

Einführung in Matlab - Einheit 1

Streifzug durch Matlab, Vektoren und Matrizen

Jochen Schulz

Georg-August Universität Göttingen 

- Anmeldung über StudIP
<https://www.studip.uni-goettingen.de/>
Einführung in Matlab (Mathematische Anwendersysteme)
- Alle Unterlagen (Aufgabenblätter, Vorlesungsfolien, Beispiele, Musterlösungen) → StudIP

- Anmeldung über StudIP
<https://www.studip.uni-goettingen.de/>
[Einführung in Matlab \(Mathematische Anwendersysteme\)](#)
- Alle Unterlagen (Aufgabenblätter, Vorlesungsfolien, Beispiele, Musterlösungen) → StudIP

Dozent

Jochen Schulz

NAM, Zimmer 04 (Erdgeschoß)

Telefon: 39-4525

Email: schulz@math.uni-goettingen.de

XMPP: [schulz@jabber.num.math.uni-goettingen.de](xmpp:schulz@jabber.num.math.uni-goettingen.de)

Ablauf der Veranstaltung

- Blockveranstaltung vom 12.9 - 23.9.2011
- **Vorlesung:** 9.15 - 11.30 (MN)
- **Übungsbetrieb/Praktikum:** 13:00 - 18:00 (MM-Raum oder NAM-CIP)
 - 1 Übungszettel/Tag.
 - Besprechung Aufgaben vom Vortag
 - Hilfestellung beim Bearbeiten der aktuellen Aufgaben
- **Klausur:** 30.9.2011 (?); 10:00 - 11:30; Anmeldung über FlexNow.

Inhalt der Vorlesung

1. **Tag** Organisatorisches, Streifzug durch Matlab
2. **Tag** Programmieren, Datenstrukturen
3. **Tag** Rekursionen, Grafik
4. **Tag** Polynome, Interpolation, Visualisieren, Debugging
5. **Tag** Mehrdimensionale Arrays, Funktionen, Numerische Lineare Algebra, Dünnbesetzte Matrizen
6. **Tag** Numerische Mathematik, Profiler
7. **Tag** Grafik-Handle, GUIs
8. **Tag** Schnittstelle zu C
9. **Tag** Wunschvorlesung
10. **Tag** Fragestunde

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

- MATLAB steht für **Mat**rix **lab**oratory; ursprünglich speziell Matrizenrechnung.
- Entwickelt von Cleve Moler Ende der 70'er in FORTRAN.
- Heutige Version ist in C/C++ programmiert.
- Interaktives System für numerische Berechnungen und Visualisierungen.
- Kein Computer-Algebra-System (Aber erweiterbar durch `symbolic math toolbox`)

Vorteile von MATLAB

- *High-Level* Sprache:
 - Programmieren ist leicht (aber auch beschränkt(er))
 - Schnelle Erfolge
 - Sehr geeignet für Prototyping und Debugging
- Vielfältige Visualisierungsmöglichkeiten.
- MATLAB-Programme sind vollständig portierbar zwischen Architekturen (cross-plattform).
- zusätzliche Toolboxes (Symb. Math T., PDE T., Wavelet T.)
- Ausgereifte Oberfläche.



Matlab online-help :-).



Matlab Guide, D.J. Higham, N.J. Higham, SIAM, 2000,



Introduction to Scientific Computing, C.F. van Loan, Prentice Hall, New Jersey, 1997,



Scientific Computing with MATLAB, A. Quarteroni, F. Saleri, Springer, 2003,



Graphics and GUIs with MATLAB, P. Marchand, O.Th. Holland, Chapman & Hall, 2003, 3. Aufl.



MATLAB 7, C. Überhuber, St. Katzenbeisser, D. Praetorius, Springer 2005.



Using MATLAB, offizielle Handbücher.

1 Streifzug durch MATLAB

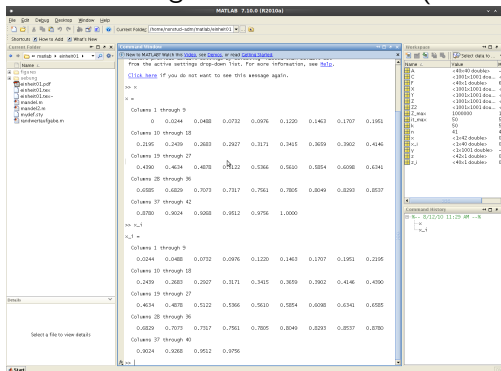
- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

MATLAB Fenster-Aufbau

Starten von MATLAB: Eingabe von `matlab` & (in einem Terminal).



- **Launch Pad:** Startmenü
- **Command Window:** Befehlseingabe und Standardausgabe

- **Workspace:** Ansicht von Variablen und deren Art und Grösse; Ändern der Einträge
- **Grafik:** normalerweise in separaten Fenstern

Command Window - Befehle

- Erster Befehl

```
>> 2+2  
ans = 4
```

- Editieren alter Eingaben: ↑, ↓ (wie in Unix)
- Mit ; am Ende jeder Befehlszeile wird Standardausgabe unterdrückt.

```
>> 2+2;
```

- Hilfe zu Befehlen: `help <command>` oder `doc <command>`
- Zuweisung

```
>> a = 2+2;
```

- Funktionsaufruf

```
>> sin(2)  
ans = 0.9093
```

- Verlassen von MATLAB: `quit` oder `exit`

Workspace - globale Variablen

- Alle definierten (globalen) Variablen werden im Workspace gespeichert.
- Zugriff während einer MATLAB-Sitzung.
- Inhalt des Arbeitsspeichers: `whos` oder `who`

```
>> whos
```

Name	Size	Bytes	Class
ans	1x1	8	double

- Löschen von Variablen : `clear <var>;`
`clear` löscht den gesamten Arbeitsspeicher (Workspace).

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Erste Schritte

- MATLAB als Taschenrechner
(Ergebnis wird in `ans` gespeichert.)

```
>> 1+(sin(pi/2)+ exp(2))*0.5  
ans = 5.1945
```

- Eingabe von (Zeilen-)Vektoren

```
>> x = [1 2 3]
```

- Transponieren und speichern in Variable `b`

```
>> b = transpose(x)
```

Erste Schritte II

- Erzeugen einer Matrix

```
A = [0 2 3 ; 4 5 6; 7 8 9];
```

- Lösen des Gleichungssystems $A \cdot z = b$

```
z = A \ b
```

- Probe

```
A*z
```

Erste Schritte III

- Berechnen der Determinante von A

```
det(A)
```

- Hilfe zu `det`

```
help det
```

```
DET      Determinant.
```

```
DET(X) is the determinant of the square matrix X.
```

```
Use COND instead of DET to test for matrix  
singularity.
```

- Erzeugen einer Einheitsmatrix

```
B = eye(3,3)
```

Erste Schritte IV

- Matrizenoperationen

$A+B$, $A-B$, $A*B$, $\text{inv}(A)$

- Anwendung von Vektoren

$y = \text{sqrt}(x)$

$y =$

1.0000

1.4142

1.7321

Erste Schritte V

- Komponentenweise Multiplikation

```
y = x.*x
```

y =
1 4 9

- Zeilenvektor mit Werten von 1 bis 100

```
a = [1:100];
```

- Berechne $\sum_{j=1}^{100} \frac{1}{j^2}$

```
(1./a)*transpose(1./a)
```

ans = 1.6350

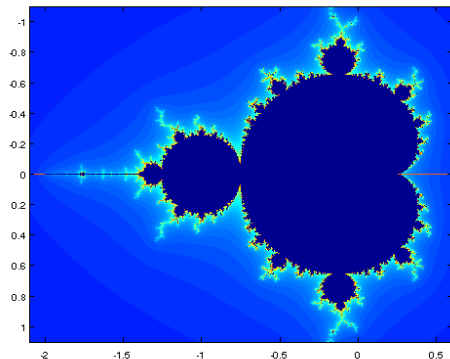
1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Die Mandelbrot-Menge



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

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

definiert ist, beschränkt ist.

Die Mandelbrot-Menge

```
x = linspace(-2.1,0.6,601);  
y = linspace(-1.1,1.1,401);  
  
[X,Y] = meshgrid(x,y);  
C = complex(X,Y);  
  
it_max = 50;  
  
Z = C; Anz = zeros(size(Z));  
  
for k = 1:it_max  
    Z = Z.^2+C;  
    Anz = Anz + isfinite(Z);  
    waitbar(k/it_max);  
end  
image(x,y,Anz);  
title('Mandelbrot Set', 'FontSize',16);
```


Verwendete Befehle

- `linspace(a,b,n)`
ist ein Vektor mit n Einträgen der Form $a, a + (b - a)/(n - 1), \dots, b$
- `[X,Y] = meshgrid(x,y)`
erzeugt Matrizen

$$X = \begin{pmatrix} x_1 & \dots & x_n \\ & \vdots & \\ x_1 & \dots & x_n \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 & \dots & y_1 \\ & \vdots & \\ y_n & \dots & y_n \end{pmatrix}$$

- `C = complex(X,Y)`
erzeugt $C = (C(j, k))_{jk}$ mit $C(j, k) = X(j, k) + i Y(j, k)$

Verwendete Befehle

- `B = isfinite(A)`
Matrix B hat gleiche Größe wie A . Die Einträge sind 1, wenn der entsprechende Eintrag von B finit ist und 0 sonst.
- `image(x,y,A)`
erzeugt eine Grafik auf der Basis des Gitters (x,y) mit Werten A .
Durch den entsprechenden Eintrag von A wird die Farbe bestimmt.
- `title`
Überschrift der Grafik.
- `for, end`
Schleife (Details später).

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Probleme beim Mandelbrot:

- Bei jeder Änderung von z.B. `it_max` muss alles erneut im interaktiven Modus eingegeben werden.
- Abrufen der Befehle bei späteren Sitzungen ist kaum möglich.
- Bei komplexen Algorithmen wird es unübersichtlich.

Ausweg: Die Befehlsfolge wird in einer Datei abgelegt. MATLAB arbeitet dann sukzessive die einzelnen Kommandos ab.

Erzeugen eines Programms

- Starten des Editors:

```
edit datei_name
```

öffnet die Datei `datei_name`.

- Speichern der Datei mit Hilfe des Menüs: `File->Save` bzw. `File->Save As` oder per Shortcut.
- Kommentarzeilen beginnen mit `%`.

Achtung: Alle MATLAB-Dateien haben die Endung `'.m'`. Man spricht deswegen auch von *m*-Files.

Struktur von Skript-Files

- Skript-Files bestehen aus einer Sequenz von Befehlen, die nacheinander abgearbeitet werden.
- Am Anfang des Files als Kommentar:
 - Name des Programms
 - (kurze) Beschreibung
 - Autor-Informationen und Datum
- operiert auf Daten im *Workspace*.
- Gestartet wird das Programm `name.m` durch Eingabe von `name`.
- Beschreibung des Skript-Files:

```
help plot_poly
```

```
-----  
      plot_poly.m  
zeichnet den Graphen eines Polynoms  
Gerd Rabin           1.11.2003  
-----
```

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- **Function-Files**
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Functions - Graph eines Polynoms

Aufgabe:

Zeichnen Sie den Graphen eines Polynoms

$$p(x) = \sum_{i=0}^N a_i x^i, \quad a_i \in \mathbb{R}$$

Problem:

Zu Werten $(x_i)_{i=1}^n$ muß man $(p(x_i))_{i=1}^n$ berechnen, d.h. Funktionswerte müssen sehr oft berechnet werden.

Lösung:

Funktionen

Skalare Version

```
function y=ausw_poly1(a,x)
%-----
% ausw_poly berechnet den Funktionswert von
%       $p(x)=a_1 + a_2 x + a_3 x^2 + \dots + a_n x^{(n-1)}$ 
%      INPUT:  a Vektor der Koeffizienten
%              x auszuwertender Punkt
%      OUTPUT: y Funktionswert ( $y=p(x)$ )
%      Gerd Rapin      1.11.2003
%-----

n = length(a);
aux_vector = x.^(0:n-1);
y = aux_vector*transpose(a);
```

Vektorielle Version

```
function y = ausw_poly2(a,x)
%-----
% ausw_poly berechnet den Funktionswert von
%            $p(x)=a_1 + a_2 x + a_3 x^2 + \dots + a_n x^{(n-1)}$ 
%           INPUT:  a Vektor der Koeffizienten
%                   x Vektor der auszuwertenden Punkte
%           OUTPUT: y Vektor der Funktionswerte
%   Gerd Rapin      1.11.2003
%-----

n = length(a);
k = length(x);
A = repmat(transpose(x),1,n);
B = repmat(0:(n-1),k,1);

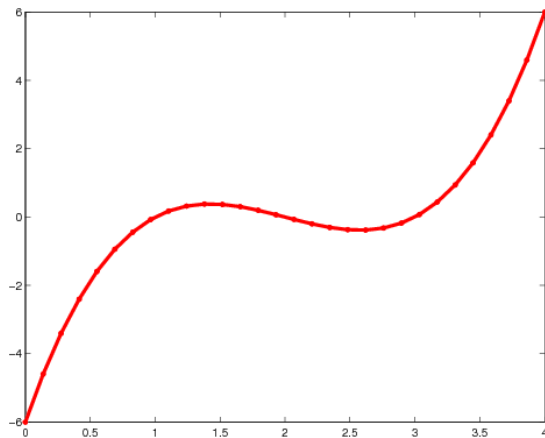
y = (A.^B)*transpose(a);
```

Plotten des Polynoms

```
%-----  
%      plot_poly.m  
%  
%   zeichnet den Graphen eines Polynoms  
%  
%  
%   Gerd Rapin              1.11.2003  
%-----  
  
% Koeffizienten  
a = [9 0 -10 0 1];  
  
x = linspace(0,4,30); % Betrachte [0,4]  
y = ausw_poly2(a,x);  
  
% Plotten  
plot(x,y,'r*-','LineWidth',3,'MarkerSize',4)
```

Plotten des Polynoms

$$p(x) = (x-1)(x-2)(x-3)$$



Struktur von Function-Files

Beispiel: 'myfunction.m'

```
function [Out_1,...,Out_k] = myfunction(In_1,...,In_l)
% Beschreibung der Funktion
..
Out_1=..
..
Out_k=..
```

Soll keine Variable zurückgegeben werden, so besteht die erste Zeile aus

```
function myfunction(In_1,...,In_k)
```

Wichtig: Funktionsname = Dateiname.

- Funktionen sind mit Kommentaren zu versehen:
 - (kurze) Beschreibung
 - Input-Argumente
 - Output-Argumente
 - Autor-Informationen und Datum
- Variablen lokal, d.h.
 - Variablen des Workspace sind nicht verfügbar.
 - definierte Variablen werden nicht im Workspace gespeichert.

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Priorität beim Programmaufruf

Beispiel-Programmaufruf

name

Testet ob, ..

- 1 Variable
- 2 Unterfunktion. Eine Unterfunktion ist ein Programm/Funktion, die in derselben Datei wie der Aufruf steht.
- 3 Programm im aktuellen Verzeichnis.
- 4 *private function*.
- 5 Programm im Suchpfad.

Bei gefundenem Namen wird die Suche beendet.

Der Suchpfad (Variable `path`) enthält Verzeichnisse in einer geordneten Liste.

- Abarbeitung erfolgt der Ordnung gemäss.
- Suchpfade hinzufügen:

```
addpath <pfadname>
```

- Suchpfade entfernen:

```
rmpath <pfadname>
```

Verwalten von m-Files

- `doc <name>`
öffnet grafisches Hilfefenster zum jeweiligen Programm.
- `lookfor <name>`
Suche nach `name` in den Kommentaren zu den Funktionen (auch: grafisches Hilfefenster).
- `what`
m-Files im aktuellen Verzeichnis.
- `type <name>`
Inhalt von `name.m` (Command Window).
- `which <name>`
absoluter Pfad der Datei, in dem die Funktion `name` gespeichert ist.
- `edit <name>`
Ruft den Editor mit `name.m` auf.

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Vektoren I

- Erzeugen 'per Hand'

```
b = [1 2 4]
```

```
b =  
    1    2    4
```

- Abfragen der Einträge von b

```
b(2)
```

```
ans =    2
```

Index \equiv Position im Vektor

Achtung: Indizes beginnen immer mit 1!

Doppelpunkt - Notation

`x:s:z` erzeugt einen Vektor der Form

$$(x, x + s, x + 2s, x + 3s, \dots, z).$$

```
>> a = 2:11
a =
    2    3    4    5    6    7    8    9   10   11

>> c = -2:0.75:1
c =
-2.0000 -1.2500 -0.5000  0.2500  1.0000
```

Vektoren II

- `length(a)`
Länge des Vektors a an.

- `linspace(x1,x2,N)`
Vektor

$$x_1, x_1 + \frac{x_2 - x_1}{N-1}, x_1 + 2\frac{x_2 - x_1}{N-1}, \dots, x_2$$

der Länge N .

```
linspace(1,2,4)
```

```
ans =  
    1.0000    1.3333    1.6667    2.0000
```

- `logspace(x1,x2,N)`
wie `linspace`, nur logarith. Skalierung

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Erzeugen von Matrizen

- Erzeugen 'per Hand'

```
B = [1 3 4; 5 6 7]
```

B =

1	3	4
5	6	7

- `eye(n,m)`
($n \times m$)-EinheitsMatrix)

```
eye(2,3)
```

ans =

1	0	0
0	1	0

(1 auf der Hauptdiagonalen und 0 sonst).

Erzeugen von Matrizen II

- `zeros(n,m)`
($n \times m$)- Matrix mit 0 als Einträge.
- `ones(n,m)`
($n \times m$)- Matrix mit 1 als Einträge.
- Blockmatrizen

```
C = [B zeros(2,2); eye(2,3) eye(2,2)]
```

C =

1	3	4	0	0
5	6	7	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	0	1

Achtung: Matrizen in einer Zeile müssen dieselbe Zeilenanzahl haben und Matrizen in einer Spalte dieselbe Spaltenanzahl.

Erzeugen von Matrizen III

- `repmat(A,n,m)`

Blockmatrix mit $(n \times m)$ aus A bestehenden Blöcken

```
D = repmat(B,1,2)
```

D =

1	3	4	1	3	4
5	6	7	5	6	7

- `blkdiag(A,B)`

Blockdiagonalmatrix.

- `diag(v,k)`

Matrix der Größe $(n + |k|) \times (n + |k|)$ mit den Einträgen des Vektors v (Länge n) auf der k -ten Nebendiagonalen.

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Beispiel-Matrizen

- Überblick: `help gallery`
- Beispiel

```
E = gallery('moler',4)
```

E =

1	-1	-1	-1
-1	2	0	0
-1	0	3	1
-1	0	1	4

- Hilfe zur Matrix 'moler' erhält man durch `help private/moler`
- weitere Matrizen: `magic`, `hilb`, `vander`

Zugriff auf Matrizen

```
A = [1 2 3; 4 5 6; 7 8 9]
```

A =

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Abfragen eines Eintrags

```
>> A(2,1)
ans =
     4
```

Abfrage von Blöcken

```
>> A(2:3,1:2)
ans =
     4     5
     7     8
```

Abfrage einer Zeile

```
>> A(2,:)
ans =
     4     5     6
```

Abfrage mehrerer Zeilen

```
>> A([1 3], :)
ans =
     1     2     3
     7     8     9
```

Löschen

```
A = [ 1 2 3; 4 5 6; 7 8 9]
```

A =

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Löschen einer Zeile

```
>> A(2,:) = []
```

A =

1	2	3
7	8	9

Löschen von Spalten

```
> A(:, [1 3]) = []
```

A =

2
5
8

1 Streifzug durch MATLAB

- Einleitung
- Grundlegende Bedienung
- Erste Schritte
- Etwas komplexeres Beispiel
- Skript-Files und der Editor
- Function-Files
- Verwaltung von Dateien

2 Vektoren und Matrizen

- Erzeugen von Vektoren
- Erzeugen von Matrizen
- Manipulation von Matrizen
- Matrix- und Vektoroperationen

Matrizenoperationen

Standard-Matrix Operationen $+$, $-$, $*$

```
A = [1 2; 3 4]; B = 2*ones(2,2);
```

Multiplikation

```
>> A*B
```

```
ans =
```

```
     6     6
    14    14
```

Addition

```
>> A+B
```

```
ans =
```

```
     3     4
     5     6
```

Subtraktion

```
>> A-B
```

```
ans =
```

```
    -1     0
     1     2
```

Andere Operatoren

- $A \setminus B$
Lösung X von $A * X = B$.
- A / B
Lösung X von $X * A = B$.
- $\text{inv}(A)$
Inverse von A .
- A'
oder $\text{ctranspose}(A)$: komplex Transponierte von A .
- $A.'$
oder $\text{transpose}(A)$: Transponierte von A .
- A^z
(quadratische Matrizen) $\underbrace{A * A * \dots * A}_{z\text{-mal}}$
- $\text{size}(A)$
Größe einer Matrix A .

Punktnotation

```
A = [1 2; 3 4]; B = 2*ones(2,2);
```

- $C(i,j) = A(i,j) * B(i,j)$.

```
>> C = A.*B
```

```
C =
```

```
     2     4
     6     8
```

- $C(i,j) = A(i,j)/B(i,j)$.

```
>> C = A./B
```

```
C =
```

```
    0.5000    1.0000
    1.5000    2.0000
```

Punktnotation

- $C(i,j) = B(i,j)/A(i,j)$.

```
>> C = A.\B
C =
    2.0000    1.0000
    0.6667    0.5000
```

- $C(i,j) = A(i,j)^{B(i,j)}$

```
>> C = A.^B
C =
     1     4
     9    16
```

Achtung: Dimension von A und B gleich.

Matrizen können durch Skalare ersetzt werden, z.B. $A.^2$.

Skalarprodukt

- Vektoren $a = (a_1, \dots, a_n)$, $b = (b_1, \dots, b_n)$
- Skalarprodukt: ab^t
- Summe der Einträge von a : $(1, \dots, 1)a^t$

Beispiel:

```
>> a=1:100; b=linspace(0,1,100);  
>> a*transpose(b)  
ans =  
    3.3667e+03  
>> ones(1,100)*transpose(a)  
ans =  
    5050
```