

## Gesucht: Weg der Materialmodellierung in ANSYS Classic zur Wiedergabe einer fehlerfreien ABD-Matrix

Gegeben ist die reduzierte Steifigkeitsmatrix einer Einzelschicht. Sie entspricht einem 0°/90°-Kreuzverbund mit  $k=0,5$ .

$$Q_{\text{glo}} := \begin{pmatrix} 57.72 & 1.474 & 0 \\ 1.474 & 57.72 & 0 \\ 0 & 0 & 1.59 \end{pmatrix} \text{ GPa}$$

"Major PR"

"Minor PR"

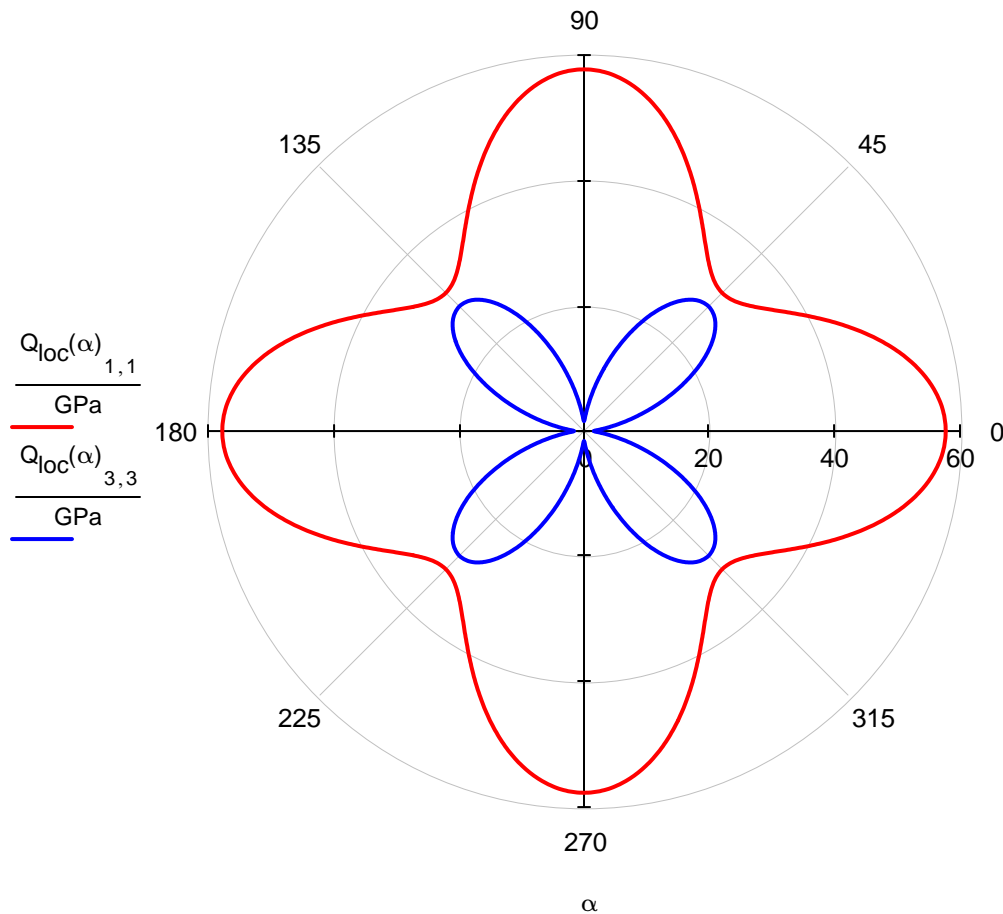
Weiterhin sollen die Querkontraktionszahlen im globalen System bekannt sein:

$$\nu_{12} := 0.315$$

$$\nu_{21} := 0.012$$

Wird sie in Abhängigkeit der Transformationsmatrix geschrieben, können Ihre Komponenten in ihrer Richtungsabhängigkeit dargestellt werden:

$$T_{\varepsilon}(\alpha) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha)^2 & \sin(\alpha)^2 & \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) \\ \sin(\alpha)^2 & \cos(\alpha)^2 & -\sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) \\ -2\sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) & 2\sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha) & \cos(\alpha)^2 - \sin(\alpha)^2 \end{pmatrix} \quad Q_{\text{loc}}(\alpha) := T_{\varepsilon}(\alpha)^T \cdot Q_{\text{glo}} \cdot T_{\varepsilon}(\alpha)$$



Es soll nun an einem Beispiellaminat die ABD-Matrix berechnet und mit der Ausgabe in ANSYS verglichen werden:

Laminataufbau: **1. Lage: 00°, 0.3 mm**  
**2. Lage: 45°, 0.3 mm**  
**3. Lage: 00°, 0.3 mm**

Wie zu sehen, ist der Laminataufbau symmetrisch und balanciert, da die Einzelschichten für sich bereits als symmetrisch und balanciert erstellt wurden.  
 $d := 0.3\text{mm}$

Zunächst wird die Steifigkeitsmatrix der um 45° gedrehten Einzelschicht für das globale System durch Einsetzen in die Transformationsbeziehung errechnet:

$$Q_{45} := Q_{\text{loc}}(45^\circ) = \begin{pmatrix} 31.187 & 28.007 & 0 \\ 28.007 & 31.187 & 0 \\ 0 & 0 & 28.123 \end{pmatrix} \text{ GPa}$$

Die A-Matrix ist unabhängig von der Laminatmittelebene:

$$A := Q_{\text{glo}} \cdot d + Q_{45} \cdot d + Q_{\text{glo}} \cdot d$$

$$A = \begin{pmatrix} 43988.1 & 9286.5 & 0 \\ 9286.5 & 43988.1 & 0 \\ 0 & 0 & 9390.9 \end{pmatrix} \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Die B-Matrix ist linear abhängig vom Abstand der Einzelschicht zur Laminatmittelebene:

$$z_m := 0.45\text{mm} \quad d_{m1} := 0.3\text{mm} \quad d_{m2} := 0\text{mm} \quad d_{m3} := -d_{m1}$$

$$B := Q_{\text{glo}} \cdot d \cdot d_{m1} + Q_{45} \cdot d \cdot d_{m2} + Q_{\text{glo}} \cdot d \cdot d_{m3}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{N}$$

Die D-Matrix ist quadratisch vom Abstand zur Laminebene abhängig:

$$D := Q_{\text{glo}} \cdot d \cdot \left( \frac{d^2}{12} + d_{m1}^2 \right) + Q_{45} \cdot d \cdot \left( \frac{d^2}{12} + d_{m2}^2 \right) + Q_{\text{glo}} \cdot d \cdot \left( \frac{d^2}{12} + d_{m3}^2 \right)$$

$$D = \begin{pmatrix} 3446.791 & 149.245 & 0 \\ 149.245 & 3446.791 & 0 \\ 0 & 0 & 156.292 \end{pmatrix} \text{N}\cdot\text{mm}$$

### Berechnung der Materialkonstanten zur Eingabe in ANSYS:

Der Laminataufbau in ANSYS soll über die SECDATA-Befehle erfolgen, wobei jede der 3 Lagen durch die folgenden Materialkonstanten modelliert wird:

EX=EY  $E_{1.\text{glo}} := Q_{\text{glo}_{1,1}} \cdot (1 - \nu_{12} \cdot \nu_{21}) = 57501.818 \text{ MPa}$

PRXY  $\nu_{12.\text{glo}} := \nu_{12} = 0.315$

GXY=Gxz  $G_{12.\text{glo}} := Q_{\text{glo}_{3,3}} = 1590 \text{ MPa}$

Die restlichen Konstanten dürften bei Schalenelementen keine Rolle spielen.

Wird nach folgendem Skript die ABD-Matrix abgefragt, so ist ein Unterschied, sowohl in der A, wie auch in der D Matrix zu erkennen:

```

!batch
!fini
!clear

d=0.3      ! mm

!prep7
!et,1,shell281

mp,ex,1,57501.818  ! MPa
mp,ey,1,57501.818
mp,prxy,1,0.315
mp,gxy,1,1590     ! MPa
mp,gxz,1,1590

!sectype,1,shell
!secoffset,mid
!secdata,d,1,0
!secdata,d,1,45
!secdata,d,1,0

!rectng,0,100,0,100  ! mm

!mshkey,1          ! mapped
!mshape,0,2D      ! quads
!amesh,all

!slist,all,,full   ! Ausgabe der ABD-Matrix

!fini
!eof
    
```

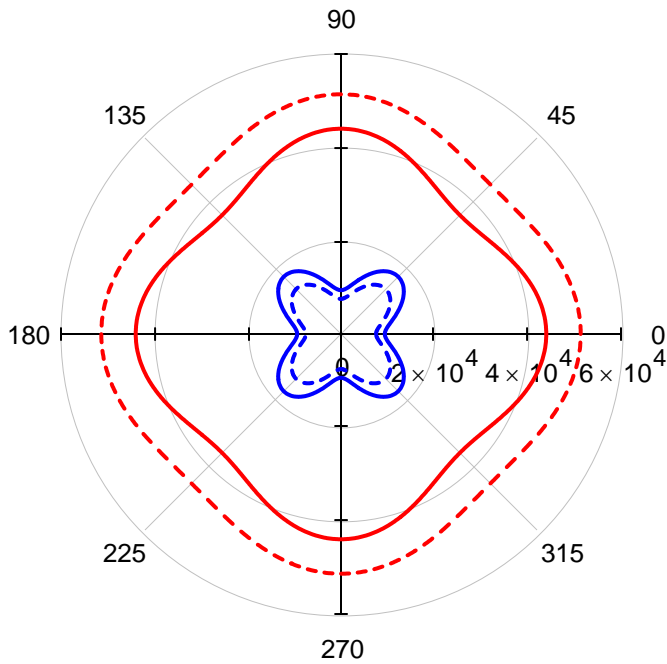
$$A_{\text{Ansys}} := \begin{pmatrix} 51370.2 & 24179.6 & 0 \\ 24179.6 & 51370.2 & 0 \\ 0 & 0 & 7513.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Dieser Unterschied kann wiederum für jede Submatrix graphisch veranschaulicht werden. Dazu müssen sie jeweils wiederum in Abhängigkeit der Richtung gebracht werden.

$$A_{\text{Ansys}} := \begin{pmatrix} 51370.2 & 24179.6 & 0 \\ 24179.6 & 51370.2 & 0 \\ 0 & 0 & 7513.14 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

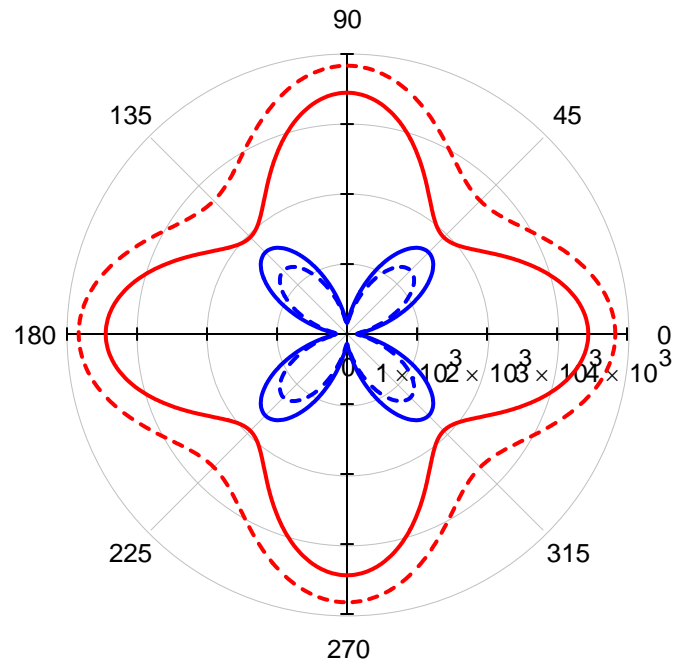
$$D_{\text{Ansys}} := \begin{pmatrix} 3832.42 & 1267.2 & 0 \\ 1267.2 & 3832.42 & 0 \\ 0 & 0 & 142.209 \end{pmatrix} \cdot \text{N}\cdot\text{mm}$$

Vergleich der Membransteifigkeiten [N/mm]



- A11\_CLT
- - - A11\_ANSYS
- A33\_CLT
- - - A33\_ANSYS

Vergleich der Biegesteifigkeiten [N\*mm]



- D11\_CLT
- - - D11\_ANSYS
- D33\_CLT
- - - D33\_ANSYS

**Fazit:**

Das von ANSYS verstandene Materialmodell ist in den Moduln der Normalrichtungen zu steif und in den Schubrichtungen zu weich.

Wer kann weiterhelfen?

Ich weiß, dass anisotrope Materialien weiterhin über den TB,ANEL-Befehl definiert werden können. Das habe ich zwar schon mal versucht, auch wenn ich mir bei der Eingabe noch etwas unsicher war. Dass dann die ABD-Matrizen übereinstimmen habe ich jedoch nicht hinbekommen.