

Kapitel PTS:III

III. Kombinatorik

- ❑ Permutationen und Kombinationen
- ❑ Kombinatorik für Laplace-Wahrscheinlichkeiten
- ❑ Urnenmodell

Urnenmodell

Einführung

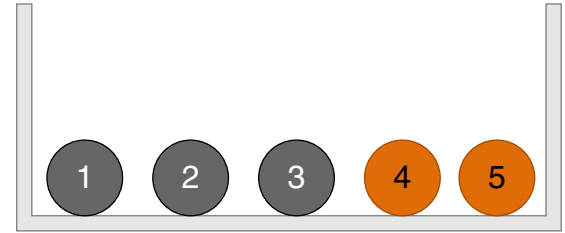
- ❑ Modelle dienen der Lösung statistischer Problemstellungen.
- ❑ Sie sind einfacher und durchschaubarer als die Wirklichkeit.
- ❑ Sie bilden idealerweise alle wichtigen Charakteristika ab.
- ❑ Das Urnenmodell eignet sich zur Modellierung vieler realer Begebenheiten.

Urnenmodell

Einführung

Aufbau:

- Urne mit N Kugeln.
- K Kugeln sind schwarz, und $N - K$ rot.
- Die Kugeln sind gleichartig: gleich groß, gleich schwer, einwandfrei rund, usw.
O.B.d.A.: Zur Vereinfachung der Notation denken wir uns die Kugeln nummeriert.



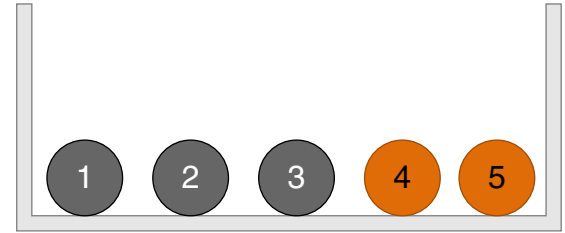
[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Urnenmodell

Einführung

Aufbau:

- Urne mit N Kugeln.
- K Kugeln sind schwarz, und $N - K$ rot.
- Die Kugeln sind gleichartig: gleich groß, gleich schwer, einwandfrei rund, usw.
O.B.d.A.: Zur Vereinfachung der Notation denken wir uns die Kugeln nummeriert.



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Zufallsexperiment:

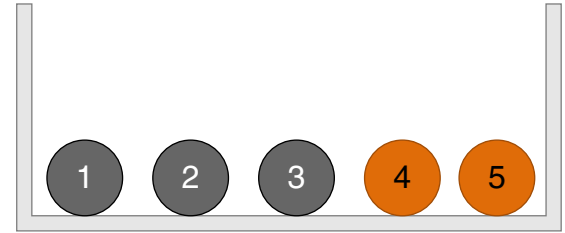
- Ziehen von n Kugeln nacheinander und Feststellung ihrer jeweiligen Farben.
Vor einer bzw. jeder Ziehung werden die Kugeln in der Urne sorgfältig durchmischt.
- Ergebnis eines Experiments sind n Kugelfarben, k schwarze und $n - k$ rote.

Urnenmodell

Einführung

Aufbau:

- ❑ Urne mit N Kugeln.
- ❑ K Kugeln sind schwarz, und $N - K$ rot.
- ❑ Die Kugeln sind gleichartig: gleich groß, gleich schwer, einwandfrei rund, usw.
O.B.d.A.: Zur Vereinfachung der Notation denken wir uns die Kugeln nummeriert.



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Zufallsexperiment:

- ❑ Ziehen von n Kugeln nacheinander und Feststellung ihrer jeweiligen Farben.
Vor einer bzw. jeder Ziehung werden die Kugeln in der Urne sorgfältig durchmischt.
- ❑ Ergebnis eines Experiments sind n Kugelfarben, k schwarze und $n - k$ rote.

Arten der Ziehung:

- ❑ Ziehen ohne Zurücklegen
Eine gezogene Kugel wird vor Abschluss der n Ziehungen nicht in die Urne zurückgelegt.
- ❑ Ziehen mit Zurücklegen
Eine gezogene Kugel wird vor der nächsten Ziehung in die Urne zurückgelegt.

Urnenmodell

Einführung

Beispiel: Qualitätsprüfung einer Lieferung

- Eine Lieferung von N gleichartigen Produkten (Bauteile, Lebensmittel, ...) enthält einen unbekannten Anteil „Ausschuss“, also fehlerhafte Einheiten.
- Wie lässt sich der Anteil an Ausschuss abschätzen (um die Lieferung ggf. abzulehnen), wenn die Kapazität nicht ausreicht, alle N Produkte zu prüfen?

Urnenmodell

Einführung

Beispiel: Qualitätsprüfung einer Lieferung

- Eine Lieferung von N gleichartigen Produkten (Bauteile, Lebensmittel, ...) enthält einen unbekannten Anteil „Ausschuss“, also fehlerhafte Einheiten.
- Wie lässt sich der Anteil an Ausschuss abschätzen (um die Lieferung ggf. abzulehnen), wenn die Kapazität nicht ausreicht, alle N Produkte zu prüfen?
- Vorgehen:
 - Stichprobe: Auswahl von n Einheiten aus der Lieferung von N Produkten.
 - Prüfung: Feststellung der Anzahl X fehlerhafter Einheiten.
 - Entscheidung: Wenn X einen vorher festgelegten Schwellwert c nicht überschreitet ($X \leq c$), wird die Lieferung angenommen, sonst abgelehnt.

Urnenmodell

Einführung

Beispiel: Qualitätsprüfung einer Lieferung (Fortsetzung)

- Da der tatsächliche Anteil an Ausschuss nicht ermittelt werden wird, unterliegt X unvermeidbar statistischen Schwankungen.
- Es können daher nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über die Annahme bzw. Zurückweisung der Lieferung getroffen werden.

Urnenmodell

Einführung

Beispiel: Qualitätsprüfung einer Lieferung (Fortsetzung)

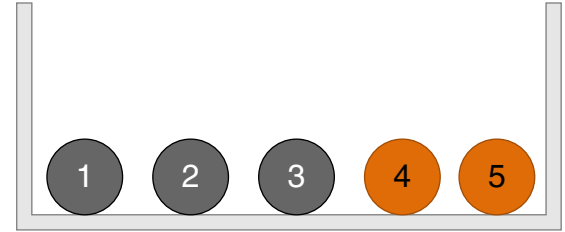
- Da der tatsächliche Anteil an Ausschuss nicht ermittelt werden wird, unterliegt X unvermeidbar statistischen Schwankungen.
- Es können daher nur Wahrscheinlichkeitsaussagen über die Annahme bzw. Zurückweisung der Lieferung getroffen werden.
- Was ist die Wahrscheinlichkeit für die Annahme der Lieferung?
- Urnenmodell: Interpretiert man schwarze Kugeln als „fehlerhafte“ Einheiten und rote als „fehlerfreie“, ist der tatsächliche Ausschussanteil $\frac{K}{N}$.
- Zufallsexperiment: Die Wahrscheinlichkeit $P(X = k)$ kann so berechnet werden, also beim Ziehen von n Kugeln genau k schwarze zu erhalten.
- Damit lässt sich auch die Frage nach $P(X \leq c)$ beantworten.
 $X \leq c$ entspricht dem Ereignis „Annahme der Lieferung“.

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- ❑ Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- ❑ Ziehung dreier Kugeln **ohne** Zurücklegen
- ❑ Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- ❑ Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



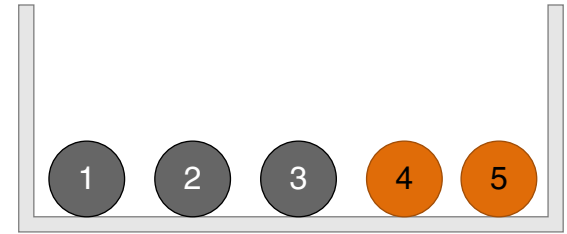
[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- Ziehung dreier Kugeln **ohne** Zurücklegen
- Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



[Feuerfeil/Heigel 1999]

(a) Ergebnisraum und Ereigniszerlegung bei Beachtung der Reihenfolge:

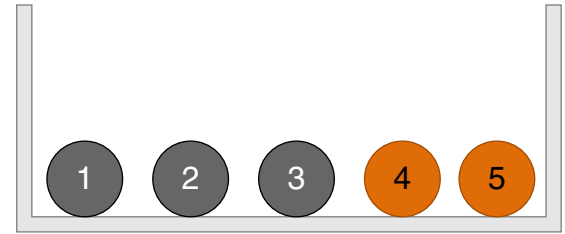
- $\Omega = \{(s_1; s_2; s_3); (s_2; s_1; s_3); \dots; (r_5; r_4; s_3)\}$ (s steht für schwarz, r für rot)
- $|\Omega| = 5 \cdot 4 \cdot 3$ (3-Permutationen aus der 5-Menge)
- „ $X = 2$ “ = $ssr \cup srs \cup rss$, wobei z.B. $ssr = \{(s_1; s_2; r_4); \dots; (s_3; s_2; r_5)\}$
- $|ssr| = |srs| = |rss| = 3 \cdot 2 \cdot 2$

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen (vgl. mit Zurücklegen)

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- ❑ Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- ❑ Ziehung dreier Kugeln **ohne** Zurücklegen
- ❑ Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- ❑ Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

(a) Ergebnisraum und Ereigniszerlegung bei Beachtung der Reihenfolge:

- ❑ $\Omega = \{(s_1; s_2; s_3); (s_2; s_1; s_3); \dots; (r_5; r_4; s_3)\}$ (s steht für schwarz, r für rot)
- ❑ $|\Omega| = 5 \cdot 4 \cdot 3$ (3-Permutationen aus der 5-Menge)
- ❑ „ $X = 2$ “ = $ssr \cup srs \cup rss$, wobei z.B. $ssr = \{(s_1; s_2; r_4); \dots; (s_3; s_2; r_5)\}$
- ❑ $|ssr| = |srs| = |rss| = 3 \cdot 2 \cdot 2$

Daraus folgt:

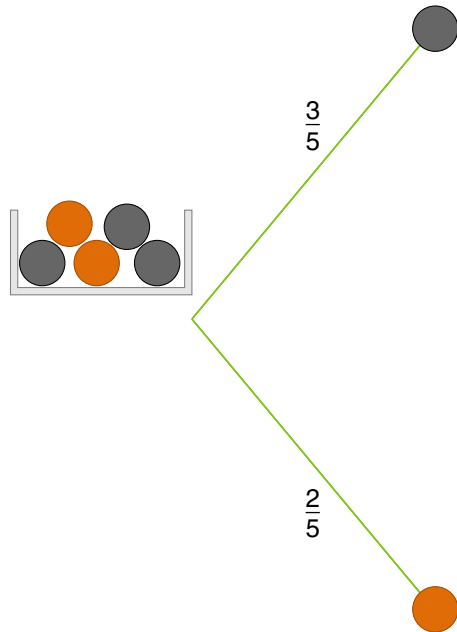
$$P(X = 2) = \frac{3 \cdot 2 \cdot 2}{5 \cdot 4 \cdot 3} \cdot 3 = \frac{1}{5} \cdot 3 = 0,6.$$

Bemerkung:

- Zwei schwarze Kugeln lassen sich auf $\binom{3}{2} = 3$ Arten auf drei Plätze verteilen (ssr, srs, rss); dies ist also eigentlich der Faktor 3 in der Gleichung.

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

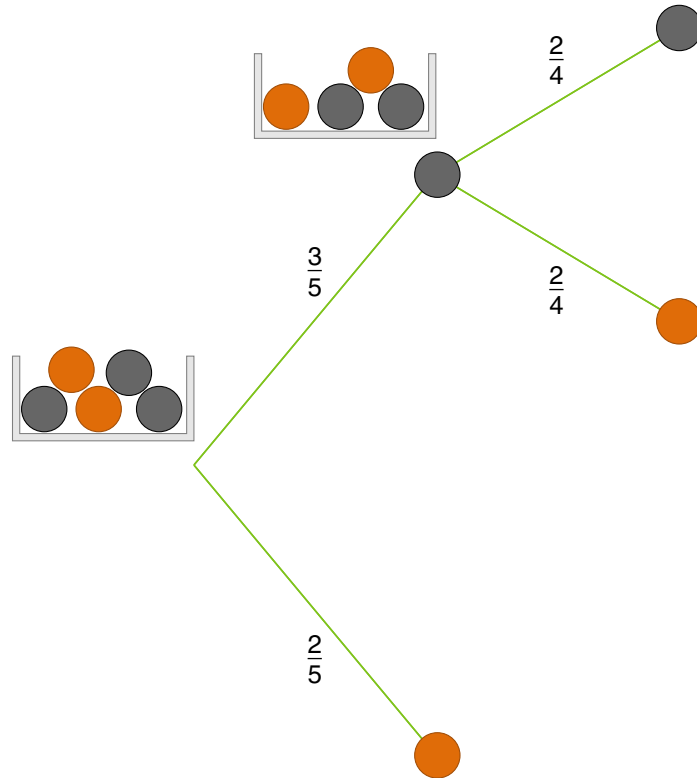


Baumdiagramm:

- ❑ Darstellung eines mehrstufigen Zufallsexperiments
- ❑ Knoten: Ereignis (hier: s oder r)
- ❑ Kanten: mögliche Ereignisse der nächsten Ziehung
- ❑ Kantenbeschriftung: Wahrscheinlichkeit gemäß Anteilsregel

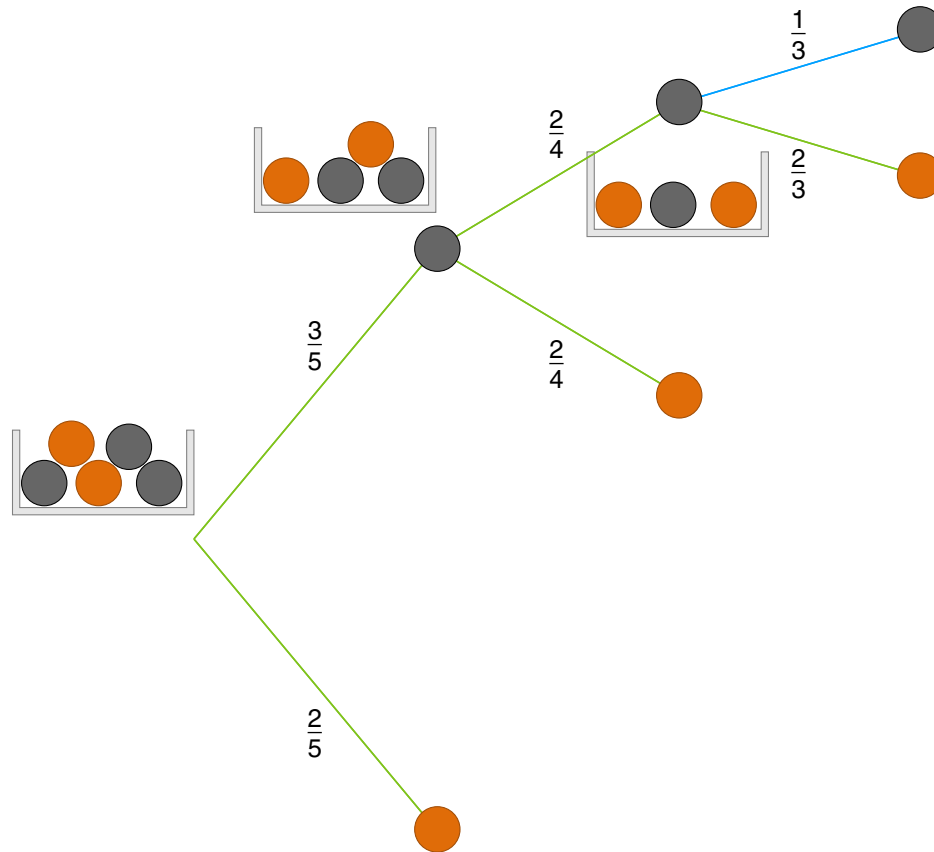
Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen



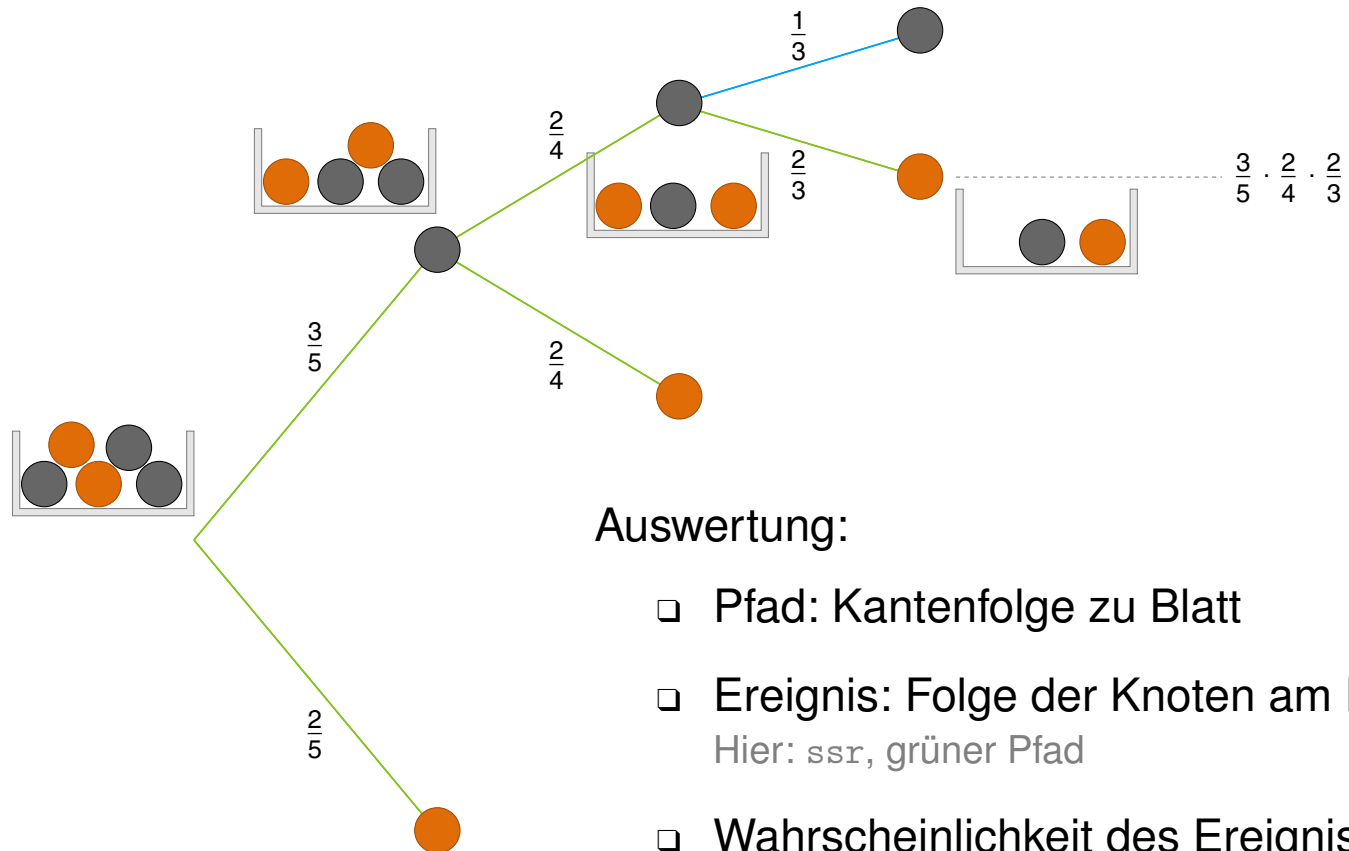
Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen



Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

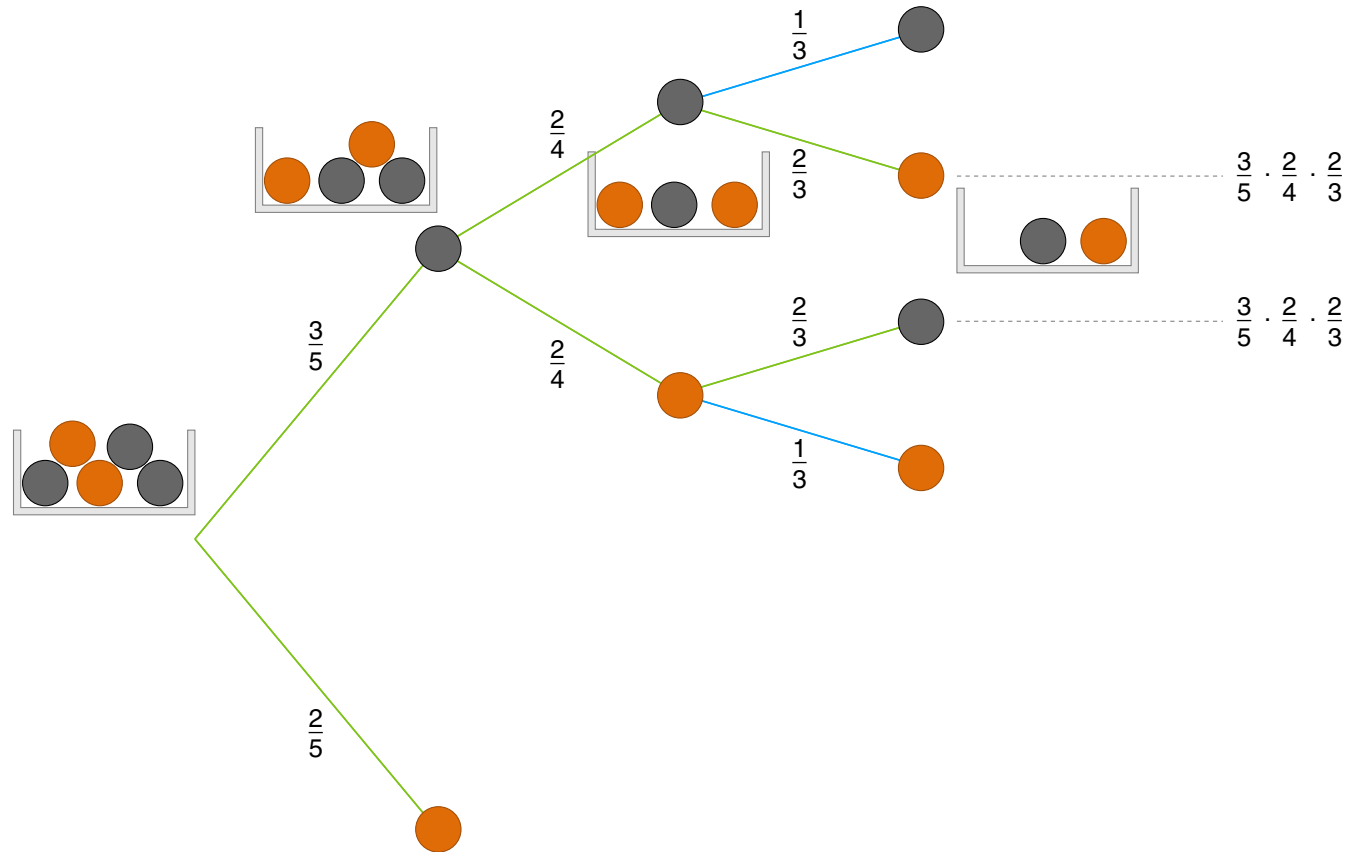


Auswertung:

- ❑ Pfad: Kantenfolge zu Blatt
- ❑ Ereignis: Folge der Knoten am Pfad
Hier: *ssr*, grüner Pfad
- ❑ Wahrscheinlichkeit des Ereignisses:
Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten

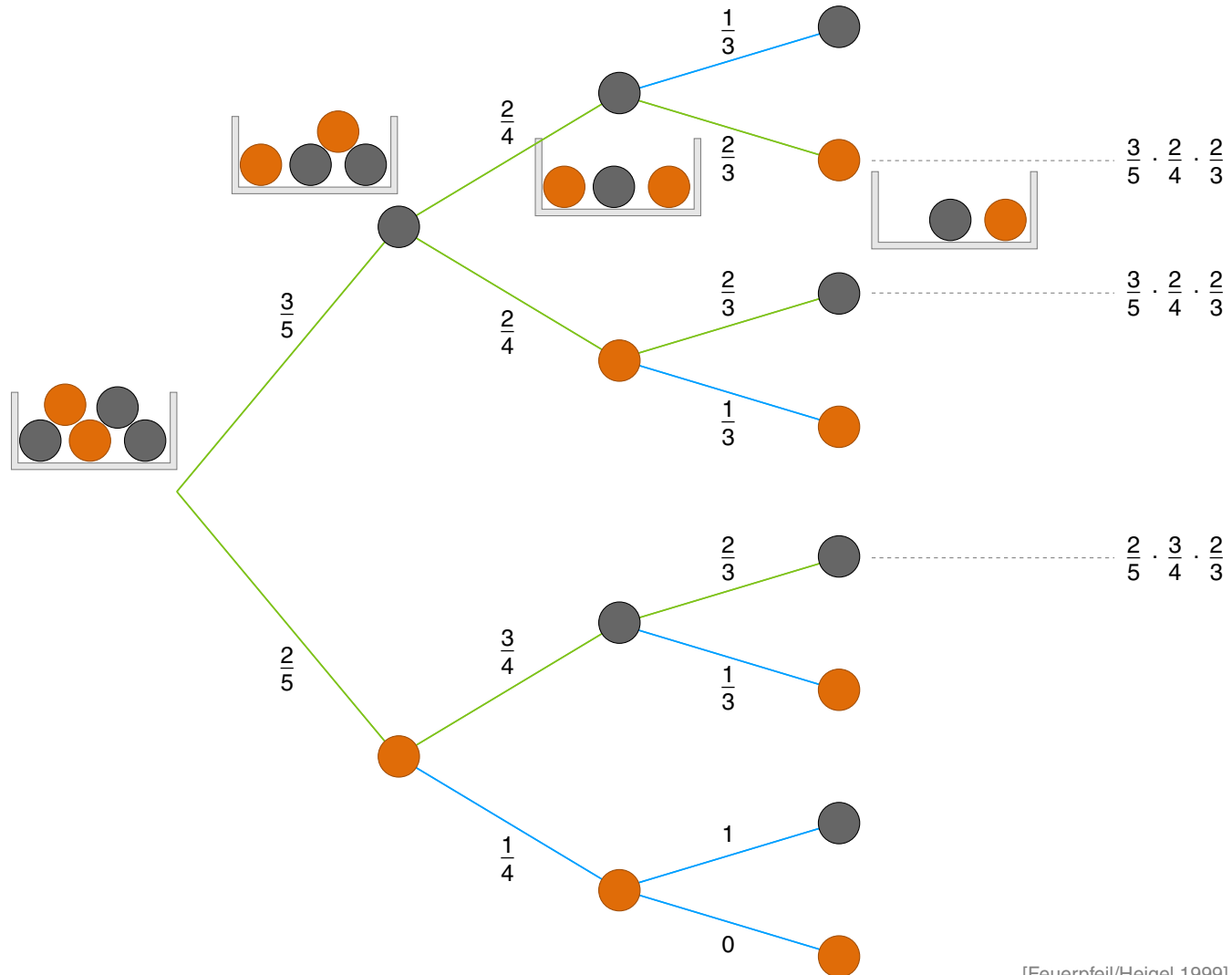
Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen



Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen (vgl. mit Zurücklegen)



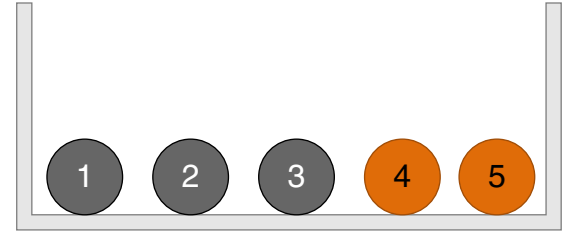
[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- ❑ Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- ❑ Ziehung dreier Kugeln **ohne** Zurücklegen
- ❑ Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- ❑ Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



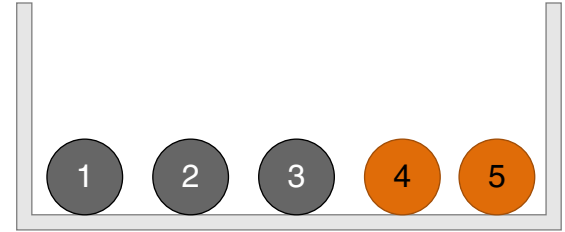
[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- Ziehung dreier Kugeln **ohne** Zurücklegen
- Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

(b) Ergebnisraum und Ereigniszerlegung ohne Beachtung der Reihenfolge:

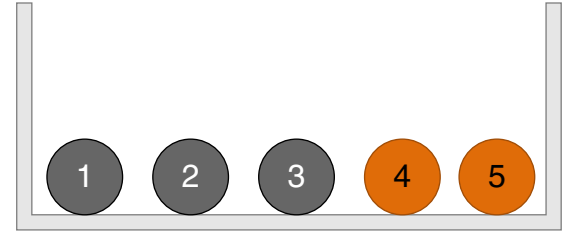
- $\Omega = \{\{s_1; s_2; s_3\}; \{s_1; s_2; s_4\}; \dots; \{s_3; s_4; s_5\}\}$
- $|\Omega| = \binom{5}{3}$ (3-Teilmengen aus der 5-Menge)
- „ $X = 2$ “ entspricht $\binom{3}{2}$ Möglichkeiten, zwei schwarze Kugeln auszuwählen, und $\binom{2}{1}$ Möglichkeiten, eine rote auszuwählen.

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen ohne Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- Ziehung dreier Kugeln **ohne** Zurücklegen
- Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



[Feuerfeil/Heigel 1999]

(b) Ergebnisraum und Ereigniszerlegung ohne Beachtung der Reihenfolge:

- $\Omega = \{\{s_1; s_2; s_3\}; \{s_1; s_2; s_4\}; \dots; \{s_3; s_4; s_5\}\}$
- $|\Omega| = \binom{5}{3}$ (3-Teilmengen aus der 5-Menge)
- „ $X = 2$ “ entspricht $\binom{3}{2}$ Möglichkeiten, zwei schwarze Kugeln auszuwählen, und $\binom{2}{1}$ Möglichkeiten, eine rote auszuwählen.

Daraus folgt:

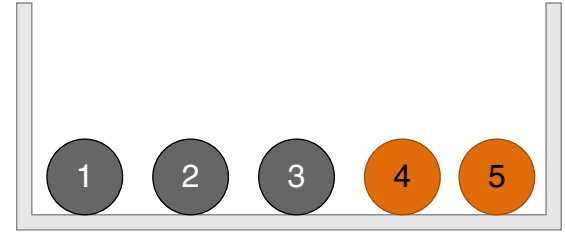
$$P(X = 2) = \frac{\binom{3}{2} \binom{2}{1}}{\binom{5}{3}} = 0,6 .$$

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen mit Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- ❑ Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- ❑ Ziehung dreier Kugeln **mit** Zurücklegen
- ❑ Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- ❑ Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



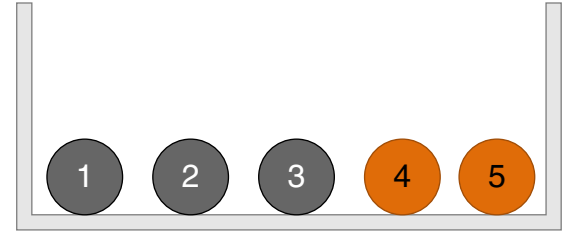
[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen mit Zurücklegen

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- Ziehung dreier Kugeln **mit** Zurücklegen
- Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Ergebnisraum und Ereigniszerlegung bei Beachtung der Reihenfolge:

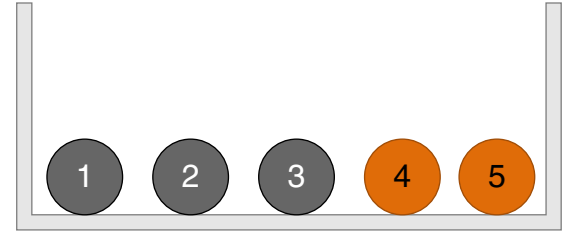
- $\Omega = \{(s_1; s_1; s_1); (s_1; s_1; s_2); \dots; (r_5; r_5; s_5)\}$ (s steht für schwarz, r für rot)
- $|\Omega| = 5 \cdot 5 \cdot 5$ (3-Tupel aus der 5-Menge)
- „ $X = 2$ “ = $ssr \cup srs \cup rss$, wobei z.B. $ssr = \{(s_1; s_1; r_4); \dots; (s_3; s_3; r_5)\}$
- $|ssr| = |srs| = |rss| = 3 \cdot 3 \cdot 2$

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen mit Zurücklegen (vgl. ohne Zurücklegen)

Zufallsexperiment und interessierendes Ereignis:

- ❑ Urne mit 3 schwarzen und 2 roten Kugeln
- ❑ Ziehung dreier Kugeln **mit** Zurücklegen
- ❑ Sei X die Anzahl der gezogenen schwarzen Kugeln.
- ❑ Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = 2)$? („genau 2 schwarze Kugeln gezogen“)



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Ergebnisraum und Ereigniszerlegung bei Beachtung der Reihenfolge:

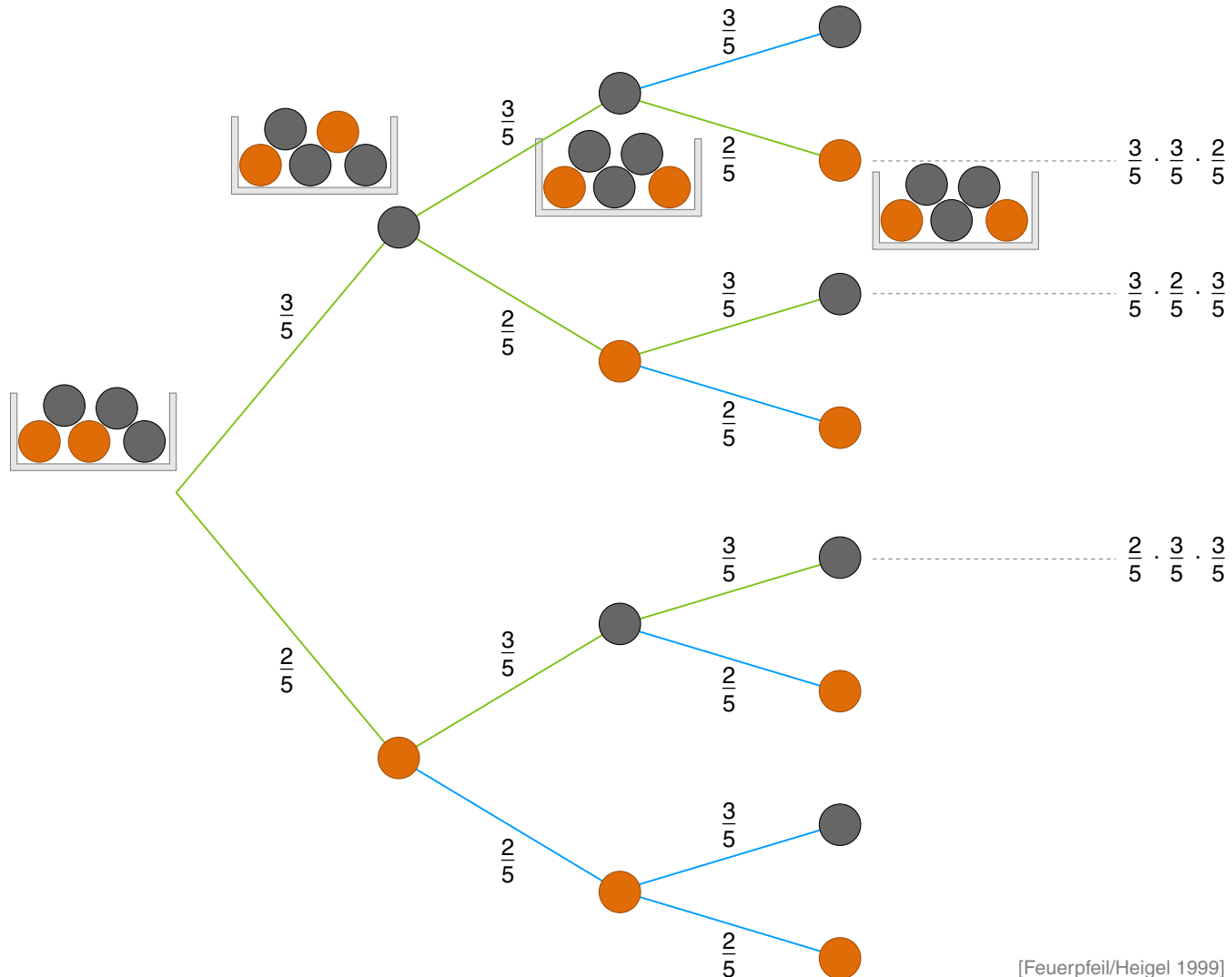
- ❑ $\Omega = \{(s_1; s_1; s_1); (s_1; s_1; s_2); \dots; (r_5; r_5; s_5)\}$ (s steht für schwarz, r für rot)
- ❑ $|\Omega| = 5 \cdot 5 \cdot 5$ (3-Tupel aus der 5-Menge)
- ❑ „ $X = 2$ “ = $ssr \cup srs \cup rss$, wobei z.B. $ssr = \{(s_1; s_1; r_4); \dots; (s_3; s_3; r_5)\}$
- ❑ $|ssr| = |srs| = |rss| = 3 \cdot 3 \cdot 2$

Daraus folgt:

$$P(X = 2) = \frac{3 \cdot 3 \cdot 2}{5 \cdot 5 \cdot 5} \cdot 3 = 0,432 .$$

Urnenmodell

Beispiel: Ziehen mit Zurücklegen (vgl. ohne Zurücklegen)



[Feuerpfeil/Heigel 1999]

Urnenmodell

Verallgemeinerung

Zufallsexperiment:

- Urne mit N nummerierten Kugeln, davon K schwarz und $N - K$ rot
- Ziehung von n Kugeln **mit** Zurücklegen; davon X schwarze
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = k)$, exakt k schwarze Kugeln zu ziehen?

Urnenmodell

Verallgemeinerung

Zufallsexperiment:

- Urne mit N nummerierten Kugeln, davon K schwarz und $N - K$ rot
- Ziehung von n Kugeln **mit** Zurücklegen; davon X schwarze
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = k)$, exakt k schwarze Kugeln zu ziehen?

Mächtigkeiten:

- Berücksichtigung der Reihenfolge nicht notwendig.
- Ω ist die Menge der n -Teilmengen aus der N -Menge $\{1, 2, \dots, N\}$: $|\Omega| = \binom{N}{n}$
- Zahl der k -Teilmengen aus der K -Menge schwarzer Kugeln: $\binom{K}{k}$
- Zahl der $(n - k)$ -Teilmengen aus der $(N - K)$ -Menge roter Kugeln: $\binom{N - K}{n - k}$
- Gemäß Zählprinzip gibt es $\binom{K}{k} \cdot \binom{N - K}{n - k}$ Möglichkeiten, n -Teilmengen mit k schwarzen und $(n - k)$ roten Kugeln zu bilden.

Urnenmodell

Verallgemeinerung

Zufallsexperiment:

- Urne mit N nummerierten Kugeln, davon K schwarz und $N - K$ rot
- Ziehung von n Kugeln **mit** Zurücklegen; davon X schwarze
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = k)$, exakt k schwarze Kugeln zu ziehen?

Mächtigkeiten:

- Berücksichtigung der Reihenfolge nicht notwendig.
- Ω ist die Menge der n -Teilmengen aus der N -Menge $\{1, 2, \dots, N\}$: $|\Omega| = \binom{N}{n}$
- Zahl der k -Teilmengen aus der K -Menge schwarzer Kugeln: $\binom{K}{k}$
- Zahl der $(n - k)$ -Teilmengen aus der $(N - K)$ -Menge roter Kugeln: $\binom{N - K}{n - k}$
- Gemäß Zählprinzip gibt es $\binom{K}{k} \cdot \binom{N - K}{n - k}$ Möglichkeiten, n -Teilmengen mit k schwarzen und $(n - k)$ roten Kugeln zu bilden.

Daraus folgt:

$$P(X = k) = \frac{\binom{K}{k} \cdot \binom{N - K}{n - k}}{\binom{N}{n}} \quad (0 \leq k \leq n, k \leq K, n - k \leq N - K) .$$

Urnenmodell

Verallgemeinerung

Zufallsexperiment:

- Urne mit N nummerierten Kugeln, davon K schwarz und $N - K$ rot
- Ziehung von n Kugeln **ohne** Zurücklegen; davon X schwarze
- Was ist die Wahrscheinlichkeit $P(X = k)$, exakt k schwarze Kugeln zu ziehen?

Mächtigkeiten:

- Berücksichtigung der Reihenfolge zunächst zweckmäßig.
- Ω ist die Menge der n -Tupel aus der N -Menge $\{1, 2, \dots, N\}$: $|\Omega| = N^n$
- Jeder Platz einer schwarzen Kugel kann auf K Arten belegt werden: K^k
- Jeder Platz einer roten Kugel kann auf $(N-K)$ Arten belegt werden: $(N-K)^{n-k}$
- Genau k schwarze Kugeln können auf $\binom{n}{k}$ Arten auf die Positionen 1 bis n eines n -Tupels verteilt werden.

Daraus folgt:

$$P(X = k) = \frac{\binom{n}{k} \cdot K^k \cdot (N - K)^{n-k}}{N^n} = \binom{n}{k} \cdot \left(\frac{K}{N}\right)^k \cdot \left(1 - \frac{K}{N}\right)^{n-k}.$$

Urnenmodell

Verallgemeinerung

Satz 12

Zieht man aus einer Urne mit N Kugeln, von denen K schwarz sind, n Kugeln ohne Zurücklegen, so gilt für die Anzahl X der gezogenen schwarzen Kugeln

$$P(X = k) = \frac{\binom{K}{k} \cdot \binom{N-K}{n-k}}{\binom{N}{n}} \quad (0 \leq k \leq n, k \leq K, n - k \leq N - K) .$$

Sei $\frac{K}{N} = p$ der Anteil schwarzer Kugeln.

Satz 13

Der Anteil der schwarzen Kugeln in einer Urne mit gleichartigen Kugeln sei p . Zieht man aus dieser Urne n Kugeln mit Zurücklegen, so gilt für die Anzahl X der gezogenen schwarzen Kugeln

$$P(X = k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k} \quad (k = 0, 1, \dots, n) .$$

Bemerkungen:

- ❑ Anwendungsmöglichkeiten des alternativen Urnenmodells ohne Zurücklegen sind beispielsweise Meinungsumfragen oder Qualitätskontrollen. Es werden dabei ja jeweils „Objekte“ entnommen (Befragte oder Produktproben), die üblicherweise nicht mehrmals befragt oder kontrolliert werden.
- ❑ Ist in der Qualitätskontrolle der Stichprobenumfang eher klein (bspw. höchstens 10% und damit $n \leq 0,1 \cdot N$), so bleibt der Anteil p der defekten Stücke bei der Entnahme der Stichprobe meist quasi unverändert. Man kann dann zur näherungsweisen Bestimmung der Wahrscheinlichkeit oft ohne zu große Ungenauigkeit die rechnerisch aufwändige Formel aus Satz 12 durch die einfachere Formel von Satz 13 ersetzen, obwohl Qualitätskontrolle ja eigentlich ohne Zurücklegen durchgeführt wird.
- ❑ Satz 13 behält auch dann seinen Sinn, wenn p nicht rational ist, wenn man sich also gar nicht mehr auf das alternative Urnenmodell beziehen kann. Mehr dazu im Abschnitt zur Binomialverteilung.
- ❑ Eine ganz andere Frage ist es noch, vom in einer Stichprobe beobachteten „Ausschussanteil“ auf den tatsächlichen Ausschussanteil in der Grundgesamtheit zurückzuschließen. Mehr dazu im Abschnitt zum Hypothesentesten.

Urnenmodell

Beispiel: Qualitätskontrolle einer Lieferung 2

- Annahme: Man weiß, dass 8 von 25 Einheiten einer Lieferung defekt sind.
- Wie groß sind die Wahrscheinlichkeiten, dass von 6 zufällig ausgewählten Bauteilen (a) mindestens 4 funktionieren, (b) höchstens 2 defekt sind?

Urnenmodell

Beispiel: Qualitätskontrolle einer Lieferung 2

- Annahme: Man weiß, dass 8 von 25 Einheiten einer Lieferung defekt sind.
- Wie groß sind die Wahrscheinlichkeiten, dass von 6 zufällig ausgewählten Bauteilen (a) mindestens 4 funktionieren, (b) höchstens 2 defekt sind?
- (a) und (b) unterscheiden sich nur in der Formulierung, die gesuchte Wahrscheinlichkeit ist dieselbe.
- Die Stichprobengröße ist eher groß \rightarrow Satz 12
- Sei X die Zahl der defekten Einheiten der Stichprobe.

Urnenmodell

Beispiel: Qualitätskontrolle einer Lieferung 2

- Annahme: Man weiß, dass 8 von 25 Einheiten einer Lieferung defekt sind.
- Wie groß sind die Wahrscheinlichkeiten, dass von 6 zufällig ausgewählten Bauteilen (a) mindestens 4 funktionieren, (b) höchstens 2 defekt sind?
- (a) und (b) unterscheiden sich nur in der Formulierung, die gesuchte Wahrscheinlichkeit ist dieselbe.
- Die Stichprobengröße ist eher groß \rightarrow Satz 12
- Sei X die Zahl der defekten Einheiten der Stichprobe.
- Dann gilt:

$$\begin{aligned} P(X \leq 2) &= P(X = 0) + P(X = 1) + P(X = 2) \\ &= \sum_{k=0}^2 \frac{\binom{8}{k} \cdot \binom{25-8}{6-k}}{\binom{25}{6}} \approx 0,73 . \end{aligned}$$