

# KLuB-VDI2014 v2.0

## Subroutine zur Festigkeitsanalyse von Faser-Kunststoff-Verbunden nach der VDI-Richtlinie 2014, Teil 3 für ABAQUS

Tobias Kremer\*

### Kurzbeschreibung

Die vorliegende Subroutine dient der Festigkeitsanalyse von Faser-Kunststoff-Verbunden mit Hilfe der Zwischenfaser- und Faserbruchanstrengung mit dem Finite-Elemente Gleichungslöser ABAQUS/Standard<sup>1</sup>. Die Berechnung der Anstrengungen erfolgt für dreidimensionale Spannungszustände nach der VDI-Richtlinie 2014, Teil 3. Als Eingabegrößen werden die Grundfestigkeiten, Neigungsparameter und Schwächungsfaktoren der zu analysierenden Einzelschichten benötigt.

Diese Dokumentation beschränkt sich auf die Beschreibung der Subroutine. Weiterführende Fragen zur Festigkeitsanalyse und deren physikalische Hintergründe können der VDI-Richtlinie beziehungsweise [Puc96; Sch05] entnommen werden. Referenzen auf Formeln und Tabellen der Richtlinie sind gesondert gekennzeichnet.

---

\*TU Darmstadt, Fachgebiet Konstruktiver Leichtbau und Bauweisen, Petersenstraße 30, 64287 Darmstadt, KLuBVDI2014@klub.tu-darmstadt.de

<sup>1</sup>ABAQUS ist ein eingetragener Markenname

Dieses Programm ist freie Software. Sie können es unter den Bedingungen der GNU General Public License, wie von der Free Software Foundation veröffentlicht, weitergeben und/oder modifizieren, entweder gemäß Version 2 der Lizenz oder (nach Ihrer Option) jeder späteren Version.

Die Veröffentlichung dieses Programms erfolgt in der Hoffnung, daß es Ihnen von Nutzen sein wird, aber OHNE IRGENDENEINE GARANTIE, sogar ohne die implizite Garantie der MARKTREIFE oder der VERWENDBARKEIT FÜR EINEN BESTIMMTEN ZWECK. Details finden Sie in der GNU General Public License.

Sie sollten ein Exemplar der GNU General Public License zusammen mit diesem Programm erhalten haben. Falls nicht, schreiben Sie an die Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110, USA.

Copyright (C) 2007, Tobias Kremer

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Versionsinformation</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Funktionsweise</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Eingabegrößen</b>	<b>4</b>
3.1	Spannungen . . . . .	4
3.2	Festigkeiten . . . . .	4
3.3	Neigungsparameter $p$ . . . . .	5
3.4	Parameter der Schwächung $m$ und $s$ . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Ausgabegrößen</b>	<b>6</b>
4.1	Bereich der Schwächung . . . . .	6
4.2	Bruchmodus . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Einbindung in das ABAQUS-Modell</b>	<b>7</b>
5.1	Fortran Compiler . . . . .	8
5.2	Verwendung unter Unix . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Quellcode</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>Beispiel einer Festigkeits-Datei</b>	<b>16</b>

# 1 Versionsinformation

Version 2.0 der Subroutine unterscheidet sich von der Version 1.0 (2006) in einer erheblichen Geschwindigkeitssteigerung durch das Vermeiden des Zugriffs auf die externe Datei der Festigkeiten. Tabelle 1 gibt Aufschluss auf den zu erwartenden Geschwindigkeitsvorteil.

**Tabelle 1:** Beispiel für die benötigte CPU-Zeit für Rechnungen mit und ohne KLuB-VDI2014 Subroutine.

Berechnung	CPU-Zeit
Ohne Subroutine	$\approx 51$ Minuten
KLuB-VDI2014 v1.0	$\approx 346$ Minuten
KLuB-VDI2014 v2.0	$\approx 81$ Minuten

Im Quellcode wurde eine falsch gesetzte Wurzel in Formel (A7) in Zeile 281 korrigiert. Der Grenzwert der Schwächung ist nun  $\eta_w = m$  und nicht wie zuvor  $\eta_w = \sqrt{1 - (1 - s)(1 - m^2)^2}$ . Die Abweichung lag bei den von der VDI 2014 empfohlenen Werten  $s = m = 0,5$  bei 0,3, die Schwächung wurde also leicht unterschätzt.

# 2 Funktionsweise

Die Anstrengungsgrößen werden mit Hilfe der – von ABAQUS zur Verfügung gestellten – User Subroutine UVARM an jedem Integrationspunkt oder Sectionpoint berechnet. Die berechneten Größen werden über die benutzerdefinierte Ausgabe UVAR in die Output Database (ODB), das Resultfile (FIL) oder die DAT-Datei ausgegeben. Die benötigten Festigkeitsgrößen werden dem speziell aufgebauten Namen des Elastizitätsgesetzes entnommen.

Die Berechnung der Anstrengungen erfolgt nach der VDI-Richtlinie 2014, der das physikalisch begründete Wirkebenen-Kriterium von PUCK zugrunde liegt [Puc96]. Die Anstrengungsanalyse wird für eine unidirektionale Einzelschicht (unidirektionale Schicht) durchgeführt. Das bedeutet, dass Gewebe und andere Halbzeuge nur dann mit dieser Subroutine analysiert werden können, wenn die Gewebeschicht aus einzelnen UD-Schichten aufgebaut wird. Einzelschichten können durch drei- oder zweidimensionalen Solid-Elemente oder Schalenelemente mit geschichtetem Werkstoffgesetz abgebildet werden.

In der vorliegenden Subroutine wurde der allgemeine Fall eines dreidimensionalen Spannungszustands implementiert. Dies macht die iterative Suche der Bruchebene notwendig.

### 3 Eingabegrößen

Als Eingaben dienen die Schichtspannungen und die Festigkeitsgrößen der betreffenden unidirektionalen Schicht. Die Zuordnung der Festigkeitsgrößen zur Schicht erfolgt über deren Namen der die Festigkeitsgrößen enthält. ABAQUS bietet keine eigene Möglichkeit zur Definition der notwendigen Festigkeiten.

#### 3.1 Spannungen

Den Spannungskomponenten sind feste physikalische Bedeutungen zugeordnet. So *muss* die 1-Richtung zwingend der faserparallelen Richtung entsprechen, die 2- bzw. 3-Richtung der fasersenkrechten (VDI-Richtlinie 2014 Bild 2, Seite 12).<sup>2</sup> Die Indizierung muss mit der der VDI-Richtlinie übereinstimmen. Die Spannungen  $\sigma_{ij}$  im Faserkoordinatensystem werden mit Hilfe der Hilfsroutine GETVRM ausgelesen. Eine gesonderte Ausgabe der Spannungen ist daher nicht notwendig.

#### 3.2 Festigkeiten

Zu jedem Materialgesetz, für das die Anstrengungen berechnet werden soll, müssen die Festigkeitswerte über die Benennung des Materialgesetzes – dem `<materialname>` – übergeben werden. Dies hat zur Folge, dass mit einem Materialnamen die zugehörigen Festigkeitskenngrößen fest verbunden sind.

Eine gültiger Materialname ist wie folgt aufgebaut (ohne die Zeichen `<` und `>`):

`<Bezeichner>_<R||t>_<R||c>_<R⊥t>_<R⊥c>_<R⊥||>_<p⊥||t>_<p⊥||c>_<p⊥⊥t>_<p⊥⊥c>_<s>_<m>`

Tabelle 2 gibt Aufschluss über die Bedeutung der Formelzeichen. Jeder Festigkeitsparameter wird durch einen Unterstrich „\_“ abgetrennt. Bezeichner ist ein frei wählbarer Name, der jedoch keinen Unterstrich enthalten darf.

<sup>2</sup>Sollte die Zuordnung der 1-Komponente des Materialgesetzes zur faserparallelen Richtung nicht möglich sein – z.B. bei rotationssymmetrischen Modellen – muss die Subroutine vom Benutzer angepasst werden. Die Spannungszuordnung erfolgt in den Zeilen 106–111 des Quellcodes. Die Belegung der Variablen ARRAY ist dem ABAQUS-Handbuch zu entnehmen.

Die folgenden Eingaberegeln müssen eingehalten werden:

1. Der Materialname darf nicht mehr als 80 Zeichen enthalten.
2. Die Festigkeiten müssen als ganze Zahlen eingegeben werden.
3. Die Steigungsfaktoren  $p$  sowie die Parameter  $s$  und  $m$  sind ohne vorangestellte Null einzugeben, also: 35 statt 0.35
4. Es müssen stets alle 11 Parameter angegeben werden.

**Tabelle 2:** Beschreibung der Festigkeitsparameter

---

Faserparallele Zugfestigkeit $R_{\parallel}^t$
Faserparallele Druckfestigkeit $R_{\parallel}^c$
Fasersenkrechte Zugfestigkeit $R_{\perp}^t$
Fasersenkrechte Druckfestigkeit $R_{\perp}^c$
Schubfestigkeit $R_{\perp\parallel}$ in der Schichtebene
Neigungsparameter $p_{\perp\parallel}^t$
Neigungsparameter $p_{\perp\parallel}^c$
Neigungsparameter $p_{\perp\perp}^t$
Neigungsparameter $p_{\perp\perp}^c$
Parameter $s$ der Schwächung
Parameter $m$ der Schwächung

---

**Achtung:** Alle Bezüge auf das Materialgesetz müssen mit dem vollen oben genannten Namen erfolgen. Nur der Bezeichner reicht nicht aus.

In ABAQUS/CAE darf der Materialname maximal 38 Zeichen besitzen. Erfolgt die Eingabe über die Input-Datei, so können bis zu 80 Zeichen verwendet werden.

### 3.3 Neigungsparameter $p$

Empfehlungen für die Neigungsparameter werden in der VDI-Richtlinie 2014 in Tabelle 2 gemacht. Ist ein Vergleich mit der vereinfachten Berechnung für ebene Spannungszustände nach VDI-Richtlinie Gleichungen (45) bis (47) gewünscht, können die Neigungsparameter  $p_{\perp\perp}$  gekoppelt werden. Die Kopplung ist in den nachfolgenden Gleichungen beschrieben.

$$p_{\perp\perp} = p_{\perp\parallel}^c \frac{R_{\perp\perp}^A}{R_{\perp\parallel}} \quad \text{mit} \quad R_{\perp\perp}^A = \frac{R_{\perp\parallel}}{2p_{\perp\parallel}^c} \left( \sqrt{1 + 2p_{\perp\parallel}^c \frac{R_{\perp\parallel}^c}{R_{\perp\parallel}}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$\leadsto p_{\perp\perp} = \frac{1}{2} \left( \sqrt{1 + 2p_{\perp\parallel}^c \frac{R_{\perp}^c}{R_{\perp\parallel}}} - 1 \right) \quad (2)$$

Weiterführenden Informationen zur Kopplung und der vereinfachten Berechnung für ebene Spannungszustände in der Laminebene finden sich in [Sch05] und [Puc96].

### 3.4 Parameter der Schwächung $m$ und $s$

Für die Parameter der Schwächung empfiehlt die VDI-Richtlinie die Verwendung von  $s = m = 0,5$  – unabhängig vom Werkstoff. Dieser Werte sollten benutzt werden, bis spezifische Werte aus Messungen vorliegen.

## 4 Ausgabegrößen

Es werden insgesamt 9 Ausgabegrößen ausgegeben. Neben der Anstrengung wird auch der Spannungszustand auf der Bruchfläche, die Höhe der Schwächung und der Bruchwinkel ausgegeben. Tabelle 3 gibt über die Zuordnung der benutzerdefinierten Ausgabegrößen UVAR Auskunft.

**Tabelle 3:** Beschreibung der Ausgabevariablen der Subroutine

Variable	Beschreibung	Referenz VDI 2014
UVAR(1)	Normalspannung $\sigma_n$ auf der Bruchebene	Gl. (53)
UVAR(2)	Schubspannung $\tau_{nt}$ auf der Bruchebene	Gl. (53)
UVAR(3)	Schubspannung $\tau_{n1}$ auf der Bruchebene	Gl. (53)
UVAR(4)	Zwischenfaserbruch-Anstrengung $f_{E0}$	Gl. (54–55, A6)
UVAR(5)	Zwischenfaserbruch-Anstrengung $f_{E1}$	Gl. (A6)
UVAR(6)	Faserbruch-Anstrengung $f_{E,FF}$	Gl. (42)
UVAR(7)	Schwächungsfaktor $\eta_w$	Gl. (A9)
UVAR(8)	Bereich der Schwächung	Gl. (A8)
UVAR(9)	Bruchwinkel $\theta_{fp}$ in Grad	Bild 16a

### 4.1 Bereich der Schwächung

Der *Bereich der Schwächung* ist in drei unterschiedliche Bereiche unterteilt. Sie geben an, ob und welchen Einfluss hohe faserparallele Spannungen haben. Tabelle 4 gibt die Zuordnung der Bereiche wieder. Im Bereich 3 tritt der Faserbruch vor

dem Zwischenfasrbruch auf. Die Zwischenfaserbruch-Anstrengung ist in diesem Bereich formal nicht mehr definiert. Daher wird im Bereich 3 der Schwächungsfaktor zu  $\eta_w = 1,0$  gesetzt.

**Tabelle 4:** Zuordnung der Bereiche der Schwächung

Bereich	Bedingung	Beschreibung
1	$\frac{1}{s} < f_{E0}/f_{E,FF}$	primär Zfb, keine Schwächung $\eta_w = 1,0$
2	$\frac{1}{s} \geq f_{E0}/f_{E,FF} \geq m$	primär Zfb, mit Schwächung $\eta_w < 1,0$
3	$f_{E0}/f_{E,FF} < m$	primär Faserbruch $\eta_w = 1,0$

## 4.2 Bruchmodus

Die vorliegende Routine berechnet die Anstrengung für einen dreidimensionalen Spannungszustand. Daher muss die Bruchebene iterativ gesucht werden. Die Unterscheidung in unterschiedliche Bruchmodi hat nur für den Sonderfall des ebenen Spannungszustands in der Laminebene eine Bedeutung. Daher werden in dieser Routine keine Bruchmodi ausgegeben.

## 5 Einbindung in das ABAQUS-Modell

**ABAQUS/CAE Benutzung:** Im Property-Modul in den Materialeigenschaften die nachfolgenden Einstellungen vornehmen. General - User Output Variables Anzahl auf 9 setzen.

Anschließend im Step-Modul die Ausgabe in die Output Database im *Field Output Request Manager* anfordern: Field Output Request - State/Field/User/Time - UVARM

Die Subroutine wird im Job-Modul eingebunden. Mit dem Job-Manager den Job öffnen und die Sunroutine eintragen: General - User Subroutine File - Select...

Die Datei VDI2014\_v2.for auswählen.

**Input Datei Benutzung:** In der Definition des Materialgesetzes die 9 User Output Variablen anfordern.

```
*Material, name=<materialname>
...
*User Output Variables
    9,
```

Die Ausgabe in die Output Database, das Result File oder die Dat-Datei erfolgt mit Hilfe des Keys UVARM – optional unter Angabe der Sectionpoints oder der Integrationspunkte an denen die Berechnung erfolgen soll.

Der Aufruf von ABAQUS/Standard wird um die Subroutine erweitert:

```
abaqus job=... user=<Pfad>\VDI2014_v2.for
```

## 5.1 Fortran Compiler

Die Subroutine wurde auf einem Windows XP System unter Verwendung des Intel Visual Fortran Compilers 8.0 und Microsoft Visual Studio 2005 entwickelt. Die Übertragbarkeit auf andere Betriebssysteme oder Compiler wurde nicht getestet.

## 5.2 Verwendung unter Unix

Da die Subroutine Version 2.0 ohne externe Datei verwendet werden kann, ist für die Verwendung unter UNIX keine Modifikation notwendig.

## Literatur

- [Puc96] PUCK, Alfred: *Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten – Modelle für die Praxis*. München Wien : Carl Hanser Verlag, 1996. – Buch ist vergriffen, jedoch elektronisch verfügbar unter <http://www.klub.tu-darmstadt.de/forschung/download.php>
- [Sch05] SCHÜRMANN, Helmut: *Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden*. Berlin Heidelberg New York : Springer Verlag, 2005. – auch in der 2., bearb. und erw. Aufl. (2007) verfügbar



## 6 Quellcode

```

1 C=====
2 C
3 C | / / |      | _ \ \ \ / / _ _ \ _ _ \ / _ \ | | |
4 C | ' / | |   _ _ | ) | _ \ \ / / | | | |   ) | | | | | |
5 C | < | | | | | | _ < _ \ \ / / | | | | | | / / | | | | _ _
6 C | . \ | | _ | | | ) |    \ / | | _ | | / / | | | | | |
7 C | _ \ \ _ _ _ \ , _ _ _ /    \ | _ _ _ / _ _ _ \ _ _ / | | |
8 C
9 C                                             Version 2
10 C
11 C KLuB-VDI2014 ist eine Fortran-Subroutine für den Finite-Elemente
12 C Gleichungslöser ABAQUS/Standard zur Berechnung der Faser- und
13 C Zwischenfaserbruch-Anstrengung nach der VDI-Richtlinie 2014,
14 C Teil 3.
15 C
16 C Versionshinweis:
17 C
18 C Version 2.0 arbeitet ohne extreme Datei der Festigkeiten. Die
19 C Festigkeiten werden über den Materialnamen übergeben, siehe
20 C Zeile 112. Dadurch ist, gegenüber der Version 1.0 ein erheblicher
21 C Geschwindigkeitsvorteil möglich. Die Berechnung des Anstrengung
22 C an sich ist nicht verändert.
23 C
24 C                                     Copyright (C) 2007 Tobias Kremer
25 C
26 C This program is free software; you can redistribute it and/or
27 C modify it under the terms of the GNU General Public License as
28 C published by the Free Software Foundation; either version 2 of
29 C the License, or (at your option) any later version.
30 C
31 C This program is distributed in the hope that it will be useful,
32 C but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
33 C MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU
34 C General Public License for more details.
35 C
36 C You should have received a copy of the GNU General Public
37 C License along with this program; if not, write to the Free
38 C Software Foundation, Inc., 51 Franklin St, Fifth Floor, Boston,
39 C MA 02110, USA
40 C
41 C      !!!          KLuB-VDI2014 comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY          !!!
42 C
43 C TU Darmstadt
44 C Fachgebiet Konstruktiver Leichtbau und Bauweisen
45 C T. Kremer
46 C Petersenstraße 30
47 C 64289 Darmstadt

```

```

48 C      KLuBVDI2014@klub.tu-darmstadt.de
49 C
50 C
51 C      Hinweise:
52 C
53 C      Formel- und Tabellen-Referenzen beziehen sich auf die gedruckte
54 C      Fassung der VDI-Richtlinie, Teil 3 vom September 2006.
55 C
56 C      ABAQUS ist ein eingetragener Markenname
57 C
58 C
59 C=====
60
61      SUBROUTINE UVARM(UVAR,DIRECT,T,TIME,DTIME,CMNAME,ORNAME,
62      & NUVARM,NOEL,NPT,LAYER,KSPT,KSTEP,KINC,NDI,NSHR,COORD,
63      & JMAC,JMATYP,MATLAYO,LACCFLA)
64
65      INCLUDE 'ABA_PARAM.INC'
66
67 C      Definitionen ABAQUS
68      CHARACTER*80 CMNAME,ORNAME
69      CHARACTER*3 FLGRAY(15)
70      DIMENSION UVAR(NUVARM),DIRECT(3,3),T(3,3),TIME(2)
71      DIMENSION ARRAY(15),JARRAY(15),JMAC(*),JMATYP(*),COORD(*)
72 C      The dimensions of the variables FLGRAY, ARRAY and JARRAY
73 C      must be set equal to or greater than 15.
74
75 C      Eigene Definitionen
76      REAL pi
77      REAL Trans, Sxy, Trans_Be, S_Be, S_Be_max
78      REAL f_E, f_E0, f_E1, f_E_Fb, f_E_Zfb
79      REAL t_Be, t_Be_max, t, psi, S_ext, theta
80      REAL fak_t, fak_c
81      REAL ss, mm, aa, cc
82      REAL S_11, S_22, S_33, S_12, S_13, S_23
83      REAL S_n, S_n1, S_nt
84
85      INTEGER Marke(11)
86
87      LOGICAL vorhanden
88
89      REAL R_p_t, R_p_c, R_s_t, R_s_c, R_sp, R_ss_A
90      REAL p_sp_t, p_sp_c, p_ss_c, p_ss_t
91
92      CHARACTER*80 Text
93
94
95      DIMENSION Sxy(3,1), Trans_Be(3,5)
96      DIMENSION S_Be(3,1), S_ext(5,1), S_Be_max(3,1)

```

```

97
98     pi=3.14159265
99
100
101 C=====
102 C Spannungen im Faser-Koordinatensystem auslesen
103 C=====
104     CALL GETVRM('S',ARRAY,JARRAY,FLGRAY,JRCD,JMAC,JMATYP,MATLAYO,
105     & LACCFLA)
106     S_11=ARRAY(1)
107     S_22=ARRAY(2)
108     S_33=ARRAY(3)
109     S_12=ARRAY(4)
110     S_13=ARRAY(5)
111     S_23=ARRAY(6)
112
113 C=====
114 C Festigkeitswerte auslesen
115 C=====
116 C     Die Grundfestigkeiten sowie die Parameter für die Anstrengungs-
117 C     berechnung nach VDI2014 werden aus dem Namen des Werkstoffs aus-
118 C     gelesen. Die einzelnen Werte werden mit dem Unterstrich "_"
119 C     getrennt.
120 C     Die Steigungsfaktoren p sowie die Schwächungsparameter s und m
121 C     werden ohne vorangestelltes "0." angegeben.
122 C     Der Materialname darf maximal 80 Zeichen lang sein.
123 C
124 C     Beispiel:
125 C     GFK-Laminat_1100_1000_54_150_75_3_3_25_25_5_5
126
127     jj = 1
128     DO ii=1,len(CMNAME)
129         IF (CMNAME(ii:ii).eq.'_') THEN
130             Marke(jj) = ii
131             jj = jj + 1
132         END IF
133     END DO
134
135     IF (jj.ne.12) THEN
136         PRINT *, '## KLuB-VDI2014: Festigkeitswerte konnten nicht'
137         PRINT *, '##                               ausgelesen werden.'
138         PRINT *, '##                               image: ',CMNAME
139
140 C     Programm beenden!
141     GOTO 999
142 END IF
143
144 READ(CMNAME((Marke(1)+1):(Marke(2)-1)),*) R_p_t
145 READ(CMNAME((Marke(2)+1):(Marke(3)-1)),*) R_p_c

```

```

146
147 READ(CMNAME((Marke(3)+1):(Marke(4)-1)),*) R_s_t
148 READ(CMNAME((Marke(4)+1):(Marke(5)-1)),*) R_s_c
149
150 READ(CMNAME((Marke(5)+1):(Marke(6)-1)),*) R_sp
151
152 Text = '0.'//CMNAME((Marke(6)+1):(Marke(7)-1))
153 READ(Text,*) p_sp_t
154 Text = '0.'//CMNAME((Marke(7)+1):(Marke(8)-1))
155 READ(Text,*) p_sp_c
156
157 Text = '0.'//CMNAME((Marke(8)+1):(Marke(9)-1))
158 READ(Text,*) p_ss_t
159 Text = '0.'//CMNAME((Marke(9)+1):(Marke(10)-1))
160 READ(Text,*) p_ss_c
161
162 Text = '0.'//CMNAME((Marke(10)+1):(Marke(11)-1))
163 READ(Text,*) mm
164 Text = '0.'//CMNAME((Marke(11)+1):(len(CMNAME)-1))
165 READ(Text,*) ss
166
167 C Prüfen, ob die Steigungsparameter gültig sind.
168 IF ((p_sp_t.gt.1).or.(p_sp_c.gt.1).or.
169 & (p_ss_t.gt.1).or.(p_ss_c.gt.1)) THEN
170
171 PRINT *, '## KLuB-VDI2014: Steigungsparameter p ungültig!'
172 PRINT *, '## image: ',p_sp_t,p_sp_c,p_ss_t,p_ss_c
173
174 END IF
175
176 C Prüfen, ob die Schwächungsparameter gültig sind.
177 IF ((ss.gt.1).or.(ss.lt.0).or.
178 & (mm.gt.1).or.(mm.lt.0)) THEN
179
180 PRINT *, '## KLuB-VDI2014: Schwächungsparameter s, m ungültig!'
181 PRINT *, '## image: ',ss,mm
182
183 END IF
184
185 C=====
186 C Berechnung der Faserbruchanstrengung
187 C=====
188 C Abschnitt 4.5.2
189 C Formel (42)
190 IF (S_11.ge.0) THEN
191 f_E_Fb = S_11/R_p_t
192 ELSE
193 f_E_Fb = -S_11/R_p_c
194 END IF

```

```

195
196 C=====
197 C Berechnung der Spannungen in der Bruchebene (Be)
198 C=====
199 C Transformation der Spannungen auf die Bruchebene (Be)
200 C t_Be ist der Winkel der Ebene. Der Winkel wird von -90° nach +90°
201 C variiert.
202
203     f_E0 = 0.0
204
205     DO t_Be=-90,90,1
206
207         theta = t_Be*pi/180
208
209 C     Transformationsmatrix für die Spannungen auf die Bruchebene
210 C     Abschnitt 4.5.2
211 C     Formel (53)
212     Trans_Be(1,1:5)=(/ (cos(theta))**2, (sin(theta))**2,
213 &                      2*cos(theta)*sin(theta), 0., 0./)
214     Trans_Be(2,1:5)=(/ -sin(theta)*cos(theta),
215 &     sin(theta)*cos(theta),(cos(theta))**2-(sin(theta))**2,0.,0./)
216     Trans_Be(3,1:5)=(/ 0., 0., 0., sin(theta), cos(theta)/)
217
218 C     S_ext enthält die globalen, am UD-Element angreifenden
219 C     Spannungen. Die Spannungen entsprechen den von ABAQUS im
220 C     Faser-Koordinatensystem berechneten.
221     S_ext(1,1)=S_22; S_ext(2,1)=S_33; S_ext(3,1)=S_23
222     S_ext(4,1)=S_13; S_ext(5,1)=S_12
223
224 C     Spannungen auf der Bruchebene (Index: n, nt, n1)
225 C     Abschnitt 4.5.2
226 C     Formel (53)
227     S_Be = Matmul(Trans_Be,S_ext)
228     S_n    = S_Be(1,1)
229     S_nt   = S_Be(2,1)
230     S_n1   = S_Be(3,1)
231
232 C     Winkel psi der resultierenden Schichtspannung auf der Bruch-
233 C     ebene berechnen.
234 C     Abschnitt 4.5.2
235 C     Formel (57)
236 C     Arcustangens ist für unendlich große Werte nicht definiert,
237 C     daher den Grenzwert abfragen.
238     IF (ABS(S_nt).gt.1E-6) THEN
239         psi = atan(S_n1/S_nt)
240     ELSE
241         psi = pi/2
242     END IF
243

```

```

244 C -----
245 C Berechnung der Zwischenfaserbruch-Anstrengung f_E_Zfb auf
246 C einer möglichen Bruchebene
247 C -----
248 C Bruchwiderstand der Wirkebene
249 C Abschnitt 4.5.2
250 C Formel (58)
251  $R_{ss\_A} = R_{s\_c} / (2 * (1 + p_{ss\_c}))$ 
252
253 C fak_plus bzw. fak_minus enthalten die Terme aus Formel (56a/b)
254 C Die Abkürzungen wurden aus Übersichtsgründen eingeführt.
255  $fak\_t = (p_{ss\_t} / R_{ss\_A}) * (\cos(\psi))^2 + (p_{sp\_t} / R_{sp}) * (\sin(\psi))^2$ 
256 &
257  $fak\_c = (p_{ss\_c} / R_{ss\_A}) * (\cos(\psi))^2 + (p_{sp\_c} / R_{sp}) * (\sin(\psi))^2$ 
258 &
259
260 C Fallunterscheidung nach Querdruck und -zug
261 C Querzug: Formel (54)
262 C Querdruck: Formel (55)
263 IF (S_n.ge.0) THEN
264  $f\_E\_Zfb = \sqrt{((1/R_{s\_t}) - fak\_t) * S_n^2 +$ 
265 &  $(S_{nt}/R_{ss\_A})^2 + (S_{n1}/R_{sp})^2) + fak\_t * S_n}$ 
266 ELSE
267  $f\_E\_Zfb = \sqrt{(S_{nt}/R_{ss\_A})^2 + (S_{n1}/R_{sp})^2 +$ 
268 &  $(fak\_c * S_n)^2) + fak\_c * S_n}$ 
269 END IF
270
271 C Auf einer möglichen Bruchebene t_Be tritt dann ein Bruch auf,
272 C wenn die Zwischenfaserbruch-Anstrengung f_E_Zfb auf ihr
273 C maximal wird. Daher das Maximum von f_E_Zfb und die zugehörige
274 C Bruchebene "Winkel" merken.
275 C S_Be_max ist der Spannungszustand auf der Bruchebene bei Bruch
276 IF (f_E_Zfb.gt.f_E0) THEN
277  $f\_E0 = f\_E\_Zfb$ 
278  $S\_Be\_max = S\_Be$ 
279  $t\_Be\_max = t\_Be$ 
280 END IF
281
282 END DO
283
284 C=====
285 C Schwächungsfaktor eta_w aufgrund faserparalleler Spannungen
286 C=====
287 C Abminderung der Festigkeiten bei hohen faserparallelen Spannungen
288 C nach Anhang A 1.2
289 C f_E0 ist die Zwischenfaserbruch-Anstrengung ohne Einfluss der
290 C Schwächung, f_E1 mit Einfluss.
291
292 C Achsenabschnitt a der Schwächungs-Ellipse

```

```

293 C      Abschnitt A 1.2
294 C      Formel (A7)
295      aa = (1-ss)/sqrt(1-mm**2)
296
297 C      Quotient c der Zwischenfaserbruch und Faserbruch-Anstrengung
298 C      Abschnitt A 1.2
299 C      Formel (A7)
300      IF (f_E_Fb.gt.1E-6) THEN
301          cc = f_E0/f_E_Fb
302      ELSE
303          cc = 1E6
304      END IF
305
306 C      Prüfen, ob der Anstrengungszustand in dem Bereich liegt, in dem
307 C      die Schwächung auftritt. Dieser Bereich wird durch Formel (A8)
308 C      beschrieben.
309 C
310 C      Im vorliegenden Programm werden die folgenden Bereiche
311 C      unterschieden und ausgegeben.
312 C      Bereich 1: keine Schwächung, Zfb, eta_w=1.00
313 C      Bereich 2: Abminderung, Zfb
314 C      Bereich 3: keine Abminderung, es tritt Fb ein.
315 C      eta_w wird formal auf eta_w=1.00 gesetzt.
316      IF (cc.le.(1/ss) .AND. cc.ge.mm) THEN
317          eta_w = (cc*(aa*(cc**2*(aa**2-ss**2)+1)**0.5
318      &          + ss))/((cc*aa)**2 + 1)
319          Bereich = 2
320      ELSE
321          eta_w = 1.00
322          Bereich = 1
323          IF (cc.le.mm) THEN
324              eta_w = 1.00
325              Bereich = 3
326          END IF
327      END IF
328
329 C      -----
330 C      Berechnung der Anstrengung f_E1 unter Einfluss der Schwächung
331 C      -----
332 C      Abschnitt A 1.2
333 C      Formel (A6)
334      f_E1 = f_E0/eta_w
335
336 C=====
337 C Ausgabegrößen aufbereiten
338 C=====
339 C      Winkel der Bruchebene
340      Winkel = t_Be_max
341 C      Spannungen auf der Bruchebene

```

```

342      S_n  = S_Be_max(1,1)
343      S_nt = S_Be_max(2,1)
344      S_n1 = S_Be_max(3,1)
345
346      UVAR(1) = S_n
347      UVAR(2) = S_nt
348      UVAR(3) = S_n1
349
350      UVAR(4) = f_E0
351      UVAR(5) = f_E1
352      UVAR(6) = f_E_Fb
353
354      UVAR(7) = eta_w
355      UVAR(8) = Bereich
356      UVAR(9) = Winkel
357
358
359 999  RETURN
360      END

```

## 7 Beispiel einer Festigkeits-Datei

Entfällt in Version 2.0.



# The GNU General Public License

Version 2, June 1991

Copyright © 1989, 1991 Free Software Foundation, Inc.

51 Franklin St, Fifth Floor, Boston, MA 02110-1301, 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