5 Berechnungen von Maschinenelementen

5.1 Gewichtsberechnung nach finiten Elementen

Durch die Einführung einer weiteren Spalte *Dichte* kann auch das Gewicht eines Maschinenelementes berechnet werden. Das ist besonders hilfreich, wenn unterschiedliche Materialien zum Einsatz kommen.

Tabelle 5-1 Struktogramm zur Gewichtsberechnung

Auswahl R(echteck), D(reieck), Z(ylinder) oder S(umme)			
R(echteck)	D(reieck)	Z(ylinder)	S(umme)
Eingabe a, b, c, s	Eingabe a, b, c, d, s	Eingabe a, b, s	
$V = a \cdot b \cdot c$	$s = \frac{a+b+c}{2}$ $V = d\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$	$V = \frac{\pi}{4} a^2 b$	
$V_G = V \cdot s$			
$m = V_G \cdot \rho$			
Ausgabe V_G			

Durch Umsetzung der Spalte C (Anzahl) in die Spalte A lässt sich in Spalte C die Dichte unterbringen. Die Tabelle bekommt damit das Aussehen wie in Bild 5-1 dargestellt.

Bild 5-1 Neue Tabellenform

	Volumenberechnung						
Anzahl +/-	Form	Dichte [kg/cdm]	Maß a [mm]	Maß b [mm]	Maß c [mm]	Maß d [mm]	Masse [kg]

Codeliste 5.1 Formblattänderungen im Tabellenblatt tblVolumen

```
Sub Volumenformblatt_Neu()
   Dim i, x, y As Integer
   Dim Zl, Sp As String
   Worksheets("Volumen").Activate
   Worksheets("Volumen").Cells.Clear
   Range("B2:G2").MergeCells = True
```

```
    Range("B2:G2") = "Volumenberechnung"
    Range("A3") = "Anzahl" + vbLf + "+/-"
    Range("B3") = "Form"
    Range("C3") = "Dichte" + vbLf + "[kg/dm" + ChrW(179) + "]"
    Range("D3") = "Maß a" + vbLf + "[mm]"
    Range("E3") = "Maß b" + vbLf + "[mm]"
    Range("F3") = "Maß c" + vbLf + "[mm]"
    Range("G3") = "Maß d" + vbLf + "[mm]"
    Range("H3") = "Volumen" + vbLf + "[dm" + ChrW(179) + "]"
    Call Volumen_Kommentar_Ein
End Sub
```

Stellvertretend für alle Formulare soll hier die Änderung im Formular frmDreieck gezeigt werden.

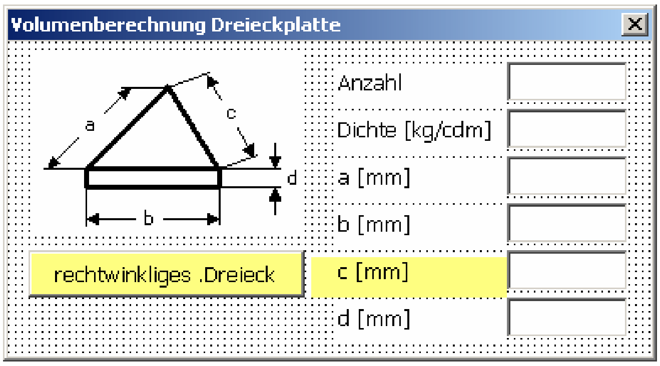

Bild 5-3 Formular zur Berechnung einer Dreieckplatte

Codeliste 5.2 Formularänderungen im Formular frmDreieck

```
Sub Dreieckplatte()
    Dim Stk, Zeile As Integer
    Dim a, b, c, d, E, F, r, g, m As Double
    Zeile = ActiveCell.Row
    Zl$ = Right("00" + LTrim(Str(Zeile)), 2)
    Stk = Val(TextBox1)
    r = Val(TextBox2)
    a = Val(TextBox3)
    b = Val(TextBox4)
    c = Val(TextBox5)
    d = Val(TextBox6)
    E = (a + b + c) / 2
    F = E * (E - a) * (E - b) * (E - c)
    g = Sqr(F)
    m = r * Stk * g / 1000000
    Range("A" + Zl$).Value = Stk
```

```
    Range("C" + Zl$).Value = r
    Range("D" + Zl$).Value = a
    Range("E" + Zl$).Value = b
    Range("F" + Zl$).Value = c
    Range("G" + Zl$).Value = d
    Range("H" + Zl$).Value = Round(m, 3)
    Zl$ = Right("00" + LTrim(Str(Zeile + 1)), 2)
    Range("B" + Zl$).Activate
End Sub

Private Sub UserForm_Activate()
    Zeile = ActiveCell.Row
    Zl$ = Right("00" + LTrim(Str(Zeile)), 2)
    TextBox1 = Range("A" + Zl$).Value
    TextBox2 = Range("C" + Zl$).Value
    TextBox3 = Range("D" + Zl$).Value
    TextBox4 = Range("E" + Zl$).Value
    TextBox5 = Range("F" + Zl$).Value
    TextBox6 = Range("G" + Zl$).Value
End Sub
```

5.2 Abgesetzte Wellen

Bei abgesetzten Wellen kann es an Stellen mit Durchmesseränderung (allgemein als Kerben bezeichnet) zu örtlich hohen Spannungsspitzen kommen. Diesen Sachverhalt muss man durch Festigkeitsnachweise berücksichtigen. Hat man eine Normal- oder Vergleichsspannung ermittelt, wir wollen sie mit σ_n bezeichnen, so setzt man

$$\sigma_{\max} = \sigma_n \cdot \alpha_k \,. \tag{5.1}$$

Die darin enthaltene Formzahl (α_k >= 1) wird durch Rechnung und Versuch gewonnen. Die Formzahl berücksichtigt die Kerbform. Bei dynamischer Belastung müssen weitere Parameter berücksichtigt werden, wie z. B. die Kerbempfindlichkeit. Ebenso die Oberflächenbeschaffenheit des Bauteils. Nach Thum folgt mit der Kerbempfindlichkeit

$$\sigma_{\max} = (1 + (\alpha_k - 1)\eta_k)\sigma_n \,. \tag{5.2}$$

Der so gewonnene Faktor wird abgekürzt als Kerbwirkungszahl $ß_k$ bezeichnet und man erhält

$$\sigma_{\max} = \beta_k \cdot \sigma_n \,. \tag{5.3}$$

Für unsere Betrachtung gehen wir von einer Normalspannung aus, die sich aus

$$\sigma_{bx} = \frac{M_{bx}}{W_x} \tag{5.4}$$

an jeder Stelle x bestimmt. Das Biegemoment ist in der Formel bereits vorhanden, so dass nur noch das Widerstandsmoment bestimmt werden muss. Nun kann es sich um eine Voll- oder

Hohlwelle handeln. Die Vollwelle ist dabei ein Sonderfall der Hohlwelle, wenn der innere Radius auf Null gesetzt wird

$$W_x = \frac{\pi}{4 \cdot R_x} \cdot \left(R_x{}^4 - r_x{}^4\right). \tag{5.5}$$

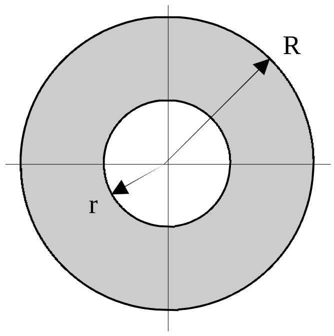

Bild 5-4 Querschnitt einer Hohlwelle

Ergänzt man zu jedem Wellenstück die Radien und in der einfachsten Form die Kerbwirkungszahl $ß_k$, so ergibt sich eine Ergänzung in der Berechnungsschleife für jedes x wie in Tabelle 5.2 dargestellt.

Tabelle 5-2 Ergänzung der Berechnungsschleife

	$W_x = \frac{\pi}{4 \cdot R_x} \cdot \left(R_x{}^4 - r_x{}^4\right)$	
	Ist x an der Stelle eines Übergangs	
	Ja	Nein
	$\sigma_{bx} = \beta_k \cdot \frac{M_{bx}}{W_x}$	$\sigma_{bx} = \frac{M_{bx}}{W_x}$

Codeliste 5.3 Ergänzung der Auswertung im Tabellenblatt tblDurchbiegung

```
'Widerstandsmoment an der Stelle x
   Wx = Atn(1) / r1 * (r1 ^ 4 - r2 ^ 4)
'Biegespannung an der Stelle x
   If x = l And bk > 0 Then
      Sx = bk * Mx / Wx
   Else
      Sx = Mx / Wx
   End If
```

Natürlich müssen Formular und Eingaben entsprechend angepasst werden.

5.3 Wellen mit kombinierter Biege- und Torsionsbelastung

Neben der Biegebelastung unterliegen Wellen oft einer gleichzeitigen Torsionsbelastung. Mit einem Torsionsmoment Mt ergibt sich eine Schubspannung zu

$$\tau = \frac{M_t}{I_t} \cdot r \,. \tag{5.6}$$

Das darin enthaltene Flächenmoment beträgt für Vollquerschnitte

$$I_t = I_p = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 \,. \tag{5.7}$$

Für Hohlquerschnitte mit dem Außenradius r_a und dem Innenradius r_i folgt

$$I_t = I_p = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \left(r_a^4 - r_i^4 \right) . \tag{5.8}$$

Auch hier ist die Vollwelle wieder ein Sonderfall der Hohlwelle. Bei gleichzeitiger Belastung ermittelt man eine Vergleichspannung

$$\sigma_V = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_t)^2} \le \sigma_{zul} \,. \tag{5.9}$$

Diese Vergleichsspannung darf einen zulässigen Höchstwert nicht überschreiten.

Man setzt üblicherweise:
α_0 = 1,0 wenn σ und τ wechselnd.
α_0 = 0,7 wenn σ wechselnd und τ ruhend oder schwellend.

Bei Wellen mit konstantem Durchmesser verdrehen sich die Enden infolge der Torsion um den Verdrehwinkel

$$\varphi = \frac{M_t}{G \cdot I_p} \,. \tag{5.10}$$

Darin ist G der Schubmodul, eine Materialkonstante. Für Stahl hat sie den Wert 80000 N/mm².

Tabelle 5-3 Weitere Ergänzung der Berechnungsschleife

	$I_{tx} = \frac{\pi}{2} \cdot \left(R_x{}^4 - r_x{}^4 \right)$
	$\tau = \frac{M_t}{I_{tx}} \cdot R_x$
	$\sigma_V = \sqrt{\sigma_{bx}^2 + 3 \cdot (\alpha_0 \cdot \tau_{tx})^2}$

Auch hier müssen die ergänzenden Eingabewerte in das Eingabeformular integriert werden.