

## Zwischenbericht (Sachbericht)

<b>Förderinstrument:</b>	Postdoktorandenprogramm
<b>Impulsfonds-Förderkennzeichen:</b>	PD-302
<b>Projekttitle:</b>	Search for massive new particles decaying to a pair of top quarks in data collected by the ATLAS detector at the LHC
<b>Postdoktorand/in:</b>	Dr. Janna Katharina Behr
<b>Helmholtz-Zentrum:</b>	DESY Hamburg
<b>Berichtszeitraum (=Kalenderjahr!):</b>	01/2016-12/2016

**1) Arbeitsfortschritt / Meilensteine**

*Welche Fortschritte wurden im geplanten Arbeitsprogramm gemacht. Nehmen Sie explizit Bezug auf das im Antrag beschriebene Programm und die dort aufgeführten Meilensteine. Waren Abweichungen vom Programm notwendig?*

**Projektbeginn:** 1.6.2016 (davor DESY-Fellowship ab 1.12.15)

**Einstellung von Yu-Heng Chen (Doktorand):** 11.7.2016

**Forschungsschwerpunkte:**

- Schwerpunkt 1 [80% Projektanteil]
  - a) Suche nach schweren Teilchen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar
  - b) Entwicklung und Kalibration eines Taggers zur effizienteren Identifikation hochenergetischer Top-Quarks
- Schwerpunkt 2 [20% Projektanteil]
  - Verbesserung der Datenqualität in aktuellen (SCT) und Entwicklung zukünftiger (ITk) Spurdetektoren im ATLAS-Experiment

Substantielle Fortschritte wurden bei beiden im Antrag beschriebenen Forschungsschwerpunkten erzielt. Abweichungen vom vorgesehenen Zeitplan traten nur insofern auf, als einzelne Meilensteine aus Schwerpunkt 1) früher als geplant erreicht wurden, während die Arbeit an Schwerpunkt 2) erst mit der Besetzung der Doktorandenstelle, also 1.5 Monate nach Projektbeginn, begann. Die für Schwerpunkt 2) vorgesehene Weiterentwicklung der Spurrekonstruktion in ATLAS erfolgte, abweichend vom Antrag, in Kooperation mit der SCT/ITk-Detektorgruppe anstatt der FTK-Gruppe (beide DESY), da im Hinblick auf das für 2024 geplante Upgrade der ATLAS-Spurdetektoren und die dafür vorhandene Infrastruktur und Expertise bei DESY eine stärkere Ausrichtung auf die Detektorentwicklung langfristig angebrachter erschien. Das Ziel des Schwerpunktes, durch die Nutzung von Spurinformaton mittelfristig die Rekonstruktion hochenergetischer Top-Quarks zu verbessern, bleibt von dieser Änderung unberührt.

Weiterhin war angesichts aktueller Entwicklungen im Forschungsumfeld die Durchführung und Publikation zusätzlicher Studien im Rahmen von Schwerpunkt 1a) angebracht. Letztere wäre ohne die Mittel aus dem Helmholtz-Postdoktorandenprogramm fuer die Einstellung eines Doktoranden, der bereits im ersten Jahr sehr wertvolle Beiträege zu Schwerpunkt 1a) leistete, nicht in dieser Form moeglich gewesen.

**Schwerpunkt 1a)**

- Leitung\* (mit Dr. Jike Wang, DESY) und Durchführung der weltweit ersten Suche nach zusätzlichen schweren Higgs-Bosonen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar [3].

- Erstmalige Berücksichtigung der signifikanten Interferenzeffekten zwischen Signal und Untergrund. Interpretation der Daten im Rahmen eines Zwei-Higgs-Doublett-Modells vom Typ 2, welches grosse Relevanz sowohl für die Supersymmetrie als auch für Modelle Dunkler Materie besitzt.
- Interpretation der Daten im Rahmen eines Zwei-Higgs-Doublett-Modells vom Typ 2, welches grosse Relevanz sowohl für die Supersymmetrie als auch für Modelle Dunkler Materie besitzt.
- Stärkste Ausschlussgrenzen im Parameterbereich grosser Higgsmassen und kleiner Werte des Modellparameters  $\tan(\beta)$ .
- Präsentation der Ergebnisse auf der Konferenz ICHEP2016, einer der wichtigsten Konferenzen der Hochenergiephysik.
- Aktuell Vorbereitung der Publikation einer erweiterten Suche auf demselben Datensatz:
  - Abdeckung eines mehr als doppelt so grossen Parameterbereichs des Modells
  - Berücksichtigung verbesserter theoretischer Modelle

#### **Erweiterungen zu Schwerpunkt 1a)**

- Leitung (mit Dr. Marie-Helene Genest, LPSC Grenoble) eines Projektes zur erstmaligen Kombination der Ergebnisse sämtlicher Suchen nach Dunkler Materie in ATLAS;
- Koordination von 26 Analysegruppen im Rahmen dieses Projektes.
- Erstmalige Interpretation der Ergebnisse der Suche nach schweren Higgs-Bosonen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar (siehe oben) im Kontext von Modellen für Dunkle Materie.

#### **Schwerpunkt 1b)**

- Entwicklung und Optimierung effizienter Tagger zur Identifikation hochenergetischer Top-Quarks, Higgs- und Vektorbosonen, basierend auf dem Variable-R-Algorithmus [2]
  - Präsentation der Ergebnisse auf der Konferenz BOOST2016
- Abschluss der Energiekalibration der Variable-R-Jets (früher als geplant)
  - Präsentation der Ergebnisse auf dem ATLAS Hadronic Calibration Workshop
- Aktuell Durchführung der Massenkalkulation durch Xuanhong Lou (Doktorand von Krisztian Peters, DESY) im Rahmen seines Projektes zur Qualifikation als ATLAS-Autor

#### **Schwerpunkt 2**

- Thermo-mechanische FEA-Simulation diverser lokaler Trägerstrukturen für die ITk-Endkappe (Yu-Heng Chen)
  - Projekt zur Qualifikation als ATLAS-Autor
  - Projekt im Rahmen des ITk-Forschungsschwerpunktes der DESY-ATLAS-Gruppe (ITk-Projektleitung: Dr. Ingrid-Maria Gregor)
- Kontrolle und Optimierung der Datenqualität am SCT-Spurdetektor

#### **Kooperation mit der University of Oxford**

- Durchführung und Publikation [1] einer Strategie zur Messung von Higgs-Paarproduktion in Endzuständen mit vier Bottom-Quarks (4b) mit Hilfe multivariater Methoden (neuronales Netz)
- Aktuell Durchführung einer Folgestudie zur erreichbaren Präzision bei der Messung der trilinearen Higgs-Kopplung im 4b-Endzustand am HL-LHC mit multivariaten Methoden

\* Die Leitung von Projekten innerhalb der ATLAS-Kollaboration liegt regulär in den Händen zweier Verantwortlicher.

## 2) Finanz-/Zeitplan

*Können Sie Finanz- und Zeitplan einhalten oder sind Anpassungen notwendig?*

Wie oben beschrieben konnte der vorgesehene Zeitplan mit kleinen Änderungen eingehalten werden. Angesichts bisher ausgebliebener Entdeckungen neuer Teilchen am LHC ist ein stärkerer Fokus auf die Kombination komplementärer Suchstrategien angebracht, um die Sensitivität auf mögliche neue Phänomene, insbesondere in den vielversprechenden Bereichen Dunkle Materie und zusätzliche Higgs-Bosonen, zu erhöhen. Dieser Tatsache wird mit der Erweiterung von Schwerpunkt 1a) Rechnung getragen.

Die Personalkosten für die beiden Stellen (Postdoktorand, Doktorand) lagen 2016 etwas höher als ursprünglich veranschlagt. Die zusätzlichen Kosten wurden nach Absprache von DESY übernommen.

## 3) Publikationen / Preise

[1] **J. K. Behr**, D. Bortoletto, J. A. Frost, N. P. Hartland, C. Issever, J. Rojo: *Boosting Higgs Pair Production in the bbbb Final State with Multivariate Techniques*; Eur.Phys.J. C76 (2016) no.7, 386

[2] ATLAS Collaboration: *Boosted Object Tagging with Variable-R Jets in the ATLAS Detector*; ATL-PHYS-PUB-2016-013 (**J. K. Behr's** contributions: Principal analyser and contact)

[3] ATLAS Collaboration: *Search for heavy Higgs bosons A/H decaying to a top-quark pair in pp collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV with the ATLAS detector*; ATLAS-CONF-2016-073 (**J. K. Behr's** contributions: Principal analyser and contact)

[4] **J. K. Behr**: *Boosting Higgs Pair Production in the bbbb Final State with Multivariate Techniques*; PoS(LHCP2016)182; Proceedings for LHCP2016; [https://pos.sissa.it/archive/conferences/276/182/LHCP2016\\_182.pdf](https://pos.sissa.it/archive/conferences/276/182/LHCP2016_182.pdf)

[5] **J. K. Behr**: *Searches for Exotic Physics in ATLAS using Substructure Techniques*; ATL-PHYS-PROC-2017-011; Proceedings for Kruger2016.

**1) Arbeitsfortschritt / Meilensteine**

*Welche Fortschritte wurden im geplanten Arbeitsprogramm gemacht. Nehmen Sie explizit Bezug auf das im Antrag beschriebene Programm und die dort aufgeführten Meilensteine. Waren Abweichungen vom Programm notwendig?*

**Projektbeginn:** 1.6.2016 (davor DESY-Fellowship ab 1.12.15)

**Einstellung von Yu-Heng Chen (Doktorand):** 11.7.2016

**Forschungsschwerpunkte:**

- Schwerpunkt 1 [80% Projektanteil]
  - a) Suche nach schweren Teilchen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar
  - b) Entwicklung und Kalibration eines Taggers zur effizienteren Identifikation hochenergetischer Top-Quarks
- Schwerpunkt 2 [20% Projektanteil]
  - Verbesserung der Datenqualität in aktuellen (SCT) und Entwicklung zukünftiger (ITk) Spurdetektoren im ATLAS-Experiment

Substantielle Fortschritte wurden bei beiden im Antrag beschriebenen Forschungsschwerpunkten erzielt. Abweichungen vom vorgesehenen Zeitplan traten nur insofern auf, als einzelne Meilensteine aus Schwerpunkt 1) früher als geplant erreicht wurden, während die Arbeit an Schwerpunkt 2) erst mit der Besetzung der Doktorandenstelle, also 1.5 Monate nach Projektbeginn, begann. Die für Schwerpunkt 2) vorgesehene Weiterentwicklung der Spurrekonstruktion in ATLAS erfolgte, abweichend vom Antrag, in Kooperation mit der SCT/ITk-Detektorgruppe anstatt der FTK-Gruppe (beide DESY), da im Hinblick auf das für 2024 geplante Upgrade der ATLAS-Spurdetektoren und die dafür vorhandene Infrastruktur und Expertise bei DESY eine stärkere Ausrichtung auf die Detektorentwicklung langfristig angebrachter erschien. Das Ziel des Schwerpunktes, durch die Nutzung von Spurinformativon mittelfristig die Rekonstruktion hochenergetischer Top-Quarks zu verbessern, bleibt von dieser Änderung unberührt.

Weiterhin war angesichts aktueller Entwicklungen im Forschungsumfeld die Durchführung und Publikation zusätzlicher Studien im Rahmen von Schwerpunkt 1a) angebracht. Letztere wäre ohne die Mittel aus dem Helmholtz-Postdokorandenprogramm fuer die Einstellung eines Doktoranden, der bereits im ersten Jahr sehr wertvolle Beiträege zu Schwerpunkt 1a) leistete, nicht in dieser Form moeglich gewesen.

**Schwerpunkt 1a)**

- Leitung\* (mit Dr. Jike Wang, DESY) und Durchführung der weltweit ersten Suche nach zusätzlichen schweren Higgs-Bosonen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar [3].
  - Erstmalige Berücksichtigung der signifikanten Interferenzeffekten zwischen Signal und Untergrund. Interpretation der Daten im Rahmen eines Zwei-Higgs-Doublett-Modells vom Typ 2, welches grosse Relevanz sowohl für die Supersymmetrie als auch für Modelle Dunkler Materie besitzt.
  - Interpretation der Daten im Rahmen eines Zwei-Higgs-Doublett-Modells vom Typ 2, welches grosse Relevanz sowohl für die Supersymmetrie als auch für Modelle Dunkler Materie besitzt.
  - Stärkste Ausschlussgrenzen im Parameterbereich grosser Higgsmassen und kleiner Werte des Modellparameters  $\tan(\beta)$ .
  - Präsentation der Ergebnisse auf der Konferenz ICHEP2016, einer der wichtigsten Konferenzen der Hochenergiephysik.
- Aktuell Vorbereitung der Publikation einer erweiterten Suche auf demselben Datensatz:

- Abdeckung eines mehr als doppelt so grossen Parameterbereichs des Modells
- Berücksichtigung verbesserter theoretischer Modelle

### **Erweiterungen zu Schwerpunkt 1a)**

- Leitung (mit Dr. Marie-Helene Genest, LPSC Grenoble) eines Projektes zur erstmaligen Kombination der Ergebnisse sämtlicher Suchen nach Dunkler Materie in ATLAS;
- Koordination von 26 Analysegruppen im Rahmen dieses Projektes.
- Erstmalige Interpretation der Ergebnisse der Suche nach schweren Higgs-Bosonen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar (siehe oben) im Kontext von Modellen für Dunkle Materie.

### **Schwerpunkt 1b)**

- Entwicklung und Optimierung effizienter Tagger zur Identifikation hochenergetischer Top-Quarks, Higgs- und Vektorbosonen, basierend auf dem Variable-R-Algorithmus [2]
  - Präsentation der Ergebnisse auf der Konferenz BOOST2016
- Abschluss der Energiekalibration der Variable-R-Jets (früher als geplant)
  - Präsentation der Ergebnisse auf dem ATLAS Hadronic Calibration Workshop
- Aktuell Durchführung der Massenkalkulation durch Xuanhong Lou (Doktorand von Krisztian Peters, DESY) im Rahmen seines Projektes zur Qualifikation als ATLAS-Autor

### **Schwerpunkt 2**

- Thermo-mechanische FEA-Simulation diverser lokaler Trägerstrukturen für die ITk-Endkappe (Yu-Heng Chen)
  - Projekt zur Qualifikation als ATLAS-Autor
  - Projekt im Rahmen des ITk-Forschungsschwerpunktes der DESY-ATLAS-Gruppe (ITk-Projektleitung: Dr. Ingrid-Maria Gregor)
- Kontrolle und Optimierung der Datenqualität am SCT-Spurdetektor

### **Kooperation mit der University of Oxford**

- Durchführung und Publikation [1] einer Strategie zur Messung von Higgs-Paarproduktion in Endzuständen mit vier Bottom-Quarks (4b) mit Hilfe multivariater Methoden (neuronales Netz)
- Aktuell Durchführung einer Folgestudie zur erreichbaren Präzision bei der Messung der trilinearen Higgs-Kopplung im 4b-Endzustand am HL-LHC mit multivariaten Methoden

\* Die Leitung von Projekten innerhalb der ATLAS-Kollaboration liegt regulär in den Händen zweier Verantwortlicher.

## **2) Finanz-/Zeitplan**

*Können Sie Finanz- und Zeitplan einhalten oder sind Anpassungen notwendig?*

Wie oben beschrieben konnte der vorgesehene Zeitplan mit kleinen Änderungen eingehalten werden. Angesichts bisher ausgebliebener Entdeckungen neuer Teilchen am LHC ist ein stärkerer Fokus auf die Kombination komplementärer Suchstrategien angebracht, um die Sensitivität auf mögliche neue Phänomene, insbesondere in den vielversprechenden Bereichen Dunkle Materie und zusätzliche Higgs-Bosonen, zu erhöhen. Dieser Tatsache wird mit der Erweiterung von Schwerpunkt 1a) Rechnung getragen.

Die Personalkosten für die beiden Stellen (Postdoktorand, Doktorand) lagen 2016 etwas

höher als ursprünglich veranschlagt. Die zusätzlichen Kosten wurden nach Absprache von DESY übernommen.

### 3) Publikationen / Preise

[1] **J. K. Behr**, D. Bortoletto, J. A. Frost, N. P. Hartland, C. Issever, J. Rojo: *Boosting Higgs Pair Production in the bbbb Final State with Multivariate Techniques*; Eur.Phys.J. C76 (2016) no.7, 386

[2] ATLAS Collaboration: *Boosted Object Tagging with Variable-R Jets in the ATLAS Detector*; ATL-PHYS-PUB-2016-013 (**J. K. Behr's** contributions: Principal analyser and contact)

[3] ATLAS Collaboration: *Search for heavy Higgs bosons A/H decaying to a top-quark pair in pp collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV with the ATLAS detector*; ATLAS-CONF-2016-073 (**J. K. Behr's** contributions: Principal analyser and contact)

[4] **J. K. Behr**: *Boosting Higgs Pair Production in the bbbb Final State with Multivariate Techniques*; PoS(LHCP2016)182; Proceedings for LHCP2016; [https://pos.sissa.it/archive/conferences/276/182/LHCP2016\\_182.pdf](https://pos.sissa.it/archive/conferences/276/182/LHCP2016_182.pdf)

[5] **J. K. Behr**: *Searches for Exotic Physics in ATLAS using Substructure Techniques*; ATL-PHYS-PROC-2017-011; Proceedings for Kruger2016.