

Wir betreiben Forschung im Bereich der Elementarteilchenphysik im Rahmen des CMS-Experiments am LHC. Eines unserer zwei Hauptgebiete ist die Datenanalyse innerhalb der Top-Quark- und Higgs-Physik sowie im Bereich Dunkle Materie.

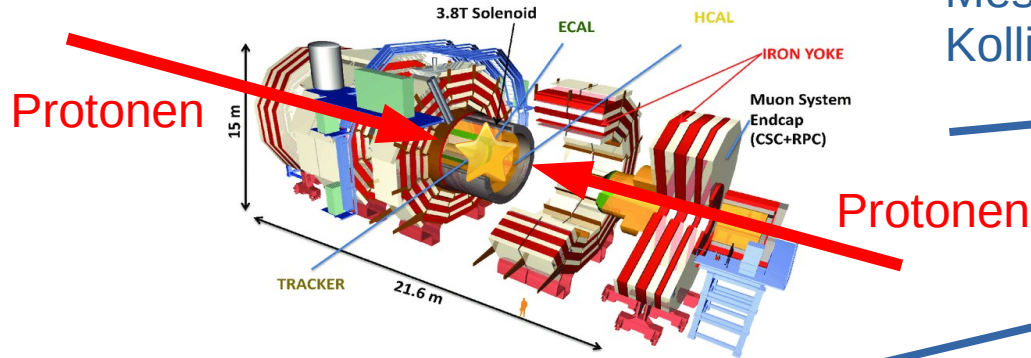
Unsere Arbeitsgruppe sitzt am Campus Nord des Karlsruher Instituts für Technologie.

Aktuell besteht unsere Arbeitsgruppe aus:

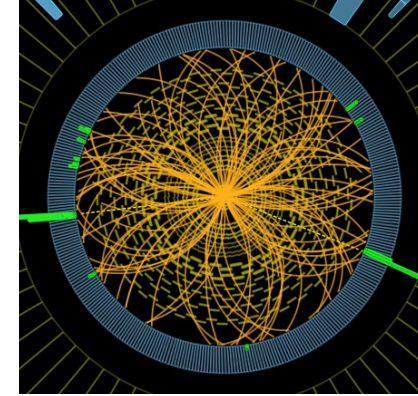
- 1 Professor
- 1 Postdoc
- 5 Promovierende
- 4 Masteranden
- 3 Bacheloranden



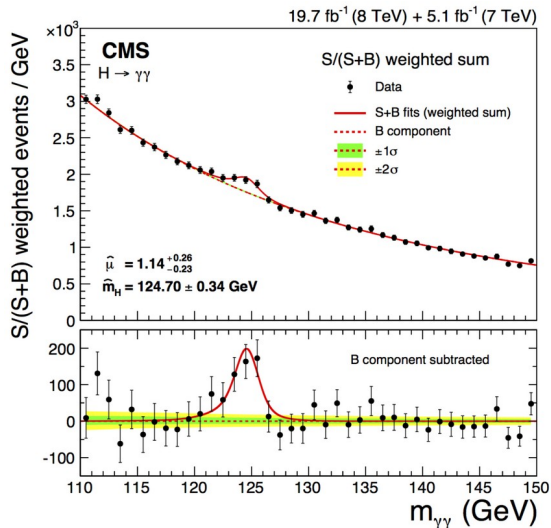
Wie erforschen wir Elementarteilchen?



Messung von Kollisionsereignissen



Auswertung der Daten



Interpretation der Daten

Standard-Modell der Elementarteilchen

	Drei Generationen der Materie (Fermionen)			Wechselwirkungen (Bosonen)	
	I	II	III		
Masse	≈2.2 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.28 GeV/c <sup>2</sup>	≈173.1 GeV/c <sup>2</sup>	0	≈124.97 GeV/c <sup>2</sup>
Ladung	2/3	2/3	2/3	0	0
Spin	1/2	1/2	1/2	1	0
	<b>u</b> Up	<b>c</b> Charm	<b>t</b> Top	<b>g</b> Gluon	<b>H</b> Higgs
	<b>d</b> Down	<b>s</b> Strange	<b>b</b> Bottom	<b>γ</b> Photon	
<b>QUARKS</b>					
	≈0.511 MeV/c <sup>2</sup>	≈105.66 MeV/c <sup>2</sup>	≈1.7768 GeV/c <sup>2</sup>	≈91.19 GeV/c <sup>2</sup>	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>e</b> Elektron	<b>μ</b> Muon	<b>τ</b> Tau	<b>Z</b> Z-Boson	
<b>LEPTONEN</b>					
	<1.0 eV/c <sup>2</sup>	<0.17 MeV/c <sup>2</sup>	<18.2 MeV/c <sup>2</sup>	≈80.39 GeV/c <sup>2</sup>	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	<b>ν<sub>e</sub></b> Elektron-Neutrino	<b>ν<sub>μ</sub></b> Muon-Neutrino	<b>ν<sub>τ</sub></b> Tau-Neutrino	<b>W</b> W-Boson	

DM?

## Assoziierte ttX-Produktion

### **Zusammenfassung:**

In der assoziierten Produktion von Higgs-Bosonen und Top-Quark-Antiquark-Paaren kann die Top-Higgs-Yukawa-Kopplung direkt vermessen werden. Diesen Prozess haben wir zum ersten Mal im Jahr 2018 beobachtet. Um den Prozess noch genauer zu verstehen und mögliche Spuren neuer Physik zu entdecken, untersuchen wir außerdem die wichtigsten Untergrundprozesse, die im Detektor fast wie das Signal aussehen. Dies sind vor allem die assoziierte Produktion von Top-Quarks mit zusätzlichen Bottom-Quarks oder Z-Bosonen. Seien Sie Teil des Team, das die Top-Yukawa-Kopplung mit dem vollen Datensatz des LHC Run 2 untersucht und wichtige Untergrundprozesse mit höchster Genauigkeit vermisst.

### **Sie lernen kennen:**

Top-und Higgs-Physik, Datenanalyse, Maschinelles Lernen, Python-Programmierung, C++-Programmierung, ROOT

Mehr Details am Ende  
des Foliensatzes

## Maschinelles Lernen in der Teilchenphysik

### **Zusammenfassung:**

In der Teilchenphysik werden seit vielen Jahren multivariate Methoden eingesetzt. Aktuelle Techniken des maschinellen Lernens wie Deep Neural Networks (DNN), Convolutional Neural Networks (CNN) und Graph Neural Networks (GNN) finden derzeit Einzug in die Teilchenphysik. Probieren Sie in einer Masterarbeit eine der zahlreichen neuen Möglichkeiten aus, die sich dadurch ergeben.

### **Sie lernen kennen:**

Collider-Physik, Maschinelles Lernen, Python-Programmierung

## NMSSM DiHiggs-Produktion

### **Zusammenfassung:**

In dieser Suche nach neuer Physik in Endzuständen mit Bottom-Quarks und Tau-Leptonen können Sie einen Beitrag zur Untersuchung des Next-To-Minimal-Supersymmetric-Standardmodell, einer möglichen Verallgemeinerung des Standardmodells der Teilchenphysik, liefern. Dieses Modell sagt eine Vielzahl von zusätzlichen Higgs-Bosonen hervor. Wir untersuchen Signaturen kompatibel mit der Produktionen zweier Higgs-Boson und suchen dort nach Abweichungen zu den Erwartungen des Standardmodells.

### **Sie lernen kennen:**

Higgs-Physik, BSM-Physik, Datenanalyse, Maschinelles Lernen, Python-Programmierung, C++-Programmierung, ROOT

Mehr Details am Ende  
des Foliensatzes

## Mono-Top-Produktion

### **Zusammenfassung:**

Basierend auf einem Simplified Model, einer vereinfachten Erweiterung des Standardmodells der Teilchenphysik, suchen wir nach Signaturen mit einem Top-(Anti-)Quark und hoher fehlender transversaler Energie (Mono-Top) hervorgerufen durch die Produktion Dunkler Materie. Diese Mono-Top-Signaturen sind im Standardmodell der Teilchenphysik sehr stark unterdrückt, weshalb eine erhöhte Rate solcher Signaturen ein Hinweis auf Physik jenseits des Standardmodells darstellen kann. Sie können sich an unterschiedlichen Teilen dieser Suche beteiligen.

### **Sie lernen kennen:**

Top-Physik, BSM-Physik, Datenanalyse, Maschinelles Lernen, Python-Programmierung, C++-Programmierung, ROOT

Mehr Details am Ende  
des Foliensatzes



- AG Husemann (ETP) am Campus Nord des KIT
- Forschung im Bereich der Elementarteilchenphysik im Rahmen des CMS-Experiments am LHC
- Datenanalyse innerhalb der Top-Quark- und Higgs-Physik sowie im Bereich Dunkle Materie

Wenn Sie für Ihre Masterarbeit Interesse an einem der vorgestellten Bereiche haben, schreiben Sie uns eine Email.

- [ulrich.husemann@kit.edu](mailto:ulrich.husemann@kit.edu)
- [michael.wassmer@kit.edu](mailto:michael.wassmer@kit.edu)

Weitere Informationen zu Masterarbeiten:

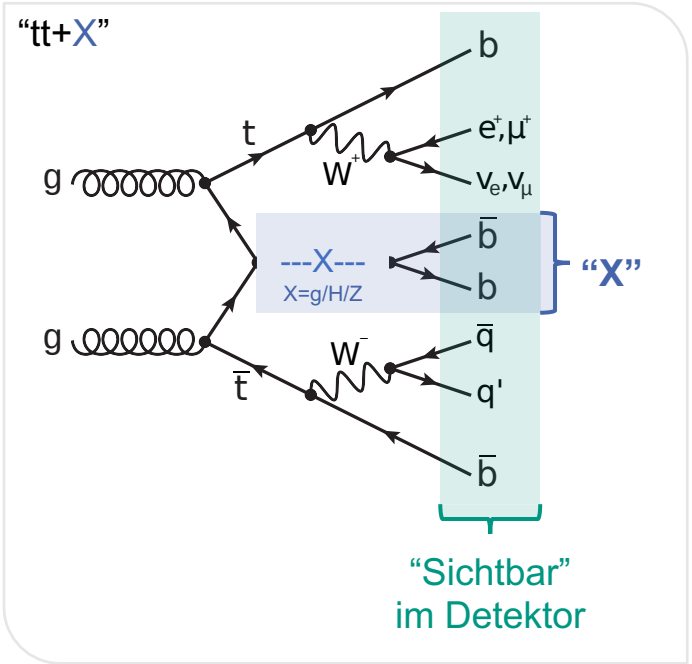
<http://etpwww.etp.kit.edu/~husemann/assets/php/master.php>

Vielen Dank für Ihr Interesse!



In den folgenden Folien finden Sie noch ein paar mehr Details zu den Themengebieten. Hierfür ist ohne ein begleitendes Gespräch etwas Vorwissen nützlich.





## Herausforderungen

- Die Zwischenprodukte X sind nicht direkt detektierbar
- Welche sichtbaren Objekte gehören überhaupt zu X?
- Wie lassen sich die verschiedenen Prozesse X=g/H/Z voneinander unterscheiden?

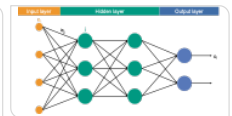
Mehrstufiges Klassifikationsproblem!

## Lösungsansätze

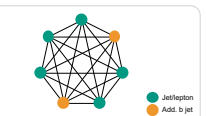
1) Um sichtb. Objekte zu X identifizieren:

$$\min(\Delta R_{i,j}) = \sqrt{(\eta_i - \eta_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2}$$

Observablen



Deep NN

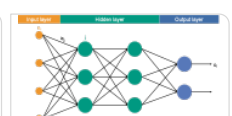


Graph NN


2) Um X=g/H/Z zu unterscheiden:

$$\min(\Delta R_{i,j}) = \sqrt{(\eta_i - \eta_j)^2 + (\phi_i - \phi_j)^2}$$

Observablen



Deep NN

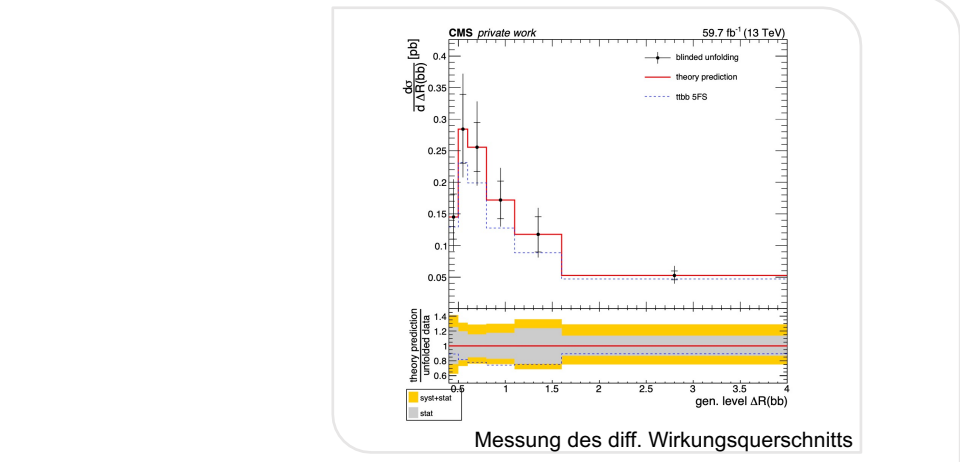
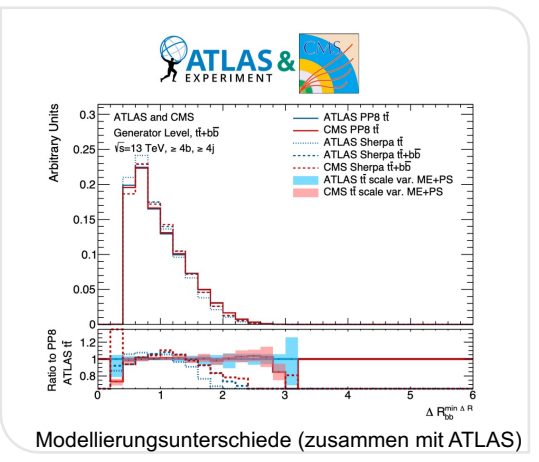


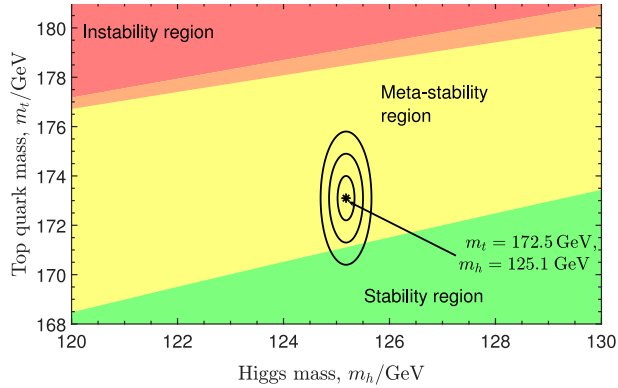
Graph NN

## Ziele

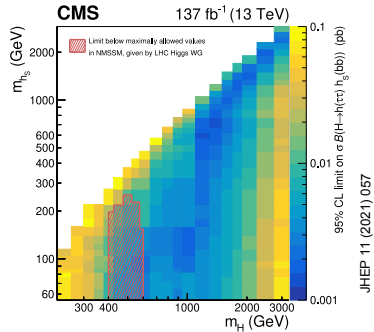
Allgemein: Präzise Vermessung der tt+X Prozesse, das bedeutet:

- Messungen der Wirkungsquerschnitte
- Herausarbeiten von Modellierungsunterschieden
- Messung des differentiellen Wirkungsquerschnitts für X=g→bb





Hinweise auf die Stabilität des Universums nach dem SM



Analyse der CMS Daten auch im Zusammenhang mit BSM Theorien

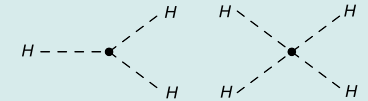
Higgs Potential nach der elektro-schwachen Symmetriebrechung

$$V(H) = \frac{1}{2} m_H^2 H^2 + \lambda_3 \nu H^3 + \frac{1}{4} \lambda_4 H^4$$

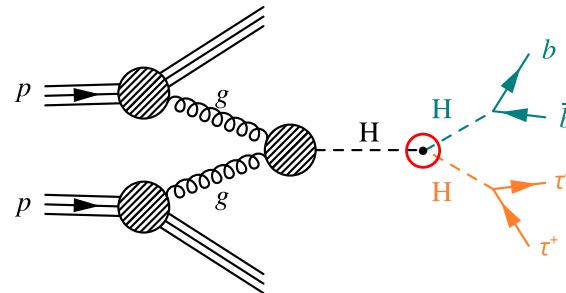
Massenterm

Selbstkopplungsterme

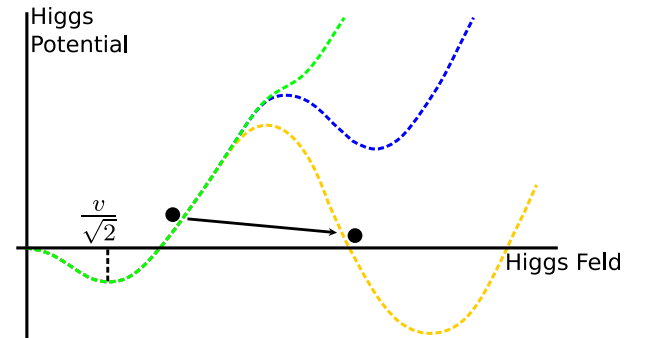
Higgs Boson Selbstkopplungen



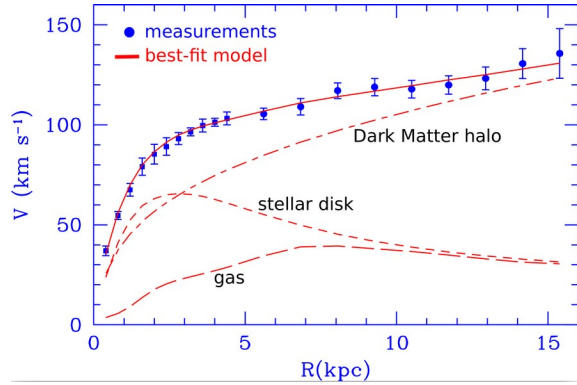
Form des Higgs Potentials hängt von der Stärke der Selbstkopplung ab



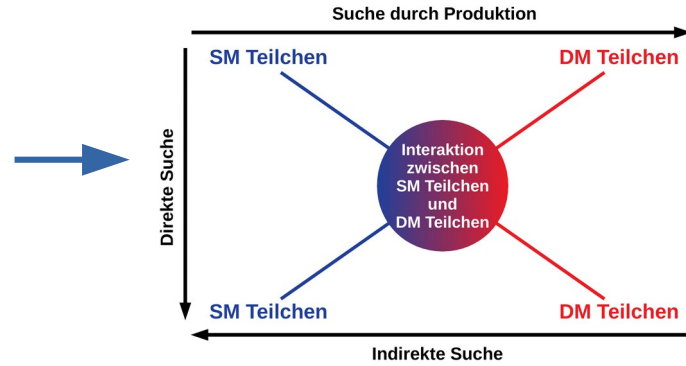
Suche nach Di-Higgs Produktion



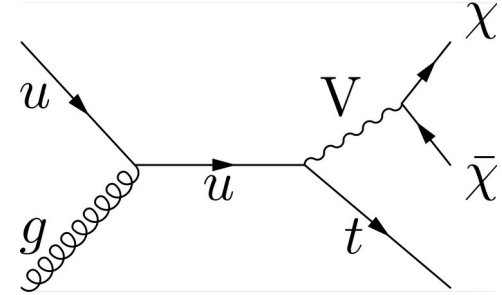
In metastabilem Zustand tunneln möglich



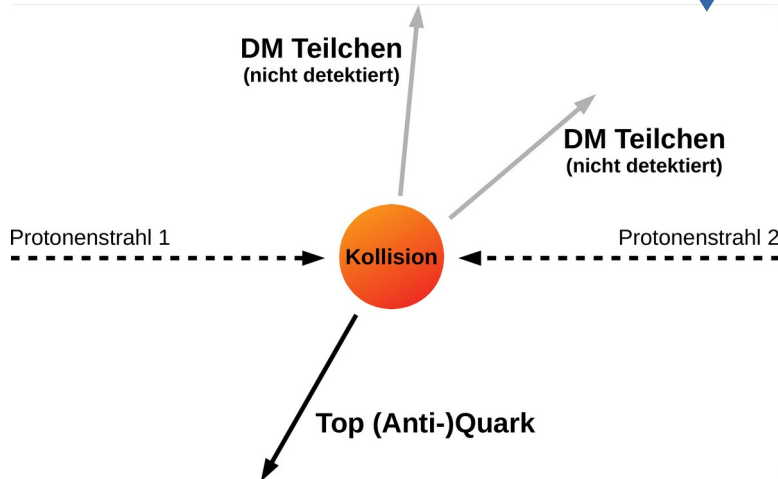
Astrophysikalische Hinweise



Suchstrategien



Theoretische Modelle



Auswertung und Interpretation der Daten

