Einführung in Matlab und Python - Einheit 3

Rekursionen, Grafik

Jochen Schulz

Georg-August Universität Göttingen

Aufbau

1. **Rekursionen**

2. **Einführung Grafik**
   - einfache zweidimensionale Grafiken
   - Beschriftungen
   - Weitere zweidimensionale Darstellungsmöglichkeiten
   - Dreidimensionale Grafiken
   - Animation

Rekursive Funktionen

Rekursive Funktionen sind Funktionen, die sich selbst aufrufen.
Bei jedem Aufruf wird ein neuer lokaler Workspace erzeugt.

Beispiel: Fakultät: $n! = \mathsf{fak}(n)$

$$\begin{aligned} n! &= n(n-1)! = n\,\mathsf{fak}(n-1) \\ &= n(n-1)\,\mathsf{fak}(n-2) \\ &= \cdots = n(n-1)\cdots 1 \end{aligned}$$

Fakultät - rekursiv

```matlab
function res = fak(n)
% fakultaet   berechnet zu einer gegebenen natuerlichen
   Zahl n
%             die Fakultaet n!:=1*2*...*n (rekursiv)
%              INPUT: natuerliche Zahl n
%              OUTPUT: Fakultaet fak
%   Jochen Schulz 3.9.2010
if (n == 1)
    res = 1;
else
    res = n*fak(n-1);
end
```

```python
def fak(n):
    if (n == 1):
        res = 1
    else:
        res = n*fak(n -1)
    return res
```

Fakultät - direkt

```matlab
function fak = fak_it(n)
% fakultaet   berechnet zu einer gegebenen natuerlichen
    Zahl n
%              die Fakultaet n!:=1*2*...*n
%
%               INPUT: natuerliche Zahl n
%               OUTPUT: Fakultaet fak
%   Gerd Rapin  10.11.

fak = 1;
for i = 1:n
  fak = fak*i;
end;
```

```python
def fak_it(n):
    fak = 1
    for i in range(1,n+1):
        fak = fak*i
    return fak
```

Fakultät - Zeitvergleich

```
% fak_vergleich.m
% iterativ
tic
for i = 1:100
  fak_it(20);
end
time1 = toc;
fprintf('\nZeitverbrauch direktes Verfahren: %f',time1);
% rekursiv
tic
for i = 1:100
  fak(20);
end
time2 = toc;
fprintf('\nZeitverbrauch rekursives Verfahren: %f\n',
    time2);
```

```
%timeit fak_it(20)
```

rekursive Implementierung GGT

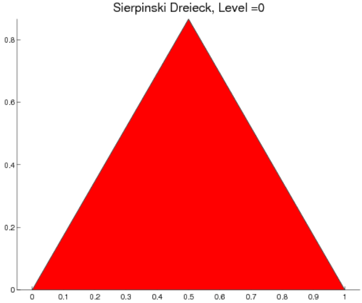
```
function [a,b] = ggt_rekursiv(a,b)
if a~=b
  if a>b
    a = a-b;
  else
    b = b-a;
  end;
  [a,b] = ggt_rekursiv(a,b);
end;
```

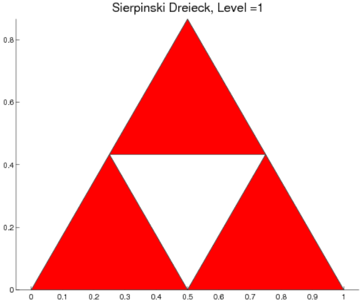
```
def ggt_rekursiv(a,b):
    if a != b:
        if a>b:
            a -= b
        else:
            b -= a
        return ggt_rekursiv(a,b)
    return a
```

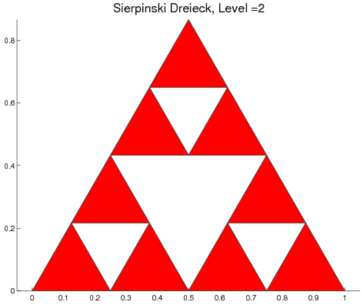
Sierpinski Dreieck

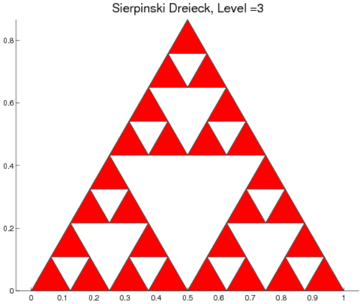
- Wir beginnen mit einem Dreieck mit Eckpunkten P_a, P_b und P_c.
- Wir entfernen daraus das Dreieck, das durch die Mittelpunkte der Kanten entsteht.
- Die verbliebenden drei Dreiecke werden der gleichen Prozedur unterzogen.
- Diesen Prozess können wir rekursiv wiederholen.
- Das Ergebnis ist das Sierpinski Dreieck.

Sierpinski Dreieck









Matlab: Implementierung

```
%  sierpinski_plot.m
level=10;

ecke1=[0;0];
ecke2=[1;0];
ecke3=[0.5; sqrt(3)/2];
figure; axis equal;
hold on;
sierpinski(ecke1,ecke2,ecke3,level);
hold off;
title(['Sierpinski Dreieck, Level =' ...
        num2str(level)],'FontSize',16);
```

Matlab: Implementierung

```
function sierpinski(ecke1,ecke2,ecke3,level)
% Teilt das Dreieck auf in 3 Dreiecke (level>0)
% Plotten des Dreiecks (level=0)

if level == 0
    fill([ecke1(1),ecke2(1),ecke3(1)],...
     [ecke1(2),ecke2(2),ecke3(2)],'r');
else
    ecke12 = (ecke1+ecke2)/2;
    ecke13 = (ecke1+ecke3)/2;
    ecke23 = (ecke2+ecke3)/2;
    sierpinski(ecke1,ecke12,ecke13,level-1);
    %pause;
    sierpinski(ecke12,ecke2,ecke23,level-1);
    %pause;
    sierpinski(ecke13,ecke23,ecke3,level-1);

end;
```

Zeichnen von Polygonen

Ein Polygon sei durch die Eckpunkte $(x_i, y_i)_{i=1}^{n}$ gegeben. Dann kann durch den Befehl

```
fill(x,y,char)
```

dargestellt werden. char gibt die Farbe des Polygons an, z.B. rot wäre 'r'.

Python: Implementierung

```
level = 1
ecke1 = array([0,0])
ecke2 = array([1,0])
ecke3 = array([0.5, sqrt(3)/2])
figure
sierpinski (ecke1 ,ecke2 ,ecke3 , level)
title ('Sierpinski Dreieck , Level ={}'.format(level))
```

Python: Implementierung

```python
def sierpinski(ecke1,ecke2,ecke3,level):
    """Teilt das Dreieck auf in 3 Dreiecke (level >0)
    Plotten des Dreiecks ( level =0)"""
    if level == 0:
        fill ([ecke1[0],ecke2[0],ecke3[0]],[ecke1[1],
             ecke2[1],ecke3[1]],'r')
    else:
        ecke12 = (ecke1+ecke2)/2.
        ecke13 = (ecke1+ecke3)/2.
        ecke23 = (ecke2+ecke3)/2.
        sierpinski(ecke1,ecke12,ecke13,level-1)
        sierpinski(ecke12,ecke2,ecke23,level-1)
        sierpinski(ecke13,ecke23,ecke3,level-1)
```

Aufbau

1. Rekursionen
2. **Einführung Grafik**
   - einfache zweidimensionale Grafiken
   - Beschriftungen
   - Weitere zweidimensionale Darstellungsmöglichkeiten
   - Dreidimensionale Grafiken
   - Animation

Aufbau

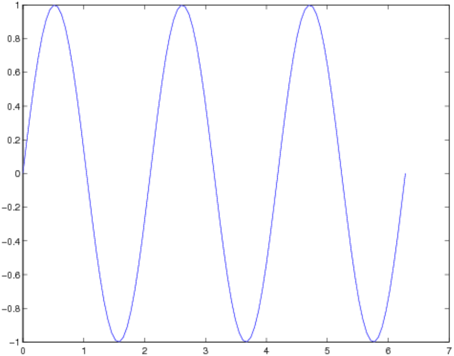
Standard-Plot

```
plot(<x>,<y>)
```

zeichnet für Vektoren $x = (x_1, \ \ldots \ , x_N)$ und $y = (y_1, \ldots \ , y_N)$ eine Grafik, die die Punkte (x_i, y_i) und (x_{i+1}, y_{i+1}) miteinander verbindet.

Beispiel:

```
x = linspace(0,2*pi,100);
y1 = sin(3*x);
plot(x,y1)
```



Erweiterungen

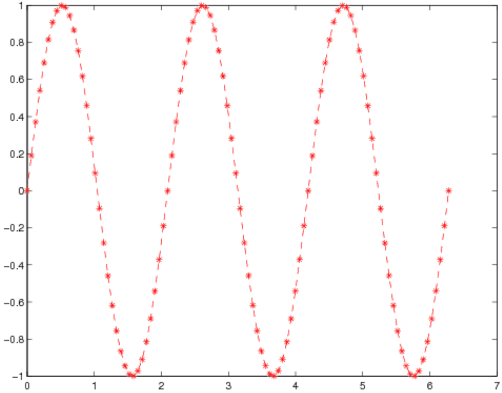
```
plot(<x>,<y>,<string>)
```

String besteht aus drei Elementen, die die Farbe, Linienstil und die Markierung der Punkte kontrollieren. Die Reihenfolge der drei Elemente ist beliebig.

Beispiel: Durch

```
plot(x,y,'r*--')
```

wird die Linie gestrichelt (- -) in rot (r) gezeichnet und die Punkte durch * markiert.



Optionen

Farben	r (rot), g (grün), b (blau), c (hellblau), m (magenta), y (gelb), k (schwarz), w (weiß)
Marker	o (Kreis), * (Stern), . (Punkt), + (Plus), x (Kreuz), s (Quadrat), d (Raute),...
Linien-Stil	- (durchgezogene Linie), −− (gestrichelte Linie), : (gepunktete Linie), −. (Strich-Punkt Linie)

Läßt man den Linien-Stil weg, so werden die Punkte nicht verbunden.

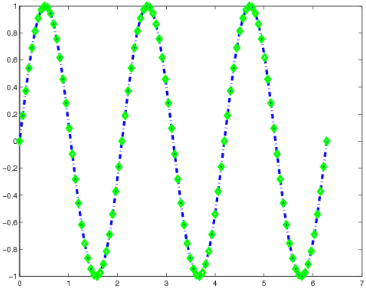
Matlab: Optionen II

```
plot(<x>,<y>,<string>,<Eigenschaft>, <Spez.>)
```

Eigenschaften:
'MarkerSize' (Default 6), 'LineWidth' (Default 0.5), 'MarkerEdgeColor', 'MarkerFaceColor'

Beispiel:

```
plot(x,y1,'b-.d','LineWidth',...
3,'MarkerEdgeColor','g')
```



Alternativen

- Mehrere Plots in eine Grafik:

```
plot(x1,y1,string1,x2,y2,string2,...)
```

- Logaritmische Skalierung in x- bzw in y-Richtung:

```
semilogx(x1,y1)
```

bzw.

```
semilogy(x1,y1)
```

- Logarithmische Skalierung beider Achsen:

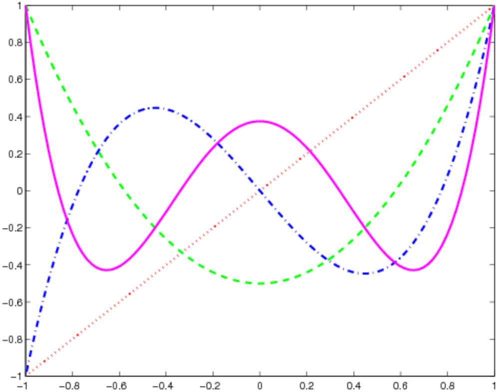
```
loglog(x1,y1)
```

- Ist X ein Vektor mit komplexen Einträgen, so ergibt plot(X)

```
plot(real(X),imag(X))
```

Beispiel - Legendre Polynome

```
x = linspace(-1,1,100);
p1 = x;
p2 = (3/2)*x.^2-1/2;
p3 = (5/2)*x.^3-(3/2)*x;
p4 = (35/8)*x.^4 - (15/4)*x.^2+3/8;
plot(x,p1,'r:',x,p2,'g--',x,p3,'b-.',x,p4,'m-','LineWidth',2)
```



Achseneinstellungen

axis ([x1 x2 y1 y2])	Setzen der *x*- und *y*-Achsen Grenzen
axis auto| axis ('auto')	Rückkehr zu Default Achsen Grenzen
axis equal| axis ('equal')	Gleiche Dateneinheiten auf allen Achsen
axis off| axis (' off ')	Enfernen der Achsen
axis square| axis ('square')	quadratische Achsen-Box
axis tight| axis (' tight ')	Achsen Grenzen werden passend zu den Daten gewählt.
xlim ([x1 x2])	Setzen der *x*-Achse
ylim ([y1 y2])	Setzen der *y*-Achse
grid on| grid ('on')	Gitter aktivieren
box on, box off | box('on') box(' off ')	Box um die Grafik legen, Box entfernen

Aufbau

Beschriften der Grafik

- Titel: `title ('Titel')`
- Achsenbeschriftung: `xlabel('Text')`, `ylabel('Text')`
- Legende(Matlab): `legend('Text1','Text2', ... ,nr)`

  nr gibt die Position der Legendenbox in der Grafik an: -1 (rechts vom Plot), 0 'bester' Ort, 1 oben rechts (default), 2 oben links, 3 unten links, 4 unten rechts.
- Legende(Python):

  `legend( ('Text1','Text2', .. ), loc='<locationstr>' )`
- zusätzlicher Text: `text(x,y,'Text')`

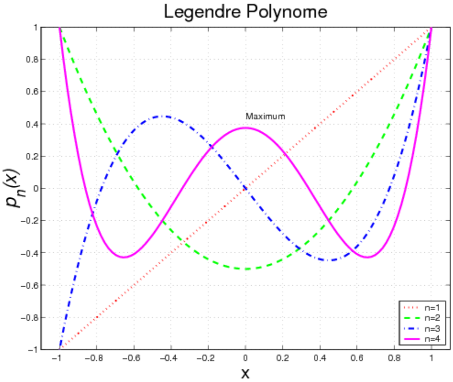
  Plaziert 'Text' an die Position (x, y) bzgl. der Werte auf der x- bzw. y-Achse.

Bemerkungen zur Beschriftung

- Matlab: In den strings kann direkt eine abgespeckte LaTeX-Notation verwendet werden. (nahezu vollständige LaTeX-Unterstützung: latex-interpreter). Beispiele:
  - `\alpha` $\Rightarrow \alpha$
  - `sin^{3/2}(x)` $\Rightarrow \sin^{3/2}(x)$.
  - `title('f(x) = \frac{1}{x^2+a}','interpreter','latex')` $\Rightarrow$ $f(x) = \frac{1}{x^2+a}$
- Python: der Mathemodus in den üblichen $$ kann benutzt werden. Für die PDF-Ausgabe kann man vollständigen LaTeX-Umfang nutzen.
- Ändern der Schriftgröße, z.B. `title('Titel','FontSize', 20)`| `title('Titel', fontsize=20)`.
- Auflistung aller modifizierbaren Texteigenschaften: `doc text_props`(Matlab)

Beispiel - Legendre Polynome II

```
title('Legendre Polynome','FontSize', 20)
xlabel('x','FontSize', 20); ylabel('p_n(x)','FontSize', 20)
text(0,0.45,'Maximum')
legend('n=1','n=2','n=3','n=4',4)
grid on, box on;
xlim([−1.1,1.1])
```



Aufbau

Darstellung von Daten

- Balkendiagramm:

```
bar(<Daten>)
```

- Histogramm:

```
hist(<Daten>,<Anzahl Bars>)
```

- einfacher ausgefüllter Plot:

```
area(<x>,[<y1>,<y2>])
```

(y1 und y2 werden addiert)

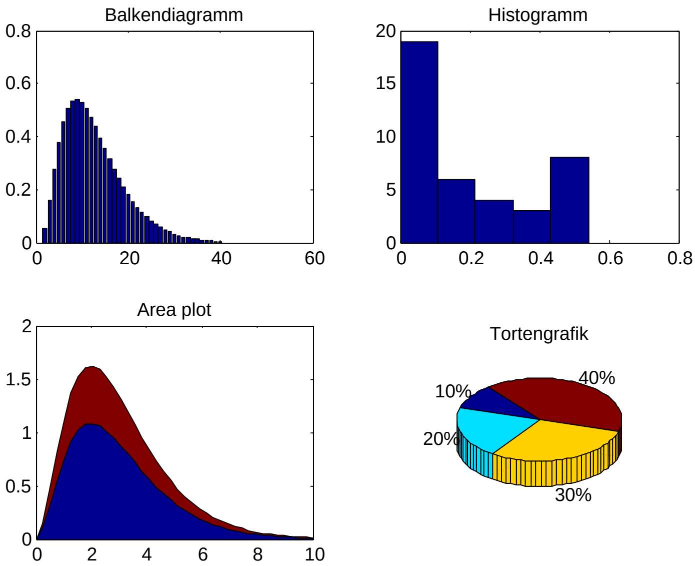
```
fill(<x>,<y1>)+fill_between(<x>,<y2>,<y1>)
```

- Tortengrafik:

```
pie3([<anteil1> <anteil2> .. <anteilx>])
```

```
pie([<anteil1>,<anteil2> .. <anteilx>])
```

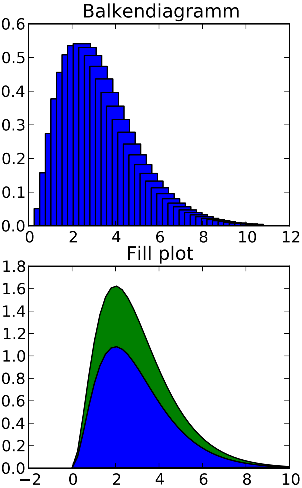
Matlab: Darstellung von Daten



Matlab: Darstellung von Daten

```
n = linspace(0,10,40);
y = n.^2.*exp(-n);

% Balkendiagramm
subplot(2,2,1),
bar(y); title('Balkendiagramm');

% Histogramm
subplot(2,2,2),
hist(y,5); title('Histogramm');

% Area plot
subplot(2,2,3),
area(n,[y',2*y']); title('Area plot');

% Tortengrafik
subplot(2,2,4),
pie3([ 1 2 3 4]); title('Tortengrafik');
```

Python: Darstellung von Daten



Python: Darstellung von Daten

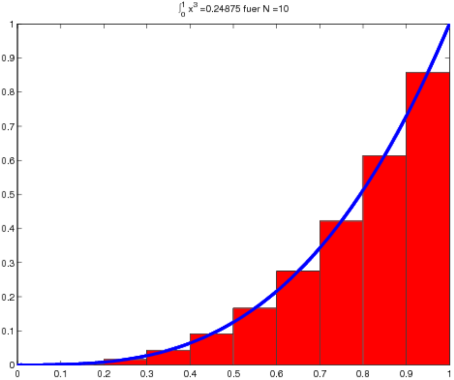
```
n = linspace(0,10,40)
y = n**2.*exp(-n)

#Balkendiagramm
subplot(2,2,1)
bar(n,y),title('Balkendiagramm')

#Histogramm
subplot(2,2,2)
hist(y,5),title('Histogramm')
#Area plot
subplot(2,2,3)
fill(n,2*y),fill_between(n,3*y,2*y,facecolor='green')
title('Fill plot')
#Tortengrafik
subplot(2,2,4)
pie([ 1,2,3,4],autopct='%1.1f', shadow=True)
title('Tortengrafik')
```

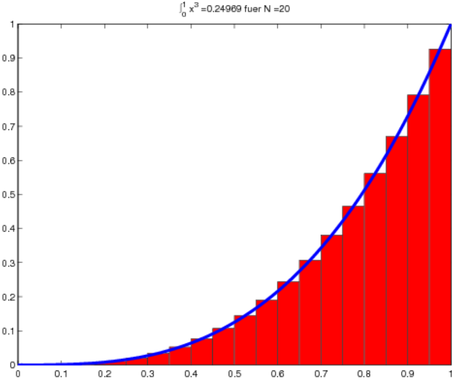
Approximation von Integralen

Approximiere $\int_0^1 f(x)dx$ durch (Mittelpunktsregel)

$$\int_0^1 f(x)dx \approx \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{N} f\left(\frac{i-\frac{1}{2}}{N}\right)$$

für gegebenes $N \in \mathbb{N}$. **Beispiel**: $f(x) = x^3$





Matlab: Integral - Implementation

```
%   integral.m
% berechnet approximativ ein Integral
% ueber  (0,1) durch die Mittelpunktregel
N = 5; % Anzahl Unterteilungen

x = (0+1/(2*N)):(1/N):(1-1/(2*N));
y = x.^3;
% Berechnung des Integrals
result = sum(y)*(1/N);

% Plot
for i = 1:N
    fill([(i-1)/N (i-1)/N i/N i/N],...
        [0 ((i-0.5)/N).^3  ((i-0.5)/N).^3 0], 'r');
    hold on;
end;
plot(0:0.01:1,(0:0.01:1).^3,'LineWidth',3);
title(['\int_0^1 x^3 = ',num2str(result),' fuer N =',
   num2str(N) ],'FontSize',20);
```

Python: Integral - Implementation

```
# berechnet approximativ ein Integral
# ueber  (0,1) durch die Mittelpunktregel
N = 10# Anzahl Unterteilungen
x = arange(0+1./(2*N),1-1./(2*N),1./N)
y = x**3
# Berechnung des Integrals
result = sum(y)*(1/N)

# Plot
for i in arange(1.,N+1):
    fill_between([(i-1)/N, i/N],[((i-0.5)/N)**3,  ((i
        -0.5)/N)**3],facecolor='r')
plot(arange(0,1,0.01),array(arange(0,1,0.01))**3,
    linewidth=3)
title('\int_0^1 x^3 = {} fuer N = {}'.format(result,N),
    fontsize=20)
```

Aufbau

Matlab: Dreidimensionale Grafiken

- Dreidimensionale Version von plot: plot3
- Darstellung von Funktionen $f : \mathbb{R}^2 \to \mathbb{R}$:
  - Contourplot (zeichnet die Niveaulinien): contour, contourf, contour3
  - Darstellung des Graphen mit Gitterlinien: mesh , meshc
  - Flächige Darstellung des Graphen: surf, surfc
- Darstellung von Funktionen $f : \mathbb{R}^3 \to \mathbb{R}$:
  - Streifenansichten slice

mesh(X,Y,Z) z.B. stellt für Matrizen $X, Y, Z \in \mathbb{R}^{n\times k}$ die Punkte

$$(X(i,j), Y(i,j), Z(i,j)) \quad \text{dar.}$$

Python: Dreidimensionale Grafiken

3D Grafiken können auf sehr verschiedene Weise erzeugt werden:

- Mayavi mlab (gute 3D Beschleunigung, GUI möglich, Empfohlen)
- mplot3d (keine 3D Beschleunigung, am einfachsten zu Benutzen)
- easyviz aus den scitools (Frontend zu diversen Tools)

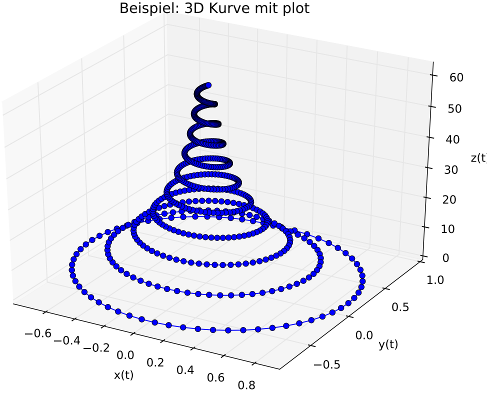
Allen Tools ist es gemein, dass sie versuchen Matlab-Syntax nahe zu kommen. Aufgrund der Vielfalt wird hier aber auf einer Auflistung der Befehle verzichtet.

Wir benutzen mplot3d, es sei denn es etwas Anderes angegeben.

Import-Zeile: `from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D`

3D Kurven

Bei gegebenen Vektoren $x = (x_i)_{i=1}^n$, $y = (y_i)_{i=1}^n$, $z = (z_i)_{i=1}^n$ erzeugt plot3(x,y,z) einen Plot der die Punkte (x_i, y_i, z_i) und $(x_{i+1}, y_{i+1}, z_{i+1})$ miteinander verbindet.



Beispiel 3D Kurven

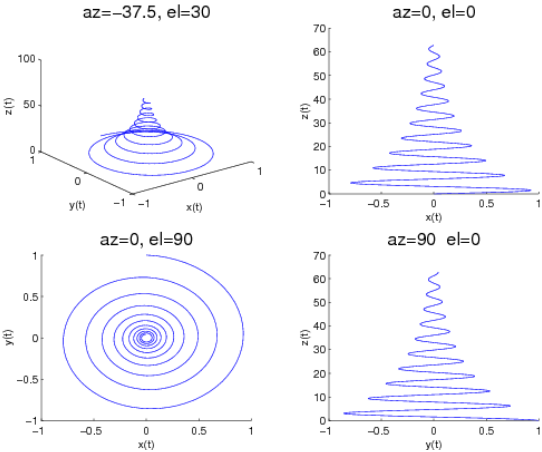
```
t = 0:0.1:20*pi;
x = exp(-t/20).*sin(t);
y = exp(-t/20).*cos(t);
z = t;
plot3(x,y,z,'b-o','LineWidth',1);
xlabel('x(t)'), ylabel('y(t)');
 zlabel('z(t)');
title('Beispiel: 3D Kurve mit plot3','FontSize',15);
```

```
t = arange(0,20*pi,0.1)
x = exp(-t/20)*sin(t)
y = exp(-t/20)*cos(t)
z = t
fig=figure()
ax = Axes3D(fig)
plot(x,y,z,'b-o',linewidth=1)
ax.set_xlabel('x(t)'),ax.set_ylabel('y(t)'),ax.set_zlabel
    ('z(t)')
title('Beispiel: 3D Kurve mit plot',fontsize=15)
```

Blickwinkel

view(az , el)(Matlab)| Axes3D.view_init(el , az)(Python)

- az ist die horiz. Rotation in Grad (Def. -37.5)
- el ist die vertikale Rotation in Grad (Def. 30)



3D-Funktionenplots

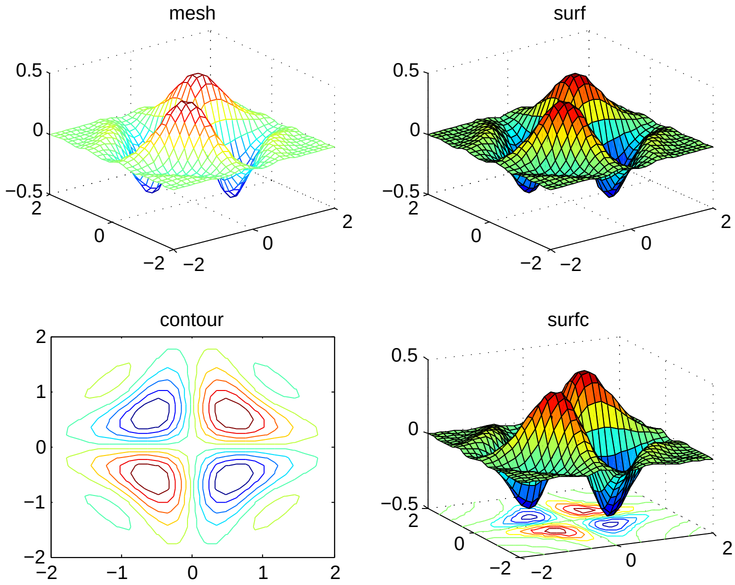
Darstellung von Funktionen

$$f : \mathbb{R}^2 \quad \to \quad \mathbb{R}$$

Beispiel:

$$f(x, y) := \exp(-x^2 - y^2) \sin(\pi x y)$$

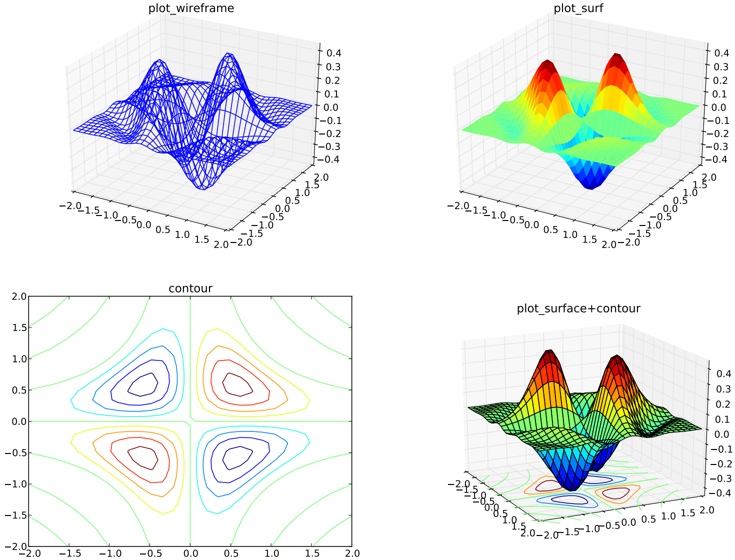
Matlab: Funktionenplot



Matlab: Funktionenplot - Implementation

```
% Erzeugen des Gitters
x = linspace(-2,2,30);
y = linspace(-2,2,30);
[X,Y] = meshgrid(x,y);
% Funktionswerte
Z = exp(-X.^2-Y.^2).*sin(pi*X.*Y);

% verschiedenen Darstellungen
subplot(2,2,1),
 mesh(X,Y,Z), title('mesh');
subplot(2,2,2),
 surf(X,Y,Z), title('surf');
subplot(2,2,3),
 contour(X,Y,Z,10), title('contour');
subplot(2,2,4),
 surfc(X,Y,Z);
 view(-26,20), title('surfc');
```

Python: Funktionenplot



Python: Funktionenplot - Implementation

```
x = linspace(-2,2,30)
y = linspace(-2,2,30)
[X,Y] = meshgrid(x,y)
Z = exp(-X**2-Y**2)*sin(pi*X*Y)
fig=figure()
ax = fig.add_subplot(2, 2, 1, projection='3d')
ax.plot_wireframe(X,Y,Z),title('plot_wireframe')

ax = fig.add_subplot(2, 2, 2, projection='3d')
ax.plot_surface(X,Y,Z,rstride=1,cstride=1,cmap=cm.jet,
    linewidth=0),title('plot_surface')

subplot(2, 2, 3)
contour(X,Y,Z,10), title('contour')

ax = fig.add_subplot(2, 2, 4, projection='3d')
ax.plot_surface(X,Y,Z,rstride=1,cstride=1,cmap=cm.jet)
ax.contour(X, Y, Z, zdir='z', offset=-0.5)
ax.view_init(20,-26),title('plot_surface + contour')
```

subplot

```
subplot(<n>,<m>,<k>)
```

zerlegt das Grafikfenster in $n \times m$ Teilfenster.
Die Zahl $1 \leq k \leq nm$ gibt an, welches Teilfenster gerade aktiv ist.
Durchnumeriert wird zeilenweise, also $(1,1), (1,2), \ldots$.
Python-Zusatz (mplot3d): Für die mplot3d-Achsen braucht man folgenden subplot:

```
fig.add_subplot(<n>, <m>, <k>, projection='3d')
```

meshgrid

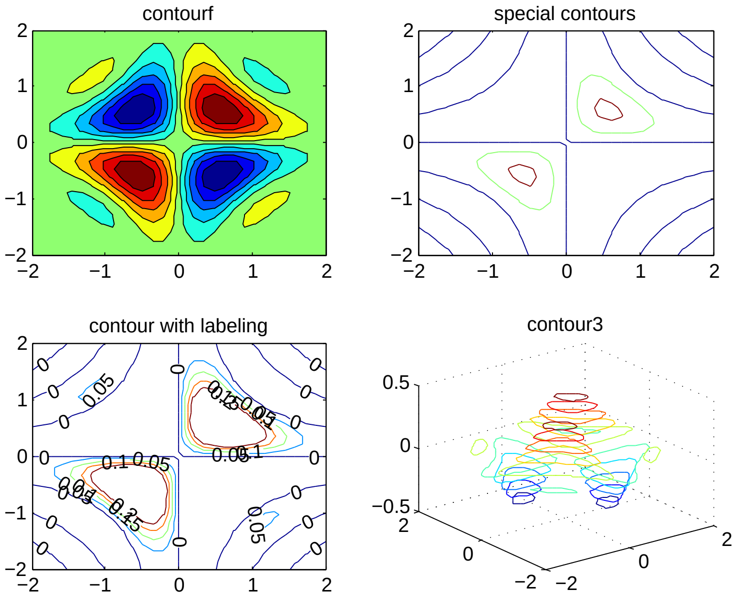
Zu Vektoren $x = (x_i)_{i=1}^{k}$, $y = (y_j)_{j=1}^{n}$ erzeugt

```
[X,Y]=meshgrid(x,y)
```

Matrizen $X, Y \in \mathbb{R}^{n \times k}$, wobei jede Zeile von X eine Kopie des Vektors x ist und Y als Spalten den Vektor y enthält.
Dann hat Z=X.*Y die Komponenten

$$Z(i,j) = x(j) * y(i).$$

Matlab: Contour Plots



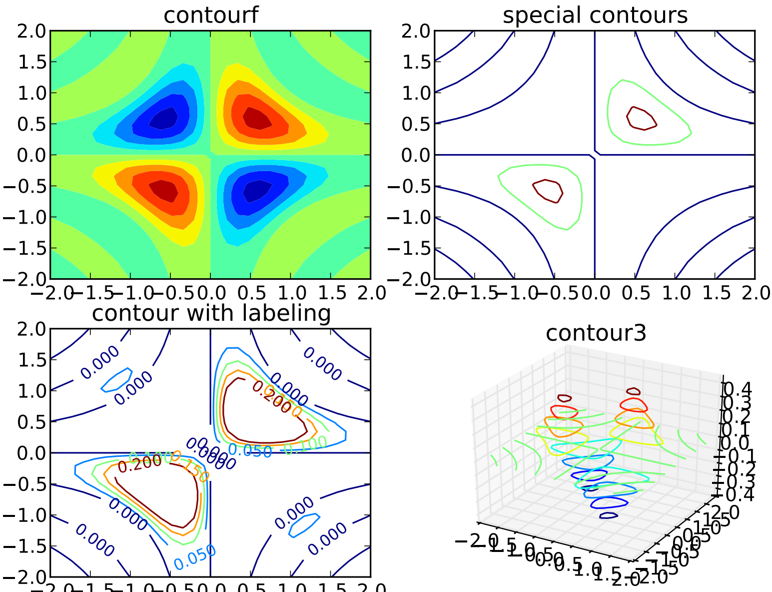
Matlab: Contour Plots - Listing

```
% Erzeugen des Gitters
x=linspace(-2,2,30);
y=linspace(-2,2,30);
[X,Y]=meshgrid(x,y);
% Funktionswerte
Z=exp(-X.^2-Y.^2).*sin(pi*X.*Y);

% verschiedene Darstellungen
subplot(2,2,1),
 contourf(X,Y,Z,10), title('contourf')
subplot(2,2,2),
 contour(X,Y,Z,[0 0.2 0.4]), title('special contours');
subplot(2,2,3),
 [C,h]=contour(X,Y,Z,[0 0.05 0.1 0.15 0.2 ]);
 title('contour with labeling');
 clabel(C,h)
subplot(2,2,4),
  contour3(X,Y,Z,10), title('contour3')
```

Contour-Befehle

- [C,h] = contour(X,Y,Z,n)| C = contour(X,Y,Z,n)
  zeichnet für $n \in \mathbb{N}$ n-Konturlinien. Ist n ein Vektor, werden Konturlinien zu den Werten in dem Vektor n geplottet. (C sind die Konturlinien und h ist das Grafik-handle).
- contourf(X,Y,Z,n)
  funktioniert wie contour nur das die Flächen zwischen den Konturlinien ausgefüllt werden.
- clabel (C,h) (Matlab)| clabel (C, inline =1)(Python)
  beschriftet die Konturlinien, deren Werte in C gespeichert sind und die zum Grafik-Handle h gehören.
- contour3(X,Y,Z,n)| Axes3D.contour(X,Y,Z,n)(Python)
  zeichnet jede Konturlinie auf einer anderen Höhe.

Python: Contour Plots



Python: Contour Plots - Listing

```
# Erzeugen des Gitters
x = linspace(-2,2,30)
y = linspace(-2,2,30)
[X,Y] = meshgrid(x,y)
# Funktionswerte
Z = exp(-X**2-Y**2)*sin(pi*X*Y)
# verschiedene Darstellungen
fig=figure()
subplot(2,2,1)
contourf(X,Y,Z,10), title('contourf')
subplot(2,2,2)
contour(X,Y,Z,[0,0.2,0.4]), title('special contours')
subplot(2,2,3)
CS = contour(X,Y,Z,[0,0.05,0.1,0.15,0.2])
plt.clabel(CS, inline=1, fontsize=10)
title('contour with labeling')
ax = fig.add_subplot(2, 2, 4, projection='3d')
ax.contour(X,Y,Z,10),title('contour3')
```

Matlab: Slice

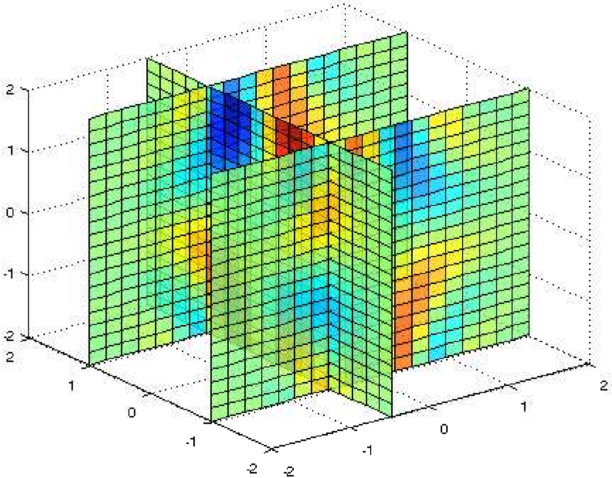
```
slice(X,Y,Z,V,sx,sy,sz)
```

zeichnet Schnitte zu den Funktionswerten $V(i)$ zu $(X(i), Y(i), Z(i))$.
Schnitte sind durch die Vektoren *sx*, *sy* und *sz* gegeben.
Beispiel:

$$f(x, y, z) := \exp(-x^2 - y^2) \sin(\pi xyz)$$

```
x = linspace(-2 ,2 ,20);
[X,Y,Z] = meshgrid (x, x, x) ;
V = exp(-X.^2-Y.^2) .* sin(pi*X.*Y.*Z);
sx = [-0.5  ] ; sy = [ -1, 1 ] ;
sz = [ ] ;
slice (X,Y, Z,V ,sx ,sy ,sz );
alpha (0.8 ) % Transparency
```

Matlab: Beispiel-slice



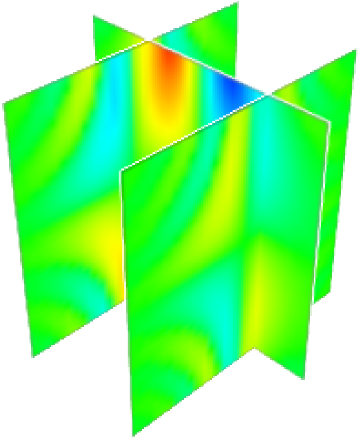
Python: slice (Mayavi mlab)

```
ml.pipeline.image_plane_widget(ml.pipeline.scalar_field(V
    ), plane_orientation=<'x_axes'|'y_axes'|'z_axes'>,
    slice_index=<idx>)
```

- V: Funktionswerte $V(i)$ zu $(X(i), Y(i), Z(i))$.
- plane_orientation : Schnitte durch x-/y-/z-Achse
- slice_index : Index in den Matrizen (keine direkte Koordinaten-Angabe)

```
X, Y, Z = np.ogrid[-2:2:20j,-2:2:20j,-2:2:20j]
V = exp(-X**2-Y**2) * sin(pi*X*Y*Z)
ml.pipeline.image_plane_widget(ml.pipeline.scalar_field(V
    ), plane_orientation='x_axes', slice_index=8)
ml.pipeline.image_plane_widget(ml.pipeline.scalar_field(V
    ), plane_orientation='y_axes', slice_index=5)
ml.pipeline.image_plane_widget(ml.pipeline.scalar_field(V
    ), plane_orientation='y_axes', slice_index=15)
```

Python: Beispiel-slice



Aufbau

1. Rekursionen

2. **Einführung Grafik**
    - einfache zweidimensionale Grafiken
    - Beschriftungen
    - Weitere zweidimensionale Darstellungsmöglichkeiten
    - Dreidimensionale Grafiken
    - Animation

Matlab: Animation-Beispiel

```
% animation.m

clear all;
[X,Y] = meshgrid(-1:0.01:1,-1:0.01:1);

for j = 1:60
    Z = cos(j^0.5*pi*exp(-X.^2-Y.^2));
    %mesh(X,Y,Z);
    surf(X,Y,Z);
    shading interp
    F(j) = getframe;
end
% Abspielen des Movies
movie(F,1);
```

Matlab: Erstellen einer Animation/Videos

- F(j)=getframe
  aktuelle Grafik in das Array *F* speichern.
- movie(F,n,fps)
  Sequenz der Bilder *F* darstellen. wobei *n* die Anzahl der Wiederholungen angibt und *fps* der gezeigten Frames pro Sekunde entspricht (Default: $n = 1$, $fps = 12$).
- movie2avi(F,Dateiname)
  Speichern des Movies in AVI Format:

Python: Animation-Beispiel

```
[X,Y] = meshgrid(arange(-1,1,0.05),arange(-1,1,0.05))
fig = figure()
ax = Axes3D(fig)

for j in arange(1,50):
    Z = cos(j**0.5*pi*exp(-X**2-Y**2))
    ax.plot_surface(X,Y,Z,rstride=1,cstride=1,cmap=cm.jet
        ,linewidth=0)
    ax.grid(b=False)
    fname = '/scratch/jschulz1/_tmp{:05d}.png'.format(j)
    fig.savefig(fname)
    ax.cla()

print ("creating movie")
CreateMovie('/scratch/jschulz1/','course', 10)
```