

Schlussbericht

Förderinstrument:	Postdoktorandenprogramm
Impulsfonds-Förderkennzeichen:	PD-302
Projekttitle:	Search for massive new particles decaying to a pair of top quarks in data collected by the ATLAS detector at the LHC
Postdoktorand/in:	Dr. Janna Katharina Behr
Helmholtz-Zentrum:	DESY Hamburg
Berichtszeitraum (Förderzeitraum):	01 Juni 2016 - 31 Mai 2019

1. Zusammenfassung

Stellen Sie kurz die wesentlichen Ergebnisse und Fortschritte Ihres Forschungsprojektes im Vergleich zum Zeitpunkt der Antragstellung dar und geben Sie einen Ausblick auf mögliche künftige Arbeiten.

Forschungsschwerpunkte [Zeitpunkt der Antragsstellung bzw. des Projektbeginns]

- 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

Ergebnisse aus Schwerpunkt 1a) [weitere Details in den Zwischenberichten]

- Leitung und Durchführung der weltweit ersten Suche nach zusätzlichen schweren Higgs-Bosonen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar [2],[7].
 - Erstmalige Berücksichtigung der signifikanten Interferenzeffekte zwischen Signal und Untergrund.
- Beteiligung an einer Suche nach schweren Resonanzen (ohne Interferenz) in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar [3].
- Signifikante Beiträge zu einer Suche nach schweren Resonanzen mit dem vollen Datensatz aus LHC Run 2 (2015-2018).
 - Basierend auf einer in diesem Endzustand neuartigen Methode zu datenbasierten Abschätzung von Untergrundprozessen sowie einem auf maschinellem Lernen beruhenden Algorithmus zur Identifikation hochenergetischer Top-Quarks.
 - *Publikation in Vorbereitung*

Ergebnisse aus Schwerpunkt 1b)

- Erste Kalibration des Jet-Algorithmus aus [6] mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen. Somit kann der Algorithmus nun ATLAS-weit in laufenden Analysen eingesetzt werden.
- Eine Präzisionskalibration mit Detektordaten (in-situ) ist im Rahmen der Aktivitäten meiner zukünftigen Helmholtz Nachwuchsgruppe geplant (siehe unten).
- Eine Variante des Jet-Algorithmus aus [6] zur Rekonstruktion von B-Hadronen aus

den Zerfällen hochenergetischer Top-Quarks und Higgs-Bosonen, die ich im Rahmen meiner Doktorarbeit vorgeschlagen habe, ist seit 2018 neuer Standard zur B-Hadron-Identifikation in ATLAS und wird in der o.g. Suche (1a, Punkt 3) verwendet.

Ergebnisse aus Schwerpunkt 2

Die Arbeit an Schwerpunkt 2 erfolgte, anders als zum Zeitpunkt der Antragstellung vorgesehen, in Kooperation mit der SCT/ITk-Detektorgruppe anstatt der FTK-Gruppe (beide DESY), da im Hinblick auf das für 2025 geplante Upgrade der ATLAS-Spurdetektoren und die dafür vorhandene Infrastruktur und Expertise bei DESY eine stärkere Ausrichtung auf die Detektorentwicklung langfristig angebrachter erschien.

- Thermo-mechanische FEA-Simulation diverser lokaler Trägerstrukturen für die ITk-Endkappe (im Rahmen der Doktorarbeit von Yu-Heng Chen, siehe unten)
 - Ergebnisse dokumentiert im (aktuell noch ATLAS-internen) "*Report of the Preliminary Design Review (PDR) of the ATLAS Strips Local Supports Cores and Module Loading*" zur Vorbereitung eines Strategiepapiers im Herbst 2019.
 - Signifikanter Beitrag zum ITk-Forschungsschwerpunkt der DESY-ATLAS-Gruppe (ITk-Projektleitung: Dr. Ingrid-Maria Gregor)
- Offline-Schichten zur Kontrolle der Datenqualität des SCT-Spurdetektors während der Datennahmephase 2018
- Studien zur Effizienz der Spurrekonstruktion in hochenergetischen Teilchenjets
 - *Laufendes Projekt*

Zusätzliche Forschungsschwerpunkte [Erweiterungen nach Projektbeginn]:

- Suchen nach Dunkler Materie [4], [9]
 - Leitung eines Projektes zur erstmaligen Kombination der Ergebnisse sämtlicher Suchen nach Dunkler Materie in ATLAS (bis Oktober 2017 mit Dr. Marie-Helene Genest, LPSC Grenoble, danach alleine) [4]
 - Koordination von 26 Analysegruppen im Rahmen dieses Projektes.
 - Koordination der ATLAS-Studien eines neuen Benchmark-Modelles, welches die Interaktion von Dunkler Materie mit schweren Higgs-Bosonen beschreibt [9].
 - Erweiterung dieses Modells zur Simulation von Interferenzeffekten.
 - Substantielle Beiträge zur LHC Dark Matter Working Group (= Forum der LHC-Experimente und Theoriegruppen mit Schwerpunkt "Dunkle Materie")
- Zukünftige Beschleuniger [5]
 - Entwicklung von Strategien für Präzisionsmessungen der Kopplungen des Higgs-Bosons an Bottom-Quarks und andere Teilchen des Standardmodells an einem zukünftigen Elektron-Positron-Collider [*Betreuung zweier Bachelorarbeiten*]

Sonstige Aktivitäten

- Leitung der ATLAS-Gruppe "Heavy Quarks and Tops" (mit Dr. C. Anders, Heidelberg bzw. ab Januar 2019 mit Dr. H. de la Torre, Michigan State)*
 - Koordination von derzeit 20 Analyseteams; ca. 100 Personen insgesamt
 - Mandat: 1. April 2018 - 31. März 2020
 - In Anerkennung besonderer Leistungen und Fähigkeiten, insbesondere im Zusammenhang mit [2] und [6].
- Organisation eines Symposiums zum Thema "The puzzle of dark matter - assembling the pieces", DESY, 29.-31. Oktober
 - In Kooperation mit Kollegen aus den DESY CMS- und CTA-Gruppen.

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

Betreuung von Forschungsarbeiten

- Yu-Heng Chen: **Doktorarbeit**. Finanziert durch PD-302 ab 11.7.2016.
 - Maßgebliche Beiträge zu relevanten Publikationen: [2], [8], [9] sowie zu einer noch nicht veröffentlichten Suche nach schweren Resonanzen in Endzuständen mit einem Top-Antitop-Quark-Paar mit Hilfe einer datenbasierten Untergrundabschätzung auf dem vollen Datensatz aus LHC Run 2 (2015-2018)
 - Universitätsbetreuer: PD Dr. Klaus Mönig, HU Berlin
 - Voraussichtlicher Abgabetermin: Dezember 2019
- Xuanhong Lou. Doktorand. Qualifizierungsarbeit zur Erlangung der ATLAS-Autorenschaft. Betreuung mit Dr. Krisztian Peters
 - Kalibration des Jet-Algorithmus aus [6].
- Janik von Ahnen. **Bachelorarbeit**. Betreuung mit Dr. Krisztian Peters.
 - Ergebnisse der Arbeit veröffentlicht in [5].
- Jonas Neundorf. **Bachelorarbeit**. Betreuung mit Dr. Krisztian Peters.
 - Ergebnisse der Arbeit veröffentlicht in [5].

Zukünftige Projekte im Rahmen meiner Helmholtz Nachwuchsgruppe (ab 2020)

- Präzisionssuchen und -messungen in Top-Antitop-Quark-Endzuständen in Daten aus LHC Run 2 und 3.
 - Aufbauend auf den Ergebnissen der "Proof-of-Principle"-Studie [2] aus Schwerpunkt 1a, unter Verwendung und Weiterentwicklung der Algorithmen aus Schwerpunkt 1b.
- Entwicklung neuer Algorithmen zur Spurrekonstruktion im zukünftigen ATLAS-Spurdetektor (ITk) in den hochintensiven Teilchenkollisionen am High-Luminosity LHC
 - Aufbauend auf den Erfahrungen aus der Datennahme am aktuellen und dem Design für den künftigen Spurdetektor (Schwerpunkt 2).

2. Berufliche Planung

Wie sieht Ihre berufliche Planung nach Ablauf der Förderung aus? Haben sich durch die Förderung Kontakte / Chancen für Ihre nächsten beruflichen Schritte entwickelt?

Leitung einer Helmholtz Nachwuchsgruppe (Young Investigator Group) bei DESY ab 2020.

Thema: "Fingerprints of the Vacuum"

Die Förderung durch das Helmholtz Postdoktorandenprogramm und die damit verbundenen finanziellen Mittel (Doktorandenstelle, Reisemittel) haben maßgeblich zur erfolgreichen Bewerbung um eine Nachwuchsgruppe beigetragen, insbesondere da mir durch die Doktorandenstelle die Durchführung zusätzlicher Forschungsprojekte ermöglicht wurde. Auf den durch das Postdoktorandenprogramm ermöglichten Erfahrungen bei der eigenständigen Betreuung eines Doktoranden werde ich bei der Leitung meiner Nachwuchsgruppe aufbauen können.

3. Publikationen und Preise

Journal publications

[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**. arxiv:1512.08928

[2] 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*, **Phys. Rev. Lett., 119 (2017)**, p. 191803. arXiv:1707.06025

- First author (analysis contact) and main analyser.
- First search for heavy Higgs bosons decaying to $t\bar{t}$. Pioneered the treatment of interference effects in this final state.

[3] ATLAS Collaboration, *Search for heavy particles decaying into top-quark pairs using lepton-plus-jets events in proton-proton collisions at 13 TeV*, **Eur. Phys. J. C78 (2018) 565**, arXiv:1804.10823

- Initiated the first interpretation of this search in the context of a dark matter simplified benchmark model
- Validation of analysis software.

[4] ATLAS Collaboration, *Constraints on mediator-based dark matter and scalar dark energy models using $\sqrt{s} = 13$ TeV pp collision data collected by the ATLAS detector*, **JHEP 05 (2019) 142**, arXiv:1903.01400

- Analysis leader. Coordinating contributions from 20 independent teams.
- First ATLAS combination of dark matter searches in different final states.
- Includes the first collider search for dark energy.

[5] *Future Circular Collider Study. Volume 1: Physics Opportunities*. Conceptual Design Report, preprint edited by M. Mangano et al. CERN accelerator reports, **CERN-ACC-2018-0056**, Geneva, December 2018. **Eur. Phys. J. C79 (2019) 474**

- Studies of Higgs production at the FCC-ee in the missing energy and 4-jet channels (supervision of two BSc thesis projects)
 - Development of analysis strategies
 - Sensitivity studies for different detector designs

ATLAS Notes (peer-reviewed by the ATLAS collaboration)

[6] ATLAS Collaboration: *Boosted Object Tagging with Variable-R Jets in the ATLAS Detector*; ATL-PHYS-PUB-2016-013

- Principal analyser and analysis leader

[7] 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

- Principal analyser and analysis leader

[8] ATLAS Collaboration, *Technical Design Report for the ATLAS Inner Tracker Strip Detector*, CERN-LHCC-2017-005; ATLAS-TDR-025

- Yu-Heng Chen: Thermo-mechanical FEA-simulation of local support structures

[9] LHC Dark Matter Working Group Collaboration, Next-generation spin-0 dark matter models, **CERN-EP-2018-334**, arXiv:1810.09420

- Coordinated all studies within ATLAS.
- Sensitivity study for the search for $A/H \rightarrow t\bar{t}$

[10] ATLAS Collaboration, Search for Dark Matter Produced in Association with a Higgs Boson decaying to $b\bar{b}$ at $\sqrt{s}=13$ TeV with the ATLAS Detector using 79.8 fb^{-1} of proton-proton collision data, **ATLAS-CONF-2018-039**

- ATLAS editorial board member

Conference proceedings

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

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

[13] **J. K. Behr**, *Searches for Exotic Physics in ATLAS using Substructure Techniques*, Proceedings for the Workshop on Discovery Physics at the LHC (Kruger2016). **J. Phys. Conf. Ser. 1, 878 (2017)**. <http://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/878/1>

[14] **Y.-H. Chen**, *Search for new resonances decaying to heavy-flavour quarks with the ATLAS detector at $\sqrt{s}=13$ TeV*. Proceedings for the 22nd High-Energy Physics International Conference in Quantum Chromodynamics (QCD19), Montpellier, France, 2-5 July 2019, ATL-PHYS-PROC-2019-132.

Zusätzlich eingeworbene Forschungsgelder

- **Fördermittel der Akademie der Wissenschaften Hamburg**
 - **Maximalbetrag von 5,000 EUR**
 - Zur Ausrichtung der fachübergreifenden wissenschaftlichen Konferenz "The puzzle of dark matter - assembling the pieces", DESY, 29.-31. Oktober
 - In Kooperation mit Kollegen aus den DESY CMS- und CTA-Gruppen.