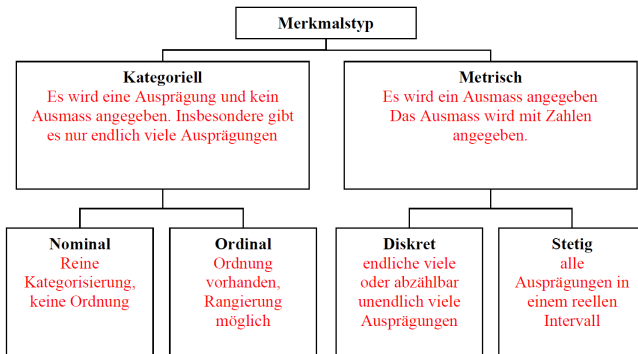


Stochastik und Statistik

Deskriptive Statistik

Begriffe

- **Merkmalsträger:** Objekte, über die Informationen gesammelt werden (z.B. Personen, Tiere, Dinge)
- **Merkmal:** Eigenschaft eines Merkmalsträgers (z.B. Alter, Geschlecht, Größe)
- **Grundgesamtheit:** Gesamte Menge aller Merkmalsträger
- **Stichprobe:** Teilmenge der Grundgesamtheit
- **Vollerhebung:** Untersuchung der gesamten Grundgesamtheit
- **Ausprägung:** Mögliche Werte eines Merkmals



Relative/Absolute Häufigkeit

Nicht klassierte Daten

$$f_i = \frac{h_i}{n}$$

Klassierte Daten

$$f_i = \frac{g(x)}{b_i} \quad \text{mit} \quad g(x) = \frac{h_i}{n}$$

- f_i : relative Häufigkeit der Ausprägung i (PMF)
- h_i : absolute Häufigkeit der Ausprägung i
- n : Gesamtanzahl der Beobachtungen

Summenhäufigkeit

Nicht klassierte Daten

$$H(x) = \sum_{j=1}^x h_j \quad \text{bzw.} \quad F(x) = \sum_{j=1}^x f_j$$

Klassierte Daten

$$H(x_k) = \sum_{j=1}^k h_j \quad \text{bzw.} \quad F(x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy$$

- $H(x)$: Summe aller absoluten Häufigkeiten bis Ausprägung x
- Wenn h absolute Häufigkeit, dann heisst H Summenhäufigkeit
- Wenn f relative Häufigkeit, dann heisst F kumulative Verteilungsfunktion (CDF)

Eigenschaften der PMF und CDF nicht klassierter Daten

- $0 \leq f_i \leq 1$ und $0 \leq F(x) \leq 1$
- $\sum_i f_i = 1$ bzw. $F(x_{\max}) = 1$
- $F(x)$ ist monoton wachsend $\Rightarrow F(x_1) \leq F(x_2)$ für $x_1 < x_2$
- $F(x)$ ist rechtsstetig heisst der Wert an der Stelle x ist gleich dem Grenzwert von rechts

Eigenschaften der PMF und CDF klassierter Daten

- $0 \leq f_i \leq 1$ und $0 \leq F(x) \leq 1$
- $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1$ und $F'(x) = f(x)$
- Für $x \in K_i$ gilt: $\frac{F(x) - F(a_i)}{b_i} = \frac{F(a_{i+1}) - F(a_i)}{b_i} = f_i$

Klassierte Daten

- Daten werden in Klassen eingeteilt
- Klassenbreite: $b_i = a_{i+1} - a_i$ (mit a_i Klassenuntergrenze)
- Klassenmitte: $M_i = \frac{a_{i+1} - a_i}{2}$ (mit l untere und u obere Klassenbegrenzung)
- Dichte: $d_i = \frac{f_i}{b_i}$

Kenngrossen

• Arithmetisches Mittel:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{bzw. wenn klassiert} \quad \bar{x} = \sum_{i=1}^m f_i \cdot M_i$$

• Median:

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}}, & n \text{ ungerade} \\ \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}}{2}, & n \text{ gerade} \end{cases}$$

• Modalwert:

$$\hat{x} = x_i \quad \text{mit} \quad h_i = \max(h_1, h_2, \dots, h_k)$$

• Varianz:

$$\tilde{s}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{bei klassierten Daten } x_i = M_i)$$

$$\tilde{s}^2 = \overline{x^2} - \bar{x}^2 \quad \text{mit} \quad \overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{bzw.}) \quad s^2 = \frac{n}{n-1} \tilde{s}^2$$

• Standardabweichung:

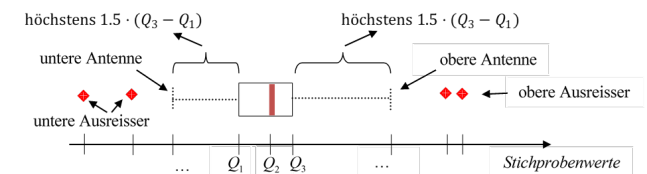
$$s = \sqrt{s^2} \quad \text{bzw.} \quad \tilde{s} = \sqrt{\tilde{s}^2}$$

• Spannweite:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

• Quantile:

$$Q_p = \begin{cases} x_k, & \text{für } n \cdot p \text{ ganzzahlig} \\ x_{[n \cdot p]}, & \text{sonst} \end{cases}$$



Kovarianz und Korrelation

- **Kovarianz:**

$$\tilde{s}_{xy} = \text{Cov}(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}$$

- **Korrelationskoeffizient nach Pearson:**

$$r = \frac{\text{Cov}(X, Y)}{s_X s_Y} = \frac{\tilde{s}_{xy}}{\sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \cdot \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2}}$$

- r liegt im Intervall $[-1, 1]$
- $r > 0$: positive Korrelation, $r < 0$: negative Korrelation, $r = 0$: keine Korrelation
- \tilde{s}_{xy} und r beschreiben die lineare Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen d.h. wie stark die Merkmale von der Geraden $y = mx + b$ abweichen
- Ist nicht robust gegenüber Ausreißern

Rangkorrelation nach Spearman

- Rang:

$$rg(x_i) = \begin{cases} k, & \text{wenn } x_i \text{ der } k\text{-te kleinste Wert ist} \\ \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m rg(x_{i_j}), & \text{bei } m \text{ gleichen Werten} \end{cases}$$

- Korrelationskoeffizient nach Spearman:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{mit } d_i = rg(x_i) - rg(y_i)$$

- r_s beschreibt die monotone Abhängigkeit zwischen zwei Merkmalen
- Ist robust gegenüber Ausreißern

Kombinatorik

Grundlagen

- **Multiplikationsregel:** Wenn ein Vorgang in m Arten und ein zweiter Vorgang in n Arten durchgeführt werden kann, dann können beide Vorgänge in $m \cdot n$ Arten durchgeführt werden.
- **Additionsregel:** Wenn ein Vorgang in m Arten und ein zweiter Vorgang in n Arten durchgeführt werden kann, und beide Vorgänge sich gegenseitig ausschließen, dann können beide Vorgänge in $m+n$ Arten durchgeführt werden.

Binomialkoeffizient

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!}$$

- Anzahl der Möglichkeiten, aus n Elementen k Elemente ohne Zurücklegen und ohne Beachtung der Reihenfolge auszuwählen
- n : Gesamtanzahl der Elemente
- k : Anzahl der auszuwählenden Elemente
- $\binom{n}{0} = 1, \binom{n}{n} = 1, \binom{n}{1} = n$
- Symmetrie: $\binom{n}{k} = \binom{n}{n-k}$
- Rekursion: $\binom{n}{k} = \binom{n-1}{k-1} + \binom{n-1}{k}$
- Binomischer Lehrsatz: $(x+y)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^{n-k} y^k$
- Summe der Binomialkoeffizienten: $\sum_{k=0}^n \binom{n}{k} = 2^n$

Kombinatorische Auswahlmöglichkeiten

	Mit Zurücklegen	Ohne Zurücklegen
Mit Reihenfolge	n^k <i>Zahlenschloss</i>	$\frac{n!}{(n-k)!}$ <i>Rennen</i>
Ohne Reihenfolge	$\binom{n+k-1}{k}$ <i>Warenwahl</i>	$\binom{n}{k}$ <i>Gruppenwahl</i>

Elementare Wahrscheinlichkeitsrechnung

Begriffe

- **Experiment:** Vorgang, der zu einem Ergebnis führt
- **Ergebnis:** Resultat eines Experiments
- **Ergebnismenge** (Ω): Menge aller möglichen Ergebnisse eines Experiments
- **Ereignis** (A): Teilmenge der Ergebnismenge
- **Sicheres Ereignis:** Ereignis, das immer eintritt ($A = \Omega$)
- **Unmögliches Ereignis:** Ereignis, das nie eintritt ($A = \emptyset$)

Diskrete Wahrscheinlichkeitsräume

- **Laplace-Experiment:** Experiment mit endlicher Ergebnismenge, bei dem alle Ergebnisse gleich wahrscheinlich sind
- **Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses:**

$$P(A) = \frac{|A|}{|\Omega|}$$

- **Axiome der Wahrscheinlichkeitsrechnung:**

- $0 \leq P(A) \leq 1$ für jedes Ereignis A
- $P(\Omega) = 1$
- Für paarweise disjunkte Ereignisse A_1, A_2, \dots gilt: $P(\bigcup_i A_i) = \sum_i P(A_i)$
- Wenn nicht disjunkt: $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$
- Komplementregel: $P(\Omega \setminus A) = 1 - P(A)$

Lage- und Streumasse

- **Lagemasse:** Beschreiben die zentrale Tendenz einer Verteilung
- **Streumasse:** Beschreiben die Variabilität oder Streuung der Daten
- **Erwartungswert:**

$$\mu = E(X) = \sum_i x_i \cdot P(X = x_i)$$

- **Varianz:**

$$\sigma^2 = \text{Var}(X) = \sum_i (x_i - \mu)^2 \cdot P(X = x_i) = E(X^2) - \mu^2$$

- **Standardabweichung:**

$$\sigma = \sqrt{\text{Var}(X)}$$

Bedingte Wahrscheinlichkeiten

- **Bedingte Wahrscheinlichkeit:**

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad \text{für } P(B) > 0$$

- **Multiplikationssatz:**

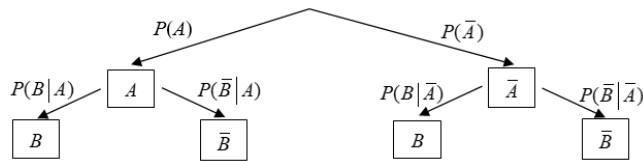
$$P(A \cap B) = P(A|B) \cdot P(B) = P(B|A) \cdot P(A)$$

- **Totale Wahrscheinlichkeit:**

$$P(A) = P(A|B) \cdot P(B) + P(A|\bar{B}) \cdot P(\bar{B})$$

- **Satz von Bayes:**

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)}$$



Stochastische Unabhängigkeit

- Zwei Ereignisse A und B sind stochastisch unabhängig, wenn gilt:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$$

- Äquivalent dazu:

$$P(A|B) = P(A) \quad \text{oder} \quad P(B|A) = P(B)$$

- Mehrere Ereignisse A_1, A_2, \dots, A_n sind stochastisch unabhängig, wenn für jede Teilmenge $I \subseteq \{1, 2, \dots, n\}$ gilt:

$$P\left(\bigcap_{i \in I} A_i\right) = \prod_{i \in I} P(A_i)$$

- Die Funktion $f(x, y) = P(X = x, Y = y)$ heisst gemeinsame Verteilung von X und Y
- Zufallsvariablen X und Y sind stochastisch unabhängig, wenn für alle x und y gilt:

$$P(X = x, Y = y) = P(X = x) \cdot P(Y = y)$$

Für stochastisch unabhängige Zufallsvariablen gilt:

- $E(XY) = E(X) \cdot E(Y)$
- $Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y)$

Spezielle Verteilungen

Die Hypergeometrische Verteilung

- Diskrete Verteilung
- Modelliert die Anzahl der Erfolge in einer Stichprobe ohne Zurücklegen
- Parameter: N (Gesamtanzahl), K (Anzahl der Erfolge in der Grundgesamtheit), n (Stichprobengröße)
- Kann bei $n \leq \frac{N}{20}$ durch die Binomialverteilung approximiert werden: $H(N, K, n) \approx B\left(n, \frac{K}{N}\right)$

- Wahrscheinlichkeitsfunktion:

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

- Erwartungswert: $E(X) = n \cdot \frac{K}{N}$
- Varianz: $Var(X) = n \cdot \frac{K}{N} \cdot \left(1 - \frac{K}{N}\right) \cdot \frac{N-n}{N-1}$

Die Bernoulli-Verteilung

- Diskrete Verteilung
- Modelliert ein Experiment mit zwei möglichen Ergebnissen (Erfolg oder Misserfolg)
- Parameter: p (Wahrscheinlichkeit für Erfolg)
- Wahrscheinlichkeitsfunktion:

$$P(X = 1) = p, \quad P(X = 0) = 1 - p$$

- Erwartungswert: $E(X) = E(X^2) = p$
- Varianz: $Var(X) = p(1 - p)$

Die Binomialverteilung

- Diskrete Verteilung
- Modelliert die Anzahl der Erfolge in einer Serie von unabhängigen Bernoulli-Experimenten
- Parameter: n (Anzahl der Experimente), p (Wahrscheinlichkeit für Erfolg)
- Kann bei $n \geq 50$ und $p \leq 0.1$ durch die Poisson-Verteilung approximiert werden: $B(n, p) \approx P(\lambda = n \cdot p)$
- Wahrscheinlichkeitsfunktion:

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

- Erwartungswert: $E(X) = n \cdot p$
- Varianz: $Var(X) = n \cdot p \cdot (1 - p)$

Die Poisson-Verteilung

- Diskrete Verteilung
- Modelliert die Anzahl der Ereignisse in einem festen Intervall, wenn die Ereignisse unabhängig und mit konstanter Rate auftreten
- Parameter: λ (durchschnittliche Anzahl der Ereignisse pro Intervall)
- Wahrscheinlichkeitsfunktion:

$$P(X = k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}$$

- Erwartungswert: $E(X) = \lambda$
- Varianz: $Var(X) = \lambda$

Gauss'sche Normalverteilung

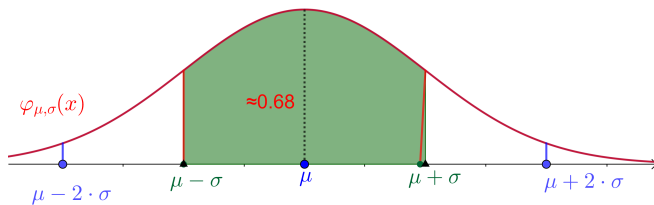
- Stetige Verteilung
- Modelliert viele natürliche Phänomene (z.B. Messfehler, Körpergrößen)
- Parameter: μ (Erwartungswert), σ (Standardabweichung)
- Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

- Kumulative Verteilungsfunktion:

$$\phi_{\mu,\sigma}(x) = P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

- Erwartungswert: $E(X) = \mu$
- Varianz: $Var(X) = \sigma^2$
- Standardnormalverteilung: $\mu = 0, \sigma = 1$
- Zentraler Grenzwertsatz: Summe vieler unabhängiger Zufallsvariablen nähert sich einer Normalverteilung an



Regression

- Gegeben: Datenpunkte (x_i, y_i) für $i = 1, 2, \dots, n$
- Residuen / Fehler: $\epsilon_i = y_i - \hat{y}_i$ mit \hat{y}_i als geschätzter Wert
- Ziel: Funktion $f(x)$ finden, die die Datenpunkte bestmöglich beschreibt

Regressionsgerade

- Lineare Regression: $f(x) = ax + b$
- Korrelationskoeffizient

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

- Lösungen:

$$a = \frac{\tilde{s}_{xy}}{\tilde{s}_x^2} \quad (\text{Geht auch mit den korrigierten Varianzen})$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

$$\tilde{s}_\epsilon^2 = \tilde{s}_y^2 - \underbrace{\frac{\tilde{s}_{xy}^2}{\tilde{s}_x^2}}_{\tilde{s}_y^2} \quad (\text{Varianz der Residuen})$$

- Totale Varianz:

$$\tilde{s}_y^2 = \tilde{s}_y^2 + \tilde{s}_\epsilon^2$$

- Bestimmtheitsmass:

$$R^2 = \frac{\tilde{s}_y^2}{\tilde{s}_y^2} = r_{xy}^2$$

- R^2 gibt an, wie gut die Regressionsgerade die Daten beschreibt (0 bis 1)

Bestimmung der Regressionsparameter mittels Matrix

- Datenpunkte in Vektorform:

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}$$

- Regressionsparameter in Vektorform:

$$\mathbf{b} = \begin{pmatrix} b \\ a \end{pmatrix}$$

- Normalengleichung:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \mathbf{b} = \mathbf{A}^T \mathbf{y}$$

- Lösung:

$$\mathbf{b} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y}$$

- Residuenvektor:

$$\vec{\epsilon} = \vec{y} - \mathbf{A}\vec{b}$$

Schliessende Statistik

Zufallsstichprobe

- Stichprobe, bei der jedes Element der Grundgesamtheit die gleiche Wahrscheinlichkeit hat, ausgewählt zu werden
- Wichtig für die Repräsentativität der Stichprobe

Parameterschätzung

- Erwartungstreue Schätzer: $E(\hat{\theta}) = \theta$
- Effizienz: Varianz des Schätzers ist minimal
- Konsistenz: Schätzer konvergiert gegen den wahren Parameterwert bei wachsendem Stichprobenumfang

Vertrauensintervalle

- Intervall, das den wahren Parameterwert mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (Konfidenzniveau) enthält
- Für den Mittelwert bei bekannter Varianz:

$$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

- Für den Mittelwert bei unbekannter Varianz:

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2, n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Wichtigste Tabellen

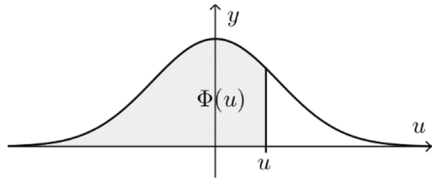
Vertrauensintervalle zum Niveau γ

Verteilung der Grundgesamtheit	zu schätzender Parameter	Schätzfunktion	Zugehörige standardisierte Zufallsvariable	Verteilung und benötigte Quantile	Zufallsvariablen für Intervallgrenzen
Normalverteilung, Varianz bekannt	μ	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$	Standardnormalverteilung $c = u_p$ mit $p = \frac{1+\gamma}{2}$	$\Theta_u = \bar{x} - c \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ $\Theta_o = \bar{x} + c \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Normalverteilung, Varianz unbekannt und $n \leq 30$ (sonst Fall 1 mit s statt σ)	μ	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	$T = \frac{\bar{X} - \mu}{S/\sqrt{n}}$	t-Verteilung mit $f = n - 1$ Freiheitsgraden, $c = t_{f,p}$ mit $p = \frac{1+\gamma}{2}$	$\Theta_u = \bar{x} - c \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$ $\Theta_o = \bar{x} + c \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$
Normalverteilung	σ^2	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$	$Z = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2}$	Chi-Quadrat-Verteilung mit $f = n - 1$, $c_1 = z_{p_1;f}$, $c_2 = z_{p_2;f}$ mit $p_1 = \frac{1-\gamma}{2}$, $p_2 = \frac{1+\gamma}{2}$	$\Theta_u = \frac{(n-1)S^2}{c_2}$ $\Theta_o = \frac{(n-1)S^2}{c_1}$
Bernoulli-Verteilung mit $n\hat{p}(1 - \hat{p}) > 9$	p	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ X_i 0 oder 1 mit $P(X_i = 1) = p$	$U = \frac{\bar{X} - p}{\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}}$	Standardnormalverteilung $c = u_p$ mit $p = \frac{1+\gamma}{2}$	$\Theta_u = \bar{x} - c \cdot \sqrt{\frac{\bar{x}(1-\bar{x})}{n}}$ $\Theta_o = \bar{x} + c \cdot \sqrt{\frac{\bar{x}(1-\bar{x})}{n}}$

Diskrete und Stetige Verteilungen

	Diskrete Verteilungen	Stetige Verteilungen
Dichtefuntion / PMF / PDF	$f(x) = P(X = x)$	$f(x) = F'(x) \neq P(X = x)$
Kumulative Verteilungsfunktion / CDF	$F(x) = P(X \leq x) = \sum_{t \leq x} f(t)$	$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t)dt$
Wahrscheinlichkeiten	$P(a \leq X \leq b) = \sum_{x=a}^b f(x)$ $P(a < X \leq b) = \sum_{x=a+1}^b f(x)$ $P(a < X < b) = \sum_{x=a+1}^{b-1} f(x)$ $P(a < X) = 1 - F(a)$	$\left. \begin{matrix} P(a \leq X \leq b) \\ P(a < X \leq b) \\ P(a < X < b) \end{matrix} \right\} = \int_a^b f(x)dx$ $P(a < X) = 1 - F(a)$
Erwartungswert	$E(X) = \sum_{x \in \mathbb{R}} x \cdot f(x)$	$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x)dx$
Varianz	$Var(X) = \sum_{x \in \mathbb{R}} (x - E(X))^2 \cdot f(x)$	$Var(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E(X))^2 \cdot f(x)dx$
Graphische Darstellung von $f(x)$ und $F(x)$	Stabdiagramm	Graph

Tabelle 1: CDF $\Phi(u)$ der Standardnormalverteilung



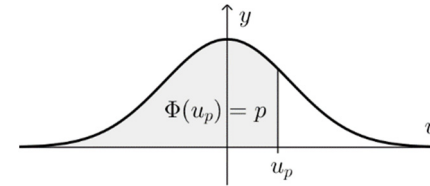
$$P(U \leq u) = \Phi(u)$$

$$P(U \geq u) = 1 - \Phi(u)$$

$$P(-u \leq U \leq u) = 2 \cdot \Phi(u) - 1$$

$$\Phi(-u) = 1 - \Phi(u)$$

Tabelle 2: Quantile der Standardnormalverteilung



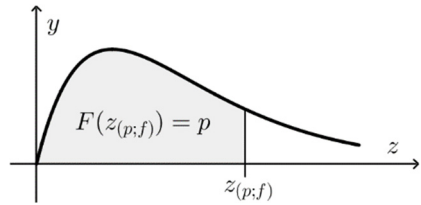
p : vorgegebene
Wahrscheinlichkeit

u_p : zur Wahrscheinlichkeit p
gehöriges Quantil

u	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998
3.5	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998	0.9998
3.6	0.9998	0.9998	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.7	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.8	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999	0.9999
3.9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

p	u_p	p	u_p
0.90	1.282	0.10	-1.282
0.95	1.645	0.05	-1.645
0.975	1.960	0.025	-1.960
0.99	2.326	0.01	-2.326
0.995	2.576	0.005	-2.576
0.999	3.090	0.001	-3.090

Tabelle 3: Quantile der Chi-Quadrat-Verteilung

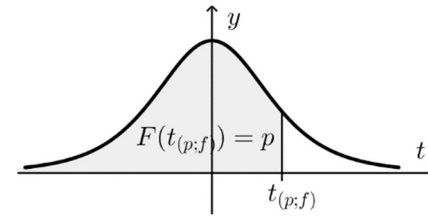


p : vorgegebene Wahrscheinlichkeit

$z_{(p;f)}$: zur Wahrscheinlichkeit p gehöriges Quantil bei f Freiheitsgraden

	p									
f	0.005	0.01	0.025	0.05	0.1	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.86	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
22	8.6	9.5	11.0	12.3	14.0	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8
24	9.9	10.9	12.4	13.8	15.7	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6
26	11.2	12.2	13.8	15.4	17.3	35.6	38.9	41.9	45.6	48.3
28	12.5	13.6	15.3	16.9	18.9	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0
30	13.8	15.0	16.8	18.5	20.6	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7
40	20.7	22.2	24.4	26.5	29.1	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8
50	28.0	29.7	32.4	34.8	37.7	63.2	67.5	71.4	76.2	79.5
60	35.5	37.5	40.5	43.2	46.5	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0
70	43.3	45.4	48.8	51.7	55.3	85.5	90.5	95.0	100.4	104.2
80	51.2	53.5	57.2	60.4	64.3	96.6	101.9	106.6	112.3	116.3
90	59.2	61.8	65.6	69.1	73.3	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3
100	67.3	70.1	74.2	77.9	82.4	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2

Tabelle 4: Quantile der t-Verteilung von «Student»



p : vorgegebene Wahrscheinlichkeit

$t_{(p;f)}$: zur Wahrscheinlichkeit p gehöriges Quantil bei f Freiheitsgraden

	p				
f	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
50	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678
60	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
100	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626
200	1.286	1.653	1.972	2.345	2.601
500	1.283	1.648	1.965	2.334	2.586
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

$$t_{(1-p;f)} = -t_{(p;f)}$$