

# 1 Allgemeines

## 1.1 Binomische Formeln

$$\begin{aligned}(a+b)^2 &= a^2 + 2ab + b^2 \\ (a-b)^2 &= a^2 - 2ab + b^2 \\ (a+b) \cdot (a-b) &= a^2 - b^2\end{aligned}$$

## 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

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

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

## 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 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	$\sqrt{3}$	$\pm\infty$	$-\sqrt{3}$	$-\frac{\sqrt{3}}{3}$	0	1	$\frac{\sqrt{3}}{3}$

# 2 Integralrechnung

$e^{F \circ o}$  u.ä. muss vorher substituiert werden!

Funktion	Aufleitung
$c$	$c \cdot x$
$x^a, a \neq -1$	$\frac{x^{a+1}}{a+1}$
$x^{-1}, x \neq 0$	$\ln( x )$
$e^x$	$e^x$
$a^x$	$\frac{a^x}{\ln(a)}$
$\sin(x)$	$-\cos(x)$
$\cos(x)$	$\sin(x)$

## 2.1 Partielle Integration

Wenn  $u$  und  $v$  zwei differenzierbare Funktionen sind, dann gilt:  
 $\int u' \cdot v = (u \cdot v) - \int u \cdot v'$

## 2.2 Substitutionsregel

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

$$\begin{aligned}\int \frac{1}{5x-7} dx &= ? \\ z &= 5x-7 \\ \frac{dz}{dx} &= 5 \\ \frac{dz}{5} &= dx \\ \int \frac{1 \cdot dz}{z \cdot 5} &= \frac{1}{5} \int \frac{1}{z} dz \\ &= \frac{1}{5} \ln(z) \\ &= \frac{1}{5} \ln(5x-7)\end{aligned}$$

# 3 Ableitung

## 3.1 typische Ableitungen

$$\begin{aligned}(x)' &= 1 \\ (ax)' &= a \\ (x^2)' &= 2ax \\ \left(\frac{1}{x}\right)' &= -\frac{1}{x^2} \\ \left(\frac{1}{\sqrt{x}}\right)' &= -\frac{1}{2\sqrt{x}} \\ (x^b)' &= bx^{b-1}\end{aligned}$$

## 3.2 Verknüpfungsfunktionen

$$\begin{aligned}\text{Summenregel: } (f(x) + g(x))' &= f'(x) + g'(x) \\ \text{Produktregel: } (f(x)g(x))' &= f'(x)g(x) + f(x)g'(x)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}g(x)' f(x) \\ \text{Quotientenregel: } \left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)' &= \frac{f(x)'g(x) - g(x)'f(x)}{g(x)^2} \\ \text{Kettenregel: } (f(g(x)))' &= f'(g(x))g'(x)\end{aligned}$$

# 4 Stochastik

$\Omega = \{\dots\}$  beschreibt den Ereignisraum und somit die Menge aller möglichen Ausgänge des Zufallsexperiments.  
 $A, B, C, \dots \subseteq \Omega$  beschreiben Ereignisse des Zufallsexperimentes.  
 $P: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  ist eine Abbildung, welche jedem Ereignis eine Wahrscheinlichkeit zuordnet.  
Eine Wahrscheinlichkeitsverteilung listet alle möglichen Ausgänge des Zufallsexperiments und ihre Wahrscheinlichkeiten auf.

## 4.1 Gesetze/Axiome/...

$$\begin{aligned}P(A) &> 0 \text{ für alle } A \subset \Omega \\ P(\Omega) &= 1 \\ P(A_1 \cap A_2) &= P(A_1) \cdot P(A_2), A_1 \cap A_2 = \emptyset \\ P(A_1 \cup A_2) &= P(A_1) + P(A_2), A_1 \cap A_2 = \emptyset \\ P(\Omega \setminus A) &= 1 - P(A) \\ P(\emptyset) &= 0 \\ A \subseteq B &\Leftrightarrow P(A) \leq P(B) \\ P(A|B) &= \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \\ P(A \cap B) &= P(B) \cdot P(A|B) \\ &= P(A) \cdot P(B|A) \\ P_B(A) &= P(A|B)\end{aligned}$$

## 4.2 Dichtefunktion

$w: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  ist eine integrierbare, nicht negative Funktion.  
Es gilt:  $\int_{-\infty}^{\infty} w(t) dt = F(x) = P(X \leq x)$

## 4.3 Verteilungsfunktion

$F: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$  heißt Verteilungsfunktion. Verteilungsfunktion ist Aufleitung der Dichtefunktion.

F ist rechtsseitig stetig und es gilt:

$$\begin{aligned}\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) &= 0 \\ \lim_{x \rightarrow \infty} F(x) &= 1 \\ P(X \geq x) &= 1 - P(X \leq x) \\ &= \int_x^{\infty} w(t) dt \\ P(a \leq X \leq b) &= P(X \leq b) - P(X \leq a) \\ &= F(b) - F(a) \\ &= \int_a^b w(t) dt\end{aligned}$$

## 4.4 Formeln

E = Erwartungswert, V = Varianz

$$\begin{aligned}E(X) &= \sum_{x \in X(\Omega)} x \cdot P(X = x) \\ E(X) &= \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot w(x) dx \\ V(X) &= \sum_{x \in X(\Omega)} (x - E(X))^2 \cdot P(X = x) \\ &= \left( \sum_{x \in X(\Omega)} x^2 \cdot P(X = x) \right) - E(X)^2 \\ V(X) &= \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(X))^2 \cdot w(x) dx \\ &= \left( \int_{-\infty}^{\infty} x^2 w(x) dx \right) - E(X)^2\end{aligned}$$

**p-Quantile:**  
Sortieren,  $n \cdot p$ , Einsetzen & Index suchen, Formel anwenden:  
 $\tilde{X}_p = \begin{cases} \frac{1}{2}(x_{np} + x_{np+1}) & \text{falls } n \text{ ganzz.} \\ x_{\lceil np \rceil} & \text{falls } n \text{ nicht ganzz.} \end{cases}$

## 4.5 Verschiedene Verteilungen

### 4.5.1 Gleichverteilung

Die Gleichverteilung ist die einfachste Verteilung. Jede Möglichkeit hat die gleiche Wahrscheinlichkeit. Ein Würfel ist gleichverteilt mit  $P(x_i) = \frac{1}{6}$ .

$$P(X = x_i) = \frac{1}{N}$$

Dabei ist  $N = |\Omega|$  und  $X$  eine Zufallsvariable, welche gleichverteilt ist.

4.5.2 Binominalverteilung

Ein **Bernoulli-Experiment** ist ein Experiment, welches nur **zwei** mögliche Ausgänge  $A$  und  $B$  hat. Eine **Binominalverteilung** ist eine Aneinanderreihung von Bernoulli-Experimenten. Dabei **muss** der Ereignisraum **unabhängig** sein. Ein Experiment kann beliebig oft,  $n$ -Mal, wiederholt werden.

$$\begin{aligned} X &= B(n, p) \\ \Omega &= \{A, B\}^n \\ P(A) &= p \\ P(B) &= 1 - p = q \end{aligned}$$

Es ist ein **LaPlace-Experiment**, wenn  $p = q$  gilt.

$$\begin{aligned} P(X = k) &= \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k} \\ \binom{n}{k} &= \frac{n!}{k!(n - k)!} \end{aligned}$$

4.5.3 Hypergeometrische Verteilung

$N$  = Grundmenge,  $n$  = Stichprobe,  $k$  = gewünscht,  $M$  = Defekte

$$P(X = k) = \frac{\binom{M}{k} \cdot \binom{N-M}{n-k}}{\binom{N}{n}}$$

4.5.4 Poisson-Verteilung

Die Poisson-Verteilung eignet sich für seltene Ereignisse in einem fest definierten Zeitraum.

$$\begin{aligned} X &= P(\lambda) \\ \Omega &= \{x \in \mathbb{R} | x \geq 0\} \\ P(X = k) &= \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \end{aligned}$$

Die Poisson-Verteilung kann, wenn  $n \geq 50$  und  $p \leq 0.1$ , eine Binominalverteilung annähern.

$$\begin{aligned} X &= B(n, p) \\ \lambda &= n \cdot p \\ P(X = k) &\sim \frac{\lambda^k \cdot e^{-\lambda}}{k!} \end{aligned}$$

4.6 Normalverteilung

$N(\mu, \sigma^2)$  ist eine Normalverteilung. Für  $\mu = 1$  und  $\sigma = 1$  ist es eine Standardnormalverteilung.

$$\begin{aligned} w(x) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}(\frac{x-\mu}{\sigma})^2} \\ P(a \leq x \leq b) &= \Phi(\frac{b-\mu}{\sigma}) - \Phi(\frac{a-\mu}{\sigma}) \end{aligned}$$

Für  $\Phi$  siehe Standardnormalverteilungstabelle.

Wenn gilt, dass  $X = N(\mu, \sigma^2)$  und  $Z = N(0, 1)$ , dann folgt  $\frac{X-\mu}{\sigma}$ .  $X_B$  ist binominalverteilt. Wenn  $np(1 - p) \geq 9$ , dann  $F_B(x) \sim \Phi\left(\frac{x+0.5-np}{\sqrt{np(1-p)}}\right)$ .  $X_P$  ist poissonverteilt. Wenn  $\lambda \geq 9$ , dann  $F_P(x) \sim \Phi\left(\frac{x+0.5-\lambda}{\sqrt{\lambda}}\right)$ .

4.7 Tabelle Erwartungswert/Varianz

	$E(x)$	$V(x)$
$B(n, p)$	$n \cdot p$	$n \cdot (1 - p)$
$H(n, M, N)$	$n \cdot \frac{M}{N}$	$n \cdot \frac{M}{N} (1 - \frac{M}{N}) \frac{N-n}{N-1}$
$P(\lambda)$	$\lambda$	$\lambda$
$N(x)$	$\mu$	$\sigma^2$

5 Numerik

5.1 Lagrange'sches Interpolationspolynom

$$\begin{aligned} n &= \text{Anzahl der Stützstellen} \\ p(x) &= \sum_{i=0}^n y_i \cdot L_i(x) \\ L_i(x) &= \prod_{j=0, j \neq i}^n \frac{x - x_j}{x_i - x_j} \end{aligned}$$

5.2 Newton'sches Interpolationspolynom

$$\begin{aligned} n &= \text{Anzahl der Stützstellen} \\ p(x) &= a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) \\ &\quad + a_n(x - x_0)(x - x_1) \cdot \dots \cdot (x - x_n) \end{aligned}$$

Auflösen nach  $a$  für die einzelnen Faktoren:

$$\begin{aligned} y_0 &= a_0 \\ y_1 &= a_0 + a_1(x_1 - x_0) \\ y_2 &= a_0 + a_1(x_2 - x_0) + a_2(x_2 - x_0)(x_2 - x_1) \end{aligned}$$

5.3 QR-Zerlegung

Seien  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  mit  $m \geq n$  und  $rg(A) = n$ . Es seien  $a_1, a_2, \dots, a_n \in \mathbb{R}^m$  die Spaltenvektoren von  $A$ . Die Vektoren  $u_1, u_2, \dots, u_n \in \mathbb{R}^m$  sind die Gram-Schmidt orthogonalisierten Vektoren.

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{1}{|a_1|} a_1 \\ u'_i &= a_i - \sum_{j=1}^{i-1} \langle u_j, a_i \rangle \cdot u_j \\ u_i &= \frac{u'_i}{|u'_i|} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= (u_1, u_2, \dots, u_n) \\ Q^{-1} \cdot A &= R \end{aligned}$$

5.4 LU-Zerlegung

Sei  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ . Wir initialisieren drei Matrizen:  $P = L = I_m$  und  $A = U$ .

Zeilenvertauschungen werden über die  $P$ -Matrix realisiert.

Jede Operation, welche im Gauß gemacht wird, wird auf der  $L$ -Matrix mit gedrehtem Vorzeichen gemacht.

Am Ende gilt, dass  $PLU = A$ .

5.4.1 Lösung von PLUx = b

Wir berechnen zunächst ein  $y$ , welches ein Zwischenergebnis ist. Die Schritte sind sehr einfach, da  $L$  und  $U$  Dreiecksmatrizen sind.

$$\begin{aligned} Ly &= P^T b \text{ mit } P^T = P^{-1} \\ Ux &= y \end{aligned}$$

5.5 Cholesky-Zerlegung

Eine symmetrische Matrix ist die Voraussetzung für eine Cholesky-Zerlegung. Wir wollen eine

Matrix  $L$  finden, für die gilt, dass  $A = L \cdot L^T$ .  $L$  sollte dabei eine Dreiecksmatrix sein, damit gilt, dass  $L^T = L^{-1}$

**TODO: Beispiel einfügen**

5.6 Matrixnormen

$$\begin{aligned} \left| \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \right| &= \sqrt{x_1^2 + \dots + x_n^2} \\ \left| \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \right|_1 &= \sum_{i=1}^n x_i \\ \left| \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \right|_\infty &= \max_{1 \leq i \leq n} x_i \\ &A \in \mathbb{R}^{n \times n} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} |A|_1 &= \max_{1 \leq j \leq n} \sum_{i=1}^n a_{ij} \text{ Spaltens.} \\ |A|_1 &= \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n a_{ij} \text{ Zeilens.} \end{aligned}$$

6 Differentialgleichungen

6.1 DGL 1. Ordnung

6.1.1 Variation der Konstanten

- Alle Ableitungen  $y'$  umformen:  
 $y' = \frac{dy}{dx}$
- Umstellen durch Integration und  $e^{\int n(x)}$ -Trick nach  $y$

6.2 Anfangswertproblem

Wir haben unsere aufgelöste DGL:  $y = C_1 \cdot \dots$  Beim AWP haben wir eine Zusatzbedingung, die ähnlich zu  $y(0) = 2$  ist. AWP löst sich, indem wir einsetzen und zur Konstante umformen.

6.3 DGL 2. Ordnung

Eine DGL kann eine Störfunktion enthalten. Störfunktionen sind für den inhomogenen Teil der Lösung verantwortlich. Jeder Teil, welcher

nicht abhängig von  $y^{(n)}$  ist, ist eine Störfunktion.  $y(t) = y_h(t) + y_p(t)$

### 6.3.1 Charakteristisches Polynom

Umformen der Ableitungen:  $y^{(n)} = \lambda^n$  Anschließend werden die Lösungen für  $\lambda$  bestimmt.

Einfache Nullstelle:

$$e^{\lambda \cdot x}$$

k-fache Nullstelle:

$$x^{k-1} e^{\lambda x}$$

Komplexe Nullstelle:

$$(a \pm bi) \rightarrow e^{ax} \cdot \sin(b), e^{ax} \cdot \cos(b)$$

$$\text{Bsp.: } y_h(t) = C_1 \cdot e^{2x} + C_2 \cdot e^{4x}$$

Bei inhomogenen DGL muss ein Ansatz gefunden werden, der zur Lösung führt, wenn man ihn samt Ableitungen in die ursprüngliche DGL einsetzt.

1. Aufstellen des Ansatzes für  $y = \{\text{Ansatz}\}$
2. Ableiten und Einsetzen als homogenen Teil der DGL.
3. Parameter des Ansatzes ausrechnen und als  $y_p$  angeben.