Vorlesung 3a

Der Erwartungswert

von diskreten reellwertigen Zufallsvariablen

Teil 5

Wie erlebt man den Erwartungswert?

X

eine Zufallsgröße;

$\mathbf{E}[X]$

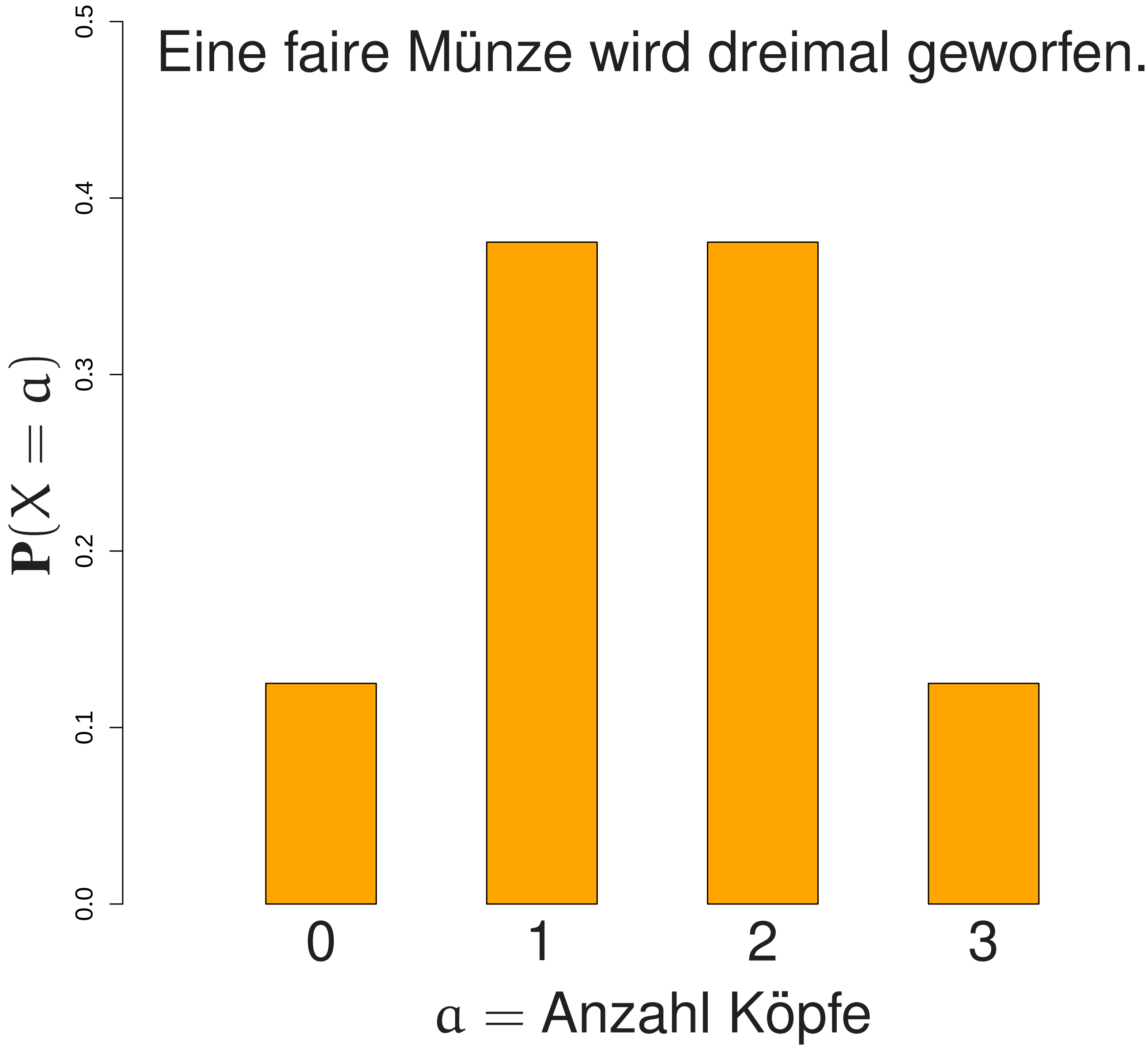
eine Zahl.

Ein Beispiel: Der Erwartungswert der Anzahl der Erfolge beim dreifachen Münzwurf

Eine faire Münze wird dreimal geworfen.

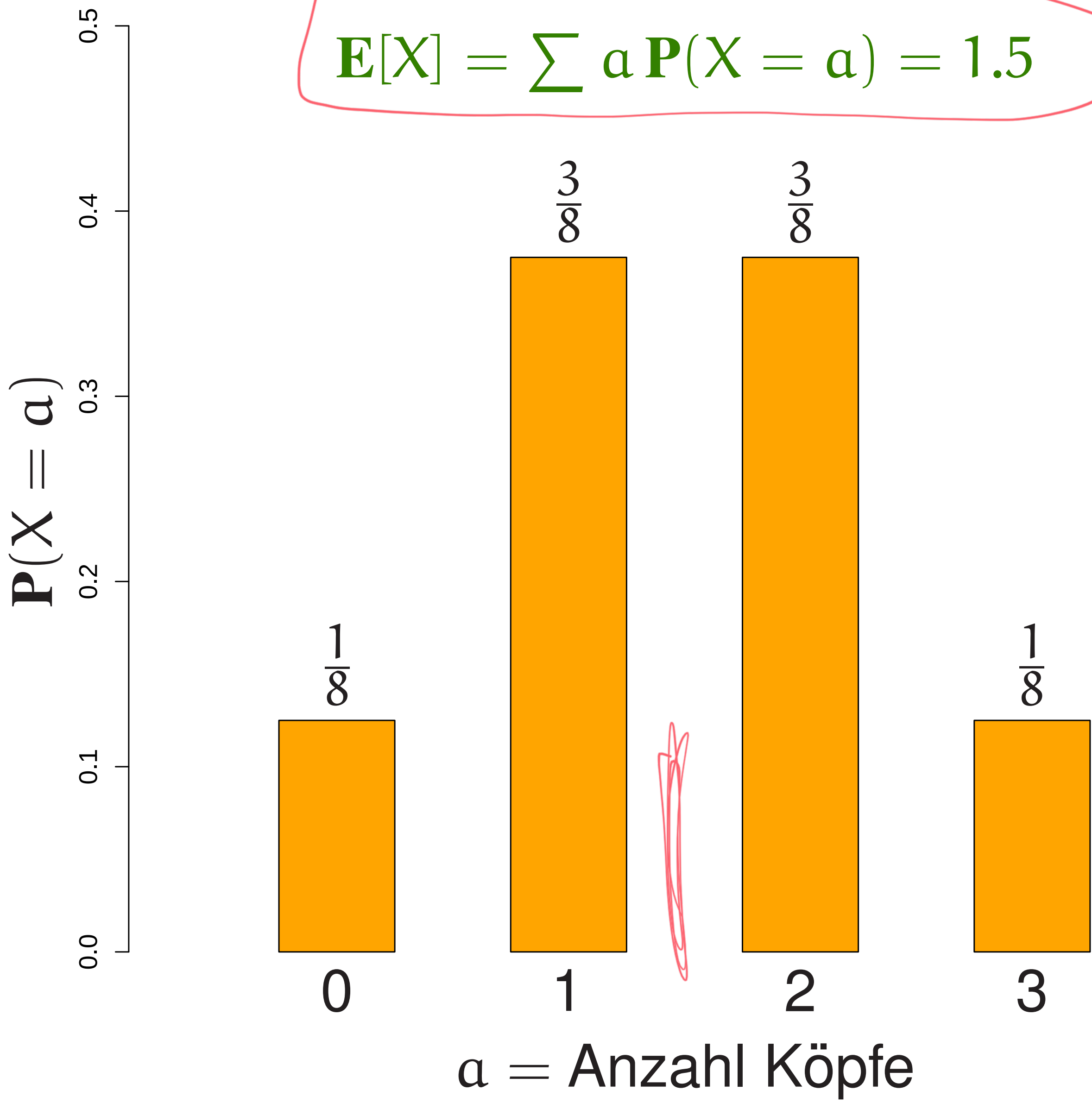
$X :=$ Anzahl der geworfenen Köpfe.

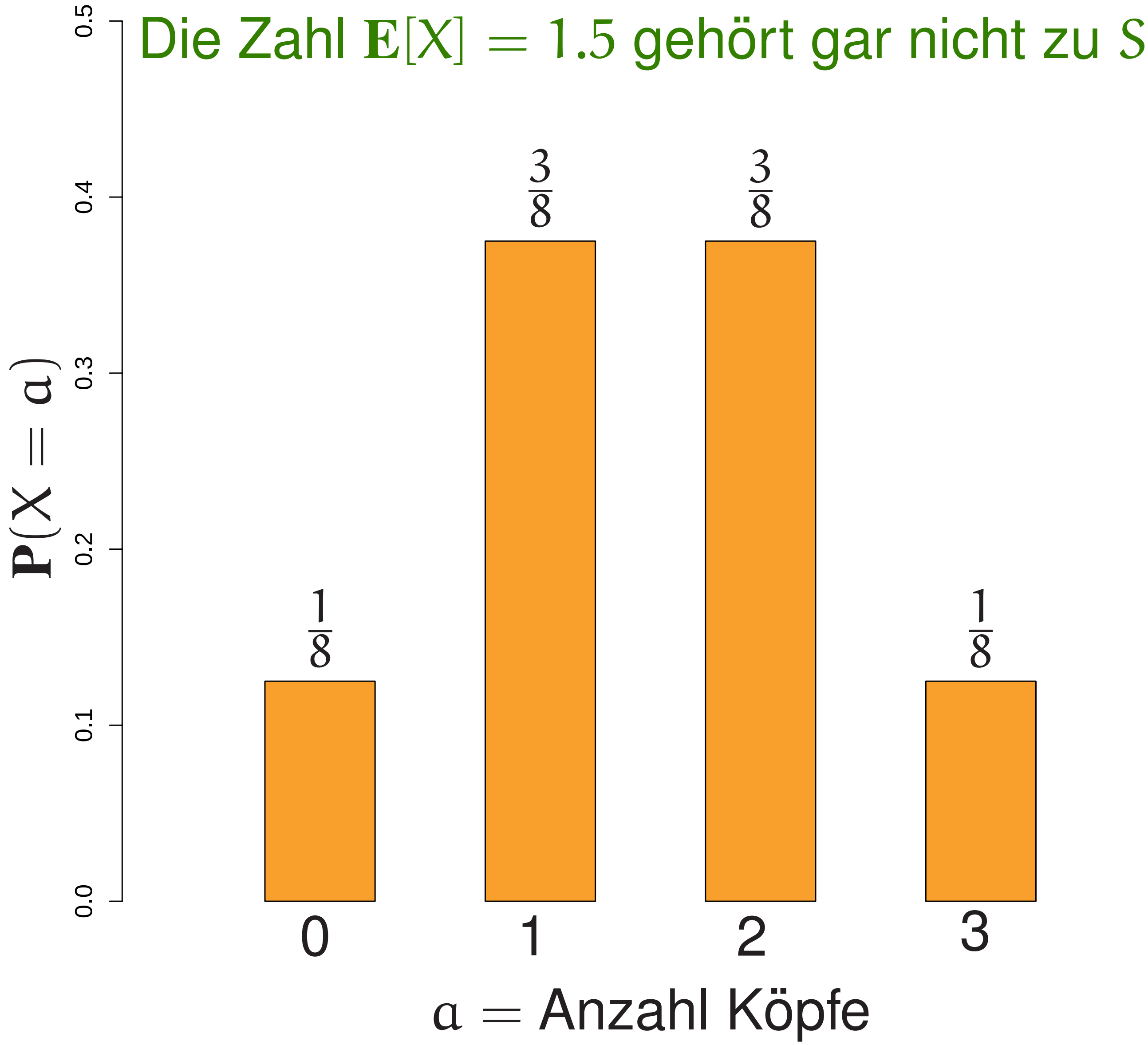
$$S := \{0, 1, 2, 3\}.$$



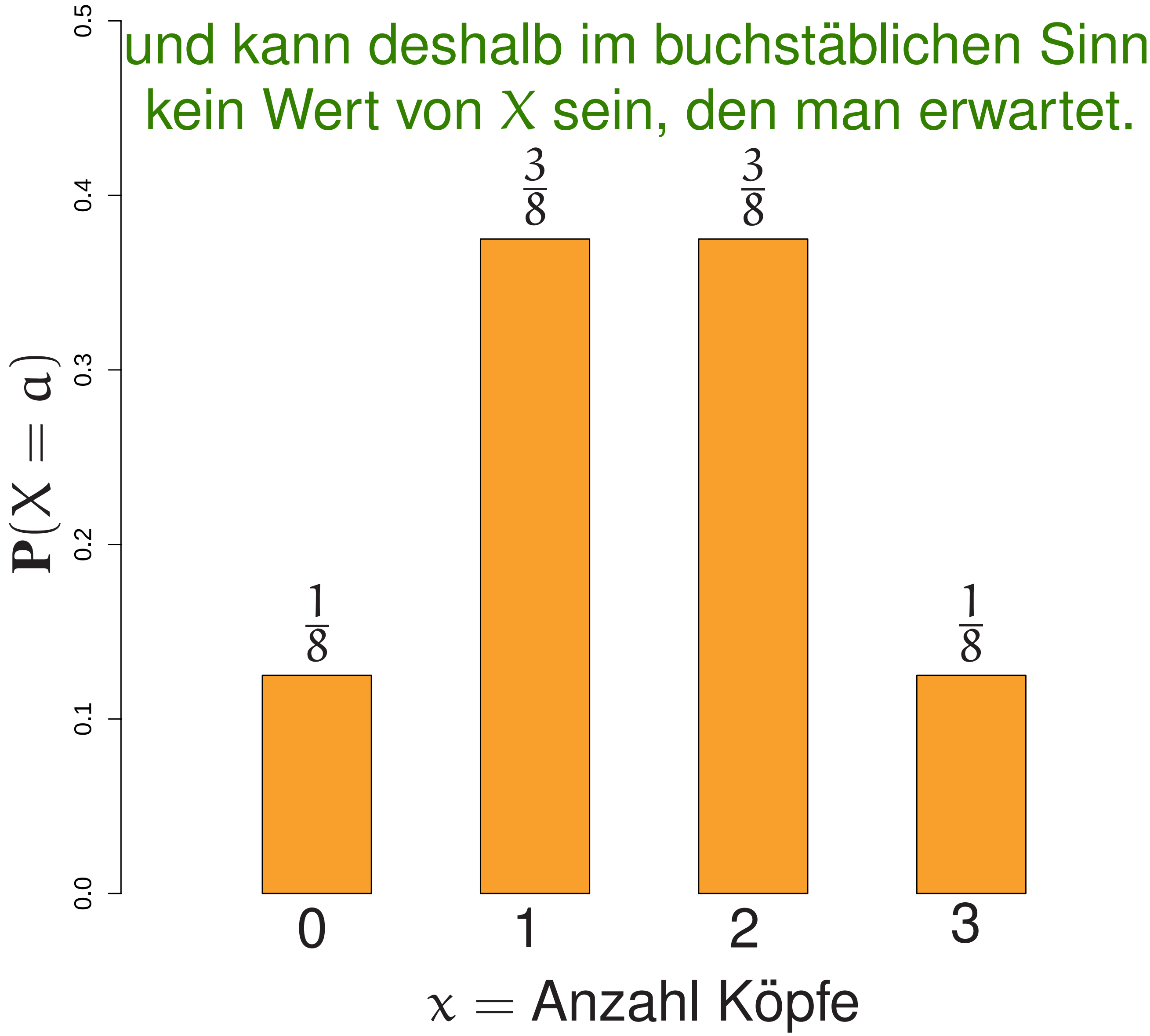
Eine faire Münze wird dreimal geworfen.
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$\mathbf{P}(X = a)$
0
1
2
3
a = Anzahl Köpfe

$$\mathbf{E}[X] = \sum a\,\mathbf{P}(X = a) = 1.5$$

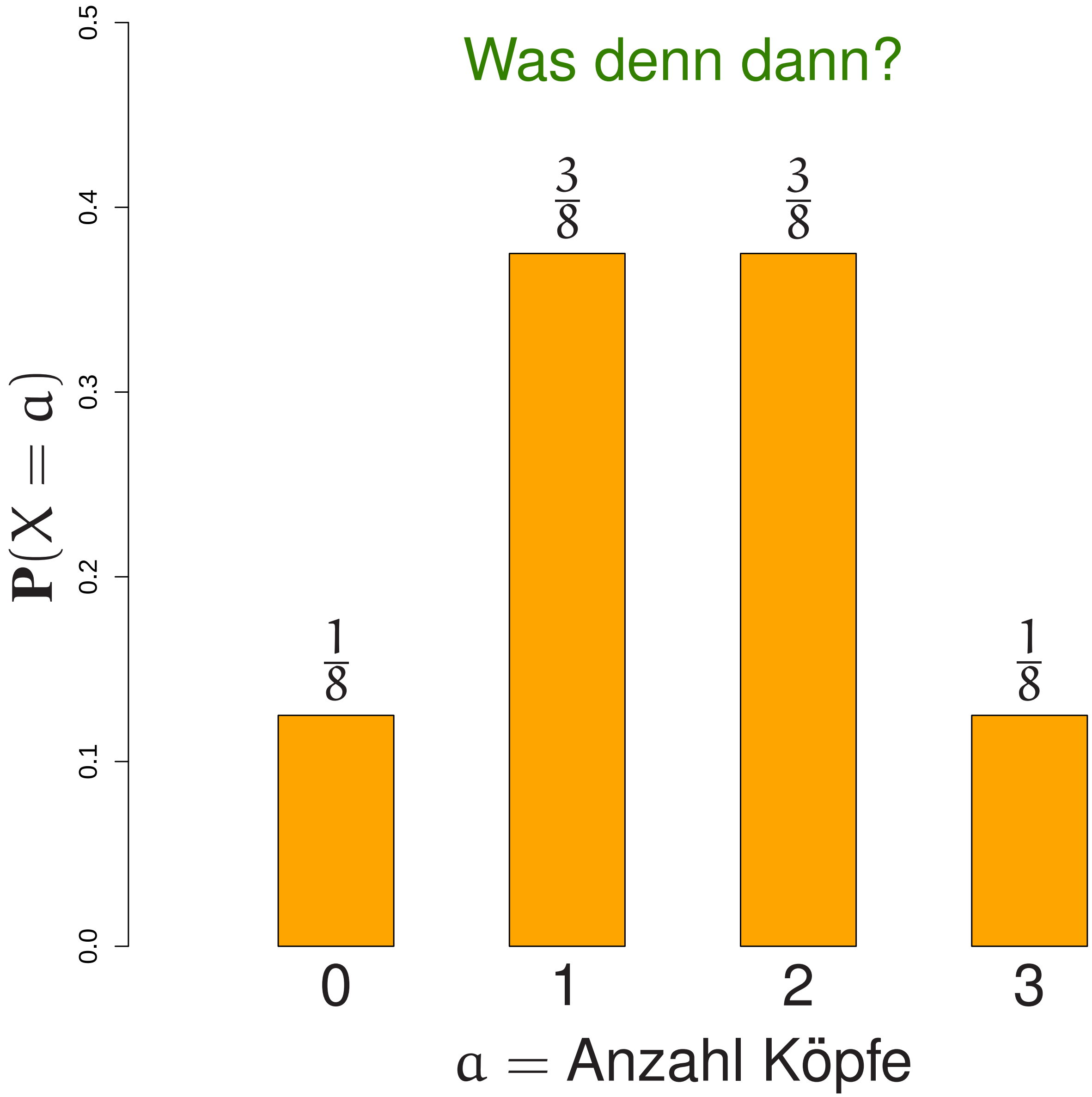




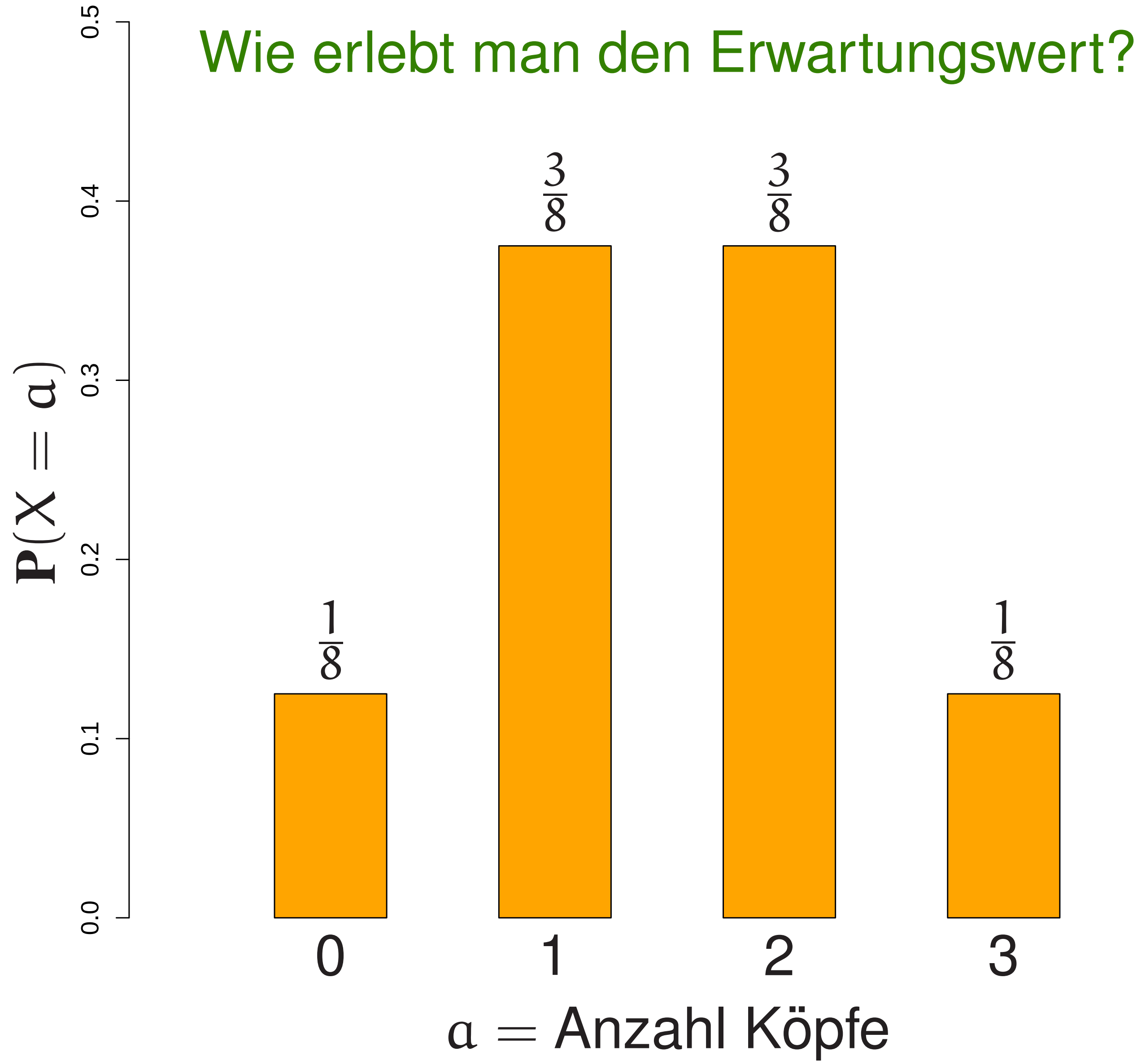
Die Zahl $\mathbf{E}[X] = 1.5$ gehört gar nicht zu S
$\mathbf{P}(X = a)$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$\frac{1}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{1}{8}$
0
1
2
3
a = Anzahl Köpfe



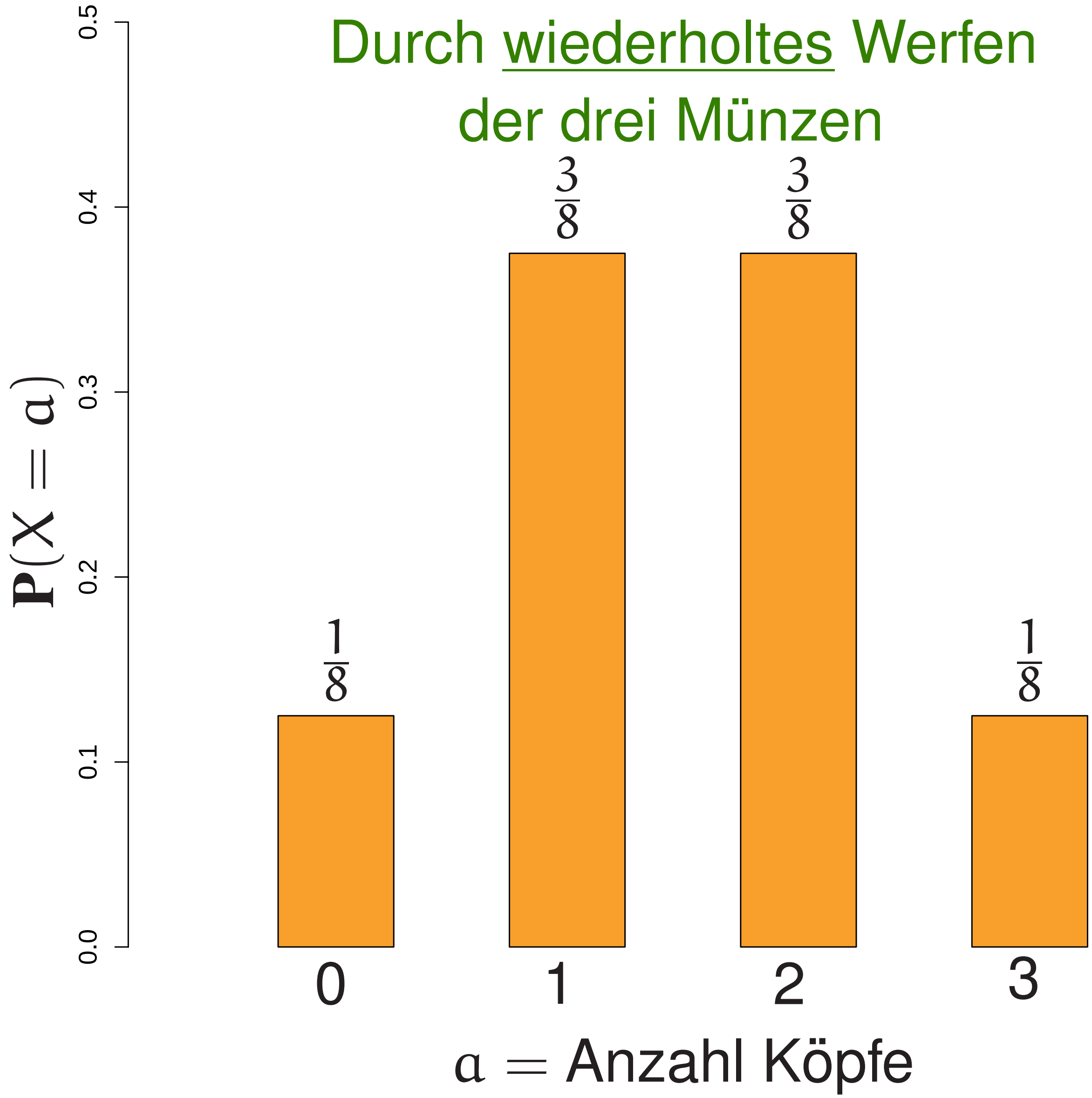
und kann deshalb im buchstäblichen Sinn
kein Wert von X sein, den man erwartet.
$\mathbf{P}(X = a)$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$\frac{1}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{1}{8}$
0
1
2
3
$x =$ Anzahl Köpfe



Was denn dann?
$\mathbf{P}(X = a)$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$\frac{1}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{1}{8}$
0
1
2
3
a = Anzahl Köpfe



Wie erlebt man den Erwartungswert?
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
$\mathbf{P}(X = a)$
$\frac{1}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{1}{8}$
0
1
2
3
a = Anzahl Köpfe



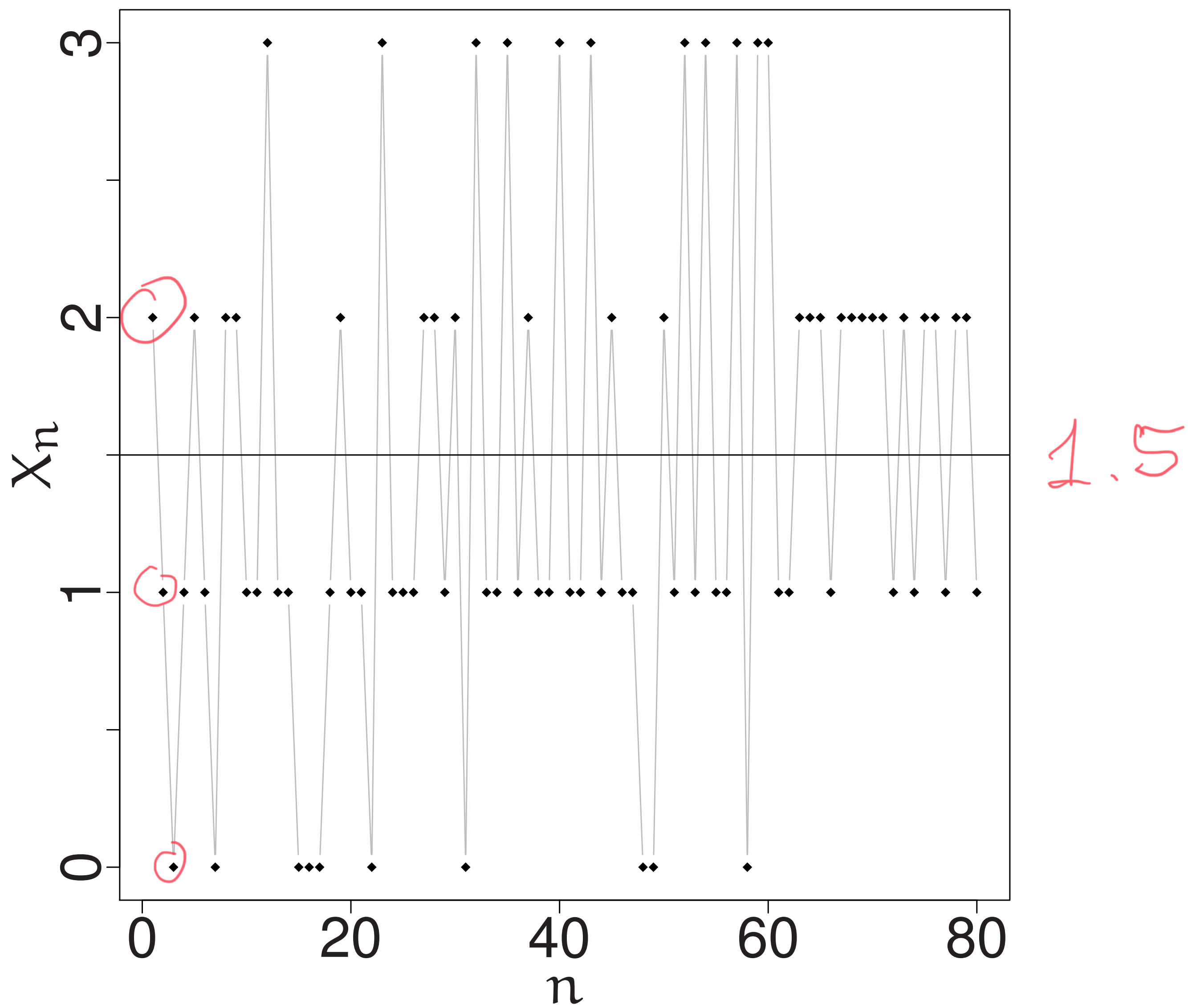
Durch wiederholtes Werfen
der drei Münzen
$\frac{1}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{3}{8}$
$\frac{1}{8}$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
$\mathbf{P}(X = a)$
0
1
2
3
$a =$ Anzahl Köpfe

Der Erwartungswert als Langzeitmittel

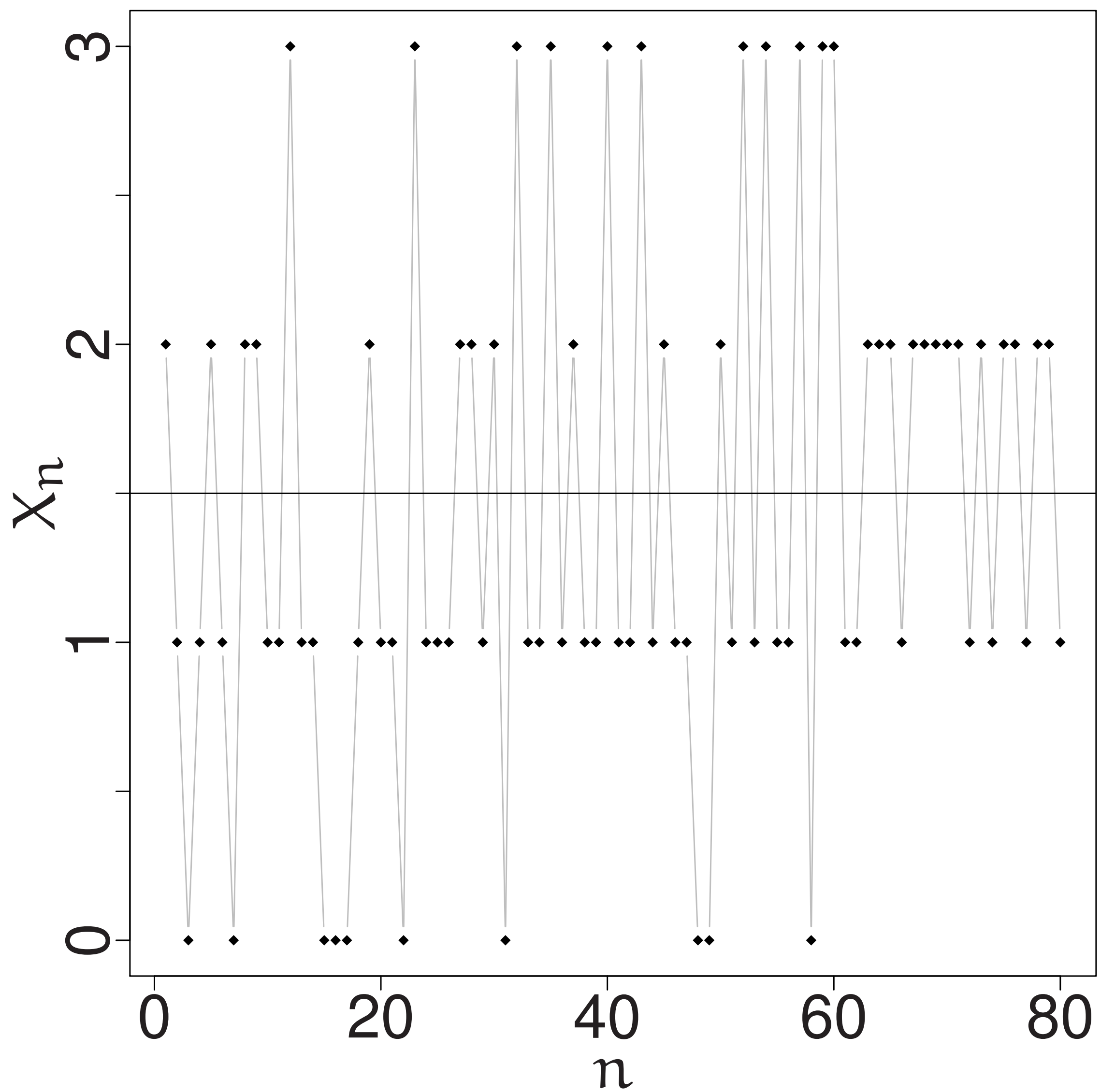
Beispiel:

$X \ldots$ Anzahl Köpfe beim dreimaligen fairen Münzwurf

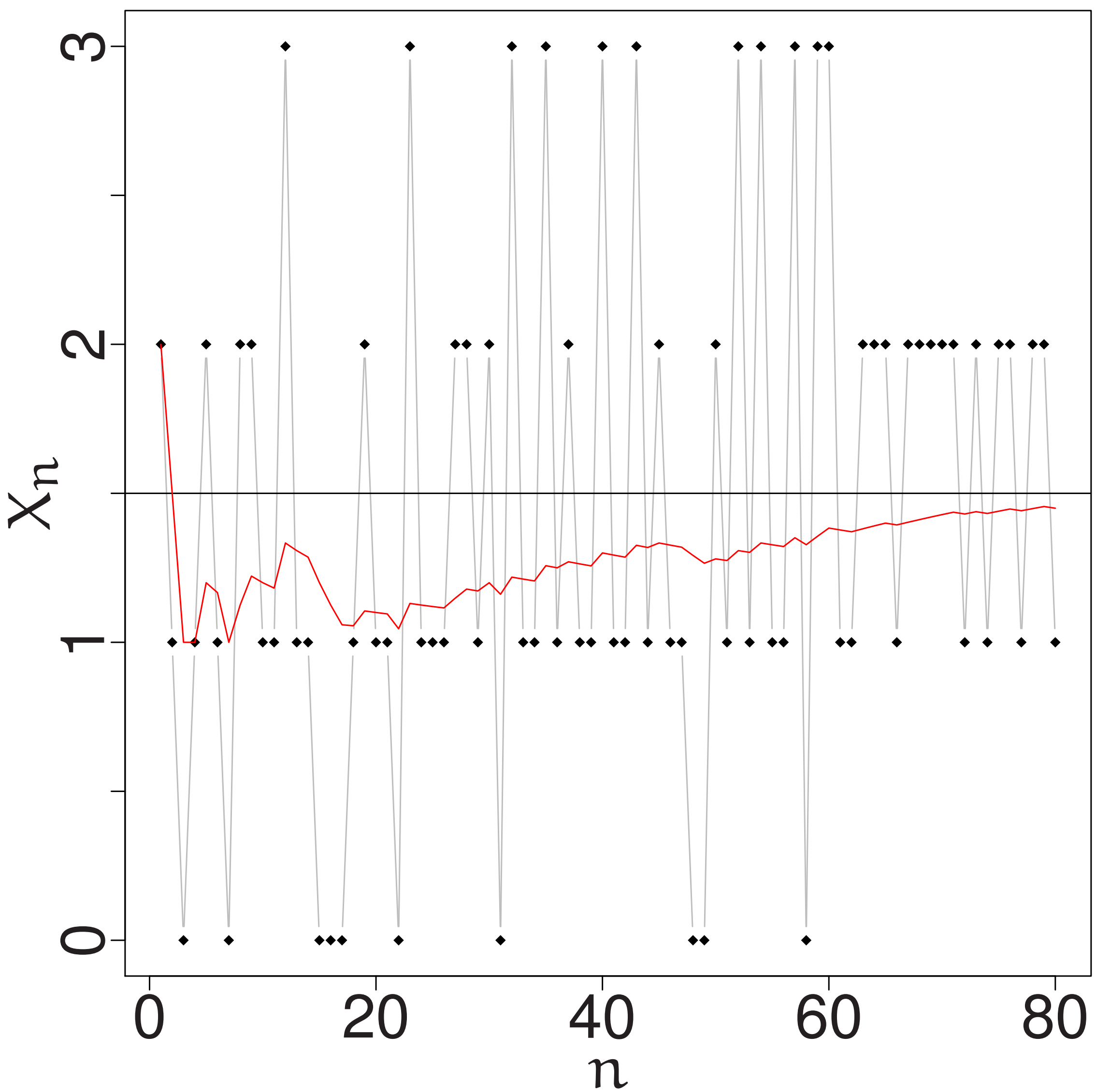
80 Wiederholungen: $X_1, X_2, ..., X_{80}$

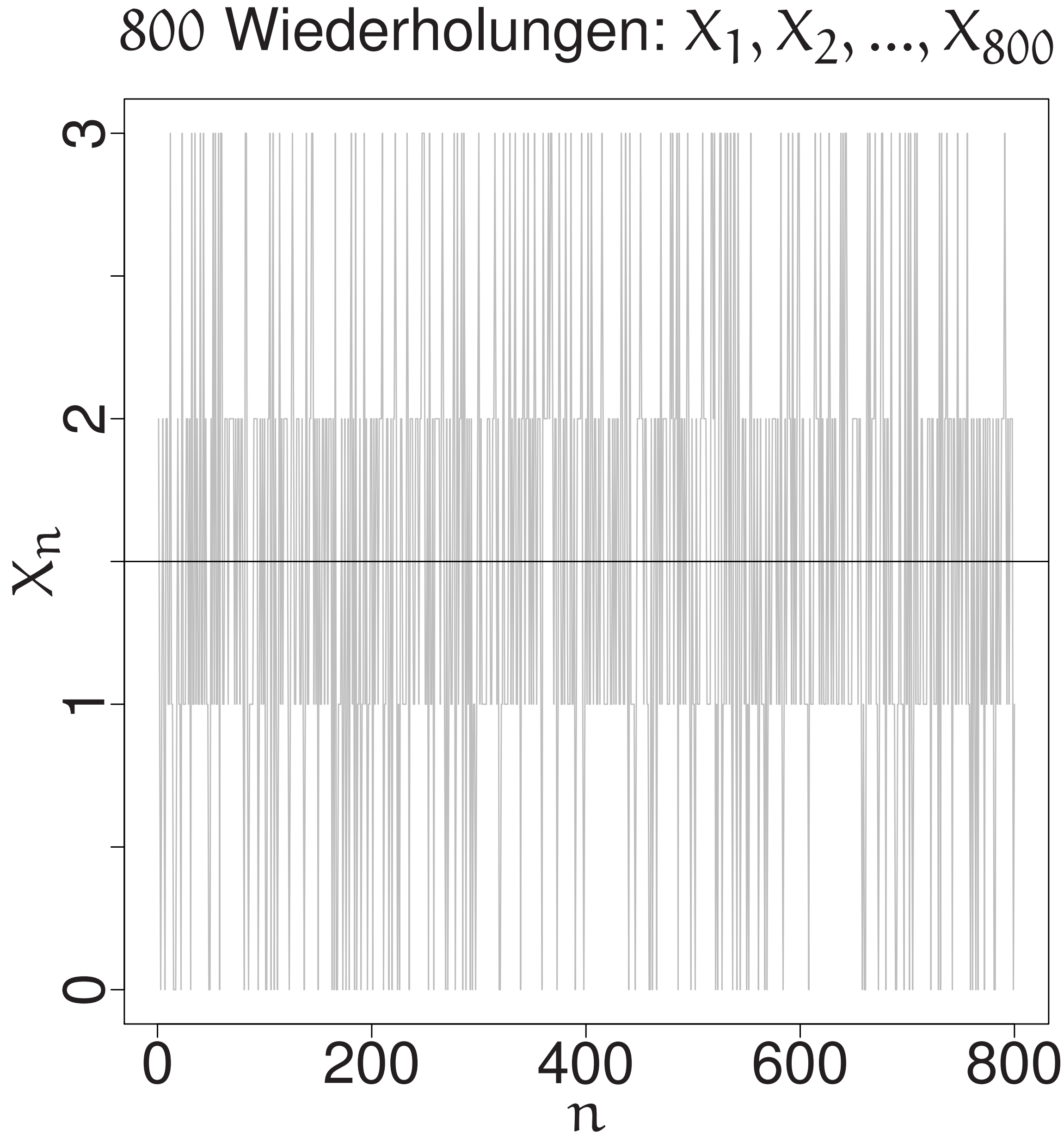


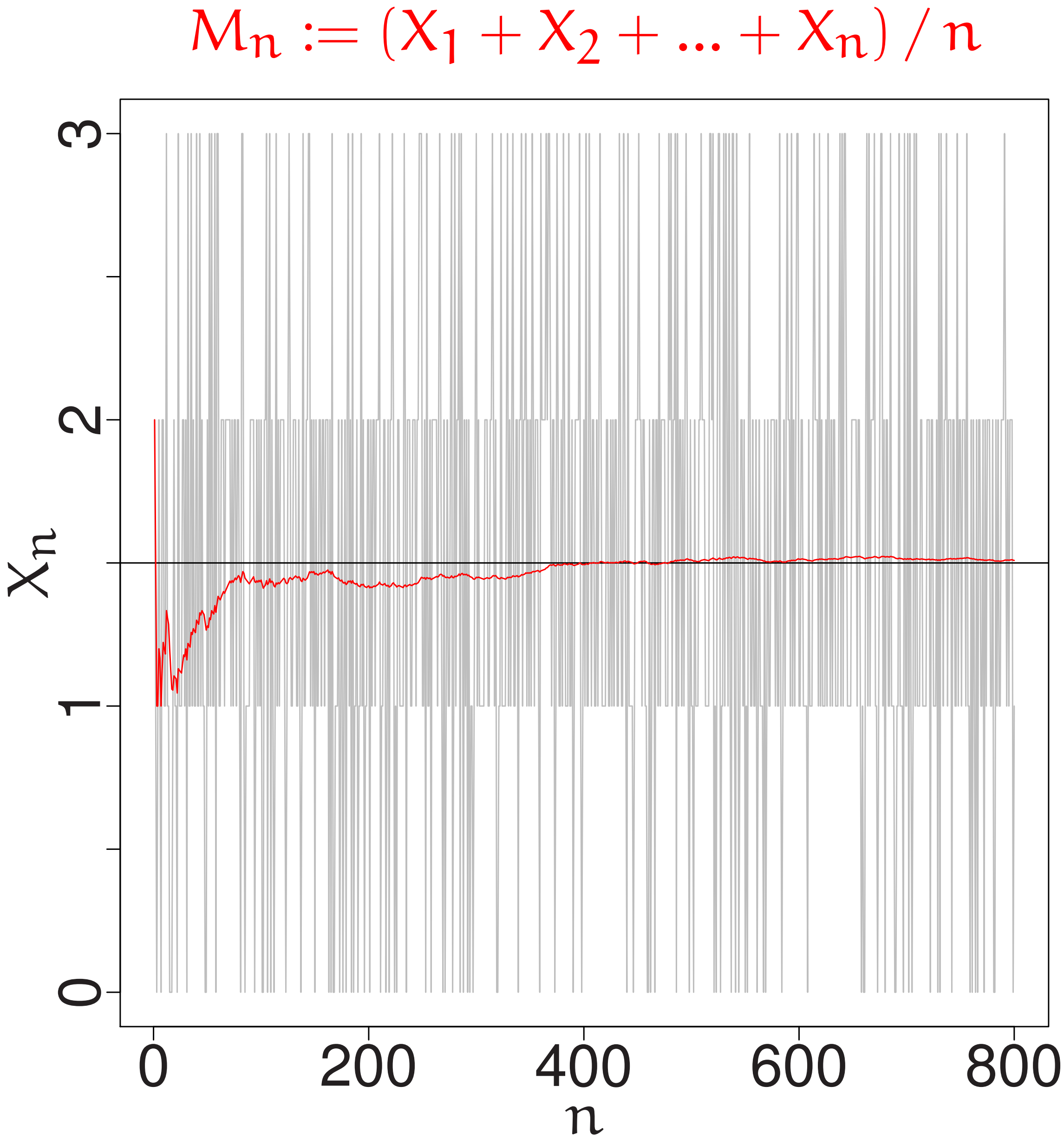
$$M_n := (X_1 + X_2 + \ldots + X_n) \,/\, n$$

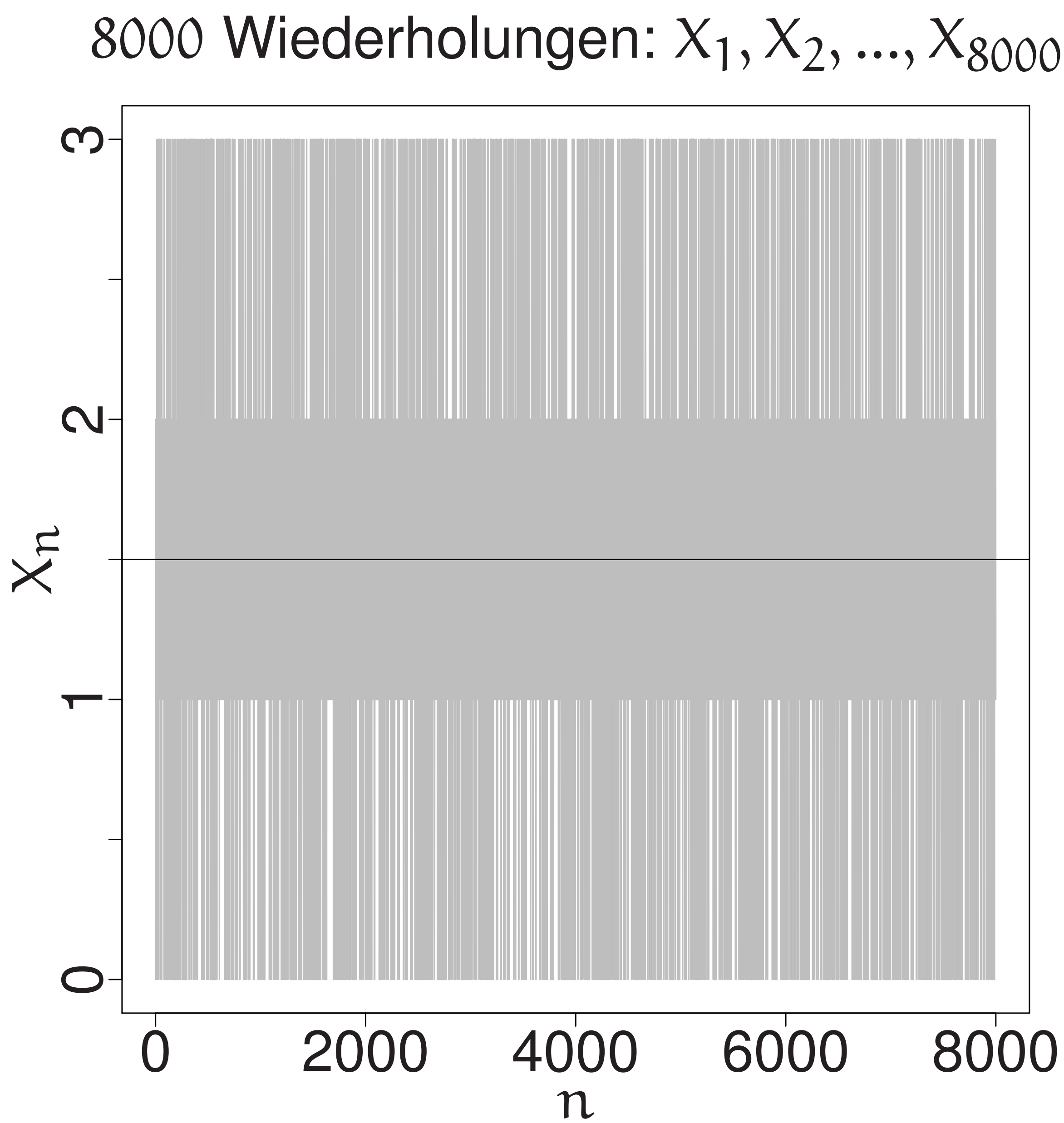


$$M_n := (X_1 + X_2 + \ldots + X_n)\,/\,n$$



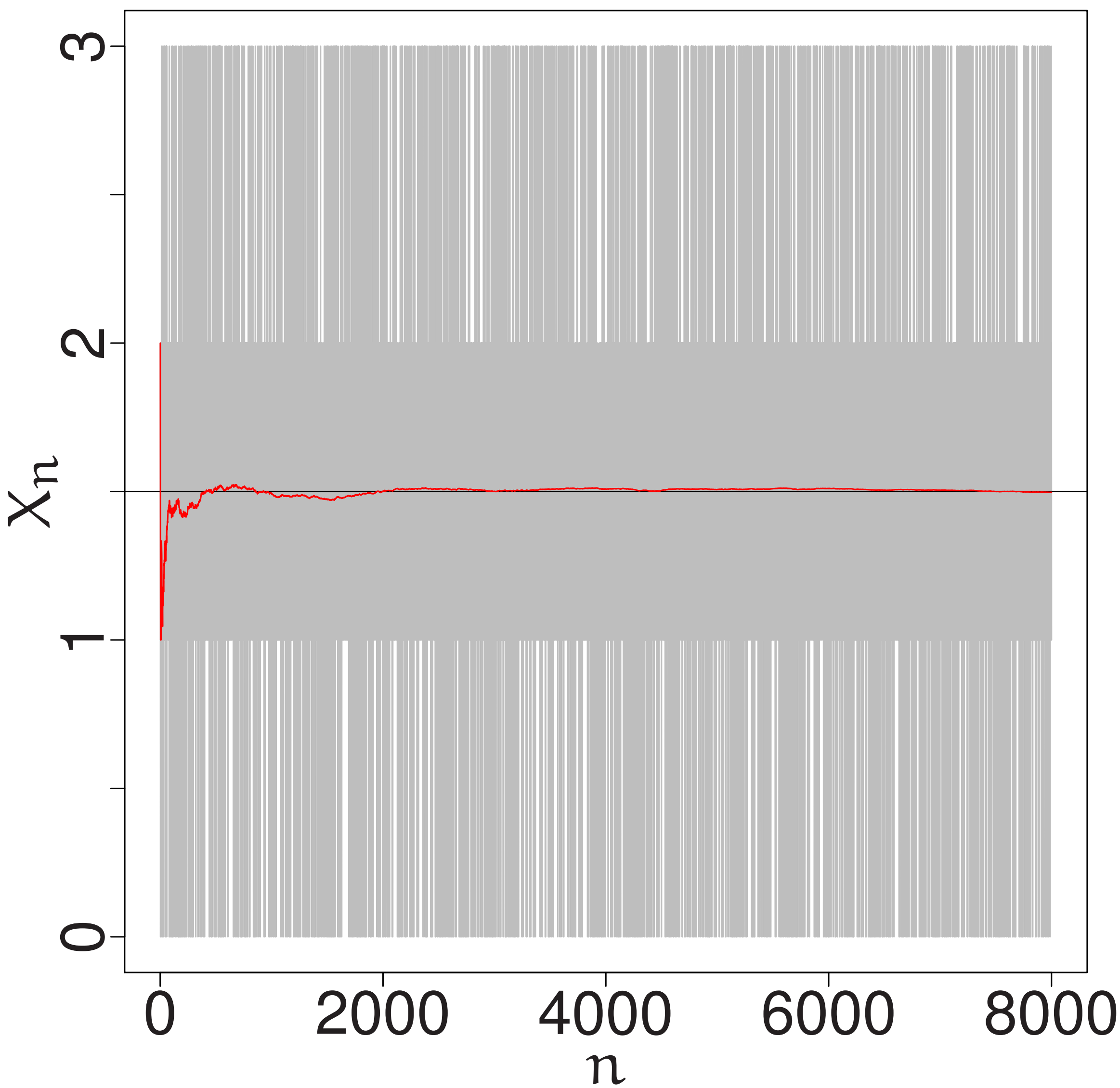

800 Wiederholungen: $X_1, X_2, ..., X_{800}$
X_n
0
1
2
3
0
200
400
600
800
n

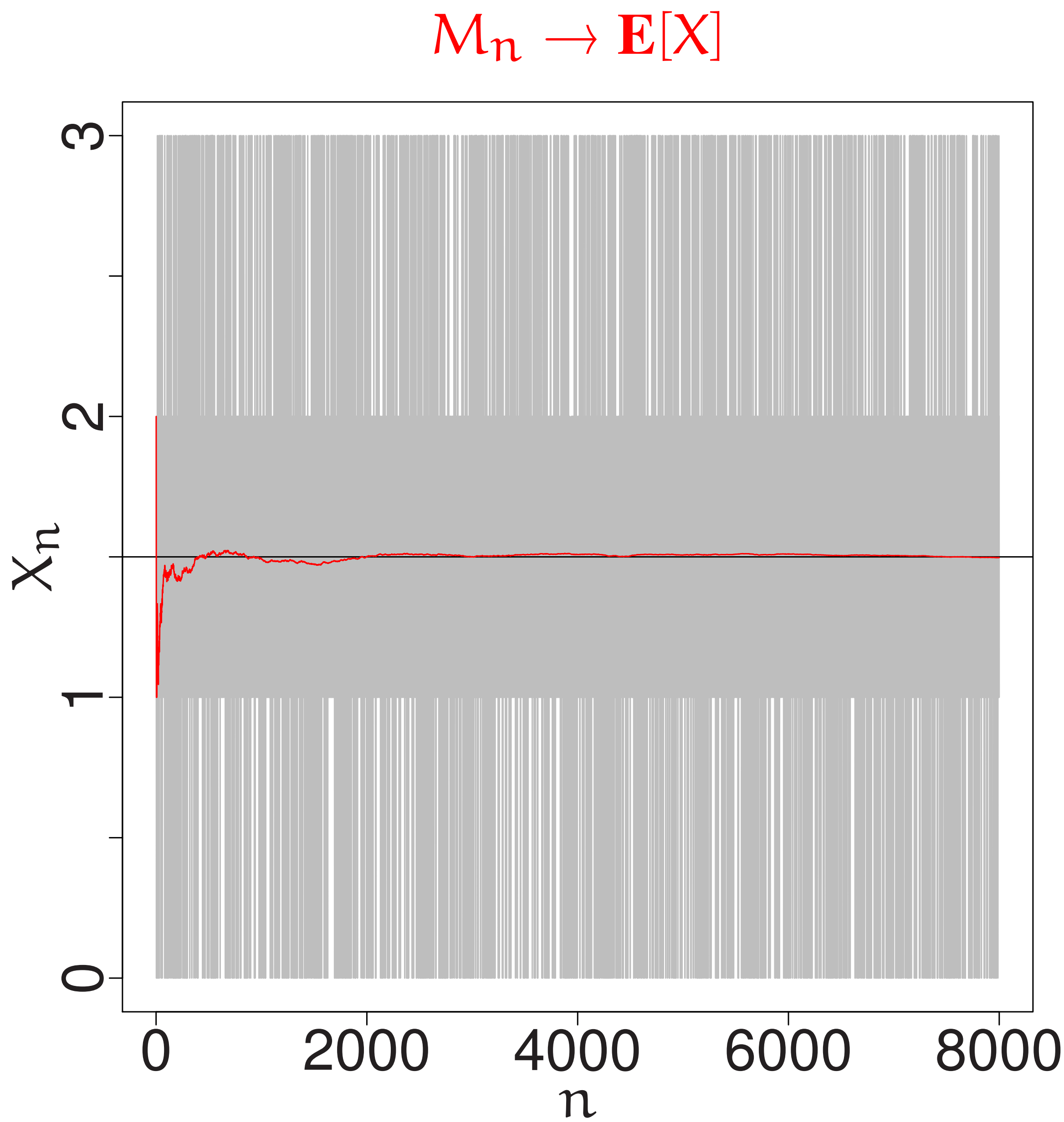

$M_n := (X_1 + X_2 + ... + X_n) / n$
3
2
1
0
X_n
0
200
400
600
800
n

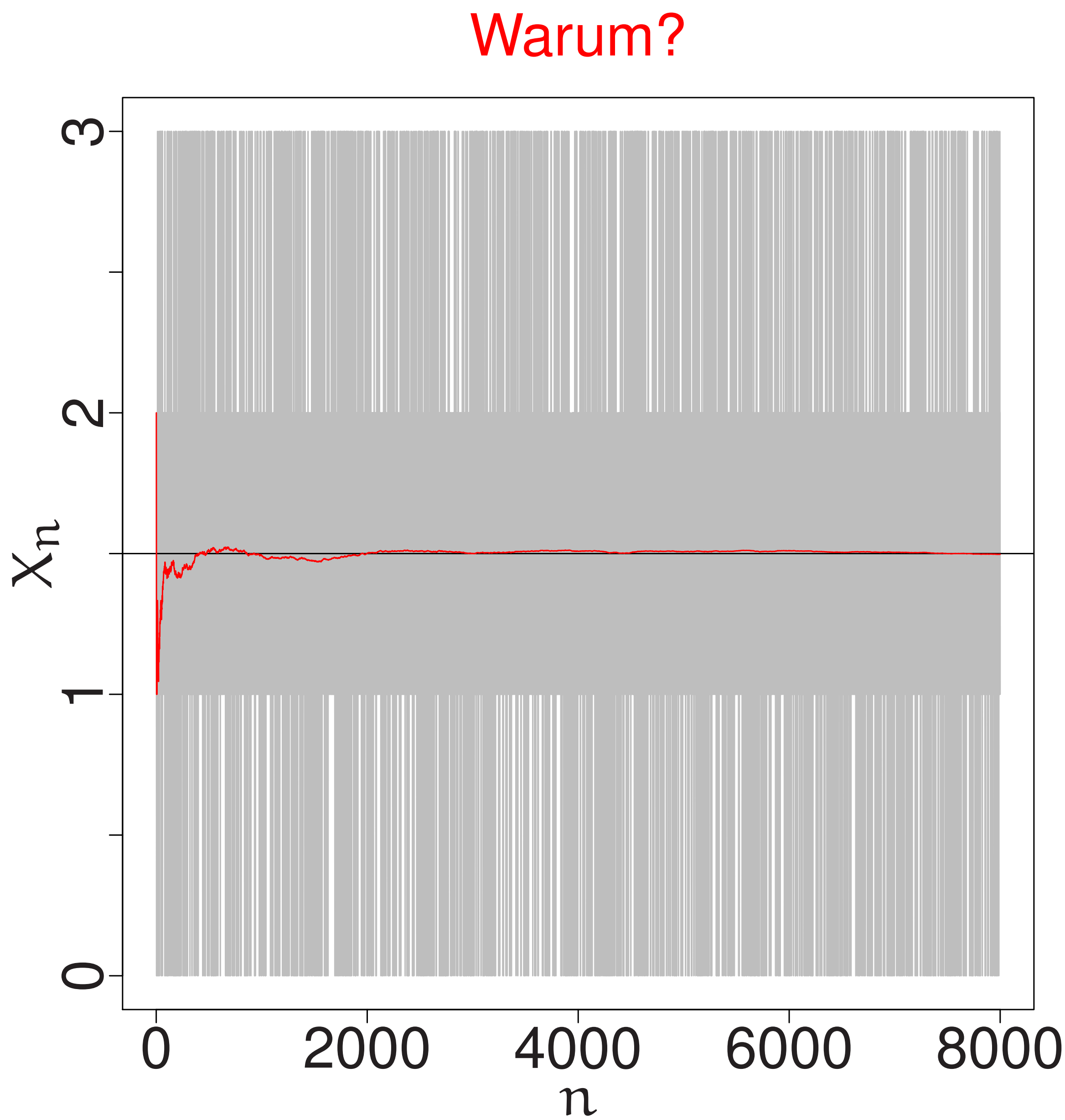


8000 Wiederholungen: $X_1, X_2, ..., X_{8000}$
3
2
1
0
X_n
0
2000
4000
6000
8000
n

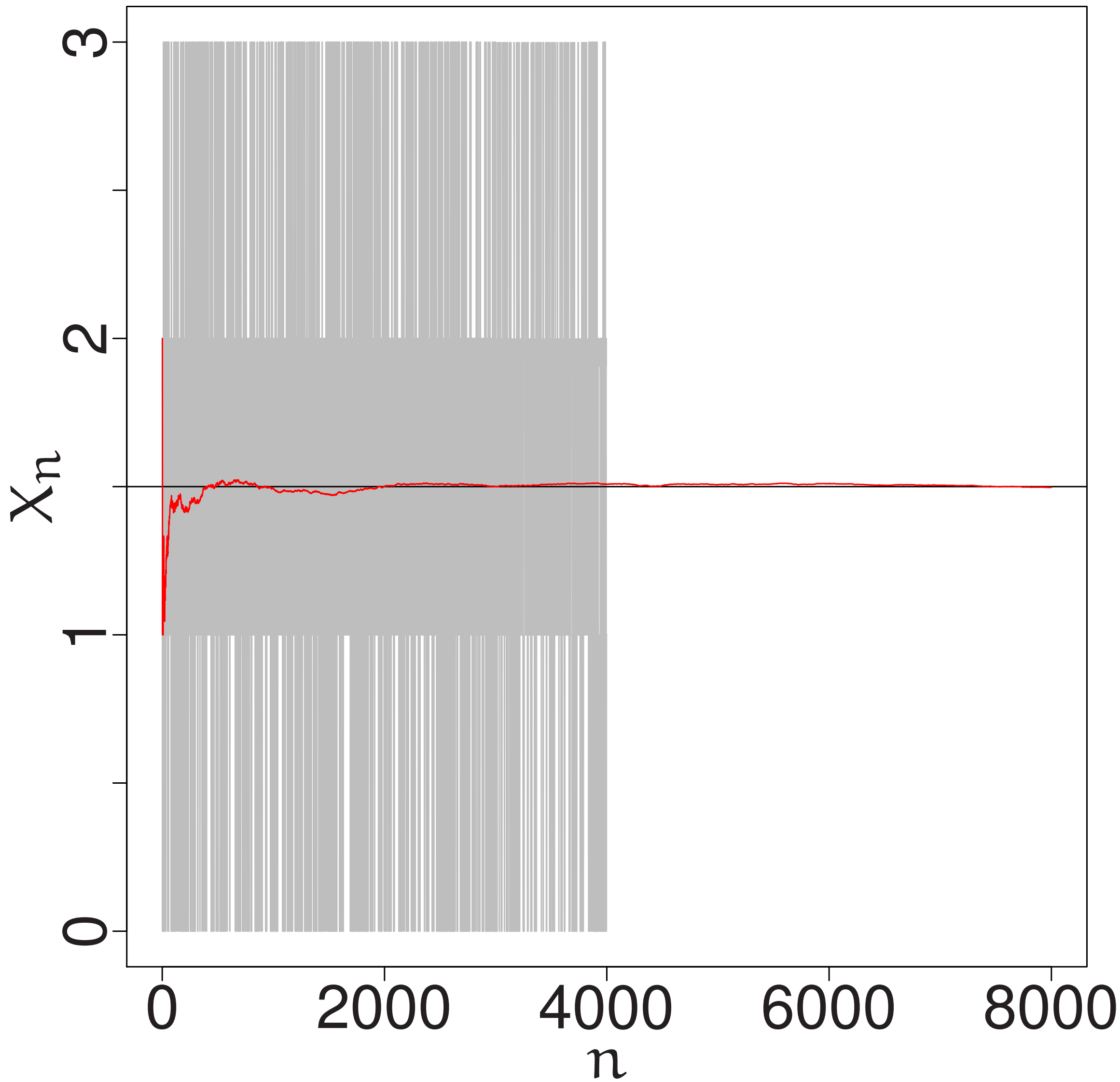
$M_n := (X_1 + X_2 + ... + X_n) / n$




$M_n \to \mathbf{E}[X]$
3
2
1
0
X_n
0
2000
4000
6000
8000
n


Warum?
3
2
1
0
X_n
0
2000
4000
6000
8000
n

$$M_n = (X_1 + X_2 + \ldots + X_n) \,/\, n$$



Die Summe von n Zahlen $x_1, \ldots, x_n \in \{0, 1, 2, 3\}$

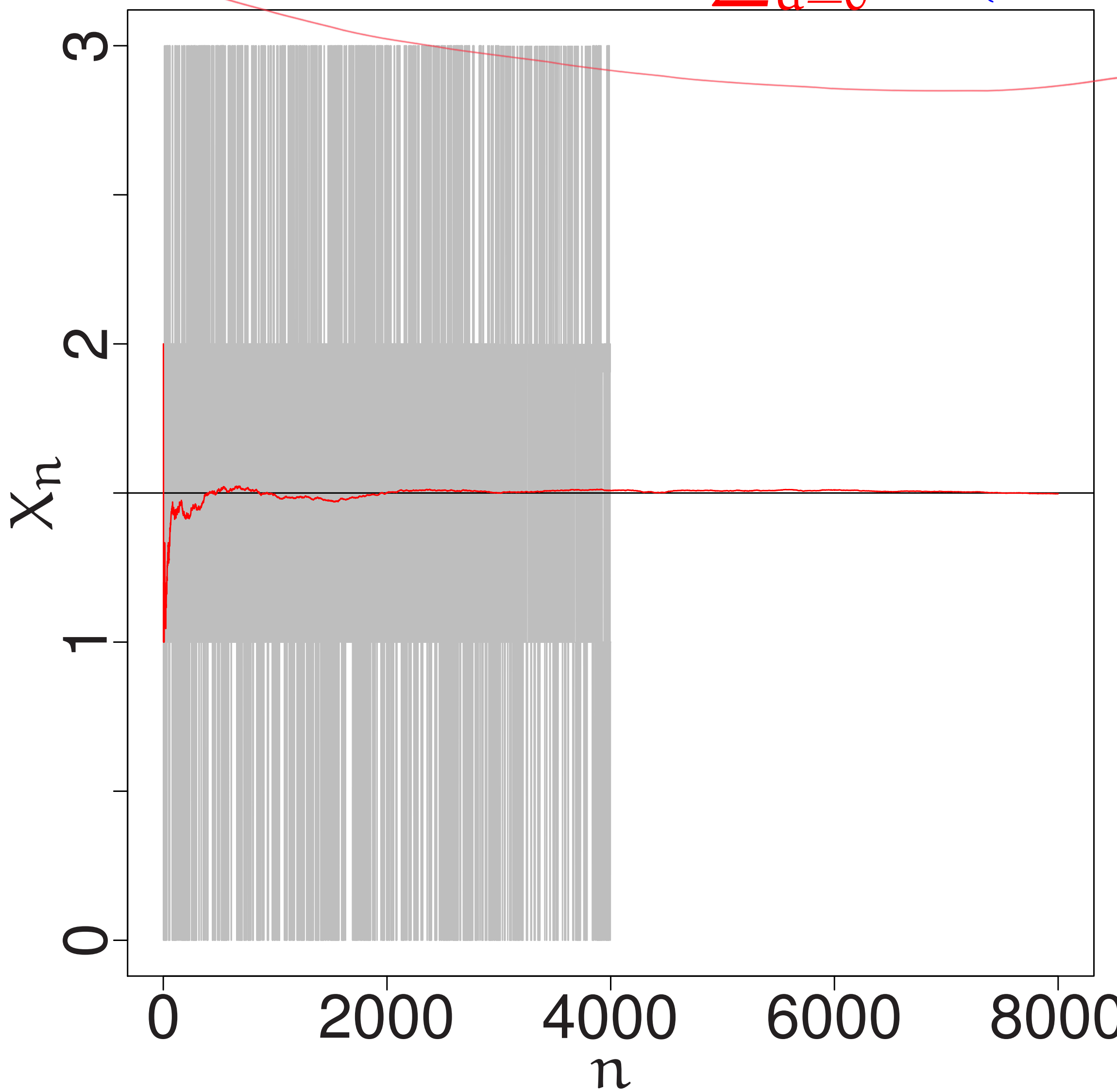
kann man auch so berechnen:

Man zählt für $a = 1, 2, 3$, wieviele der x_i gleich a sind

und bekommt

$$x_1 + \ldots + x_n = \sum_{a=0}^{3} a \, \#\{i \leq n : x_i = a\}.$$

$$M_n = \sum_{a=0}^{3} a \; \#\{i \le n : X_i = a\}/n$$
$$\to \sum_{a=0}^{3} a \; \mathbf{P}(X = a)$$



Dazu später mehr.

Für den Moment nur als kurzer Ausblick:

Das Gesetz der grossen Zahlen

Sei X eine Zufallsgröße mit Erwartungswert $\mathbf{E}[X]$.

Seien $X_1, X_2, ...$ unabhängige Kopien von X.

Dann gilt

$$\frac{X_1 + ... + X_n}{n} \to \mathbf{E}[X]$$

Zu klären

1. Was heißt „ unabhängig “?

2. Was heißt „ $\rightarrow$ “?

Diese Klärung wird in der Vorlesung

in wenigen Wochen erfolgen.

Jetzt halten wir erst einmal fest:

Zwei Vorstellungen von $\mathbf{E}[X]$

1. Gewichtetes Mittel

der möglichen Werte:

$$\mathbf{E}[X] := \sum a\,\mathbf{P}(X = a)$$

2. Langzeitmittelwert

bei "unabhängigen" Wiederholungen:

$$\frac{X_1 + \ldots + X_n}{n} \to \mathbf{E}[X]$$

Zusammenfassung

des Wichtigsten

A.

Was ist der Erwartungswert?

$$\mathbf{E}[X] = \sum a \, \mathbf{P}(X = a)$$

<u>und</u>

$$\mathbf{E}[X] = \lim \frac{X_1 + ... + X_n}{n}$$

für “unabhängige Wiederholungen” $X_1, X_2, \ldots$

B.

Was ist die wichtigste Eigenschaft des Erwartungswertes?

Die Linearität:

$$\mathbf{E}[\alpha X + \beta Y] = \alpha \mathbf{E}[X] + \beta \mathbf{E}[Y]$$

C.

Wie berechnet man $\mathbf{E}[X]$ am besten?

Oft dadurch,

dass man X als Summe schreibt:

$$X = Z_1 + ... + Z_n$$

$$\mathbf{E}[X] = \mathbf{E}[Z_1] + ... + \mathbf{E}[Z_n]$$