

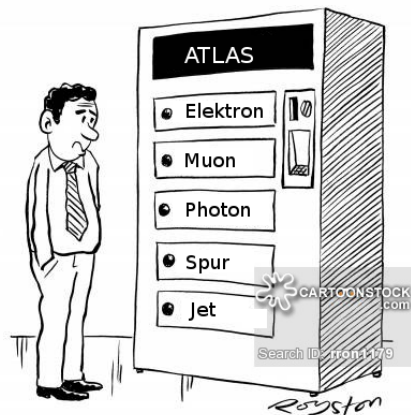
# TUNING — VON DER MESSUNG ZUR THEORIE UND ZURÜCK

Holger Schulz (IPPP)

June 18, 2015

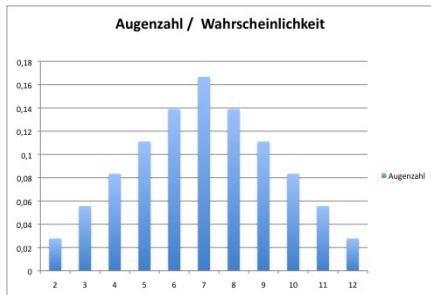


"Ich wollte doch ein Higgs!"



- Detektor: elektronische Signale
- Rekonstruktion: physikalische Objekte (Elektronen, Photonen ... ) durch Algorithmen
- Messung: geschickte Kombination physikalischer Objekte, z.B. Masse von 4 Elektronen/Muonen, " $m_{4\ell}$ "
- Problem: viele Prozesse haben gleiches Signal "Untergrund"

# EINSCHUB — VERTEILUNG

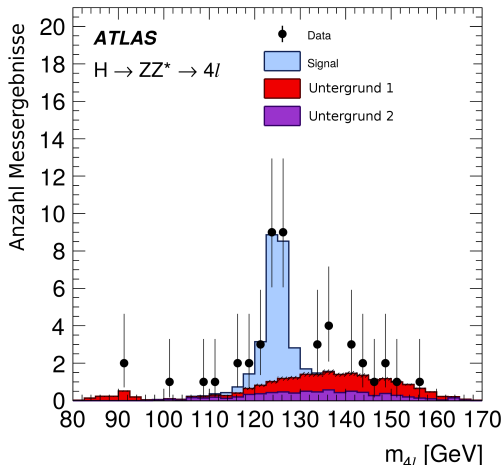


- Darstellung von Messergebnissen in “Histogrammen”
- z.B. Augensumme zweier Würfel
- Einmal beide Würfel werfen: “Ereignis”
- → statistische Verteilung der möglichen Messergebnisse
- → Aussage über Wahrscheinlichkeit/Häufigkeit

# ENTDECKUNG

Hier: gucke nur Ereignisse an, mit 4 Muonen oder Elektronen

Messung: Gesamtmasse  $m_{4\ell}$



- Schwarze Punkte: echte Daten ("Data")
- Rot und lila: Theorievorhersage aller schon bekannter Prozesse mit 4 Muonen oder Elektronen → Untergrund
- Blau: Theorievorhersage für unbekanntes Teilchen (hier Higgs)

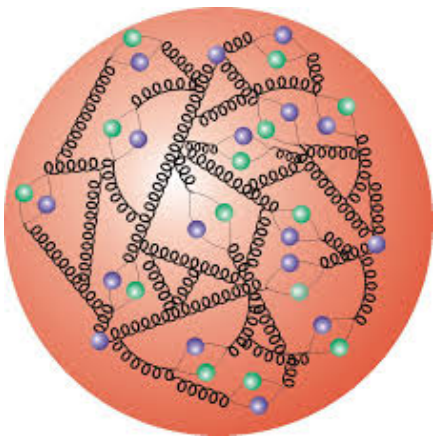
# ZUSAMMENFASSUNG 1

- Detektor liefert “nur” Objekte — muss man geschickt wählen für Messung
- Messung heisst Bestimmung der Häufigkeit bestimmter Ereignisse basierend auf Detektorobjekten
- Schwierigkeit 1: Viele Prozesse haben ähnliche Signatur (4 Muonen) aber mit verschiedener Häufigkeit!

# ZUSAMMENFASSUNG 1

- Detektor liefert “nur” Objekte — muss man geschickt wählen für Messung
- Messung heisst Bestimmung der Häufigkeit bestimmter Ereignisse basierend auf Detektorobjekten
- Schwierigkeit 1: Viele Prozesse haben ähnliche Signatur (4 Muonen) aber mit verschiedener Häufigkeit!
- Meist: Bin nur an einem Prozess interessiert (z.B. Higgs)
- Lösung: Besorge mir Theorievorhersagen aller anderen Prozesse — das kann man von den Daten abziehen (Untergrund)
- Schwierigkeit 2: Die Theorievorhersagen müssen stimmen
- Im Folgenden: wie komme ich zu Vorhersage

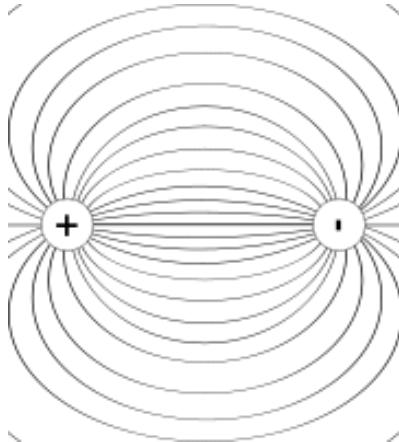
# PROTONEN UND DIE STARKE KRAFT



- Proton ist kein Elementarteilchen
- Proton ist aus Elementarteilchen zusammengesetzt
- Quarks und Gluonen (unendlich viele!)
- Quarks und Gluonen tragen "Farbladung"
- Ähnlich elektrischer Ladung aber statt  $\oplus$  und  $\ominus$ :
  - rot und anti-rot
  - grün und anti-grün
  - blau und anti-blau
- Kraft: die starke Kraft/Farbkraft

# VERGLEICH ELEKTRISCHE UND STARKE KRAFT

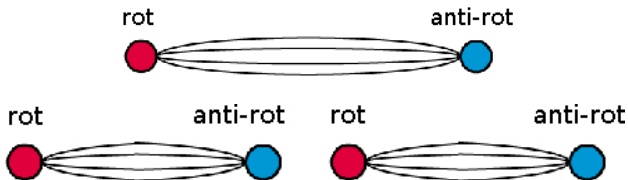
- Zwischen  $\oplus$  und  $\ominus$ : elektrisches Feld
- Kann  $\oplus$  und  $\ominus$  durch Energiezufuhr beliebig weit voneinander bringen ohne dass was spektakuläres passiert





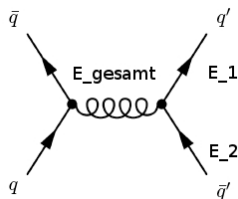
# VERGLEICH ELEKTRISCHE UND STARKE KRAFT

- Zwischen z.B. 2 Quarks, rot und anti-rot,  $r$ ,  $\bar{r}$ : "Farbfeld"
- Energiezufuhr: kann  $r$  und  $\bar{r}$  voneinander wegbewegen aber nicht sehr weit (ca. Protonradius)
- Farbfeld zwischen  $r$  und  $\bar{r}$  "zerreißt" und macht neue  $r$ ,  $\bar{r}$  Paare
- → Kann keine freien Quarks in Natur beobachten



- Problem: Theorie zur Farbkraft (QCD) funktioniert nur für freie Quarks/Gluonen (sehr hohe Energie)

- Theorie für Farbkraft kennt nur hochenergetische Quarks und Gluonen



- Habe Gesamtenergie, verteilt sich auf Reaktionsprodukte (hier Quarks)
- Diese Quarks “zerstrahlen” in immer mehr neue Quarks und Gluonen mit allerdings immer weniger Energie
- Typische Rechnungen können bis ca. 6 Quarks/Gluonen
- Aber im Experiment:
  - 1 Keine Quarks/Gluonen direkt messbar
  - 2 sondern “Hadronen” (Quark-Antiquark Paare oder 3 Quarks (Proton))
  - 3 Messe viele Hundert bis Tausende Teilchen

# STRAHLUNG VON GLUONEN UND QUARKS

- Exakte Theorie liefert Quarks und Gluonen die immer noch hochenergetisch sind
- Muss Energie verteilen durch Produktion von mehr und mehr Teilchen (Strahlung) → Näherungsverfahren/Modell
- Und zwar so lange bis meine Quarks und Gluonen nicht mehr genug Energie haben um neue Quark-Antiquark-Paare zu machen

# STRAHLUNG VON GLUONEN UND QUARKS

- Exakte Theorie liefert Quarks und Gluonen die immer noch hochenergetisch sind
- Muss Energie verteilen durch Produktion von mehr und mehr Teilchen (Strahlung) → Näherungsverfahren/Modell
- Und zwar so lange bis meine Quarks und Gluonen nicht mehr genug Energie haben um neue Quark-Antiquark-Paare zu machen
- Sehr kompliziert, Mischung aus Theorie und pragmatischen Abkürzungen
- Weil nicht mehr exakt → Stellschrauben “Parameter” für Intensität der Strahlung — muss man geschickt einstellen
- Woher weiß ich das alles richtig ist? → Vergleiche Vorhersage mit gemessenen Daten

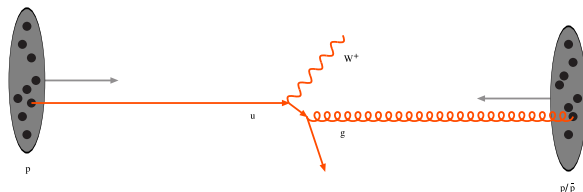
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

Zustand vor Kollision kennt man aus speziellen Messungen



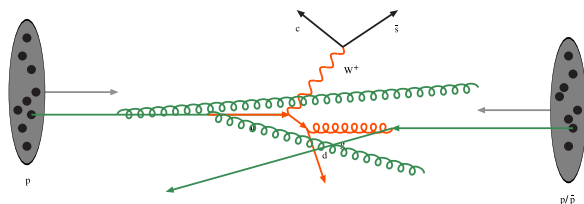
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

## Hochenergetische Kollision von 2 Quarks und/oder Gluonen — Theorie



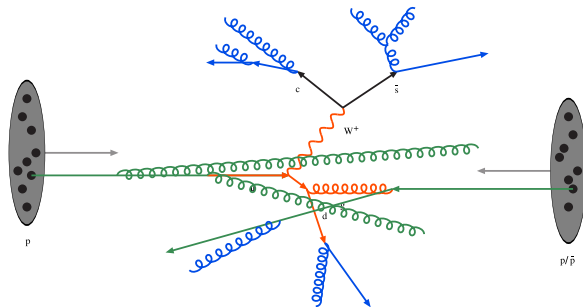
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

## Strahlungsprozess vor der Kollision — Näherung



# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

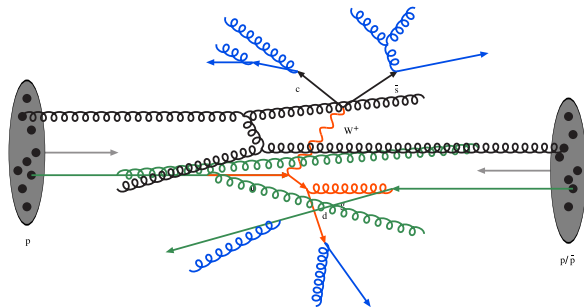
## Strahlungsprozess nach Kollision — Näherung





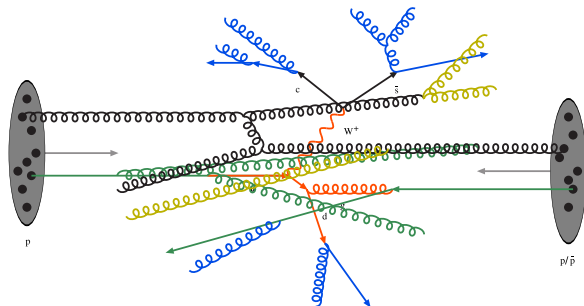
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

Zusätzliche Kollisionen von je 2 Quarks und/oder Gluonen — Modell



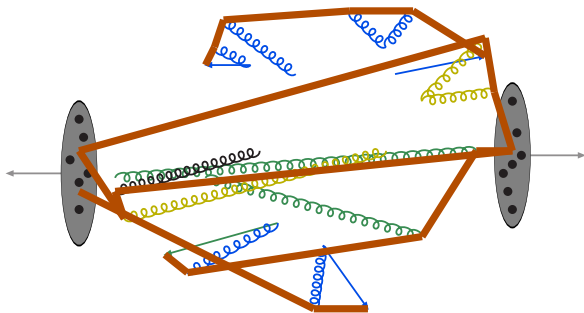
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

Noch mehr Strahlung — Näherung



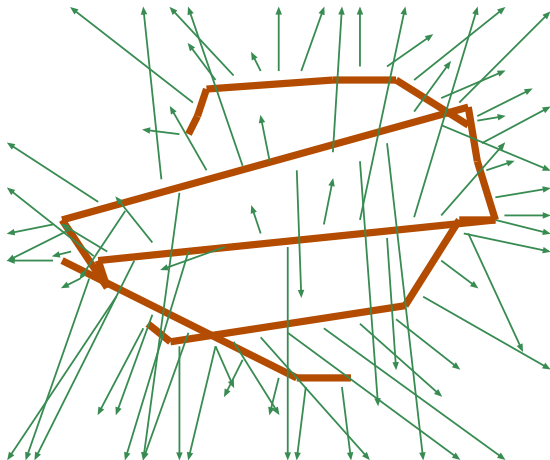
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

## Aufbrechen des Farbfeldes — Modell



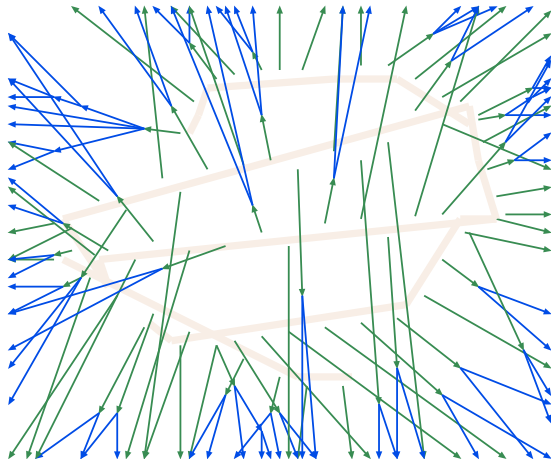
# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

Formung von Teilchen (netto Farbladung null) — Modell



# PROTONKOLLISIONEN (VON LEIF LÖNNBLAD)

## Zerfälle instabiler Teilchen — Modell



## ZUSAMMENFASSUNG 2

- Experiment: viele hundert Teilchen — aber immer zusammengesetzt aus 2 oder 3 Quarks und Anti-quarks
- Exakte Theorie kann nur mit freien Quarks/Gluonen umgehen, Vorhersagen mit nur recht wenigen Quarks und Gluonen als Reaktionsprodukt
- Brauche für Messungen/Entdeckungen aber genaue Vorhersagen
- → muss von wenigen hoch energetischen Quarks und Gluonen zu vielen Hadronen kommen

## ZUSAMMENFASSUNG 2

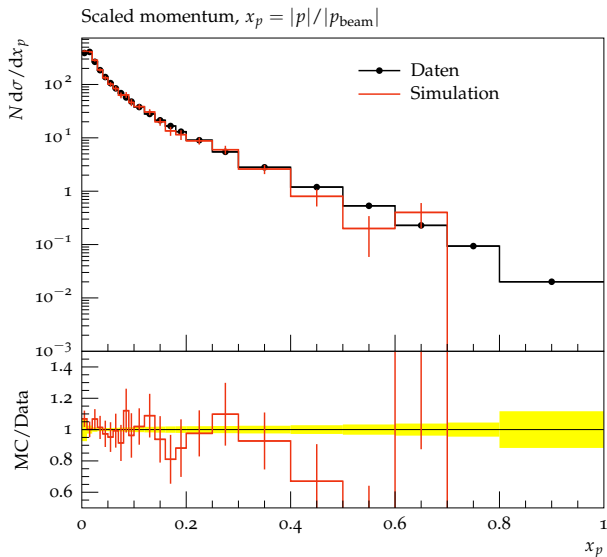
- Experiment: viele hundert Teilchen — aber immer zusammengesetzt aus 2 oder 3 Quarks und Anti-quarks
- Exakte Theorie kann nur mit freien Quarks/Gluonen umgehen, Vorhersagen mit nur recht wenigen Quarks und Gluonen als Reaktionsprodukt
- Brauche für Messungen/Entdeckungen aber genaue Vorhersagen
- → muss von wenigen hoch energetischen Quarks und Gluonen zu vielen Hadronen kommen
- Macht man durch Modelle für Strahlung und Bildung der Hadronen
- Aber Modelle haben immer (unphysikalische!) Parameter die man einstellen (“tunen”) muss damit Vorhersage Daten beschreibt
- Alles zusammen: “Ereignisgenerator” oder auch “Monte-Carlo”
- Hochkomplexe Computerprogramme, Anzahl Parameter für LHC: etwa 50 (!)

## EINSCHUB: ZUFALLSEXPERIMENT

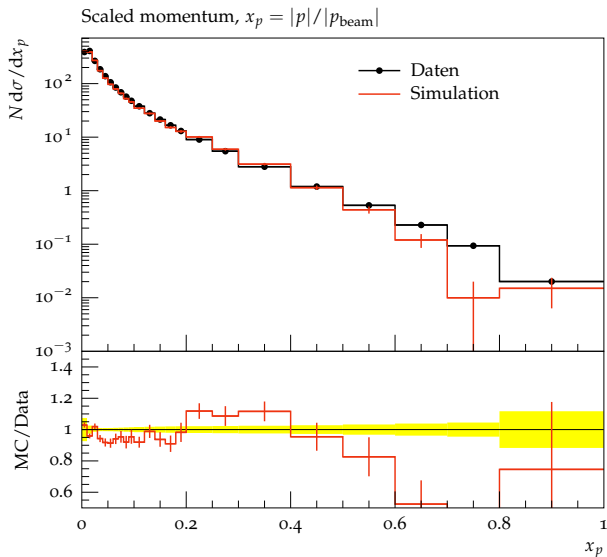
- Ereignisgenerator simuliert einzelne Ereignisse
- Ereignisse kann man auswerten (wie Experiment)
- Messwerte aus Simulation kann man auch in Histogramm stecken
- → brauche sehr viele Ereignisse für vernünftige Vorhersage → aufwändig (Zeit)



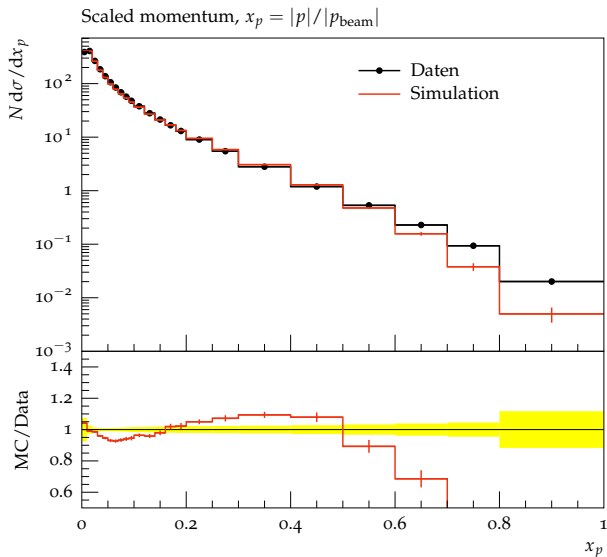
# EINSCHUB: ZUFALLSEXPERIMENT



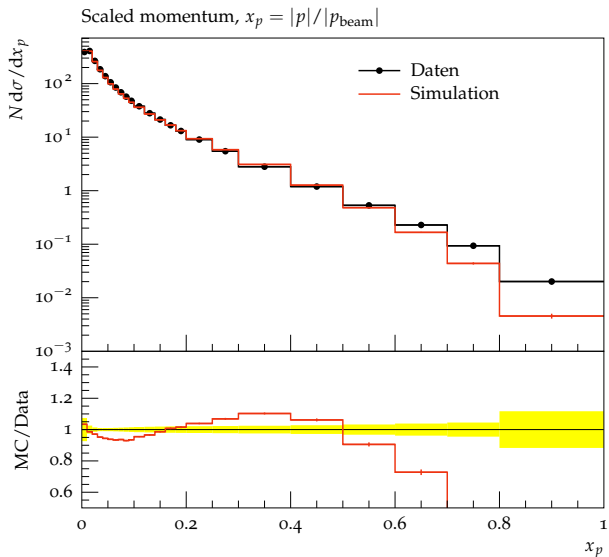
# EINSCHUB: ZUFALLSEXPERIMENT



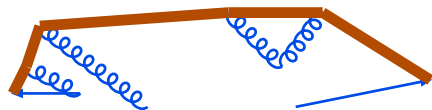
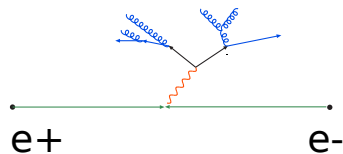
# EINSCHUB: ZUFALLSEXPERIMENT



# EINSCHUB: ZUFALLSEXPERIMENT

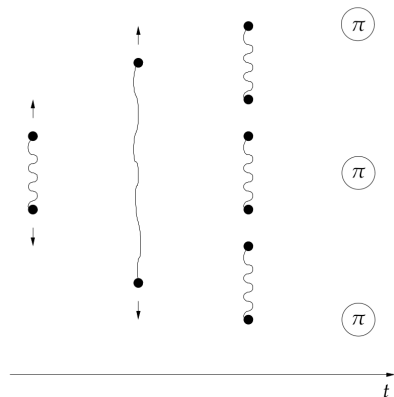


# TEILE UND HERRSCHE



- LHC Simulation sehr komplex
- Leben einfacher machen durch "Trick"
- Gucke mir Strahlung und Formung von Hadronen bei Elektron-Positron Kollisionen an
- Vorteile:
  - Sauberer — hochpräzise Messungen existieren
  - Kollidierende Teilchen tragen keine Farbe
  - → QCD kommt erst am Ende

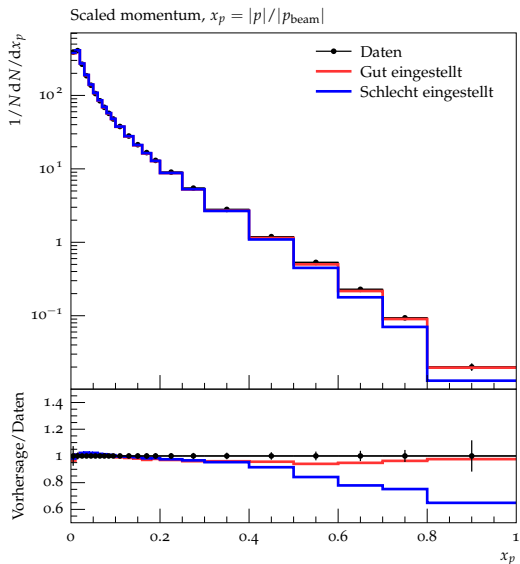
# HADRONISIERUNG IN PYTHIA



- “Lund-Strings“ (hat nichts mit Stringtheorie zu tun)
- Modell: beschreibe Wechselwirkung zwischen zwei Farbladungen durch Federn
- Federn haben mechanische Spannung, können zerreißen in mehrere kürzere Federn
- → irgendwann reicht Energie nicht mehr um Federn weiter zerreißen zu lassen → Hadronen

Parameter im Modell steuern Anzahl und Länge der neu entstehenden Federn und wie stark die Federn senkrecht zur Achse schwingen

# TUNING BEISPIEL FÜR LUND-STRINGS



# ZUSAMMENFASSUNG

- Brauche im Experiment ständig Theorievorhersagen
- Kann man nicht einfach ausrechnen → Ereignisgenerator
- Viel Physik drin aber auch Näherungen und Modelle
- Modell heißt immer Parameter (Stellschraube), genauen Wert muss man einstellen
- Einstellung so wählen das bekannte Daten korrekt beschrieben werden
- Dann kann ich Vorhersage vertrauen und Entdeckungen machen