

Einführung in Matlab

Einheit 4

Jochen Schulz

Georg-August Universität Göttingen 

3. September 2009

1 Visualisieren von 3D-Daten

2 Datenstrukturen

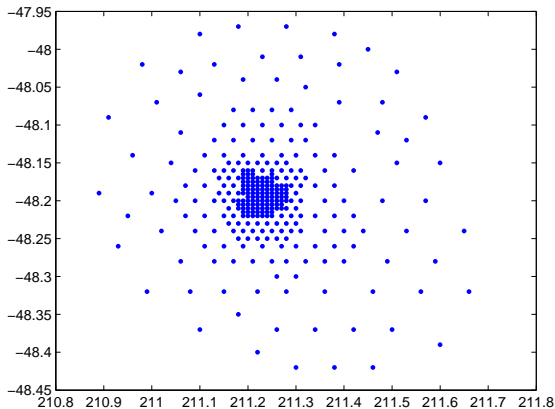
3 In- und Output

4 Fehler

- Daten liegen häufig in Form von Vektoren (x, y, z) vor. Man möchte eine Funktion F mit $z(i) = F(x(i), y(i))$ plotten.
- Befehle `surf` und `mesh` funktionieren nur wenn die Einträge in x und y monoton sind und die Daten auf einem kartesischen Gitter vorliegen.
- Ausweg: Interpolieren der Daten auf ein entsprechendes Gitter.

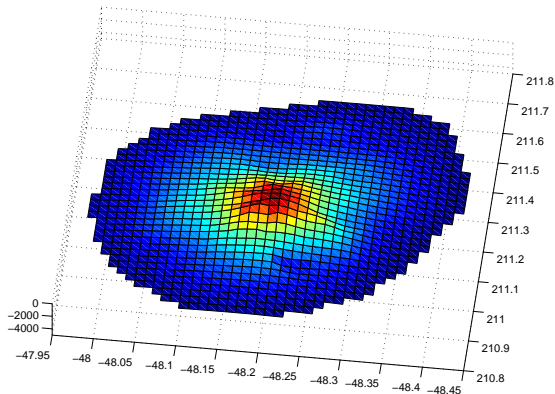
Beispiel

```
>> load seamount  
>> plot(x,y, '.', 'markersize',10)  
>> figure, plot3(x,y,z, '.')
```



Beispiel

```
>> xi = linspace(min(x),max(x),40);  
>> yi = linspace(min(y),max(y),40);  
>> [XI,YI] = meshgrid(xi,yi);  
>> ZI = griddata(x,y,z,XI,YI,'cubic');  
>> surf(XI,YI,ZI)
```



```
ZI = griddata(x,y,z,XI,YI,methode);
```

- Vektoren x, y, z enthalten Werte $(x(i), y(i), z(i))$.
- `griddata` interpoliert auf die Stellen $(Xl(i,j), Yl(i,j))$ mit Matrizen Xl, Yl .
Ergebnis $Zl(i,j)$.
- Die Art des Interpolierens ist entweder '**nearest**', '**linear**' oder '**cubic**'.
Entsprechend wird entweder stückweise konstant, linear oder durch bi-kubische Splines interpoliert.
- Es wird nur innerhalb der konvexen Hülle der Punkte $(x(i), y(i))$ interpoliert.
Ansonsten Funktionswert *NaN*.

- Der Interpolation liegt eine Delaunay Triangulation zugrunde. Die Werte $(x(i), y(i))$ sind Eckpunkte der entstehenden Dreiecksmenge.
- Danach werden mit Hilfe der Dreiecke Funktionen definiert, die entsprechende Werte besitzen.
- Mittels `griddata` ist die Technik auch auf höhere Dimensionen anwendbar. Dreiecke werden durch entsprechende höher-dimensionale Simplizes ersetzt.
(In 3D Tetraeder)

```
ZI = interp2(X,Y,Z,XI,YI,methode)
```

- Allgemein sind X, Y, Z Matrizen. Dabei ist $Z(i,j)$ der Funktionswert an $(X(i,j), Y(i,j))$. X und Y sind in der Regel durch `meshgrid` erzeugt.
- Es wird an den Stellen $(XI(i,j), YI(i,j))$ interpoliert. Das Ergebnis ist $ZI(i,j)$. Die Einträge von XI bzw. YI können beliebig sein.
- Die Art des Interpolierens ist entweder `'nearest'`, `'linear'` oder `'cubic'`.

1 Visualisieren von 3D-Daten

2 **Datenstrukturen**

3 In- und Output

4 Fehler

- In MATLAB gibt es verschiedene *Datentypen*. Sie werden bestimmt durch ihre Eigenschaften.
- Einzelne Elemente eines Datentyps werden *Objekte* genannt.
- Ein *Objekt* besteht meist aus drei Teilen: *Bezeichner*, *Referenzen* und *Werte* des Objekts.
- *Variablen* sind Datenobjekte deren Werte während eines Programmablaufs verändert werden können.

Datentypen in MATLAB

- MATLAB speichert alle Variablen als Felder. Ein Skalar ist eine 1×1 -Matrix.
- MATLAB weist den Datentyp *implizit* zu. Durch die Zuweisung eines Wertes wird der Typ implizit bestimmt.
- Den Datentyp eines Objekts *a* kann durch den Befehl `class(a)` bestimmt werden.

Datentypen in MATLAB

- Gleitkommazahlen (Komplexe Zahlen)
- Characters und Strings
- Strukturen
- Cell Arrays
- Funktionen
- Sparse Matrizen
- Integer-Zahlen
- Logische Ausdrücke

- Standard-Datentyp ist ein Array von Gleitkommazahlen (double).
- Abstand von 1 zur nächsten Gleitkommazahl in MATLAB: $\epsilon = 2^{-52}$ (vgl. `eps` in MATLAB)
- Sei $x \in \mathbb{R}$ eine reelle Zahl und \tilde{x} die Darstellung in MATLAB. Dann gilt für den Rundungsfehler
$$\frac{|x - \tilde{x}|}{|x|} \leq \frac{1}{2}\epsilon.$$
- Die größte bzw. kleinste in MATLAB darstellbare positive Zahl ist in `realmin` bzw. `realmax` gespeichert.

- Ist eine Zahl größer als `realmax`, so meldet MATLAB einen 'Overflow' und gibt als Ergebnis `Inf` zurück.

```
>> realmax*1.1  
ans =    Inf
```

- Bei Operationen wie $0/0$ oder ∞/∞ , erhält man als Ergebnis `NaN` (*Not a Number*).

```
>> 0/0  
Warning: Divide by zero.  
ans =    NaN
```

Umgang mit NaN und Inf

- Mit Hilfe von `isinf` und `isnan` kann auf ∞ bzw. NaN getestet werden.

```
>> isnan(0/0), isinf(1.2*realmax)
ans =     1     ans =     1
```

- Test auf NaN durch `==` ist nicht möglich

```
>> 0/0 == NaN
ans =     0
```

- Bei Inf ist der Test durch `==` möglich!

```
>> (1.2*realmax)==Inf
ans =     1
```

- Ähnlich wie in C gibt es den Datentyp `single`. Es ist eine Darstellung in geringerer Genauigkeit.
- Durch den Befehl `single ()` wird eine `double`-Zahl in eine `single`-Zahl konvertiert.
- Arithmetische Operationen mit `double`- und `single`-Objekten ergeben `single`-Objekte.

Single

```
>> a = sqrt(2); b = single(a);  
>> c = a+b; d = a-b  
d =  
    2.4203e-08  
>> whos  
Name      Size      Bytes  Class  
a         1x1         8   double  
b         1x1         4   single  
c         1x1         4   single  
d         1x1         4   single  
>> [realmax, single(realmax)], realmax  
ans =  
    Inf    Inf  
ans =  
    1.7977e+308
```

Operator Rangfolge

- 1 Exponent (\wedge , $\cdot\wedge$), transpose
- 2 logische Verneinung (\sim)
- 3 Multiplikation ($*$, \cdot), Division ($/$, \cdot , \backslash , $\cdot\backslash$)
- 4 Addition (+), Subtraktion (-)
- 5 Doppelpunktoperator (:)
- 6 Vergleichsoperatoren ($<$, $>$, $<=$, $>=$, $==$, $\sim=$)
- 7 Logisches und (&)
- 8 Logisches oder (|)

Bei gleicher Rangfolge wertet MATLAB von links nach rechts aus.

Die Rangfolge kann durch Kammersetzung geändert werden.

Darstellungsformate am Beispiel 1/7

format short	0.1429
format short e	1.4286e-01
format short g	0.14286
format long	0.14285714285714
format long g	0.142857142857143
format long e	1.428571428571428e-01

Das Default-Format ist short.

Komplexe Zahlen $z \in \mathbb{C}$ haben die Form

$$z = x + iy, \quad x, y \in \mathbb{R}$$

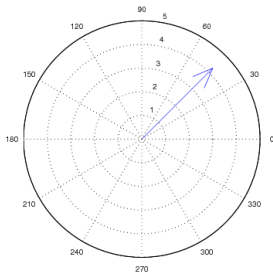
mit $i = \sqrt{-1}$.

- $\sqrt{-1}$ ist in MATLAB vordefiniert in den Variablen i, j .
- Durch `complex(x,y)` kann aus $x, y \in \mathbb{R}$ die komplexe Zahl $x + iy$ erzeugt werden.
- Für $z = x + iy \in \mathbb{C}$ erhält man den Realteil mit `real(z)` und den Imaginärteil durch `imag(z)`.

Polarkoordinaten

$$z \in \mathbb{C}, \quad z = re^{i\varphi} = r(\cos \varphi + i \sin \varphi)$$

- $\text{abs}(z)$ ergibt den Betrag r von z .
- φ erhält man durch $\text{angle}(z)$.
- grafische Darst.: $\text{compass}(z)$ ($z = 3 + 3i$).



Structures:

Strukturen sind eine Möglichkeit verschiedene Objekte in einer Datenstruktur zu bündeln.

Beispiel: komplexe Zahlen

```
>> komp_Zahl.real=1;  
>> komp_Zahl.imag=1;  
>> komp_Zahl
```

```
komp_Zahl =
```

```
  real: 1
```

```
  imag: 1
```

- Alternativ können Strukturen durch

```
struktur = struct( 'Feld1', Wert1, 'Feld2', Wert2, ... )
```

definiert werden.

- Ein Feld einer Struktur struktur kann durch

```
struc2 = rmfield( struktur , 'Feld' )
```

gelöscht werden.

Cell Arrays

Cell Arrays:

Cell Arrays sind spezielle Matrizen, deren Einträge aus unterschiedlichen Datentypen bestehen können. Erzeugt werden sie durch geschweifte Klammern.

```
>> C = { 1:10, hilb(4); ...  
        'Hilbert Matrix', pi}  
C =  
    [1x10 double]    [4x4 double]  
    'Hilbert Matrix' [      3.1416]
```


Befehle für Cell Arrays

- Zugriff auf Cell-Arrays:

```
>> C{2,1}
ans =
Hilbert Matrix
```

```
>> C{1,2}(2,3)
ans =
0.2500
```

- Durch `celldisp(C)` wird der Inhalt von `C` dargestellt.
- `cellplot(C)` stellt `C` grafisch dar.

- In diesen Datentypen werden ganze bzw. natürliche Zahlen gespeichert.
- Zur effizienten Speicherung gibt es die Datentypen `int8`, `uint8`, `int16`, `uint16`, `int32`, `uint32`, `int64`, `uint64`.
- In den Datentypen, die mit `u` beginnen, werden natürliche Zahlen gespeichert, sonst ganze Zahlen.
- Die abschließende Zahl gibt den Speicherbedarf an. `uint8` benötigt z.B. 8-Bit. (Wertebereich $0 \dots 2^8 - 1$).

Integer

```
>> a = int8(20); b = int16(20); c = int8(20);  
>> a*c, a*b  
ans = 127  
??? Error using ==> mtimes  
Integers can only be combined with integers  
of the same class, or scalar doubles.  
>> a+0.2  
ans = 20  
>> a+0.5  
ans = 21  
>> a*1.54  
ans = 31
```

1 Visualisieren von 3D-Daten

2 Datenstrukturen

3 In- und Output

4 Fehler

- Benutzereingabe
- einfache und formatierte Ausgabe
- Schreiben in Dateien
- Einlesen von Daten aus Dateien
- Speichern und Laden von Variablen
- Durch `help iofun` erhält man eine Übersicht aller Ein- und Ausgabe - Befehle

- Standardeingabe: `input`
- Informationssteuerung durch die Maus: `ginput`
- Anhalten der Prozedur bis eine Tastatureingabe erfolgt: `pause`

Die Benutzereingabe kann durch den Befehl `input('Text')` erfolgen. Es wird der 'Text' angezeigt. Die Eingabe kann hinter 'Text' erfolgen und wird durch Return abgeschlossen. Durch die Option 's' wird ein String abgefragt.

```
>> startwert = input('Bitte geben Sie den Startwert ein: ')
Bitte geben Sie den Startwert ein: 56
startwert =
    56
```

```
>> f = input('Eingabe einer Funktion: ', 's')
Eingabe einer Funktion: sin(x)*cos(x)
f =
sin(x)*cos(x)
```

Das Kommando

```
[x,y]=ginput(n)
```

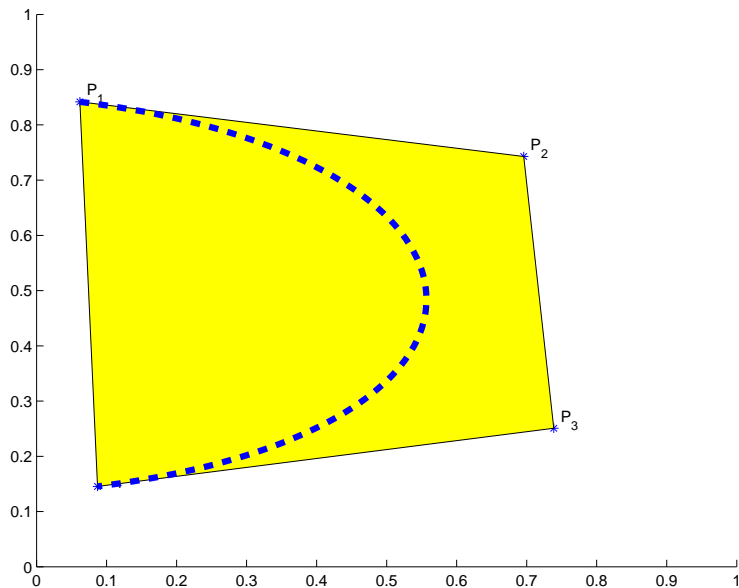
gibt die Vektoren x und y der Koordinaten der nächsten n Maus-Klicks zurück, an denen sich die Maus im aktuellen Grafik-Fenster befindet.

- `[x,y]=ginput` sammelt so lange Daten ein, bis die Return-Taste gedrückt wird.
- `[x,y,taste]=ginput(n)` gibt auch den Vektor `taste` zurück, der aus Werten 1 (linke Maustaste), 2 (mittlere Maustaste) oder 3 (rechte Maustaste) besteht.

$$z(t) := \sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i B_i^n(t), \quad t \in [0, 1]$$

- $z(t) : [0, 1] \rightarrow \mathbb{R}^2$ ist das *Bezier-Polynom*.
- $\mathbf{b}_i \in \mathbb{R}^2$ sind die vorgegebenen *Kontrollpunkte*.
- $B_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}$ sind *Bernstein-Polynome*.

Bezier-Polynom



Bezier-Polynom

```
% Eingabe der 4 Kontrollpunkte
```

```
axis([0 1 0 1]); hold on;
```

```
for k=1:4
```

```
    [x(k),y(k)]=ginput(1);
```

```
    plot(x(k),y(k), '*');
```

```
    text(x(k)+0.01,y(k)+0.01, strcat('P_', num2str(k)));
```

```
end;
```

```
% Zeichnen der Kontrollpolygons
```

```
fill(x,y, 'y');
```

```
u=0:0.01:1;
```

```
umat=[(1-u).^3; 3.*u.*(1-u).^2; 3.*u.^2.*(1-u); u.^3];
```

```
plot(x*umat, y*umat, '—', 'Linewidth',4); hold off;
```

- Angeben einer Variable ohne Semicolon:

```
>> text=['Pi mit 5 signifikanten Stellen : ' num2str(pi,6)]  
text =  
Pi mit 5 signifikanten Stellen : 3.14159
```

- Ausgabe des Strings X durch `disp(X)`

```
>> disp(text)  
Pi mit 5 signifikanten Stellen : 3.14159
```

- Ausgabe durch `fprintf()`

```
>> fprintf('Pi mit %1.0f Nachkomma-Stellen : %6.4f \n',4,pi)  
Pi mit 4 Nachkomma-Stellen : 3.1416
```

fprintf- Formatierte Ausgabe

```
fprintf( Format, Argument1, Argument2, ... )
```

Format ist ein String der das genaue Output-Form der Argumente (Werte der Variablen) bestimmt:

```
Format= '<*>%<(-|+)> <v1.n1>typ1<*>%<(-|+)> <v2.n2>typ2<*>... '
```

<*> Hier kann beliebiger Text eingegeben werden.

<(-|+)> Durch '+' wird die Angabe des Vorzeichens erzwungen. Durch '-' wird eine linksbündige Ausgabe erzeugt. Weglassen von <(-|+)> erzeugt eine rechtsbündige Ausgabe ohne Anzeige des '+' Zeichens.

vi Durch *vi* wird die Anzahl der insgesamt dargestellten Zeichen von Argument *i* gesteuert.

ni Hierdurch wird entsprechend die Anzahl von Nachkommastellen angegeben.

typi Gibt den Datentyp und Darstellungsformat von Argument *i* an: **f** (Standarddarstellung von Gleitkommazahlen), **e** (Exponentialdarstellung von Gl.), **g** (entweder Darst. *f* oder *e*), **s** (Strings),...

Bemerkungen zu fprintf

- Die formatierte Ausgabe ist an den Ansi-C Standard angelehnt.
- Durch `'n'` wird ein Zeilenumbruch bewirkt. `'%'` erzeugt `%`.
- `sprintf` funktioniert wie `fprintf`. Allerdings wird die Ausgabe als String zurückgegeben.
- Ist ein Argument eine Matrix, so wird `fprintf` 'vektoriert'.

Schreiben in Dateien - Beispiel

```
% waehrung.m
%
% Erstellt eine Umrechnungstabelle zwischen
% Euro und anderer Waehrung

waehrung_name = input('Umrechnungstabelle fuer welche Waehrung ? ');
fprintf('Ein Euro entspricht wievielen %s ? ',waehrung_name);
umrechnung=input(' ');
a = [1 2 3 5 10 20 50 100 200 1000];

fid = fopen('umrechnung.txt','w');
fprintf(fid,['Umrechnungstabelle: Euro-',waehrung_name,'\n\n']);
fprintf(fid,['%7.2f Euro = %7.2f ',waehrung_name,'\n'],...
    [a;umrechnung*a]);
fprintf(fid,'\n\n Umrechnungskoeffizient: %3.2f \n',umrechnung);
fclose(fid);
```

```
fid = fopen(dateiname, erlaubnis)
```

fopen öffnet die Datei dateiname im Modus erlaubnis und erzeugt einen Datei-Handle fid. Für erlaubnis gibt es u.a. die folgenden Möglichkeiten:

- 'r' Lesen aus der Datei.
- 'w' Schreiben in die Datei (Erzeugen falls nötig)
- 'a' Hinzufügen (Erzeugen falls nötig)
- 'r+' Lesen und schreiben (aber nicht erzeugen)

- `fclose (fid)` schliesst die Datei mit dem Handle `fid`
- Mit dem Befehl

```
fprintf( Datei-Handle , Format , Argument1 , Argument2 , ... )
```

wird in die durch das Datei-Handle angegebene Datei gemäß der obigen Konventionen geschrieben.

- Durch ein zusätzliches Output-Argument können Fehler aufgefangen werden.

```
[ fid , message]=fopen( dateiname , erlaubnis )
```

Ist die Datei nicht zu öffnen, so ist `fid=-1`.

Lesen aus einer Datei

```
% waehrung_auslesen.m
%
% Liest eine Umrechnungstabelle aus der
% Datei 'umrechnung.txt'

clear all;
fid = fopen('umrechnung.txt','r');
waehrung_name = fscanf(fid,'Umrechnungstabelle: Euro-%s');
daten = fscanf(fid,['%f Euro = %f ',waehrung_name],[2 inf]);
umrechnung = fscanf(fid,'Umrechnungskoeffizient: %f');
fclose(fid);

% Ausgabe
fprintf('Umrechnung: Euro - %s: Kurs: %f \n',...
        waehrung_name,umrechnung);
fprintf(' %7.2f Euro = %7.2f \n',daten);
```

```
[ daten , anz ] = fscanf ( fid , format , Größe )
```

- fscanf liest Daten aus der Datei mit dem Handle fid.
- Die Daten werden in daten gespeichert. Der optionale Wert anz gibt die Anzahl erfolgreich gelesener Daten an.
- format gibt das vorgegebene Suchmuster vor.
- Die Größe bestimmt das was gelesen wird, und damit auch die Dimension der Output-Matrix. inf bezeichnet dabei das Dateiende.

- Der Befehl `fgetl (fid)` liest eine Zeile aus der Datei mit Handle `fid` und gibt die Zeile als String zurück.
- Ob das Dateieneende erreicht ist, kann durch den Befehl `feof (fid)` geprüft werden. `feof (fid)` gibt eine 1 zurück, falls das Dateieneende erreicht ist und 0 sonst.

Beispiel - Bubblesort

- Bubblesort durchläuft die Datenmenge von Anfang bis zum Ende und vergleicht paarweise die nebeneinanderstehenden Elemente.
- Sind zwei benachbarte Elemente nicht in der richtigen Reihenfolge, so werden sie miteinander vertauscht.
- Ist man am Ende angekommen, beginnt man wieder von vorne.
- Die Datenmenge ist sortiert, falls bei einem Durchlauf keine Vertauschungen mehr vorgenommen werden.

Beispiel - Bubblesort

```
function sortieren(dateiname1, dateiname2)
% sortieren    Die Datei dateiname1 wird alphabetisch sortiert
%              und als dateiname2 abgespeichert.
% INPUT:      STRING dateiname1
%              STRING dateiname2

% Datei laden
[ fid ,message] = fopen(dateiname1, 'r');
if fid== -1
    error('Datei nicht gefunden');
end;
% Datei lesen
anz = 0;
while feof(fid)==0
    anz = anz+1;
    inhalt{anz}=fgetl(fid);
end
fclose(fid);
```

Beispiel - Bubblesort (Forts.)

```
% Sortieren
sortierungen = 1;
while sortierungen>0
    sortierungen = 0;
    for k = 1:anz-1
        % vergleich_gr(a,b) ist 1 fuer a<b, 0 sonst
        if vergleich_gr(inhalt{k+1},inhalt{k})
            hilf = inhalt{k}; inhalt{k} = inhalt{k+1};
            inhalt{k+1} = hilf;
            sortierungen = sortierungen+1;
        end
    end
end

% Datei schreiben
fid = fopen(dateiname2, 'w');
for k = 1:anz
    fprintf(fid, '%s \n ', inhalt{k});
end;
fclose(fid);
```

- Es ist auch möglich temporäre Dateien zu erzeugen.
- Binäre Dateien können erzeugt und gelesen werden mit Hilfe der Befehle `fread` und `fwrite`.
- Mittels `xlsread` können Excel-Tabellen eingeladen werden.
- Bilddateien werden durch `imread` importiert.
- Audiodateien (`.wav`) bzw. Videodateien (`.avi`) können durch `wavread` bzw. `aviread` importiert werden.

Beispiel: Binäre Daten

```
%----- beispiel_bin_data.m  
A = hilb(10);  
  
% Schreibe binaere Datei  
fwriteid = fopen('hilb10.bin','w');  
count = fwrite(fwriteid,A,'double');  
fclose = (fwriteid);  
  
% Lesen binaere Datei  
freadid = fopen('hilb10.bin','r');  
B = fread(freadid, count, 'double');  
C = reshape(B,10,10);  
  
disp(norm(A - C))
```

Laden und Speichern von Variablen

- `save filename` speichert den gesamten Workspace in der Datei `filename.mat`. Einladen des Workspace ist möglich mittels `load filename`.
- Mittels `save filename A x` werden nur die Variablen `A` und `x` in der Datei `filename.mat` gespeichert. Durch `load filename` werden nun die Variablen `A` und `x` dem Workspace hinzugefügt.
- Bei `load` werden bestehende Variablen mit dem gleichen Namen überschrieben.

1 Visualisieren von 3D-Daten

2 Datenstrukturen

3 In- und Output

4 Fehler

- **Syntax Fehler:** z.B. Schreibfehler oder Weglassen von Klammern. MATLAB entdeckt die meisten Syntax Fehler und gibt eine entsprechende Fehlermeldung zurück mit Angabe der Zeile.
- **Run-time Fehler:** Diese Fehler sind normalerweise algorithmischer Natur. Oft passen z.B. bei Matrixoperationen die Matrizen nicht zusammen.

Die erste Fehlermeldung zeigt bei geschachtelten Funktionsaufrufen an, in welcher Funktion der Fehler liegt.

- Der Befehl `error('text')` erzeugt die Fehlermeldung `text` und bricht das Programm ab. Insbesondere die Eingabeparameter sollten auf Fehler geprüft werden.
- Warnungen werden durch `warning('text')` erzeugt. Im Gegensatz zu `error` wird das Programm aber fortgesetzt.

Beispiel

```
function interpolation(f1,N)
```

```
...
```

```
%----- Fehlerbehandlung  
if (round(abs(N)) ~= N) | (N==0)  
    error(strcat('Bitte fuer die Anzahl der Stuetzstellen',...  
        'eine natuerliche Zahl verwenden'));  
end  
if ~ischar(f1)  
    error('Bitte fuer die Funktion einen String verwenden');  
end
```