Analysis

Grundlagen:

- Binomische Formeln
  1 $(a+b)^2 = a^2 + 2\cdot a\cdot b + b^2$
  2 $(a-b)^2 = a^2 - 2\cdot a\cdot b + b^2$
  3 $(a+b)(a-b) = a^2 - b^2$

- Potenzengesetze
  1 $a^r \cdot b^r = (a\cdot b)^r$ und $\frac{a^r}{b^r} = \left(\frac{a}{b}\right)^r$
  2 $a^r \cdot a^s = a^{r+s}$ und $\frac{a^r}{a^s} = a^{r-s}$
  3 $(a^r)^s = a^{r\cdot s}$
  4 $a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m} = (\sqrt[n]{a})^m$
  5 $a^{-r} = \frac{1}{a^r}$

- Logarithmengesetze
  1 $\log_a(b\cdot c) = \log_a(b) + \log_a(c)$
  2 $\log_a(\frac{b}{c}) = \log_a(b) - \log_a(c)$
  3 $\log_a(b^r) = r\cdot \log_a(b)$
  4 $\ln(x) = \log_e(x) \longrightarrow \ln(e^x) = x$
  5 $\operatorname{ld}(x) = \log_2(x)$
  6 $\lg(x) = \log_{10}(x)$

Lineare Transformationen:

Wir erhalten aus dem Graphen G_f der Funktion f den Graphen der Funktion g mit:
1 $g(x) = -f(x)$, indem man G_f an der x–Achse spiegelt
2 $g(x) = f(-x)$, indem man G_f an der y–Achse spiegelt
3 $g(x) = f(x) + a$ indem man G_f in Richtung der y–Achse um a verschiebt
4 $g(x) = f(x-a)$ indem man G_f in Richtung der x–Achse um a verschiebt
5 $g(x) = a\cdot f(x)$ und $a > 0$, indem man G_f in Richtung der y–Achse mit dem Faktor a streckt bzw. staucht
6 $g(x) = f(a\cdot x)$ und $a > 0$, indem man G_f in Richtung der x–Achse mit dem Faktor $\frac{1}{a}$ staucht bzw. streckt.

Ableitungen:

1 jede Ableitung ist mit der $h-$Methode nachweisbar

$$f'(x) = \lim_{h\longrightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

2 $f(x) = c$ mit $c \in \mathbb{R} \longrightarrow f'(x) = 0$
3 $f(x) = x \longrightarrow f'(x) = 1$
4 $f(x) = c\cdot x$ mit $c\in\mathbb{R} \longrightarrow f'(x) = c$
5 $f(x) = m\cdot x + t$ mit $m, t\in\mathbb{R} \longrightarrow f'(x) = m$
6 $f(x) = a\cdot g(x)$ mit $a\in\mathbb{R} \longrightarrow f'(x) = a\cdot g'(x)$
7 $f(x) = g(x) \pm h(x) \longrightarrow f'(x) = g'(x) \pm h'(x)$
8 $f(x) = x^n$ mit $n\in\mathbb{Q} \longrightarrow f'(x) = n\cdot x^{n-1}$
9 $f(x) = g(x)\cdot h(x) \longrightarrow f'(x) = g'(x)\cdot h(x) + g(x)\cdot h'(x)$
10 $f(x) = g(h(x)) \longrightarrow f'(x) = g'(h(x))\cdot h'(x)$
11 $f(x) = \dfrac{z(x)}{n(x)} \longrightarrow f'(x) = \dfrac{n(x)\cdot z'(x) - z(x)\cdot n'(x)}{(n(x))^2}$

Eselsbrücke[1] : $f'(x) = \dfrac{N\cdot AZ - Z\cdot AN}{N^2}$

Ableitung spezieller Funktionen:

- Trigonometrische Funktionen
  1 $f(x) = \sin x \longrightarrow f'(x) = \cos(x)$
  2 $f(x) = \cos(x) \longrightarrow f'(x) = -\sin(x)$
  3 $f(x) = \tan(x) = \dfrac{\sin(x)}{\cos(x)}$
  $$\longrightarrow f'(x) = \frac{\cos(x)\cdot\cos(x) + \sin(x)\cdot\sin(x)}{(\cos(x))^2} = \frac{1}{(\cos(x))^2}$$

- e-Funktion
  1 $f(x) = e^x \longrightarrow f'(x) = e^x$
  2 $f(x) = e^{h(x)} \longrightarrow f'(x) = h'(x)\cdot e^{h(x)}$

- ln-Funktion
  1 $f(x) = \ln(x)$ mit $x\in\mathbb{R}^+ \longrightarrow f'(x) = \dfrac{1}{x}$

- Wurzel
  1 $f(x) = \sqrt{x} = x^{\frac{1}{2}} \longrightarrow f'(x) = \dfrac{1}{2}\cdot x^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2\sqrt{x}}$
  2 $f(x) = \sqrt[n]{x} = x^{\frac{1}{n}} \longrightarrow f'(x) = \frac{1}{n}\cdot x^{\frac{1}{n}-1} = \frac{1}{n\cdot \sqrt[n-1]{x}}$

Anwendung der 1. Ableitung

- Zusammenhang Steigung m des Graphen G_f einer Funktion f an der Stelle $x_0 \in G_f$ mit der 1. Ableitung:
  1 $f'(x_0) = m$
  2 $\tan(\alpha) = m \longrightarrow \alpha = \tan^{-1}(m)$

- Tangentengleichung y_T durch den Punkt $P(x_0|f(x_0)) \in G_f$
  $y_T = f'(x_0)\cdot(x - x_0) + f(x_0)$

- Newton-Verfahren $\longrightarrow$ Iterationsverfahren zur Bestimmung von Nullstellen
  1 Startwert $x_0 \longrightarrow$ je näher an der NS desto besser
  2 $x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$

Grenzwerte spezieller Funktionen:

- Ist $p(x)$ ein Polynom, so gilt $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} \frac{p(x)}{e^x} = 0 \longrightarrow e-$Funktion.

- Ist $p(x)$ ein nicht konstantes Polynom, so gilt $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} \frac{\ln(x)}{p(x)} = 0 \longrightarrow ln-$Funktion.

- Ist $p(x)$ ein Polynom ohne konstanten Summanden , so gilt $\lim\limits_{x\longrightarrow 0}(p(x)\cdot\ln(x)) = 0 \longrightarrow ln-$Funktion.

Funktionsklassen:

Lineare Funktionen

- Funktionsterm: $f(x) = m\cdot x + t$ mit $m\in\mathbb{R}\setminus\{0\}$ und $t\in\mathbb{R}$
  1 m – Steigung der Geraden 2 t – y-Achsenabschnitt

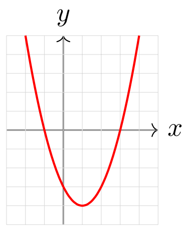
- Graph einer linearen Funktion ist eine Gerade

- Berechnung der Steigung $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

- Berechnung des y-Achsenabschnittes t $\longrightarrow$ die Steigung m und die Koordinaten eines Punktes $P(x_0|y_0)$ einsetzen und nach t auflösen

Quadratische Funktionen:

- allgemeine Form: $f(x) = a\cdot x^2 + b\cdot x + c$ mit $a\in\mathbb{R}\setminus\{0\}$ und $b, c\in\mathbb{R}$

- Graph: 

- Scheitelpunktform: $f(x) = a\cdot(x - x_s)^2 + y_s$ mit $S(x_s|y_s)$ den Koordinaten des Scheitelpunktes

- Faktorisierte Form: $f(x) = a\cdot(x - x_1)\cdot(x - x_2)$ mit $f(x_1) = 0$ und $f(x_2) = 0$ als Nullstellen der Funktion

- Nullstellen als Lösung der Gleichung
  $$0 = a\cdot x^2 + b\cdot x + c \longrightarrow x_{1/2} = \frac{-b\pm\sqrt{b^2 - 4\cdot a\cdot c}}{2\cdot a}$$

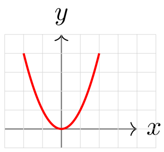
- Für $a > 0$ ist die Parabel nach oben geöffnet $\longrightarrow$ Scheitelpunkt ist Tiefpunkt und es gilt $\lim\limits_{x\rightarrow\pm\infty} f(x) = \infty$

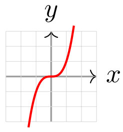
[1] N-Nenner, Z-Zähler, AZ - Ableitung Zähler, AN - Ableitung Nenner

- Für $a < 0$ ist die Parabel nach unten geöffnet $\longrightarrow$ Scheitelpunkt ist Hochpunkt und es gilt $\lim\limits_{x\to\pm\infty} f(x) = -\infty$

Polynome:

- $f(x) = a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \cdots a_1 \cdot x + a_0 = \sum\limits_{i=0}^{n} a_i x^i$ mit $a_n \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ und die restlichen $a_i \in \mathbb{R}$
- höchster Exponent legt den Grad des Polynoms fest $\longrightarrow$ hier $n-$ten Grades
- Beispielgraphen in Abhängigkeit des Grades:

  1 a gerade: 

  2 a ungerade: 

  3 n gerade und $a_n > 0 \longrightarrow \lim\limits_{x\to\pm\infty} f(x) = \infty$

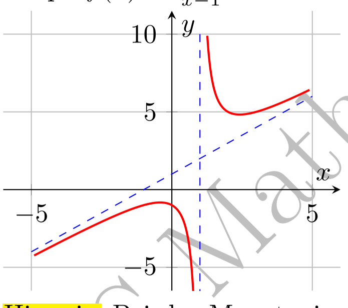
  4 n gerade und $a_n < 0 \longrightarrow \lim\limits_{x\to\pm\infty} f(x) = -\infty$

  5 n ungerade und $a_n > 0 \longrightarrow \lim\limits_{x\to-\infty} f(x) = -\infty$ und $\lim\limits_{x\to\infty} f(x) = \infty$

  6 n ungerade und $a_n < 0 \longrightarrow \lim\limits_{x\to-\infty} f(x) = \infty$ und $\lim\limits_{x\to\infty} f(x) = -\infty$
- ab Grad $n > 2$ kennen wir keine Lösungsformel zur Berechnung der Nullstellen[2] $\longrightarrow$ ausklammern bzw. Newton-Verfahren zur Näherung der Nullstellen

Gebrochen-rationale Funktionen

- $f(x) = \frac{z(x)}{n(x)}$ und $\mathbb{D}_f = \mathbb{R} \setminus \{x_i\}$ mit $n(x_i) = 0$
- Definitionslücken sind die Nullstellen des Nennerpolynoms
- Nullstellen berechnen sich durch $0 = z(x)$ sind also die Nullstellen des Zählerpolynoms
- Graph $f(x) = \frac{x^2+1}{x-1} = x + 1 + \frac{2}{x-1}$

  Hinweis: Bei der Monotonie- und Krümmungsuntersuchung muss die Definitionslücke explizit betrachtet werden, an der Definitionslücke kann sich das Monotonie- und Krümmungsverhalten ändern
- Asymptoten: Die Art der Asymptote einer gebrochenrationalen Funktion $f(x) = \frac{z(x)}{n(x)}$ mit $\mathbb{D} = \mathbb{D}_{\max}$ hängt vom Grad der Polynome des Zählers als auch des Nenners ab[3].

  1 z < n: die $x-$Achse ist waagerechte Asymptote $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} f(x) = \lim\limits_{x\longrightarrow-\infty} f(x) = 0$

  2 z = n: waagerechte Asymptote die parallel zur x-Achse verläuft $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} f(x) = \lim\limits_{x\longrightarrow-\infty} f(x) = a \in \mathbb{R}$

  3 z = n+1: schräge Asymptote die direkt aus der Summenform ablesbar ist

  Hinweis: $f(x) = \underbrace{x+1}_{\text{Gleichung der schrägen Asymptote}} + \frac{2}{x-1}$

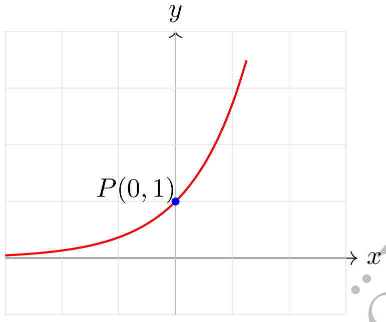
  4 z > n +1: Näherungskurve

[2] Für $n = 2$ ist das Polynom eine Quadratischen Funktion

[3] z-Grad des Zählers; n - Grad des Nenners

$e-$Funktion:

- $f(x) = e^x$
- Graph der Funktion $f(x) = e^x$

- Ableitung: $f'(x) = e^x$
- Grenzwerte:

  1 $\lim\limits_{x\longrightarrow-\infty} f(x) = 0$

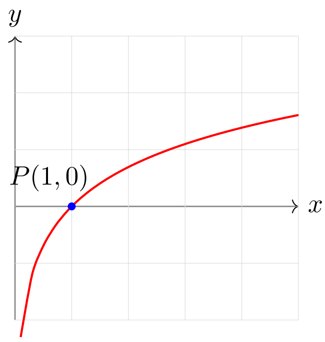
  2 $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} f(x) = \infty$
- $f(x) > 0$: für alle $x \in \mathbb{R}$

  Hinweis: Die $e-$Funktion wächst schneller als jede Potenzfunktion $g(x) = x^n$ mit $n \in \mathbb{N}$

  Hinweis: Eselsbrücke: e gewinnt!
- Bei der Kurvendiskussion wird die $e-$Funktion meistens als Produkt mit einer anderen Funktion betrachtet.[4]

$ln-$Funktion:

- $f(x) = \ln(x)$ mit $x \in \mathbb{R}^+$
- Graph der Funktion $f(x) = \ln(x)$

- Ableitung $f'(x) = \frac{1}{x}$
- Grenzwerte:

  1 $\lim\limits_{x\longrightarrow 0^+} f(x) = -\infty$

  2 $\lim\limits_{x\longrightarrow\infty} f(x) = \infty$
- Hinweis: Die $ln-$Funktion wächst langsamer als jede Potenzfunktion $g(x) = x^n$ mit $n \in \mathbb{N}$,

  Hinweis: Eselsbrücke: ln ist der Loser!
- Bei der Kurvendiskussion wird die $ln-$Funktion meistens in Kombination mit einer anderen Funktion betrachtet.[5]

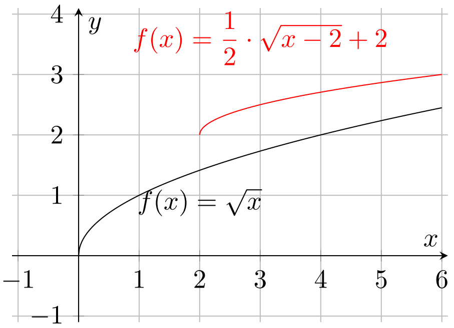
[4] $f(x) = g(x) \cdot e^{h(x)} \longrightarrow f'(x) = g'(x) \cdot e^{h(x)} + g(x) \cdot h'(x) \cdot e^{h(x)}$

[5] $f(x) = \ln(g(x)) \longrightarrow f'(x) = \frac{1}{g(x)} \cdot g'(x) = \frac{g'(x)}{g(x)}$

Wurzelfunktion:

- $f(x) = a \cdot \sqrt{x-b} + c$ und $x \geq b$ ist eine Halbparabel und ergibt sich durch folgende lineare Transformationen aus der allgemeinen Wurzelfunktion $g(x) = \sqrt{x}$ wie folgt:
  1 Verschiebung um b in x-Richtung
  2 Strecken bzw. Stauchen mit dem Faktor a in y-Richtung
  3 Verschiebung um c in y-Richtung

- Graph der Funktion $f(x) = \frac{1}{2}\sqrt{x-2} + 2$



- Ableitung $f(x) = \sqrt{g(x)} \longrightarrow f'(x) = \frac{g'(x)}{2 \cdot \sqrt{g(x)}}$

allgemeine Sinusfunktion:

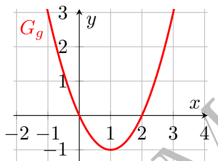
- $f(x) = a \cdot \sin(b \cdot (x-c)) + d$ mit $a \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ und $b, c, d \in \mathbb{R}$
  1 Der Parameter a ändert die Amplitute, also die maximale Auslenkung der Kurve.
  2 Der Parameter b streckt bzw. staucht die Kurve in Richtung der x-Achse. Durch den Faktor b wird damit die Periode p verändert $p = \frac{2 \cdot \pi}{b}$.
  3 Der Parameter c verschiebt die Kurve in Richtung der x-Achse.
  4 Der Parameter d verschiebt die Kurve in Richtung der y-Achse.

- Ableitung: $f'(x) = a \cdot \cos(b \cdot (x-c)) \cdot b$

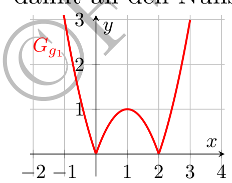
- Bei der Kurvendiskussion wird die $\sin -$Funktion meistens in Kombination mit einer anderen Funktion betrachtet.[6]

Betragsfunktionen:

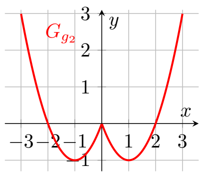
- Wird eine Funktion g linaren Transformationen in Form des Betrags unterworfen ergeben sich unterschiedliche Graphen. Diese Graphen haben allerdings gemeinsam, dass die Nicht-Differenzierbarkeit an bestimmten Stellen sich nicht ändert.



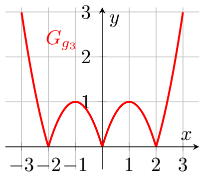
- $g_1(x) = |f(x)|$: Die Punkte mit negativen Funktionswerten werden an der $x-Achse$ gespiegelt. Die Spiegelung erfolgt damit an den Nullstellen.



- $g_2(x) = f(|x|)$: Der im positive Teil der $x-Achse$ liegende Graaph wird an der $y-Achse$ gespiegelt.



- $g_3(x) = |f(|x|)|$: Wird sowohl der Betrag der $x - Werte$ als auch der Betrag der Funktionswerte gebildet, werden zunächst die Punkte mit positiven $x-$Werten an der $y-$Achse gespiegelt um anschließend die Punkte mit negativen Funktionswerten an der $x-$Achse zu spiegeln.



- Betragsfunktionen sind an Knickstellen nicht differenzierbar $\longrightarrow$ Nachweis über die $h-$Methode.

Kurvendiskussion:

Bei der Kurvendiskussion werden Eigenschaften des Graphen G_f einer Funktion f analytisch untersucht

Untersuchung der Ausgangsfunktion:

- Untersuchung folgender Eigenschaften:
  1 Definitionsbereich $\longrightarrow$ bei gebrochen-rationalen Funktion z.B. Berechnung der Definitionslücken
  2 Schnittpunkte mit den Koordinatenachsen $\longrightarrow$ Nullstellen und Schnittpunkt mit der $y-$Achse
  3 Symmetrie zum Ursprung bzw. zur $y-$Achse
  4 Verhalten an den Rändern des Definitionsbereichs $\longrightarrow$ Grenzwerte und Verhalten an Definitionslücken
  5 Asymptoten

- je nach Funktionsklasse sind die Rechnungen unterschiedlich

Monotonie:

- Ist die Funktion f im Intervall I differenzierbar dann ist G_f für

$$\left.\begin{matrix} f'(x) > 0 \\ f'(x) < 0 \end{matrix}\right\} \quad \text{streng monoton} \quad \left\{\begin{matrix} \text{wachsend} \\ \text{fallend} \end{matrix}\right.$$

- Hinweis: Für die Existenz einer Extremstellen $x_0 \in G_f$ sind zwei Bedingungen notwendig:
  1 $f'(x_0) = 0$
  2 $f''(x_0) \neq 0$

- Die Art der einzelnen Extremstellen läßt sich leicht durch die Vorzeichenwechsel (VZW) der Ableitung an der Stelle x_0 mit $f'(x_0) = 0$ bestimmen.
  - Hochpunkt (HoP) $HoP(x_0|f(x_0))$ genau dann, wenn es einen VZW der Ableitung von positiv nach negativ gibt.
    1 $f'(x_0) = 0$
    2 $f''(x_0) < 0$
  - Tiefpunkt (TiP) $TiP(x_0|f(x_0))$ genau dann, wenn es einen VZW der Ableitung von negativ nach positiv gibt.
    1 $f'(x_0) = 0$
    2 $f''(x_0) > 0$

- Untersuchung der Monotonie und der Extremstellen
  1 Bestimmung der Nullstelle der 1. Ableitung
  2 Untersuchung der Monotonie mit Hilfe der Monotonietabelle
  3 Entscheidungen zu möglichen Extremstellen

- Monotonietabelle: Eintragung der Intervalle die durch die Nullstellen von $f'(x_1) = 0$ und $f'(x_2) = 0$ festgelegt werden.
  Hinweis: Beispiel mit zwei Nullstellen:

x	$-\infty < x < x_1$	$x = x_1$	$x_1 < x < x_2$	$x = x_2$	$x_2 < x < \infty$
$f'(x)$	+	0	-	0	+
G_f	smw	HoP	smf	TiP	smw

- wenn sich das Monotonieverhalten nicht ändert, liegt ein Terrassenpunkt vor

[6] $f(x) = \sin(g(x)) \longrightarrow f'(x) = \cos(g(x)) \cdot g'(x)$

- Bei gebrochen-rationalen Funktionen muss die Definitionslücke in der Monotonietabelle ebenfalls betrachtet werden.

Krümmungsverhalten:

- Der Punkt, an dem sich die Krümmung des Graphen der Funktion f ändert, heißt Wendepunkt.

- Am Wendepunkt des Graphen liegt ein Extremwert der lokalen Änderungsrate vor.

- Ein Terrassenpunkt ist ein Wendepunkt mit einer waagerechten Tangente.

- Zusammenhang der lokalen Änderungsrate und der Krümmung:
  $\boxed{1}$ Ist die Funktion f im Intervall I zweimal stetig differenzierbar und ist für alle $x \in I$ der Funktionswert $f''(x)$ positiv, dann ist der Graph der Funktion f linksgekrümmt.
  $\boxed{2}$ Ist die Funktion f im Intervall I zweimal stetig differenzierbar und ist für alle $x \in I$ der Funktionswert $f''(x)$ negativ, dann ist der Graph der Funktion f rechtsgekrümmt.

- Untersuchung der Krümmung und der Wendestellen
  $\boxed{1}$ Bestimmung der Nullstelle der 2. Ableitung
  $\boxed{2}$ Untersuchung der Krümmung mit Hilfe der Krümmungstabelle
  $\boxed{3}$ Entscheidungen zu möglichen Wendestellen

- Ein Wendepunkt liegt nur vor, wenn sich das Krümmungsverhalten ändert.

- Krümmungstabelle: Eintragung der Intervalle die durch die Nullstelle von $f''(x_1) = 0$ festgelegt werden.
  Hinweis: Beispiel mit einer Nullstellen:

x	$-\infty < x < x_1$	$x = x_1$	$x_1 < x < \infty$
$f''(x)$	-	0	+
G_f	rechtsgekrümmt	Wendepunkt WP	linksgekrümmt

Graph:

- alle berechneten Punkte werden jetzt im Koordinatensystem markiert um dann einen Graphen zu skizzieren

Beispiel $f(x) = \frac{1}{16}x^4 + \frac{1}{4}x^3$ mit $\mathbb{D}_f = \mathbb{D}_{max}$

- Bestimmung des maximalen Definitionsbereichs: $\mathbb{D}_f = \mathbb{R}$

- Untersuchungen der Symmetrie:
  $f(-x) = \frac{1}{16} \cdot (-x)^4 + \frac{1}{4} \cdot (-x)^3 = \frac{1}{16} \cdot x^4 - \frac{1}{4} \cdot x^3 \neq \pm f(x)$
  Damit ist der Graph G_f weder punktsymmetrisch zum Ursprung noch achsensymmetrisch zur y-Achse.

- Verhalten an den Rändern des Definitionsbereichs
$$\lim_{x\to\infty} f(x) = \lim_{x\to\infty} \frac{1}{16}x^4 + \frac{1}{4}x^3 = \infty$$
$$\lim_{x\to-\infty} f(x) = \lim_{x\to-\infty} \frac{1}{16}x^4 + \frac{1}{4}x^3 = \infty$$

- Gemeinsame Punkte mit den Koordinatenachsen:
  $\boxed{1}$ Schnittpunkt mit der y-Achse $\longrightarrow f(0) = \frac{1}{16}0^4 + \frac{1}{4}0^3 = 0$
  $\boxed{2}$ Schnittpunkte mit der x-Achse $\longrightarrow 0 = \frac{1}{16}x^3(x+4)$
  $\longrightarrow SP_{x_1} = SP_{x_2} = SP_{x_3}(0|0)$ und $SP_{x_4}(-4|0)$

- Monotonie des Graphen
  $\boxed{1}$ 1. Ableitung $f'(x) = \frac{1}{4}x^3 + \frac{3}{4}x^2$
  $\boxed{2}$ Berechnung der Nullstellen der 1. Ableitung
  $\boxed{3}$ $0 = \frac{1}{4}x^3 + \frac{3}{4}x^2 \longrightarrow x_1 = x_2 = 0$ und $x_3 = -3$
  $\boxed{4}$ Monotonietabelle:

x	$-\infty < x < -3$	$x = -3$	$-3 < x < 0$	$x = 0$	$0 < x < \infty$
$f'(x)$	-	0	+	0	+
G_f	smf	$TiP(-3\vert -\frac{27}{16})$	smw	$TP(0\vert 0)$	smw

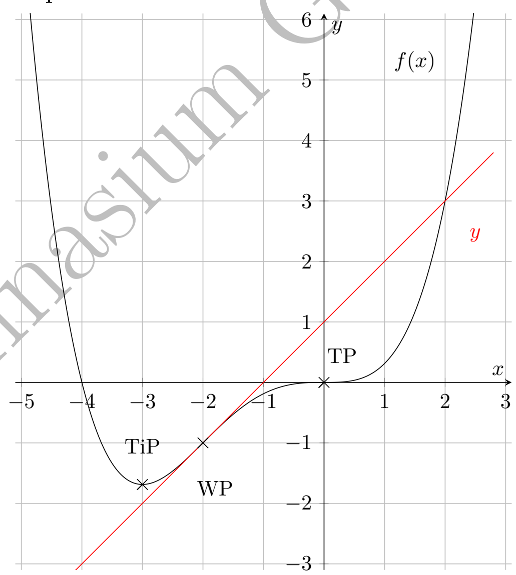
- Krümmungsuntersuchung:
  $\boxed{1}$ 2. Ableitung $f''(x) = \frac{3}{4}x^2 + \frac{3}{2}x$
  $\boxed{2}$ Berechnung der Nullstellen der 2. Ableitung
  $\boxed{3}$ $0 = \frac{3}{4}x^2 + \frac{3}{2}x \longrightarrow x_1 = 0$ und $x_2 = -2$
  $\boxed{4}$ Krümmungstabelle

x	$-\infty < x < -2$	$x = -2$	$-2 < x < 0$	$x = 0$	$0 < x < \infty$
$f''(x)$	+	0	-	0	+
G_f	linksgekr.	$WP(-2\vert -1)$	rechtsgekr.	$WP(0\vert 0)$	linksgekr.

- Berechnung der Wendetangente am Punkt $P(-2|-1)$:
  $\boxed{1}$ Steigung an der Wendestelle $x_0 = -2$ durch $f'(-2) = 1$
  $\boxed{2}$ einsetzen in $y_T = f'(x_0) \cdot (x - x_0) + f(x_0)$
  $\longrightarrow y_T = 1 \cdot (x - (-2)) + (-1) = x + 1$

- Wertemenge $\mathbb{W} = [-\frac{27}{16} \mid \infty[$

- Graph:



Platz für eigene Notizen:

Notizen:

Analytische Geometrie

Elementargeometrische Grundlagen

- Flächeninhalt von ebenen Figuren
  1 Dreieck $\longrightarrow A_{\triangle} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot h$
  2 Parallelogramm $\longrightarrow A_P = g \cdot h$
  3 Trapez $\longrightarrow A_T = \frac{1}{2} \cdot (a + c) \cdot h$ hierbei sind a und c die Längen der Parallelen
  4 Drachenviereck $\longrightarrow A_{\text{Drache}} = \frac{1}{2} \cdot e \cdot f$ hierbei sind e und fe die Längen der Diagonalen
  5 Kreis $\longrightarrow A_K = \pi \cdot r^2$ und $U_{\text{K}} = 2 \cdot \pi \cdot r$ hierbei ist r der Radius des Kreises

- Volumen und Oberfläche von Körpern[7]
  1 Prisma $\longrightarrow V_{\text{Prisma}} = A_G \cdot h$
  2 Pyramide $\longrightarrow V_{\text{Pyramide}} = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$
  3 Zylinder $\longrightarrow V_{\text{Zylinder}} = A_G \cdot h$ und der Oberflächeninhalt eines geraden Zylinders $A_O = 2 \cdot A_G + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$
  4 Kegel $\longrightarrow V_{\text{Kegel}} = \frac{1}{3} \cdot A_G \cdot h$ und der Oberflächeninhalt eines geraden Kegels $A_O = A_G + \pi \cdot r \cdot m$ mit m als Länge der Mantellinie
  5 Kugel $\longrightarrow V_{\text{Kugel}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ und der Oberflächeninhalt $A_O = 4 \cdot \pi \cdot r^2$

Definition von Vektoren

- Vektoren sind Pfeile im zwei - bzw. dreidimensionalen Raum

- Jeder Vektor ist ein Repräsentant unendlich vieler, gleich langer, gleich gerichteter und paralleler Pfeile

- Vektoren werden häufig durch kleine Buchstaben und einem Pfeil darüber gekennzeichnet $\vec{a}$

- Verläuft ein Repräsentant eines Vektors von einem Punkt z.B. P zu einem zweiten Punkt z.B. Q, so bezeichnet man alle Repräsentanten mit $\overrightarrow{PQ}$.

- Werden mehrere Vektoren addiert so werden die jeweiligen Repräsentanten aneinandergereiht und das Ergebnis nennt man dann Vektorkette.

- Ein Vektor im 2- bzw. 3-dim. Raum wird in der Spaltenschreibweise durch 2 bzw. 3 Koordinaten beschrieben
  $$\vec{a} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}$$

- Der Vektor $\overrightarrow{0A} = \vec{A}$ bezeichnet denjenigen Vektor, der im Ursprung 0 beginnt um im Punkt A endet. Er wird als Ortsvektor bezeichnet.

Spiegelungen an den Koordinatenebenen

Der Punkt $P(p_1|p_2|p_3)$ wird gespiegelt an

- x_1x_2-Ebene $\longrightarrow P(p_1|p_2|-p_3)$ Vorzeichen der x_3 Koordinaten wird geändert

- x_1x_3-Ebene $\longrightarrow P(p_1|-p_2|p_3)$ Vorzeichen der x_2 Koordinaten wird geändert

- x_2x_3-Ebene $\longrightarrow P(-p_1|p_2|p_3)$ Vorzeichen der x_1 Koordinaten wird geändert

Spiegelung am Koordinatenursprung

Der Punkt $P(p_1|p_2|p_3)$ wird am Punkt $P(0|0|0)$ gespiegelt

- $P(-p_1|-p_2|-p_3)$ bei allen Koordinaten ändern sich die Vorzeichen

Eigenschaften von Vektoren

- Vektoraddition
  1 $\vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$
  2 $\left(\vec{a} + \vec{b}\right) + \vec{c} = \vec{a} + \left(\vec{b} + \vec{c}\right)$

- Nullvektor
  1 $\vec{0} + \vec{a} = \vec{a}$ **2** Der Vektor $\vec{0}$ hat die Länge 0

- Gegenvektor
  1 Der Vektor $-\vec{a}$ ist der Gegenvektor zu $\vec{a}$
  2 $-\vec{a}$ ist genauso lang wir $\vec{a}$ und zu $\vec{a}$ entgegengerichtet

- skalare Multiplikation
  1 $\lambda \cdot \vec{a} = \lambda \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda \cdot a_1 \\ \lambda \cdot a_2 \\ \lambda \cdot a_3 \end{pmatrix}$
  2 Die skalare Multiplikation vervielfacht den Vektor durch den skalar $\lambda \in \mathbb{R}$
  3 Der Vektor $\lambda \cdot \vec{a}$ ist $|\lambda|-$mal so lang wie der Vektor $\vec{a}$
  4 Für $\lambda > 0$ hat er die gleiche Richtung wie $\vec{a}$
  5 Für $\lambda < 0$ hat er die entgegengesetzte Richtung wie $\vec{a}$

- Rechengesetze
  1 Assoziativgesetz: $\lambda \cdot (\mu \cdot \vec{a}) = (\lambda \cdot \mu) \cdot \vec{a}$
  2 Distibutivgesetz:
  $\lambda \cdot \left(\vec{a} + \vec{b}\right) = \lambda \cdot \vec{a} + \lambda \cdot \vec{b}$
  $(\lambda + \mu) \cdot \vec{a} = \lambda \cdot \vec{a} + \mu \cdot \vec{b}$

Rechnungen mit Vektoren

- Der Verbindungsvektor $\overrightarrow{PQ}$
  $$\overrightarrow{PQ} = \vec{Q} - \vec{P} = \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_1 - p_1 \\ q_2 - p_2 \\ q_3 - p_3 \end{pmatrix}$$
  Hinweis: "Spitze minus Hacke"

- Summe von Vektoren $\vec{A} + \vec{B} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 + b_1 \\ a_2 + b_2 \\ a_3 + b_3 \end{pmatrix}$

- Der Mittelpunkt der Strecke $\overline{AB}$
  $\longrightarrow \vec{M} = \frac{1}{2} \cdot \left(\vec{A} + \vec{B}\right)$ bestimmt

- Schwerpunkt des Dreiecks $\triangle ABC$
  $\longrightarrow \vec{S}_{\text{Dreieck}} = \frac{1}{3}\left(\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}\right)$

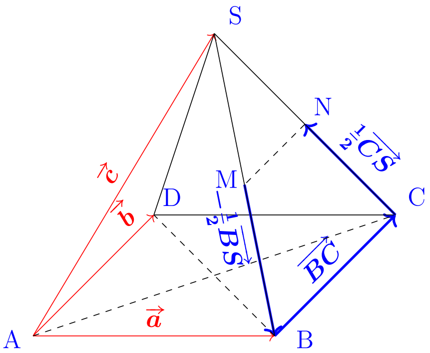
- Schwerpunkt einer Pyramide $ABCS$
  $\longrightarrow \vec{S}_{\text{Pyramide}} = \frac{1}{4}\left(\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{S}\right)$

Zusammenhang der Schwerpunkte

	Berechnung	Teilverhältnis
Schwerpunkt einer Strecke	$\vec{S}_{AB} = \frac{1}{2}(\vec{A} + \vec{B})$	1:1
Schwerpunkt eines Dreiecks	$\vec{S}_{ABC} = \frac{1}{3}(\vec{A} + \vec{B} + \vec{C})$	1:2
Schwerpunkt einer Pyramide	$\vec{S}_{ABCD} = \frac{1}{4}(\vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D})$	1:3

[7] hierbei ist A_G der Flächeninhalt der Grundfläche und h die Höhe

Beispiel für Vektorketten



Der Vektor $\overrightarrow{MN}$ wird mithilfe der Vektoren $\vec{a}$, $\vec{b}$ und $\vec{c}$ ausgedrückt.

$$\begin{aligned}\overrightarrow{MN} &= -\frac{1}{2}\overrightarrow{BS} + \overrightarrow{BC} + \frac{1}{2}\overrightarrow{CS}\\ &= -\frac{1}{2}(\vec{c}-\vec{a}) + \vec{b} + \frac{1}{2}\left(\vec{c}-\vec{a}-\vec{b}\right)\\ &= -\frac{1}{2}\vec{c} + \frac{1}{2}\vec{a} + \vec{b} + \frac{1}{2}\vec{c} - \frac{1}{2}\vec{a} - \frac{1}{2}\vec{b}\\ &= \frac{1}{2}\vec{b}\end{aligned}$$

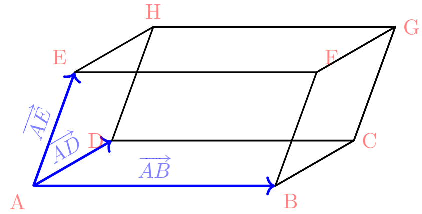
Damit folgt, das die Mittellinie $\overline{MN}$ parallel, gleichgerichtet aber nur halb so lang wie der Vektor $\vec{b}$ ist.

Operationen mit Vektoren

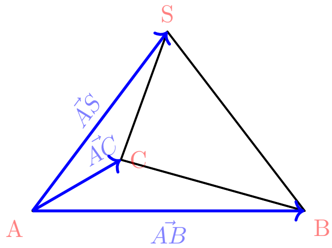
- Länge eines Vektors $\longrightarrow |\vec{a}| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}$
- Skalare Multiplikation $\longrightarrow \vec{b} = \lambda \cdot \vec{a}$
- Skalarprodukt $\longrightarrow \vec{a} \circ \vec{b} = a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3 \in \mathbb{R}$
- Vektorprodukt mit $\vec{a} \neq \vec{0}$ und $\vec{b} \neq \vec{0}$
  $\longrightarrow \vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_2 \cdot b_3 - a_3 \cdot b_2 \\ a_3 \cdot b_1 - a_1 \cdot b_3 \\ a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1 \end{pmatrix}$
- Spatprodukt $\longrightarrow$ Verknüpfung von Vektorprodukt und Skalarprodukt
  1 $d = \left(\vec{a} \times \vec{b}\right) \circ \vec{c} \in \mathbb{R}$

Eigenschaften der Operationen

- Länge
  1 $|\vec{A}| \longrightarrow$ Abstand des Punktes A vom Urpsrung
  2 $|\overrightarrow{PQ}| \longrightarrow$ Abstand des beiden Punkte P und Q
- skalare Multiplikation
  1 $\lambda\vec{a} \longrightarrow$ Längenänderung von $\vec{a}$
  2 $\vec{a}^* = \frac{1}{|\vec{a}|} \cdot \vec{a} \longrightarrow |\vec{a}^*| = 1$
- Skalarprodukt
  1 $\vec{a} \circ \vec{b} = 0 \curvearrowright \vec{a} \perp \vec{b}$
  2 Winkel zwischen zwei Vektoren $\vec{a}$ und $\vec{b}$
  $\longrightarrow \cos(\varphi) = \frac{\vec{a} \circ \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|} \curvearrowright \varphi = \cos^{-1}\left(\frac{\vec{a} \circ \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|}\right)$
- Vektorprodukt
  1 $\vec{a} \times \vec{b} = \vec{c}$
  2 $\vec{a} \perp \vec{c}$ und $\vec{b} \perp \vec{c}$
  3 Flächeninhalt $\triangle ABC \longrightarrow A_{\text{Dreieck}} = \frac{1}{2} \cdot |\vec{a} \times \vec{b}|$
  4 Flächeninhalt Parallelogramm $\longrightarrow A_{\text{P}} = |\vec{a} \times \vec{b}|$
- Spatprodukt $\longrightarrow$ bestimmt ein Volumen
  1 Volumen eines Spates $\longrightarrow V_{\text{Spat}} = |\left(\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AD}\right) \circ \overrightarrow{AE}|$



2 Volumen einer dreiseitigen Pyramide
$\longrightarrow V_{\text{Pyramide}} = |\frac{1}{6} \cdot \left(\overrightarrow{AB} \times \overrightarrow{AC}\right) \circ \overrightarrow{AS}|$



Kugelgleichung

- Kugel um den Ursprung mit Radius r
  $\longrightarrow (x_1)^2 + (x_2)^2 + (x_3)^2 = r^2$
- Kugel um $M(m_1|m_2|m_3)$ mit Radius r
  $\longrightarrow (x_1 - m_1)^2 + (x_2 - m_2)^2 + (x_3 - m_3)^2 = r^2$

Platz für eigene Notizen:

Notizen:

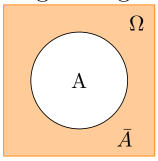
Stochastik

Ereignisalgebra

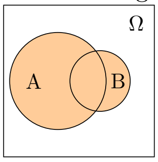
- Ein Ereignis A ist eine Teilmenge des Ergebnisraums Ω
- Ein Ereigni A tritt ein, wenn das Versuchsergebnis ω in A enthalten ist, es gilt also $\omega \in A$
- Alle Elemente von Ω sie nicht zum Ereignis A gehören, fasst man unter dem Namen Gegenereignis $\overline{A}$ zusammen, es gilt $\overline{A} = \Omega \setminus A$
- Zwei Ereignisse A und B heißen unvereinbar, wenn gilt $A \cap B = \{\ \}$.

Venn-Diagramme

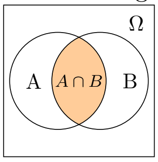
- Gegenereignis $\bar{A}$: "nicht A", Ereignis A tritt nicht ein



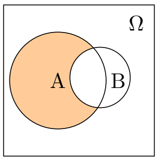
- Vereinigungsmenge $A \cup B$: "A oder B", Mindestens eines der beiden Ereignisse tritt ein



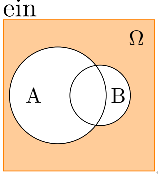
- Schnittmenge $A \cap B$: "A und B", Beide Ereignisse treten ein



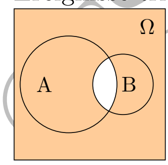
- "A und nicht B" $A \cap \overline{B}$: Es tritt genau das Ereignis A ein



- "nicht A und nicht B" $\bar{A} \cap \bar{B} = \overline{A \cup B}$: Weder A noch B tritt ein



- "nicht A oder nicht B" $\bar{A} \cup \overline{B} = \overline{A \cap B}$: Höchstens eines der Ereignisse tritt ein



Laplace-Wahrscheinlichkeiten

- Alle Ergebnisse eines Zufallsexperiments sind gleich wahrscheinlich
- Beispiel: 1 drehen eines Glücksrads mit gleich großen Sektoren 2 "normaler" Würfel 3 Wurf mit einer "normalen" Münze
- Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses A ist gleich der Anzahl der Elemente von A dividiert durch die Anzahl der Elemente von Ω
- $P(A) = \frac{|A|}{|\Omega|} = \frac{\text{Anzahl der günstigen Ergebnisse}}{\text{Anzahl der möglichen Ergebnisse}}$
- $|A|$ entspricht der Mächtigkeit von A
- $|\Omega|$ entspricht der Mächtigkeit von Ω

Axiomatischer Aufbau der Stochastik

Eine Funktion P, die jedem Ereignis A eine reelle Zahl $P(A)$ zuordnet, heißt Wahrscheinlichkeitsverteilung, wenn sie die folgenden Eigenschaften besitzt:

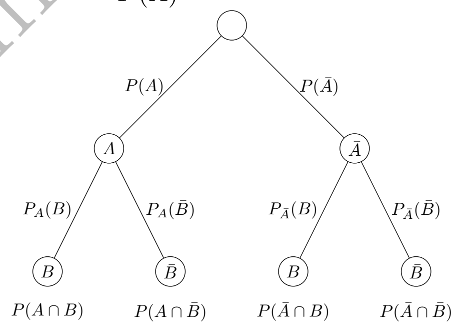
- Axiom I: $P(A) \geq 0$
- Axiom II: $P(\Omega) = 1$
- Axiom III: $A \cap B = \{\ \} \Rightarrow P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ wenn die Schnittmenge zweier Ereignisse leer ist, dann gilt für die Wahrscheinlichkeit der Vereinigung zweier Ereignisse $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$

Eigenschaften

- $P(A) + P(\bar{A}) = 1$
- $P(\{\ \}) = 0$
- $A \subseteq B \Rightarrow P(A) \leq P(B)$
- $P(A) \leq 1$ mit $A \subseteq \Omega$
- $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

Bedingte Wahrscheinlichkeit

Ist das Ereignis A eingetreten, dann ist die bedingte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses B gleich $P_A(B) = \dfrac{P(A \cap B)}{P(A)}$. Folgt aus der Anwendung der Pfadregeln.



Nach der ersten Pfadregel berechnet sich die Wahrscheinlichkeit $P(A \cap B)$ durch das Produkt der einzelnen Pfadwahrscheinlichkeiten. Es gilt damit also $P(A \cap B) = P(A) \cdot P_A(B)$ und daraus folgt die Beziehung: $P_A(B) = \dfrac{P(A \cap B)}{P(A)}$

Stochastische Unabhängigkeit

Zwei Ereignisse A und B heißen stochastisch unabhängig, wenn $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$ gilt. Andernfalls nennt man diese stochastisch abhängig.

Kombinatorik

1 Permutation als Anordnung von n Objekten in einer bestimmten Reihenfolge $\longrightarrow n! = n \cdot (n-1) \cdot (n-2) \cdot \ldots \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1$

2 Unterscheidungsmöglichkeiten in einem Urnenexperimentes: Man zieht aus einer Menge mit n Elementen $k-$Elemente heraus

	Mit Reihenfolge	Ohne Reihenfolge
Mit Zurücklegen	n^k	$\binom{n+k-1}{k}$
Ohne Zurücklegen	$\frac{n!}{(n-k)!}$	$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$

- Eigenschaften des Binomialkoeffizienten

1 Der Binomialkoeffizient ist symmetrisch $\longrightarrow \binom{n}{k} = \binom{n}{n-k}$

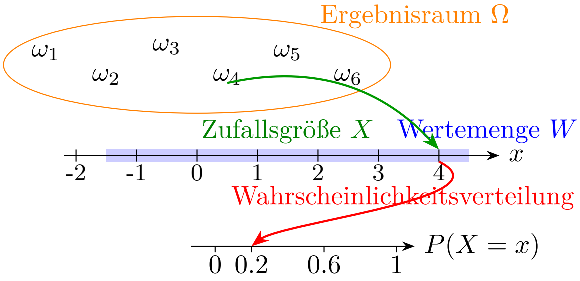
2 Besondere Werte des Binomialkoeffizienten $\binom{n}{0} = 1$; $\binom{n}{1} = n$ und $\binom{n}{n} = 1$

Zufallsgrößen

- Eine Funktion X, die jedem Ergebnis ω eines Ergebnisraumes Ω eine reelle Zahl x zuordnet, heißt Zufallsgröße[8] X.

- Jeder Wert x einer ZG X tritt mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit $P(X = x)$ auf. Die Funktion, die jedem Wert x einer ZG X die Wahrscheinlichkeit $P(X = x)$ zuordnet, heißt Wahrscheinlichkeitsverteilung der ZG X.

- Als Beispiel ist hier $P(X = 4) = 0,2$ dargestellt.



Erwartungswert und Varianz

- Eine ZG nimmt die Werte $x_1, x_2, \ldots, x_n$ mit den Wahrscheinlichkeiten $P(X = x_1), P(X = x_2), \ldots, P(X = x_n)$ an. Dann heißt der zu erwartende Mittelwert
$\mu = E(X) = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot P(X = x_i)$
$= x_1 \cdot P(X = x_1) + x_2 \cdot P(X = x_2) + \ldots + x_n \cdot P(X = x_n)$
Erwartungswert von X. Hinweis: Der Erwartungswert μ ist häufig kein Wert, den die ZG annimmt.

- Eine ZG mit $E(X) = \mu$ nehme die Werte $x_1, x_2, \ldots, x_n$ mit den Wahrscheinlichkeiten
$P(X = x_1), P(X = x_2), \ldots, P(X = x_n)$ an. Dann heißt die mittlere quadratische Abweichung von μ Varianz von X:
$Var(X) = \sum_{i=1}^{n} (x_i - \mu)^2 \cdot P(X = x_i)$
$= (x_1 - \mu)^2 \cdot P(X = x_1) + \ldots + (x_n - \mu)^2 \cdot P(X = x_n)$

- Die Standardabweichung σ einer ZG X bestimmt sich durch $\sigma = \sqrt{Var(X)}$

Hypergeometrische Verteilung

- Als Anwendung der Kombinatorik mit den Einschränkungen ziehen ohne zurücklegen und ohne Beachtung der Reihenfolge

- Es gibt $\binom{n}{k}$ Möglichkeiten k Objekte ohne Berücksichtigung der Reihenfolge aus n verschiedenen Objekten auszuwählen.

- Aus einer Urne mit N Kugeln, wovon S schwarz sind, werden n Kugeln ohne Zurücklegen gezogen. Die ZG X beschreibt die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
Wahrscheinlichkeitsverteilung dieser Zufallsgröße
$P(X = k) = \frac{\binom{S}{k} \cdot \binom{N-S}{n-k}}{\binom{N}{n}}$ mit $k \leq n$ und $k \leq S$

- Beispiel: $\boxed{1}$ $N = 200$, $S = 10$, $n = 180$ und $k = 9$
$\boxed{2}$ $P(X = 9) = \frac{\binom{10}{9} \cdot \binom{190}{171}}{\binom{200}{180}} \approx 39,74\%$

Binomialverteilung

Bernoulli-Kette

- Ein ZG mit nur zwei möglichen Ergebnissen nennt man Bernoulli-Experiment $\longrightarrow$ Treffer "1" bzw. Niete "0"

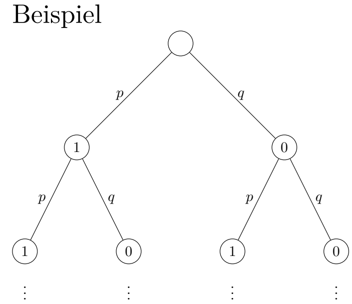
- Trefferwahrscheinlichkeit p

- Nietenwahrscheinlichkeit $q = 1 - p$

- Wird ein Bernoulli-Experiment $n-$mal unabhängig durchgeführt, spricht man von einer Bernoulli-Kette der Länge n.

- Die Trefferwahrscheinlichkeit p bleibt dabei konstant
$\longrightarrow$ ziehen ohne zurücklegen ohne Beachtung der Reihenfolge

- Beispiel



Wahrscheinlichkeiten

- Wahrscheinlichkeit eines Ergebnisses ω in einer Bernoulli-Kette $\longrightarrow$ Wahrscheinlichkeit entlang eines Astes
$P_p^n(\omega) = \underbrace{p^k}_{\text{Treffer-wahrscheinlichkeit}} \cdot \underbrace{(1-p)^{n-k}}_{\text{Nieten-wahrscheinlichkeit}}$

- Wahrscheinlichkeit für genau k Treffer beträgt
$P_p^n(X = k) = \underbrace{\binom{n}{k}}_{\text{Anzahl der Pfade mit } k \text{ Treffern}} \cdot \underbrace{p^k}_{\text{Treffer-wahrscheinlichkeit}} \cdot \underbrace{(1-p)^{n-k}}_{\text{Nieten-wahrscheinlichkeit}}$

- Mindestens ein Treffer
$P_p^n(X \geq 1) = 1 - P_p^n(X = 0) = 1 - q^n$

- Anwendung der Wahrscheinlichkeiten $\longrightarrow$ 3m$-$ Aufgaben
$\boxed{1}$ Mindest-Trefferwahrscheinlichkeit p bei gegebenem n
$$P_p^5(X \geq 1) \geq 0,9$$
$$1 - P_p^5(X = 0) \geq 0,9$$
$$1 - (1-p)^5 \geq 0,9$$
$$p \geq \sqrt[5]{0,1}$$
$\boxed{2}$ Mindest-Anzahl an Versuchen n bei gegebenem p
$$P_{0,6}^n(X \geq 1) \geq 0,999$$
$$1 - P_{0,6}^n(X = 0) \geq 0,999$$
$$1 - (0,4)^n \geq 0,999$$
$$n \geq \frac{\ln(0,001)}{\ln(0,4)}$$

Erwartungswert und Varianz

- Wahrscheinlichkeitsverteilung eine Binomialverteilung
$\boxed{1}$ $B(n,p) = P_p^n(X = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot q^{n-k}$ mit $k \in \{0, 1, \ldots, n\}$
$\boxed{2}$ kumulative Verteilung:
$F_p^n(k) = P_p^n(X \leq k) = \sum_{i=0}^{k} P_p^n(X = k)$
$= \sum_{i=0}^{k} \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot q^{n-k}$ mit $k \in \{0, 1, \ldots, n\}$

- Erwartungswert: $E(X) = n \cdot p$

- Varianz: $Var(X) = n \cdot p \cdot q$

- Standardabweichung: $\sigma = \sqrt{Var(x)} = \sqrt{n \cdot p \cdot q}$

[8] Zufallsgröße $\longrightarrow$ ZG