

23 Wahrscheinlichkeitsrechnung

Die Wahrscheinlichkeit stellt ein Mass für die Sicherheit oder Unsicherheit eines Ereignisses in einem Zufallsexperiment dar.

Jedem Ereignis eines Zufallsexperimentes wird eine reelle Zahl zwischen 0 und 1 zugeordnet, die man als die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses bezeichnet.

Für die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses A schreibt man meistens $P(A)$ (das P kommt vom englischen Wort probability).

Je grösser $P(A)$ ist, desto wahrscheinlicher ist, dass bei diesem Zufallsexperiment das Ereignis A eintreten wird.

- Tritt A mit Sicherheit ein, so gilt $P(A) = 1$. (Achtung: die Umkehrung gilt nicht zwingend!)
- Tritt A mit Sicherheit nicht ein, so gilt $P(A) = 0$. (Achtung: die Umkehrung gilt nicht zwingend!)

Quelle: de.serlo.org, Lizenz: Creative Commons, BY-SA 4.0

23.1 Laplace Wahrscheinlichkeit

Die Laplace-Formel ist eine mathematische Formel aus der elementaren Wahrscheinlichkeitsrechnung. Hat ein Zufallsexperiment nur endlich viele Ergebnisse und haben diese alle die gleiche Wahrscheinlichkeit, so gilt für die Wahrscheinlichkeit $P(A)$ eines Ereignisses A :

$$P(A) = \frac{\text{Anzahl der Ergebnisse, bei denen das Ereignis } A \text{ eintritt}}{\text{Anzahl aller möglichen Ergebnisse}}$$

[...]

Benannt ist die Formel nach dem französischen Mathematiker und Astronomen Pierre Simon Laplace (1749–1827).

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Laplace-Formel>, 27. 11. 2019

23.2 Baumdiagramme

Mehrstufige Zufallsexperimente können oft mit «Bäumen» dargestellt und berechnet werden.

✂ **Aufgabe 23.1** In einer Urne liegen 5 rote, 4 grüne und 3 schwarze Kugeln. Man zieht nacheinander zwei Kugeln und notiert sich die Farben, z.B. r, g . Zeichnen Sie den vollständigen Baum für diesen Versuch und berechnen Sie folgende Wahrscheinlichkeiten, einmal mit, einmal ohne Zurücklegen. *Tipp: Notieren Sie sich die Wahrscheinlichkeiten für beide Varianten sinnvoll gekennzeichnet in einem Baum.*

- | | |
|------------------------------------|---|
| a) $P(\text{erst rot, dann grün})$ | b) $P(\text{mindestens eine rote})$ |
| c) $P(\text{zwei gleiche Farben})$ | d) $P(\text{zwei unterschiedliche Farben})$ |

Merke 23.2.1 Additionsregel für sich ausschliessende Ereignisse

Schliessen sich die Ereignisse A und B aus, beträgt die Wahrscheinlichkeit, **dass A oder B eintritt**:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B).$$

Der entsprechende Baum wird wie folgt dargestellt:

Beispiel: Ein Würfel wird geworfen. Sei A das Ereignis «6er», B das Ereignis «ungerade Augenzahl».

In diesem Fall schliessen sich A und B aus. Es gilt $P(A) = \frac{1}{6}$, $P(B) = \frac{3}{6} = \frac{1}{2}$ und $P(A \cup B) = P(A) + P(B) = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}$.

**Merke 23.2.2** Multiplikationsregel für unabhängige Ereignisse

Sind zwei Ereignisse A und B unabhängig voneinander, beträgt die Wahrscheinlichkeit, **dass beide** eintreten:

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

Der entsprechende Baum wird wie folgt dargestellt:

Beispiel: Ein Würfel wird zwei Mal geworfen. Sei A das Ereignis «6er im ersten Wurf» und B das Ereignis «6er im zweiten Wurf».

In diesem Fall sind A und B unabhängig. Es gilt $P(A) = P(B) = \frac{1}{6}$ und $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) = \frac{1}{36}$.

Merke 23.2.3 Wahrscheinlichkeit für die Vereinigung

Für zwei beliebige Ereignisse A und B beträgt die Wahrscheinlichkeit, **dass A oder B (oder beides)** eintritt:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B).$$

Veranschaulichen Sie das im Venn-Diagramm:

Beispiel: Ein Würfel wird zwei Mal geworfen. Sei A das Ereignis «6er im ersten Wurf» und B das Ereignis «6er im zweiten Wurf».

In diesem Fall schliessen sich A und B nicht aus, sind aber unabhängig. Es gilt $P(A) = P(B) = \frac{1}{6}$ und $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) = \frac{11}{36}$.

Intuitiv kann man das so begreifen, dass die Kombination 6,6 nur einmal gezählt wird, im Gegensatz z.B. zur Kombination 1,6 (die als 6,1 nochmals gezählt wird).

Merke 23.2.4 Gegenereignis

Sei A ein Ereignis und \bar{A} das Gegenereignis. Dann gilt:

$$P(A) = 1 - P(\bar{A})$$

Es ist manchmal einfacher, die Wahrscheinlichkeit eines Gegenereignisses zu berechnen, besonders wenn das Wort «*mindestens*» vorkommt.

Beispiel: Was ist die Wahrscheinlichkeit mit 5 Würfeln mindestens eine Eins zu werfen? Gegenereignis: «keine Eins». Also Antwort: $1 - \left(\frac{5}{6}\right)^5$.

✂ **Aufgabe 23.2** Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass in einer Klasse von n Schülern mindestens zwei am gleichen Tag Geburtstag haben. Für $n = 15$, $n = 20$, $n = 25$ und $n = 30$.

Annahme: 365 gleich wahrscheinliche verschiedene Geburtstage.

✂ **Aufgabe 23.3** Aus einem Skat-Blatt (32 Karten, wovon 4 unterscheidbare Buben) werden an drei Spieler je zehn Karten ausgegeben.

Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Spieler die folgenden Karten hat:

- drei bestimmte Buben, aber nicht den vierten?
- genau drei Buben?
- höchstens drei Buben?

Quelle der Aufgabe: de.serlo.org

✂ **Aufgabe 23.4** Ein «Teekenner» behauptet, er könne die Teesorten First Flush (Begriff für Darjeeling- und Assam-Tees der ersten Pflückung nach dem Winter) und Second Flush (zweite Pflückung) am Geschmack



unterscheiden. Er bekommt dazu einige Tassen vorgesetzt, wobei jede entweder First Flush oder Second Flush enthält. Äusserlich sind die verschiedenen Sorten nicht zu unterscheiden.

- a) Der «Teekenner» bekommt zwei Tassen vorgesetzt. Mit welcher Wahrscheinlichkeit benennt er den Inhalt der beiden Tassen richtig, wenn er rät? Zeichnen Sie zunächst ein Baumdiagramm.
- b) Der Test wird nun so abgeändert, dass der «Teekenner» vier Tassen vorgesetzt bekommt. Er soll jeweils den Inhalt bestimmen. Erläutere, ob ihm deiner Meinung nach das Prädikat «Teekenner» zu Recht zusteht, wenn er den Inhalt bei allen vier Tassen richtig zuordnet.
- c) Mit welcher Wahrscheinlichkeit tippt der «Teekenner» mindestens bei einer der vier Tassen daneben, falls er eine Treffsicherheit von 70% hat?
- d) Wie hoch muss die Treffsicherheit eines «wahren Kenners» mindestens sein, damit er in mindestens 95% der Fälle 5 Tassen nacheinander korrekt zuordnen kann?

Quelle der Aufgabe de.serlo.org

✂ **Aufgabe 23.5** Im Euromillions müssen erstens 5 Zahlen aus 50 ausgewählt werden. Zusätzlich dazu müssen zweitens 2 Sterne aus 12 ausgewählt werden.

Wie viele Möglichkeiten gibt es für die erste Wahl? Wie viele für die Zweite? Wie viele total? Was ist die Wahrscheinlichkeit die 5 richtigen Zahlen und die 2 richtigen Sterne auszuwählen?

✂ **Aufgabe 23.6** Wir betrachten ein Poker-Spiel mit 52 Karten (4 Farben, Werte 2-10,J,Q,K,A). Eine Poker-Hand besteht aus 5 Karten. Wie viele mögliche Poker-Hände

- a) gibt es insgesamt?
- b) gibt es mit vier Assen?
- c) gibt es mit *genau* vier gleichen Werten?
- d) gibt es mit *genau* drei gleichen Werten?
- e) gibt es mit einem Full-House (d.h. 2 gleiche und 3 gleiche Werte)?

Wie berechnet man daraus die Wahrscheinlichkeiten für diese Hände?

23.3 Bedingte Wahrscheinlichkeit

✂ **Aufgabe 23.7**

Ein Dopingtest ist nie total verlässlich: Bei bestimmten Tests werden Sportler, die kein Doping nehmen, in 0.1% der Fälle fälschlicherweise als positiv ausgewiesen. Genauso fällt der Test bei gedopten Sportlern mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% negativ aus. Wie gross ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Sportler mit positivem Dopingbefund tatsächlich unschuldig ist, wenn man annimmt, dass etwa 3% aller Sportler gedopt sind?

Zeichnen Sie dazu ein Baumdiagramm mit folgenden Ereignissen: Gedopt/nicht gedopt und Test positiv/negativ.

Vervollständigen Sie damit folgende Tabelle mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten:

	ungedopt	gedopt	total
negativ			
positiv			
total			

Wie gross ist der Anteil ungedopter Sportler bei positivem Test?

Die Wahrscheinlichkeit, dass bei positivem Test jemand unschuldig ist, ist mehr als 3%, obwohl der Test nur in 0.1% der Fälle fälschlicherweise positiv anzeigt.



Definition 23.3.1

Sind A und B zwei Ereignisse und ist $P(B) > 0$, dann heisst

$$P(A | B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{P(A \text{ und } B)}{P(B)}$$

die **(bedingte) Wahrscheinlichkeit von A unter der Bedingung B** .

✂ **Aufgabe 23.8** Zeigen Sie, dass $P(A | B) \cdot \frac{P(B)}{P(A)} = P(B | A)$. Wenden Sie diese Erkenntnis auf Aufgabe [Aufgabe 23.7](#) an.

Anders formuliert bedeutet $P(A | B)$ die Wahrscheinlichkeit, dass A eintritt, wenn man weiss, dass B eingetreten ist. Im Venn-Diagramm kann die Formel gut veranschaulicht werden. Wir nehmen dazu an, dass die Fläche gerade der Wahrscheinlichkeit entspricht.

Definition 23.3.2 Vierfeldtafel

In einer Vierfeldtafel werden die Wahrscheinlichkeiten (oder absoluten Häufigkeiten) für zwei Ereignisse A und B und deren Gegenereignissen eingetragen. Meist werden auch noch die Summen eingetragen.

	A	\bar{A}	Total
B	$P(A \cap B)$	$P(\bar{A} \cap B)$	$P(B)$
\bar{B}	$P(A \cap \bar{B})$	$P(\bar{A} \cap \bar{B})$	$P(\bar{B})$
Total	$P(A)$	$P(\bar{A})$	1

✂ **Aufgabe 23.9** An einem Berufskolleg werden alle 674 Schüler/innen befragt, ob sie rauchen oder nicht rauchen. Das Ergebnis der Befragung sieht wie folgt aus: 82 der insgesamt 293 Schüler (männlich) gaben an zu rauchen. 250 Schülerinnen gaben an nicht zu rauchen.

- Stellen Sie den Sachzusammenhang in einer Vierfeldtafel dar.
- Mit welcher Wahrscheinlichkeit ist eine zufällig ausgewählte Person weiblich und Nichtraucherin?
- Der Schulleiter sieht eine Schülerin im Aufenthaltsraum. Mit welcher Wahrscheinlichkeit ist diese Schülerin Nichtraucherin?
- Untersuchen Sie, ob das Ereignis «männlich» und das Ereignis «Raucher» voneinander abhängige Ereignisse sind. (Zwei Ereignisse sind unabhängig, wenn $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$.)

Quelle: <https://de.serlo.org/>, abgerufen am 14. Dezember 2018

Definition 23.3.3

Zwei Ereignisse sind unabhängig wenn gilt:

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

✂ **Aufgabe 23.10** Beweisen Sie, dass wenn die Ereignisse A und B unabhängig sind, dass dann gilt: $P(A | B) = P(A)$.



23.4 Erwartungswert und Zufallsvariablen

Definition 23.4.1 Zufallsvariable

Eine **Zufallsvariable** wird normalerweise in Grossbuchstaben notiert, meist X , und steht für ein Resultat eines Zufallsversuchs.

Jedem möglichen Resultat r kann die Wahrscheinlichkeit

$$P(X = r)$$

zugeordnet werden. Mit Zufallsvariablen kann gerechnet werden und man erhält so neue Zufallsvariablen.

Beispiel: Sei X die Augenzahl eines fairen Würfelwurfs. Es gilt z.B.:

$$P(X = 4) = \frac{1}{6}, \quad P(X < 3) = \frac{1}{3}, \quad P(X \text{ ist gerade}) = \frac{1}{2}.$$

✂ **Aufgabe 23.11** Seien X und Y die Augenzahlen je eines fairen Würfelwurfs.

- Sei $Z = X + Y$. Für welchen Zufallsversuch steht Z ? Berechnen Sie $P(Z = i)$ für $i = 1, 2, \dots, 12$.
- Sei $Z = 10X + Y$. Berechnen Sie $P(Z < 33)$.
- Berechnen Sie $P(X + X = 5)$.

Definition 23.4.2 Erwartungswert

Der Erwartungswert $E(X)$ einer Zufallsvariablen X ist

$$E(X) = \sum_{w \in W} w \cdot P(X = w),$$

wobei W die Menge aller möglichen Werte von X ist. Annahme: W ist endlich und $W \subset \mathbb{R}$.

Intuitiv ist der Erwartungswert einer Zufallsvariable X der durchschnittliche Wert, den man erhalten würde, wenn man das Experiment beliebig oft wiederholen würde.

Der Erwartungswert kann als gewichtetes Mittel der möglichen Werte aufgefasst werden, mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten als Gewichte.

✂ **Aufgabe 23.12** Berechnen Sie die Erwartungswerte folgender Zufallsvariablen:

- X ist das Resultat eines Würfelwurfs.
- Y ist das Maximum zweier Würfelwürfe. *Summe formal bestimmen, mit TR ausrechnen: «menu 4 5».*
- Z ist der Gewinn bzw. Verlust, wenn CHF 100.- im Roulette auf schwarz gesetzt werden.

✂ **Aufgabe 23.13** Wie viel mal muss gewürfelt werden, bis eine «Sechs» erscheint? Sei X die Zufallsvariable, die die Anzahl Versuche angibt, bis eine «Sechs» gewürfelt wurde.

- Berechnen Sie $P(X = 1)$, $P(X = 2)$ und $P(X = 3)$.
- Finden Sie eine Formel für $P(X = i)$ für $i \in \mathbb{N}^+$.
- Berechnen Sie $E(X)$. *Formel herleiten, mit TR ausrechnen.*

✂ **Aufgabe 23.14** Ein (frei erfundenes) «Mini-Lotto» wird wie folgt gespielt: Aus 20 Zahlen sind 4 auszuwählen. Später werden 4 Zahlen aus 20 zufällig gezogen. Die Gewinnquoten für ein Spiel à CHF 1.- sind wie folgt: 4 Richtige: CHF 1000.-, 3 Richtige: CHF 20.-, 2 Richtige: CHF 5.-.

- Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit, mit einem Tipp 4 Richtige zu haben.
- Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit, mit einem Tipp 3 Richtige zu haben.



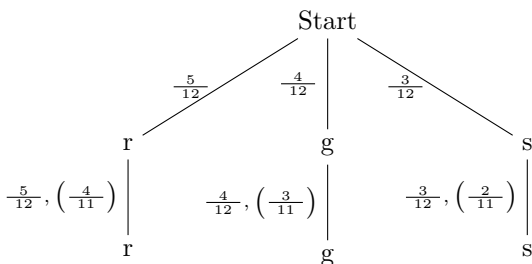
23.5 Lösungen

Hinweise zu den Symbolen:

- ✂ Diese Aufgaben könnten (mit kleinen Anpassungen) an einer Prüfung vorkommen. Für die Prüfungsvorbereitung gilt: "If you want to nail it, you'll need it".
- ✂ Diese Aufgaben sind wichtig, um das Verständnis des Prüfungsstoffs zu vertiefen. Die Aufgaben sind in der Form aber eher nicht geeignet für eine Prüfung (zu grosser Umfang, nötige «Tricks», zu offene Aufgabenstellung, etc.). **Teile solcher Aufgaben können aber durchaus in einer Prüfung vorkommen!**
- ✂ Diese Aufgaben sind dazu da, über den Tellerrand hinaus zu schauen und/oder die Theorie in einen grösseren Kontext zu stellen.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.1 ex-farbige-kugeln-in-urne-baumdiagramm

- a) Der Baum ist in diesem Fall ohne Verzweigungen.
 Mit Zurücklegen: $P(r, g) = \frac{5}{12} \cdot \frac{4}{12} = \frac{5}{36}$.
 Ohne Zurücklegen: $P(r, g) = \frac{5}{12} \cdot \frac{4}{11} = \frac{5}{33}$.
- b) Gegenereignis: Keine rote Kugel.
 Mit Zurücklegen: $P(\text{min. ein } r) = 1 - \left(\frac{7}{12}\right)^2 = \frac{95}{144}$.
 Ohne Zurücklegen: $P(\text{min. ein } r) = 1 - \frac{7}{12} \cdot \frac{6}{11} = 1 - \frac{7}{22} = \frac{15}{22}$.
- c) Die Wahrscheinlichkeiten ohne Zurücklegen sind in Klammern angegeben.



Damit liest man ab:

Mit Zurücklegen: $P(\text{zwei gleiche}) = \frac{5}{12} \cdot \frac{5}{12} + \frac{4}{12} \cdot \frac{4}{12} + \frac{3}{12} \cdot \frac{3}{12} = \frac{25}{72}$.
 Ohne Zurücklegen: $P(\text{zwei gleiche}) = \frac{5}{12} \cdot \frac{4}{11} + \frac{4}{12} \cdot \frac{3}{11} + \frac{3}{12} \cdot \frac{2}{11} = \frac{38}{132} = \frac{19}{66}$.

- d) Gegenereignis!, $P(\text{zwei unterschiedliche}) = 1 - P(\text{zwei gleiche})$
 Mit Zurücklegen: $P(\text{zwei unterschiedliche}) = \frac{47}{72}$.
 Ohne Zurücklegen: $P(\text{zwei unterschiedliche}) = \frac{47}{66}$.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.2 ex-repe-geburtstagsproblem

Wir berechnen die Gegenwahrscheinlichkeit. Dazu zeichnet man einen Baum (eigentlich nur ein Pfad), wo jede zusätzliche Person an einem Tag Geburtstag hat, wo noch keine andere ihren Geburtstag hat. Man erhält:

$$P(\text{alle verschieden}) = 1 \cdot \frac{364}{365} \cdot \frac{363}{365} \cdot \dots \cdot \frac{365-n+1}{365}$$

Für $n = 15$ erhält man: $1 - P(\text{alle verschieden}) \approx 1 - 0.7471 = 0.2529$.

Für $n = 20$ erhält man: $1 - P(\text{alle verschieden}) \approx 1 - 0.5886 = 0.4114$.

Für $n = 25$ erhält man: $1 - P(\text{alle verschieden}) \approx 1 - 0.4313 = 0.5687$.

Für $n = 30$ erhält man: $1 - P(\text{alle verschieden}) \approx 1 - 0.2937 = 0.7063$.

Hinweis: Ab $n = 23$ ($p = 0.5073$) können Sie darauf wetten.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.3 ex-skat-haende

Es gibt $\binom{32}{10}$ Möglichkeiten, 10 aus 32 Karten auszuwählen. Es gibt 4 Buben und 28 restliche Karten, die keine Buben sind.

- a) Die drei Buben sind bestimmt. Aus den restlichen 28 Karten werden 7 ausgewählt.

$$P(3 bestimmte Buben) = \frac{\binom{28}{7}}{\binom{32}{10}} = \frac{1184040}{64512240} = \frac{33}{1798} \approx 1.84\%$$

- b) Drei Buben auswählen, dann aus den restlichen 28 Karten 7 auswählen:

$$P(\text{Genau 3 Buben}) = \frac{\binom{4}{3} \cdot \binom{28}{7}}{\binom{32}{10}} = \frac{66}{899} \approx 7.34\%$$

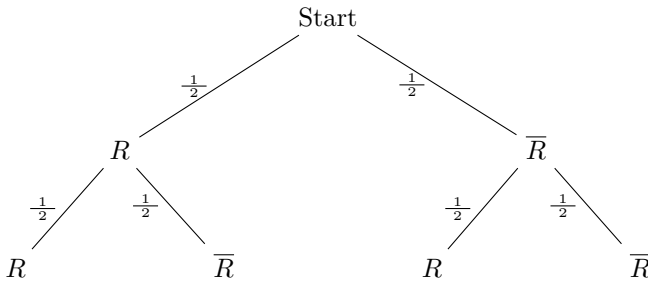


- c) Via Gegenereignis: 4 Buben.

$$P(\text{höchstens 3 Buben}) = 1 - P(4 \text{ Buben}) = 1 - \frac{\binom{28}{6}}{\binom{32}{10}} = \frac{3537}{3596} \approx 99.42\%$$

✂ Lösung zu Aufgabe 23.4 ex-teekenner

- a) Sei R das Ereignis "rät richtig".



Ein Ergebnis RR hat also die Wahrscheinlichkeit von $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$. D.h. in einem von vier Fällen liegt der «Teekenner» in beiden Fällen richtig.

- b) Die Wahrscheinlichkeit mit vier mal raten immer richtig zu liegen ist $(\frac{1}{2})^4 = \frac{1}{16} = 6.25\%$. D.h. nur in einem von 16 Fällen liegt der «Teekenner» vollständig richtig.
- c) Gegenwahrscheinlichkeit: Vier mal richtig. $P(\text{vier mal richtig}) = (0.7)^4 \approx 24\%$. D.h. in ca. 76% der Fälle liegt der «Kenner» mindestens einmal daneben.
- d) Sei p die unbekannte Treffsicherheit, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass der «wahre Kenner» eine Tasse richtig zuordnet. Es gilt: $P(5 \text{ Tassen richtig}) = p^5 = 95\%$. Daraus folgt $p = \sqrt[5]{0.95} \approx 98.98\%$. D.h. der «wahre Kenner» darf sich nur in einem von hundert Fällen irren, um sich durchschnittlich in nur einem von zwanzig «Fünferserien» zu irren.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.5 ex-repe-lotto

$$5 \text{ aus } 50: \frac{50 \cdot 49 \cdot 48 \cdot 47 \cdot 46}{5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = 2'118'760.$$

$$2 \text{ aus } 12: \frac{12 \cdot 11}{2 \cdot 1} = 66.$$

$$\text{Total Möglichkeiten: } 66 \cdot 2'118'760 = 139'838'160.$$

Die Wahrscheinlichkeit, in EuroMillions alles richtig zu tippen, beträgt $1 : 139'838'160 \approx 7.151 \cdot 10^{-9}$.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.6 ex-poker-haende

- a) Für die erste Karte gibt es 52 Möglichkeiten, für die zweite 51, etc., also $52 \cdot 51 \cdot 50 \cdot 49 \cdot 48$. Die Reihenfolge der Karten spielt aber keine Rolle. Für eine gegebene Kombination von Karten, können die noch umsortiert werden, die erste Karte auf 5 Plätze, die zweite auf 4 etc. Total gibt es also $\frac{52 \cdot 51 \cdot 50 \cdot 49 \cdot 48}{5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1} = \binom{52}{5} = 2'598'960$ mögliche Poker-Hände.
- b) Es kann nur die fünfte Karte aus $52-4=48$ Karten ausgewählt werden. Es gibt also 48 Poker-Hände mit vier Assen.
- c) Der Wert der Karte kann aus 13 ausgewählt werden. Wie zuvor kann die fünfte Karte aus 48 ausgewählt werden. Also total $13 \cdot 48 = 624$ Poker-Hände.
- d) Der Wert kann aus 13 ausgewählt werden. Dabei muss noch eine Farbe aus 4 ausgewählt werden, nämlich jene, die bei den drei Werten fehlt. Für die vierte Karte gibt es noch 48, für die fünfte 47 Möglichkeiten, wobei die Reihenfolge nicht wichtig ist und noch vertauscht werden kann. Damit sind es total $13 \cdot 4 \cdot \frac{48 \cdot 47}{2 \cdot 1} = \binom{13}{1} \cdot \binom{4}{1} \cdot \binom{48}{2} = 58'656$ Poker-Hände.
- e) Für den Wert der 3 gleichen Karten gibt es 13 Möglichkeiten, für den Wert der 2 gleichen Karten noch 12. Für die Farbwahl der 3 gleichen Karten gibt es 4 Möglichkeiten (man wählt jene aus, die nicht vorkommt). Für die Farbwahl der 2 gleichen Karten gibt es 4 Möglichkeiten für die erste und 3 Möglichkeiten für die zweite Farbe, wobei die Reihenfolge nicht wichtig ist, womit die Anzahl noch durch $2 \cdot 1$ dividiert wird. Also total $13 \cdot 12 \cdot 4 \cdot \frac{4 \cdot 3}{2 \cdot 1} = \binom{13}{2} \cdot \binom{4}{3} \cdot \binom{4}{2} = 3744$ Möglichkeiten.



Für die Wahrscheinlichkeiten wird jeweils die entsprechende Anzahl möglicher Hände durch Anzahl insgesamt möglicher Hände geteilt.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.7 ex-bedingte-wsch-doping

✂ Lösung zu Aufgabe 23.9 ex-rauchen-und-geschlecht

	♀	♂	Total
a) Nichtraucher	250	211	461
Raucher	131	82	213
Total	381	293	674

b) $\frac{250}{674} \approx 0.3709$

c) $P(\text{NR} \mid \text{♀}) = \frac{P(\text{NR} \cap \text{♀})}{P(\text{♀})} = \dots = \frac{250}{381} \approx 0.6562$

d) $P(\sigma \cap \text{R}) = \frac{82}{674} \approx 0.1217$ und $P(\sigma) \cdot P(\text{R}) = \frac{293}{674} \cdot \frac{213}{674} \approx 0.1374$, also die beiden Ereignisse sind nicht unabhängig.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.11 ex-zufallsvariablen-notation

a) Z steht für die Summe zweier Würfelwürfe. Für X und Y gibt es je 6 Möglichkeiten, total also 36 Möglichkeiten. Davon ergeben je genau eine die Summe 2, bzw. 12. Also $P(Z = 2) = P(Z = 12) = \frac{1}{36}$. Für $Z = 3$ gibt es 2, für $Z = 4$ 3 Möglichkeiten bis für $Z = 7$ sich 6 Möglichkeiten ergeben. Danach nehmen die Möglichkeiten wieder entsprechend ab. Zusammengefasst:

$$P(Z = i) = \begin{cases} \frac{i-1}{36} & \text{für } i \leq 7 \\ \frac{13-i}{36} & \text{für } i > 7 \end{cases}$$

b) Man kann diese Wahrscheinlichkeit wie folgt ausdrücken:

$$P(Z < 33) = P(10X + Y < 33) = P(X < 3) + P(X = 3 \text{ und } Y < 3) = \frac{2}{6} + P(X = 3) \cdot P(Y < 3) = \frac{2}{6} + \frac{1}{6} \cdot \frac{2}{6} = \frac{7}{18}$$

c) $P(X + X = 5) = 0$, weil das doppelte eines Würfelwurfs immer gerade ist.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.12 ex-erwartungswert-einfach

a) $E(X) = \sum_{i=1}^6 i \cdot \frac{1}{6} = \frac{1}{6} \cdot 6 \cdot \frac{1+6}{2} = \frac{7}{2} = 3.5$

b) Erst müssen die Wahrscheinlichkeiten $P(Y = i)$ bestimmt werden. Seien X_1 und X_2 die beiden Würfelergebnisse. Damit ist $Y = \max(X_1, X_2)$. Es gilt:

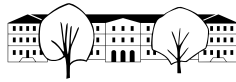
$$P(Y = i) = P(X_1 = i \text{ und } X_2 \leq i) + P(X_1 < i \text{ und } X_2 = i) = P(X_1 = i) \cdot P(X_2 \leq i) + P(X_1 < i) \cdot P(X_2 = i) = \frac{1}{6} \cdot \frac{i}{6} + \frac{i-1}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{2i-1}{36}$$

$$E(Y) = \sum_{i=1}^6 i \cdot \frac{2i-1}{36} = \frac{161}{36} \approx 4.472.$$

c) Totalverlust mit $P(Z = -100) = \frac{19}{37}$, Gewinn mit $P(Z = 100) = \frac{18}{37}$. Also

$$E(Z) = -100 \cdot \frac{19}{37} + 100 \cdot \frac{18}{37} = -\frac{100}{37} \approx -2.703$$

✂ Lösung zu Aufgabe 23.13 ex-erwartungswert-bis-sechser



- a) $P(X = 1) = P(\text{erster Wurf eine «Sechs»}) = \frac{1}{6}$.
 $P(X = 2) = P(\text{erster Wurf keine «Sechs»}) \cdot P(\text{zweiter Wurf eine «Sechs»}) = \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{6} = \frac{5}{36}$.
 $P(X = 3) = P(\text{zwei Würfe keine «Sechs»}) \cdot P(\text{dritter Wurf eine «Sechs»}) = \left(\frac{5}{6}\right)^2 \cdot \frac{1}{6} = \frac{25}{216}$.
- b) $P(X = i) = P((i - 1) \text{ Würfe keine «Sechs»}) \cdot P(\text{letzter Wurf eine «Sechs»}) = \left(\frac{5}{6}\right)^{i-1} \cdot \frac{1}{6}$.
- c) $E(X) = \sum_{i=1}^{\infty} i \cdot \left(\frac{5}{6}\right)^{i-1} \cdot \frac{1}{6} = 6$ (mit TR).

✂ Lösung zu Aufgabe 23.14 ex-repe-mini-lotto

- a) Total mögliche Tipps: $\binom{20}{4} = 4845$. Genau einer davon gewinnt, und damit ist $P(4 \text{ Richtige}) = \frac{1}{4845} \approx 0.02064\%$.
- b) Um drei Richtige aus 4 auszuwählen, hat man $\binom{4}{3} = 4$ Möglichkeiten. Um eine «Falsche» auszuwählen hat man noch 16 Möglichkeiten. Total also $4 \cdot 16 = 64$ Möglichkeiten. Damit ist $P(3 \text{ Richtige}) = \frac{64}{4845} \approx 1.321\%$.
- c) Zwei Richtige aus vier, also $\binom{4}{2} = 6$ Möglichkeiten. Zwei «Falsche» aus 16, ergibt $\binom{16}{2} = 120$ Möglichkeiten. Total also $6 \cdot 120 = 720$ Möglichkeiten. Damit ist $P(2 \text{ Richtige}) = \frac{720}{4845} = \frac{48}{323} \approx 14.86\%$.
- d) Sei X die Zufallsvariable, die den Gewinn oder Verlust bei diesem Lottospiel beschreibt. Die möglichen Werte sind $W = \{-1, 4, 19, 999\}$. $P(X = -1) = 1 - P(X > 0) = 1 - \frac{1}{4845} - \frac{64}{4845} - \frac{720}{4845} = \frac{4060}{4845} = \frac{812}{969} \approx 83.80\%$.
Der Erwartungswert ist also
 $E(X) = -1 \cdot \frac{4060}{4845} + 4 \cdot \frac{720}{4845} + 19 \cdot \frac{64}{4845} + 999 \cdot \frac{1}{4845} = \frac{1035}{4845} \approx 0.2136$.
Der Erwartungswert ist positiv. Die Lottogesellschaft wird auf lange Sicht gut 21 Rappen Verlust pro Spiel einfahren. Die Gewinnquoten sollten nach unten angepasst werden. (Z.B. 1000.-, 10.- und 3.- würde zu einem Gewinn von ca. 5 Rappen für die Lotto-Gesellschaft pro Spiel führen).

✂ Lösung zu Aufgabe 23.15 ex-erwartungswert-zahlenraten

- a) Sie sollten in maximal 7 Versuchen zum Ziel kommen.
- b) Man ratet eine Zahl in der Mitte des verbleibenden Bereichs. So wird die Anzahl der verbleibenden Zahlen in jedem Schritt mindestens halbiert.
- c) Wenn man immer halbiert, dann bleiben im schlechtesten Fall übrig: 50,25,12,6,3,1,0. Man kommt also mit 7 Versuchen zum Ziel.
Für $n = 1'000'000$ sieht die ungünstigste Reihe wie folgt aus:
500000, 250000, 125000, 62500, 31250, 15625, 7812, 3906, 1953, 976, 488, 244, 122, 61, 30, 15, 7, 3, 1, 0
also in 20 Versuchen. Für allgemeines n reichen ungefähr $\log_2(n) + 1$ Versuche.
- d) $E(X_1) = 1$.
 $E(X_2) = 1 \cdot P(X = 1) + 2 \cdot P(X = 2)$. Die Wahrscheinlichkeit, dass man die Zahl beim ersten Versuch errät ist $\frac{1}{2}$. Damit ist
 $E(X_2) = 1 \cdot \frac{1}{2} + 2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{3}{2} = 1.5$
 $E(X_3)$: $P(X = 1) = \frac{1}{3}$. Man wird natürlich die mittlere Zahl wählen. D.h. danach beträgt die bedingte Wahrscheinlichkeit, die richtige Zahl im zweiten Versuch zu finden 1. Also
 $E(X_3) = 1 \cdot P(X_3 = 1) + 2 \cdot P(X_3 = 2) = 1 \cdot \frac{1}{3} + 2 \cdot \frac{2}{3} = \frac{5}{3} \approx 1.667$
- e) Zeichnen Sie auch ein Baumdiagramm für dieses Experiment.
 $P(X_4 = 1) = \frac{1}{4}$. Die bedingte Wahrscheinlichkeit, dass sonst eine Zahl übrig bleibt beträgt $\frac{1}{3}$, wofür dann insgesamt $E(X_1) + 1$ Versuche nötig sind. Zwei Zahlen bleiben übrig mit Wahrscheinlichkeit $\frac{2}{3}$, wofür dann insgesamt $E(X_2) + 1$ Versuche nötig sind. Also:
 $E(X_4) = 1 \cdot P(X_4 = 1) + P(X_4 > 1) \cdot \left(\frac{1}{2}(E(X_1) + 1) + \frac{1}{2}(E(X_2) + 1)\right) = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{2}\right) = \frac{31}{16} = 1.9375$



- f) $P(X_n = 1) = \frac{1}{n}$. Mehr als ein Versuch ist mit $P(X_n > 1) = \frac{n-1}{n}$ nötig. Nach dem ersten Versuch bleiben $m = (n-1)/2$ Zahlen übrig, wofür insgesamt $E(X_m) + 1$ Versuche nötig sind. Es gilt also für ungerade n :
 $E(X_n) = 1 \cdot \frac{1}{n} + \frac{n-1}{n} \cdot (1 + E(X_m))$.
- g) $P(X_n = 1) = \frac{1}{n}$. Mehr als ein Versuch ist mit $P(X_n > 1) = \frac{n-1}{n}$ nötig. Nach dem ersten fehlgeschlagenen Versuch bleiben m Zahlen mit Wahrscheinlichkeit $\frac{m}{n-1}$ übrig, wofür dann insgesamt $E(X_m) + 1$ Versuche nötig sind. Oder es bleiben $(m-1)$ Zahlen mit Wahrscheinlichkeit $\frac{m-1}{n-1}$, wofür dann insgesamt $E(X_{m-1}) + 1$ Versuche nötig sind. Es gilt also für gerade n :
 $E(X_n) = 1 \cdot \frac{1}{n} + \frac{n-1}{n} \cdot \left(\frac{m}{n-1} \cdot (E(X_m) + 1) + \frac{m-1}{n-1} \cdot (E(X_{m-1}) + 1) \right)$.
- h) Vorschlag: 5 Spalten mit n , m , $E(X_m)$, $E(X_{m-1})$ und $E(X_n)$. Die Werte von $E(X_m)$ können mit der Excel-Funktion «OFFSET» (bzw. «BEREICH.VERSCHIEBEN» auf deutsch) ausgelesen werden. Hilfe zur genauen Verwendung finden Sie in Excel oder online. Programmieren Sie die Zeilen für $n = 2$ und $n = 3$, markieren Sie dann beide gleichzeitig und kopieren Sie die Zeilen so nach unten (damit wird abwechselnd die erste und zweite markierte Zeile kopiert).

✂ Lösung zu Aufgabe 23.16 ex-repe-clochards

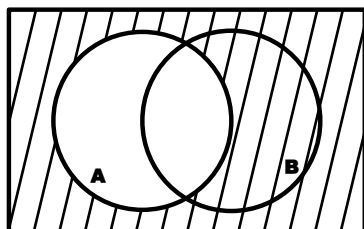
$P(\text{Clochard und Zapfenzieher}) = 0.001 \cdot 0.9 = 0.0009$

$P(\text{Nichtclochard und Zapfenzieher}) = 0.999 \cdot 0.05 = 0.04995$.

Von allen potentiell gefundenen Zapfenziehern (0.0009 + 0.04995) stammen 1.77% von den Clochards. Der Inspektor irrt sich also mit einer Wahrscheinlichkeit von 98.23%.

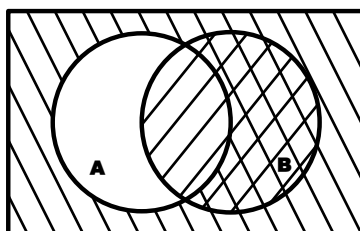
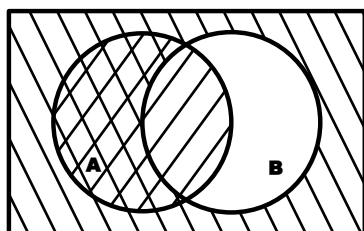
Quelle: Aufgabe 70 aus https://www.swisseduc.ch/mathematik/munterbunt_aufgabensammlung/docs/wahrscheinlichkeit.pdf, abgerufen am 15. Januar 2019

✂ Lösung zu Aufgabe 23.17 ex-repe-venndiagramme



a)

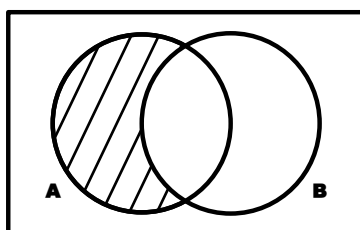
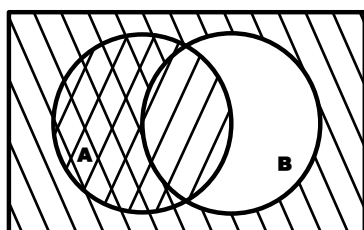
Das Komplement von A ist das Ganze (Wahrscheinlichkeit 1) minus das was in A ist, also $P(\bar{A}) = 1 - P(A)$.



b)

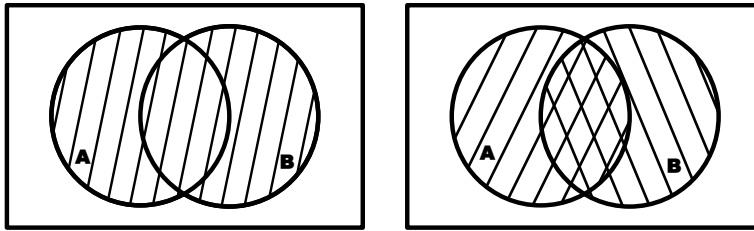
Links mit positiver Steigung schraffiert: A, mit negativer Steigung: \bar{B} , also alles ausser was ausschliesslich in B liegt.

Rechts mit positiver Steigung B, mit negativer Steigung \bar{A} . Die Schnittmenge (doppelt schraffiert) muss also vom Ganzen abgezogen werden.



c)

Links ist die Schnittmenge doppelt schraffiert, rechts A ohne die Elemente von B.



d)

Links ist die Vereinigungsmenge. Rechts wird die Schnittmenge doppelt gezählt, muss also wieder abgezogen werden.

✂ Lösung zu Aufgabe 23.18 ex-repe-hivtest

Gesucht ist die Wahrscheinlichkeit $P(\text{gesund} \mid \text{pos. Test})$.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Test positiv ist kann wie folgt berechnet werden. Zeichnen Sie zum besseren Verständnis den entsprechenden Baum.

$$P(\text{pos. Test}) = P(\text{gesund und pos. Test}) + P(\text{infiziert und pos. Test}) = P(\text{gesund}) \cdot P(\text{pos. Test} \mid \text{gesund}) + P(\text{infiziert}) \cdot P(\text{infiziert} \mid \text{pos. Test}) = 0.9975 \cdot 0.002 + 0.0025 \cdot 0.99 = 0.00447$$

Die gesuchte Wahrscheinlichkeit ist also

$$P(\text{gesund} \mid \text{pos. Test}) = \frac{P(\text{gesund und pos. Test})}{P(\text{pos. Test})} = \frac{0.9975 \cdot 0.002}{0.00447} \approx 0.4463. \text{ Konkret heisst das, wenn eine zufällige Person einen positiven Test erhält, beträgt die Wahrscheinlichkeit knapp 45\%, dass die Person gar nicht infiziert ist. Darum ist der Test nicht ohne ärztliche Begleitung zugänglich.}$$

Der Test ist dann aber brauchbar, wenn die Person nicht zufällig ausgewählt wird, sondern bereits ein erhöhtes Risiko mitbringt, weil sie z.B. ungeschützte sexuelle Kontakte mit Personen aus Risikogruppen oder gar mit infizierten Personen hatte.