



LUDWIG-  
MAXIMILIANS-  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN



# Beschreibung von Daten und Verteilungen

Blockkurs für Bachelor-Studenten - Einführung - 30 April 2019

**Sascha Mehlhase** (LMU München)

# Worum soll es heute gehen?

- Charakterisierung von Daten
  - Daten-Arten
  - Mittelwert(e)
  - Breite
  - Korrelation(en)
- wichtige Verteilungen
  - Gleichverteilung
  - Binomialverteilung
  - Poissonverteilung
  - Gauss- oder Normalverteilung
  - Zentraler Grenzwert-Satz

# Charakterisierung von Daten

## ▸ Daten-Arten

### ▸ Unterscheidung nach

#### ▸ **qualitativ**

- z.B. Kategorien, Farben, Befinden, Emotionen, ...
- durchaus häufig: medizinische Studien, Meinungsumfragen, Marktforschung, ..., aber unangenehm zu behandeln, mathematisch schwer fassbar.

#### ▸ **quantitativ**

- numerische Werte, überwiegender Datentyp in Physik, im folgenden Beschränkung darauf.

Weitere Unterteilung in

- **diskrete** Werte - z.B. Anzahl (Teilchen im Ereignis, Personen im Fahrzeug, Münzen in der Börse)
- **kontinuierliche** Werte - z.B. Masse des Teilchens, Größe einer Person, Intensität einer Quelle

# Charakterisierung von Daten

## ▸ Datenvisualisierung

### ▸ Häufigkeitsverteilung

- eine oder mehrere Größen werden wiederholt gemessen.  
Darstellung in ein- oder mehr-dimensionalen 'Histogrammen'.

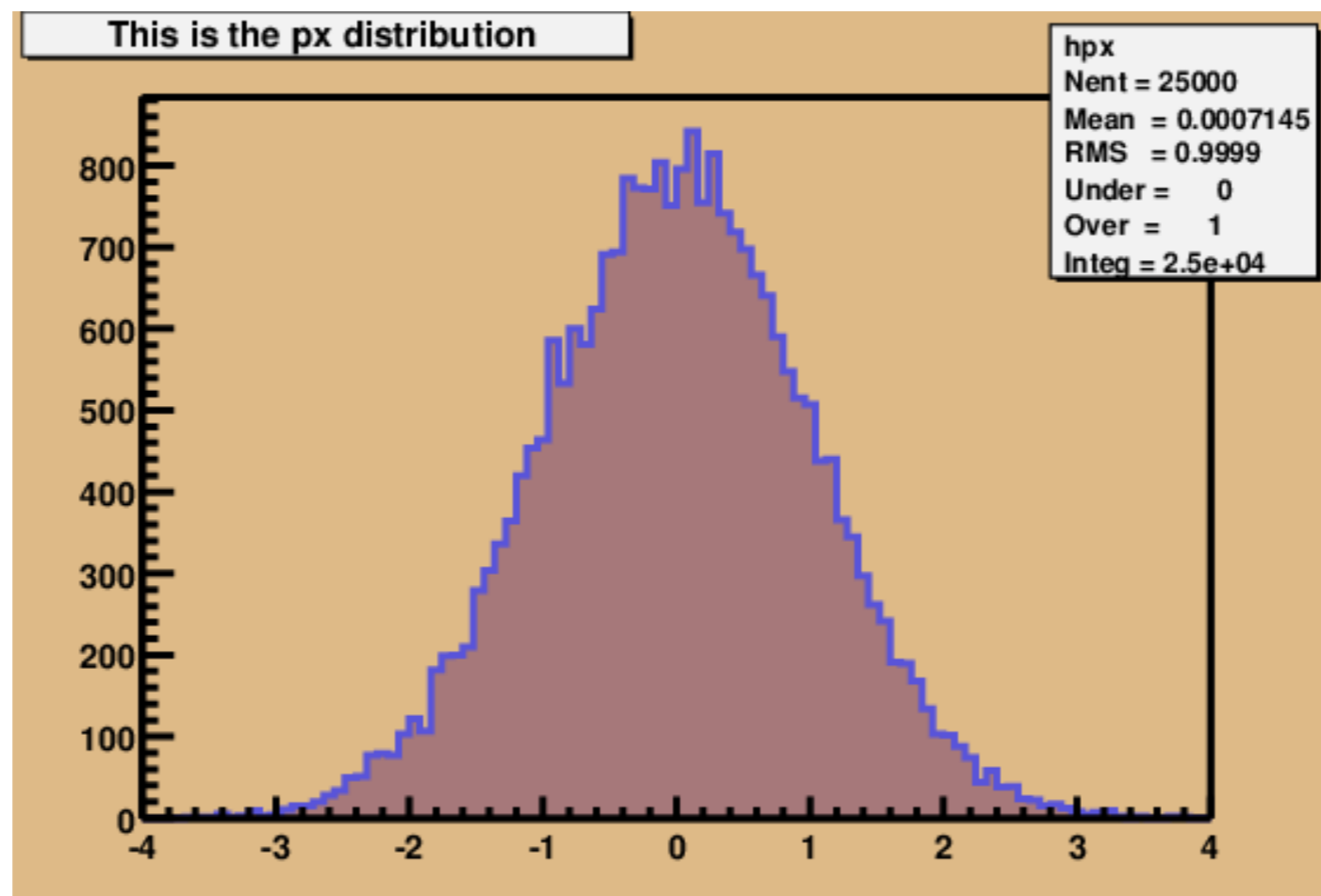
### ▸ Bereich $x_{low}$ bis $x_{high}$ unterteilt in $n_{channel}$ Intervalle

```
TH1F *h1 = new TH1F("h1", "name", nchannel, xlow, xhigh);
```

### ▸ Jede Messung $x$ wird in das Histogramm gefüllt

```
h1->Fill(x);
```

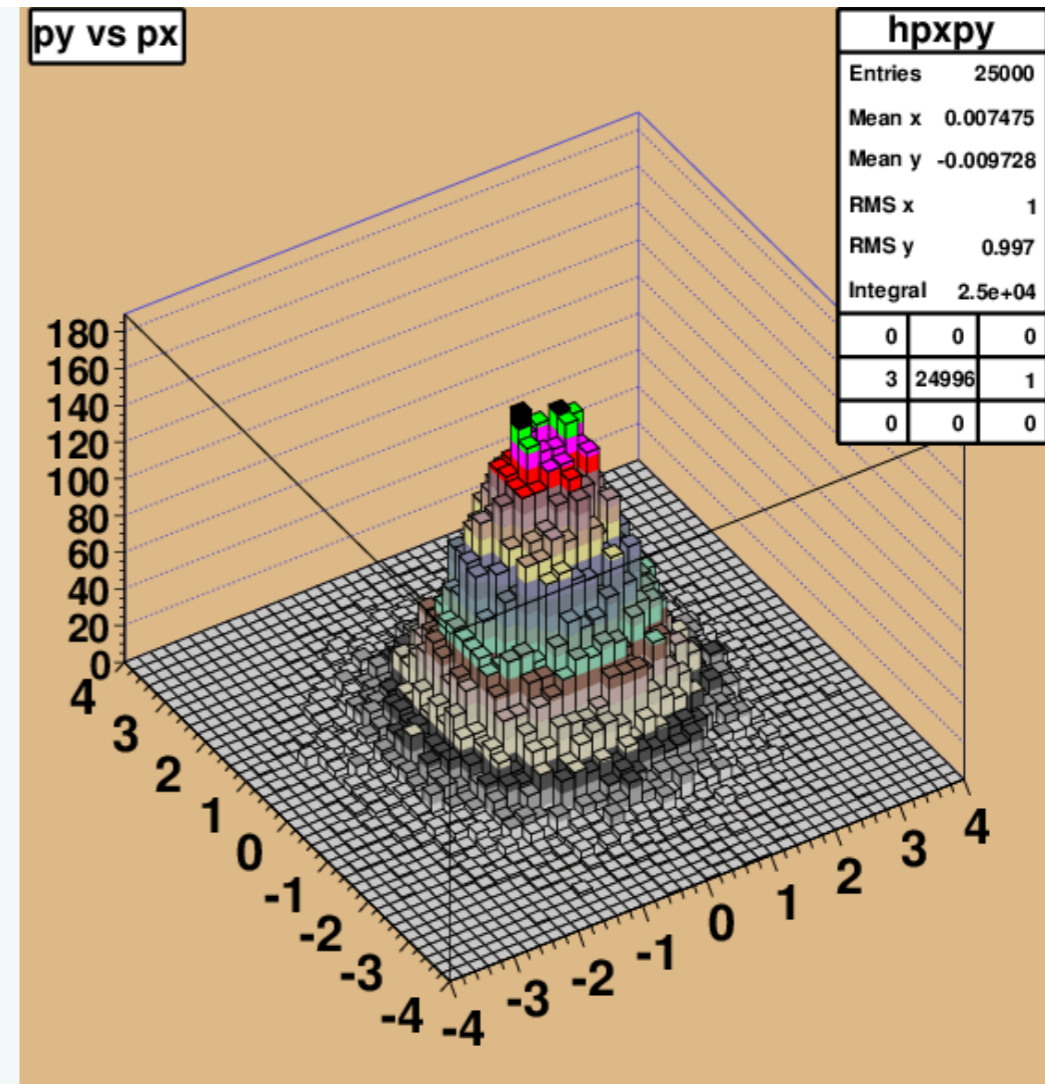
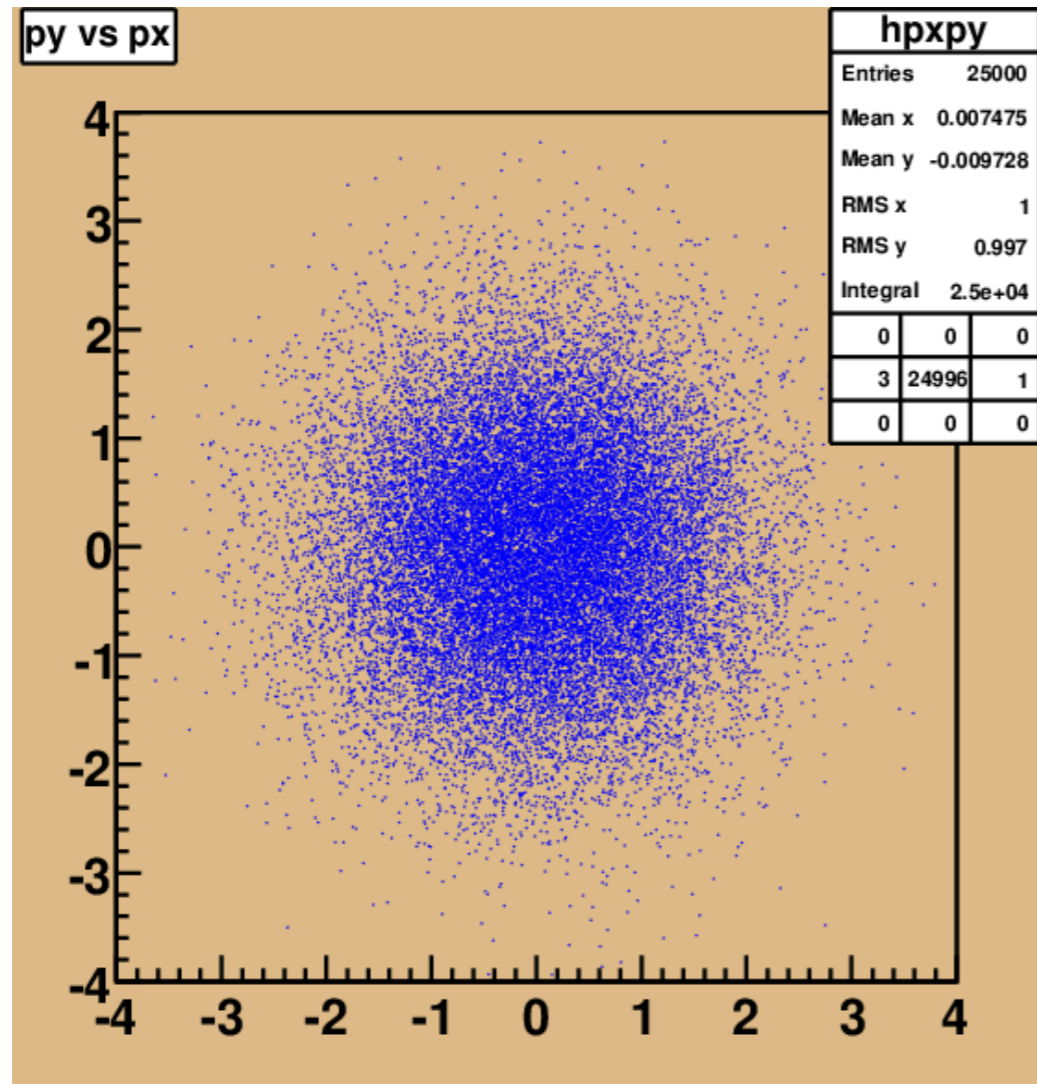
Inhalt von Kanal  $n_{channel} * (x - x_{low}) / (x_{high} - x_{low})$  um 1 erhöht



# Charakterisierung von Daten

- Datenvisualisierung
  - Häufigkeitsverteilung
    - analoge Erweiterung auf zwei Dimensionen

```
TH2F *h2 = new TH2F("h2", "mytitle", nx, xlow, xhigh, ny, ylow, yhigh);  
h2->Fill(x, y);
```



# Charakterisierung von Daten

## ▸ Mittelwert

- Gebräuchlichste Art Daten  $x_1, x_2, \dots, x_N$  mit einer einzelnen Größe zu beschreiben ist das **arithmetische Mittel**:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

Sinnvoll in vielen Fällen, aber nicht die einzige Art:

- geometrisches Mittel:

$$\sqrt[N]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_N}$$

- harmonisches Mittel:

$$\left( \frac{N}{1/x_1 + 1/x_2 + \dots + 1/x_N} \right)$$

# Charakterisierung von Daten

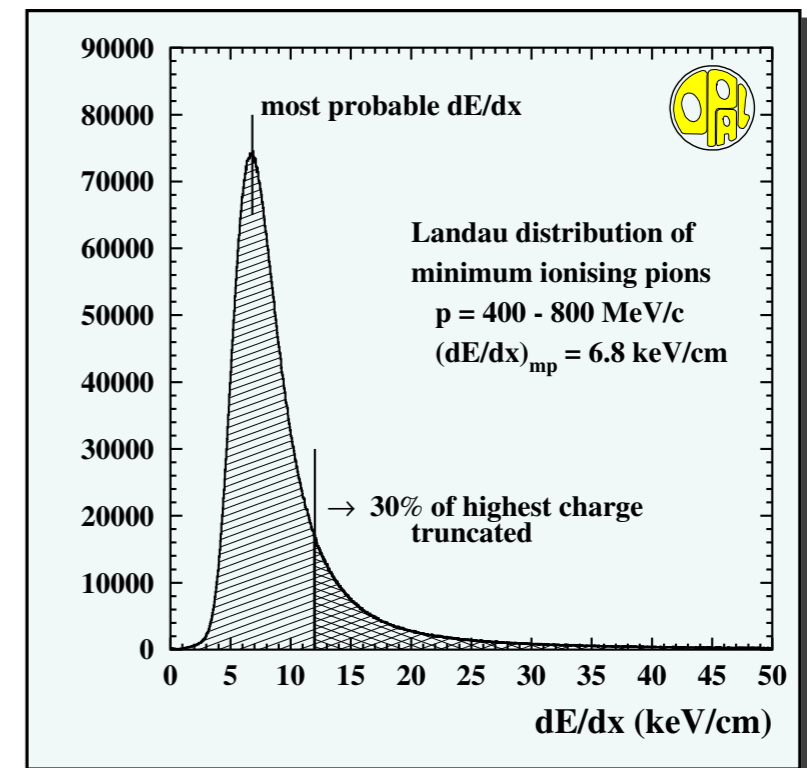
## ▸ Median

- “Wert in der Mitte”: Die Hälfte der Werte ist kleiner, die andere Hälfte größer.
- Sehr nützlich für Datensätze, bei denen die zugrundeliegende Verteilung unklar ist oder lange Ausläufer hat oder die Reihenfolge wichtiger ist als die numerische Größe.
- Am einfachsten zu bekommen durch Sortieren des Datensatzes, dann

$$\text{Median} = x_{N/2}$$

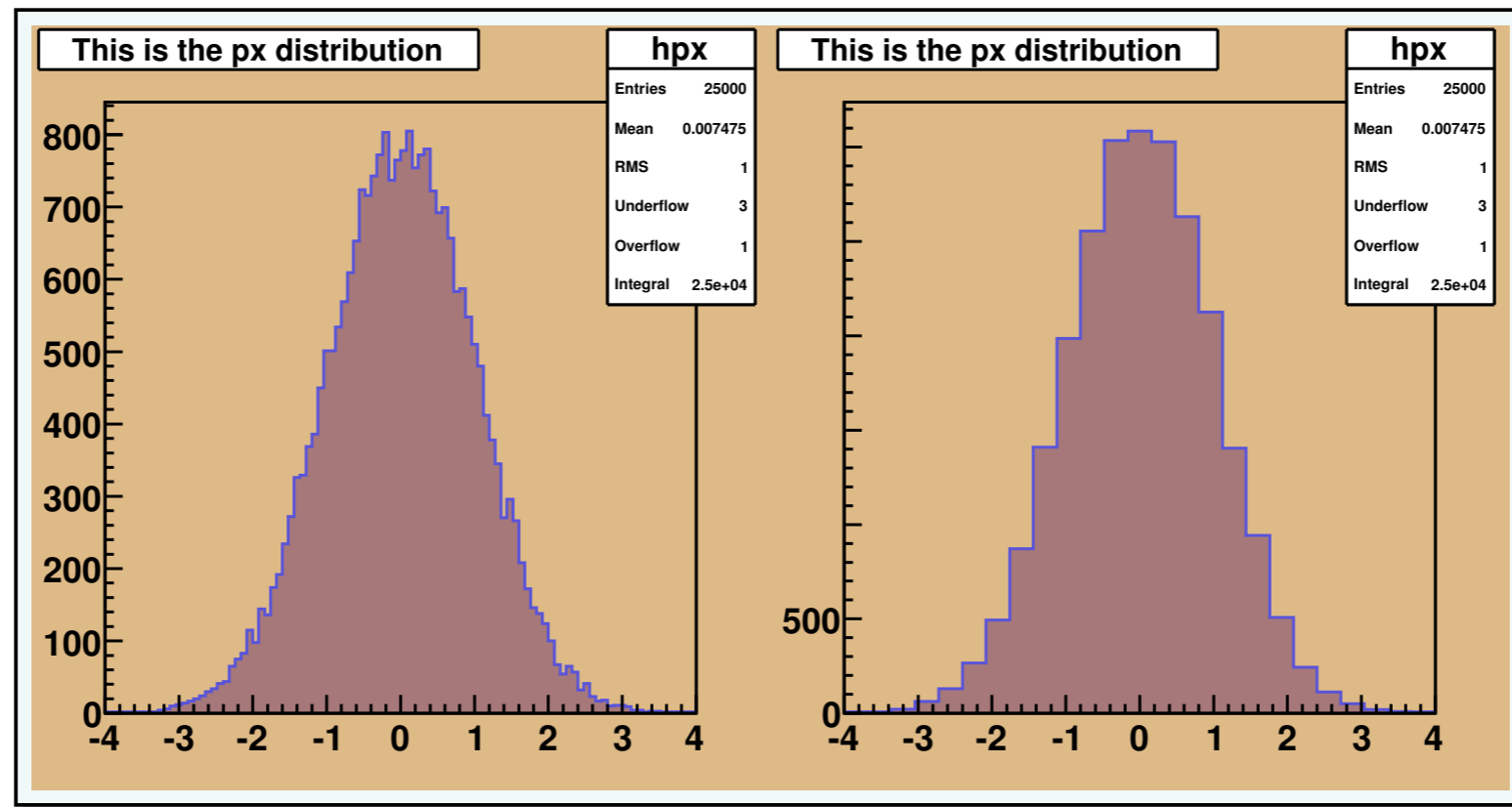
## ▸ truncated mean

- Mittelwert nur aus einem eingeschränkten Bereich bestimmt
- Wegen langen Ausläufern, asymmetrischen Beiträgen, etc.
- Ein Beispiel aus Teilchenphysik ist die Messung des spezifischen Energieverlusts, typisch werden die höchsten 30% verworfen.



# Charakterisierung von Daten

- wahrscheinlichster Wert
  - auch häufigster Wert oder Modus
  - bei “gebinnten” Datensätzen
  - $x_{\max}$  vom Bin mit höchstem Eintrag
  - ungebräuchlich da sehr schwankend und abhängig von Ereigniszahl und Anzahl Bins





# Charakterisierung von Daten

- “Breite”

- Nach Mittelwert die 2. wichtige Größe zur Charakterisierung eines Datensatzes.
- Am gebräuchlichsten die **Varianz**

$$V(x) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N} = \frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2$$

- bzw. die **Standardabweichung**

$$\sigma(x) = \sqrt{V(x)} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - \bar{x}^2}$$

# Charakterisierung von Daten

- “Breite”

- Weitere Möglichkeiten zur Charakterisierung der Breite:

$$\frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{N}$$

ungebräuchlich, mathematisch sehr unangenehme Eigenschaften

- Oft nützlich die sogenannten Quantile:
  - unteres Quartil: 25 % der Werte sind kleiner
  - oberes Quartil: 75 % der Werte sind kleiner
  - Breite als Differenz zwischen oberem und unterem Quartal
  - oder beliebige Percentile: XX % Percentil = XX % der Werte sind kleiner

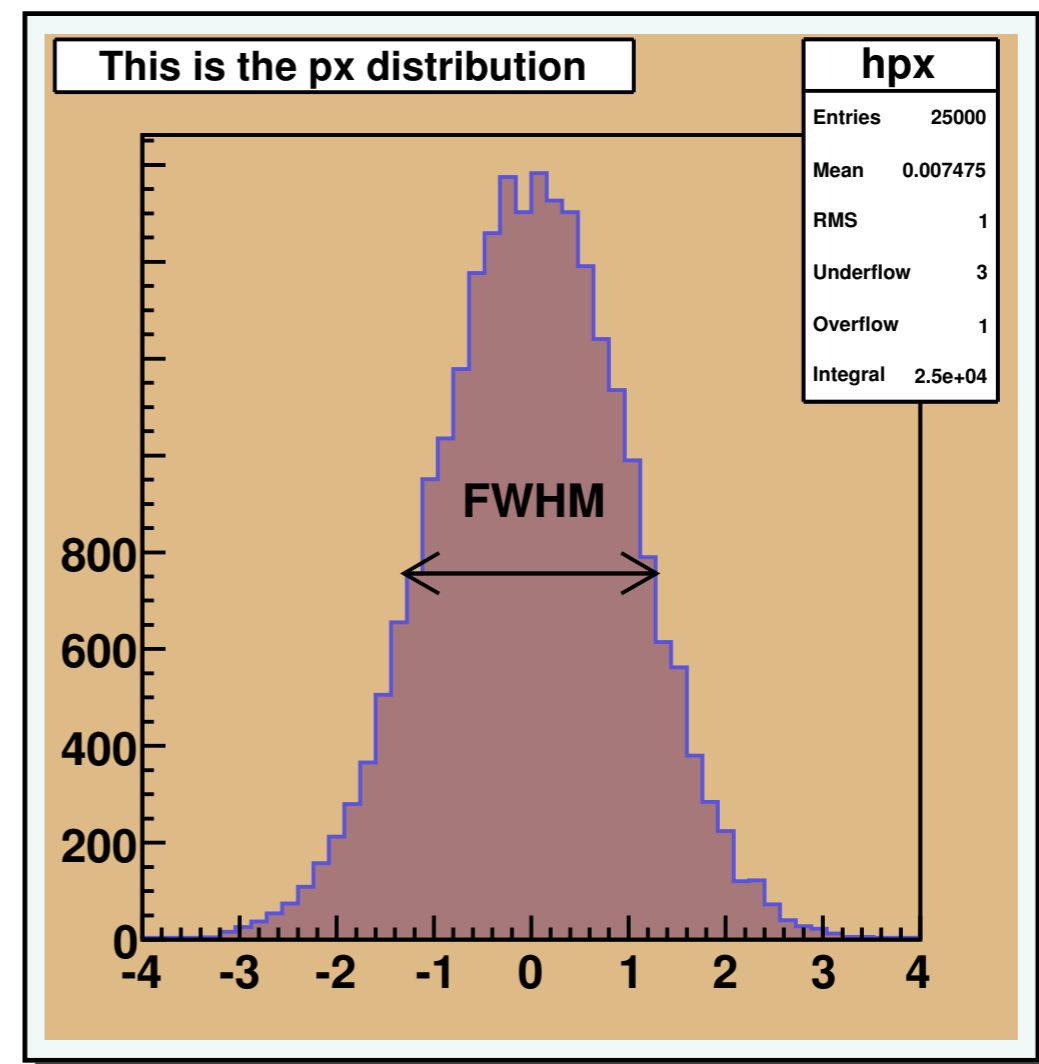
# Charakterisierung von Daten

- “Breite”

- Bei “gebinnten” Datensätzen ist die FWHM (= full width half maximum) eine robuste Alternative:

$$FWHM = x_{max/2}^{high} - x_{max/2}^{low}$$

- Vorteil: Beschränkt sich auf zentralen Teil der Verteilung, lange asymmetrische Ausläufer sind unkritisch.



# Charakterisierung von Daten

## ▸ Skew

- Naheliegender nach Mittelwert und Varianz auch höhere Potenzen zu betrachten:

$$Skew = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3}{N\sigma^3}$$

Faktor  $1/\sigma^3$  macht Skew dimensionslos

- nützlich zur Charakterisierung der Asymmetrie, positiv bei Ausläufern nach rechts und vice versa, verschwindet bei symmetrischen Verteilungen.

# Charakterisierung von Daten

## ▸ Beschreibung mehrerer Variablen

- Oft werden gleich mehrere Werte  $x_i, y_i, z_i, \dots$  pro “Ereignis” aufgenommen, z.B. Impuls und Richtung, Körpergröße und Gewicht, Abschlussnote in Theorie und Experimentalphysik, ...
- Neben Mittelwert und Standardabweichung der einzelnen Größen ist die (Un-)Abhängigkeit ein wichtiges Kriterium.
- Angelehnt an die Varianz einer einzelnen Größe ist die **Kovarianz** zweier Größen gegeben durch:

$$\text{cov}(x, y) = \frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) = \overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}$$

- Wenn hohe (tiefe) Werte von  $x$  oft mit hohen (tiefen) Werten von  $y$  vorkommen ist die Kovarianz positiv, bei entgegengesetztem Verhalten negativ bei unabhängigen Größen verschwindet sie.

# Charakterisierung von Daten

- Beschreibung mehrerer Variablen

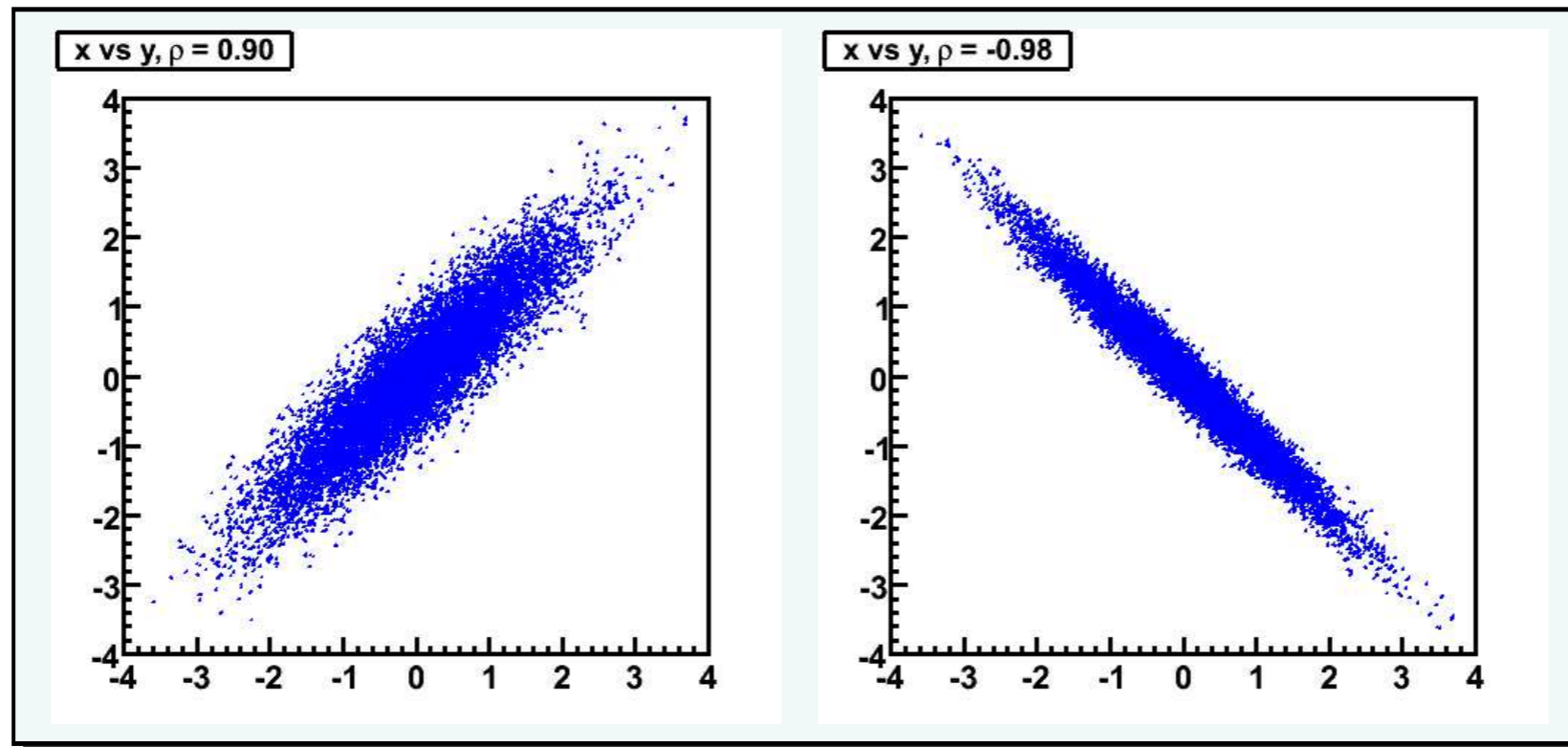
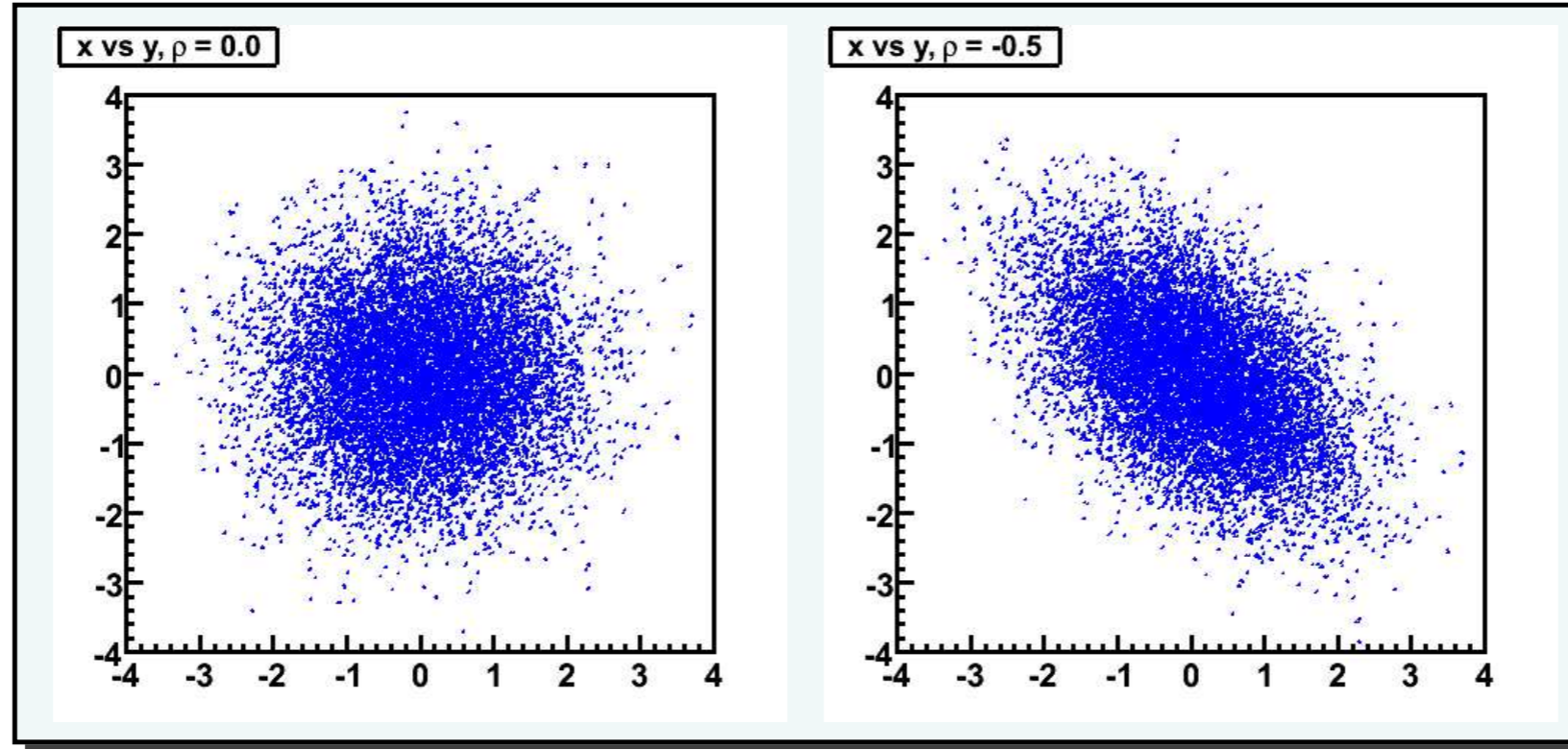
- Ein besseres Mass für die Abhängigkeit zweier Variablen ist die **Korrelation**  $\rho$

$$\rho \equiv \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma(x)\sigma(y)}$$

wobei immer gilt:  $-1 \leq \rho \leq 1$ .

$\rho = \pm 1$  heisst volle Korrelation, die Werte von  $y$  sind durch  $x$  bestimmt (oder v.v.) und enthalten keine zusätzliche Information.

# Charakterisierung von Daten



# Charakterisierung von Daten

- Beschreibung mehrerer Variablen
  - Bei mehr als zwei Variablen Erweiterung auf **Kovarianzmatrix**

$$V_{ij} = \text{cov}(x_{(i)}, y_{(i)})$$

bzw. **Korrelationsmatrix**

$$\rho_{ij} = \frac{\text{cov}(x_{(i)}, y_{(i)})}{\sigma_i \sigma_j}$$

Kovarianzmatrix bzw. Korrelationsmatrix sind symmetrische  $N \times N$ -Matrizen.



# Wichtige Verteilungen

- Mittelwert und Varianz für Verteilungen als Integral über die Wahrscheinlichkeitsdichte (pdf - probability density function) anstatt über Summe der Einzel-Messungen:

$$\text{Mittelwert: } \bar{x} = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot p(x) dx,$$

$$\text{Varianz: } V(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 \cdot p(x) dx,$$

$$\text{Standardabweichung: } \sigma(x) = \sqrt{V(x)}$$

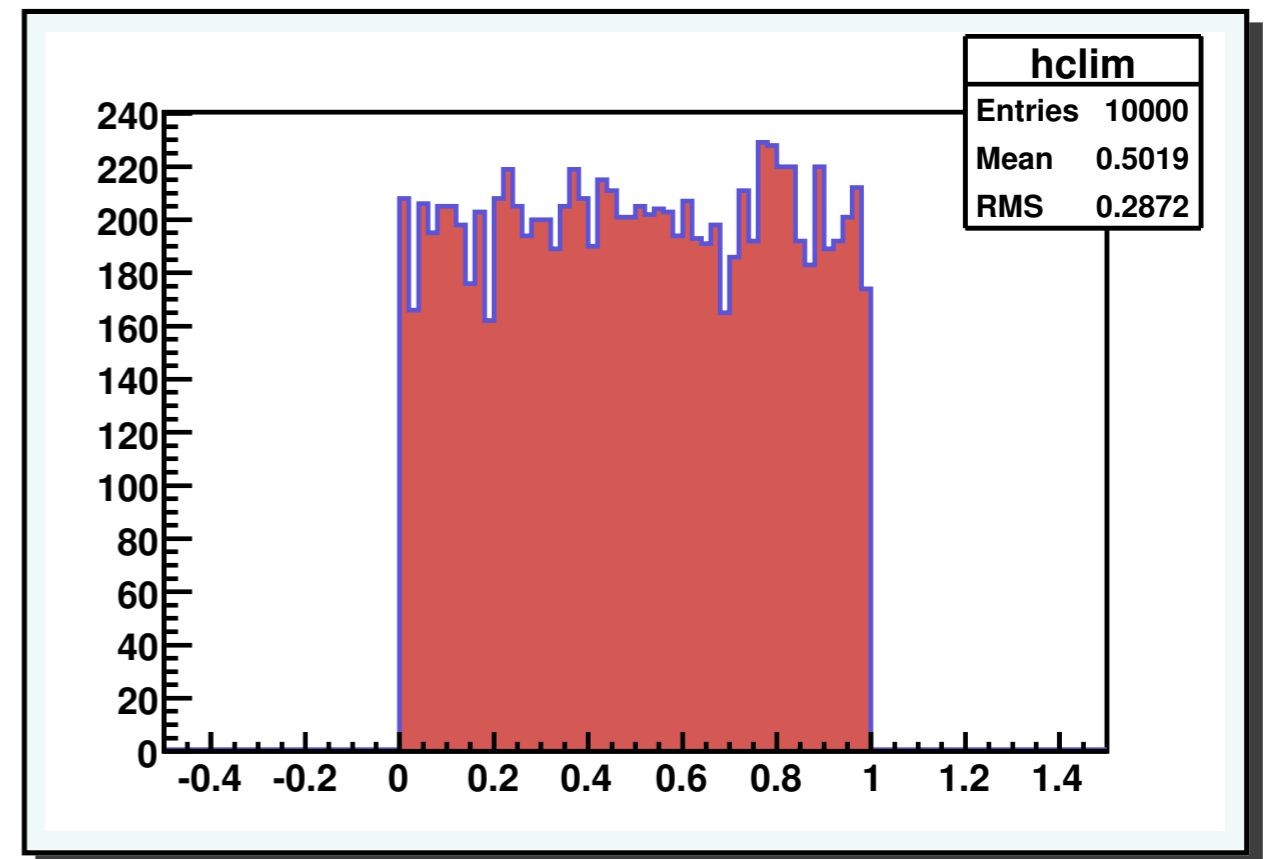
# Wichtige Verteilungen

## ▸ Gleichverteilung

- Die einfachste Verteilung, alle Werte in einem gewissen Intervall sind gleich wahrscheinlich:

$$p(x) = \frac{1}{b-a} \quad \forall x \in [a, b], 0 \text{ sonst}$$

- Wichtig für Glücksspiele aller Art, Grundlage für Zufallszahlgeneratoren, Simulationen und leicht zum Üben:  
Für eine Gleichverteilung in  $[0, 1]$  ist der Mittelwert  $0.5$  und die Varianz  $\sigma^2 = 1/12$



# Wichtige Verteilungen

## ▸ Binomialverteilung

- Die Binomialverteilung beschreibt Experimente bei denen jedes Einzelexperiment nur zwei mögliche Ergebnisse hat.
- Einfachstes Beispiel ist der Wurf einer Münze. Gesucht ist z.B. die Wahrscheinlichkeit bei  $n$  Würfeln  $k$  mal Kopf zu bekommen.
- Eine spezielle Möglichkeit diese Resultat zu erzielen ist in den ersten  $k$  Würfeln jeweils Kopf zu erhalten ( $p^k$ ) und in den folgenden  $n-k$  jeweils Zahl  $(1-p)^{n-k}$ . D.h. die Wahrscheinlichkeit ist  $p^k (1-p)^{n-k}$ . Aus der Kombinatorik kann man folgern, daß es

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

solcher Möglichkeiten gibt, jede mit gleicher Wahrscheinlichkeit.

# Wichtige Verteilungen

## ▸ Binomialverteilung

- Also ist die Wahrscheinlichkeit insgesamt

$$P(k \times \text{Kopf}) = p^k (1 - p)^{n-k} \binom{n}{k}$$

- Ganz analog kann man für den radioaktiven Zerfall vorgehen: Gesucht ist die Wahrscheinlichkeit  $k$  Zerfälle in einer Zeit  $T$  zu beobachten, bei  $N$  Kernen mit Zerfallskonstante  $\lambda$ .

Dazu unterteilt man die Zeit  $T$  in  $n$  kleine Intervalle  $\Delta t$ . Die Wahrscheinlichkeit einen Zerfall in  $\Delta t$  zu beobachten ist  $p = \lambda N \Delta t$ , wobei  $\Delta t$  so klein sein soll, dass  $\lambda N \Delta t \ll 1$  ist.

Wie beim Münzenwurf folgt dann die Binomialverteilung

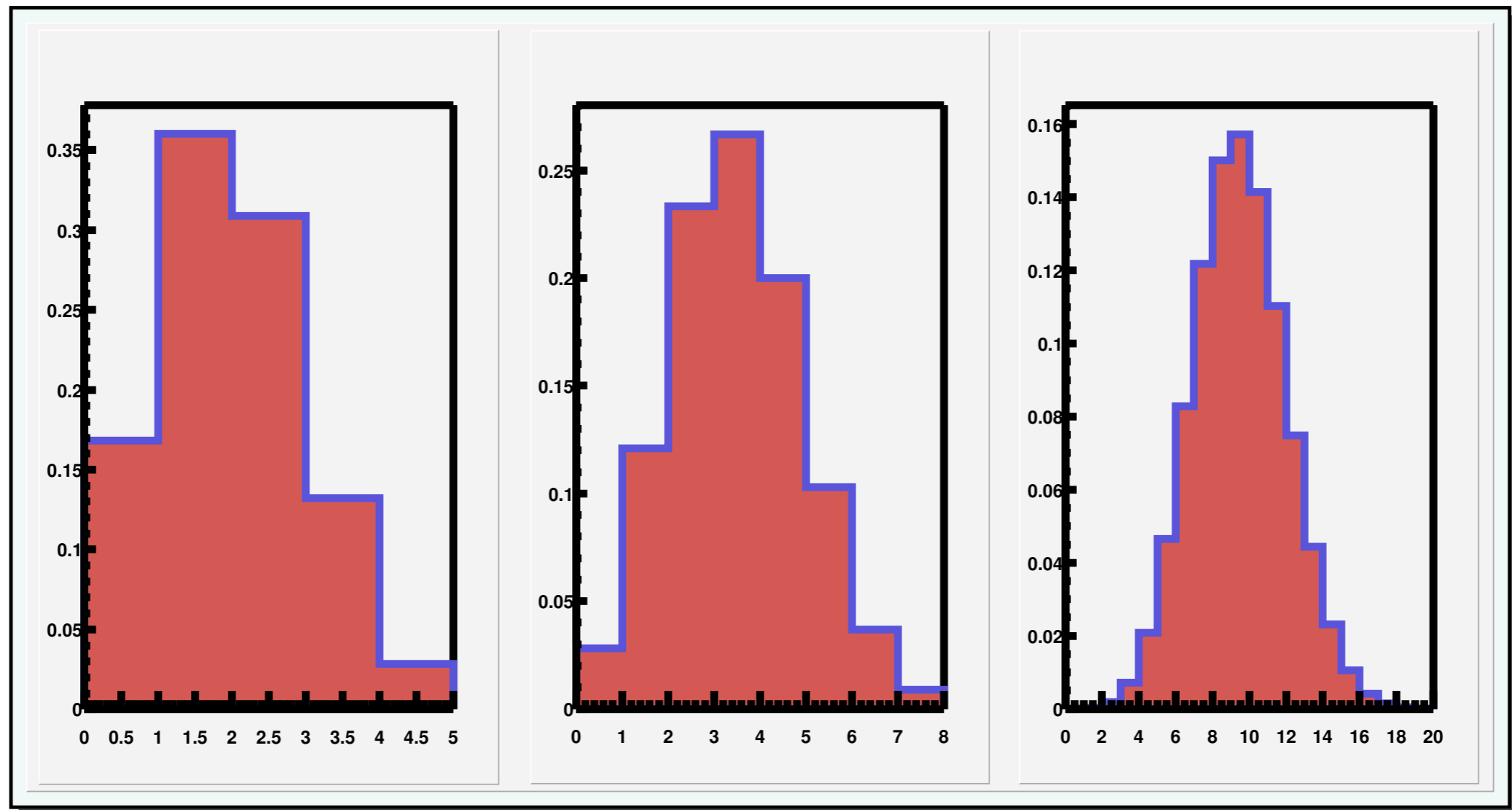
$$P(k) = p^k (1 - p)^{n-k} \binom{n}{k}$$

# Wichtige Verteilungen

## ▸ Binomialverteilung

- Mittelwert und Varianz der Binomialverteilung sind:

$$\bar{x} = np, \quad \sigma^2 = np(1 - p)$$



# Wichtige Verteilungen

## ▸ Poissonverteilung

- Die Poissonverteilung ist der Grenzfall der Binomialverteilung für  $n \rightarrow \infty$ ,  $p \rightarrow 0$ ,  $np = \text{const}$ .
- Am Beispiel des radioaktiven Zerfalls gut zu veranschaulichen:
  - Die Intervalle  $\Delta t$  werden immer kleiner, also  $n \rightarrow \infty$ ,  $p = \lambda N \Delta t \rightarrow 0$ ,  $np = \lambda NT$ .

$$P(k) = \left( \frac{\lambda NT}{n} \right)^k \left( 1 - \frac{\lambda NT}{n} \right)^{n-k} \frac{n!}{(n-k)!k!}$$

- Mit  $\Delta t \rightarrow 0$  bzw.  $n \rightarrow \infty$  folgt

$$\left( 1 - \frac{\lambda NT}{n} \right)^n \rightarrow e^{-\lambda NT}, \quad \left( 1 - \frac{\lambda NT}{n} \right)^{-k} \rightarrow 1, \quad \frac{n!}{(n-k)!} \rightarrow n^k$$

# Wichtige Verteilungen

## ▸ Poissonverteilung

- d.h. insgesamt

$$P(k) = \frac{\mu^k e^{-\mu}}{k!}$$

mit  $\mu = \lambda NT$ .

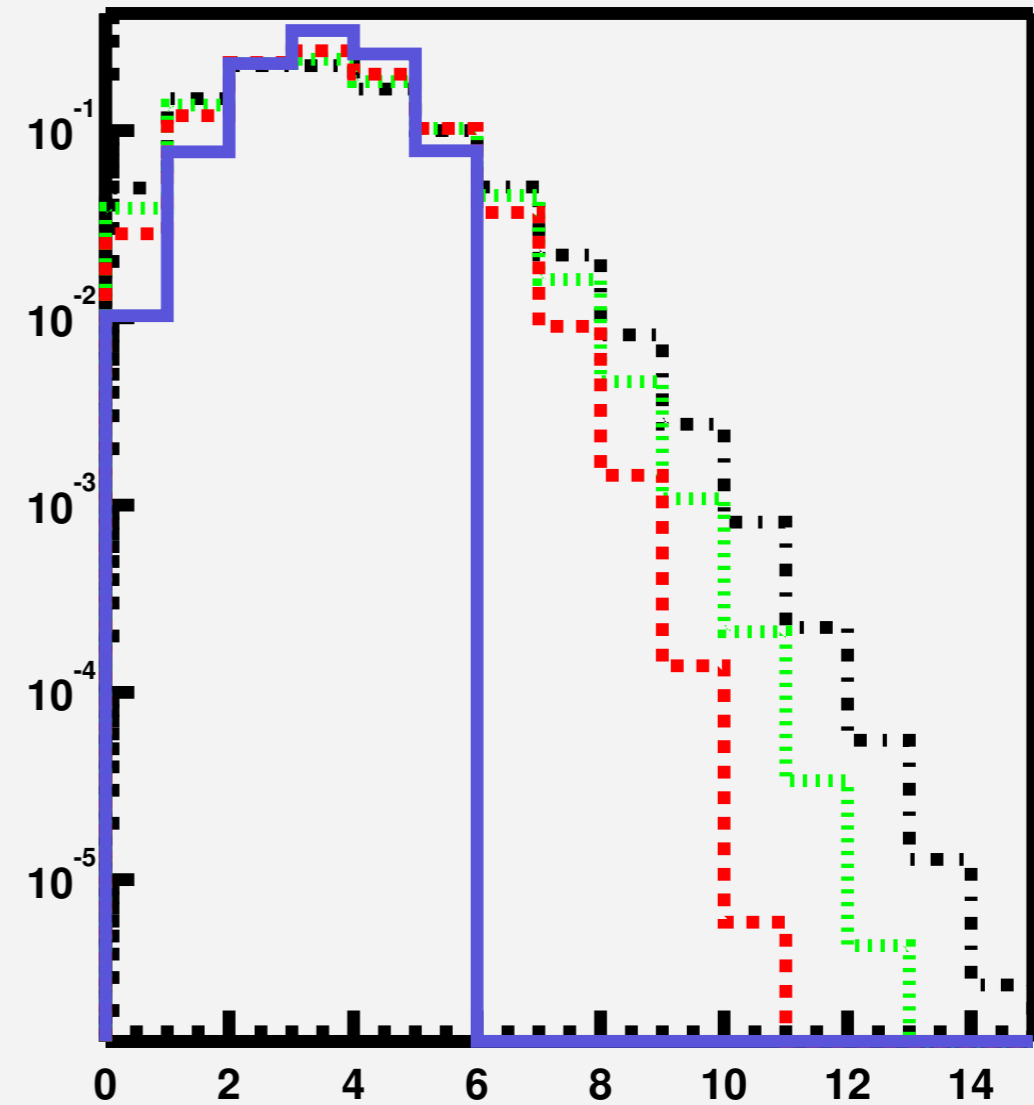
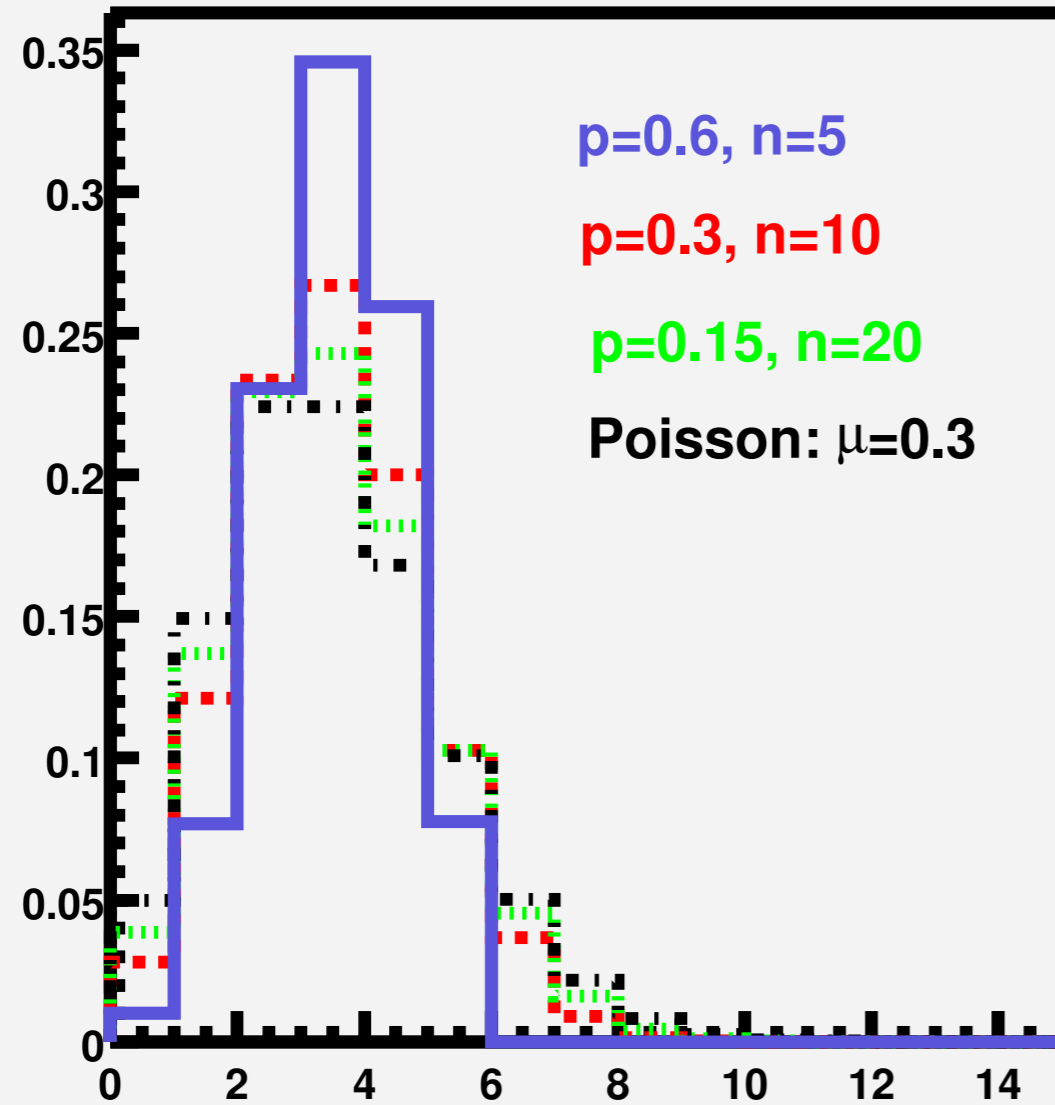
- Für Mittelwert und Varianz der Poissonverteilung erhält man:

$$\bar{x} = \mu, \quad \sigma^2 = \mu$$

In der Praxis wird die Binomialverteilung schon für “kleine”  $n \approx 10-20$  durch eine entsprechende Poissonverteilung gut beschrieben.

# Wichtige Verteilungen

## Binomialverteilung





# Wichtige Verteilungen

## Poissonstatistik bei den alten Preussen

Ein Klassiker in alten Statistikbüchern ist die Statistik der preussischen Armee zu tödlichen Unfällen durch Huftritte pro Armee-Corps und Jahr.

Über 20 Jahre und für 10 Corps wurden 122 Todesfälle gezählt (in 200 Corps-Jahren). Das ergibt  $\mu = 122 / 200 = 0.61$ .

	0	1	2	3	4	5	6
N-Todesfälle	109	65	22	3	1	0	0
Beobachtete Corps-Jahre	109	65	22	3	1	0	0
Erwartete Corps-Jahre	108.7	66.3	20.2	4.1	0.6	0.07	0.01

Perfekte (fast zu gute) Übereinstimmung mit Poisson-Vorhersage.

# Wichtige Verteilungen

## ▸ Gauss- oder Normalverteilung

- Das ist die wichtigste Verteilung in der Statistik

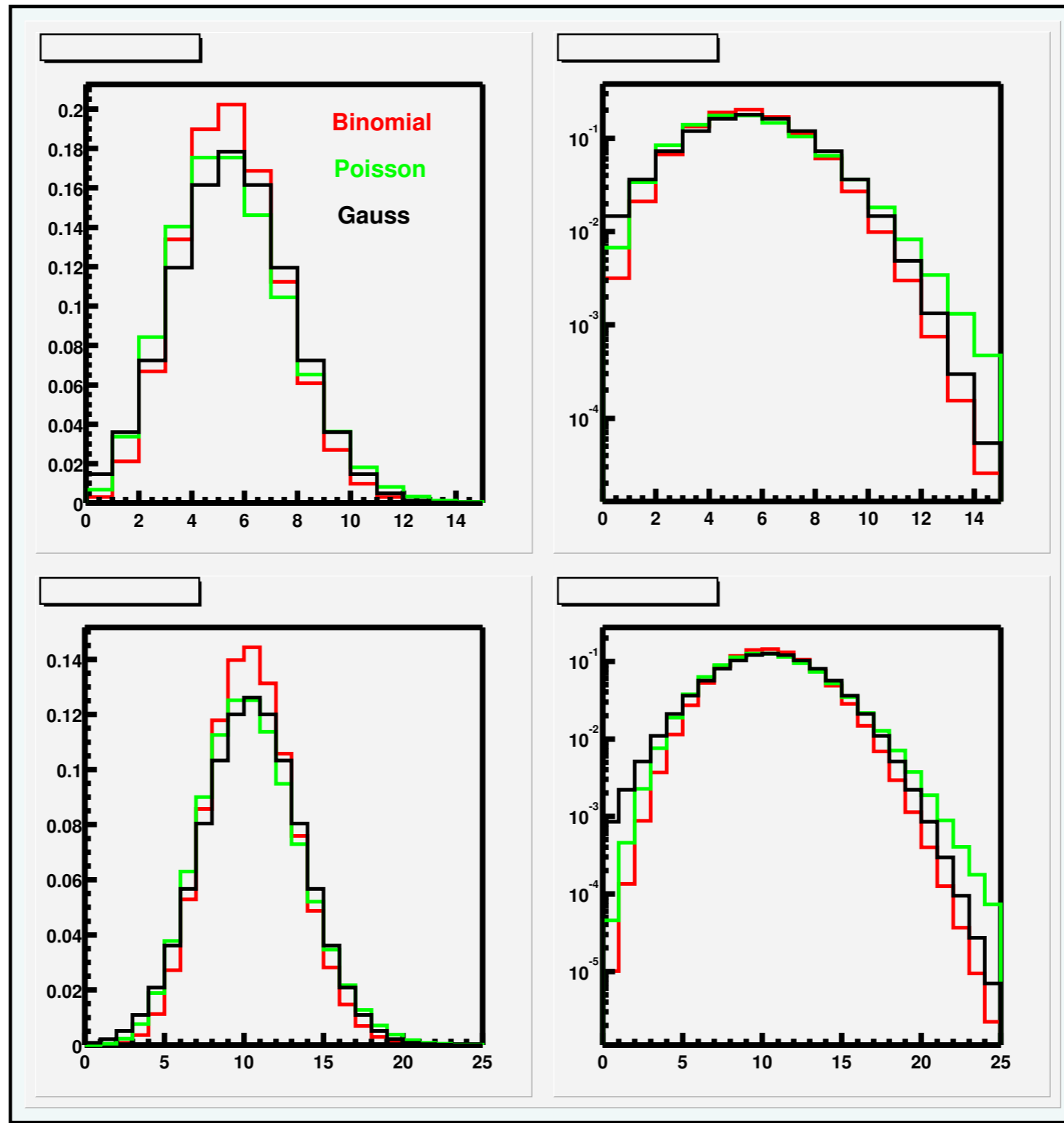
$$G(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Der Mittelwert ist  $\mu$  und die Varianz  $\sigma^2$ .

Die Poissonverteilung geht für grosse  $\mu$  in die Gaussverteilung über, wobei schon für  $\mu \approx 10$  die Gaussverteilung eine brauchbare Näherung ist.

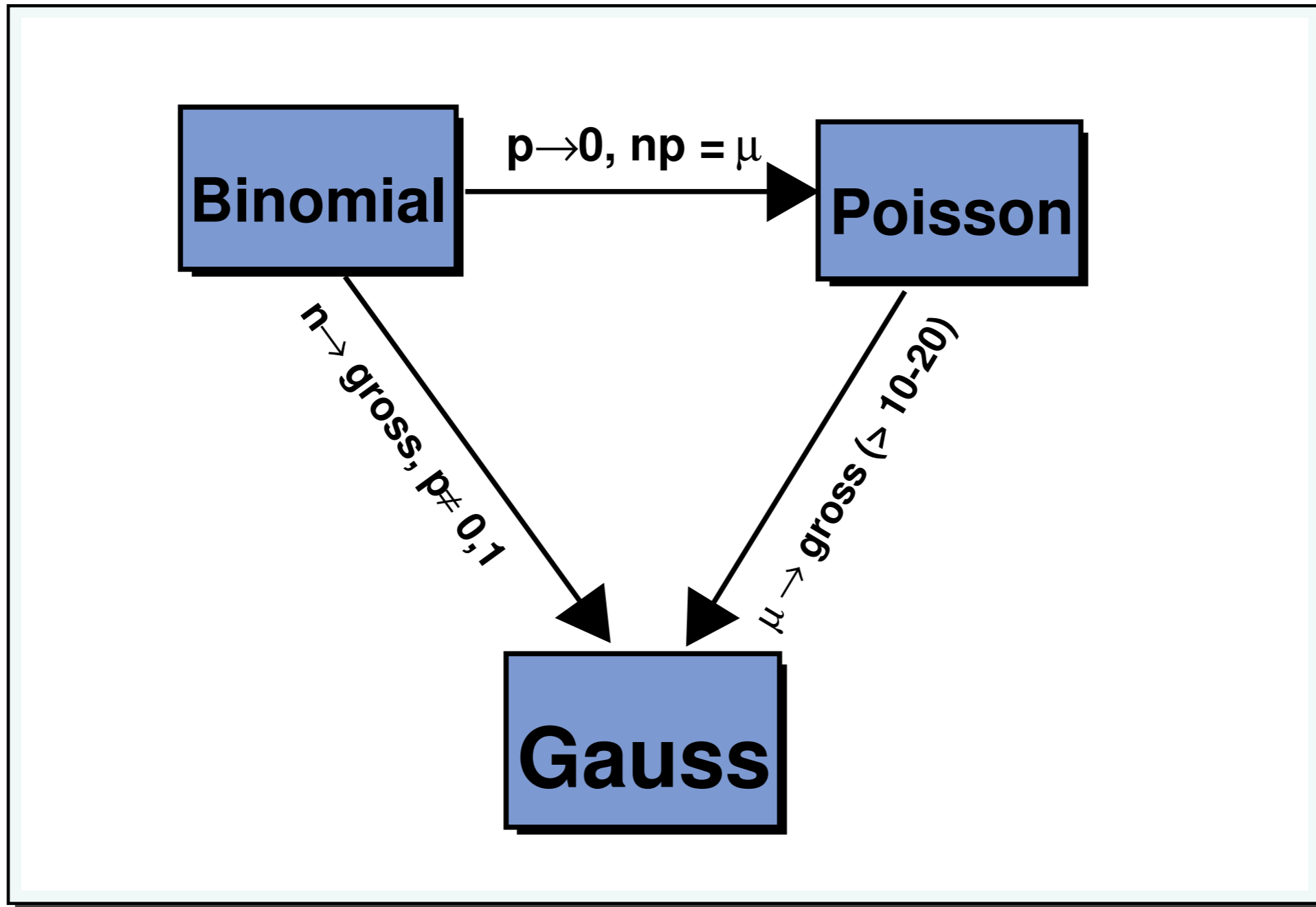
Analog geht die Binomialverteilung in die Gaussverteilung über für grosse  $n$  und  $np$ .

# Wichtige Verteilungen



# Wichtige Verteilungen

## ▸ Standardverteilungen



# Wichtige Verteilungen

## ▸ Zentraler Grenzwert-Satz

- Das wichtigste Theorem in der Statistik, es besagt:

Für eine Menge von unabhängigen Zufallsvariablen  $x_i$  mit Mittelwert  $\mu$  und Varianz  $\sigma^2$  nähert sich die Größe

$$y = \frac{\sum x_i}{n}$$

für große  $n$  einer Gaussverteilung mit Mittelwert  $\mu$  und Varianz  $\sigma^2/n$  an.

Dabei spielt die zugrundeliegende Verteilung der  $x_i$  keine Rolle; auch wenn sie z.B. aus der Gleichverteilung oder der Exponentialverteilung stammen, ist ihr Mittelwert  $y$  normalverteilt.