

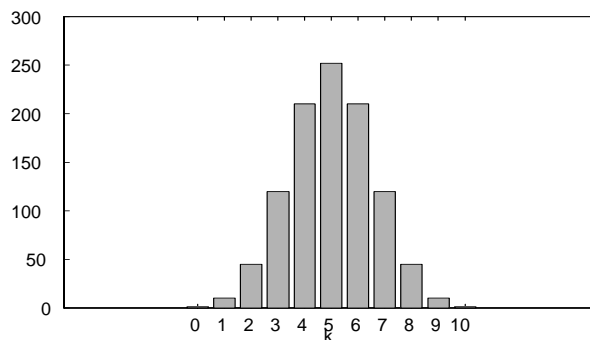
Lotto, Binomialverteilung

1. Welchen Wahrscheinlichkeitsraum (Ω, W) hat das *Lotto Sechs aus 45*?

Hinweis: Eine Ziehung ist eine injektive¹ Abbildung $f : \{1, 2, \dots, 6\} \rightarrow \{1, 2, \dots, 45\}$. Wieviele solche Abbildungen gibt es? Sind f und g zwei solche Abbildungen mit $g(\{1, 2, \dots, 6\}) = f(\{1, 2, \dots, 6\})$, dann werden sie als dasselbe Spielergebnis aufgefasst, da die Reihenfolge der gezogenen Zahlen beim Lotto ignoriert wird. Wieviele sechselementige Teilmengen hat also $\{1, 2, \dots, 45\}$? Für $N, k \in \mathbb{N}_0, k \leq N$ heißen die Zahlen

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

Binomialkoeffizienten². Für $k \in \mathbb{N}$ ist $k! := k(k-1) \dots 1$ und $0! := 1$. Die Figur zeigt die Binomialkoeffizienten für $N = 10$.



2. Ein ungezinkter Würfel wird n mal geworfen. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass genau k Würfle eine 6 werfen? Welchen Wert hat sie für $n = 600$ und $k = 100$?
3. Ein Signalprozessor liest eine Folge aus Nullen und Einsen. Die Wahrscheinlichkeit, dass er ein Zeichen falsch liest sei $0,05$. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass er beim Lesen einer Folge von 39 Zeichen mindestens 7 Zeichen falsch liest?
4. Ein instabiler Atomkern sei nach Ablauf einer Zeit τ mit der Wahrscheinlichkeit $x \in [0, 1]$ zerfallen. Der W-raum (Ω, W) dieses Vorgangs ist $\Omega = \{0, 1\}$ mit $W(\{1\}) = x$. Die Zahl 1 steht also für das Elementarereignis „Der Kern ist zerfallen“.

- (a) Welchen Erwartungswert und welche Varianz hat $Z : \Omega \rightarrow \mathbb{R}, \omega \mapsto \omega$?
- (b) Wenn N unterscheidbare Kerne sich gegenseitig nicht beeinflussen, hat die Frage „Welche der N Kerne zerfallen innerhalb der Zeit τ ?“ den W-raum (Ω_N, W_N) mit

$$\Omega_N := \Omega^N \text{ und } W_N(A_1 \times \dots \times A_N) := \prod_{i=1}^N W(A_i).$$

Die Zahl der in einem Elementarereignis $(\omega_1, \dots, \omega_N) \in \Omega_N$ zerfallenen Kerne wird von der stochastischen Variablen $Z_N : \Omega_N \rightarrow \mathbb{R}$ mit $Z_N(\omega_1, \dots, \omega_N) := \sum_{i=1}^N Z(\omega_i)$ angegeben. Welchen Erwartungswert und welche Varianz hat Z_N ? Hinweis:

$$\sum_{\alpha \in A, \beta \in B, \dots, \gamma \in C} f(\alpha) \cdot g(\beta) \cdot \dots \cdot h(\gamma) = \left(\sum_{\alpha \in A} f(\alpha) \right) \cdot \left(\sum_{\beta \in B} g(\beta) \right) \cdot \dots \cdot \left(\sum_{\gamma \in C} h(\gamma) \right)$$

¹Eine Abbildung $f : X \rightarrow Y$ heißt injektiv, falls für alle $a, b \in X$ mit $a \neq b$ gilt: $f(a) \neq f(b)$.

²Es gilt

$$(x + y)^N = \sum_{k=0}^N \binom{N}{k} x^k y^{N-k}$$

- (c) In der Vorlesung wurde gezeigt, dass der Transport von W_N mit Z_N die *Binomialverteilung* auf $\{0, 1, \dots, N\}$ ist. Es gilt für $k \in \{0, 1, \dots, N\}$

$$W_N(Z_N^{-1}(\{k\})) = Bi(k; N, x) := x^k(1-x)^{N-k} \frac{N!}{(N-k)!k!}.$$

Die Figuren zeigen $k \mapsto W_N(Z_N^{-1}(\{k\}))$ für $N = 10$ und $N = 100$ und $x = 1/3$ und $x = 2/3$. Berechnen Sie Ihr Ergebnis für Varianz und Erwartungswert von Z direkt an der Binomialverteilung. (Hinweis: In Beispiel 22 des Vorlesungsskriptums sind die Hauptüberlegungen vorgeführt.)

- (d) Sei nun $x = 10^{-3}$. Welchen Wert hat die Wahrscheinlichkeit, dass von $N = 10^3$ Kernen innerhalb der Zeit τ mehr als 2 (bzw. 3) zerfallen? Hinweis: Berechnen Sie zunächst die Wahrscheinlichkeit des komplementären Ereignisses.
- (e) Kontrollieren Sie Ihr Ergebnis für d) mit Hilfe der folgenden Ungleichung (von Chebyshev):

$$W(\{\omega \in \Omega : |f(\omega) - \langle f \rangle| \geq t\}) \leq \frac{\mathcal{V}(f)}{t^2}.$$

