

Teilchenphysik-
ML

Tilman Plehn

LHC-Physik

Data science

Projekte

Teilchenphysik und Machine Learning

Tilman Plehn

Institut für Theoretische Physik & IWR

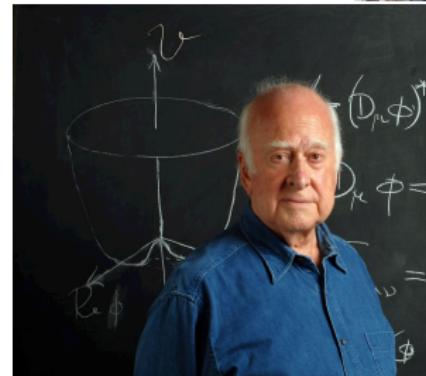
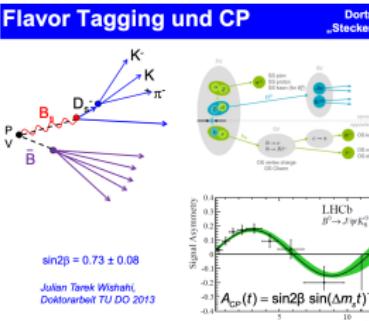
Schüler:innen-Tag 2023



Moderne Teilchentheorie

Physik-Motivation

- dunkle Materie?
- Materie-Antimaterie?
- Higgs-Mechanismus?



Moderne Teilchentheorie

Physik-Motivation

- dunkle Materie?
- Materie-Antimaterie?
- Higgs-Mechanismus?

LHC-Physik

- fundamentale Physik-Fragen
- riesige Datensätze
- kontrollierte Unsicherheiten
- präzise Simulationen [nicht Modeling]



Moderne Teilchentheorie

Physik-Motivation

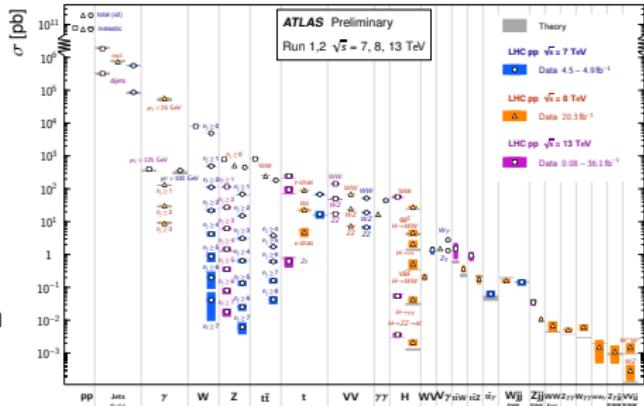
- dunkle Materie?
- Materie-Antimaterie?
- Higgs-Mechanismus?

LHC-Physik

- fundamentale Physik-Fragen
- riesige Datensätze
- kontrollierte Unsicherheiten
- präzise Simulationen [nicht Modeling]

Erfolge

- Präzisions-Analysen
- Messungen von Elementarteilchen
- Higgs und andere Entdeckungen



Moderne Teilchentheorie

Physik-Motivation

- dunkle Materie?
- Materie-Antimaterie?
- Higgs-Mechanismus?

LHC-Physik

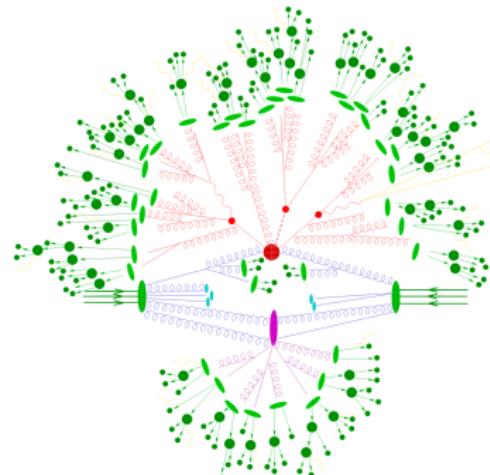
- fundamentale Physik-Fragen
- riesige Datensätze
- kontrollierte Unsicherheiten
- präzise Simulationen [nicht Modeling]

Erfolge

- Präzisions-Analysen
- Messungen von Elementarteilchen
- Higgs und andere Entdeckungen

Simulationen

- Startpunkt:
Teilchen und Wechselwirkungen
 - Rechnungen: Quantenfeldtheorie
 - Simulation: Proton-Kollisionen
 - Simulation: Detektoren
- **Teilchen-Kollisionen
in virtuellen Welten**



Moderne Teilchentheorie

Physik-Motivation

- dunkle Materie?
- Materie-Antimaterie?
- Higgs-Mechanismus?

LHC-Physik

- fundamentale Physik-Fragen
- riesige Datensätze
- kontrollierte Unsicherheiten
- präzise Simulationen [nicht Modeling]

Erfolge

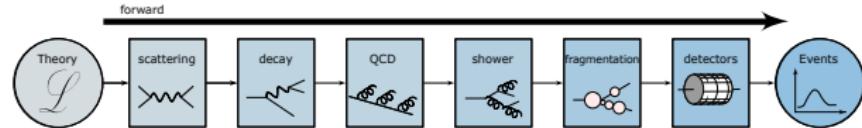
- Präzisions-Analysen
- Messungen von Elementarteilchen
- Higgs und andere Entdeckungen

Simulationen

- Startpunkt:
Teilchen und Wechselwirkungen
 - Rechnungen: Quantenfeldtheorie
 - Simulation: Proton-Kollisionen
 - Simulation: Detektoren
- **Teilchen-Kollisionen
in virtuellen Welten**

Zukunft

- Vergleich Simulation vs Realität
 - optimale Analyse aller Daten
 - Fundamentalen Theorie
- **Klingt wie data science?**



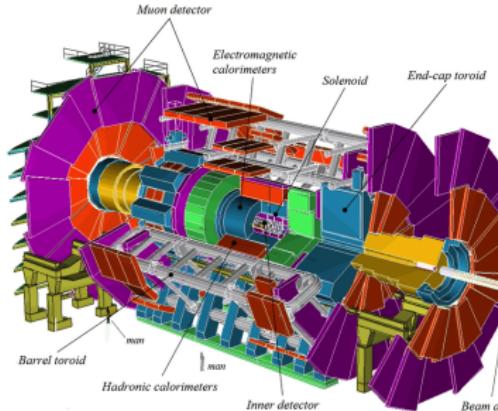
LHC-Daten

LHC-Experimente

- ATLAS & CMS universell
- LHCb, ALICE, FASER spezialisiert
- internationale Kollaborationen
- 3000 Forscher:innen pro Experiment

LHC-Detektoren

- Analyse um Wechselwirkungspunkt
- Messung aller produzierten Teilchen
- hohe Komplexität



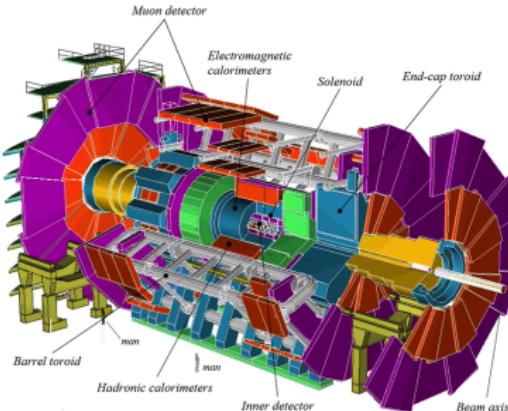
LHC-Daten

LHC-Experimente

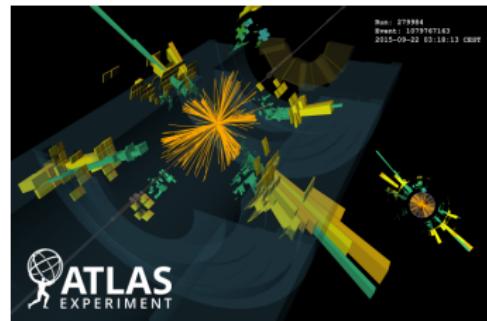
- ATLAS & CMS universell
- LHCb, ALICE, FASER spezialisiert
- internationale Kollaborationen
- 3000 Forscher:innen pro Experiment

LHC-Detektoren

- Analyse um Wechselwirkungspunkt
- Messung aller produzierten Teilchen
- hohe Komplexität



LHC-Event



- Proton-Kollisionen mit 40 MHz
 - Produktion aller möglicher Teilchen
 - überwiegend zerfallende Teilchen
 - Messung: Energie, Impuls, Ladung
 - Electronen und Myonen problemlos
 - Quarks, Gluonen als Jets
 - Event: 100+ Vektoren (E, \vec{p}, Q)
- [ATLAS-Datenfluss 3 PB/s](#)

Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
- überlappende oder Mehrfach-Streuungen?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
- überlappende oder Mehrfach-Streuungen?
Denoising [Bilderkennung]



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
- überlappende oder Mehrfach-Streuungen?
Denoising [Bilderkennung]
- Entdeckung von neuer Physik?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
- überlappende oder Mehrfach-Streuungen?
Denoising [Bilderkennung]
- Entdeckung von neuer Physik?
Autoencoders [SAP]



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
- überlappende oder Mehrfach-Streuungen?
Denoising [Bilderkennung]
- Entdeckung von neuer Physik?
Autoencoders [SAP]
- Vergleich Simulationen und Realität?



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
- Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
- Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
- Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
- überlappende oder Mehrfach-Streuungen?
Denoising [Bilderkennung]
- Entdeckung von neuer Physik?
Autoencoders [SAP]
- Vergleich Simulationen und Realität?
Unsicherheiten und Fehlerbalken?
- ...



Physik als Data Science

LHC questions

- Reduktion von 3 PB/s auf 300 MB/s?
Daten-Kompression [Netflix]
 - Analyse von Events und Vektoren?
Transformer [ChatGPT]
 - Symmetrien in Daten?
Contrastive learning [Google]
 - Kombination von Teildetektoren?
Super-resolution [Gaming]
 - überlappende oder Mehrfach-Streuungen?
Denoising [Bilderkennung]
 - Entdeckung von neuer Physik?
Autoencoders [SAP]
 - Vergleich Simulationen und Realität?
Unsicherheiten und Fehlerbalken?
...
- xAI: Können wir erklären was wir tun?



Measuring QCD splittings with invertible networks

Sebastian Bieringer¹, Anja Butter¹, Theo Heimel^{1*}, Stefan Höche²,
Ullrich Köthe³, Tilman Plehn¹ and Stefan T. Radev⁴

1 Institut für Theoretische Physik, Universität Heidelberg, Germany

2 Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL, USA

3 Heidelberg Collaboratory for Image Processing, Universität Heidelberg, Germany

4 Psychologisches Institut, Universität Heidelberg, Germany

* heimel@thphys.uni-heidelberg.de

Abstract

QCD splittings are among the most fundamental theory concepts at the LHC. We show how they can be studied systematically with the help of invertible neural networks. These networks work with sub-jet information to extract fundamental parameters from jet samples. Our approach expands the LEP measurements of QCD Casimirs to a systematic test of QCD properties based on low-level jet observables. Starting with a toy example we study the effect of the full shower, hadronization, and detector effects in detail.



Moderne Methoden

SciPost Physics

Submission

Jet Diffusion versus JetGPT — Modern Networks for the LHC

Anja Butter^{1,2}, Nathan Huetsch¹, Sofia Palacios Schweitzer¹,
Tilman Plehn¹, Peter Sorrenson³, and Jonas Spinner¹

1 Institute for Theoretical Physics, Universität Heidelberg, Germany

2 LPNHE, Sorbonne Université, Université Paris Cité, CNRS/IN2P3, Paris, France

3 Heidelberg Collaboratory for Image Processing, Universität Heidelberg, Germany

May 19, 2023

Abstract

We introduce two diffusion models and an autoregressive transformer for LHC physics simulations. Bayesian versions allow us to control the networks and capture training uncertainties. After illustrating their different density estimation methods for simple toy models, we discuss their advantages for Z plus jets event generation. While diffusion networks excel through their precision, the transformer scales best with the phase space dimensionality. Given the different training and evaluation speed, we expect LHC physics to benefit from dedicated use cases for normalizing flows, diffusion models, and autoregressive transformers.

