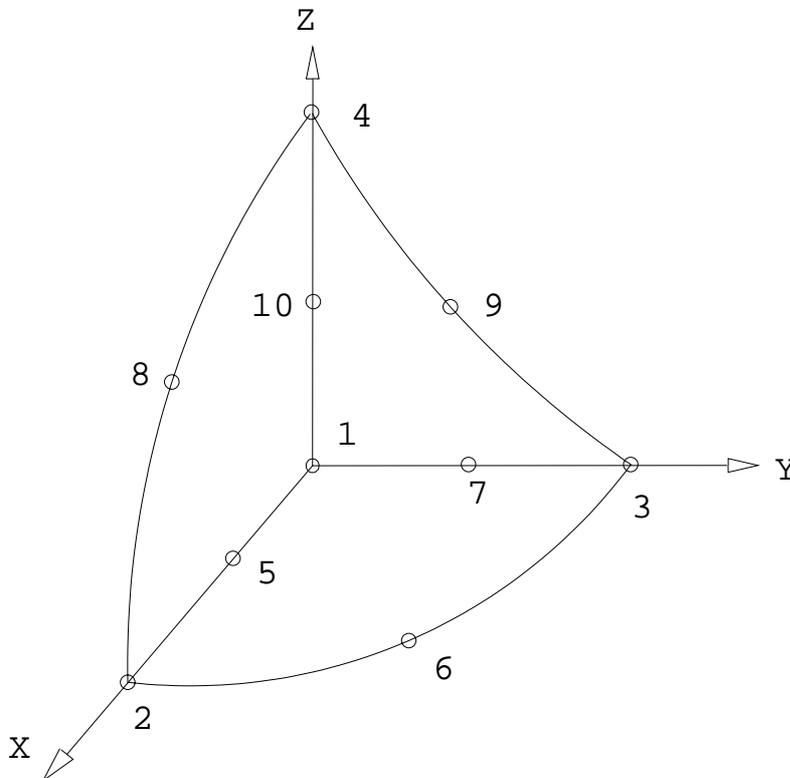
## 4.16 TETRAEDER NR.16 MIT 10 KNOTEN

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 Güten der Verschiebungs- und der Spannungsberechnungen sind 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; 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 Element-steifigkeitsmatrizen die Ordnung  $30 \times 30$  haben. Achtung bei Flächenlasten über Einzelkräfte, vgl. Kap. 3.4. Einfacher ist die Eingabe von Flächenlasten über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT.



**Die Knoten-Numerierungen 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- Numerierung.**

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 Knotennumierungen, wodurch der Speicherbedarf für Z88F 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

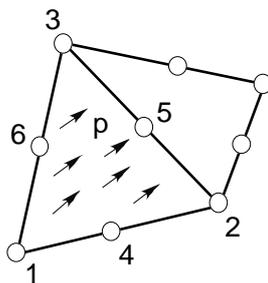
- > Integrationsordnung *INTORD* für Spannungsberechnung:
  - 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
  - 1,4,5 = Berechnung der Spannungen in den Gaußpunkten (z.B. 4 = 4 Gaußpunkte)
- > *KFLAG* beliebig
- > Vergleichsspannungs-Flag *ISFLAG*:
  - 0 = keine Vergleichsspannungsberechnung
  - 1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese für Gaußpunkte (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 Gaußpunkte. Optional Vergleichsspannungen.

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

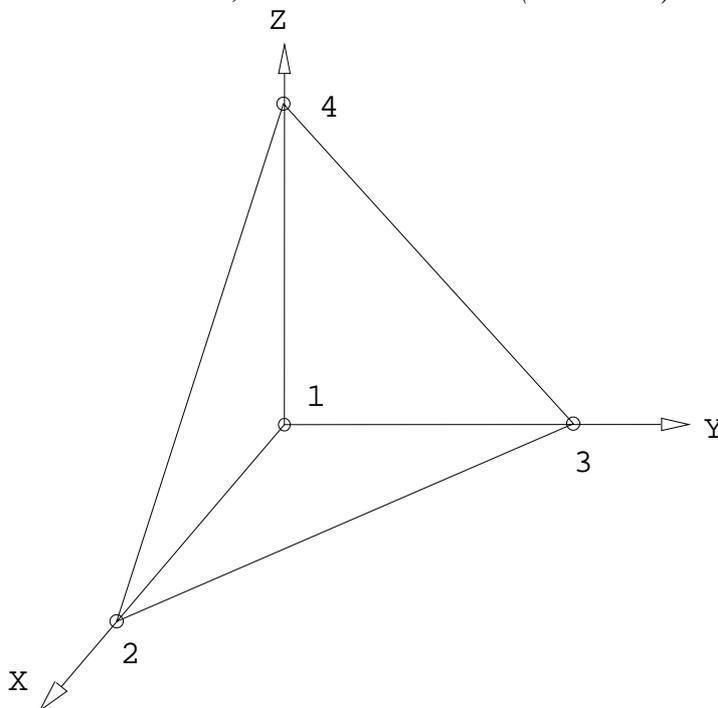
## 4.17 TETRAEDER NR.17 MIT 4 KNOTEN

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 vorzuwählen. 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; 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 Knotennummierungen, wodurch der Speicherbedarf für Z88F völlig nutzloserweise stark erhöht wird. Ein Ummuieren 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

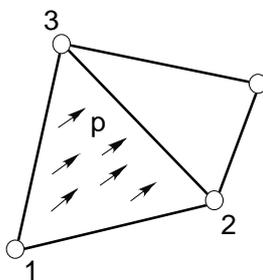
- > *Integrationsordnung INTORD für Spannungsberechnung:*  
Kann ohne weiteres von INTORD in Z88I1.TXT abweichen.
- 0 = Berechnung der Spannungen in den Eckknoten
- 1,4,5 = Berechnung der Spannungen in den Gaußpunkten (z.B. 4 = 4 Gaußpunkte)
- > *KFLAG beliebig, hat keinen Einfluß*
- > *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:*
- 0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen
- 1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (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

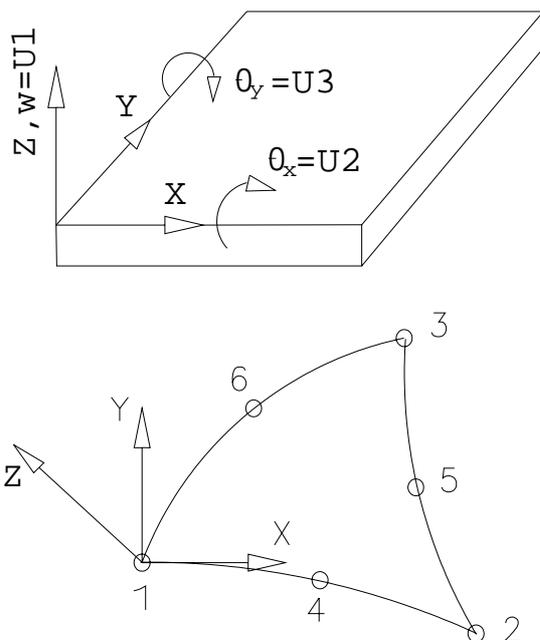
**Spannungen:** SIGXX, SIGYY, SIGZZ, TAUXY, TAUYZ, TAUZX, jeweils für Eckknoten oder Gaußpunkte. Optional Vergleichsspannungen.

**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  $\theta_x$  die Rotation bzw. Neigung um die X- Achse und  $\theta_y$  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 krummlinige Dreiecksplatten Nr.18, sollten bevorzugt Platten Nr.20 verwendet werden.*



**Eingabewerte:**

**CAD :** 1-4-2-5-3-6-1 , vgl. Kap. 2.7.2

### 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 ( $w, \theta_x, \theta_y$ )
- > *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 Gaußpunkte*

*Integrationsordnung 4 in Z88I1.TXT:                7 Gaußpunkte*

*Beispiel: In Z88I1.TXT ist INTORD zu 2 gesetzt: Damit werden für Platten Nr.20 2\*2= 4 Gaußpunkte und für Platten Nr.18 dann 3 Gaußpunkte 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 Gaußpunkte). Siehe

Bemerkung zu Z88I1.TXT. Hier gilt Sinngemäßes.

- > *KFLAG hat keine Bedeutung*

- > *Vergleichsspannungs-Flag ISFLAG:*

0 = keine Berechnung der Vergleichsspannungen

1 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (INTORD ungleich 0 !)

### **Z88I5.TXT**

Diese Datei ist optional und ansich 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 (d.h. w) und Rotationen (Neigungen) um X- und Y- Achse (d.h.  $\theta_x$  und  $\theta_y$ )

**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. 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 x 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  $\theta_x$  die Rotation bzw. Neigung um die X-Achse und  $\theta_y$  die Rotation um die Y- Achse.

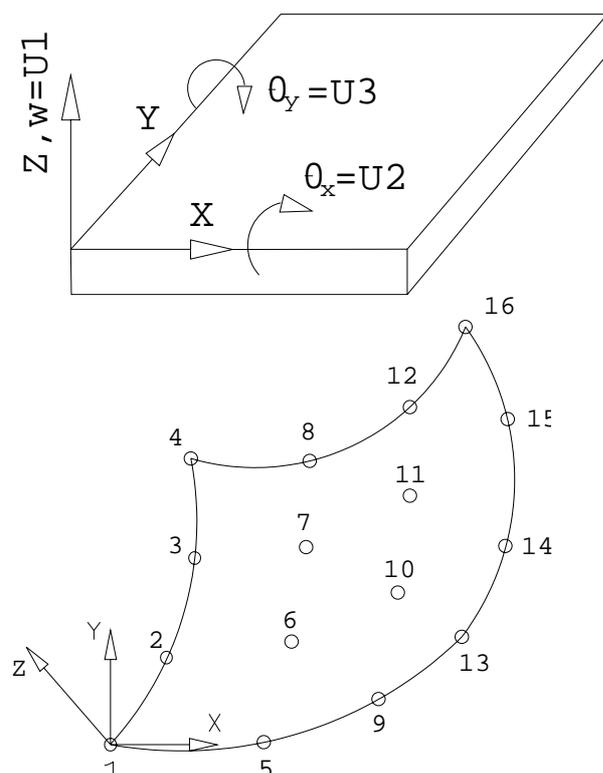
*Netzgenerierung mit Z88N: Als Superelemente werden pro-forma Platten Nr.20 verwendet, daraus können mit Z88N dann finite Elemente vom Typ 19 generiert werden (Platten Nr.20 können per AutoCAD bzw. Pro/ENGINEER generiert werden, vgl. die Beschreibungen von Z88X und Z88G). Etwas tricky, aber wirkungsvoll.*

*Hier als Beispiel ein Ausschnitt aus einer Netzgenerator- Eingabedatei Z88NI.TXT:*

```

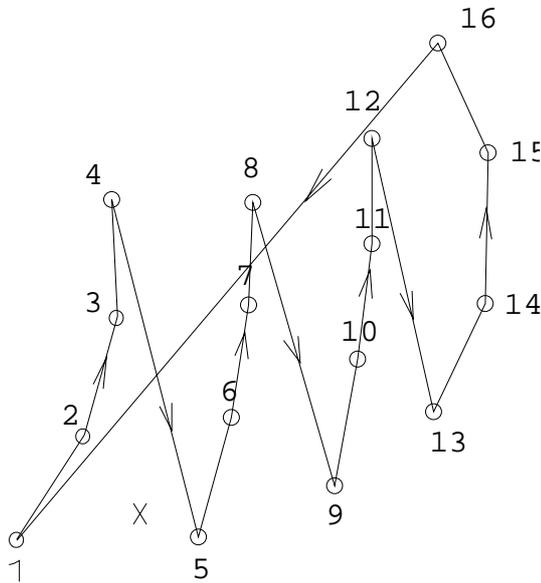
.....
5 20      Superelement 5 vom Typ 20
20 25 27 22 24 26 28 21
.....
5 19      erzeuge aus dem Superelement 5 (das vom Typ 20 ist, siehe oben) finite Elemente vom Typ 19
3E 3E    ... und unterteile sie dreimal äquidistant in X- Richtung und dreimal äquidistant in Y- Richtung

```



## Eingabewerte:

**CAD :** 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-1 , vgl. Kap. 2.7.2. 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 Z88P plotten, die entsprechenden Knotennummern für die Randbedingungen ablesen und Randbedingungs- 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* ( $w, \theta_x, \theta_y$ )
- > *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 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (INTORD ungleich 0 !)

## Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und ansich 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 (d.h. w) und **Rotationen** (Neigungen) um X- und Y- Achse (d.h.  $\theta_x$  und  $\theta_y$ )

**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. 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.

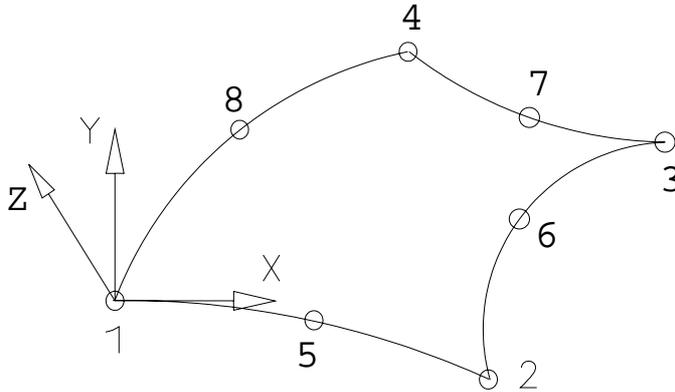
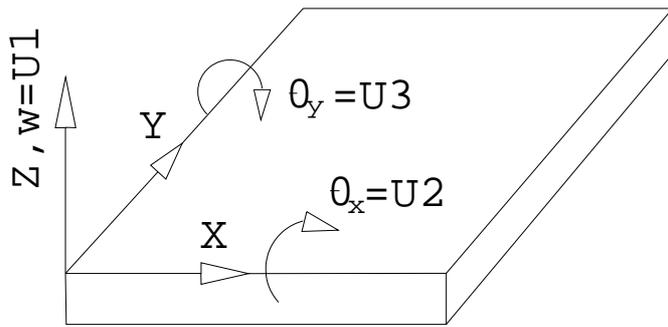
Optional Vergleichsspannungen.

**Knotenkräfte** zunächst elementweise, dann knotenweise aufaddiert.

## 4.20 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 x 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  $\theta_x$  die Rotation bzw. Neigung um die X- Achse und  $\theta_y$  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. 2.7.2

**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 ( $w, \theta_x, \theta_y$ )
- > *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 = Vergleichsspannungen nach Gestaltsänderungsenergie- Hypothese in den Gaußpunkten (INTORD ungleich 0 !)

## Z88I5.TXT

Diese Datei ist optional und ansich 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 (d.h.  $w$ ) und **Rotationen** (Neigungen) um X- und Y- Achse (d.h.  $\theta_x$  und  $\theta_y$ )

**Spannungen:** Die Spannungen werden in den Eckknoten oder Gauß-Punkten berechnet, deren Lage wird mitausgegeben. 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.

# 5 BEISPIELE

## 5.0 ALLGEMEINES

In diesem Kapitel werden mehrere Beispiele behandelt, die mit ihren jeweiligen Eingabefiles B\*.\* auf den Z88- Disketten stehen. Die Beispiele 4, 6 und 7 sind analytisch leicht nachrechenbar.

Arbeiten Sie mit den Beispielen, die Ihren eigenen Anwendungsfällen am nächsten kommen. Betrachten Sie auch die von den Z88- Modulen erzeugten Protokoll- Dateien .LOG, plotten Sie auf Ihrem Plotter bzw. HP-GL-fähigen Laserdrucker . Variieren Sie die Eingabefiles, insbesondere die Netzgenerator- Eingabefiles der Beispiele 1, 5 und 7. So bekommt man am schnellsten ein Gefühl für Z88.

Falls Beispiele nicht anlaufen, kann ein Speicher-Problem vorliegen. Stehen weitere Programme im Speicher, besonders diese fetten und gierigen Speicherfresser wie Office-Pakete? Alle Beispiele wurden auf verschiedensten Computersystemen und Betriebssystemen getestet, und fast alle Beispiele laufen selbst auf älteren Computern mit Windows95. Aber auch auf großen SUN- oder SGI UNIX Maschinen oder aktuellen, gut ausgestatteten PCs rechnen sehr große Z88-Strukturen ohne irgendwelche Probleme. Die bislang größte gerechnete Struktur hatte 2,6 Mio Freiheitsgrade und lief auf einem 64 Bit PC mit 64 Bit LINUX. Passen Sie ggf. Z88.DYN an. Beachten Sie die .LOG- Dateien: Hier steht drin, wenn der Speicher nicht reicht. UNIX: Prüfen Sie die Zugriffsrechte der Dateien und der Directories.

Nachdem Sie die fertigen Beispiele probiert haben, sollten Sie die Beispiele in Ihrem CAD System entwerfen. Exportieren Sie Ihre Modelle/Zeichnungen als DXF- Dateien und konvertieren Sie sie in Z88- Dateien. Falls der Z88- DXF Konverter Z88X Ihre DXF- Dateien nicht sauber konvertiert, dann wiederholen Sie besonders die Schritte 3 und 5 des Kapitels 2.7.2. Haben Sie die Punkte sauber "geschnappt" ? Falls nichts klappt, probieren Sie ein anderes CAD Programm.

Haben Sie ein 3D-CAD-System mit integriertem Automesher, dann können Sie FE-Netze im COSMOS- oder NASTRAN-Format ausgeben und mit Z88G in Z88-Eingabedateien konvertieren. Bei COSMOS- oder NASTRAN-Dateien prüfen Sie zunächst mit Z88F im Testmode, welchen Speicher Sie brauchen und wie gut die Knotennummerierung ist. Gegebenenfalls lassen Sie den Cuthill-McKee-Algorithmus Z88H laufen. Besser, Sie nehmen gleich den Iterationssolver.

**Beispiel 1: Gabelschlüssel.** Ebenes Scheibenproblem mit Scheiben Nr.7 und Netzgeneratoreinsatz. Lernziele: CAD- und Netzgeneratoreinsatz bei krummlinigen ebenen Strukturen, Spannungsanzeige im Plotprogramm. Dieses Beispiel steht bereits als erstes Einführungsbeispiel zusätzlich ladefertig auf den Z88- Disketten mit Z88X.DXF, Z88I2.TXT und Z88I3.TXT.

**Beispiel 2: Kranträger.** Räumliches Fachwerk mit Stäben Nr.4. Lernziele: Nutzen der verschiedenen Ansichten und räumlichen Rotationsmöglichkeiten im Plotprogramm.

**Beispiel 3: Getriebewelle.** Lineare Struktur mit Wellen Nr.5 und Kraftangriffen in verschiedenen Ebenen, statisch überbestimmt. Lernziele: Einsatz der Wellenelemente,

Wählen der Randbedingungen bei Finiten Elementen mit 6 Freiheitsgraden/Knoten, Nutzen der verschiedenen Ansichten im Plotprogramm.

**Beispiel 4: Ebener Träger, mehrfach statisch überbestimmt.** Beidseitig fest eingespannter Balken Nr.13. Lernziele: Einsatz von Balken Nr.13, Wahl der Randbedingungen und Interpretieren der Ergebnisse.

**Beispiel 5: Plattensegment in Tortenstückform.** Allgemeines räumliches Problem mit Hexaedern Nr.10 als Superelemente und Netzgenerierung von Hexaedern Nr.1. Lernziele: Einsatz des Netzgenerators bei krummlinigen räumlichen Elementen, Nutzen der Spannungsanzeige, verschiedenen Ansichten und räumlichen Rotationsmöglichkeiten im Plotprogramm. Wenn Sie dieses Beispiel gerechnet haben, wäre es eine gute Idee, mit dem Netzgenerator Hexaeder Nr.10 mit 20 Knoten anstelle der 8-Knoten Hexaeder erzeugen zu lassen (was für ihn ein Kinderspiel ist). Aber Sie müssen dann neue Randbedingungen eingeben, weil sich ja die Knotennummern geändert haben.

**Beispiel 6: Rohr unter Innendruck** von 1000 bar. Axialsymmetrisches Problem, gelöst als Scheibenproblem mit Scheiben Nr.7. Lernziele: Nutzen von Symmetrieeigenschaften einer Struktur und Wahl der Randbedingungen und **Streckenlasten**, Spannungsanzeige im Plotprogramm.

**Beispiel 7: Querpreßverband.** Axialsymmetrisches Problem mit Tori Nr.8 und Netzgenerator. Lernziele: Arbeiten mit Toruselementen, Einsatz des Netzgenerators mit Netzverdichtung, Spannungsanzeige im Plotprogramm.

**Beispiel 8: Kurbelwelle.** Ein räumliches Problem mit Tetraedern Nr.16. Lernziele: Ausgehend von einer COSMOS- Datei, die in Pro/ENGINEER erzeugt wurde, werden der COSMOS- Konverter Z88G, der Cuthill- McKee Algorithmus Z88H und die beiden Solver, also der direkte Cholesky Solver Z88F sowie der Iterationssolver Z88I1/Z88I2 genutzt. Hier geht es also um das Arbeiten mit Strukturen, die aus einem CAD- Programm kommen.

**Beispiel 9: Rechteckplatte.** Ein Plattenproblem mit 16-Knoten Lagrange Platten Nr.19. Lernziele: Erzeugung einer Superstruktur aus 8- Knoten Platten Nr.20 mit AutoCAD, DXF- Export mit Z88X, dann Netzgenerierung mit Z88N von Platten Nr.19. Anschließend Plattenberechnung mit dem Iterationssolver.

**Beispiel 10: Dieselkolben.** Ein räumliches Problem mit Tetraedern Nr.16 und Teraedern Nr.17. Lernziele: Ausgehend von NASTRAN-Dateien, die in Pro/ENGINEER erzeugt wurden, werden der COSMOS-Konverter Z88G und der Iterationssolver Z88I1/Z88I2 genutzt. Hier geht es also um das Arbeiten mit Strukturen, die aus einem CAD- Programm kommen und dabei die **Flächenlastdatei Z88I5.TXT** verwenden.

#### **Hinweise:**

- Die Ein- und Ausgabefiles sind teilweise gekürzt wiedergegeben, um nicht unnötig Seiten zu füllen. Es soll nur das Wesentliche gezeigt werden. Alle Beispiele können Sie jederzeit selbst starten.
- Beachten Sie, daß bei Gleitkommazahlen in einem Computer 0 (Null) niemals echt Null ist, sondern als Näherung dargestellt wird. Daher können selbst Eingaben, die in Z88I1.TXT als 0 eingegeben wurden, in Ausgabefiles Z88O0.TXT als sehr kleine Zahlen

wieder auftauchen, bedingt durch Formatierungen des Laufzeitsystems. Das ist normal. Das gilt natürlich verstärkt für echt berechnete Werte, wie z.B. Verschiebungen in Z88O2.TXT, Spannungen in Z88O3.TXT und Knotenkräften in Z88O4.TXT. Solche Werte sind immer relativ zu anderen Werten zu sehen: Ist in Z88O2.TXT die größte berechnete Verschiebung beispielsweise 0.1 mm, dann ist eine andere Verschiebung mit z.B. 1.234E-006 mm als defacto- Null anzusehen.

## 5.1 SCHRAUBENSCHLÜSSEL AUS SCHEIBEN NR.7

Die Beispieldateien B1\_\* in Z88- Eingabedateien Z88\* umkopieren (ist auf den Z88-Datenträgern bzw. Internetdateien bereits erfolgt, damit Sie sofort starten können):

B1\_X.DXF ---> Z88X.DXF CAD- Eingabefile  
B1\_2.TXT ---> Z88I2.TXT Randbedingungen  
B1\_3.TXT ---> Z88I3.TXT Steuerparameter für Spannungsprozessor

*Führen Sie einfach folgende Schritte aus, um Z88 kennenzulernen:*

### **CAD:**

In diesem ersten Beispiel sollen Sie die CAD- Superstruktur nur betrachten, aber noch nicht erzeugen. Das kommt in späteren Beispielen. Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. So würden Sie sie normalerweise selbst gezeichnet haben. Ändern Sie nichts und verlassen Sie Ihr CAD- Programm ohne Speichern, Konvertieren usw. Wenn Sie kein passendes CAD- System haben, lassen Sie diesen Schritt aus.

### **Z88:**

**Z88X**, Konvertierung von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT. **Windows:** *Berechnung > Z88X > Konvertierung > 6 von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT, > Berechnung > Start*, **UNIX:** Pushbutton *DXF* <-> Z88 mit Radiobutton *DXF* -> *NI* (Z88-Commander) oder *z88x -nifx* (Console)

**Z88P**, Superstruktur betrachten. Die Fehlermeldung braucht Sie nicht zu stören, denn Z88P hat noch keine .STO- Datei vorliegen und erwartet daher Z88I1.TXT. Sie wollen aber Z88NI.TXT nutzen: **Windows:** *Plotten > Z88P > Datei > Strukturfile > Z88NI.TXT*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton *Z88P* oder starten Sie von einem X-Term *z88p*, bei Textfeld *Struk.* eintragen *z88ni.txt*, Return. Versuchen Sie auch **Z88O**.

**Z88N**, Netzgenerator, liest Z88NI.TXT und erzeugt Z88I1.TXT. **Windows:** *Berechnung > Z88N > Berechnung > Start* **UNIX:** Pushbutton *Z88N* (Z88-Commander) oder *z88n* (Console oder X-Term)

**Z88P**, Finite Elemente Struktur betrachten. Z88P hat eine .STO- Datei vorliegen und erwartet nun Z88NI.TXT. Sie wollen aber Z88I1.TXT nutzen. **Windows:** *Plotten > Z88P > Datei > Strukturfile > Z88I1.TXT*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton *Z88P* oder starten Sie von einem X-Term *z88p*, bei Textfeld *Struk.* eintragen *z88i1.txt*, Return. Sie hätten auch vor Start von Z88P einfach die Datei Z88P.STO löschen können. Dann arbeitet Z88P mit den Standardwerten, z.B. Z88I1.TXT als Strukturfile.

**Z88F**, berechnet Verformungen. Sie können den Rechenmode nehmen: **Windows:** *Berechnung > Z88F > Mode > Rechenmode, > Berechnung > Start*, **UNIX:** Beim Z88-

Commander Pushbutton *SOLVER* mit Radiobutton *Z88F -C* oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88f-c*

**Z88D**, berechnet Spannungen. **Windows:** *Berechnung > Z88D > Berechnung > Start*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Z88D* oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88d*

**Z88P**, Finite Elemente Struktur verformt betrachten. Z88P hat eine .STO- Datei vorliegen und steht richtig. Die Verformungen werden standardmäßig um den Faktor 100 vergrößert, was für dieses Beispiel etwas viel ist. **Windows:** *Plotten > Z88P > Faktoren > Verschiebungen > für FUX und FUY je 10 eintragen, > Struktur > Verformt*. **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton *Z88P* oder starten Sie von einem X-Term *z88p*, bei Textfeldern *FUX* und *FUY* je 10 eintragen, entweder jeweils Return oder Pushbutton *Regen*. Radiobutton *Verformt*. Ferner können Sie sich, da ja Z88D bereits gelaufen ist, auch die Vergleichsspannungen anzeigen lassen. Gehen Sie auf unverformte Struktur. **Windows:** *> V-Spannungen > Zeige V-Spannungen* **UNIX:** Togglebutton *VSpan* Ferner könnten Sie eine Plotterdatei, vielleicht unverformt und ohne Vergleichsspannungen, ausgeben lassen. **Windows:** *> Ausgabe > Plotter* **UNIX :** Pushbutton *Plot* .

**Z88E**, Knotenkraft- Berechnung. **Windows:** *Berechnung > Z88E > Berechnung > Start*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Z88E* oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88e*

### **Aufgabe:**

Ein Gabelschlüssel soll durch Anzugsmoment belastet werden. Dazu wird ein Kräftepaar im Schlüsselmaul entsprechend dem Moment angebracht; die Festlager werden an den Stellen, an denen die Schlosserhand anpackt, angenommen.

Der Gabelschlüssel soll durch 7 Superelemente Scheibe Nr.7 abgebildet werden. Der Netzgenerator soll daraus 66 Finite Elemente erzeugen. Elementdicke je 10. Netzgenerierung: In diesem Beispiel sind lokale und globale Achsen nicht richtungsgleich: Lokale x-Richtung bei Superelement 1 längs der lokalen Knoten 1 und 2, die den globalen Knoten 1 und 3 entsprechen. Die lokale y-Richtung von SE 1 ist durch lokale Knoten 1 und 4 bestimmt, die den globalen Knoten 1 und 7 entsprechen. Beachte ferner: Superelemente, die eine gemeinsame Seite haben, müssen an dieser Seite eine absolut identische Unterteilung haben. So schließen SE 1 und SE 2 längs der Linie 3-4-5 an: Die Unterteilungen in y-Richtung müssen genau gleich sein. Hier jeweils 3 Unterteilungen.

Dieses Beispiel, wie oben gezeigt, durchrechnen. Sodann kann man experimentieren: In Z88NI.TXT das SE 7 als sinnvolle Abwandlung wie folgt zerlegen:

7 7

6 L 3 E ( "*Zerlege Superelement 7 in Finite Element Scheibe Nr.7 und unterteile in x-Richtung 6mal geometrisch aufsteigend und in y-Richtung 3mal äquidistant*")

Ebenso könnten die SE 1 bis SE 5 jeweils nach innen verdichtet werden:

1 7

3 L 3 E

2 7

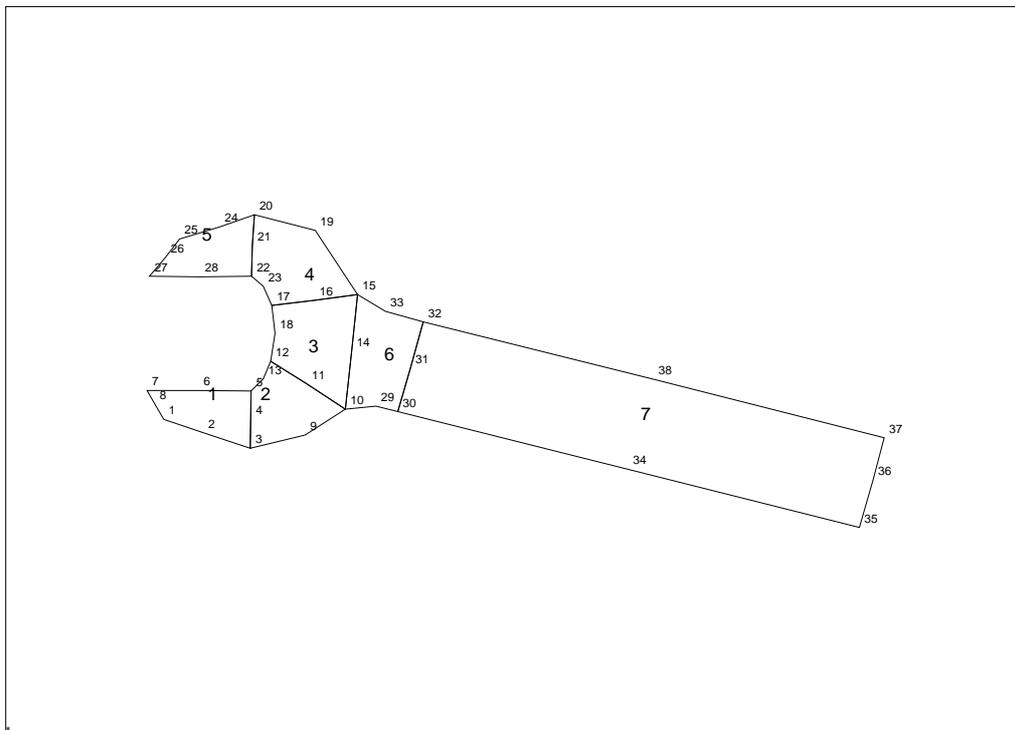
3 L 3 E

.... und so weiter

**HINWEIS:** In jeder Zeile können Kommentare stehen, nachdem alle erforderlichen Daten eingetragen sind. Mindestens ein Leerzeichen trennt das letzte Datum vom Kommentar. Das können Sie in Ihren eigenen Files ebenso machen. Je Zeile maximal 250 Zeichen insgesamt.

### 5.1.1 EINGABEN

Bei dem Beispiel soll von einer Superstruktur, also einem sehr groben FE- Netz ausgegangen werden. Der Netzgenerator soll aus der Superstruktur eine FE- Struktur generieren. Also ist zunächst das Netzgenerator- Eingabefile Z88NI.TXT zu entwerfen. Das erfolgt in CAD durch das in Kapitel 2.7 erläuterte Vorgehen. Wenn Sie ohne CAD- System arbeiten, erzeugen Sie die Datei Z88NI.TXT per Editor oder Textverarbeitungs- Programm. Die Superstruktur soll wie folgt aussehen:



**mit CAD- Programm:**

Gehen Sie nach der Beschreibung Kapitel 2.7 vor. Vergessen Sie nicht, auf dem Layer Z88EIO die Superelement- Informationen per TEXT- Funktion abzulegen, also

```
SE 1 7 7 3 E 3 E (1. SE, SE Typ 7, FE Typ 7, unterteile in x 3 x gleich, in y 3 x gleich)
SE 2 7 7 3 E 3 E (2. SE, SE Typ 7, FE Typ 7, unterteile in x 3 x gleich, in y 3 x gleich)
SE 3 7 7 3 E 3 E
SE 4 7 7 3 E 3 E
SE 5 7 7 3 E 3 E
SE 6 7 7 1 E 3 E
SE 7 7 7 6 E 3 E
```

und auf dem Layer Z88GEN die allgemeinen Informationen und E-Gesetz, wie

```
Z88NI.TXT 2 38 7 76 1 0 0 0 0 (2-DIM,38 Knoten,7 SE,76 FG,1 E-Gesetz,Flags 0)
```

```
MAT 1 1 7 206000 0.3 3 10 (1.E-Gesetz von SE 1 bis SE7:E,nue,INTORD,Dicke)
```

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT".

Er wird die Netzgenerator- Eingabedatei Z88NI.TXT erzeugen, die Sie anschließend mit Z88P betrachten sollten

**mit Editor:**

Netzgenerator- Eingabefile Z88NI.TXT (vgl. Kapitel 3.3) mit Editor schreiben :

```

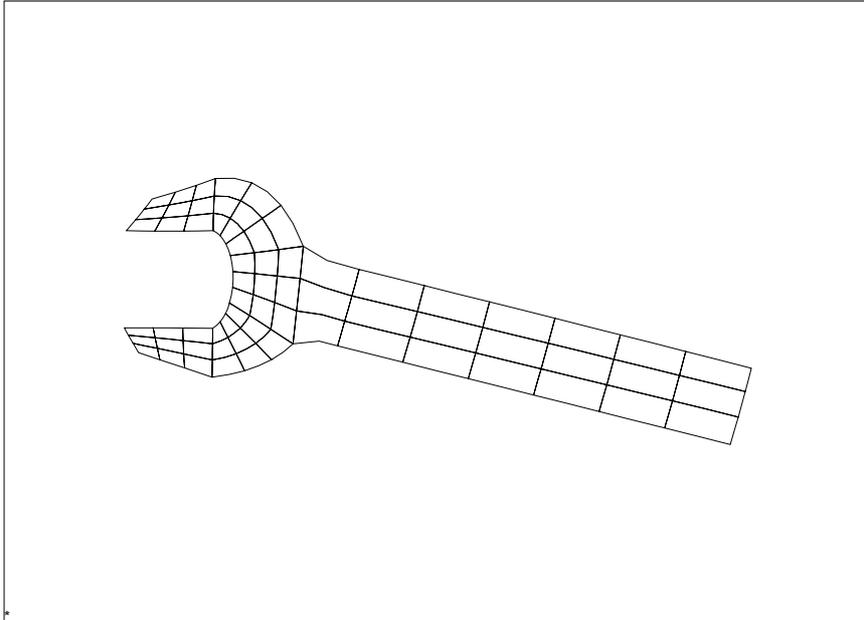
2 38 7 76 1 0 0 0 0 0 (2-DIM, 38 Knoten, 7 Superele., 76 FG, 1 E-Gesetz, Flags 0)
1 2 22.040 32.175 (Knoten 1, 2 FG, X- und Y-Koordinate)
2 2 31.913 28.798 (Knoten 2, 2 FG, X- und Y-Koordinate)
3 2 43.781 24.826
4 2 43.880 32.373
5 2 43.980 39.424
..... (Koordinaten für Knoten 6 .. 36 hier nicht dargestellt)
37 2 202.847 27.507
38 2 144.905 42.403
1 7 (SE 1 vom Typ Scheibe Nr.7)
1 3 5 7 2 4 6 8 (Koinzidenz für 1. SE)
2 7 (SE 2 vom Typ Scheibe Nr.7)
3 10 12 5 9 11 13 4 (Koinzidenz für 2. SE)
..... (Koinzidenz für Elemente 3 bis 6 hier ausgelassen)
7 7
30 35 37 32 34 36 38 31
1 7 206000 0.3 3 10 (E-Gesetz von SE 1 bis SE 7:E,nue,INTORD,Dicke)
1 7 (Zerlege 1.SE in FEs Typ 7 und
3 E 3 E unterteile in x 3mal gleich, in y 3mal gleich)
2 7 (Zerlege 2.SE in FEs Typ 7 und
3 E 3 E unterteile in x 3mal gleich, in y 3mal gleich)
3 7
3 E 3 E
4 7
3 E 3 E
5 7
3 E 3 E
6 7
1 E 3 E
7 7
6 E 3 E

```

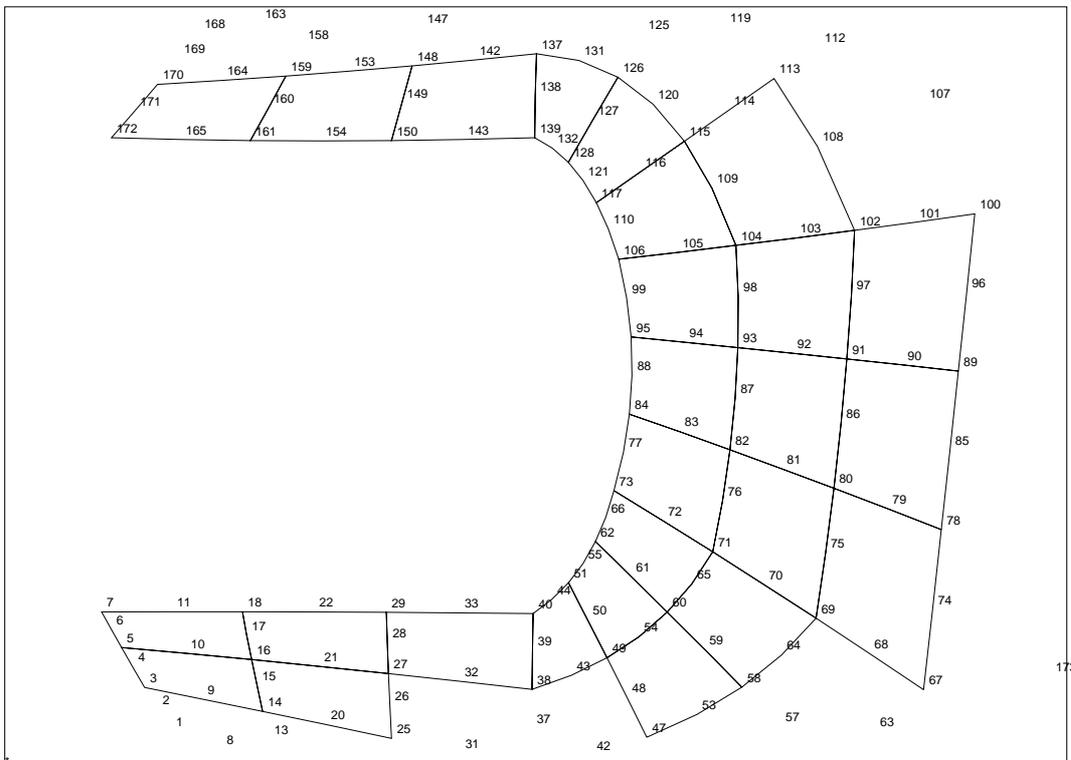
**mit CAD- Programm und Editor:**

Der Netzgenerator Z88N wird gestartet. Er erzeugt das eigentliche Z88- Strukturfile Z88I1.TXT. Das schauen wir uns entweder

- nach Konversion mit Z88X im CAD- Programm (von Z88I1.TXT nach Z88X.DXF) oder
- mit dem Z88- Plotprogramm Z88P an, um die Randbedingungen definieren zu können:



Wir zoomen das Schlüsselmaul, um die beiden Knoten für den Kraftangriff definieren zu können (vereinfacht wird angenommen, daß die Schraube nur punktuell an den Ecken ein Kräftepaar als Drehmoment erhält und daß sich die Schraube selbst und nicht der Schlüssel dreht):



Wir lesen die Knoten 11 und 143 ab. Die hier gezeigten Bilder sind direkt mit Z88P erzeugt.

Ebenso ermittelt man im Plotprogramm oder CAD- System die Knoten, an denen der Schlüssel festgehalten wird und gibt die Randbedingungen ein:

**im CAD Programm:**

Gehen Sie auf den Layer Z88RBD und geben Sie jeweils mit der TEXT- Funktion an beliebiger, freier Stelle ein:

```
Z88I2.TXT 16          (16 Randbedingungen gesamt)
RBD 1  11  2  1 -7143 (1.RB: Knoten 11 am FG 2 Kraft -7143 gegeben)
RBD 2 143  2  1 7143 (2.RB: Knoten 143 am FG 2 Kraft 7143 gegeben)
RBD 3 216  1  2  0   (3. RB: Knoten 216 am FG 1 Verschiebung 0 gegeben)
RBD 4 216  2  2  0
RBD 5 220  1  2  0
RBD 6 220  2  2  0
RBD 7 227  1  2  0
RBD 8 227  2  2  0
RBD 9 231  1  2  0
RBD 10 231  2  2  0
RBD 11 238  1  2  0
RBD 12 238  2  2  0
RBD 13 242  1  2  0
RBD 14 242  2  2  0
RBD 15 249  1  2  0
RBD 16 249  2  2  0
```

**mit Editor:**

File der Randbedingungen Z88I2.TXT durch Editieren aufstellen:

```
16          (16 Randbedingungen gesamt)
11  2  1 -7143 (Knoten 11 am FG 2 Kraft -7143 gegeben)
143 2  1 7143 (Knoten 143 am FG 2 Kraft +7143 gegeben)
216 1  2  0   (Knoten 216 am FG 1 Verschiebung 0 gegeben)
216 2  2  0
220 1  2  0
220 2  2  0
227 1  2  0
227 2  2  0
231 1  2  0
231 2  2  0
238 1  2  0
238 2  2  0
242 1  2  0
242 2  2  0
249 1  2  0
249 2  2  0
```

Eingabe für Spannungsberechnung:

**im CAD Programm:**

Gehen Sie auf den Layer Z88GEN und schreiben Sie eine beliebige, freie Stelle:

```
Z88I3.TXT 3 0 1 (3x3 Gaußpunkte für Spannungen, KFLAG 0, Vergleichssp. GEH)
Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88I*.TXT".
Es werden die drei Z88- Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT erzeugt.
```

**Mit Editor:**

Geben Sie in das Parameterfile für Spannungsprozessor Z88I3.TXT (vgl. Kap. 3.5)

3 0 1 (3x3 Gaußpunkte für Spannungen, KFLAG 0, Vergleichssp. GEH)

Nunmehr können der Cholesky-Solver Z88F und dann Spannungsprozessor Z88D gestartet werden. Während des Laufs von Z88F stellen wir fest, daß 14.848 Speicherplätze in der Gesamtsteifigkeitsmatrix GS benötigt werden. NKOI, also benötigte Plätze im Koinzidenzvektor KOI, wird mit 540 ausgewiesen. Reicht also ebenfalls. Wo kommt die Zahl 540 her? Es liegen 66 Finite Elemente vom Typ Scheibe Nr.7 mit je 8 Knoten vor, also  $66 \cdot 8 = 528$ . Die 540 kommen dadurch zustande, weil Z88F immer aus Sicherheitsgründen für das letzte Finite Element 20 Knoten ansetzt. Also wird NKOI hier:  $65 \cdot 8 + 20 = 540$ .

Knotenkraftberechnung führen Sie mit Z88E aus.

### 5.1.2 AUSGABEN

Der Cholesky- Solver **Z88F** liefert uns folgende Ausgabefiles an:

**Z8800.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte. Ist hauptsächlich für Dokumentationszwecke vorgesehen, zeigt aber auch, ob das, was man mit Z88NI.TXT dem Netzgenerator aufgetragen hat, richtig "rübergekommen" ist

**Z8801.TXT** aufbereitete Randbedingungen: Für Dokumentationszwecke. Und: Ist das, was Sie in Z88I2.TXT an Randbedingungen eingegeben haben, richtig interpretiert worden ?

**Z8802.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems.

Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet intern die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt

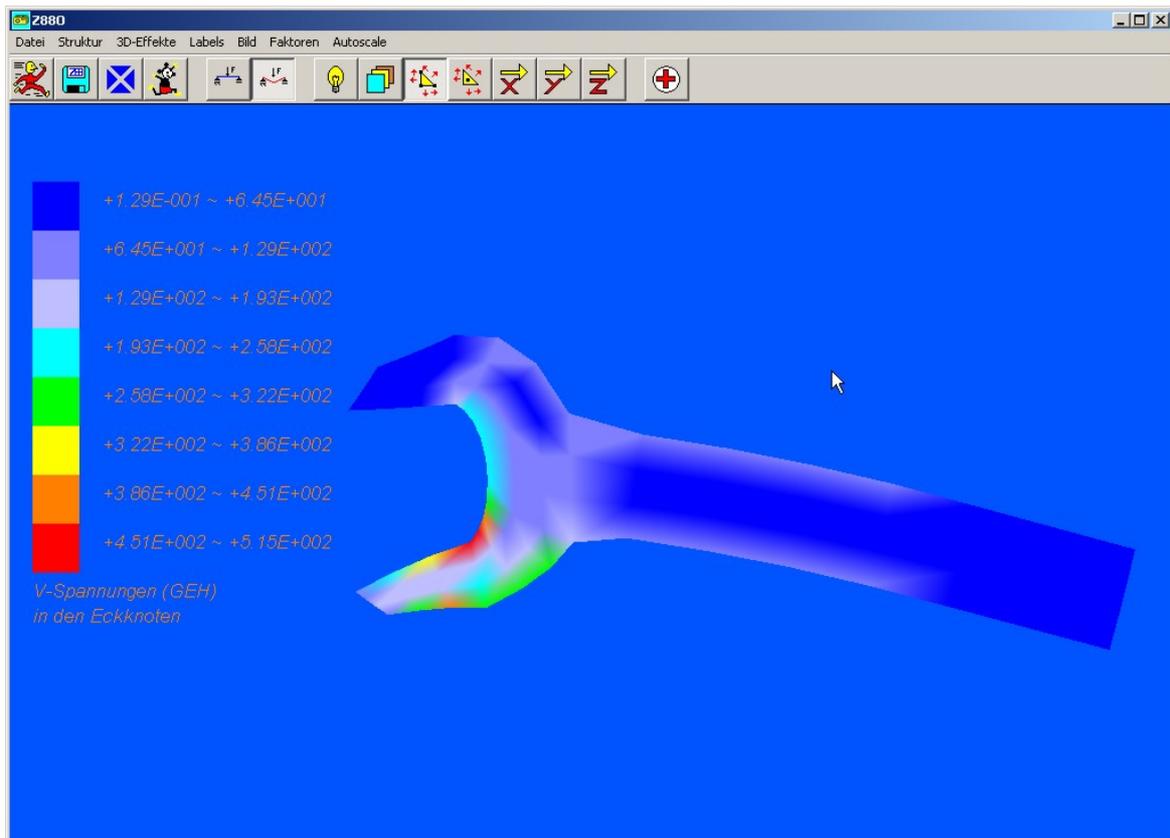
**Z8803.TXT** die berechneten Spannungen aus. Welche Spannungen in Z88O3.TXT gegeben werden, hängt von den Steuerparametern in Z88I3.TXT ab.

Für die verformte Struktur ergibt sich bei Wahl von FUX und FUY (Vergrößerung der Verschiebungen) von je 10 im Plotprogramm folgendes Bild:

Der Knotenkraft- Prozessor **Z88E** verwendet intern die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt

**Z8804.TXT** die berechneten Knotenkräfte aus.

Das OpenGL-Plotprogramm **Z88O** zeigt die gemittelten Vergleichsspannungen knotenbezogen an. Die dort ausgewiesenen Spannungen sind meist geringer als die Spannungen in den Gaußpunkten, wie sie das andere Plotprogramm Z88P anzeigt.



## 5.2 KRANTRÄGER AUS STÄBEN NR.4

Die Beispieldatei B2\_X.DXF in Z88- Eingabedateien Z88X.DXF umkopieren:  
B2\_X.DXF ---> Z88X.DXF CAD- Eingabefile

### CAD:

In diesem Beispiel sollen Sie die CAD- Superstruktur nur betrachten, aber noch nicht erzeugen. Das kommt in späteren Beispielen. Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. So würden Sie sie normalerweise selbst gezeichnet haben. Ändern Sie nichts und verlassen Sie Ihr CAD- Programm ohne Speichern, Konvertieren usw. Wenn Sie kein passendes CAD- System haben, lassen Sie diesen Schritt aus.

### Z88:

**Z88X**, Konvertierung von Z88X.DXF nach Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und Z88I3.TXT.

**Windows:** *Berechnung* > Z88X > Konvertierung > 5 von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT > *Berechnung* > *Start*, **UNIX:** Pushbutton DXF <-> Z88 mit Option DXF -> I\* (Z88-Commander) oder z88x -iafx ("i all from x") (Console oder X-Term).

**Z88P**, Finite Elemente Struktur betrachten. Löschen Sie zuvor die Datei Z88P.STO. Dann nimmt Z88P als Standard das Strukturfile Z88I1.TXT an. **Windows:** *Plotten* > Z88P, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton Z88P oder starten Sie von einem X-Term z88p. Versuchen Sie auch **Z88O**.

**Z88F**, berechnet Verformungen. **Windows:** *Berechnung* > Z88F > *Mode* > *Rechenmode* > *Berechnung* > *Start*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *SOLVER* mit Radiobutton Z88F -C oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console z88f -c

**Z88D**, berechnet Spannungen. **Windows:** *Berechnung > Z88D > Berechnung > Start*,  
**UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Z88D* oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88d*

**Z88E**, Knotenkraft- Berechnung. **Windows:** *Berechnung > Z88E > Berechnung > Start*,  
**UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Z88E* oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88e*

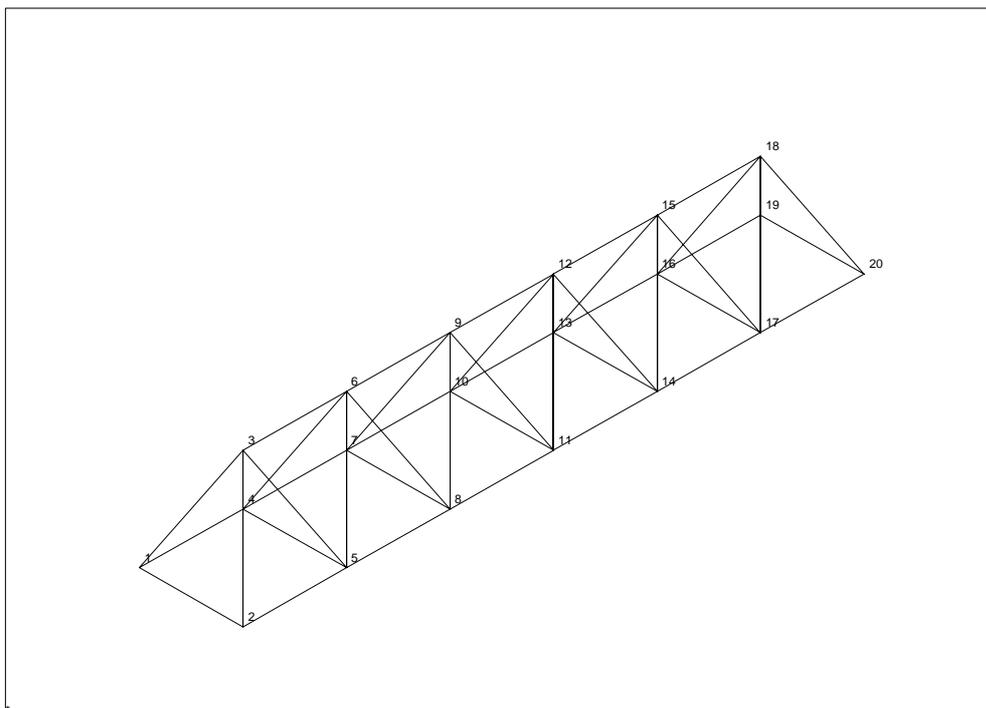
**Z88P**, Finite Elemente Struktur verformt betrachten. Die Verformungen werden standardmäßig um den Faktor 100 vergrößert, was für dieses Beispiel richtig ist. **Windows:** *Plotten > Z88P > Struktur > Verformt*. **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton *Z88P* oder starten Sie von einem X-Term *z88p*, Radiobutton *Verformt*. Das Anzeigen von Vergleichsspannungen ist für Stäbe Nr.4 nicht vorgesehen, weil es nur Zug/ Druckspannungen gibt. In Z88P geht das nicht, aber dafür in Z88O. Probieren Sie es.

Das Beispiel ist einfach und geradlinig. Experimentieren Sie mit den 3D-Möglichkeiten der Plotprogramme Z88P und Z88O.

Ein Kranträger besteht aus 54 Stäben, 20 Knoten und bildet ein räumliches Fachwerk. Die Knoten 1,2 und 19,20 werden gelagert, die Knoten 7 und 8 werden mit je -30.000 N belastet. Die Gesamtlänge beträgt 12 m. Die Angaben in der Beispieldatei sind in mm, aber Angaben in m sind genauso möglich, wenn die übrigen Angaben wie E-Modul und Querschnittsfläche sich ebenfalls auf m beziehen. Der E- Modul sei 200.000 N/mm<sup>2</sup>, Querkontraktionszahl  $\nu$  0.3, die Querschnittsfläche je 500 mm<sup>2</sup>.

Dieses Beispiel ist dem sehr guten Buch Schwarz, H.R.: FORTRAN Programme zur Methode der Finiten Elemente. Teubner Verlag, Stuttgart 1984, entnommen.

Beachte: Das Steuerfile Z88I3.TXT für den Spannungsprozessor kann für Stäbe Nr.4 beliebigen Inhalt haben. Für Gemischtverbände, z.B. aus Hexaedern und Stäben, gelten die Angaben in Z88I3.TXT dann nur für die Hexaeder.



## 5.2.1 EINGABEN

### **mit CAD- Programm:**

Gehen Sie nach der Beschreibung Kapitel 2.7.2 vor. Vergessen Sie nicht, auf dem Layer Z88EIO die Element- Informationen per TEXT- Funktion abzulegen, also

```
FE 1 4          (1. finites Element Typ 4)
FE 2 4          (2. finites Element Typ 4)
.....
FE 54 4         (54. finites Element Typ 4)
                (Infos für Elemente 3 bis 53 nicht gezeigt)
```

und auf dem Layer Z88GEN die allgemeinen Informationen und E-Gesetze, wie  
Z88I1.TXT 3 20 54 60 1 0 0 0 0 (3-dim,20 Knoten,54 Ele,60 FG, 1 E-Gesetz, Flags 0)

```
MAT 1 1 54 200000 0.3 1 500 (E-Gesetz Nr.1 Ele 1 bis 54,E-Modul, nue, INTORD
                               (bel.),QPARA ist Fläche der Stäbe)
```

Da Stäbe Nr.4 Strukturelemente (also nicht weiter verfeinerbar wie finite Elemente) sind, kann hier kein Netzgenerator verwendet werden. Sie können sofort die Randbedingungen mit der TEXT- Funktion auf dem Layer Z88RBD anlegen:

Die Struktur soll an den Knoten 1, 2 und 19, 20 gelagert werden. Eine Last von je 30.000 N wird an den Knoten 7 und 8 angebracht. Die Last soll nach unten wirken, daher -30.000 N.

```
Z88I2.TXT 10      (10 Randbedingungen)
RBD 1 1 2 2 0     (1.RB: Knoten 1, am FG 2 eine Verschiebung von 0)
RBD 2 1 3 2 0     (2.RB: Knoten 1, am FG 3 eine Verschiebung von 0)
RBD 3 2 1 2 0
RBD 4 2 3 2 0
RBD 5 7 3 1 -30000 (5.RB: Knoten 7, am FG 3 eine Kraft von -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
```

... und für die Spannungsberechnung schreiben Sie an eine beliebige, freie Stelle Ihrer Zeichnung im Layer Z88GEN:

```
Z88I3.TXT 0 0 0      (die Spannungsparameter können bei Stäben Nr.4 beliebig sein)
```

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT". Es werden die Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT erzeugt.

### **mit Editor:**

Geben Sie per Editor die Strukturdaten Z88I1.TXT (vgl. Abschnitt 3.2) ein:

```
3 20 54 60 1 0 0 0 0 (3-dim,20 Knoten,54 Ele,60 FG, 1 E-Gesetz,Flags 0)
1 3 0 2000 0 (1.Knoten, 3 FG, X-, Y- und Z-Koordinate)
2 3 0 0 0 (2.Knoten, 3 FG, X-, Y- und Z-Koordinate)
```

```

3 3 1000 1000 2000
4 3 2000 2000 0
5 3 2000 0 0
..... (Knoten 6 ..18 hier nicht dargestellt)
19 3 12000 2000 0
20 3 12000 0 0
1 4 (1. Element, Typ Stab Nr.4)
1 2 (Koinzidenz 1.Element)
2 4 (2. Ele, Typ Nr.4)
4 5 (Koinzidenz 2. Ele)
3 4
7 8
..... (Elemente 4 ..53 hier nicht dargestellt)
54 4
17 19
1 54 200000 0.3 1 500 (E-Gesetz Ele 1 bis 54,E-Modul,nue,INTORD (bel.), QPARA ist
Querschnittsfläche der Stäbe)

```

Die Struktur soll an den Knoten 1, 2 und 19, 20 gelagert werden. Eine Last von je 30.000 N wird an den Knoten 7 und 8 angebracht. Die Last soll nach unten wirken, daher -30.000 N. Daher geben Sie das File der Randbedingungen Z88I2.TXT (vgl. Abschnitt 2.4) ein:

```

10 (10 Randbedingungen)
1 2 2 0 (Knoten 1, am FG 2 eine Verschiebung von 0)
1 3 2 0 (Knoten 1, am FG 3 eine Verschiebung von 0)
2 1 2 0
2 3 2 0
7 3 1 -30000 (Knoten 7, am FG 3 eine Kraft von -30000)
8 3 1 -30000
19 1 2 0
19 3 2 0
20 2 2 0
20 3 2 0

```

Für die Spannungsrechnung kann das Parameterfile für Spannungsprozessor Z88I3.TXT beliebigen Inhalt haben (vgl. Abschnitte 3.5 und 4.4), denn Gaußpunkte, Radial- und Tangentialspannungen sowie Berechnung der Vergleichsspannungen haben für Stäbe Nr.4 keine Bedeutung.

#### **CAD und Editor:**

Nachdem nun die Strukturdaten Z88I1.TXT, die Randbedingungen Z88I2.TXT und das Steuerfile für den Spannungsprozessor Z88I3.TXT (mit beliebigem Inhalt) vorliegen, können

```

>Z88F Cholesky- Solver für Verschiebungsrechnung
>Z88D Spannungsprozessor
>Z88E Knotenkraftprozessor

```

gestartet werden.

## 5.2.2 AUSGABEN

Der Cholesky- Solver **Z88F** liefert folgende Ausgabefiles:

- **Z8800.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte. Ist hauptsächlich für Dokumentationszwecke vorgesehen.
- **Z8801.TXT** aufbereitete Randbedingungen: Für Dokumentationszwecke.
- **Z8802.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems.

Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet intern die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8803.TXT**, die berechneten Spannungen aus. Die Steuerparameter in Z88I3.TXT können bei Stäben Nr.4 beliebig sein.

Der Knotenkraftprozessor **Z88E** verwendet intern die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8804.TXT**, die berechneten Knotenkräfte aus.

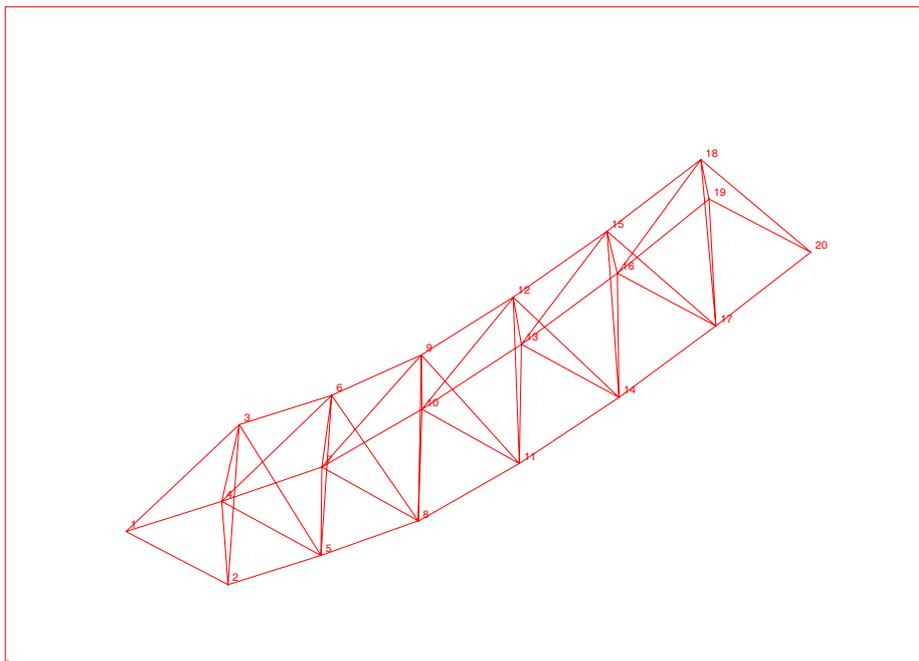
Hier wurden die Verschiebungen mit den Faktoren FUX, FUY und FUZ von je 100 um das Hundertfache vergrößert.

Sie können bei diesem 3D- Beispiel die Struktur bei **Windows** mit den Tasten *F2 .. F7* oder *> Bild > Rotation X-* usw. bzw. **UNIX** mit den Pushbuttons *RX+*, *RX-*, ..., *RZ-* um die drei Raumachsen rotieren lassen in Schritten von je 10 Grad. Mit *F8 (Windows)* bzw. *Rot 0 (UNIX)* setzen Sie die Rotationen wieder auf Null.

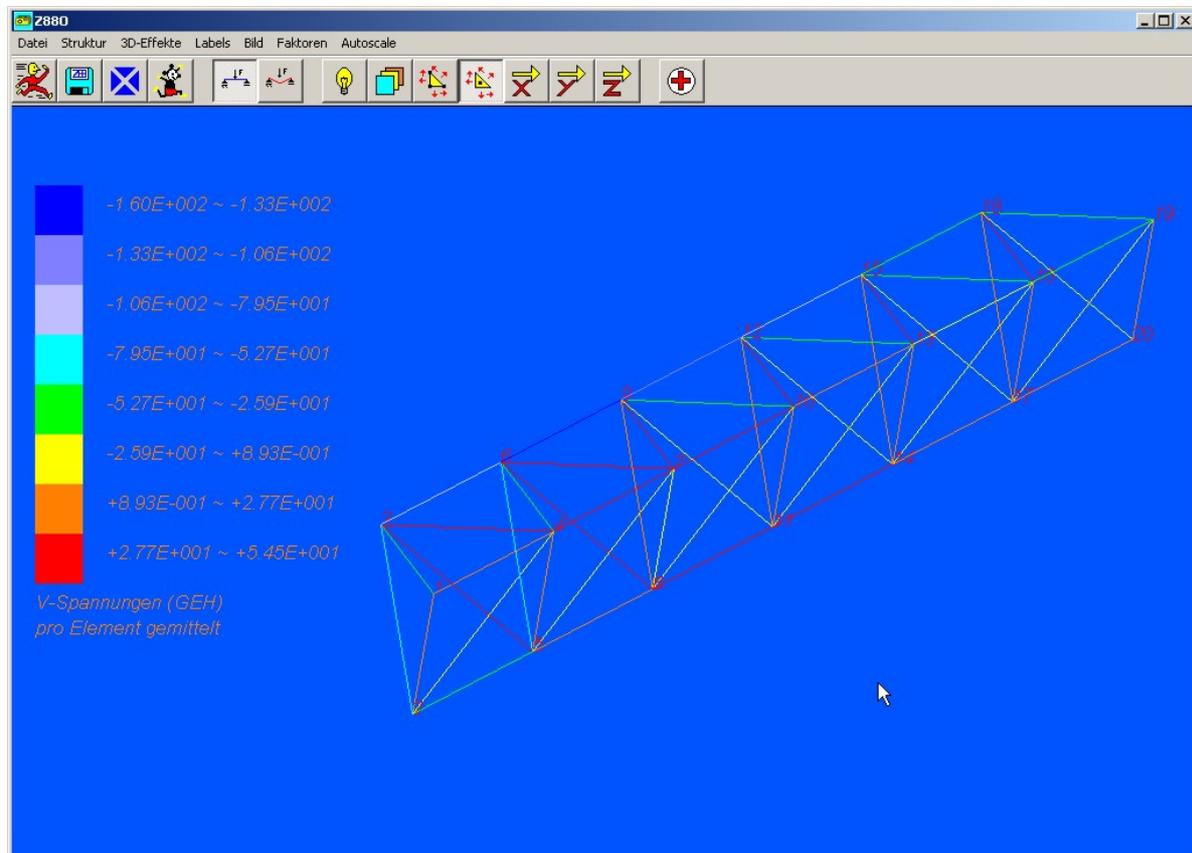
Zoomen können Sie bei **Windows** mit den Tasten *BILD HOCH* bzw. *BILD RUNTER* oder mit *> Bild > Vergr.* bzw. *> Bild > Verklei.* und bei **UNIX** mit den Pushbuttons *Zoom+* bzw. *Zoom-*.

Die Struktur verschieben Sie (sog. Panning) mit den *Cursortasten links, rechts, hoch, runter* und *POS1* bzw. *ENDE*, bei **UNIX** mit den Pushbuttons *X+*, *X-*, ..., *Z-*.

Außerdem sollten Sie die verschiedenen Ansichten, die Z88P zur Verfügung stellt, ausprobieren: **Windows** : *> Ansicht > XY, XZ, YZ, 3-Dim* bzw. **UNIX** : *Radiobox XY, XZ, YZ, 3D*. Vergleichsspannungen können Sie bei Stäben Nr.4 im Plotprogramm nicht anzeigen.



Da das Plotprogramm Z88O auch Vergleichsspannungen elementweise anzeigen kann, ist eine Anzeige der Zug- und Druckspannungen in den Stäben möglich, weil bei Stäben die Zug- und Druckspannungen gleichzeitig die Vergleichsspannungen sind. Sie müssen Z88O nur überlisten, indem Sie in die Steuerdatei für die Spannungsberechnung Z88I3.TXT eintragen: 0 0 1. Dann können Sie die Spannungen direkt anplotten:



### 5.3 GETRIEBEWELLE MIT WELLE NR.5

Die Beispieldatei B3\_X.DXF in Z88- Eingabedateien Z88X.DXF umkopieren:  
B3\_X.DXF ---> Z88X.DXF CAD- Eingabefile

#### **CAD:**

In diesem Beispiel können Sie die CAD- FE Struktur betrachten und auch ggf. später erzeugen. Spielen Sie zunächst das Beispiel ohne eigene Eingriffe durch. Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. So würden Sie sie normalerweise selbst gezeichnet haben. Ändern Sie nichts und verlassen Sie Ihr CAD- Programm ohne Speichern, Konvertieren usw. Wenn Sie kein passendes CAD- System haben, lassen Sie diesen Schritt aus.

#### **Z88:**

**Z88X**, Konvertierung von Z88X.DXF nach Z88I1.TXT, Z88I2.TXT und Z88I3.TXT.  
**Windows:** Berechnung > Z88X >Konvertierung > 5 von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT, > Berechnung > Start, **UNIX:** Pushbutton DXF <-> Z88 mit Option DXF -> I\* (Z88-Commander) oder z88x -iafx ("i all from x") (Console oder X-Term).

**Z88P**, Finite Elemente Struktur betrachten. Löschen Sie zuvor die Datei Z88P.STO. Dann nimmt Z88P als Standard das Strukturfile Z88I1.TXT an. Löschen können Sie bei **Windows** und **UNIX** direkt im Z88- Commander Z88COM. Starten Sie sodann Z88P. **Windows:** *Plotten > Z88P*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton Z88P oder starten Sie von einem X-Term *z88p*.

**Z88F**, berechnet Verformungen. **Windows:** *Berechnung > Z88F > Mode > Rechenmode, > Berechnung > Start*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *SOLVER* mit Radiobutton Z88F -C oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88f -c*

**Z88D**, berechnet Spannungen. **Windows:** *Berechnung > Z88D > Berechnung > Start*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton Z88D oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88d*

**Z88E**, Knotenkraft- Berechnung. **Windows:** *Berechnung > Z88E > Berechnung > Start*, **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton Z88E oder starten Sie von einem X-Term oder einer Console *z88e*.

**Z88P**, Finite Elemente Struktur verformt betrachten. Die Verformungen werden standardmäßig um den Faktor 100 vergrößert, was für dieses Beispiel zu wenig ist: Setzen Sie *FUX, FUY* und *FUZ* auf je 1000. **Windows:** *Plotten > Z88P > Faktoren > Verschiebungen > für FUX, FUY und FUZ je 1000 eintragen, > Struktur > Verformt*. **UNIX:** Beim Z88-Commander Pushbutton *Plotauswahl* mit Radiobutton Z88P oder starten Sie von einem X-Term *z88p*, bei Textfeldern *FUX, FUY* und *FUZ* je 1000 eintragen eintragen, entweder jeweils Return oder Pushbutton *Regen*. Radiobutton *Verformt*.

Das Berechnen und Anzeigen von Vergleichsspannungen ist für Wellen Nr.5 nicht vorgesehen, weil nach neueren Erkenntnissen Vergleichsspannungen bei Wellen nicht nur von den eigentlichen Hauptspannungen (die in Z88 berechnet werden), sondern auch besonders von Kerbfaktoren (die naturgemäß *nicht* in Z88 und anderen FEM- Systemen berechnet werden) und anderen Einflußgrößen abhängen.

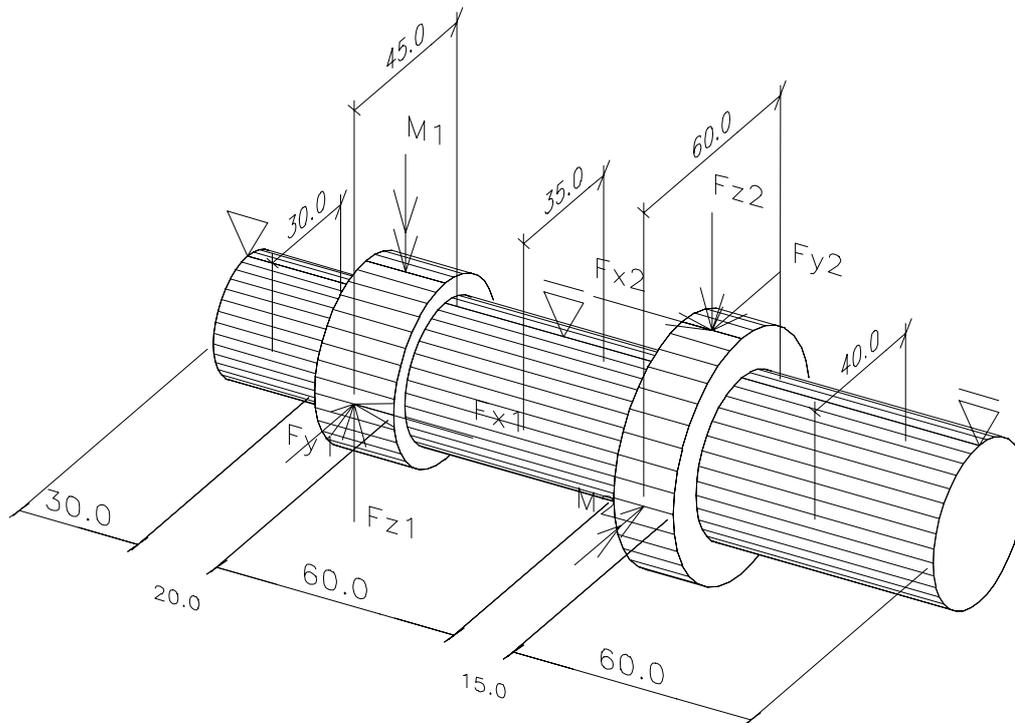
**Aufgabe:** Eine Getriebewelle besteht aus:

- Wellenabschnitt,  $D=30$  mm,  $L=30$  mm, Festlager am linken Ende
- Zahnrad 1, Teilkreis- $D=45$  mm,  $L=20$ mm
- Wellenabschnitt,  $D=35$ ,  $L=60$  mm, Loslager in der Mitte
- Zahnrad 2, Teilkreis- $D=60$  mm,  $L=15$ mm
- Wellenabschnitt,  $D=40$ mm,  $L=60$  mm, Loslager am rechten Ende

Für die Belastungen stellen wir uns die Welle körperlich mit folgendem Koordinatensystem vor: Schauen wir auf die Welle als Hauptansicht, dann sei der Ursprung am linken Wellenende, Wellenmitte. X läuft längs der Welle, Z nach oben, Y nach hinten.

- Am Zahnrad 1 wirken im (körperlichen) Punkt  $X_1=40$ ,  $Y_1=-22.5$ ,  $Z_1=0$  folgende Zahnkräfte:  $F_{x1}=-10.801$  N,  $F_{y1}=6.809$  N,  $F_{z1}=18.708$  N. Aus  $F_{x1}$  resultiert ein Biegemoment  $M_1$  um die Z-Achse von  $-243.023$  Nmm.
- Am Zahnrad 2 wirken im (körperlichen) Punkt  $X_2=117.5$ ,  $Y_2=0$ ,  $Z_2=30$  folgende Zahnkräfte:  $F_{x2}=8.101$  N,  $F_{y2}=-14.031$  N,  $F_{z2}=-5.107$  N Aus  $F_{x2}$  resultiert ein Biegemoment  $M_2$  um die Y-Achse von  $243.030$  Nmm.

- Daher ergeben sich Belastungen in XY- und XZ-Ebene. Für die FE-Rechnung existieren die "körperlichen" Punkte natürlich nicht, denn ein Wellenelement besteht rechnerisch nur aus zwei Punkten längs der X-Achse. Die Y- und Z-Koordinaten sind immer 0.
- Die Welle wird in acht Wellenelemente Nr.5 unterteilt = 9 Knoten. Die Lagerung erfolgt in den Knoten 1,5 und 9. Am Knoten 1 wird zusätzlich der Freiheitsgrad 4 (der Torsionsfreiheitsgrad) gesperrt, um die Wellenverdrehung zwischen den beiden Zahnrädern rechnen zu können.



### 5.3.1 EINGABEN

Dieses Beispiel ist fast einfacher in Dateiform per Editor einzugeben als mit CAD. Der CAD-Einsatz bringt echte Vorteile bei z.B. Beispiel 1, 2, 5 und 6. Beide Wege werden nachfolgend gezeigt:

#### **mit CAD- Programm:**

Gehen Sie nach der Beschreibung Kapitel 2.7 vor. Vergessen Sie nicht, auf dem Layer Z88EIO die Element- Informationen per TEXT- Funktion abzulegen, also

```
FE 1 5 (1. finites Element Typ 5)
FE 2 5 (2. finites Element Typ 5)
FE 3 5 (3. finites Element Typ 5)
FE 4 5 (4. finites Element Typ 5)
FE 5 5 (5. finites Element Typ 5)
FE 6 5 (6. finites Element Typ 5)
FE 7 5 (7. finites Element Typ 5)
FE 8 5 (8. finites Element Typ 5)
```

und auf dem Layer Z88GEN die allgemeinen Informationen und E-Gesetze, wie

```
Z88II.TXT 3 9 8 54 3 0 0 0 0 (3-dim, 9 Knoten, 8 Ele, 54 FG, 3 E-Gesetze, Flags 0)
MAT 1 1 3 206000 0.3 1 30 (1.E-Gesetz von Ele 1 bis 3, E, nue, QPARA= 30)
MAT 2 4 6 206000 0.3 1 35 (2.E-Gesetz von Ele 3 bis 6, E, nue, QPARA= 35)
```

MAT 3 7 7 206000 0.3 1 40 (3.E-Gesetz von Ele 7 bis 7, E, nue, QPARA= 40)

Da Wellen Nr.5 Strukturelemente (also nicht weiter verfeinerbar wie finite Elemente) sind, kann hier kein Netzgenerator verwendet werden. Sie können sofort die Randbedingungen mit der TEXT- Funktion auf dem Layer Z88RBD anlegen:

```
Z88I2.TXT 18 (18 Randbedingungen)
RBD 1 1 1 2 0 (1.RB: Knoten 1, FG 1 (=X) gesperrt)
RBD 2 1 2 2 0 (2.RB: Knoten 1, FG 2 (=Y) gesperrt)
RBD 3 1 3 2 0 (3.RB: Knoten 1, FG 3 (=Z) gesperrt)
RBD 4 1 4 2 0 (4.RB: Knoten 1, FG 4 (=Torsion) gesperrt)
RBD 5 3 1 1 -10801 (5.RB: Knoten 3, FG 1 (=X), Kraft -10801 N)
RBD 6 3 2 1 +6809 (6.RB: Knoten 3, FG 2 (=Y), Kraft 6809 N)
RBD 7 3 3 1 +18708 (7.RB: Knoten 3, FG 3 (=Z), Kraft 18708 N)
RBD 8 3 4 1 -420930 (8.RB: Knoten 3, FG 4 (Torsion), Moment -420930 Nmm)
RBD 9 3 6 1 -243023 (9.RB: Knoten 3, FG 6 (Biegem. um Z),Moment -243023 Nmm)
RBD 10 5 2 2 0
RBD 11 5 3 2 0
RBD 12 7 1 1 +8101
RBD 13 7 2 1 -14031
RBD 14 7 3 1 -5107
RBD 15 7 4 1 +420930
RBD 16 7 5 1 -243030
RBD 17 9 2 2 0
RBD 18 9 3 2 0
```

... und für die Spannungsberechnung schreiben Sie an eine beliebige, freie Stelle Ihrer Zeichnung im Layer Z88GEN:

```
Z88I3.TXT 0 0 0 (die Spannungsparameter können hier beliebig sein)
```

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT". Es werden die Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT erzeugt.

#### **mit Editor:**

Geben Sie per Editor die Strukturdaten Z88I1.TXT (vgl. Abschnitt 3.2) ein:

```
3 9 8 54 3 0 0 0 0 (3-dim, 9 Knoten, 8 Ele, 54 FG, 3 E-Gesetze, Flags 0)
1 6 0 0 0 (Knoten 1, 6 FG, X-, Y- und Z-Koordinate)
2 6 30 0 0 (Knoten 2, 6 FG, X-, Y- und Z-Koordinate)
3 6 40 0 0
4 6 50 0 0
5 6 80 0 0
6 6 110 0 0
7 6 117.5 0 0
8 6 125 0 0
9 6 185 0 0
1 5 (Element 1, Welle Nr.5)
1 2 (Koinzidenz Ele 1)
2 5 (Element 2, Typ 5)
2 3 (Koinzidenz Ele 2)
```

..... (Elemente 3 bis 7 hier ausgelassen)

8	5					
8	9					
1	3	206000	0.3	1	30	(E-Gesetz von Ele 1 bis 3, E, nue, QPARA= 30)
4	6	206000	0.3	1	35	(E-Gesetz von Ele 3 bis 6, E, nue, QPARA= 35)
7	7	206000	0.3	1	40	(E-Gesetz von Ele 7 bis 7, E, nue, QPARA= 40)

Die Randbedingungen Z88I2.TXT:

18						(18 Randbedingungen)
1	1	2	0			(Knoten 1, FG 1 (=X) gesperrt)
1	2	2	0			(Knoten 1, FG 2 (=Y) gesperrt)
1	3	2	0			(Knoten 1, FG 3 (=Z) gesperrt)
1	4	2	0			(Knoten 1, FG 4 (=Torsion) gesperrt)
3	1	1	-10801			(Knoten 3, FG 1 (=X), Kraft -10801 N)
3	2	1	+6809			(Knoten 3, FG 2 (=Y), Kraft 6809 N)
3	3	1	+18708			(Knoten 3, FG 3 (=Z), Kraft 18708 N)
3	4	1	-420930			(Knoten 3, FG 4 (Torsion), Moment -420930 Nmm)
3	6	1	-243023			(Knoten 3, FG 6 (Biegemoment um Z), Moment -243023 Nmm)
5	2	2	0			
5	3	2	0			
7	1	1	+8101			
7	2	1	-14031			
7	3	1	-5107			
7	4	1	+420930			
7	5	1	-243030			
9	2	2	0			
9	3	2	0			

Für die Spannungsrechnung kann das Parameterfile für Spannungsprozessor Z88I3.TXT beliebigen Inhalt haben (vgl. Abschnitte 3.5 und 4.5), denn Gaußpunkte, Radial- und Tangentialspannungen sowie Berechnung der Vergleichsspannungen haben für Wellen Nr.5 keine Bedeutung.

#### **CAD und Editor:**

Nachdem nun die Strukturdaten Z88I1.TXT, die Randbedingungen Z88I2.TXT und das Steuerfile für den Spannungsprozessor Z88I3.TXT (mit beliebigem Inhalt) vorliegen, können

>Z88F Cholesky- Solver für Verschiebungsrechnung

>Z88D Spannungsprozessor

>Z88E Knotenkraftprozessor

gestartet werden.

### 5.3.2 AUSGABEN

Der Cholesky- Solver **Z88F** liefert folgende Ausgabefiles:

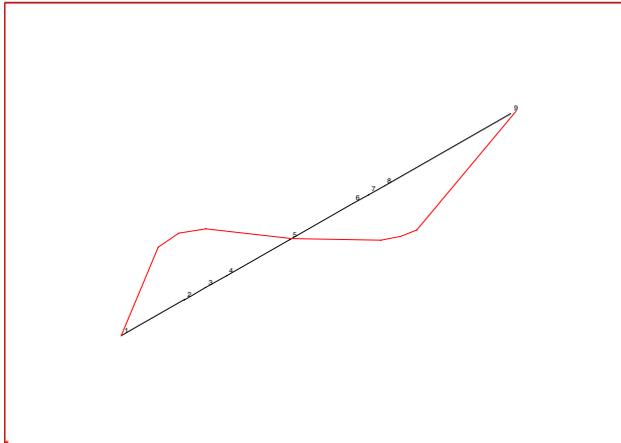
**Z8800.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte. Für Dokumentationszwecke

**Z8801.TXT** aufbereitete Randbedingungen: Für Dokumentationszwecke.

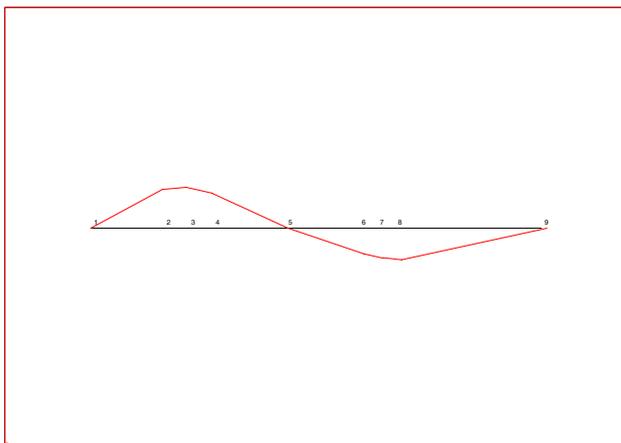
**Z8802.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems. Beachten Sie hierbei, daß die Verformungen der FG 4, 5 und 6 Verdrehungen in rad sind.

Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z88O3.TXT**, die berechneten Spannungen aus. Die Steuerparameter in Z88I3.TXT können bei Wellen Nr.5 beliebig sein.

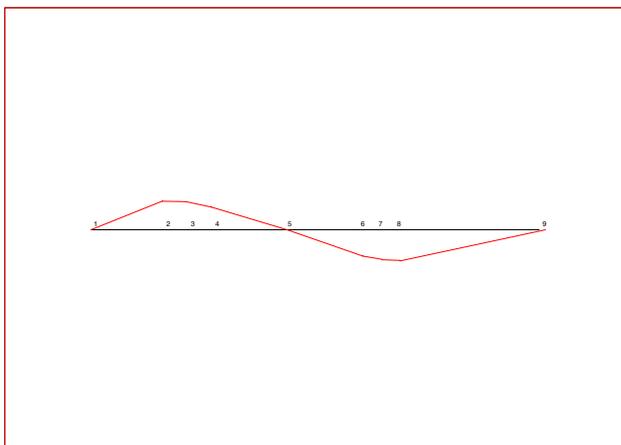
Der Knotenkraftprozessor. **Z88E** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z88O4.TXT**, die berechneten Knotenkräfte aus. Beachten Sie hierbei, daß die "Kräfte" an den FG 4, 5 und 6 in Wirklichkeit Momente sind, denn die FG 4, 5 und 6 sind Rotationen. Hier wurden die Verschiebungen mit den Faktoren FUX, FUY und FUZ von je 1000 um das Tausendfache vergrößert.



**Ansicht unverformte Struktur mit Knotenlabels, darüber verformte Struktur im Raum**



**Ansicht X-Z - Ebene, unverformt und verformt**



**Ansicht X-Y - Ebene, unverformt und verformt**

## 5.4 BIEGETRÄGER MIT BALKEN NR.13

Die Beispieldatei B4\_X.DXF in Z88- Eingabedateien Z88X.DXF umkopieren:  
B4\_X.DXF ---> Z88X.DXF CAD- Eingabefile

### CAD:

Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. Diese Vorlage hätten normalerweise Sie in CAD gezeichnet (was sich hier nicht lohnt) und dann als Z88X.DXF exportiert.

**Z88:** (in Kurzform, ausführlichere Anleitung vgl. Beispiele 5.1, 5.2 und 5.3)

Z88X, Konvertierung "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT"

Z88P, Strukturfile Z88I1.TXT, Struktur betrachten

Z88F, berechnet Verformungen

Z88D, berechnet Spannungen

Z88E, berechnet Knotenkräfte

Z88P, Plotten FE- Struktur, nun auch verformt (FUX,FUY,FUZ je 10.)

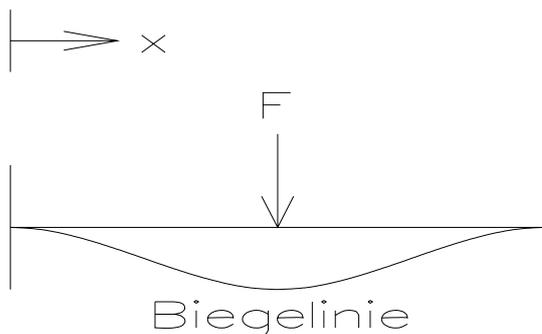
Es wird ein beidseitig eingespannter Träger behandelt, der in der Mitte mit 1648 N nach unten belastet wird, vgl. *Dubbel*, Taschenbuch für den Maschinenbau, 15.Auflage, Springer 1986, S.201, Fall 6. Geometrie: Länge 1000 mm, Querschnitt Flach 50 x 10 mm. Damit ist:  $A= 500 \text{ mm}^2$ ,  $I_{zz}= 4167 \text{ mm}^4$ ,  $e_{zz}= 5 \text{ mm}$ .

Die Biegelinie hat Wendepunkte, daher nehmen wir 4 Balken Nr.13. Die Knoten 1 und 5 werden eingespannt, im Knoten 3 wird belastet.

Analytisch rechnet man:

- $f$  in der Mitte :  $F*L^3/(192*E*I) = 10 \text{ mm}$
- $f$  in den Wendepunkten :  $f_w = f/2 = 5 \text{ mm}$
- Die Momente links, rechts, Mitte :  $F*L/8 = 206000 \text{ Nmm}$
- Die Neigung in den Wendepunkten :  $\phi = \text{atan}(3*f/L) = 0.029991 \text{ rad}$

Bei der Auswertung von Z88O2.TXT (Verschiebungen) und Z88O4.TXT (Kräfte, Momente) die Vorzeichendefinitionen beachten (vgl. Abschnitt 3.13). Besonders Z88O4.TXT, Knoten 3: Die Kraft  $F(2) =$  Kraft in Y ist die Summe aus den Einzelkräften der Elemente 2 und 3, weil äußere Last. Die Kraft  $F(3) =$  Biegemoment ist nicht über Elemente 2 und 3 zu addieren, weil Schnittmoment, keine äußere Last ! Auch die Vorzeichen für Last  $F(3)$  am Knoten 1 und  $F(3)$  am Knoten 5 sind richtig, vgl. Abschnitt 4.13. In der Technischen Mechanik gelten t.w. andere Konventionen.



## 5.4.1 EINGABEN

An diesem Beispiel wird deutlich, daß bei einer FEM- Rechnung an allen Stellen, an denen man Ergebnisse haben möchte, definitiv Knoten vorhanden sein müssen. Da der Balken links und rechts "eingemauert" ist, stellt sich zwar in der Mitte bei  $x = L/2$  die höchste Absenkung ein, jedoch hat die Biegelinie zusätzlich zwei Wendepunkte bei  $x = L/4$  und bei  $x = 3L/4$ . Um an diesen Stellen Rechenergebnisse zu erhalten, ist die Struktur in 4 Balken Nr.13 aufzuteilen mit Knoten bei  $x = 0$ ,  $x = L/4$ ,  $x = L/2$ ,  $x = 3L/4$  und  $x = L$ .

Hier wird nur die Eingabe via Dateien gezeigt, da sich hier der CAD- Einsatz nicht lohnt. So wird Z88I1.TXT:

```
2 5 4 15 1 0 1 0 0      (2-D, 5 Knoten, 4 Ele, 5 FG, 1 E-Gesetz, KFLAG 0, IBFLAG 1,
                          IPFLAG 0, IQFLAG 0)
1 3      0 0            (1.Knoten, 3 FG, X- und Y-Koordinate)
2 3  250 0
3 3  500 0
4 3  750 0
5 3 1000 0
1 13                    (1. Element, Typ Ebener Balken Nr.13)
1 2                    (Koinzidenz 1.Element)
2 13
2 3
3 13
3 4
4 13
4 5
1 4 206000 0.3 1 500 0 0 4167 5 0 0 (E-Gesetz Ele 1 bis 4, E-Modul, nue, INTORD
                                      (bel.), QPARA = Fläche,  $I_{xx}=0$ ,  $e_{xx}=0$ ,  $I_{zz}$ ,  $e_{zz}$ ,  $I_t=0$ ,  $W_t=0$ )
```

Bei den Randbedingungen wird der Knoten 1 in allen Freiheitsgraden gesperrt. Wichtig ist insbesondere die Verschiebung in  $X =$  Freiheitsgrad 1, damit die Struktur wirklich raumfest wird. Am Knoten 5 genügt die Festlegung der Freiheitsgrade 2 (= Verschiebung in  $Y$ ) und 3 (= Einspannmoment). Den  $X$ - Freiheitsgrad kann man, wenn man will, rechnerisch sperren. In der Praxis werden die Auflager so ausgeführt, daß der Träger zumindest in einem Auflager in  $X$  wegen Wärmedehnung schieben kann. Das ist in Z88I2.TXT berücksichtigt.

Hier Z88I2.TXT:

```
6                        (6 Randbedingungen)
1 1 2  0                (Knoten 1, am FG 1 eine Verschiebung von 0 = FG 1 gesperrt)
1 2 2  0                (Knoten 1, FG 2 gesperrt)
1 3 2  0                (Knoten 1, FG 3 gesperrt (Einspannmoment))
3 2 1 -1648            (Knoten 3, am FG 2 eine Kraft von -1648 N)
5 2 2  0
5 3 2  0
```

Für die Spannungsberechnung kann das Parameterfile für Spannungsprozessor Z88I3.TXT beliebigen Inhalt haben (vgl. Abschnitte 3.5 und 4.13), denn Gaußpunkte, Radial- und Tangentialspannungen sowie Berechnung der Vergleichsspannungen haben für Balken Nr.13 keine Bedeutung.

## 5.4.2 AUSGABEN

Der Cholesky- Solver **Z88F** liefert folgende Ausgabefiles:

**Z8800.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte. Für Dokumentationszwecke

**Z8801.TXT** aufbereitete Randbedingungen: Für Dokumentationszwecke.

**Z8802.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems.

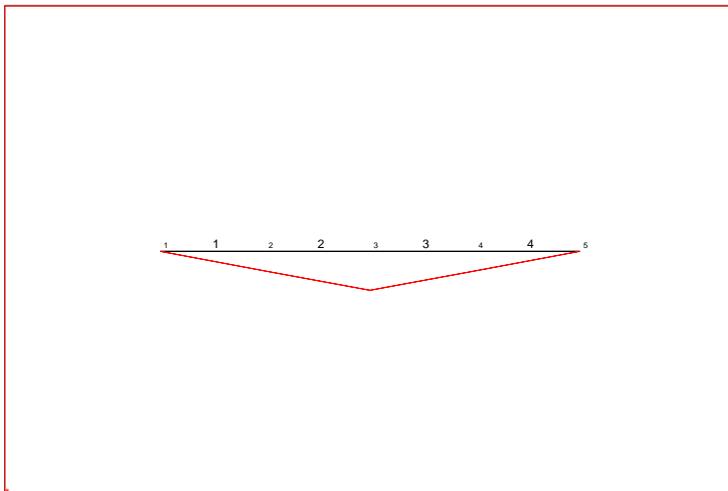
Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8803.TXT**, die berechneten Spannungen aus. Die Steuerparameter in Z88I3.TXT können bei Balken Nr.13 beliebig sein.

Der Knotenkraftprozessor **Z88E** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8804.TXT**, die berechneten Knotenkräfte aus.

Hier wurden die Verschiebungen mit den Faktoren FUX, FUY und FUZ von je 10 um das Zehnfache vergrößert.

Bei den Ergebnissen der Knotenkräfte ist zu beachten: Knoten 3: Die Kraft  $F(2)$  = Kraft in Y ist die Summe aus den Einzelkräften der Elemente 2 und 3, weil äußere Last. Die Kraft  $F(3)$  = Biegemoment ist nicht über Elemente 2 und 3 zu addieren, weil Schnittmoment, keine äußere Last ! Auch die Vorzeichen für Last  $F(3)$  am Knoten 1 und  $F(3)$  am Knoten 5 sind richtig, vgl. Abschnitt 4.13. In der Technischen Mechanik gelten t.w. andere Konventionen.

Zusatzbemerkung: Wie ersichtlich, sind solche einfachen Beispiele gut geeignet, um sich die Vorzeichendefinitionen klar zu machen. Experimentieren Sie mit diesem Beispiel und rechnen Sie andere Biegefälle aus *Dubbel* oder *Hütte*. Sinngemäß werden Balkenfachwerke etc. mit Balken Nr.2 berechnet. Dann muß aber eine echte räumliche Struktur vorliegen: Mindestens eine Z- Koordinate muß ungleich 0 sein.



**Ansicht Struktur unverformt und verformt**

Beachte: Das Plotprogramm Z88P verbindet die Knoten mit geraden Linien, obwohl im Falle eines Balkens Nr.13 bzw. Nr.2 die Biegelinie eine kubische Parabel darstellt. Das bedeutet: Die Verformungen zeigt Z88P an den Knoten selbst korrekt, zwischen den Knoten sind Geradenstücke. Es wird also keine Biegelinie abgebildet. Wollte man dies mit Z88P tun, dann müßten wesentlich mehr Balken verwendet werden (die kubische Biegelinie wird dann durch eine größere Anzahl Geraden stückweise abgebildet)

## 5.5 PLATTENSEGMENT AUS HEXAEDERN NR.1

Die Beispieldateien B5\_\* in Z88- Eingabedateien Z88\* umkopieren:

B5\_X.DXF ---> Z88X.DXF CAD- Eingabefile  
B5\_2.TXT ---> Z88I2.TXT Randbedingungen  
B5\_3.TXT ---> Z88I3.TXT Steuerparameter für Spannungsprozessor

### **CAD:**

Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. Diese Vorlage hätten normalerweise Sie in CAD gezeichnet und dann als Z88X.DXF exportiert.

**Z88:** (in Kurzform, ausführlichere Anleitung vgl. Beispiele 5.1, 5.2 und 5.3)

Z88X, Konvertierung "von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT"  
Z88P, darin Strukturfile Z88NI, Superstruktur betrachten  
Z88N, Netzgenerator, erzeugt Z88I1.TXT  
Z88P, darin Strukturfile Z88I1.TXT, unverformte FE-Struktur  
Z88X, Konvertierung "von Z88I\*.TXT nach Z88X.DXF"

### **CAD:**

Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. Normalerweise hätten Sie in CAD nun die Randbedingungen und Steuerinformationen Z88I3.TXT hinzugefügt und dann als Z88X.DXF exportiert.

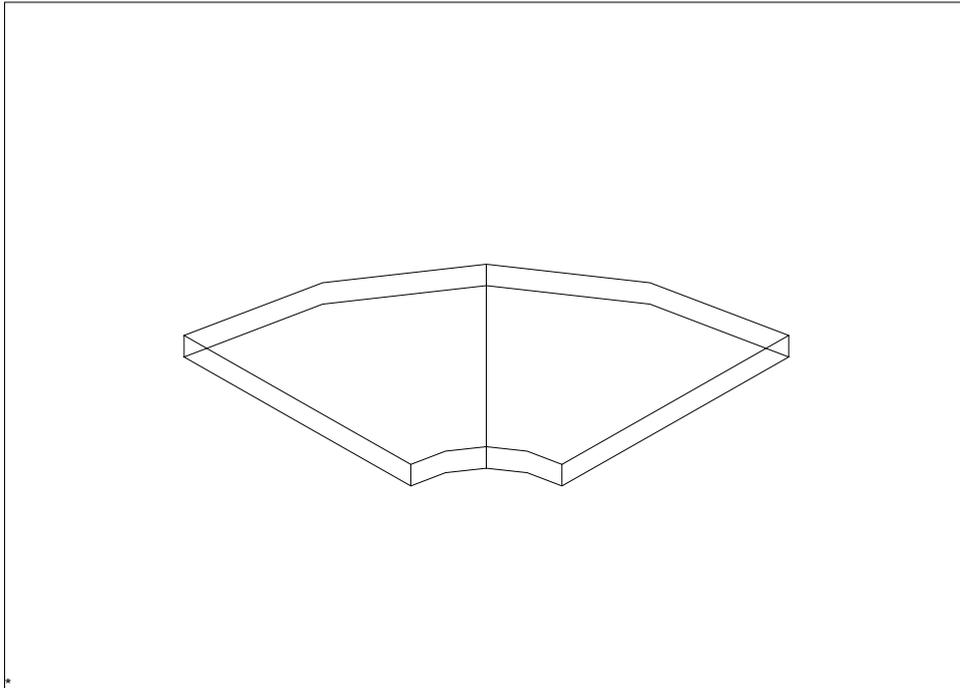
**Z88:** (in Kurzform, ausführlichere Anleitung vgl. Beispiele 5.1, 5.2 und 5.3)

Z88X, Konvertierung "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT"  
Z88F, berechnet Verformungen  
Z88D, berechnet Spannungen  
Z88P, Plotten FE- Struktur, auch verformt (FUX, FUY, FUZ je 10.) bzw. Spannungsanzeige  
Z88E, Knotenkraft- Berechnung

Wir betrachten ein 90-Grad Plattensegment, sieht wie ein Tortenstück aus. Ist am äußeren Rand eingespannt und wird am inneren Rand mit 7000 N belastet. Derartige Strukturen lassen sich am besten in Zylinderkoordinaten eingeben; um die Geometrie zu erfassen, genügen zwei Superelemente Hexaeder Nr.10. Diese beiden SE sollen nun in insgesamt 48 Hexaeder Nr.1 als FE- Netz zerlegt werden.

Dieses Beispiel ist sehr geeignet für Experimente mit dem Netzgenerator..sollten Sie das tun, dann müssen Sie ggf. neue Randbedingungen definieren: mit Hilfe Ihres CAD- Programms bzw. des Z88- Plotprogramms.

Bei der Spannungsanzeige ist zu beachten, daß die Spannungen in den Gaußpunkten angezeigt werden. Gaußpunkte liegen im Innern eines Finiten Elements, nie direkt auf der Oberfläche. Spannungen auf der Oberfläche erhält man durch Extrapolieren, z.B. Biegespannungen mit Strahlensatz.



**Superstruktur, bestehend aus zwei Hexaedern Nr.10 mit je 20 Knoten**

### 5.5.1 EINGABEN

**mit CAD- Programm:**

Gehen Sie nach der Beschreibung Kapitel 2.7.2 vor. Vergessen Sie nicht, auf dem Layer Z88EIO die Superelement- Informationen per TEXT- Funktion abzulegen, also

```
SE 1 1 8 L 3 e 1 e (1. Supere., FE Typ 1, untert. x 8 x aufst., in y 3 x gleich, z lassen)
SE 2 1 8 L 3 e 1 e (2. Supere., FE Typ 1, untert. x 8 x aufst., in y 3 x gleich, z lassen)
```

und auf dem Layer Z88GEN die allgemeinen Informationen und E-Gesetz, wie

```
Z88NI.TXT 3 32 2 96 1 1 0 0 0 0 (3-Dim, 32 Kno, 2SE, 96 FG, 1 EG, KFLAG 1,
                                restl. Flags 0)
MAT 1 1 2 206000 0.3 2 0 (SE1 bis SE2: E, nue, INTORD fuer FE, QPARA 0)
```

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT". Es wird die Netzgenerator- Eingabedateien Z88NI.TXT erzeugt.

**mit Editor:**

Netzgenerator- Eingabefile Z88NI.TXT (vgl. Kapitel 3.3) mit Editor schreiben :

```
3 32 2 96 1 1 0 0 0 0 (3-Dim,32 Kno,2SE,96 FG,1 EG,KFLAG 1,restl. Flags 0)
1 3 20 0 5 (1.Knoten, 3 FG, R-, Phi- und Z-Koordinate)
2 3 80 0 5 (2.Knoten, 3 FG, R-, Phi- und Z-Koordinate)
3 3 80 45 5
..... (Knoten 4 .. 30 hier nicht dargestellt)
31 3 80 90 2.5
```

```

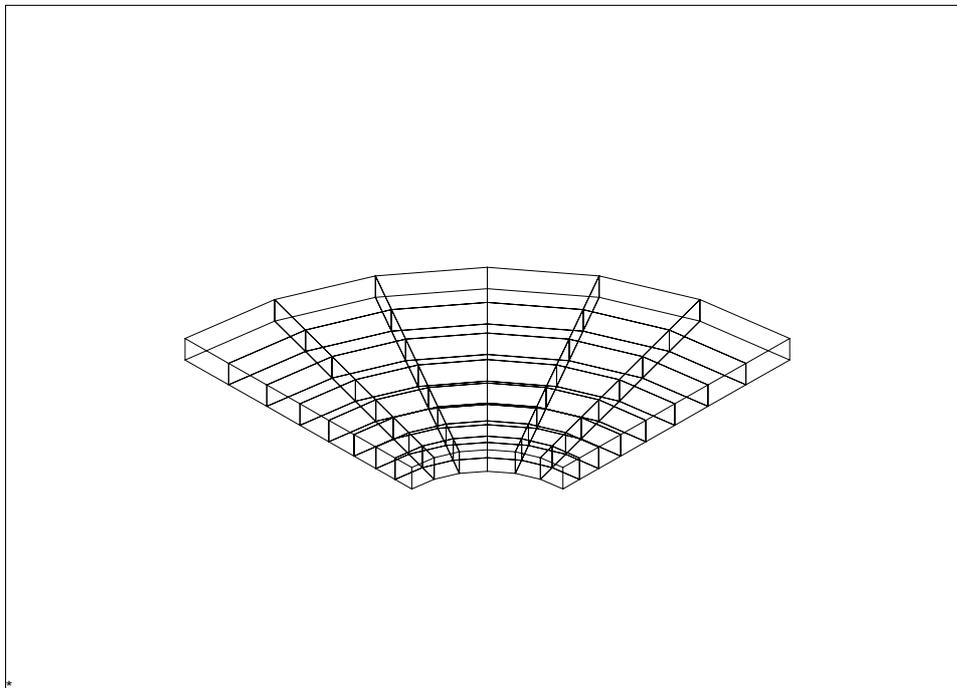
32 3 20 90 2.5
1 10 (Superele 1, Typ Hexaeder Nr.10)
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 (Koinzidenz)
2 10
4 3 21 22 8 7 23 24 11 25 26 27 15 28 29 30 20 19 31 32
1 2 206000 0.3 2 0 (SE1 bis SE2: E, nue, INTORD fuer FE, QPARA 0)
1 1 (Zerlege SE1 in Hexaeder Nr.1 und unterteile)
8 L 3 e 1 e (8mal geom. steigend in x,3mal gleich in y,z bleibt)
2 1
8 L 3 e 1 e

```

**CAD und Editor:**

Der Netzgenerator Z88N wird gestartet. Er erzeugt das eigentliche Z88- Strukturfile Z88I1.TXT. Das schauen wir uns entweder

- nach Konversion mit Z88X im CAD- Programm (von Z88I1.TXT nach Z88X.DXF) oder
- mit dem Z88- Plotprogramm Z88P an, um die Randbedingungen definieren zu können:



**Ansicht des vom Netzgenerator erzeugten FE- Netzes Z88I1.TXT**

Man ermittelt nun im Plotprogramm oder CAD- System die Knoten, an denen die Struktur festgehalten bzw. belastet wird und gibt die Randbedingungen ein:

**im CAD Programm:**

Gehen Sie auf den Layer Z88RBD und geben Sie jeweils mit der TEXT- Funktion an beliebiger, freier Stelle ein:

```

Z88I2.TXT 49 (49 Randbedingungen)
RBD 1 1 3 1 -1000 (1.RB: Knoten 1, am FG 3, also in Z, eine Last von -1000 N)
RBD 2 3 3 1 -1000
RBD 3 5 3 1 -1000
RBD 4 7 3 1 -1000
RBD 5 65 1 2 0 (5.RB: Knoten 65, FG 1 gesperrt)
RBD 6 65 2 2 0 (6.RB: Knoten 65, FG 2 gesperrt)

```

RBD 7 65 3 2 0 (7.RB: Knoten 65, FG 3 gesperrt)  
 .....(die Knoten 66,67,68,69,70,71,72 werden wie 65 in allen 3 FG gesperrt)  
 RBD 29 73 3 1 -1000  
 RBD 30 75 3 1 -1000  
 RBD 31 77 3 1 -1000  
 .....(die Knoten 121,122,123,124,125 werden wie 126 in allen 3 FG gesperrt)  
 RBD 47 126 1 2 0  
 RBD 48 126 2 2 0  
 RBD 49 126 3 2 0

**mit Editor:**

File der Randbedingungen Z88I2.TXT durch Editieren aufstellen:

49 (49 Randbedingungen)  
 1 3 1 -1000 (Knoten 1, am FG 3, also in Z, eine Last von -1000 N)  
 3 3 1 -1000  
 5 3 1 -1000  
 7 3 1 -1000  
 65 1 2 0 (Knoten 65, FG 1 gesperrt)  
 65 2 2 0 (Knoten 65, FG 2 gesperrt)  
 65 3 2 0 (Knoten 65, FG 3 gesperrt)  
 .....(die Knoten 66,67,68,69,70,71,72 werden wie 65 in allen 3 FG gesperrt)  
 73 3 1 -1000  
 75 3 1 -1000  
 77 3 1 -1000  
 .....(die Knoten 121,122,123,124,125 werden wie 126 in allen 3 FG gesperrt)  
 126 1 2 0  
 126 2 2 0  
 126 3 2 0

Eingabe für Spannungsberechnung:

**mit CAD- Programm :**

Gehen Sie auf den Layer Z88GEN und schreiben Sie eine beliebige, freie Stelle:

Z88I3.TXT 2 0 1 (2x2 Gaußpunkte für Spannungen, KFLAG 0, Vergleichssp. GEH)

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT". Es werden die drei Z88- Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT erzeugt.

**mit Editor:**

Geben Sie in das Parameterfile für Spannungsprozessor Z88I3.TXT (vgl. Kap. 3.5)

2 0 1 (2x2 Gaußpunkte für Spannungen, KFLAG 0, Vergleichssp. GEH)

### **CAD und Editor:**

Nunmehr können der Cholesky-Solver Z88F und dann Spannungsprozessor Z88D gestartet werden. Knotenkraftberechnung mit Z88E.

## 5.5.2 AUSGABEN

Der Cholesky- Solver **Z88F** liefert uns folgende Ausgabefiles an:

**Z8800.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte. Für Dokumentationszwecke.

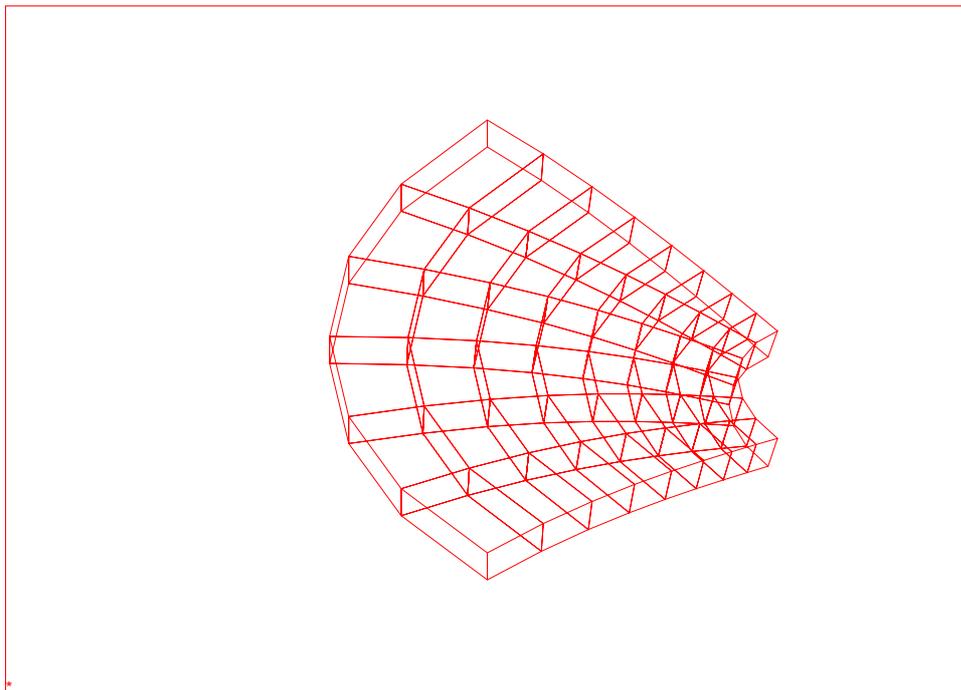
**Z8801.TXT** aufbereitete Randbedingungen: Für Dokumentationszwecke.

**Z8802.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems.

Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8803.TXT** die berechneten Spannungen aus. Welche Spannungen in Z8803.TXT gegeben werden, hängt von den Steuerparametern in Z88I3.TXT ab.

Der Knotenkraft- P. **Z88E** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8804.TXT** die berechneten Knotenkräfte aus.

Für die verformte Struktur ergibt sich bei Wahl von FUX, FUY und FUZ (Vergrößerung der Verschiebungen) von je 10 im Plotprogramm folgendes Bild:



**Anmerkung:** Die Superstruktur läßt sich sehr leicht in z.B. AutoCAD konstruieren. Die Ränder wird man als Bögen zeichnen. Die Knotenpunkte lassen sich einfach mit der Funktion > Zeichnen > Punkt > Teilen erzeugen. Beim Umfahren der Elemente (was man mit der Linienfunktion macht) darauf achten, daß man die Ansicht im Raum jeweils sauber positioniert hat, d.h. daß alle Knoten eines Superelements *genau* getroffen werden.

## 5.6 ROHR UNTER INNENDRUCK, SCHEIBEN NR.7

Die Beispieldatei B6\_X.DXF in Z88- DXF- Datei Z88X.DXF umkopieren:  
B6\_X.DXF ---> Z88X.DXF

### **CAD:**

Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. Diese Vorlage hätten normalerweise Sie in CAD gezeichnet und dann als Z88X.DXF exportiert.

**Z88:** (in Kurzform, ausführlichere Anleitung vgl. Beispiele 5.1, 5.2 und 5.3)

Z88X, Konvertierung "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT"

Z88P, darin Strukturfile Z88I1.TXT, Struktur betrachten

Z88F, berechnet Verformungen

Z88D, berechnet Spannungen

Z88E, berechnet Knotenkräfte

Z88P, Plotten FE- Struktur, nun auch verformt (FUX, FUY je 100.)

Wir betrachten ein Rohr unter Innendruck von 1.000 bar = 100 N/mm<sup>2</sup>.  
Rohrinnendurchmesser 80 mm, Rohraußendurchmesser 160 mm, Länge 40 mm. Wenn man die Auflager geschickt wählt, genügt ein Viertelbogen, um das Problem abzubilden.

Derartige Strukturen lassen sich am besten in Polarkoordinaten eingeben. Der Innendruck 1000 bar entspricht einer Kraft von 251.327 N, die auf den inneren Viertelkreis wirkt. Die 251.327 N sind auf die Knoten 1, 6, 9, 14, 17, 22, 25, 30 und 33 gemäß den Regeln für Randbedingungen zu verteilen:

"1/6- Punkte" : 10.472 N

"2/3- Punkte" : 41.888 N

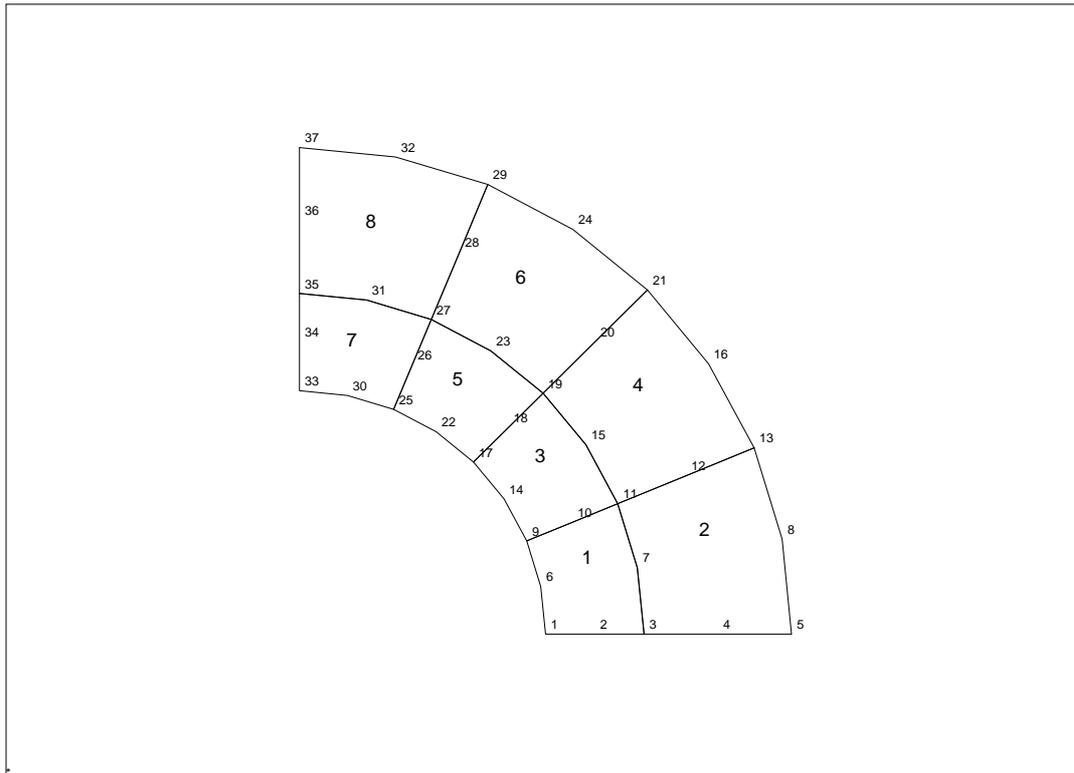
"2/6- Punkte" : 20.944 N

Kontrolle:  $2*10.472 + 4*41.888 + 3*20.944 = 251.328$  o.k.

Diese Kräfte wirken radial nach außen. Für Randbedingungen sind sie in X- und Y-Komponenten zu zerlegen. So erhält z.B. der Knoten 6 als "2/3-Punkt" in X 41.083 N und in Y 8.172 N, da Knoten 6 unter  $\Phi = 11.25$  Grad liegt.

Bei einer rotationssymmetrischen Struktur kann die zusätzliche Ausgabe von Radial- und Tangentialspannungen interessant sein. Dafür wird in Z88I3.TXT KFLAG zu 1 gesetzt. Da Spannungen in Gaußpunkten, mit z.B. Strahlensatz extrapolieren, um die Spannungen direkt am Innen- bzw. Außendurchmesser zu erhalten.

Dies Problem läßt sich einfach analytisch nachrechnen. Berechnungsformeln in einschlägigen Maschinenelementbüchern, *Dubbel* oder vgl. Abschnitt 5.7.



**Plot der unverformten Struktur**

### 5.6.1 EINGABEN

**im CAD- Programm:**

Gehen Sie nach der Beschreibung Kapitel 2.7.2 vor. Vergessen Sie nicht, auf dem Layer Z88EIO die Element- Informationen per TEXT- Funktion abzulegen, also

```
FE 1 7      (1. finites Element Typ 7)
FE 2 7      (2. finites Element Typ 7)
.....     (Nr.3 bis 7 hier ausgelassen)
FE 8 7      (8. finites Element Typ 7)
```

und auf dem Layer Z88GEN die allgemeinen Informationen und E-Gesetze, wie

```
Z88I1.TXT 2 37 8 74 1 1 0 0 0(2D, 37 Knoten, 8 Ele, 74 FG, 1 E-Gesetz, Polarkoor.,
                               Balken-, Platten- und Streckenlastflag jeweils 0)
MAT 1 1 8 206000 0.3 3 40 (1.E-Gesetz von Ele 1 bis 8: E, nue, INTORD=3,
                           QPARA= Dicke= 40)
```

Sie können sofort die Randbedingungen mit der TEXT- Funktion auf dem Layer Z88RBD anlegen. Bei den Randbedingungen liegt der Fall der Flächenlasten vor. Hier sollten Sie Abschnitt 3.4, insbesondere die Bemerkungen und Skizzen für Lastaufteilungen beachten.

```
Z88I2.TXT 26      (26 Randbedingungen)
RBD 1 1 1 1 10472 (Knoten 1, am FG 1(=in X-Richtung) Last 10472 N)
RBD 2 1 2 2 0     (Knoten 1, FG 2 (=Bewegung in Y) gesperrt)
RBD 3 2 2 2 0
RBD 4 3 2 2 0
```

RBD 5 4 2 2 0  
RBD 6 5 2 2 0  
RBD 7 6 1 1 41083  
RBD 8 6 2 1 8172  
RBD 9 9 1 1 19350  
RBD 10 9 2 1 8015  
RBD 11 14 1 1 34829  
RBD 12 14 2 1 23272  
RBD 13 17 1 1 14810  
RBD 14 17 2 1 14810  
RBD 15 22 1 1 23272  
RBD 16 22 2 1 34829  
RBD 17 25 1 1 8015  
RBD 18 25 2 1 19350  
RBD 19 30 1 1 8172  
RBD 20 30 2 1 41083  
RBD 21 33 1 2 0  
RBD 22 33 2 1 10472  
RBD 23 34 1 2 0  
RBD 24 35 1 2 0  
RBD 25 36 1 2 0  
RBD 26 37 1 2 0

... und für die Spannungsberechnung schreiben Sie an eine beliebige, freie Stelle Ihrer Zeichnung im Layer Z88GEN:

Z88I3.TXT 3 1 1 (*Spannungsrechnung in je 3 x 3 Gausspunkten, zusätzlich Radial- und Tangentialspannungen ausgeben, Vergleichsspannung nach GEH*)

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT". Es werden die Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT erzeugt.

**mit Editor:**

Geben Sie per Editor die Strukturdaten Z88I1.TXT (vgl. Abschnitt 3.2) ein:

2 37 8 74 1 1 0 0 0 (*2D, 37 Knoten, 8 Ele, 74 FG, 1 E-Gesetz, Polarkoor., Balken-, Platten- und Streckenlastflag jeweils 0*)  
1 2 40 0 (*1.Knoten, 2 FG, R- und Phi-Koordinate*)  
2 2 48 0 (*2.Knoten, 2 FG, R- und Phi-Koordinate*)  
3 2 56 0  
4 2 68 0  
5 2 80 0  
6 2 40 11.25  
7 2 56 11.25  
8 2 80 11.25  
9 2 40 22.5  
..... (*Knoten 10 .. 35 hier nicht dargestellt*)  
36 2 68 90  
37 2 80 90  
1 7 (*Element 1, Typ Scheibe Nr.7*)  
1 3 11 9 2 7 10 6 (*Koinzidenz 1. Ele*)

2 7  
 3 5 13 11 4 8 12 7  
 ..... (Elemente 3 .. 7 hier nicht dargestellt)  
 8 7  
 27 29 37 35 28 32 36 31  
 1 8 206000 0.3 3 40 (von Ele 1 bis 8: E, nue, INTORD=3, Dicke= 40)

Bei den Randbedingungen liegt der Fall der Flächenlasten vor. Hier sollten Sie Abschnitt 3.4, insbesondere die Bemerkungen und Skizzen für Lastaufteilungen beachten. Nachfolgend Z88I2.TXT:

26 (26 Randbedingungen)  
 1 1 1 10472 (Knoten 1, am FG 1(=in X-Richtung) Last 10472 N)  
 1 2 2 0 (Knoten 1, FG 2 (=Bewegung in Y) gesperrt)  
 2 2 2 0  
 3 2 2 0  
 4 2 2 0  
 5 2 2 0  
 6 1 1 41083  
 6 2 1 8172  
 9 1 1 19350  
 9 2 1 8015  
 14 1 1 34829  
 14 2 1 23272  
 17 1 1 14810  
 17 2 1 14810  
 22 1 1 23272  
 22 2 1 34829  
 25 1 1 8015  
 25 2 1 19350  
 30 1 1 8172  
 30 2 1 41083  
 33 1 2 0  
 33 2 1 10472  
 34 1 2 0  
 35 1 2 0  
 36 1 2 0  
 37 1 2 0

Hier bei den Randbedingungen lohnen sich Experimente: Geben Sie statt Kräften Verschiebungen in X und Y ein, z.B. 0.01 mm im Radius nach außen. Am Knoten 1 können Sie die 0.01 mm direkt als X- Verschiebung, am Knoten 33 direkt als Y- Verschiebung eingeben, aber bei den anderen Knoten sind die radialen Verschiebungen 0.01 mm in jeweils X- und Y- Komponente aufzuteilen (via Sinus und Cosinus). Oder geben Sie gemischt ein: ein paar Knoten mit Verschiebung, die anderen mit Kräften .. in der Praxis wird man das bei einer solchen Aufgabe nicht tun, aber Z88 kann das.

Bei Z88I3.TXT eröffnet sich ebenfalls ein breites Experimentierfeld: Beim ersten Wert haben Sie 5, bei den anderen beiden Werten je zwei Möglichkeiten, vgl. Abschnitte 3.5 und 4.7. Hier lassen wir uns eine ganze Menge Ergebnisse ausgeben: Hier Z88I3.TXT:

3 1 1 (Spannungsrechnung in je 3 x 3 Gausspunkten, zusätzlich Radial- und Tangentialspannungen ausgeben, Vergleichsspannung nach GEH)

### **CAD und Editor:**

Nachdem nun die Strukturdaten Z88I1.TXT, die Randbedingungen Z88I2.TXT und das Steuerfile für den Spannungsprozessor Z88I3.TXT (mit beliebigem Inhalt) vorliegen, können

>Z88F Cholesky- Solver für Verschiebungsrechnung

>Z88D Spannungsprozessor

>Z88E Knotenkraftprozessor

gestartet werden.

### **Alternative Belastung über Flächenlastdatei:**

Die Eingabe der Belastung über Einzelkräfte war etwas mühsam durch das Aufteilen der Kraft von 251.327 N auf die verschiedenen Knotenpunkte unter Berücksichtigung der jeweiligen Winkellage. Viel einfacher geht das mit Streckenlasten über die Streckenlastdatei Z88I5.TXT. Die Streckenlast beträgt:

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

Diese Streckenlast wirkt auf die Elemente 1, 3, 5 und 7, und zwar beim Element 1 auf die Seite, die durch die Eckknoten 9 und 1 und den Mittenknoten 6 definiert ist usw. Die Streckenlast wirkt normal zur Kante, Tangentiallasten gibt es nicht. Damit wird die Flächenlastdatei Z88I5.TXT:

```
4
1 4000. 0. 9 1 6
3 4000. 0. 17 9 14
5 4000. 0. 25 17 22
7 4000. 0. 33 25 30
```

Damit die Flächenlastdatei auch verarbeitet wird, müssen Sie in der Strukturdatei Z88I1.TXT in der ersten Zeile das Flächenlastflag auf 1 setzen:

```
2 37 8 74 1 0 0 0 1
                        ↑ Flächenlastflag IQFLAG
```

Nun sind nur noch die Randbedingungen Z88I2.TXT zu bearbeiten: Sie müssen alle Kräfte entfernen:

```
10
1 2 2 0.
2 2 2 0.
3 2 2 0.
4 2 2 0.
5 2 2 0.
33 1 2 0.
34 1 2 0.
35 1 2 0.
36 1 2 0.
37 1 2 0.
```

Dazu passend sind die Beispieldateien B6\_Q\_1.TXT, B6\_Q\_2.TXT und B6\_Q\_5.TXT auf der CD-ROM für Sie vorbereitet. Nun können Sie wie gewohnt rechnen lassen:

- Z88F Cholesky-Solver für Verschiebungsrechnung
- Z88D Spannungsprozessor
- Z88E Knotenkraftprozessor.

## 5.6.2 AUSGABEN:

Der Cholesky-Solver **Z88F** liefert folgende Ausgabefiles:

**Z8800.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte. Für Dokumentationszwecke

**Z8801.TXT** aufbereitete Randbedingungen: Für Dokumentationszwecke.

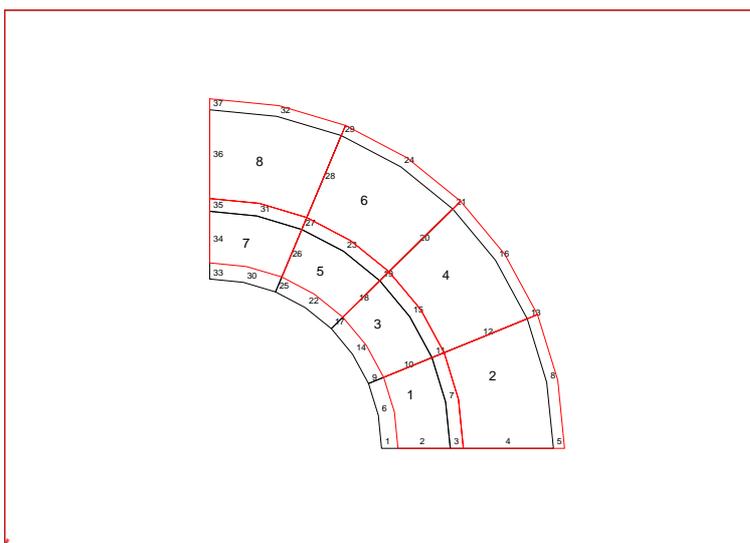
**Z8802.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems.

Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8803.TXT** die berechneten Spannungen aus.

Der Knotenkraft-P. **Z88E** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z8804.TXT** die berechneten Knotenkräfte aus.

Hier wurden die Verschiebungen mit den Faktoren FUX, FUY von je 100 um das Hundertfache vergrößert.

Dieses Beispiel ist sehr geeignet, um alle Möglichkeiten der Spannungsberechnung mit Z88D und Scheiben Nr.7 (bzw. Scheiben Nr.11) durchzuspielen. Wir erinnern uns: Z88I3.TXT war: 3 1 1, also 3 x 3 Gaußpunkte, zusätzliche Anzeige von Radial- und Tangentialspannungen (was hier im Beispiel sehr sinnvoll ist) und Vergleichsspannungsberechnung. Geben Sie in Z88I3.TXT ein: 3 0 1, damit erhalten Sie Vergleichsspannungen, aber keine Radial- und Tangentialspannungen. Noch kürzer wird die Ausgabe mit 2 0 0 (nur noch 2 x 2 Gaußpunkte, keine Radial/Tangentialspannungen, keine Vergleichsspannungen. Mit 0 0 0 erhalten Sie die Spannungen statt in Gaußpunkten in den Eckknoten. Beachten Sie, daß bei Spannungsausgabe in den Eckknoten keine Spannungsanzeige in Z88P möglich ist. Experimentieren Sie .. Sie haben  $5 \times 2 \times 2 = 20$  Möglichkeiten. Plotten Sie auch mit Z88O.



**Plot der unverformten und der verformten Struktur**

## 5.7 ROHR UNTER INNENDRUCK, TORI NR. 8

Die Beispieldateien B7\_\* in Z88- Eingabedateien Z88\* umkopieren:

B7\_X.DXF ---> Z88X.DXF CAD- Eingabefile  
 B7\_2.TXT ---> Z88I2.TXT Randbedingungen  
 B7\_3.TXT ---> Z88I3.TXT Steuerparameter für Spannungsprozessor

**CAD:**

Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. Diese Vorlage hätten normalerweise Sie in CAD gezeichnet und dann als Z88X.DXF exportiert.

**Z88:**

Z88X, Konvertierung "von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT"  
 Z88P, Strukturfile Z88NI, Superstruktur betrachten  
 Z88N, Netzgenerator, erzeugt Z88I1.TXT  
 Z88P, Strukturfile Z88I1.TXT, unverformte FE-Struktur  
 Z88X, Konvertierung "von Z88I\*.TXT nach Z88X.DXF"

**CAD:**

Z88X.DXF in Ihr CAD- Programm importieren und betrachten. Normalerweise hätten Sie in CAD nun die Randbedingungen und Steuerinformationen Z88I3.TXT hinzugefügt und dann als Z88X.DXF exportiert.

**Z88:**

Z88X, Konvertierung "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT"  
 Z88F, berechnet Verformungen  
 Z88D, berechnet Spannungen  
 Z88P, Plotten FE- Struktur, nun auch verformt bzw. Spannungsanzeige  
 Z88E, Knotenkraft- Berechnung

Wir betrachten ein Rohr unter Innendruck. Rohrinne Durchmesser 80 mm, Rohraußendurchmesser 160 mm, Länge 40 mm. Bei Tori den Rohrquerschnitt abbilden. Der Innenradius soll um  $r_d = 0.1$  mm aufgedehnt werden (Querpreßverband), diese Verschiebung an den Knoten 1-11 anbringen. Damit die Struktur raumfest wird, z.B. Knoten 6 in Z-Richtung sperren.

*Analytisch rechnet man:*

$$p = r_d * E / r_i * (1 / ((1 + q_a) / (1 - q_a) + \nu_e)) = 262 \text{ N/mm}^2 = 2.620 \text{ bar}$$

mit  $q_a = r_i^2 / r_a^2 = 0.25$

Radialspannungen:	SIGRR i	= -p	= -262 N/mm <sup>2</sup>
	SIGRR a	= 0	= 0
Tangentialspannungen:	SIGTE i	= $p * ((1 + q_a) / (1 - q_a))$	= 437 N/mm <sup>2</sup>
	SIGTE a	= $2p * q_a / (1 - q_a)$	= 175 N/mm <sup>2</sup>

Da Spannungen in Gaußpunkten, mit z.B. Strahlensatz extrapolieren, um die Spannungen direkt am Innen- bzw. Außendurchmesser zu erhalten.

Als Kraft:  $F = p * A = p * 2 * \pi * r_i * l = 2.633.911 \text{ N}$ .

Dies bestätigt die Kräftesumme über die Elemente 1-5 der Knoten 1-11 in Z88O4.TXT.

**5.7.1 EINGABEN**

Allgemeines: Die Angaben für den Netzgenerator enthalten lediglich einen einzigen Torus Nr.8 als Superelement. Er wird in 40 Finite Elemente zerlegt. Natürlich könnte als Superelement auch ein Torus Nr.12 verwendet werden, was bei dieser simplen, von geraden

Linien begrenzten Superstruktur außer einem höheren Eingabeaufwand nichts bringt. Tori Nr.12 können erst dann Vorteile gegenüber Tori Nr.8 ausspielen, wenn die Superstruktur viele krummlinige Berandungen hat. Denn Tori Nr.12 haben kubische Parabeln als Berandung im Gegensatz zu Tori Nr.8 mit quadratischen Parabeln. Manche krummlinige Berandung läßt sich mit weniger Tori Nr.12 durch den höheren Kurvenansatz annähern als mit Tori Nr.8.

Beachten Sie, daß bei Tori Nr.6, Nr.8 und Nr.12 immer Zylinderkoordinaten erwartet werden, also Radius R (kommt an die Stelle für X) und Höhenkoordinate Z (kommt an die Stelle für Y). R und Z immer positiv ! KFLAG muß Null sein !

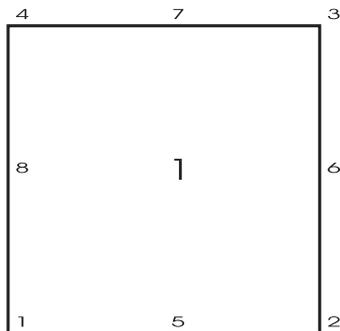
**mit CAD- Programm:**

Gehen Sie nach der Beschreibung Kapitel 2.7.2 vor. Vergessen Sie nicht, auf dem Layer Z88EIO die Superelement- Informationen per TEXT- Funktion abzulegen, also

SE 1 8 8 L 5 e (unterteile 8x geom. steigend in x und 5x gleich in y)  
und auf dem Layer Z88GEN die allgemeinen Informationen und E-Gesetz, wie

Z88NI.TXT 2 8 1 16 1 0 0 0 0 0 (2D, 8 Kno, 1 SE, 16 FG, 1 EG, alle Flags 0)  
MAT 1 1 1 206000 0.3 3 0 (SE1 bis SE1: E, nue, INTORD für FE, QPARA=0)

Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88NI.TXT". Es wird die Netzgenerator- Eingabedateien Z88NI.TXT erzeugt. Mit Z88P betrachten.



**mit Editor:**

Netzgenerator- Eingabefile Z88NI.TXT (vgl. Kapitel 3.3) mit Editor schreiben :

```
2 8 1 16 1 0 0 0 0 0 (2D, 8 Kno, 1 SE, 16 FG, 1 EG, alle Flags 0)
1 2 40 0 (1.Knoten, 2 FG, R- und Z-Koordinate)
2 2 80 0 (2.Knoten, 2 FG, R- und Z-Koordinate)
3 2 80 40
4 2 40 40
5 2 60 0
6 2 80 20
7 2 60 40
8 2 40 20
1 8 (Superele 1, Typ Torus Nr.8)
1 2 3 4 5 6 7 8 (Koinzidenz 1.SE)
1 1 206000 0.3 3 0 (SE1 bis SE1: E, nue, INTORD für FE, QPARA=0)
1 8 (Zerlege SE1 in Tori Nr.8 und unterteile)
8 L 5 e (8mal geom. steigend in x und 5mal gleich in y)
```

**CAD und Editor:**

Der Netzgenerator Z88N wird gestartet. Er erzeugt das eigentliche Z88- Strukturfile Z88I1.TXT. Das schauen wir uns entweder

- nach Konversion mit Z88X im CAD- Programm (von Z88I1.TXT nach Z88X.DXF) oder
- mit dem Z88- Plotprogramm Z88P an, um die Randbedingungen definieren zu können:

Wir zwingen dem Innenrand Verschiebungen von 0.1 mm auf. Jeder Knoten erhält den gleichen Wert, denn die Lastaufteilung gemäß Abschnitt 2.4 gilt nur für Kräfte. Auch hier wieder darauf achten, daß die Struktur raumfest wird. Daher Sperrung des Freiheitsgrad 2 für den Knoten 6. Es könnte auch ein beliebiger anderer Knoten sein.

**mit CAD- Programm:**

Gehen Sie auf den Layer Z88RBD und geben Sie jeweils mit der TEXT- Funktion an beliebiger, freier Stelle ein:

```
Z88I2.TXT 12                (12 Randbedingungen)
RBD 1 1 1 2 0.1           (RB 1: Knoten 1, am FG 1, also in R, ein Weg von 0.1 mm)
RBD 2 2 1 2 0.1
RBD 3 3 1 2 0.1
RBD 4 4 1 2 0.1
RBD 5 5 1 2 0.1
RBD 5 6 1 2 0.1
RBD 7 6 2 2 0             (RB 7: damit Struktur im Raum festgehalten wird)
RBD 8 7 1 2 0.1
RBD 9 8 1 2 0.1
RBD 10 9 1 2 0.1
RBD 11 10 1 2 0.1
RBD 12 11 1 2 0.1
```

**mit Editor:**

File der Randbedingungen Z88I2.TXT durch Editieren aufstellen:

```
12                (12 Randbedingungen)
1 1 2 0.1         (Knoten 1, am FG 1, also in R, ein Weg von 0.1 mm)
2 1 2 0.1
3 1 2 0.1
4 1 2 0.1
5 1 2 0.1
6 1 2 0.1
6 2 2 0           (damit Struktur im Raum festgehalten wird)
7 1 2 0.1
8 1 2 0.1
9 1 2 0.1
10 1 2 0.1
11 1 2 0.1
```

Eingabe für Spannungsberechnung:

**im CAD- Programm :**

Gehen Sie auf den Layer Z88GEN und schreiben Sie eine beliebige, freie Stelle:

```
Z88I3.TXT 3 0 1        (3 x 3 Gaußpunkte pro FE, KFLAG 0, Vergleichs. GEH)
```

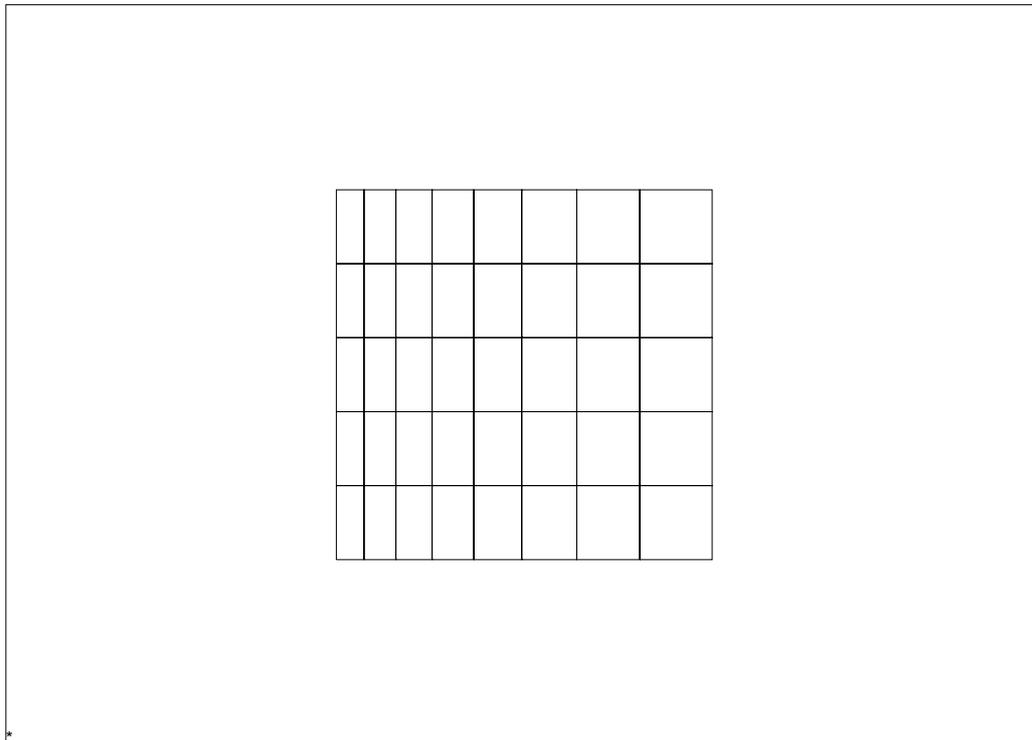
KFLAG immer 0, denn Zusatzausgabe von Radial- und Tangentialspannungen haben bei Toruselementen keinen Sinn. Für Toruselemente werden sowieso immer SIGRR (Radialspannung) und SIGTE (Tangentialspannung) ausgegeben. Vgl. Abschnitt 4.12. Exportieren Sie die Zeichnung als DXF- Datei mit dem Namen Z88X.DXF und starten Sie anschließend den CAD- Konverter Z88X mit der Option "von Z88X.DXF nach Z88I\*.TXT". Es werden die drei Z88- Eingabedateien Z88I1.TXT, Z88I2.TXT, Z88I3.TXT erzeugt.

**mit Editor:**

Geben Sie in das Parameterfile für Spannungsprozessor Z88I3.TXT (vgl. Kap. 3.5)

3 0 1

(3 x 3 Gaußpunkte pro FE, KFLAG 0, Vergleichs. GEH)



**FE- Netz Z88I1.TXT**

Nunmehr können der Cholesky- Solver Z88F und dann Spannungsprozessor Z88D gestartet werden. Knotenkraftberechnung mit Z88E.

**5.7.2 AUSGABEN**

Der Cholesky- Solver **Z88F** liefert uns folgende Ausgabefiles an:

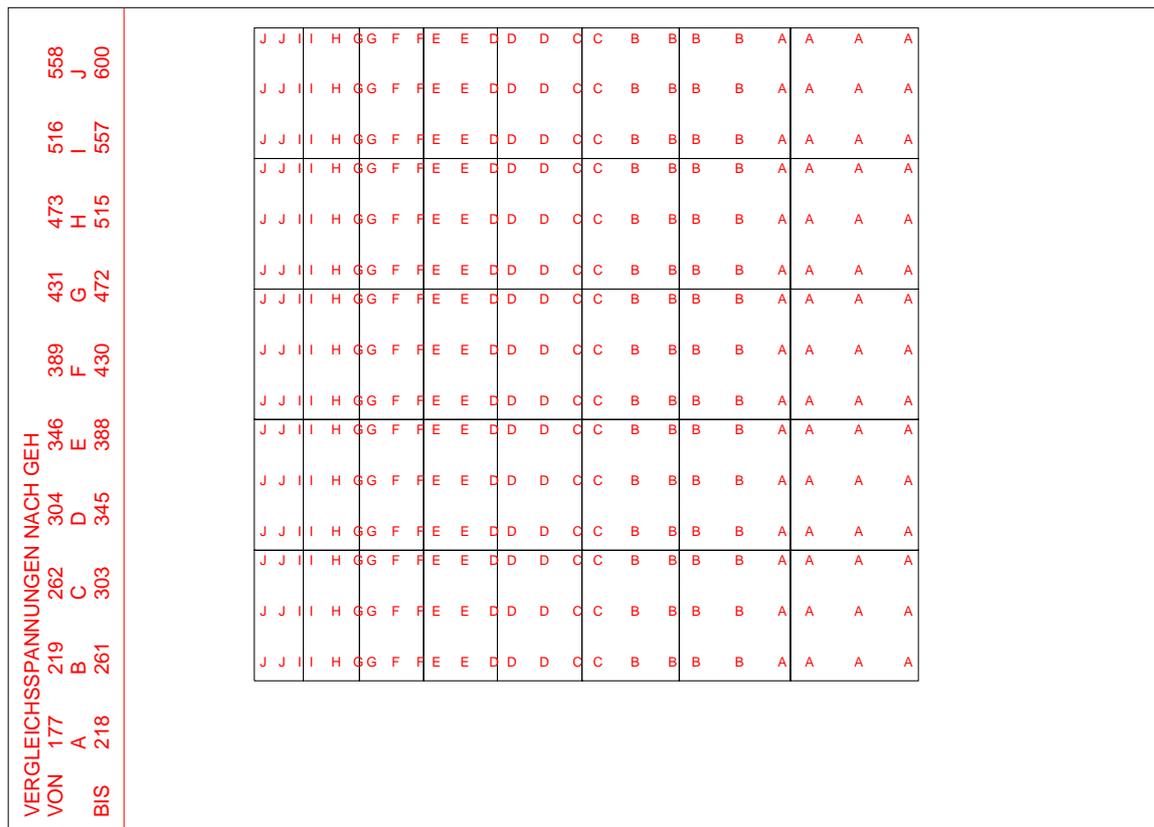
**Z88O0.TXT** die aufbereiteten Strukturwerte.

**Z88O1.TXT** aufbereitete Randbedingungen.

**Z88O2.TXT** die berechneten Verschiebungen, die Lösung des FE- Problems.

Der Spannungsprozessor **Z88D** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z88O3.TXT** die berechneten Spannungen aus. Welche Spannungen in Z88O3.TXT gegeben werden, hängt von den Steuerparametern in Z88I3.TXT ab.

Der Knotenkraft- P. **Z88E** verwendet die berechneten Verschiebungen von Z88F und gibt **Z88O4.TXT** die berechneten Knotenkräfte aus.



**Spannungsplot der Torus- Struktur**

### 5.8 MOTORRAD- KURBELWELLE, TETRAEDER NR. 16

→ Die Beispieldatei B11\_G.COS in die Z88- Eingabedatei Z88G.COS umkopieren.

Es soll eine Kurbelwelle für einen Einzylinder- Motorradmotor berechnet werden. Als Last wirkt die Kolbenkraft von  $-5.000\text{ N}$ . Die Vernetzung wurde direkt in Pro/ENGINEER vorgenommen.

Das Besondere an diesem Beispiel ist die Definition der Randbedingungen, was für dieses Beispiel etwas tricky ist: An einer Stirnseite der Kurbelwelle wird zentral ein Bezugspunkt gesetzt. Er wird später die Verschiebungen in Z- Richtungen, d.h. in Längsrichtung der Kurbelwelle, blockieren.

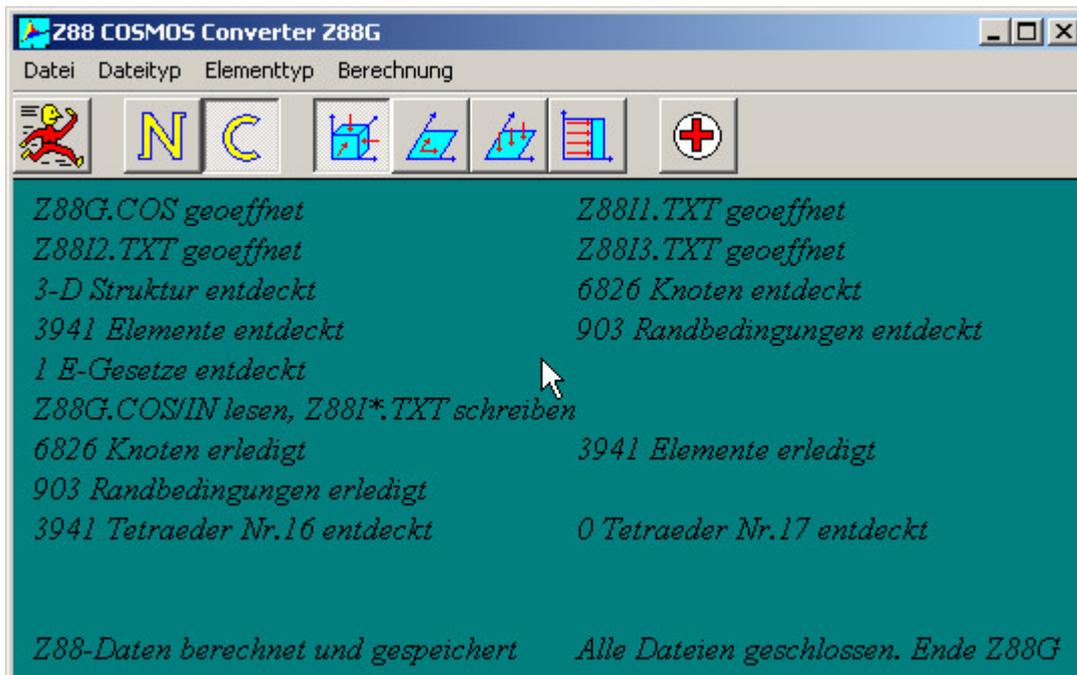
Die Kugellager, die ja gewisse Winkelbewegungen aufnehmen können und daher als momentenfreie Auflager angesehen werden können und müssen, sollen auf den dickeren Wellenabsätzen sitzen. Es werden die Wellenabsatzflanken in X- und Y- Richtung festgehalten. Da hier ganze Flächen gesperrt werden, dürfte keinesfalls einer oder gar beide dieser Flächen in Z- Richtung blockiert werden. Damit würde man dem System die Momentenfreiheit nehmen (wie man leicht ausprobieren kann):

Am Kurbelzapfen selbst wird eine Gesamtlast von  $-5.000\text{N}$  auf die Umfangsfläche gegeben.

Das Netz wurde automatisch mit Pro/MECHANICA erzeugt, und es werden Tetraeder mit quadratischem Ansatz gewählt. Nach Erzeugen der COSMOS- Datei kann die Z88-

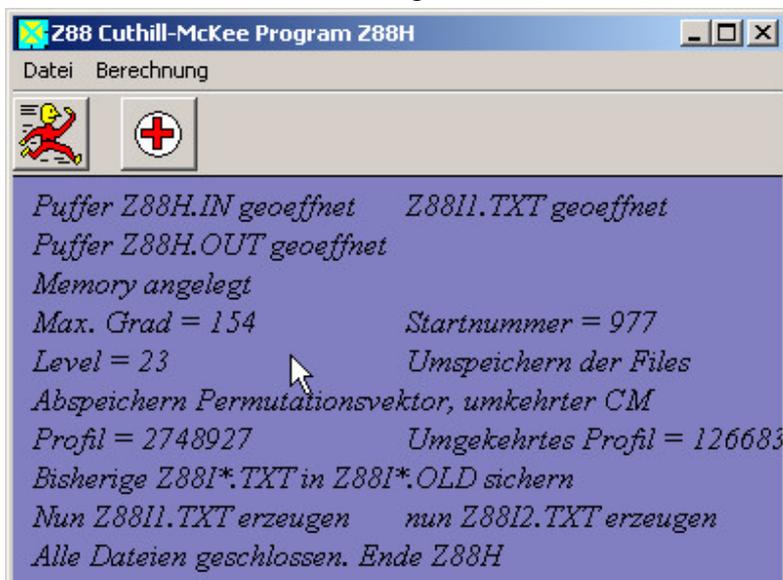
Berechnung erfolgen:

Konvertieren Sie also zunächst Z88G.COS mit **Z88G**



(Windows: COSMOS Konverter Z88G. Sieht bei UNIX ähnlich aus)

und, da durch die Tetraeder mit quadratischen Ansätzen sehr schlechte Numerierungen zu erwarten sind, starten Sie dann gleich den Cuthill- McKee- Algorithmus **Z88H**.



(Windows: Cuthill- McKee Programm Z88H. Sieht bei UNIX ähnlich aus)

Nach Öffnen der Eingabedatei Z88I1.TXT entnehmen Sie die ersten Zeile:

- 6.826 Knoten
- 3.941 Elemente
- 20.478 Freiheitsgrade

MAXKOI muß mindestens sein:  $3.941 \text{ Elemente} \cdot 10 \text{ Knoten je Element} = 39.410$ .

Damit würde **Z88.DYN** wie folgt aussehen:

MAXGS      zunächst beliebiger Wert  
MAXKOI     mindestens 39410  
MAXK       mindestens 6826  
MAXE       mindestens 3941  
MAXNFG     mindestens 20478  
MAXNEG     mindestens 1

Dann können Sie mit **Z88O** (oder mit Z88P) die Struktur betrachten.

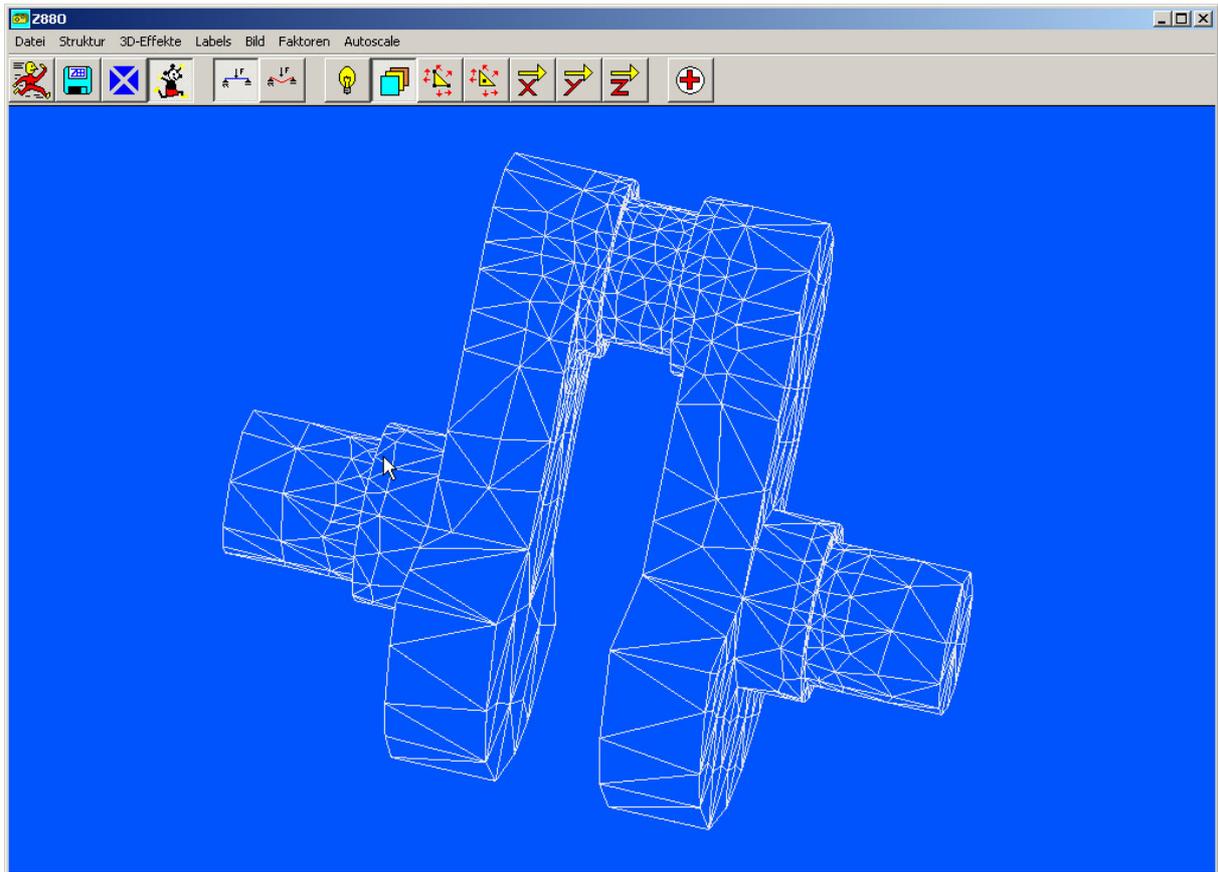
Als Anhaltswert: Der Rechenlauf mit **Z88F** dauert bei einem PC (900 MHz AMD- Prozessor, 736 Mbyte Hauptspeicher) ca. 1,5 Minuten. MAXGS müssen Sie mit ca. 11.400.000 Speicherplätzen definieren.

Sie können sodann die verformte Struktur mit **Z88O** betrachten. Es ist verblüffend, wie stark sich doch die Wellenenden schiefe stellen. Sie würden nun an ausgewählten Knoten die Verschiebungen aus der Datei Z88O2.TXT ablesen, mit den entsprechenden Hebelarmen multiplizieren und prüfen, ob Ihre Kugellager diese Schiefstellungen noch mitmachen.

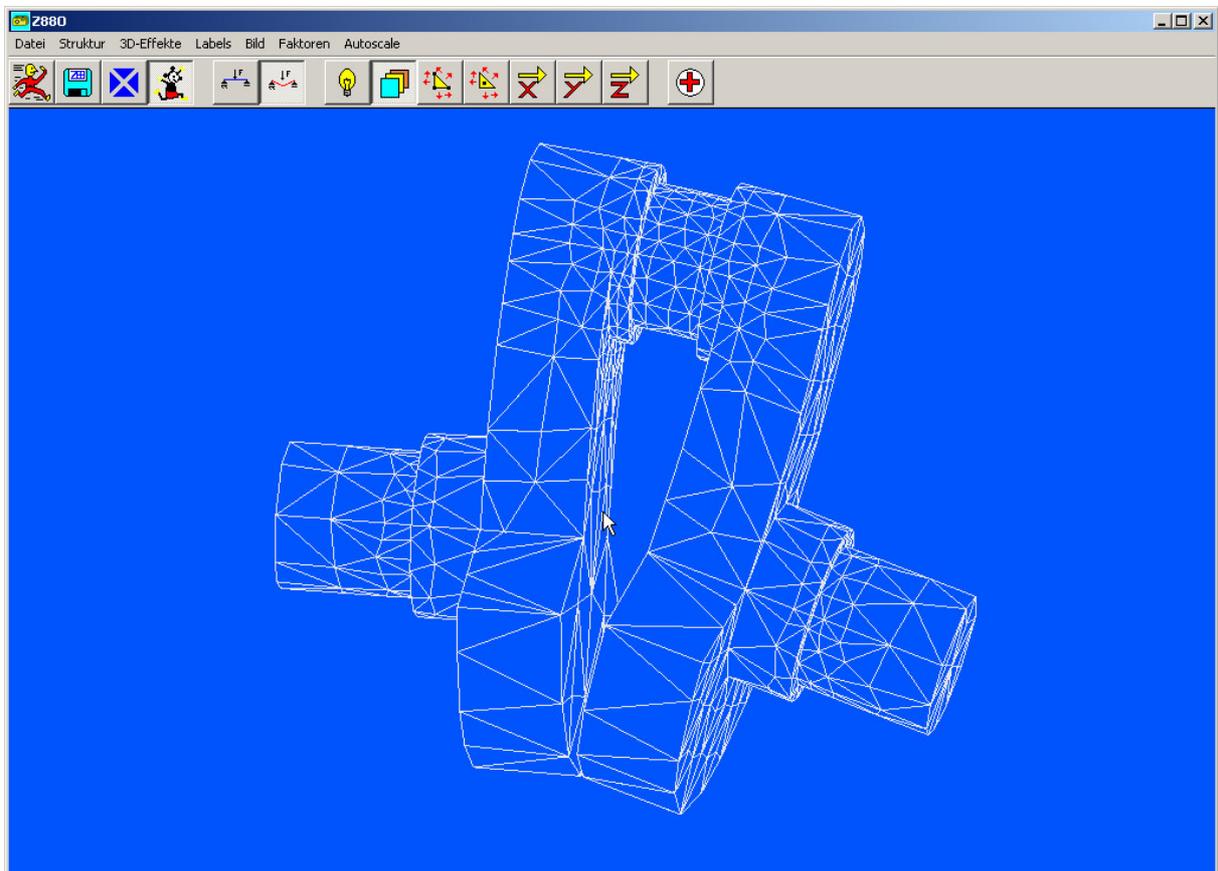
```
Z8811.TXT einlesen :                   Elastizitaetsgesetze einlesen
>>> Start Z88A: Pass 1 von Z88F <<<   Z8800.TXT beschreiben
GS erfordert 11381064 Elemente       KOI erfordert 39420 Elemente
>>> Start Z88B: Pass 2 von Z88F <<<   Compilation Nr. 3941 Typ 16
GS enthaelt 11381064 Elemente        Anteil Null in GS ist 93 %

>>> Start Z88CC: Pass 3 von Z88F <<<   Einarbeiten der Randbed. Pass 2
Z8801.TXT beschreiben                 Start SCAL88
Start des Cholesky- Verfahrens CHOY88
20478 * 20478=Groesse Gleichungssystem       20478
Vorwaertseinsetzen                    Rueckwaertseinsetzen
Z8803.BNY beschreiben
```

(Windows: Rechenlauf mit Z88F. Sieht bei UNIX ganz ähnlich aus)



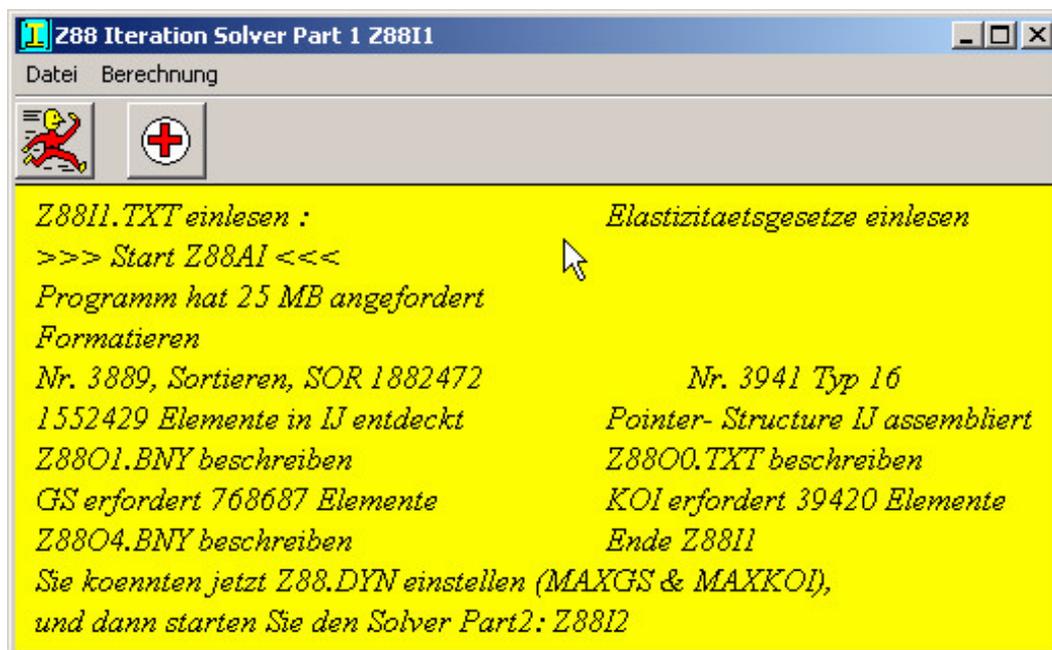
(Windows: Plotprogramm Z880, unverformte Struktur)



(Windows: Plotprogramm Z880, verformte Struktur)

Jetzt machen wir den eigentlichen Solverlauf einmal mit dem Iterationssolver Z88I1 und Z88I2. Zunächst machen wir eine versuchsweise Einstellung für MAXSOR und MAXPUF in Z88.DYN:

```
COMMON START
  MAXGS  11500000  ← hat für Z88I1 keine Bedeutung !
  MAXKOI  40000    ← der muss immer gross genug sein !
  MAXK    7000     ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXE    4000     ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXNFG  21000    ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXNEG   1       ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXSOR  2000000  ← wichtig für Z88I1
  MAXPUF  500000   ← wichtig für Z88I1
COMMON END
```



Das hat geklappt mit unseren Einstellungen, die Sortierzeit betrug ca. 15 Sekunden auf einem PC (900 MHz AMD- Prozessor, 736 MByte Hauptspeicher).

Für MAXGS lesen wir ab: 768.687, aufgerundet 770.000. Das ist doch ein Wort gegenüber dem direkten Cholesky- Solver Z88F mit seinem Bedarf von 11.381.064 Speicherplätzen á 8 Bytes = 87 MByte. Der eigentliche Solverteil des Iterationssolvers, also Z88I2, wird nur 768.687 Speicherplätzen á 8 Bytes = 6 MByte benötigen.

Damit würden wir den Speicher in Z88.DYN wie folgt einstellen (größere Werte dürfen Sie natürlich immer nehmen):

```
COMMON START
  MAXGS  770000    ← darauf kommt's an
  MAXKOI  40000    ← der muss immer gross genug sein !
  MAXK    7000     ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXE    4000     ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXNFG  21000    ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXNEG   1       ← können Sie aus Z88I1.TXT ablesen
  MAXSOR  2000000  ← wird jetzt nicht mehr gebraucht
  MAXPUF  500000   ← wird jetzt nicht mehr gebraucht
COMMON END
```

Wenn Sie die Iterationsparameter in Z88I4.TXT (Kapitel 3.6) wie folgt einstellen:

10000 1e-7 1.

also höchstens 10.000 Iterationen, *EPS* mit  $1E-7$  und *RP* (hier also *Omega*) mit 1, dann ergibt sich eine Rechenzeit von ca. 1 Minute auf einem PC (900 MHz AMD- Prozessor, 736 MByte Hauptspeicher).

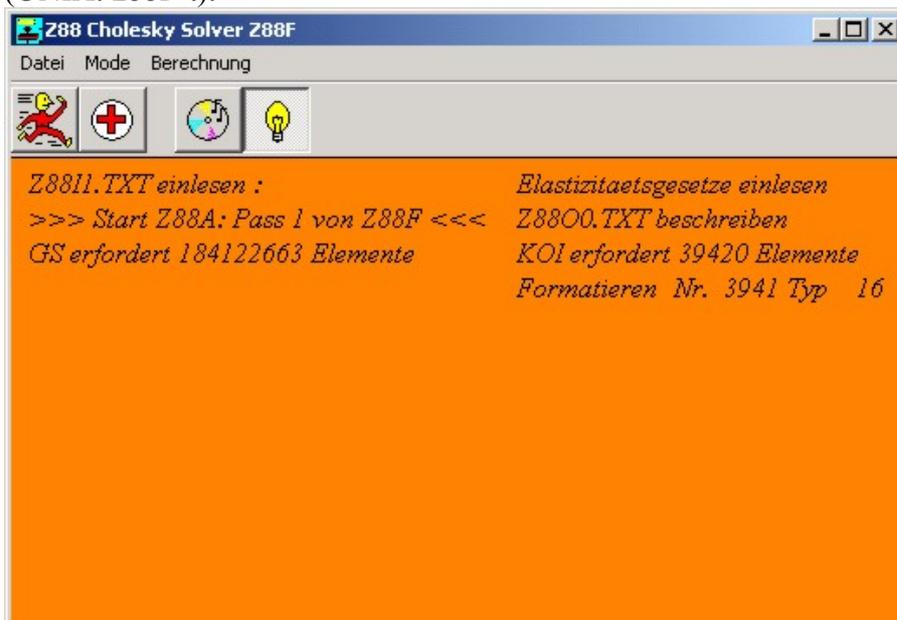
In diesen Fall sind also Iterationssolver und direkter Cholesky- Solver also etwa gleich schnell, aber der Iterationssolver braucht nicht einmal ein Zehntel des Speichers. Bei großen Strukturen wird dieses Verhältnis noch sehr viel krasser! Beachten Sie aber, daß die Rechenzeiten nicht wirklich vergleichbar sind, denn wenn Sie das Abbruchkriterium *EPS* verändern, z.B. auf  $1E-5$  (bedeutet 303 Iterationen und ca. 45 Sekunden) oder  $1E-10$  (bedeutet 474 Iterationen und ca. 1:08 Minuten), dann iteriert Z88I2 entsprechend weniger oder mehr und rechnet damit kürzer bzw. länger.



(Windows: Der Iterationssolver Part 2, also Z88I2)

Ein sehr schönes Experiment ist auch folgendes:

Fangen Sie noch einmal ganz am Anfang an, lassen Sie Z88G laufen, aber diesmal nicht den Cuthill- McKee Algorithmus Z88H. Machen Sie direkt nach Z88G einen Testlauf mit Z88F (UNIX: z88f -t):



(Windows: Der direkte Cholesky- Solver im Testmodus)

Oha, das gibt aber ganz lange Gesichter: Nun würden wir 184.122.663 Speicherplätze á 8 Bytes = 1,4 GByte) brauchen. Das muß doch wirklich nicht sein!

Wenn Sie nun stattdessen zunächst wieder den Iterationssolver Part 1, also Z88I1, laufen lassen, dann stellen Sie fest, daß Sie wiederum nur 768.687 Elemente, d.h. Speicherplätze in der Gesamtsteifigkeitsmatrix brauchen würden. Bitte rechnen Sie mit:

$$184.122.663 : 768.687 = 240 : 1$$

Der zweite Part des Iterationssolvers, also Z88I2, braucht jetzt etwas mehr Iterationen (451 gegenüber vormals 415 bei jeweils  $EPS = 1E-7$ ), weil die Matrix zwar genauso viele Nicht-Nullelemente hat, aber schlechter konditioniert ist durch die sehr schlechte Knoten-Numerierung von Pro/MECHANICA. Das bedeutet: Beim Einsatz des Iterationssolvers brauchen Sie normalerweise den Cuthill- McKee Algorithmus Z88H nicht, um Speicher zu sparen (was beim direkten Cholesky- Solver Z88F eklatant sein kann). Allerdings kann er durchaus die Kondition der Gesamtsteifigkeitsmatrix verbessern.

## 5.9 RECHTECKPLATTE, PLATTE NR. 19

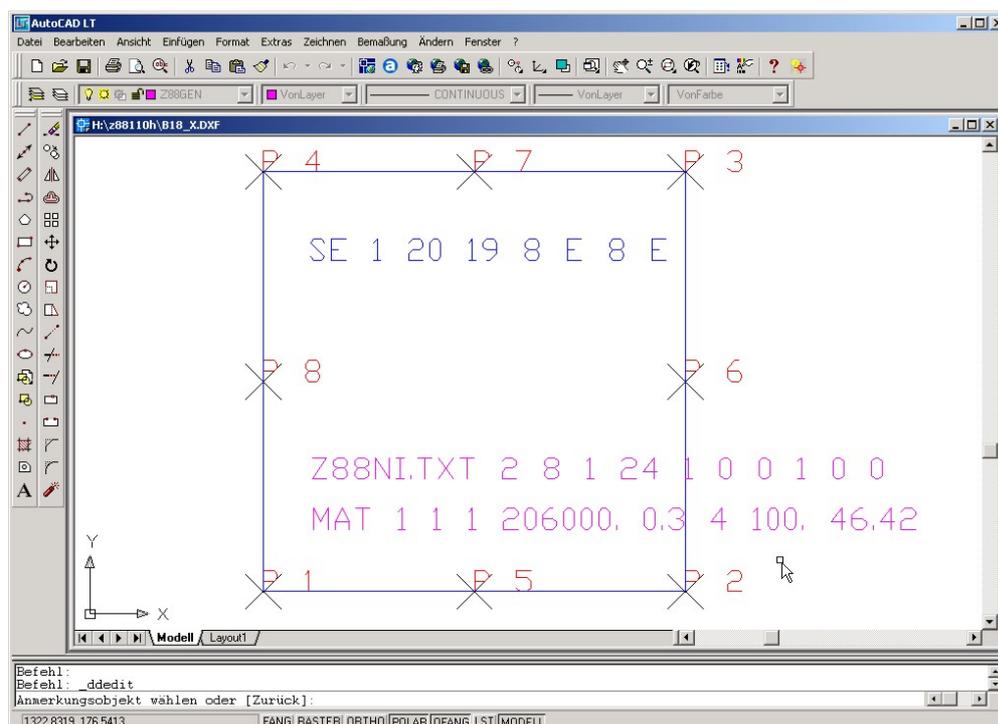
Es soll eine dicke Rechteckplatte aus Stahl berechnet werden. Daten:

- Abmessungen: 1.000 x 1.000 x 100 mm
- Flächenlast 46,42 N/mm<sup>2</sup>
- E- Modul 206.000 N/mm<sup>2</sup>
- Querkontraktionszahl 0.3

Wir werden die Platte als Superstruktur in AutoCAD zeichnen. Zeichnen Sie ein einziges Superelement Platte Typ 20, das dann vom Netzgenerator in 8 x 8 = 64 Platten vom Typ 19, also mit jeweils 16 Knoten zerlegt werden soll (von Hand per Editor geht es hier natürlich genauso schnell):

Das genaue Vorgehen ist in Kapitel 2.7 beschrieben - versuchen Sie's einmal selbst und exportieren Sie die Zeichnung als Z88X.DXF ins Z88- Directory. Wenn's halt gar nicht geht:

B18\_X.DXF in Z88X.DXF umkopieren

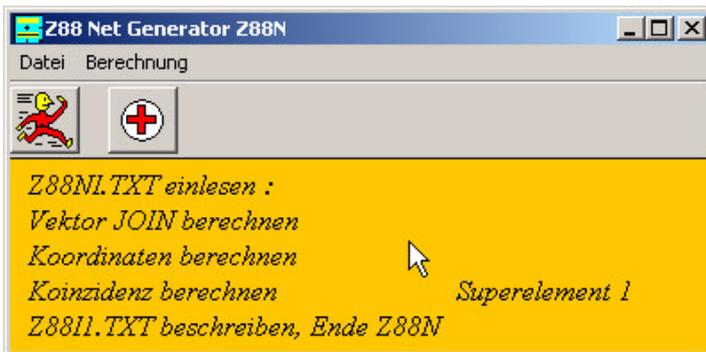


(Windows: AutoCAD LT, Entwurf der Rechteckplatte)



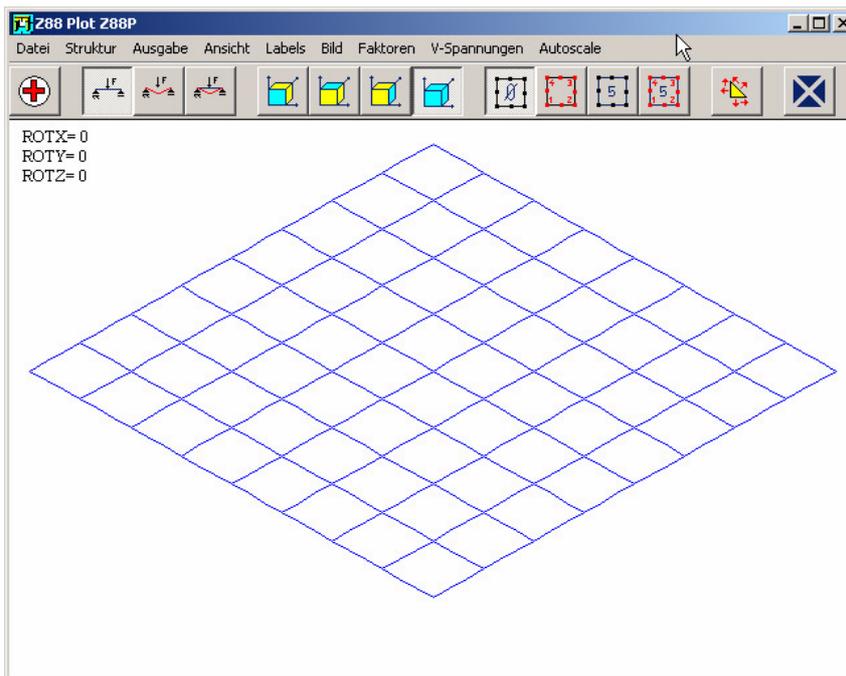
(Windows: CAD Konverter Z88X. Sieht bei UNIX ähnlich aus)

Sie wählen Umsetzung Z88X → Z88NI.TXT. Dann können Sie gleich den Netzgenerator laufen lassen:



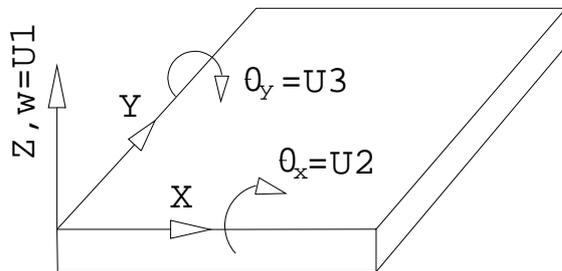
(Windows: Netzgenerator Z88N. Sieht bei UNIX ähnlich aus)

Dann können Sie mit **Z88P** die Struktur betrachten:



(Windows: Plotprogramm Z88P, unverformte Struktur. Sieht bei UNIX ähnlich aus)

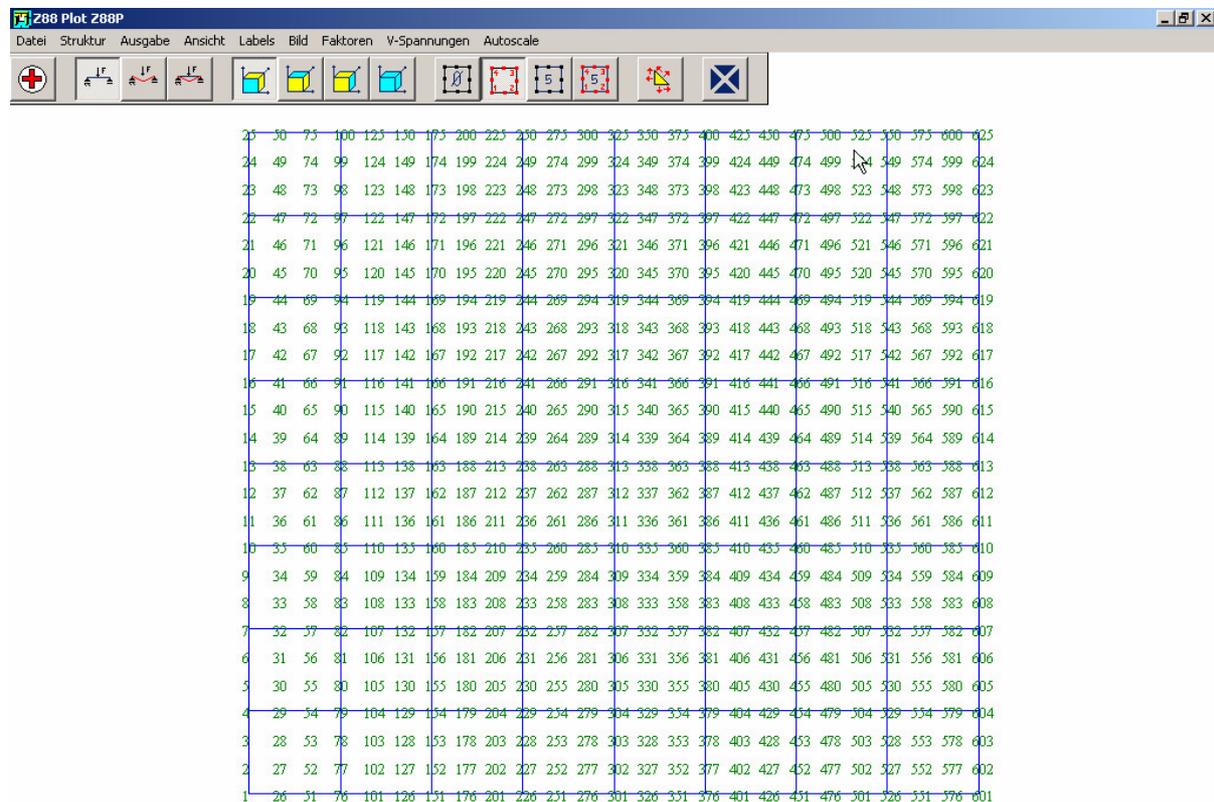
Jetzt gibt's etwas Arbeit: Sie müssen in Z88P die Knotennummern für die Randbedingungen ablesen. Dazu wäre zu überlegen, wie Sie die Platte lagern wollen. Wir machen einmal eine sog. Schneidenlagerung, d.h. die Plattenränder sind wie zwischen zwei Schneiden oben und unten gelagert, damit können sie wie bei einem Loslager in Querrichtung frei schwenken, können aber längs der Schneiden keine Wellen schlagen.



Wenn Sie also den vorderen Rand, der entlang X läuft, auf Schneiden lagern wollen, dann müssen Sie den Freiheitsgrad 1 (die Z- Richtung) und den Freiheitsgrad 3 (die Rotation um die Y- Achse) sperren.

Wir haben insgesamt 625 Knoten. Welche davon lagern wir ? Gute Frage ! Versuchen wir, um Arbeit zu sparen (meist keine gute Idee), zunächst nur die auf Rändern liegenden Eckknoten der Elemente zu sperren. Das sind die Knoten

- linker Rand: 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25
- unterer Rand: 1, 76, 151, 226, 301, 376, 451, 526, 601
- oberer Rand: 25, 100, 175, 250, 325, 400, 475, 550, 625
- rechter Rand: 601, 604, 607, 610, 613, 616, 619, 622, 625



(Windows: Ablesen der Knoten in Z88P. Sieht bei UNIX ähnlich aus)

Hier der Beginn und das Ende der Randbedingungs- Datei Z88I2.TXT (wenn Sie zu faul zum eingeben sind: *B18\_2ROU.TXT*) :

```
68
1 1 2 0.
1 2 2 0.
1 3 2 0.
4 1 2 0.
4 2 2 0.
. . . .
622 1 2 0.
622 2 2 0.
625 1 2 0.
625 2 2 0.
625 3 2 0.
```

Wir können einen der Solver starten. Die Struktur ist sehr klein, da ist der Cholesky- Solver richtig. Aus Z88O2.TXT lesen wir für den Knoten 313, der genau in Plattenmitte liegt, ab:

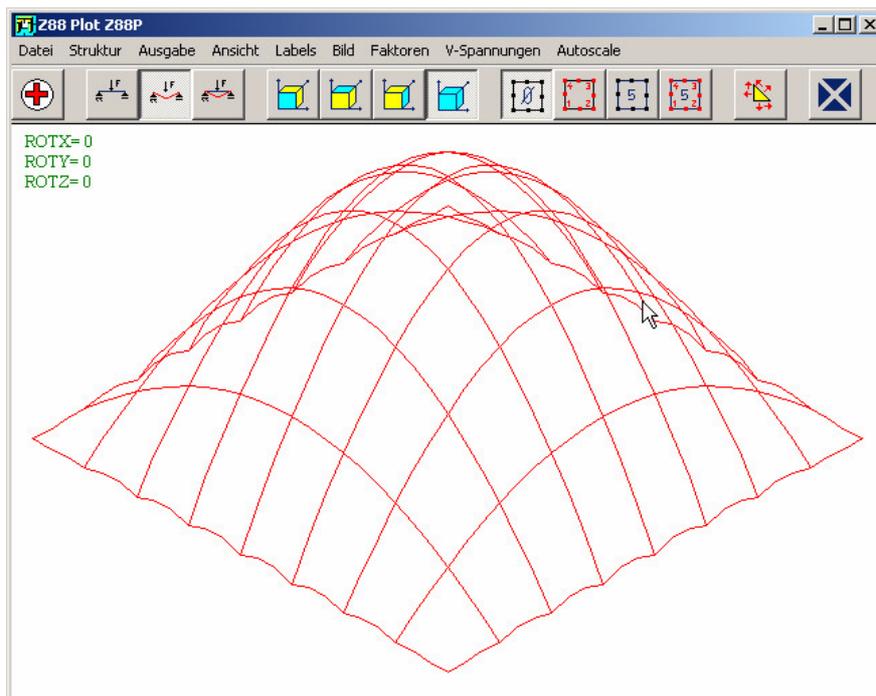
```
313 +1.1236511E+001 -2.1751298E-008 +2.1751298E-008
```

Die Verschiebungen U2 (also die Rotation um die X- Achse) und U3 (also die Rotation um die Y- Achse) sind praktisch Null, das sieht gut aus. Die Verschiebung U1, also w, ist 11,24 mm. "Analytisch" (das ist auch nur eine Näherung für dünne Platten, vgl. z.B. *Dubbel*) rechnet man:

$$f = (0.71 * p * b^4) / (E * h^3) = (0,71 * 46,42 * 500^4) / (206.000 * 100^3) = 10 \text{ mm}$$

Damit haben wir eine Abweichung von  $(10 - 11,24) / 10 * 100 = 12\%$ .

Wie kommt das? Erstens sind die analytischen Ansätze in der Literatur vom Kirchhoff- Typ, vernachlässigen also den Schub, sog. dünne Platten, zweitens sind sie aus Reihenentwicklungen entstanden und drittens könnten wir die Randbedingungen ruhig etwas sauberer formulieren! Denn so sieht unser Verformungs- Plot mit je 50- facher Vergrößerung aus:



Sehen Sie, wie die Ränder zwischen den Element- Eckknoten abheben? Also beißen wir in den sauren Apfel und lagern nun alle Randknoten (Datei *B18\_2.TXT* in *Z88I2.TXT* umkopieren). Damit erhalten wir:

w am Knoten 313: 10,5 mm, Abweichung zur analytischen Rechnung ca. 5 % (die analytische Rechnung ist ansich auch nicht richtig, weil sie von dünnen Platten ausgeht, deren Dicke vielleicht 1/50, 1/100 und weniger der Längsabmessungen betragen!)

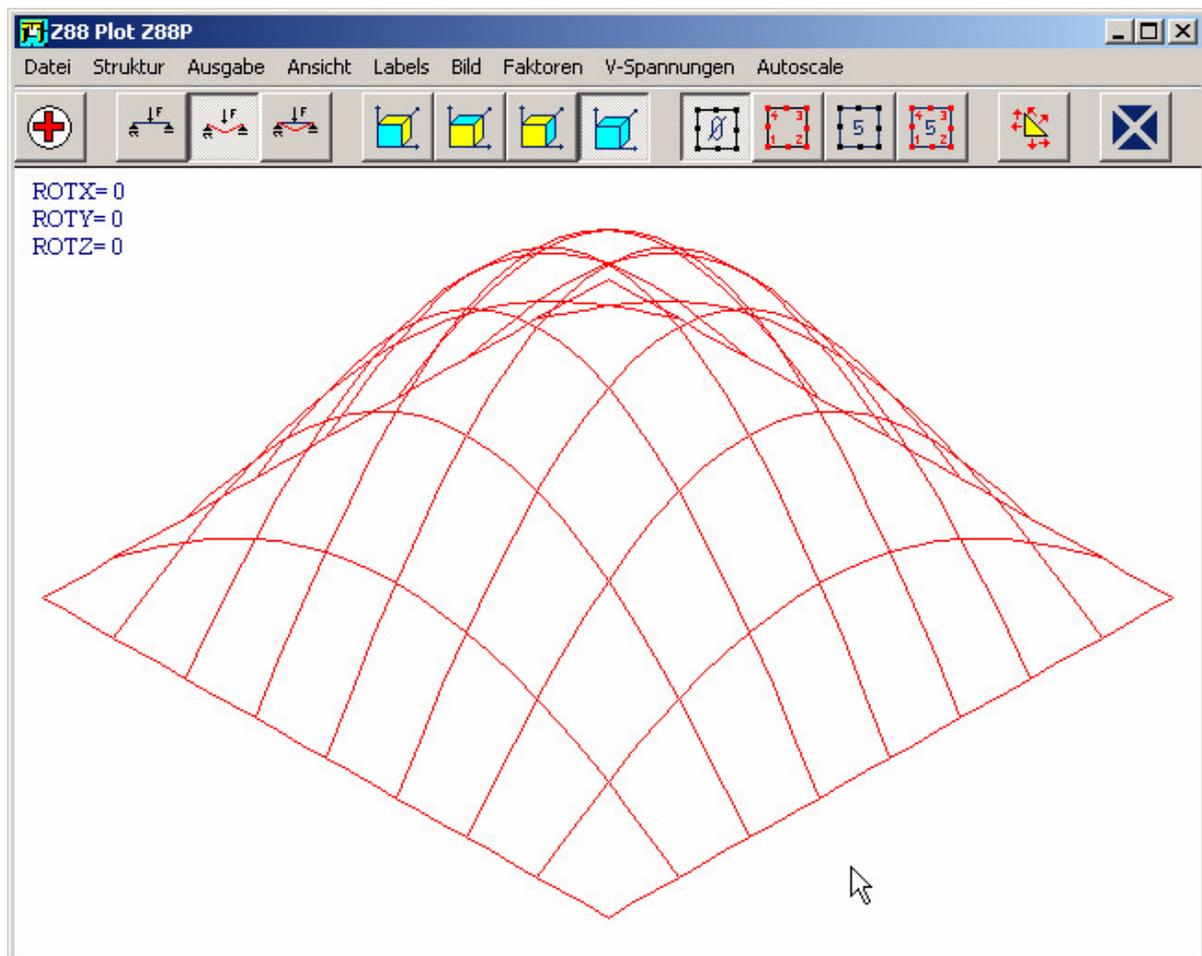
Für die Spannungen in Plattenmitte rechnet man "analytisch"

$$\sigma_x = \sigma_y = (1,15 * p * b^2) / h^2 = (1,15 * 46,42 * 500^2) / 100^2 = 1.335 \text{ N/mm}^2$$

Die Spannungs- Parameterdatei *Z88I3.TXT* richten wir für die Berechnung von Eckknoten ein:

0 0 0

Damit können Sie die Spannungen des Knotens 313 wahlweise aus den Elementen 28, 29, 36 oder 37 ablesen; es ist dort der Knoten mit  $XX=600$  und  $YY=600$ :  $\sigma_x = \sigma_y = 1.334 \text{ N/mm}^2$ .

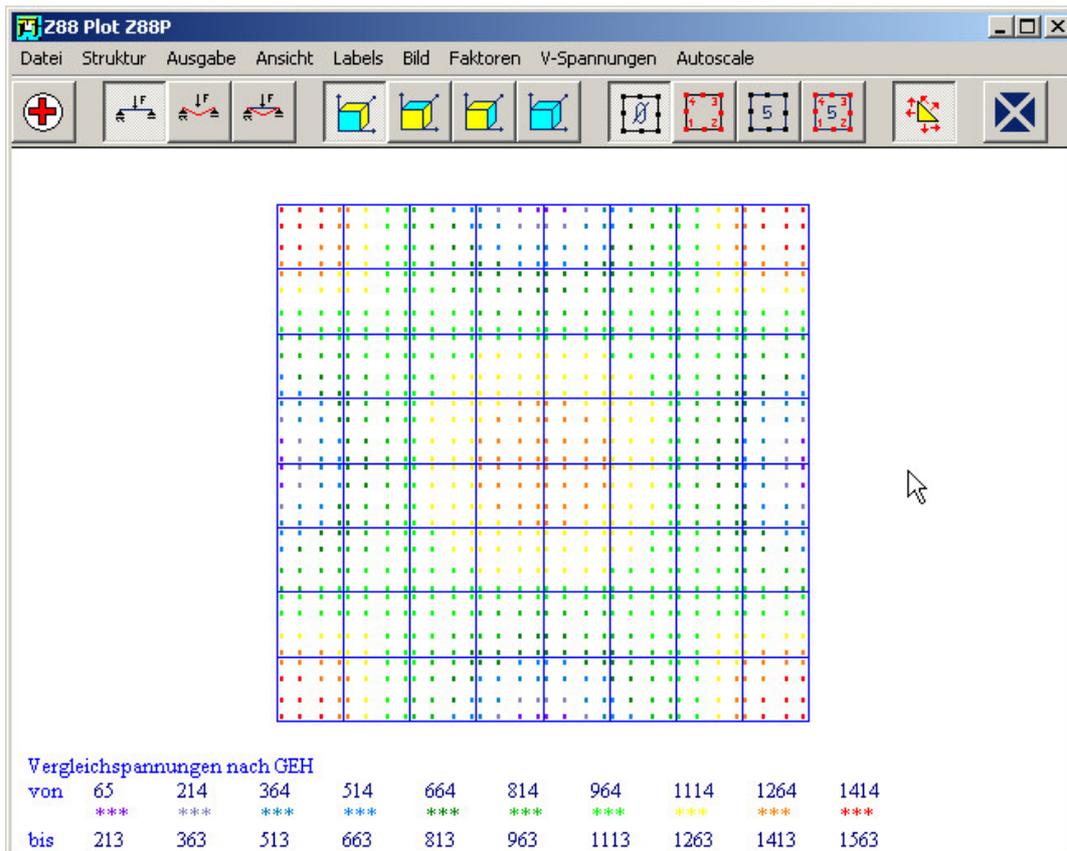


*(Jetzt sind die Ränder sauber gelagert)*

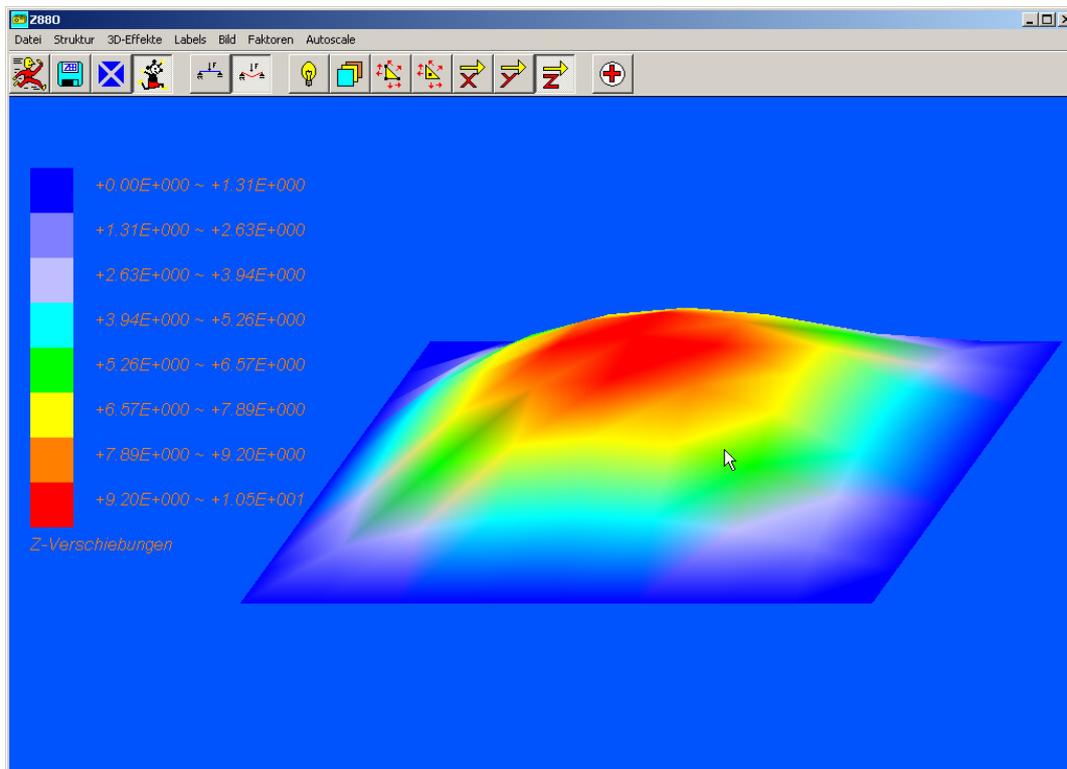
Abschließend lassen wir uns die Spannungen in den Gauß- Punkten rechnen und stellen *Z88I3.TXT* wie folgt ein:

4 0 1

Nach einem *Z88D*- Lauf können wir die Vergleichsspannungen betrachten:



(Windows: Plot der GEH- Vergleichsspannungen in den 4 x 4 Gaußpunkten. Z88P)

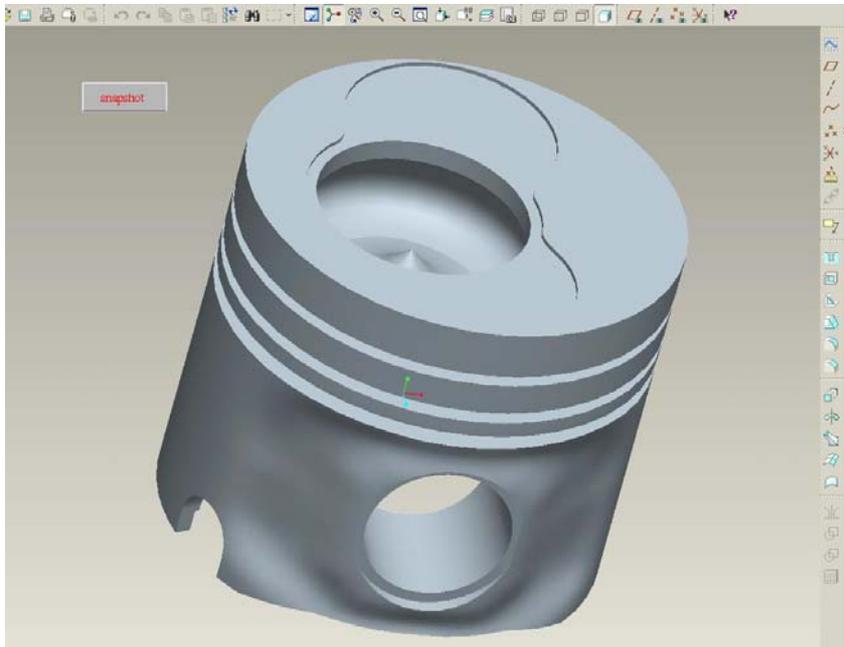


(Windows: Plot der Z Verschiebungen. Z880. Sieht bei UNIX praktisch genauso aus)

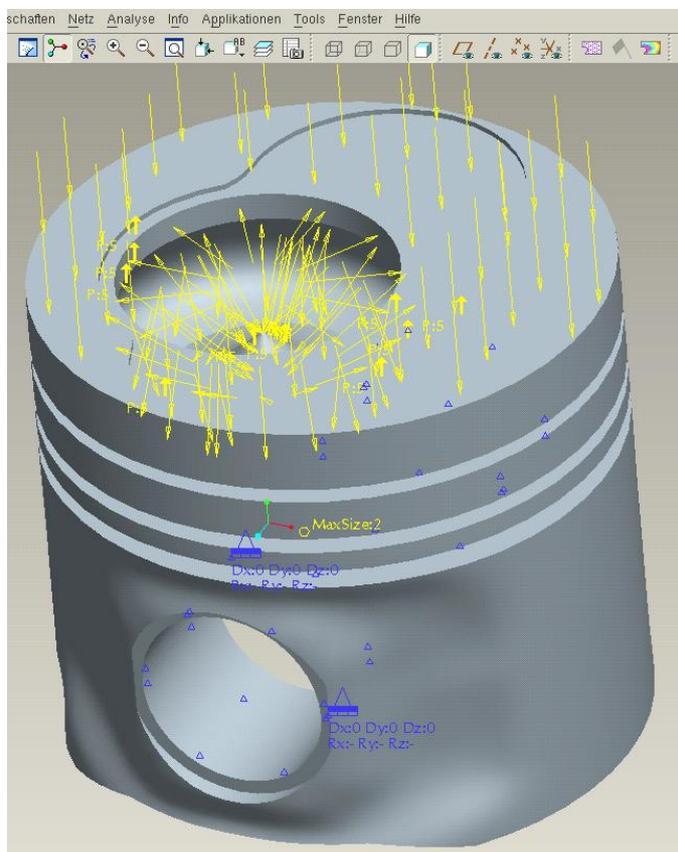
Sie haben damit einen kleinen Eindruck von Plattenberechnungen bekommen. Platten-Berechnungen sind immer teuflisch! Dicke Platten rechnen Sie besser mit Volumenelementen bei quadratischem Ansatz, das ist zwar mehr Eingabeaufwand, aber die Ergebnisse sind immer verlässlich und frei von dubiosen Interpretationszwängen.

## 5.10 DIESELKOLBEN, TETRAEDER NR.16 UND NR.17

Dieses Beispiel zeigt lineare Tetraeder mit 4 Knoten und quadratische (parabolische) Tetraeder mit 10 Knoten im direkten Vergleich. Ferner werden hier Drucklasten über die Flächenlastdatei Z88I5.TXT aufgegeben. Die beiden NASTRAN-Dateien wurden in Pro/ENGINEER Wildfire 2 erzeugt:

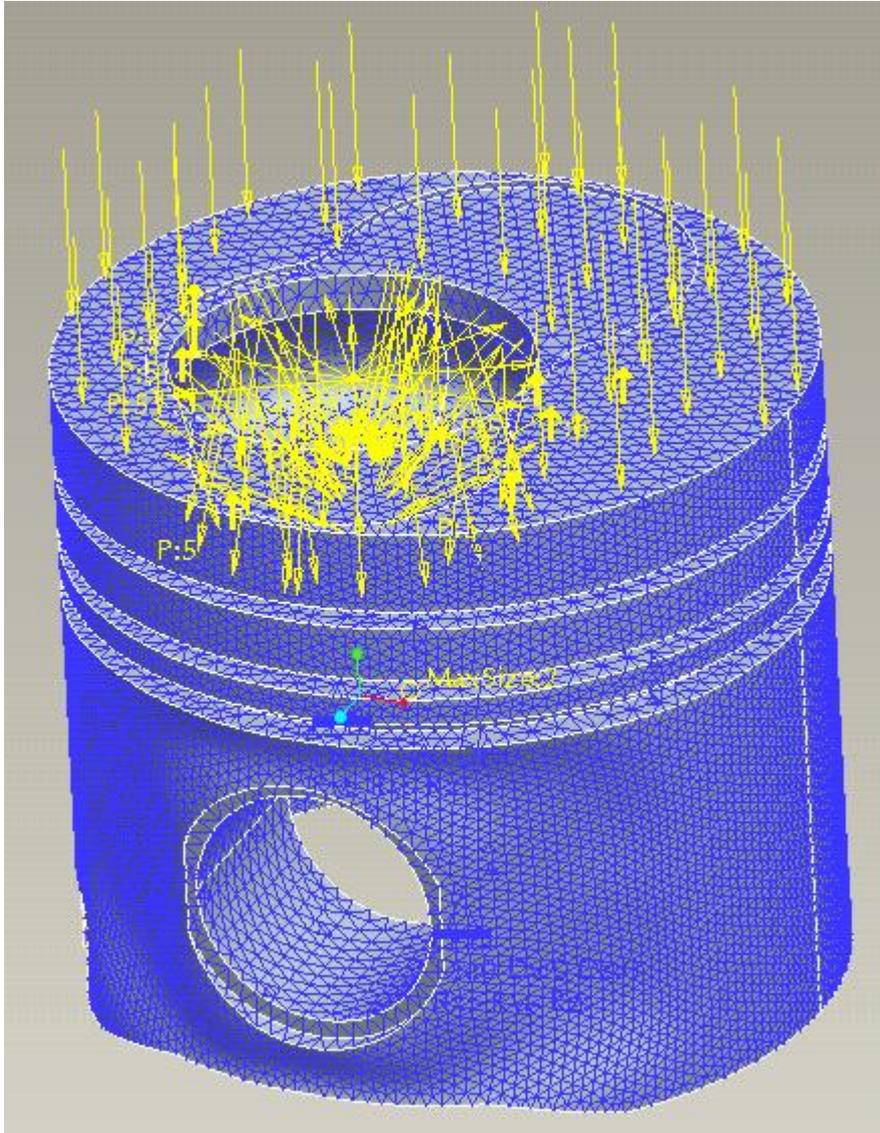


*(Dieselkolben eines AUDI-Motors (vereinfacht), modelliert von Dipl.-Ing. Jens-Uwe Goering)*



*(Dieselkolben mit Drucklast von 50 bar, max. Netzgröße 2mm)*

Der Kolben wurde in Anlehnung an einen Dieselkolben eines modernen AUDI-Motors modelliert, und die Drucklast wurde willkürlich mit 50 bar = 5 MPa. Als Werkstoff wurde eine Aluminiumlegierung mit  $E = 73.000 \text{ N/mm}^2$  und  $\nu = 0,33$  angenommen. Natürlich werden in der Wirklichkeit andere Drücke und Werkstoffe verwendet – aber darum geht's ja garnicht! Wir haben eine feine Struktur erzeugt, indem wir eine maximale Netzgröße von nur 2mm zugelassen haben.



(feines FE-Netz aus Tetraedern)

Probieren wir das mal mit linearen Tetraeder. Die für Sie vorbereitete NASTRAN-Eingabedatei ist *B21\_LIN\_G.NAS*, und Z88.DYN sollte so aussehen:

```
COMMON START
MAXGS      3600000
MAXKOI     1120000
MAXK        58000
MAXE       280000
MAXNFG     172000
MAXNEG      32
MAXPR      50000
MAXSOR    12000000
MAXPUF     3000000
COMMON END
```

Die Flächenlastdatei Z88I5.TXT sieht dann wie folgt aus (bitte vergleichen Sie dies mit den Kapiteln 3.7 und 4.17):

```
4430    Z88I5.TXT,via Z88G V12 NASTRAN
      265 +5.00000E+000    731    728    732
      292 +5.00000E+000    344    345    847
      525 +5.00000E+000 16105 16106 15009
      640 +5.00000E+000 15582 15584 15583
      658 +5.00000E+000 15582 15548 15547
      701 +5.00000E+000    812    817    815
      .....

```

Der Part 1 des Iterationssolvers, Z88I1, braucht 157 MB Speicher, der Part 2 des Iterationssolvers, Z88I2, zieht 89 MB an, wenn Sie die Cholesky-Vorkonditionierung mit einem  $\alpha = 0,0001$  wählen. Dabei braucht der Solver 202 Iterationen und ist bei einem modernen PC bei Windows XP in etwa einer Minute fertig.

$$\text{Z88 berechnet: } \sigma_{V_{\max}} = 35,1 \text{ N/mm}^2 \qquad y_{\max} = -0,0121 \text{ mm}$$

Nun das ganze mit quadratischen (parabolischen) Tetraedern. Dies resultiert in folgenden Speicheranforderungen; die für Sie vorbereitete NASTRAN-Eingabedatei ist *B21\_PARA\_G.NAS*:

```
COMMON START
MAXGS    51000000
MAXKOI    2800000
MAXK      416000
MAXE      280000
MAXNFG    1250000
MAXNEG     32
MAXPR     50000
MAXSOR 120000000
MAXPUF 100000000
COMMON END

```

Die Flächenlastdatei Z88I5.TXT sieht dann wie folgt aus (bitte vergleichen Sie dies mit den Kapiteln 3.7 und 4.16):

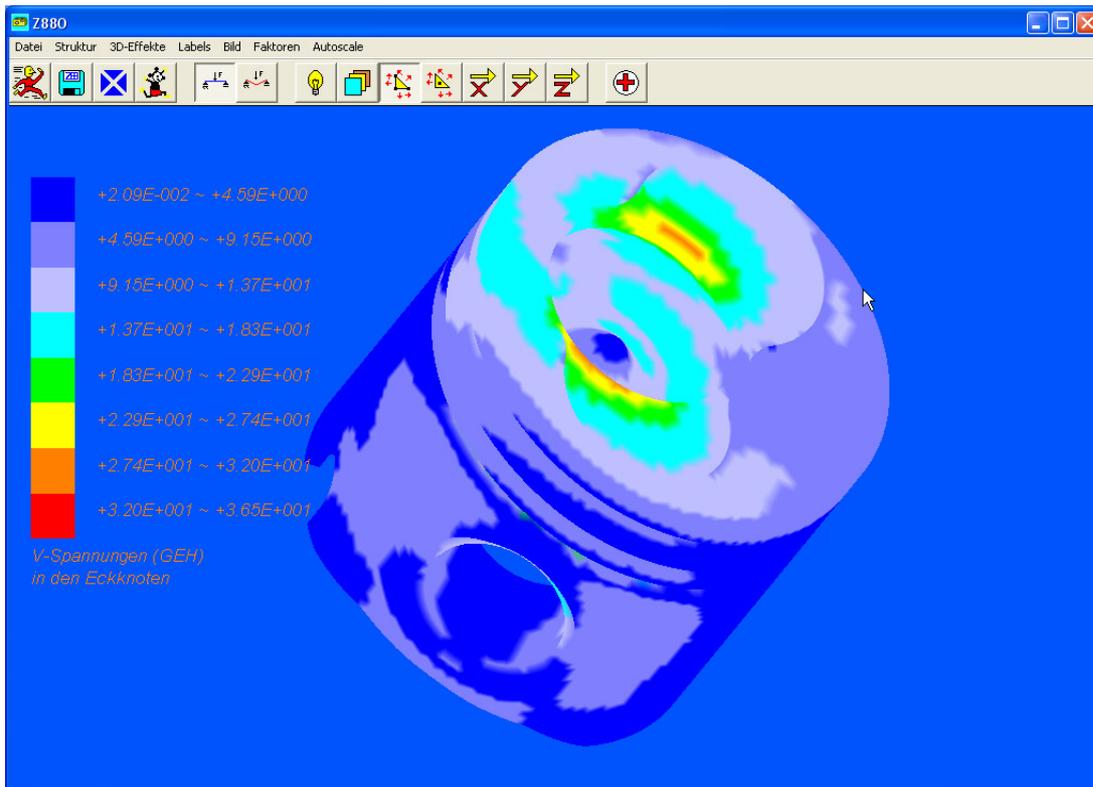
```
4430    Z88I5.TXT,via Z88G V12 NASTRAN
      5 +5.00000E+000    394    734    610 59815 61330 59813
     128 +5.00000E+000 16135 16138 16136 167350 167355 167348
     292 +5.00000E+000 15401 15400 15399 162081 162074 162075
     369 +5.00000E+000 15319 15302 15317 161397 161396 161503
     379 +5.00000E+000    828    833    831 63009 63029 63008
     682 +5.00000E+000 15582 15548 15547 163056 163041 163044
      .....

```

Der Part 1 des Iterationssolvers, Z88I1, braucht dann 1441 MB Speicher, der Part 2 des Iterationssolvers, Z88I2, zieht 1072 MB an (das können Sie um rund 1/3 drücken, wenn Sie die SOR-Vorkonditionierung wählen, nehmen Sie dann  $\omega = 1,2$ ), wenn Sie die Cholesky-Vorkonditionierung mit einem  $\alpha = 0,0001$  wählen. Dabei braucht der Solver 668 Iterationen und ist bei einem PC mit einem AMD Athlon 64 3500+ und 4 GByte Memory bei Windows XP in einer halben Stunden fertig, bei 64-Bit LINUX und der 64-Bit Version von Z88 noch schneller (braucht aber durch die doppelt so großen Integer-Zahlen t.w. doppelt soviel Speicher!).

Z88 berechnet:  $\sigma_{Vmax} = 36,5 \text{ N/mm}^2$

$y_{max} = -0,0128 \text{ mm}$



Sie sehen, die Ergebnisse unterscheiden sich nur marginal, und den großen Rechenaufwand für die quadratischen Tetraeder Nr.16 hätten wir uns sparen können. Aber das ist genau die Kunst des FE-Rechners - immer die richtigen Elemente zu wählen!