

# Statistik

CH.6 - Wahrscheinlichkeitsrechnung

2025 || Prof. Dr. Buchwitz, Sommer, Henke

Wir geben Impulse

- Erkennen von Unterschieden und Gemeinsamkeiten von relativen Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten.
- Verinnerlichen der Tatsache, dass Zufallsexperimente der Ausgangspunkt der Wahrscheinlichkeitsrechnung sind.
- Verstehen der Rechenregel für Wahrscheinlichkeiten und bedingte Wahrscheinlichkeiten.

## Definition: Zufallsexperiment

- Ein **Zufallsexperiment** ist ein Experiment, das alle der folgenden Bedingungen erfüllt:
  - ▶ Es wird nach genau festgelegten Vorschriften durchgeführt.
  - ▶ Es kann beliebig oft unter gleichen Bedingungen wiederholt werden.
  - ▶ Das Ergebnis ist nicht genau vorhersehbar.
  - ▶ Alle *möglichen* Ausgänge sind vor der Durchführung bekannt.
- Die Menge aller möglichen Ergebnisse eines Zufallsexperiments nennt man **Ereignisraum  $\Omega$** .
- Teilmengen des Ereignisraumes  $\Omega$  nennt man (*zufällige*) Ereignisse. Diese werden mit lateinischen Buchstaben ( $A, B, C, \dots$ ) bezeichnet.
- Ereignisse, die sich nicht weiter zerlegen lassen, heißen Elementarereignisse.

# Beispiel: Zufallsexperiment

```
# Definition des Ereignisraumes
```

```
Omega <- c(1, 2, 3, 4, 5, 6)
```

```
# Durchführen des Experiments
```

```
(E <- sample(Omega, size = 1, replace = FALSE))
```

```
## [1] 2
```

```
# Erneute Durchführung des Experiments
```

```
(E <- sample(Omega, size = 1, replace = FALSE))
```

```
## [1] 3
```

## Defintion: Sicheres Ereignis

Ein Ereignis  $E$  heißt **sicheres Ereignis**, wenn es bei jeder Ausführung des Zufallsexperiments eintritt.

$$E = \Omega$$

**Beispiel:** Würfeln einer Zahl zwischen 1 und 6 bei einem 6-seitigen Würfel.

## Defintion: Unmögliches Ereignis

Ein Ereignis  $\emptyset$  heißt **unmögliches Ereignis**, wenn es niemals eintritt.

$$\emptyset = \{ \}$$

**Beispiel:** Würfeln einer 9 bei einem 6-seitigen Würfel.

- Ereignisse sind als Mengen definiert, folglich können die Notation und Operationen der Mengenlehre beim Rechnen verwendet werden.

## Definition: Komplementärereignis

Das Ereignis  $\bar{A} \subset \Omega$ , das genau dann eintritt, wenn  $A$  nicht eintritt, heißt das **zu  $A$  komplementäre Ereignis**.

**Beispiel:**  $\bar{A} = B$     $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$     $A = \{1, 3, 5\}$     $B = \{2, 4, 6\}$

## Definition: Disjunkte Ereignisse

Zwei Ereignisse sind **disjunkt**, wenn sie nicht beide gleichzeitig eintreten können, also  $A \cap B = \emptyset$ .

**Beispiel:**  $C \cap D = \emptyset$     $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$     $C = \{1, 2\}$     $D = \{6\}$

# Operatoren

- Vereinigungsmenge  $A \cup B$
- Durchschnittsmenge  $A \cap B$
- Differenzmenge  $A \setminus B$

$$\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}, \quad M_1 = \{1, 2, 3, 4, 5\} \quad \text{und} \quad M_2 = \{5, 6\}$$



# Operatoren

```
M1 <- c(1,2,3,4,5)
```

```
M2 <- c(5,6)
```

```
union(M1, M2)      # Vereinigungsmenge
```

```
## [1] 1 2 3 4 5 6
```

```
intersect(M1, M2) # Durchschnittsmenge
```

```
## [1] 5
```

```
setdiff(M1, M2)    # Differenzmenge
```

```
## [1] 1 2 3 4
```



## Definition: Wahrscheinlichkeit (von Mises)

Die statistische Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses  $A$  ist der Grenzwert der relativen Häufigkeit des Auftretens des Ereignisses, also die relative Häufigkeit bei einer sehr großen Anzahl von Wiederholungen.

$$P(A) = \frac{\text{Anzahl des Eintreffens von } A}{\text{Anzahl der Wiederholungen des Zufallsexperiments}}$$

```
set.seed(11)
# 5-malige Wiederholung Münzwurf
Omega <- c("Kopf", "Zahl")
coin <- sample(Omega, size=5, replace=T)
prop <- proportions(table(coin))
prop
```

```
## coin
## Kopf Zahl
## 0.2 0.8
```

```
# Relativer Anteil für Ergebnis = Kopf
prop[1]
```

```
## Kopf
## 0.2
```

## Entwicklung des Anteils für das Auftreten des Ausgangs 'Kopf'



## Definition: Wahrscheinlichkeit (Laplace)

Ein Experiment mit endlich vielen, gleich wahrscheinlichen Ausgängen heißt Laplace-Experiment.

$$P(A) = \frac{|A|}{|\Omega|} = \frac{\text{Anzahl der für A 'günstigen' Ergebnisse}}{\text{Anzahl der möglichen Ergebnisse}}$$

## Axiome nach Kolmogorov:

- **Positivität:**  $P(A) \geq 0$  für  $A \in \Omega$
- **Normiertheit:**  $P(\Omega) = 1$
- **Additivität:**  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ , falls  $A \cap B = \emptyset$

- Seien  $A_i$  mit  $i = 1, \dots, n$  alle möglichen Ereignisse eines Experiments, sodass  $\Omega = \{A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, A_n\}$ . Dann gilt

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = 1$$

- Für das unmögliche Ereignis gilt

$$P(\emptyset) = 0$$

- Für das zu  $A$  komplementäre Ereignis gilt

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

- Für die Vereinigung zweier beliebiger Ergebnisse  $A$  und  $B$  gilt

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

- Ist  $A$  Teilmenge von  $B$ , also  $A \subset B$ , dann gilt

$$P(A) \leq P(B)$$

- Für disjunkte Ereignisse  $A$  und  $B$  gilt

$$P(A \cap B) = 0$$

## Definition: Unabhängigkeit von Ereignissen

Zwei Ereignisse  $A$  und  $B$  heißen **unabhängig**, wenn das Eintreten des einen Ereignisses die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des anderen Ereignisses nicht beeinflusst. Dann gilt

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

- $P(A \cap B)$  kann als die Wahrscheinlichkeit, dass beide Ereignisse gleichzeitig eintreten, interpretiert werden.



- Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses  $A$  kann davon abhängig sein, ob ein anderes Ereignis  $B$  bereits eingetreten ist.

$$P(A|B)$$

## Beispiele:

- Die Wahrscheinlichkeit an einer Krankheit zu erkranken, kann davon abhängig sein, ob man gegen diese Krankheit geimpft ist.
- Die Wahrscheinlichkeit, Deutscher Meister beim Fußball zu werden, ist davon abhängig, ob man vorher Herbstmeister ist.

# Bedingte Wahrscheinlichkeiten

- Bedingte Wahrscheinlichkeiten können als Ergebnis von mehrstufigen Zufallsexperimenten verstanden werden und lassen sich als Baumdiagramm darstellen:



## Definition: Bedingte Wahrscheinlichkeit

Seien A und B zwei Ereignisse. Die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses A unter der Bedingung, dass das Ereignis B bereits eingetreten ist, heißt **bedingte Wahrscheinlichkeit** von A unter B oder Wahrscheinlichkeit von A gegeben B und ist definiert als

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

- $P(A \cap B)$  kann als die Wahrscheinlichkeit, dass beide Ereignisse gleichzeitig eintreten, interpretiert werden.

Durch Umformung der Definition der bedingten Wahrscheinlichkeit erhält man den **Multiplikationssatz** der Wahrscheinlichkeitsrechnung:

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A) \quad \text{sowie} \quad P(B \cap A) = P(B) \cdot P(A|B)$$

Es gilt zudem:

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

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

## Definition: Satz der totalen Wahrscheinlichkeit

Sei  $A_1, A_2, \dots, A_k$  eine disjunkte Zerlegung des Ereignisraumes  $\Omega$ . Wenn  $B \subset \Omega$ , dann gilt

$$P(B) = \sum_{i=1}^k P(A_i) \cdot P(B|A_i)$$

- Die bedingten Wahrscheinlichkeiten  $P(A|B)$  und  $P(B|A)$  sind nicht gleich!
- Die Verbindung zwischen diesen Wahrscheinlichkeiten gibt der Satz von Bayes wieder.

## Definition: Satz von Bayes

Wenn der Ereignisraum  $\Omega$  in  $A$  und  $\bar{A}$  partitioniert wird und  $B$  ein beliebiges Ereignis aus  $\Omega$  ist, gilt

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

Der Satz von Bayes ergibt sich aus Kombination von  $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$  und  $P(B|A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)}$ .

- Eine Bank vergibt Privatkredite an Kunden.
  - ▶ Sie weiß, dass 3% dieser Kunden den Privatkredit entweder nicht termingerecht oder überhaupt nicht zurückzahlen, in diesem Sinne also schlechte Kreditnehmer sind. Es ist ferner bekannt, dass 25% der schlechten Kreditnehmer mindestens einen weiteren Ratenkredit haben, die guten Kreditnehmer aber zu 85% keinen weiteren Ratenkredit bedienen müssen.
  - ▶ Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass jemand ein schlechter Kreditnehmer ist, wenn er schon mindestens einen weiteren Ratenkredit bezieht?
  - ▶ Wie viel Prozent derjenigen, die noch keinen Ratenkredit haben, sind gute Kreditnehmer?

**Lösungsskizze:**





- Was versteht man unter komplementären Ereignissen?
- Sind komplementäre Ereignisse unabhängig?
- Ist die Aussage  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$  korrekt?