

Thomas Fritscher  
Wolf-Udo Zammert

## Praxiswissen

Dass es eine Reihe von Praxiswissen gibt, ist kein Geheimnis. Aber es ist auch kein Geheimnis, dass es kein Praxiswissen gibt, das alle Praxiswissen zusammenfasst. Das ist der Grund, warum es kein Praxiswissen gibt, das alle Praxiswissen zusammenfasst.

## Praxiswissen

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

Praxiswissen ist das gesuchte Praxiswissen, das es gibt und es nicht zu geben ist. Es ist ein Praxiswissen, das es nicht zu geben ist.

# FEM-Praxis mit ANSYS®

## Grundkurs

Mit 64 Bildern und 6 Tabellen

Autoren: Thomas Fritscher, Wolf-Udo Zammert



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	<b>V</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Die Theorie der finiten Elemente</b> .....	<b>3</b>
2.1 Einführung in die Theorie .....	3
<b>3 Einstieg in das Arbeiten mit ANSYS</b> .....	<b>15</b>
3.1 Starten und Beenden von ANSYS.....	15
3.2 USER Interface .....	16
3.3 Hilfe-Modul.....	17
3.3.1 Die Befehle <i>HELP</i> , <i>GOTO</i> und <i>FIND</i> .....	17
3.4 Beenden von ANSYS .....	18
3.4.1 Der Befehl/ <i>EOF</i> .....	18
3.5 ANSYS-Dateien .....	19
3.6 Einheitenlose Eingabe.....	19
3.7 Übungen zu einheitenloser Eingabe .....	20
3.7.1 Aufgabe .....	20
<b>4 Lineare Statische Berechnung</b> .....	<b>21</b>
4.1 Darstellung eines Beispielfiles.....	21
<b>5 Preprocessing</b> .....	<b>23</b>
5.1 Aufruf des Preprozessors .....	23
5.1.1 Der Befehl/ <i>PREP7</i> .....	23
5.2 Berechnungsarten .....	24
5.2.1 Der Befehl <i>KAN</i> .....	24
5.3 Erzeugen eines Titels.....	24
5.3.1 Der Befehl/ <i>TITLE</i> .....	24

5.4	Elementbibliothek.....	25
5.4.1	Elementbibliothek .....	26
5.5	Elementauswahl.....	28
5.5.1	Der Befehl <i>ET</i> .....	28
5.6	Elementoptionen.....	28
5.6.1	Der Befehl <i>KEYOPT</i> .....	28
5.7	Real-Konstanten .....	29
5.7.1	Die Befehle <i>R</i> , <i>RMORE</i> .....	29
5.8	Materialkonstanten .....	30
5.8.1	Der Befehl <i>MP</i> .....	30
5.9	Übungen zur Konstantendefinition .....	31
5.9.1	Aufgabe .....	31
6	<b>Einstieg in das Arbeiten mit ANSYS .....</b>	32
6.1	Modell und Wirklichkeit.....	32
7	<b>Knoten .....</b>	33
7.1	Einzelknoten generieren.....	33
7.1.1	Der Befehl <i>N</i> .....	33
7.2	Knoten anzeigen .....	34
7.2.1	Der Befehl <i>NPLOT</i> .....	34
7.3	Knotennummern einschalten.....	35
7.3.1	Der Befehl/ <i>PNUM</i> .....	35
7.4	Knotennummern auflisten.....	35
7.4.1	Der Befehl <i>NLIST</i> .....	35
7.5	Knoten auffüllen.....	37
7.5.1	Der Befehl <i>FILL</i> .....	37
7.6	Knoten generieren.....	39
7.6.1	Der Befehl <i>NGEN</i> .....	39
7.7	Knotenmuster spiegeln.....	41
7.7.1	Der Befehl <i>SYMM</i> .....	41
7.8	Knotenmuster verzerren.....	42
7.8.1	Der Befehl <i>NSCALE</i> .....	42
7.9	Knoten löschen .....	43
7.9.1	Der Befehl <i>NDELE</i> .....	43
7.10	Übungen zur Knotengenerierung .....	44
7.10.1	Aufgabe .....	44
7.10.2	Aufgabe .....	44
7.10.3	Aufgabe .....	44
7.10.4	Aufgabe .....	45

<b>8</b>	<b>Elemente</b>	46
8.1	Elemente erzeugen	46
8.1.1	Der Befehl <i>E</i>	46
8.2	Elemente darstellen	48
8.2.1	Der Befehl <i>EPLOT</i>	48
8.3	Elementnummern einschalten	48
8.3.1	Der Befehl/ <i>PNUM</i>	48
8.4	Elemente generieren	49
8.4.1	Der Befehl <i>EGEN</i>	49
8.5	Elemente duplizieren	50
8.5.1	Der Befehl <i>ESYM</i>	50
8.6	Elemente löschen	51
8.6.1	Der Befehl <i>EDELE</i>	51
8.7	Elemente auflisten	51
8.7.1	Der Befehl <i>ELIST</i>	51
8.8	Elemente mit expliziter Numerierung	52
8.8.1	Die Befehle <i>EN</i> , <i>ENGEN</i> , <i>ENSYM</i>	52
8.9	Übungen zur Elementgenerierung	53
8.9.1	Aufgabe	53
8.9.2	Aufgabe	53
<b>9</b>	<b>Koordinatensysteme</b>	54
9.1	Globale und lokale Koordinatensysteme	54
9.2	Lokales System aus globalem System definieren	55
9.2.1	Der Befehl <i>LOCAL</i>	55
9.3	Lokales System aus lokalem System definieren	56
9.3.1	Der Befehl <i>CLOKAL</i>	56
9.4	Lokales System mit drei Knoten definieren	57
9.4.1	Der Befehl <i>CS</i>	57
9.5	Koordinatensystem aktivieren	57
9.5.1	Der Befehl <i>CSYS</i>	57
9.6	Koordinatensysteme auflisten	58
9.6.1	Der Befehl <i>CSLIST</i>	58
9.7	Koordinatensysteme löschen	58
9.7.1	Der Befehl <i>CSDELE</i>	58
9.8	Koordinatensystem anzeigen	59
9.8.1	Der Befehl <i>PSYMB</i>	59
9.9	Schnittpunkte berechnen	60
9.9.1	Der Befehl <i>MOVE</i>	60
9.10	Knotenkoordinatensysteme	63
9.10.1	Der Befehl <i>NROTAT</i>	64
9.10.2	Der Befehl <i>NMODIF</i>	65
9.11	Elementkoordinatensysteme	65

9.12	Übungen zum Umgang mit Koordinatensystemen.....	66
9.12.1	Aufgabe .....	66
9.12.2	Aufgabe .....	66
<b>10</b>	<b>Gruppenbildungen&gt;Selecting Capabilities.....</b>	<b>67</b>
10.1	Knotenselektion.....	67
10.2	Knoten selektieren. ....	68
10.2.1	Der Befehl <i>NSEL</i> .....	68
10.3	Knoten aus selektierter Menge wählen.....	69
10.3.1	Der Befehl <i>NRSEL</i> .....	69
10.4	Selektierte Menge erweitern.....	69
10.4.1	Der Befehl <i>NASEL</i> .....	69
10.5	Selektierte Menge verkleinern .....	70
10.5.1	Der Befehl <i>NUSEL</i> .....	70
10.6	Selektierte und passive Menge vertauschen.....	70
10.6.1	Der Befehl <i>NINV</i> .....	70
10.7	Alle Knoten aktivieren.....	70
10.7.1	Der Befehl <i>NALL</i> .....	70
10.8	Elementselektion .....	70
10.9	Elemente selektieren.....	71
10.9.1	Der Befehl <i>ESEL</i> .....	71
10.10	Elemente auswählen zu selektierten Knoten.....	71
10.10.1	Der Befehl <i>ENODE</i> .....	71
10.11	Übungen zur Gruppenbildung/Selektion .....	73
10.11.1	Aufgabe .....	73
<b>11</b>	<b>Last- und Lagerbedingungen .....</b>	<b>74</b>
11.1	Lagerbedingungen .....	74
11.2	Lagerbedingungen definieren.....	74
11.2.1	Der Befehl <i>D</i> .....	74
11.3	Lagerungsbedingungen anzeigen.....	75
11.3.1	Der Befehl/ <i>PBC</i> .....	75
11.4	Auflisten der Lagerbedingungen .....	75
11.4.1	Der Befehl <i>DLIST</i> .....	75
11.5	Lagerbedingungen löschen.....	76
11.5.1	Der Befehl <i>DDELE</i> .....	76
11.6	Angreifende Kräfte und Momente.....	76
11.6.1	Der Befehl <i>F</i> .....	76
11.7	Kräfte anzeigen, auflisten und löschen.....	77
11.7.1	Die Befehle/ <i>PBC</i> , <i>FLIST</i> und <i>FDELE</i> .....	77
11.8	Drücke, Pressungen auf Elemente.....	77
11.8.1	Die Befehle <i>EP</i> , <i>PSF</i> .....	77
11.9	Beschleunigungen.....	80
11.9.1	Der Befehl <i>ACEL</i> .....	80

11.10	Symmetriebedingungen.....	80
11.10.1	Der Befehl <i>SYMBC</i> .....	80
11.11	Übungen zu Lager- und Lastbedingungen.....	82
11.11.1	Aufgabe .....	82
12	<b>Abschluß des Preprocessing</b> .....	83
12.1	Speichern der Geometrie und Randbedingungen.....	83
12.1.1	Die Befehle <i>AFWRITE</i> , <i>SAVE</i> und <i>CHECK</i> .....	83
12.2	Übung zum Abschluß des Preprocessing.....	84
12.2.1	Aufgabe .....	84
13	<b>Solid Modeling</b> .....	86
13.1	Allgemeines .....	86
13.2	Vergleich: Direktes Generieren - Solid Modeling .....	86
13.3	Selektieren im Solid Modeling.....	89
13.4	Punkte/Keypoints.....	90
13.4.1	Der Befehl <i>K</i> .....	90
13.5	Punkte auffüllen.....	91
13.5.1	Der Befehl <i>KFILL</i> .....	91
13.6	Punktmuster erzeugen.....	93
13.6.1	Der Befehl <i>KGEN</i> .....	93
13.7	Punktmuster spiegeln .....	94
13.7.1	Der Befehl <i>KSYMM</i> .....	94
13.8	Punkte in anderes Koordinatensystem transformieren .....	96
13.8.1	Der Befehl <i>KTRAN</i> .....	96
13.9	Verzerren von Punktmustern.....	97
13.9.1	Der Befehl <i>KSCALE</i> .....	97
13.10	Existierende Punkte verändern.....	98
13.10.1	Der Befehl <i>KMODIF</i> .....	98
13.11	Punkte löschen.....	99
13.11.1	Der Befehl <i>KDELE</i> .....	99
13.12	Punkte darstellen und auflisten .....	99
13.12.1	Die Befehle <i>KPLOT</i> und <i>KLIST</i> .....	99
13.13	Punktnumerierung einschalten .....	100
13.13.1	Der Befehl/ <i>PNUM</i> .....	100
14	<b>Linien</b> .....	101
14.1	Linien erzeugen .....	101
14.1.1	Der Befehl <i>L</i> .....	101
14.2	Verschiedene Linienbefehle.....	102
14.2.1	Die Befehle <i>LEGEN</i> , <i>LSYMM</i> , <i>LTRAN</i> , <i>LMODIF</i> .....	102
14.3	Linien unterteilen.....	102
14.3.1	Der Befehl <i>LDIV</i> .....	102
14.4	Linien verbinden.....	103
14.4.1	Der Befehl <i>LCOMB</i> .....	103

---

14.5	Kreuzende Linien auftrennen .....	104
14.5.1	Der Befehl <i>LINTER</i> .....	104
14.6	Linien unter definiertem Winkel anfügen.....	105
14.6.1	Die Befehle <i>LANG</i> und <i>L2ANG</i> .....	105
14.7	Linien verlängern.....	107
14.7.1	Die Befehle <i>LTAN</i> und <i>L2TAN</i> .....	107
14.8	Kreisbögen generieren .....	109
14.8.1	Der Befehl <i>LARC</i> .....	109
14.9	Kreis erzeugen.....	110
14.9.1	Der Befehl <i>CIRCLE</i> .....	110
14.10	Beliebige Kurve erzeugen .....	111
14.10.1	Der Befehl <i>SPLINE</i> .....	111
14.11	Übergang ausbilden .....	112
14.11.1	Der Befehl <i>LFILLT</i> .....	112
14.12	Schnittkante erzeugen .....	113
14.12.1	Der Befehl <i>LAINT</i> .....	113
14.13	Flächenparallele erzeugen .....	114
14.13.1	Der Befehl <i>LAREA</i> .....	114
14.14	Linien darstellen und löschen.....	115
14.14.1	Die Befehle <i>LPLOT</i> , <i>LLIST</i> und <i>LDELE</i> .....	115
14.15	Übungen mit Linien.....	115
14.15.1	Aufgabe .....	115
14.15.2	Aufgabe .....	116
14.15.3	Aufgabe .....	116
<b>15</b>	<b>Flächen/Areas.....</b>	<b>117</b>
15.1	Regelmäßige Flächen erzeugen .....	117
15.1.1	Der Befehl <i>A</i> .....	117
15.2	Unregelmäßige Flächen erzeugen .....	117
15.2.1	Der Befehl <i>AL</i> .....	117
15.3	Verschiedene Flächenbefehle .....	118
15.3.1	Die Befehle <i>AGEN</i> , <i>ARSYM</i> , <i>ATRAN</i> , <i>AFILLT</i> .....	118
15.4	Fläche durch Rotieren erzeugen.....	119
15.4.1	Der Befehl <i>AROTAT</i> .....	119
15.5	Fläche durch Verschieben erzeugen.....	120
15.5.1	Der Befehl <i>ADRAG</i> .....	120
15.6	Fläche unterteilen .....	121
15.6.1	Der Befehl <i>ASUB</i> .....	121
15.7	Parallelfläche erzeugen .....	122
15.7.1	der Befehl <i>AOFFST</i> .....	122
15.8	Flächen anzeigen, löschen und auflisten .....	123
15.8.1	Die Befehle <i>APLOT</i> , <i>ADELE</i> , <i>ALIST</i> .....	123
15.9	Übungen mit Flächen.....	123
15.9.1	Aufgabe .....	123

<b>16</b>	<b>Volumina/Volumes</b>	124
16.1	Körper erzeugen .....	124
16.1.1	Der Befehl <i>V</i> .....	124
16.2	Unregelmäßige Volumina. ....	124
16.2.1	Der Befehl <i>VA</i> .....	124
16.3	Volumen generieren und verändern ..	125
16.3.1	Die Befehle <i>VGEN</i> , <i>VSYMM</i> , <i>VTRAN</i> , <i>VROTAT</i> , <i>VDRAG</i> , <i>VPLOT</i> , <i>VLIST</i> .....	125
<b>17</b>	<b>Geometrieerzeugung extern/Transfer</b>	126
17.1	Datenaustausch PROREN-ANSYS .....	126
17.2	Datenaustausch AutoCAD-ANSYS .....	127
<b>18</b>	<b>Vernetzen der Geometrie</b>	128
18.1	Kontrolle der Elementgröße .....	128
18.1.1	Der Befehl <i>ELSIZE</i> .....	128
18.2	Linien für die Vernetzung unterteilen ..	129
18.2.1	Der Befehl <i>LDVS</i> .....	129
18.3	Elementgröße in Punktumgebung ..	130
18.3.1	Der Befehl <i>KSCON</i> .....	130
18.4	Elementgröße an vorgegebenen Punkt ..	131
18.4.1	Der Befehl <i>KDVS</i> .....	131
18.5	Elementanzahl bei Linien anpassen .....	131
18.5.1	Der Befehl <i>LDVA</i> .....	131
18.6	Starten der Vernetzung. ....	132
18.6.1	Der Befehl <i>MESH</i> .....	132
18.7	Löschen eines Netzes .....	133
18.7.1	Der Befehl <i>CLEAR</i> .....	133
18.8	Beispiele zur Venetzungssteuerung .....	133
18.9	Knoten und Elemente vom Solid Model lösen .....	136
18.9.1	Der Befehl <i>MODMESH</i> .....	136
18.10	Übungen zur Netzgenerierung .....	137
18.10.1	Aufgabe .....	137
<b>19</b>	<b>Last-/Lagerbedingungen am Solid Model</b>	138
19.1	Kräfte am Solid Model .....	138
19.1.1	Der Befehl <i>KF</i> .....	138
19.2	Drücke/Pressungen am Solid Model .....	138
19.2.1	Die Befehle <i>LPSF</i> und <i>APSF</i> .....	138
19.3	Lagerbedingungen am Solid Model .....	139
19.3.1	Der Befehl <i>KD</i> .....	139
19.4	Symmetriebedingungen am Solid Model .....	140
19.4.1	Die Befehle <i>LSBC</i> und <i>ASBC</i> .....	140

19.5	Bedingungen auf Knoten und Elemente transferieren.....	140
19.5.1	Der Befehl <i>SBCTRA</i> .....	140
19.6	Bedingungen am Solid Model auflisten.....	141
19.6.1	Der Befehl <i>SBCLIST</i> .....	141
19.7	Last-/Lagerbedingungen am Solid Model löschen.....	141
19.7.1	Der Befehl <i>SBCDELE</i> .....	141
19.8	Übungen zu Last-/Lagerbedingungen am Solid Model.....	141
19.8.1	Aufgabe .....	141
<b>20</b>	<b>Zusätzliche Befehle .....</b>	<b>142</b>
20.1	Doppelte Objekte verschmelzen.....	142
20.1.1	Der Befehl <i>NUMMRG</i> .....	142
<b>21</b>	<b>Die Lösungsphase.....</b>	<b>143</b>
21.1	Starten des Gleichungslösers.....	143
21.1.1	Der Befehl/ <i>INPUT</i> , <sub>27</sub> .....	143
21.2	Beenden des Gleichungslösers .....	143
21.2.1	Der Befehl <i>FINISH</i> .....	143
21.3	Steuerung des Ergebnisausdrucks .....	144
21.3.1	Der Befehl <i>ITER</i> .....	144
<b>22</b>	<b>Postprocessing .....</b>	<b>145</b>
22.1	Allgemeines .....	145
22.2	Allgemeiner Postprocessor <i>POST1</i> .....	145
22.2.1	Der Befehl/ <i>POST1</i> .....	145
22.3	Einlesen von Ergebnissen .....	146
22.3.1	Der Befehl <i>SET</i> .....	146
22.4	Zusätzliche Auswertungen einschreiben .....	147
22.4.1	Die Befehle <i>POSTR</i> , <i>PONF</i> , <i>PORF</i> .....	147
22.5	Zusätzliche Ergebnisse einlesen.....	148
22.5.1	Der Befehl <i>STRESS</i> .....	148
22.6	Darstellung der Geometrieverlagerung.....	149
22.6.1	Der Befehl <i>PLDISP</i> .....	149
22.7	Verschiebungen auflisten.....	150
22.7.1	Der Befehl <i>PRDISP</i> .....	150
22.8	Darstellung der verschiedenen Spannungen .....	151
22.8.1	Die Befehle <i>PLNSTR</i> und <i>PRNSTR</i> .....	151
22.9	Lage der Spannungen bei Schalenelementen .....	154
22.9.1	Der Befehl <i>SHELL</i> .....	154
22.10	Vektordarstellungen.....	154
22.10.1	Die Befehle <i>PLVECT</i> und <i>PRVECT</i> .....	154
22.11	Koordinatensystem bei der Auswertung.....	155
22.12	Verlassen des Postprozessors.....	156
22.13	Übungen zum Postprocessing .....	156
22.13.1	Aufgabe .....	156

---

<b>23 Auswertung von Stab- und Balkenelementen</b> .....	157
23.2 Reaktionskräfte auflisten .....	157
23.2.1 Der Befehl <i>PRRFOR</i> .....	157
23.3 Auflisten der elementbezogenen Knotenkräfte .....	158
23.3.1 Der Befehl <i>PREFOR</i> .....	158
23.4 Schnittreaktionen an Knoten .....	159
23.4.1 Die Befehle <i>SPOINT</i> und <i>NFORCE</i> .....	159
23.5 Darstellen des Kraft- und Momentenverlaufs .....	159
23.5.1 Der Befehl <i>PLLS</i> .....	159
23.6 Übungen zur Auswertung von Stäben und Balken .....	160
23.6.1 Aufgabe .....	160
<b>24 Pfaddarstellungen</b> .....	161
24.1 Definieren eines Pfades .....	161
24.1.1 Die Befehle <i>PLPATH</i> und <i>PRPATH</i> .....	161
24.2 Übungen zu Pfadbefehlen .....	162
24.2.1 Aufgabe .....	162
<b>25 Fehlerenergie/Genauigkeit der Berechnung</b> .....	163
25.2 Übungen zur Fehlerenergie .....	164
25.2.1 Aufgabe .....	164
<b>26 Überlagerte Lastfälle</b> .....	165
26.2 Mehrere Lastfälle im Preprozessor .....	165
26.2.1 Der Befehl <i>LWRITE</i> .....	165
26.3 Auswertung im Postprozessor .....	166
26.3.1 Der Befehl <i>LCLIM</i> .....	166
26.4 Lastschritt zuordnen .....	167
26.4.1 Der Befehl <i>LCASE</i> .....	167
26.5 Lastfalladdition .....	167
26.5.1 Der Befehl <i>LADD</i> .....	167
26.6 Übungen zu überlagerten Lastfällen .....	168
26.6.1 Aufgabe .....	168
<b>27 Modell mit mehreren Konstanten/Complex Models</b> .....	169
27.1 Referenznummern umschalten .....	169
27.1.1 Die Befehle <i>MAT</i> , <i>TYPE</i> und <i>REAL</i> .....	169
27.2 Übungen zu Complex Models .....	172
27.2.1 Aufgabe .....	172
<b>Anhang I: Lösungen</b> .....	173
<b>Anhang II: Zusätzliche Übungsaufgaben</b> .....	198
<b>Anhang III: Referenzliste</b> .....	232