

Diss. ETH No. 22916

# High precision determination of the Higgs production cross section in gluon fusion at $N^3LO$

A dissertation submitted to attain the degree

**Doctor of Sciences of ETH Zurich**

(Dr. sc. ETH)

presented by

**Falko Dulat**

Msc. Physics, ETH Zurich  
born on 13.06.1987  
citizen of Germany

accepted on the recommendation of:

**Prof. Charalampos Anastasiou**, examiner

**Prof. David Kosower**, co-examiner

**Prof. Zoltan Kunszt**, co-examiner

2015

# ABSTRACT

Higgs physics at the LHC has entered the precision era after the discovery of the Higgs boson in 2012. One of the most important goals of LHC in the coming years is to determine whether the Higgs boson is the Higgs boson of the standard model, or whether it is a Higgs boson of some extension of the standard model. This requires high precision measurements of the properties of the Higgs boson. These measurements rely on accurate predictions of the Higgs cross section in the standard model. As such, the inclusive Higgs production cross section in the standard model is one of the most important theoretical inputs for Higgs physics at the LHC.

In this dissertation we present the calculation of the inclusive Higgs boson production cross section in gluon fusion at next-to-next-to-next-to-leading order in QCD. We describe the methods that have been developed in order to make this calculation possible. A lot of progress in recent perturbative calculations is due to an improved understanding of the multiple polylogarithms, the elementary functions that appear in the calculation of many cross sections. We outline several algorithms based on the modern understanding of the algebraic structure of multiple polylogarithms that are indispensable for the calculation of the integrals appearing in the Higgs cross section.

We show that using the method of differential equations, we are able to reduce the problem of calculating the Higgs cross section to the calculation of combined loop and phase space integrals in the soft limit. We describe our method for obtaining representations of integrals in the soft limit that are feasible for direct integration. In order to perform these integrals, we have developed an algorithm that allows us to perform integrals in the soft limit in a canonical way, by exploiting the algebraic structure of the multiple polylogarithms.

We apply these methods to calculate the contributions to the cross section that are due to the emission of three real partons into the final state as well as due to the emission of a single parton at two loops. We obtain thirty orders in the threshold expansion of gluon-fusion cross section. We discuss the phenomenology of this new result and show that this calculation leads to a dramatic reduction of the scale dependence down to 3%. We also compute the threshold resummation of our result to improve the behavior of potentially large threshold logarithms and show the phenomenological impact.

# ZUSAMMENFASSUNG

Die Higgs Physik am LHC befindet sich nach der Entdeckung des Higgs Teilchens im Jahre 2012 in einer Ära der Präzision. Eines der wichtigsten Ziele des LHC Programms in den kommenden Jahren ist es zu Bestimmen ob das entdeckte Higgs Boson das Higgs Boson des Standard Modells ist, oder ob es sich dabei um ein Higgs Boson einer Erweiterung des Standard Modells handelt. Dies erfordert hochpräzise Messungen der Eigenschaften des Higgs Bosons. Voraussetzung für diese Messungen sind akkurate Vorhersagen der Eigenschaften des Higgs Bosons im Standard Modell. Folglich ist der inklusive Streuquerschnitt für die Produktion von Higgs Bosonen am LHC eine der wichtigsten theoretischen Vorhersagen für die Higgs Physik am LHC.

In dieser Dissertation präsentieren wir die Berechnung des inklusiven Streuquerschnitts für die Produktion von Higgs Bosonen via Gluonen-Fusion in nächst-nächst-nächst-führender Ordnung in QCD. Wir beschreiben die Methoden, welche entwickelt wurden um diese Rechnung zu ermöglichen. Ein grosser Teil des Fortschrittes in perturbativen Rechnungen der letzten Jahre ist auf ein besseres Verständniss der multiplen Polylogarithmen, der elementaren Funktionenklasse, welche viele Wirkungsquerschnitte beschreibt, zurückzuführen. Wir beschreiben mehrere Algorithmen, welche auf dem modernen Verständniss der algebraischen Strukturen, die den multiplen Polylogarithmen zugrunde liegen, basieren und für die Berechnung der im Streuquerschnitt auftretenden Integrale unersetzlich sind.

Wir zeigen mithilfe der Methode der Differentialgleichungen, wie das Problem der Berechnung des Wirkungsquerschnitts für die Produktion von Higgs Bosonen auf die Berechnung von Schleifenintegralen und Phasenraumintegralen im niederenergetischen Grenzbereich reduziert werden kann. Wir beschreiben unsere Methode um Darstellungen für Integrale im niederenergetischen Grenzbereich herzuleiten welche sich direkt integrieren lassen. Des Weiteren, haben wir einen Algorithmus entwickelt, welcher uns erlaubt diese Integrale im niederenergetischen Grenzwert durch Ausnutzung der algebraische Struktur der multiplen Polylogarithmen, kanonisch zu integrieren.

Wir wenden diese Methoden an, um die Beiträge zum Streuquerschnitt auszurechnen, welche durch die Emission von drei reellen Partonen in den Endzustand, sowie durch die Emission eines reellen Partons durch zwei Schleifen, hervorgerufen werden. Nachdem wir alle Resultate zusammenfügen erhal-

ten wir den Wirkungsquerschnitt für die Produktion von Higgs Bosonen als Entwicklung um den Schwellenwert zu mehr als dreissig Ordnungen. Wir diskutieren die Phänomenologie dieses neuen Resultats und zeigen, dass diese Rechnung die Skalenabhängigkeit des Wirkungsquerschnitts auf etwa 3% reduziert. Weiterhin berechnen wir die Schwellenwertresummation unseres Resultats um das Verhalten von potentiell grossen Logarithmen zu verbessern und demonstrieren den phänomenologischen Einfluss davon.