Einführung in Matlab

Einheit 7

Jochen Schulz

Georg-August Universität Göttingen

14. September 2009

Aufbau

1. Schnittstelle zu C
2. Mex-Dateien
3. C-Programme mit MATLAB

Aufbau

Schnittstellen in MATLAB

- MATLAB läßt sich mit anderen Programmiersprachen kombinieren.
- Die Verknüpfung geschieht über sogenannte *Schnittstellen*.
- Es existieren Schnittstellen zu C, Fortran und Java.
- Über diese Schnittstellen werden in der Regel Kommandos und insbesondere Daten übermittelt.

Warum Schnittstellen zu C?

- Große bereits existierende C-Programme können von MATLAB aus gestartet werden, ohne dass sie als *m*-Files neugeschrieben werden müssen.
- Bottleneck Berechnungen (in der Regel Schleifen), die in MATLAB nicht schnell genug laufen, können aus Effizienzgründen in C neu programmiert werden.
- Man kann aus C-Programmen heraus, den großen Befehlsumfang von MATLAB nutzen (einfaches Erstellen von Grafiken).

Schnittstellen zu C

Es gibt 2 Möglichkeiten, MATLAB mit C zu verbinden.

- Das Einbinden von C-Funktionen in MATLAB. Dies geschieht durch die sogenannten mex-Dateien. Sie bestehen aus 2 Teilen: der eigentlichen *C*-Funktion und einer Schnittstellen-Routine zwischen C und MATLAB.
- Das Starten eines MATLAB-Fensters aus einem C-Programm heraus. Hier bindet man passende Bibliotheken ein: die sogenannte Engine.

Aufbau

Erstellen von Mex-Funktionen

- Um eine Mex-Datei `mex_beispiel.c` ausführbar zu machen, kompiliere man es durch

```
mex mex_beispiel.c
```

- Die Befehlseingabe kann sowohl im Command Window von MATLAB als auch in einem beliebigen terminal (unter Linux) erfolgen (Pfad beachten).
- Die Funktion kann dann in MATLAB aufgerufen werden als sei sie ein normales m-File.

Erstellen von Mex-Funktionen

- Mex-Dateien verhalten sich genau wie m-Files oder built-in Funktionen.
- Mex-Dateien sind plattform-abhängig.
- Die Plattform ist an der Endung zu erkennen: `mexaxp` (Alpha), `mexglx` (Linux), `mexsol` (Solaris), `dll` (Windows).

Optionen von mex

- Auswählen des Default-Compilers durch

```
mex -setup
```

- Es ist auch möglich, von Fall zu Fall verschiedene Compiler zu benutzen. Aufruf:

```
mex filename -f optionsfile
```

  Beispiele: `lccengmatops.bat` (MATLAB-Compiler, Windows), `gccopts.sh` (gcc, Linux)
- Durch `mex -help` erhält man weitere Informationen zum Aufruf von `mex`.

Linken mehrere Files

Beim Erzeugen von mex-Routinen ist es möglich verschiedene Objekt- und Bibliothek-Files zu kombinieren. Das Beispiel erzeugt unter Windows

```
mex circle.c square.obj rectangle.c
    shapes.lib
```

die ausführbare Datei `circle.dll`. Benutzen von Befehlen wie `make` ist möglich. Dateien werden am Ende durch `mex` zusammengebunden.

Aufbau von mex-Files

Sie bestehen aus 2 Teilen: Einer Gateway Routine und der eigentlichen C-Funktion. Aufruf der Gateway-Funktion:

```
void mexFunction(
    int nlhs, mxArray *plhs[],
    int nrhs, const mxArray *prhs[])
```

Gateway Routine

- Benutzen Sie `mxCreate` Funktionen, um die MATLAB Arrays für die Output Argumente zu erzeugen. Setzen Sie `plhs[0],[1],..` auf die Zeiger von den neuerzeugten MATLAB-Arrays.
- Benutzen Sie die `mxGet` Funktionen, um die Daten von `prhs[0],[1],..` zu lesen.
- Aufruf der *C*-Unterroutine mit den Input- und Output-Zeigern als Funktionsparameter.

Arbeitsweise von mex-Files

- Aufruf MATLAB: `[C,D]=func_beispiel(A,B)`.
- Startet `func_beispiel.c`:

```
const mxArray *B,*A;
A = prhs[0];
B = prhs[1];

mxArray *C,*D;
C = plhs[0];
D = plhs[1];
```

- Ergebnis MATLAB: `plhs[0]` wird in C geschrieben, `plhs[1]` wird in D geschrieben.

Klassifizierung von Funktionen

Es gibt drei verschiedene Klassen von Funktionen im Zusammenhang mit der Schnittstelle.

- mex-Funktionen:
  Mex-Routinen interagieren mit der MATLAB Umgebung.
  Beispielsweise interpretiert `mexEvalString` einen String im MATLAB Workspace.
- mx-Funktionen:
  Menge von Funktionen mit denen man MATLAB Arrays erzeugen und manipulieren kann.
- Engine Funktionen:
  Menge von Funktionen, die das Arbeiten mit der MATLAB-Engine steuern.

Größter gemeinsamer Teiler (ggT)

Berechnung des ggT von natürlichen Zahlen a und b mit Hilfe des euklidischen Algorithmus

Idee: Es gilt $ggT(a, b) = ggT(a, b - a)$ für $a < b$.

Algorithmus:
Wiederhole, bis $a = b$

- Ist $a > b$, so $a = a - b$.
- Ist $a < b$, so $b = b - a$

MATLAB

```
function a = ggt(a,b)
%-------------------------------------------------
% ggt berechnet den groessten gemeinsamen Teiler (ggT)
%         zweier natuerlichen Zahlen a und b
%           INPUT:   natuerliche Zahlen  a
%                                        b
%
%           OUTPUT: ggT
%
%  Gerd Rapin       11.11.2003
%-------------------------------------------------
while (a ~= b)
  if (a > b)
    a = a-b;
  else
    b  =b-a;
  end
end
```

C-File: ggt.c (Teil I)

```c
/*****************************************
 *      ggt.c
 *****************************************/
#include "mex.h"

void ggt( double   result[], double a, double b);

void mexFunction( int nlhs, mxArray *plhs[],
                  int nrhs, const mxArray *prhs[] )
{
  double *a,*b,*result;

  /* Erzeuge Matrix fuer das Rueckgabe-Argument. */
  plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(1,1, mxREAL);
```

C-File: ggt.c (Teil II)

```
  /* Die pointer fuer die Variablen  setzen */
  a = mxGetPr(prhs[0]);
  b = mxGetPr(prhs[1]);
  result = mxGetPr(plhs[0]);
  /* Aufruf der ggt Routine */
  ggt ( result, *a, *b );
}

void ggt( double result[], double a, double b)
{
  while (a!=b)
  {
    if (a>b)
      a = a - b;
    else
      b = b - a;
  }
  result[0] = a;
}
```

Erklärungen

- Einbinden der Header Datei

```
#include "mex.h"
```

- Definieren eines Zeigers x auf ein Objekt vom MATLAB-Typ `mxArray`.

```
mxArray *x = NULL;
```

Zeiger vom Typ `mxArray` dienen zur abstrakten Zuweisung von MATLAB-Datenstrukturen.

Erzeugen von Rückgabe-strukturen

- Definieren von `double`-Matrizen

```
mxArray *mxCreateDoubleMatrix(int m,
int n, mxComplexity Flag);
```

  m ist die Anzahl von Zeilen, *n* die Anzahl von Spalten und `Flag` ist entweder *mxREAL* or *mxCOMPLEX*.

- Definieren eines `double`-Skalars mit Wert `value`

```
mxArray *mxCreateDoubleScalar
(double value);
```

Weitere Erzeuger

`mxCreateCellArray`	Array für Cell-Arrays
`mxCreateCharArray`	Array von Characters
`mxCreateString`	String
`mxCreateSparse`	Sparse Matrix
`mxCreateLogicalMatrix`	Array für Logicals

Zugriff auf mxArray

```
double *mxGetPr(mxArray *array_zeiger)
```

Rückgabeargument ist ein Zeiger, der auf das erste (reelle) Element des Arrays `*array_ptr` zeigt. Für imaginäre Elemente `mxGetPi`.

Abfangen von Fehler

Es findet keine automatische Überprüfung der Ein- und Ausgabeparameter statt. 2 Möglichkeiten:

(a) Man versieht die Gateway-Routine mit entsprechenden Abfragen.

(b) Man kapselt die mex-Routine durch eine MATLAB-Routine, die die Parameter überprüft.

C-File: ggt_2.c (Auszug)

```
/* Ueberpruefen der Anzahl von Argumenten */
  if(nrhs!=2) {
    mexErrMsgTxt("Genau zwei Input-Variablen erforderlich.");
  } else if(nlhs!=1) {
    mexErrMsgTxt("Falsche Anzahl an Output-argumente");
  }
  /* Input Variablen muessen nichtnegative Double sein.*/
  mrows = mxGetM(prhs[0]);
  ncols = mxGetN(prhs[0]);
  if( !mxIsDouble(prhs[0])  || !(mrows==1 && ncols==1) ) {
    mexErrMsgTxt("Erster Eingabeparameter muss
      ein reelles Skalar sein.");
  }
  mrows = mxGetM(prhs[1]);
  ncols = mxGetN(prhs[1]);
  if( !mxIsDouble(prhs[1])  || !(mrows==1 && ncols==1) ) {
    mexErrMsgTxt("Zweiter Eingabeparameter muss
      ein reelles Skalar sein.");
  }
```

Befehle

- Abfragen der Zeilen- bzw. Spaltenanzahl eines `mxArrays`:

```
int mxGetM(const mxArray *array_zeiger)
int mxGetN(const mxArray *array_zeiger)
```

- Fehlermeldung:

```
mexErrMsgTxt('Fehler....')
```

erzeugt eine entsprechende Fehlermeldung in MATLAB und beendet die Routine.

Typ-Abfragen

```
bool mxIsDouble( mxArray *array_zeiger);
```

ist wahr (1), falls durch `*array_zeiger` eine Matrix mit `double` oder `float` repräsentiert werden, sonst ist der Rückgabewert 0.

Weitere Abfragen:

`mxIsComplex`, `mxIsChar`, `mxIsInf`, `mxInt64`, `mxInt32`, `mxIsNaN`.

Mandelbrot-Menge

Die Mandelbrot-Menge ist die Menge von Punkten $c \in \mathbb{C}$ bei denen die Folge $(z_n)_n$, die durch

$$z_0 := c, \qquad z_{n+1} = z_n^2 + c, \quad n \in \mathbb{N}$$

definiert ist, beschränkt ist.

- Gilt $|z_n| \geq 2$, so wird die Folge divergieren.
- Wir benutzen dies als Abbruchkriterium.

Reelle Darstellung

Mit $z = z_1 + iz_2$, $x = x_1 + ix_2$ und $c = c_1 + ic_2$ ergibt sich aus

$$\begin{aligned} z_1 + iz_2 &= z = x^2 + c = (x_1 + ix_2)^2 + (c_1 + c_2) \\ &= [x_1^2 - x_2^2 + c_1] + i[2x_1x_2 + c_2] \end{aligned}$$

die Formel

$$z_1 = x_1^2 - x_2^2 + c_1, \qquad z_2 = 2x_1x_2 + c_2.$$

Programm - MATLAB

```
MAX_IT = 150;
x1 = linspace(-2.1,0.6,601);
y1 = linspace(-1.1,1.1,401);
C = zeros(length(y1),length(x1));
for i = 1:length(x1)
  for j = 1:length(y1)
    % Berechnen der Folge
    m = 0; a = x1(i); b = y1(j);
    x = a; y = b;
    while (sqrt(x^2+y^2)<2 & m<MAX_IT)
      t = x; x = a+x^2-y^2;
      y = b+2*t*y; m = m+1;
    end;
    C(j,i) = m;
  end
end
C = (1/MAX_IT) * C;
contourf(x1,y1,C,20);
```

Routine - C (Teil I)

```
#include "mex.h"
#include <math.h>

void mandel_c( double result[], double x1[], double y1[],
  int x1_laenge,int y1_laenge);

void mexFunction( int nlhs, mxArray *plhs[],
int nrhs, const mxArray *prhs[] )
{
    double *a,*b,*result;
    int acols, bcols;

    acols = mxGetN(prhs[0]);
    bcols = mxGetN(prhs[1]);
```

Routine - C (Teil II)

```
    printf("\n Erzeuge (%d x %d)-Matrix \n \n",bcols,acols);

    /* Erzeuge Matrix fuer das Rueckgabe-Argument. */
    plhs[0] = mxCreateDoubleMatrix(bcols,acols, mxREAL);

    /* Die pointer fuer die Variablen  setzen. */
    a = mxGetPr(prhs[0]);
    b = mxGetPr(prhs[1]);
    result = mxGetPr(plhs[0]);

    /* Aufruf der Routine */
    mandel_c ( result, a, b, acols, bcols);
}
```

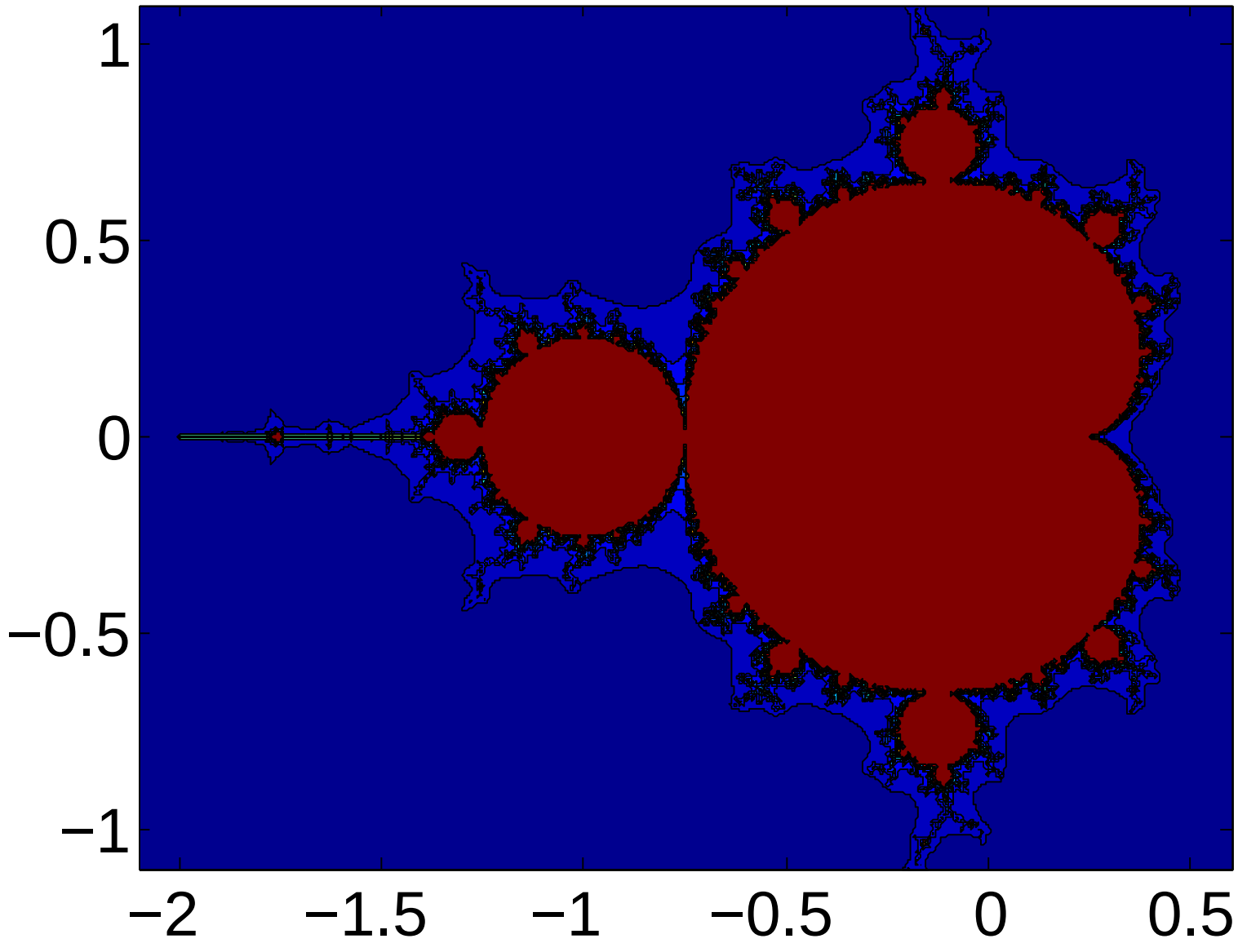
Routine - C (Teil III)

```
void mandel_c( double result[], double x1[], double y1[],
    int x1_laenge, int y1_laenge)
{
     int MAX_IT = 150;
     int i,j;
     double m,a,b,x,y,t;
     for (i =0;  i< x1_laenge; i++)
     {
       for (j = 0; j< y1_laenge; j++)
       {
         /* Berechnen der Folge */
      ...
         while (sqrt(x*x+y*y)<2 & m<MAX_IT)
         {
      ...
         }
         result[i*y1_laenge+j] = m;
       }
     }
}
```

Aufruf aus MATLAB

```
MAX_IT = 150;

tic;
x1 = linspace(-2.1,0.6,201);
y1 = linspace(-1.1,1.1,401);

C = mandel_c(x1,y1);

disp('Benoetigte Zeit')
toc;

C = (1/MAX_IT) * C;

% Plotten der Funktion
contourf(x1,y1,C,20);
```

Die Mandelbrotmenge



Aufbau

Kompilieren unter Linux

Befehle und Pfade gelten für MATLAB 7 (R2009a).

- Einbinden der Shared Libraries (nur Linux)
  - Bourne Shell

```
LD_LIBRARY_PATH=/usr/local/matlab2009a/bin/glnx86/:\
/usr/local/matlab2009a/sys/os/glnx86:$LD_LIBRARY_PATH
export LD_LIBRARY_PATH
```

  - C-Shell

```
setenv  LD_LIBRARY_PATH \
  $MATLAB/bin/glnx86/:$LD_LIBRARY_PATH
```

- Kompilieren von `test.c`

```
/usr/local/matlab2009a/bin/mex -f \
/usr/local/matlab2009a/bin/engopts.sh test.c
```

Kompilieren unter Windows

- Aufruf in MATLAB von

```
mex -f lccengmatopts.bat datei.c
```

  kompiliert die Datei `datei.c`.
- Starten durch Ausführen von `datei.exe`.
- Alternativ ein DOS-Fenster öffnen, ins richtige Verzeichnis wechseln und dort das Programm durch Eingabe von `datei` starten.

Erstes Beispiel

- Das C Programm öffnet ein MATLAB Fenster.
- Dort wird eine Hilbert-Matrix erzeugt.
- Die Eigenwerte der Matrix werden berechnet.
- Die Eigenwerte werden grafisch veranschaulicht.

hilbert1.c

```
#include <stdio.h>
#include "engine.h"

 main(int argc, char* argv[])
 {
     Engine *ep;
     mxArray *x_m = NULL;

     double n=10;

     printf("\n Open MATLAB engine...\n");
     ep = engOpen(NULL);

     x_m = mxCreateDoubleMatrix(1, 1, mxREAL);
     *mxGetPr(x_m) = n;
```

hilbert1.c (Forts.)

```
      engPutVariable(ep,"x_m",x_m);
      engEvalString(ep,"a=hilb(x_m)");
      engEvalString(ep,"semilogy(eig(a),'*')");

      printf("Please press Return \n");
      fgetc(stdin);
      engClose(ep);
}
```

Umgang mit der MATLAB-Engine

- Einbinden der Bibliothek

```
#include "engine.h"
```

- Anlegen eines Handles für die MATLAB-Engine

```
Engine *ep;
```

- Öffnen der MATLAB-Engine

```
engOpen(NULL)
```

- Schliessen der MATLAB-Engine:

```
engClose(ep);
```

Arbeiten mit der MATLAB-Engine

- Benenne die Variable 'name' in MATLAB. Die Variable wird mit den Daten `werte` versehen.

```
engPutVariable(ep,"name",werte);
```

- Ausführen von MATLAB-Befehlen:

```
engEvalString(ep,"Befehl");
```

Startet das Kommando `Befehl` in der MATLAB-Engine `ep`.

Zweites Beispiel

- Das C Programm öffnet ein MATLAB Fenster.
- Dort wird eine Hilbert-Matrix erzeugt.
- Die Eigenwerte der Matrix werden berechnet.
- Die Eigenwerte werden an das C-Programm zurückgegeben und dort ausgegeben.

hilbert2.c (Teil I)

```
#include <stdio.h>
#include "engine.h"

main(int argc, char* argv[])
{
  Engine *ep;
  mxArray *x_m = NULL;
  mxArray *d = NULL, *le = NULL;
  double *Dreal;
  double laenge;
  int i;

  double n=10;

  printf("\n Open MATLAB engine...\n");
  ep = engOpen(NULL);
```

hilbert2.c (Teil II)

```
x_m = mxCreateDoubleMatrix(1, 1, mxREAL);
*mxGetPr(x_m) = n;

engPutVariable(ep,"x_m",x_m);
engEvalString(ep,"d=eig(hilb(x_m))");
engEvalString(ep,"le=length(d)");

d = engGetVariable(ep, "d");
le = engGetVariable(ep,"le");
```

hilbert2.c (Teil III)

```
  Dreal = mxGetPr(d);
  laenge = *mxGetPr(le);

  engClose(ep);

  for (i=0; i<laenge; i++)
  {
    printf ( "%d. Eigenwert %g \n" , i+1,Dreal[i] );
  }

  mxDestroyArray(x_m);
  mxDestroyArray(d);
}
```

Erklärungen

- Kopieren der Variable *d* aus dem MATLAB-Workspace in das C-Programm.

```
mxArray *engGetVariable(ep, "d");
```

- Freigeben des Speichers (Wichtig!)

```
mxDestroyArray(mxArray *x_m);
```

Beispielprogramm

- `plot_poisson.c` plottet die Funktion $f(x, y) = \sin(4\pi x)\sin(2\pi y)$ auf $[0, 1] \times [0, 1]$.
- In C betrachten wir das Gitter, das durch Zerlegen der x- und der y-Richtung in 50 Punkten entsteht.
- Dann berechnen wir die Funktionswerte in C.
- Das Gitter und die berechneten Vektoren werden an MATLAB übergeben.
- Dort wird die Lösung mit Hilfe des Befehls `surf` gezeichnet.

plot-poisson.c (Teil I)

```c
/*-----------------------------------------
  -        plot_poisson.c
  -----------------------------------------*/

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include "engine.h"

#define MAX_ORDER 50

/* Function for plotting data on cartesian grids */
int plot_graph(
               double *x,    /* vector of x-values              */
               double *y,    /* vector of y-values              */
               double *z,    /* value at (x[i],y[j]) (row-wise)*/
               int    x_n,   /* size of array x                 */
               int    y_n); /* size of array y                 */
```

plot-poisson.c (Teil II)

```
/*-------------------------------------------------------
-                 main program                          -
-------------------------------------------------------*/
main(int argc, char* argv[])
{
  double x[MAX_ORDER];
  double y[MAX_ORDER];
  double z[MAX_ORDER*MAX_ORDER];
  int x_n,y_n;
  int i,j;
  x_n = 50;
  y_n = 50;
```

plot-poisson.c (Teil III)

```
for (i=0; i<x_n; i++)
{
  x[i] = (double) i/(x_n-1);
}
for (i = 0; i<y_n; i++)
{
  y[i] = (double) i/(y_n-1);
}
for (i = 0; i<x_n; i++)
{
  for (j = 0; j<y_n; j++)
  {
    *(z+i+j*x_n) = sin(4*3.14159*x[i])*sin(2*3.141459*y[j]);
  }
}
if (plot_graph(x,y,z,x_n,y_n)==0)
  printf("\n Ungueltiger Aufruf von 'plot_graph' \n");
return  0;
}
```

plot-poisson.c (Teil IV)

```
/*-------- function 'plot_graph' -----------*/
int plot_graph(double *x, double *y, double *z, int x_n, int y_n)
{
  Engine *ep;
  mxArray *x_m = NULL;
  mxArray *y_m = NULL;
  mxArray *z_m = NULL;
  int i,j;
  if ((x_n ==0) || (y_n==0))
    return (int) 0;
  printf("\n Open MATLAB engine...\n");
  /*---------------------- Start MATLAB engine */
  if (!(ep = engOpen("\0"))) {
    fprintf(stderr, "\n Can't start MATLAB engine\n");
    return EXIT_FAILURE;
  }
  printf("Create MATLAB arrays...\n");
  x_m = mxCreateDoubleMatrix(1, x_n, mxREAL);
  y_m = mxCreateDoubleMatrix(1, y_n, mxREAL);
  z_m = mxCreateDoubleMatrix(x_n, y_n, mxREAL);
```

plot-poisson.c (Teil V)

```
  printf("Copy entries into MATLAB ...\n");
  memcpy((void *)mxGetPr(x_m), (void *) x, x_n*sizeof(double));
  memcpy((void *)mxGetPr(y_m), (void *) y, y_n*sizeof(double));
  memcpy((void *)mxGetPr(z_m), (void *) z, x_n*y_n*sizeof(double))
  engPutVariable(ep,"x_m",x_m);
  engPutVariable(ep,"y_m",y_m);
  engPutVariable(ep,"z_m",z_m);
  printf("Execute MATLAB commands...\n");
  engEvalString(ep,"[Y,X]=meshgrid(y_m,x_m)");
  engEvalString(ep,"surf(X,Y,z_m)");
  engEvalString(ep,"xlabel('x')");
  engEvalString(ep,"ylabel('y')");
  printf("Please press Return \n");
  fgetc(stdin);
  printf("\n Close MATLAB engine... \n");
  engClose(ep);
  return (int) 1;
}
```