

# 1 Allgemeines

## 1.1 Gruppen

Brauchen:

- Assoziativität:  $a \circ (b \circ c) = (a \circ b) \circ c$
- neutrales Element:  $\exists e \in G, a \circ e = a$
- inverses Element:  $\exists a^{-1} \in G, a \circ a^{-1} = e$
- Kommutativität:  $a \circ b = b \circ a$

### 1.1.1 Untergruppen

Brauchen:

- $U \subseteq G$
- $U$  ist eine Gruppe (siehe Gruppe)

## 1.2 Potenzgesetze

$$\begin{aligned} a^m \cdot a^n &= a^{m+n} & \frac{a^n}{b^n} &= \left(\frac{a}{b}\right)^n \\ a^n \cdot b^n &= (ab)^n & (a^n)^m &= a^{mn} \\ \frac{a^n}{a^m} &= a^{n-m} & a^{-n} &= \frac{1}{a^n} \\ & & \log_b(1) &= 0 \end{aligned}$$

## 1.3 Logarithmus-Gesetze

$$\begin{aligned} x &= \log_a(y) \Leftrightarrow y = a^x \\ \log(x) + \log(y) &= \log(xy) \\ \log(x) - \log(y) &= \log\left(\frac{x}{y}\right) \\ \log_a(x) &= \frac{\log_b(x)}{\log_b(a)} \\ \log(u^r) &= r \cdot \ln(u) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ln(1) &= 0 & \ln(e^x) &= x \\ \ln(e) &= 1 & e^{\ln(x)} &= x \end{aligned}$$

## 1.4 Komplexe Zahlen

$$\begin{aligned} (a+bi) \pm (c+di) &= (a \pm c) + (b \pm d)i \\ (a+bi) \cdot (c+di) &= (ac-bd) + (ad+bc)i \end{aligned}$$

$$\frac{a+bi}{c+di} = \frac{ac+bd}{c^2+d^2} + \frac{cb-ad}{c^2+d^2}i$$

## 1.5 Nett to know

- $e^x$  hat keine Nullstelle

- $\log(\sqrt{x}) = \frac{\log(x)}{2}$
- $\log_a(b) = c \rightarrow a^c = b$
- $\log_x(b^x) = x$

## 2 Permutationen

Ausführliche Darstellung:  $\pi_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 2 & 1 & 5 & 4 \end{pmatrix}$   
Zyklische Darstellung:  $\pi_1 = (13)(45)$   
Komposition von Hinten anfangen:  
e.g.  $\pi_1 \circ \pi_2 = (13)(45) \circ (2534) = (34521)$   
Bei  $\pi^{-1}$ : Zeilen vertauschen.

## 3 Determinanten, Eigenwerte, Eigenvektoren

### 3.1 Determinante

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \quad \det(A) = (2 \cdot 1) - (5 \cdot 3) = -13$$

3x3-Matrix:

$$\det(B) = a_{11}a_{22}a_{33} + a_{12}a_{23}a_{31} + a_{13}a_{21}a_{32} - a_{13}a_{22}a_{31} - a_{11}a_{23}a_{32} - a_{12}a_{21}a_{33}$$

#### 3.1.1 Gauss

Wenn eine Matrix in Dreiecksform ist, dann kann ihre Determinante an ihrer Hauptdiagonalen abgelesen werden.  
Wenn eine Zeile der Matrix multipliziert wird, muss die Determinante mit dem Kehrwert multipliziert werden.

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} \quad G' = \begin{pmatrix} 2 & 4 & 6 \\ 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

$$\rightarrow \det(G) = \frac{1}{2} \det(G')$$

### 3.2 Eigenwert

$$\det(A - E\lambda) = \begin{vmatrix} 2-\lambda & 3 \\ 5 & 1-\lambda \end{vmatrix} = (2-\lambda)(1-\lambda) - 5 \cdot 3 = \lambda^2 - 3\lambda + 2 - 15 = \lambda^2 - 3\lambda - 13$$

pq-Formel und gib ihm:  $-\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$

### 3.3 Eigenvektor

Für jeden Eigenwert kann man einen Eigenvektor aufstellen, indem man folgende Gleichung löst:  
 $(A - \lambda_i E) \cdot \vec{x} = 0$   
 $\vec{x}$  ist der Eigenvektor.

### 3.4 Eigenraum

Die Kombination aller Eigenvektoren zu einer Matrix ergibt den Eigenraum.

### 3.5 Diagonalmatrix

$$D = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix}$$

### 3.6 Ähnliche Matrizen

Zwei Matrizen  $A, B$  sind sich ähnlich, wenn es eine Matrix  $S$  gibt, dass gilt:  
 $S \cdot B = A \cdot S$

## 4 Folgen

$a_n < a(n+1) \rightarrow$  streng monoton steigend.  
 $a_n > a(n+1) \rightarrow$  streng monoton fallend.

Wenn es ein  $C \in \mathbb{R}$  gibt, für das gilt, dass  $a_n < C$ , dann ist die Funktion nach Oben beschränkt.  
Wenn es ein  $c \in \mathbb{R}$  gibt, für das gilt, dass  $a_n > c$ , dann ist die Funktion nach Unten beschränkt.

Wenn es ein  $m \in \mathbb{R}$  gibt, für das gilt, dass  $|a_n| < m$ , dann ist die Funktion beschränkt.

### 4.1 Konvergenz und Divergenz

Eine Folge  $a_n$  gilt als konvergent gegen  $a \in \mathbb{R}$ , wenn es für eine reelle Zahl  $\varepsilon > 0$  einen Folgeindex  $n_0$  gibt, so dass die Folgenglieder  $n > n_0$  in dem Intervall  $[a - \varepsilon, a + \varepsilon]$  liegt.  
 $\rightarrow |a_n - a| < \varepsilon$

Eine Folge heißt konvergent, wenn es einen eindeutigen Grenzwert gibt.  
Eine Folge heißt divergent, wenn sie nicht konvergiert.  
Eine Folge heißt bestimmt divergent, wenn für die Folge  $a_n$  gilt, dass  $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{a_n} = 0$  gilt. In diesem Fall konvergiert die Folge gegen  $\infty$ .

### 4.2 l'Hospital

Hospital kann angewendet werden bei:  
 $\frac{0}{0}, 0 \cdot \infty, \infty - \infty, \frac{\infty}{\infty}, 0^0, \infty^0, 1^\infty$   
Wenn kein Quotient gegeben ist, muss dieser durch Umformung erreicht werden - in Übung nicht behandelt.  
 $\lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f(x)}{g(x)} = c \rightarrow \lim_{x \rightarrow x_0} \frac{f'(x)}{g'(x)} = c$

## 5 Reihen

### 5.1 Partialsumme

$$\sum_{k=0}^{\infty} a_k = a_0 + a_1 + \dots$$

### 5.2 Konvergenzkriterium

#### 5.2.1 Leibnitz-Kriterium

$\sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k a_k$  konvergiert, wenn  $a_k$  eine konvergierende Nullfolge, also gegen 0 konvergiert.

### 5.2.2 Majoranten- und Minoranten-Kriterium

Wenn es eine konvergente Reihe  $\sum_{k=0}^{\infty} b_k$  gibt und  $a_k \leq b_k$  für alle  $k \geq k_0$  gilt, dann ist die Reihe  $\sum_{k=0}^{\infty} a_k$  ebenfalls eine konvergente Reihe.

Wenn es eine divergente Reihe  $\sum_{k=0}^{\infty} b_k$  gibt, und  $|a_k| \geq b_k \geq 0$  gilt, dann ist die Reihe  $\sum_{k=0}^{\infty} a_k$  ebenfalls eine divergente Reihe.  
 $\frac{1}{2}$  ist divergent.  
 $\frac{1}{k^x}$  ist konvergent.

### 5.2.3 Quotientenkriterium

Wenn es eine Zahl  $q < 1$  und ein  $k_0 \geq \mathbb{N}_0$  gibt, so dass  $\left| \frac{a_{k+1}}{a_k} \right| \leq q$  für alle  $k > k_0$ .  
Wenn unter den gleichen Voraussetzungen  $\left| \frac{a_{k+1}}{a_k} \right| > 1$  gilt, dann ist die Reihe divergent.

## 6 Differenzialrechnung

### 6.1 Differenzierbarkeit

Eine Funktion  $f(x)$  ist differenzierbar an der Stelle  $x^*$ , wenn der Grenzwert von  $\lim_{x \rightarrow x^*} \frac{f(x) - f(x^*)}{x - x^*}$  existiert.

### 6.2 typische Ableitungen

$$\begin{aligned} (x)' &= 1 & (a^x)' &= a^x \cdot \ln(a) \\ (ax)' &= a & \ln(x)' &= \frac{1}{x} \\ (ax^2)' &= 2ax & (\sin x)' &= \cos x \\ \left(\frac{1}{x}\right)' &= -\frac{1}{x^2} & (\cos x)' &= -\sin x \\ (\sqrt{x})' &= \frac{1}{2\sqrt{x}} & (\tan x)' &= \frac{1}{(\cos x)^2} \\ (ax^b)' &= abx^{b-1} & (e^x)' &= e^x \end{aligned}$$

### 6.3 Verknüpfungsfunktionen

Summenregel:  $(f(x) + g(x))' = f'(x) + g'(x)$   
Produktregel:  $(f(x)g(x))' = f'(x)g(x) + f(x)g'(x)$

$$f(x)'g(x) + g(x)'f(x)$$

Quotientenregel:

$$\left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)' =$$

die linke Seite angenähert.

Notierung:  $\lim_{x \rightarrow x^*}$

$$\frac{f(x)'g(x) - g(x)'f(x)}{g(x)^2}$$

Kettenregel:

$$(f(g(x)))' =$$

Asymptotisches Verhalten wird als Grenzwert einer Funktion gegen  $\pm\infty$  definiert.

$$f(g(x))'g(x)'$$

## 7.4 Stetigkeit

Eine Funktion ist an der Stelle  $x^*$  stetig, wenn gilt:

$$\lim_{x \rightarrow x^*+} f(x) = \lim_{x \rightarrow x^*-} f(x) = f(x^*)$$

Wird eine stetige Funktion mit einer anderen stetigen Funktion addiert, subtrahiert, multipliziert oder dividiert, dann ist die resultierende Funktion ebenfalls stetig.

Wenn eine stetige Funktion vervielfacht wird, dann ist die resultierende Funktion wieder stetig.

## 7 Funktionen

### 7.1 Monotonie

Wenn  $f(x) > f(y)$  für alle  $x > y$  gilt, dann ist die Funktion monoton wachsend.

Wenn  $f(x) < f(y)$  für alle  $x < y$  gilt, dann ist die Funktion monoton fallend.

Wenn eine Bedingung nur " $\leq$ " oder " $\geq$ " ist, dann fällt das monoton weg.

### 7.2 Ungerade und gerade Funktionen

Wenn gilt, dass  $f(x) = f(-x)$  ist, dann ist die Funktion gerade.

Daraus folgt, dass die Funktion achsensymmetrisch zur y-Achse ist.

Wenn gilt, dass  $f(-x) = -f(x)$  ist, dann ist die Funktion ungerade.

Daraus folgt, dass die Funktion punktsymmetrisch zum Ursprung ist.

### 7.3 Grenzwerte

Grenzwerte von Funktionen werden über den  $\lim$  gebildet. Rechtsseitiger Grenzwert wird über die rechte Seite angenähert.

Notierung:  $\lim_{x \rightarrow x^*+}$

Linksseitiger Grenzwert wird über

## 11 Sin. Cos. Tan. Tabelle

| $x$  | 0 | $\frac{1}{6}\pi$     | $\frac{1}{4}\pi$     | $\frac{1}{3}\pi$     | $\frac{1}{2}\pi$ | $\frac{2}{3}\pi$     | $\frac{3}{4}\pi$      | $\frac{5}{6}\pi$      | $\pi$ | $\frac{7}{6}\pi$      |
|------|---|----------------------|----------------------|----------------------|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|-----------------------|
| Grad | 0 | 30                   | 45                   | 60                   | 90               | 120                  | 135                   | 150                   | 180   | 210                   |
| sin  | 0 | $\frac{1}{2}$        | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | 1                | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$  | $\frac{1}{2}$         | 0     | $-\frac{1}{2}$        |
| cos  | 1 | $\frac{\sqrt{3}}{2}$ | $\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $\frac{1}{2}$        | 0                | $-\frac{1}{2}$       | $-\frac{\sqrt{2}}{2}$ | $-\frac{\sqrt{3}}{2}$ | -1    | $-\frac{\sqrt{3}}{2}$ |
| tan  | 0 | $\frac{\sqrt{3}}{3}$ | 1                    | $\sqrt{3}$           | $\pm\infty$      | $-\sqrt{3}$          | -1                    | $-\frac{\sqrt{3}}{3}$ | 0     | $\frac{\sqrt{3}}{3}$  |

Sattelpunkt:  $f''(x) = 0$  und  $f'''(x) = 0$ .

• Verhalten im Unendlichen  $\rightarrow \lim$  für + und - Unendlich.

Monoton steigend:  $f'(x) > 0$

Monoton fallend:  $f'(x) < 0$

Konkav:  $f''(x) < 0$ .

Konvex:  $f''(x) > 0$ .

Positiv Definit:  $\forall \lambda > 0 \rightarrow$  Minimum

Negativ Definit:  $\forall \lambda < 0 \rightarrow$  Maximum

indefinit  $\rightarrow$  Sattelpunkt

semidefinit  $\rightarrow$  B um A

## 8 Taylor-Reihe

Die allgemeine Form der Taylor-Reihe einer Funktion  $f(x)$ , welche mindestens n-mal differenzierbar ist, ist:

$$T_n(x, x_e) = \sum_{k=0}^n \frac{f^{(k)}(x_e)}{k!} (x - x_e)^k.$$

$T_1(x)$  ist die Tangente an der Stelle  $x^*$ .

Das Restglied  $R_n$  wird durch Differenz der Funktion und dem Taylorpolynom gebildet.  $R_n(x) = f(x) - T_n(x)$

$$R_n(x, x_n e) = \frac{f^{(n+1)}(c)}{(n+1)!} * (x - x_e)^{n+1}$$

## 9 Integralrechnung

$$\int_a^b f(x) dx = [F(x)]_a^b = F(b) - F(a)$$

$$F'(x) = f(x)$$

$e^{foo}$  u.ä. muss vorher substituiert werden!

Funktion      Aufleitung

$$\begin{array}{ll} c & c \cdot x \\ x^a, a \neq -1 & \frac{x^{a+1}}{a+1} \\ x^{-1}, x \neq 0 & \ln(|x|) \\ e^x & e^x \\ a^x & \frac{a^x}{\ln(a)} \\ \sin(x) & -\cos(x) \\ \cos(x) & \sin(x) \end{array}$$

## 9.1 Partielle Integration

Wenn  $u$  und  $v$  zwei differenzierbare Funktionen sind, dann gilt:

$$\int u' * v = (u * v) - \int u * v'$$

## 9.2 Substitutionsregel

$$\int f(g(x)) * g'(x) dx = \int f(y) dy$$

$$\int \frac{1}{5x-7} dx = ?$$

$$z = 5x - 7$$

$$\frac{dz}{dx} = 5$$

$$\frac{dz}{5} = dx$$

$$\int \frac{1 * dz}{z * 5} = \frac{1}{5} \int \frac{1}{z} dz$$

$$= \frac{1}{5} \ln(z)$$

$$= \frac{1}{5} \ln(5x - 7)$$

## 10 Multidimensionale Funktionen

Eine multidimensionale Funktion ist eine Funktion mit mehr als einer Variable.

$$f(x, y) = x^2 + 3xy$$

## 10.1 Partielle Ableitung

Eine partielle Ableitung ist die Ableitung zu einer Variablen.

$$f_x(x, y) = 2x + 3y$$

$$f_y(x, y) = 3$$

Zweite partielle Ableitung:

$$f_{xx}(x, y) = 2, f_{xy}(x, y) = 3$$

$$f_{yx}(x, y) = 0, f_{yy}(x, y) = 0$$

## 10.2 Gradient

Gradient besteht aus der ersten Ableitung.  $grad_f(x, y) = ((2x + 3y), (3))$

Man kann eine Stelle einsetzen für  $x$  und  $y$ :

$$grad_f(3, 2) = (12, 3).$$

## 10.3 Extremstellen mehrdim. Funkt.

Zum Bestimmen der Extremstellen ist das Aufstellen der Hesse-Matrix notwendig. Dazu sind die Stellen, an denen der Gradient 0 wird, die sogenannten kritischen Stellen. Wir setzen die kritischen Stellen in die Hesse-Matrix ein und bestimmen die Bestimmtheit der Matrix. Dazu bilden wir die Eigenwerte (über Determinante).

$$(\det > 0) \wedge (W_{xx} \vee W_{yy}) < 0 \rightarrow \text{Max.}$$

$$(\det > 0) \wedge (W_{xx} \vee W_{yy}) > 0 \rightarrow \text{Min.}$$

$$\det < 0 \rightarrow \text{Sattelp.}$$

$$\det = 0 \rightarrow \text{k.A.}$$

## 10.4 Hesse-Matrix - tolles Ding..

$$H_f(x) = \begin{pmatrix} f_{xx}(x) & f_{xy}(x) \\ f_{yx}(x) & f_{yy}(x) \end{pmatrix}$$