

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Schlussbericht

Verbund: 05P2021 - Run 3 von ALICE am LHC

Zuwendungsempfänger: Universität Heidelberg
Projektleitung: Prof. Dr. Johanna Stachel
E-Mail: stachel@physi.uni-heidelberg.de
Förderkennzeichen: 05P21VHCA1
Förderzeitraum: 01.07.2021 - 30.06.2024
Zuwendung: 1.903.899,80 €
Projektträger: Projektträger DESY

Zusätzlicher Kontakt: glassel@physi.uni-heidelberg.de
Zusätzlicher Name: Peter Glaessel

Genutzte Großgeräte:	Labor	Gerät	Experiment
Diplomarbeiten:	0		
Dissertationen:	7		
Habilitationen:	0		
Referierte Publikationen:	185		
Andere Veröffentlichungen:	12		
Patente:	0		
Bachelorarbeiten:	25		
Masterarbeiten:	6		
Staatsexamen:	0		

Dieser Bericht wurde beim Projektträger über einen individuellen Online-Zugang vom Projektleiter eingereicht und am 30.12.2024 10:54 für eine Veröffentlichung freigegeben.

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: *Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg*

Projektleitung: *Prof. Dr. Johanna Stachel*¹

Verbund: *ErUM-FSP 202*

Thema: *Verbundprojekt 05P21VHCA1 – Run 3 von ALICE am LHC: TRD und TPC Projekte, Untersuchung des Quark-Gluon-Plasmas am LHC*

Zusammenfassung

Der Berichtszeitraum war schwerpunktmäßig der Inbetriebnahme des ALICE-Experiments nach der Upgrade-Phase im Long Shutdown 2 (LS 2) 2018 - 2021 mit kosmischer Strahlung und Pilotstrahl vom LHC in 2021, und dem erfolgreichen Betrieb des Experiments in LHC Run 3 in den Jahren 2022, 2023 und 2024 in Proton-Proton- (pp) und Blei-Blei- (PbPb) Kollisionen gewidmet. Hier war die Gruppe neben allgemeiner Verantwortung für den Betrieb des Experiments mit besonderer Aktivität für die Zeitprojektionskammer (TPC), den Übergangsstrahlungsdetektor (TRD) und das neue Online/Offline Software System (O2) tätig. Die große Schwierigkeit liegt in der Operation des Experiments bei sehr viel höheren Raten als in Runs 1 und 2, im MHz Bereich für pp-Kollisionen und bis zu 50 kHz in PbPb-Kollisionen, was insbesondere für Gasdetektoren wie die TPC und den TRD eine nie vorher gemeisterte Herausforderung darstellt.

Um die bei 50 kHz Betrieb in PbPb-Kollisionen auftretenden Verzerrungen der Ionisationsspuren durch Raumladungseffekte zu minimieren, wurde die TPC durch neue Ausleseammern mit Ladungsverstärkung in 4 Lagen von sogenannten Gas Electron Multiplier- (GEM-)Folien modifiziert. Dieses Verstärkungsprinzip erlaubt, dass nur ca 1 % der in der Gasverstärkung produzierten Ionen in die Driftregion gelangen. Allerdings modifiziert selbst dieser kleine Bruchteil das elektrische Feld so signifikant, dass Verzerrungen von Spurpunkten im cm-Bereich auftreten, die korrigiert werden müssen, um Auflösung im einige hundert Mikrometerbereich zu erreichen. An einigen Aspekten der Korrekturen waren Mitglieder dieser Gruppe beteiligt. Hier ging es sowohl um genaue Charakterisierung der Response der GEM-Ausleseammern und eine darauf basierende Online-Korrektur, als auch um Entwicklung, Bau, Installation und Inbetriebnahme eines dedizierten Hochspannungs-Monitoring Systems und der entsprechenden Auswertung, um Ströme in der äußersten GEM-Lage und der zentralen Driftelektrode zu bestimmen. Die Gruppe war auch Teil des Teams, das die verschiedenen Korrektur- und Kontrollmechanismen zur Minimierung von Raumladungseffekten und deren Monitoring entwickelt.

Die hohen Raten erforderten für den TRD eine neue Auslese von nur noch Spursegmenten,

¹Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

sogenannten 'tracklets', die bereits in der Frontendelektronik auf dem Detektor rekonstruiert werden, anstatt wie in der Vergangenheit Rohdaten-Auslese der einzelnen Auslesepads. Entsprechend mussten Firmware und Software für die TRD-Auslese modifiziert bzw. neu geschrieben werden. Die entsprechenden Vorbereitungen fielen in die vorangehende Förderperiode, im Berichtszeitraum wurden im Strahlbetrieb Anpassungen und Optimierungen vorgenommen, auch Korrektur von Fehlern, die sich erst im Hochraten-Betrieb mit PbPb-Strahlen zeigten. Dies erforderte auch eine neue Kalibrationsstrategie, Spurrekonstruktion und Qualitätskontrolle aller Abläufe. Um den Betrieb durch die zentrale Shift-Crew zu erleichtern, wurden Korrekturen für strahlungsbedingte Probleme in der Elektronik und der Detektorhochspannung implementiert, die z.T. automatisch, aber auf jeden Fall während eines laufenden Runs durchgeführt werden. Dadurch gehörte der TRD im 2024 PbPb Strahlbetrieb trotz seiner Komplexität zu den verlässlichsten Detektorsystemen im Experiment.

Die Gruppe war in sehr fruchtbare Physikanalysen von pp-, pPb- und PbPb-Kollisionsdaten, hauptsächlich aus Run 2, involviert. Dies bezieht sich auf Messungen von Jet-Medium Wechselwirkungen durch eine neue Jet-Rekonstruktionsmethode und von Jet-Hadron Korrelationen. In der Analyse von direkten Photonen durch die Konversionsmethode hat die Gruppe, basierend auf ihrer langjährigen Expertise neue Projekte gestartet und z.T. auch bereits abgeschlossen. Messungen im Charm-Quark-Sektor wurden sowohl über die Rekonstruktion von Hadronen mit "open flavor" als auch von Charmonia bei Mid-Rapidität vorangetrieben. Die Analyse der ereignisweisen Fluktuationen von Nettoladungen wurde bis zum 4. Moment ausgedehnt. In Teilprojekt 2 wurde eine genauere Rekonstruktion von Hadronen mit Strangeness, insbesondere angewandt am Beispiel des 3-Körperzerfalls von Hypertritium entwickelt.

Bericht

1. Aufgabenstellung und Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt befasst sich mit dem Betrieb des ALICE Experiments am CERN LHC in Run 3, mit der Datennahme in pp- und PbPb-Kollisionen mit Raten, die um Größenordnungen über die von Run 1 und 2 hinausgehen und Analyse dieser Daten. Hauptziel ist es, durch eine völlig neue statistische Qualität der Daten das QGP als neuen, in hochenergetischen Kern-Kern-Kollisionen gebildeten Materiezustand mit Präzision zu charakterisieren. Auch die experimentelle Charakterisierung der Natur des chiralen Phasenübergangs bei verschwindender Netto-Baryonendichte und Vergleich mit entsprechenden Resultaten von Gitter-QCD-Rechnungen sind Ziel der Untersuchungen.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Während des LS 2 2018 - 2021 wurden signifikante Upgrade und Konsolidierungsarbeiten an

den beiden Detektoren, an denen diese Gruppe intensiv beteiligt ist, der Zeitprojektionskammer TPC und dem Übergangsstrahlungsdetektor TRD durchgeführt und in der ersten Hälfte 2021 erfolgreich abgeschlossen. Die TPC und alle Supermodule des TRD waren wieder in der Kaverne installiert und mit allen Services verbunden und getestet. Der Start der Förderperiode fiel mit der Inbetriebnahme des ALICE Experiments am CERN LHC nach dem LS2 mit zunächst Pilotstrahlbetrieb in 2021 und zunehmender Strahlintensität in der ersten Hälfte 2022 zusammen. Mit dem offiziellen Beginn von Run 3 im Juli 2022 begann die reguläre Datennahme in pp- und PbPb-Kollisionen mit Raten, die um Größenordnungen über die von Run 1 und 2 hinausgehen. Die Beteiligung dieser Gruppe an den Detektoren TPC und TRD war definiert und in die kollaborations- und deutschlandweite Planung integriert. Zugleich standen gut kalibrierte Daten von Run 2 für Physikanalysen zur Verfügung.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens sowie Kooperation mit Dritten

Das Vorhaben gliedert sich in 4 Gruppen von Aktivitäten: das Recommissioning von ALICE nach dem Upgrade während LS 2, den Betrieb von ALICE und insbesondere des TRD in Run 3 in pp- und PbPb-Kollisionen, das konzeptionelle Design eines Upgrades für LHC Runs 5 und 6, ALICE 3, sowie Physikanalysen und damit verbundene Infrastrukturaufgaben. Die geleisteten Arbeiten und ihre Ergebnisse werden unter 5. beschrieben. Insgesamt erfolgten die Arbeiten koordiniert für die deutschen Gruppen im Rahmen des BMBF Forschungsschwerpunktes ErUM-FSP T01 ALICE mit den experimentellen Gruppen der Universitäten Bonn, Frankfurt, München und der GSI, was die TPC betrifft, sowie der Universitäten Münster und Frankfurt für den TRD. In der Datenanalyse arbeiten alle Gruppen des ErUM-FSP intensiv zusammen. Herauszuheben ist auch die Zusammenarbeit mit den Theoriegruppen des ErUM-FSP in Bielefeld, Münster und Tübingen in der Interpretation der Daten und im Rahmen der Erstellung von Veröffentlichungen. Insgesamt erfolgt die Arbeit am Vorhaben innerhalb der Organisationsstruktur der ALICE Kollaboration. Die Entwicklung der physikalischen Zielsetzung für das neue ALICE3 Experiment sowie die Entwicklung neuer Methoden zur Analyse von ALICE Daten, z.B. für Fluktuationen von Erhaltungsgrößen werden durch Zusammenarbeit mit dem Sonderforschungsbereich 1225 ISOQUANT befruchtet.

4. Verwendung der Zuwendung

Die ausgegebenen Personalmittel für Wissenschaftler lagen mit 868 kEU knapp 8 % unter der Bewilligung. Die Differenz kommt durch eine wegen Covid-19 verzögerte Einstellung von wissenschaftlichen Mitarbeitern zustande. Insbesondere mussten 2 Postdoc-Kandidaten aus Südkorea und auch China mehrere Monate auf Termine bei den jeweiligen deutschen Botschaften warten. Auch hat eine erfahrene Mitarbeiterin unerwartet früh eine permanente Stelle außerhalb von ALICE angetreten. Durch die Covid-19-bedingten Reisebeschränkungen blieben die

Reiseausgaben etwas (13 %) unter der Bewilligung. Innerhalb der Investitionsmittel wurde die bewilligte Summe für "Maintenance and Operation" Typ A exakt wie bewilligt an den CERN bezahlt. Durch die Personal und Reiseminderausgaben konnte zusätzlich eine Zahlung von 95 kEU auf das CERN M&O A Konto gemacht werden. Die Mittel Typ B für den Unterhalt des TRD wurden exakt wie bewilligt ausgegeben, z.T. durch Leistungen in Heidelberg und zum größeren Teil durch Überweisung auf das entsprechende CERN TRD Konto.

5. Erzielte Ergebnisse

5.1 Aktivitäten zu Commissioning und Betrieb des ALICE Experiments

5.1.1 TPC

Dank der in der Heidelberger Gruppe entwickelten und auf Machine-Learning (ML) Methoden basierten Analysen konnten die Untersuchungen der Signalförmigkeit der GEM-basierten TPC sowie die Effekte "Common-Mode" und "Ion-Tail" abgeschlossen werden. Die entsprechenden Korrekturen wurden in die Firmware und Software für die synchrone Rekonstruktion implementiert und die Performanz anhand eigens entwickelter Simulationen überprüft (P. Chatzidakis, Y. Pachmayer, M. Arslanovic, veröffentlicht in JINST 2024). Die Korrekturen führen zu einer Verbesserung der Teilchenidentifikation und Spurrekonstruktion, wie erwartet. Insbesondere ist wichtig, dass dadurch die Datengröße der TPC-Daten signifikant reduziert werden kann. Im Rahmen der Korrekturen, die nötig sind, um die Raumladungseffekte bei hohen Kollisionsraten zu minimieren, entwickelte die Heidelberger Gruppe (Elektronikwerkstatt, F. Zanone, K. Schweda) ein dediziertes Hochspannungs-Monitoring System und eine entsprechende Auslese und Kontrolle, um die Ströme in der äußersten GEM-Lage und der zentralen Elektrode zu messen. Dies liefert einen essentiellen Beitrag zur Korrektur der Raumladungsverzerrungen. Anhand der PbPb-Kollisionsdaten von 2022 entwickelte N. Grünwald ein "online monitoring" der Ionen-driftgeschwindigkeit, basierend auf dem beschriebenen Hochspannungsmonitoring-System. Zusätzlich trug S. Stiefelmaier maßgeblich zur Entwicklung der TPC Teilchenidentifizierungs-Parametrisierung mittels ML Methoden bei. Da die beantragten 36 Personenmonate für Arbeiten an der TPC nicht bewilligt wurden, konnte nur ein Teil der im Antrag vorgeschlagenen Arbeiten mit anderweitig finanzierter Personpower realisiert werden.

5.1.2 TRD

Für den TRD fungierte J. Stachel als Projektleiterin sowie A. Berdnikova und M. Danisch als System Run Koordinatorinnen. Als Online-Offline Koordinator fungierte O. Schmidt und bis August 2023 Y. Pachmayer. Außerdem trug die Heidelberger Gruppe durch zahlreiche "on-call" Schichten zum sicheren und effizienten Betrieb des Detektors rund um die Uhr bei.

Für den TRD stellte die hohe Kollisionsrate eine große Herausforderung dar, da die Detektorauslese wegen des großen Datenvolumens ursprünglich auf 400 Hz ausgelegt war und die Frontend-Elektronik, die direkt auf den einzelnen Kammern des TRD sitzt, für Run 3 nicht

ausgetauscht werden konnte. Die Lösung war die Auslese von Spursegmenten (Tracklets) anstatt ADC-Rohdaten. Nach Anschluss aller Services wie Gas, Kühlung, Hoch- und Niederspannung, der Detektorkontrolle und der neuen Common Readout Units (CRU) trug das Heidelberger Team maßgeblich zur Inbetriebnahme des Detektors bei. Hierbei wurde erreicht, dass die Ausleseketten des Detektors mit der neuen Firmware der Frontend-Elektronik und der neuen CRUs sowie dem modifizierten Datenformat für die Auslese von Tracklets einwandfrei funktioniert (A. Berdnikova, V. Angelov, S. Murray in Zusammenarbeit mit G. Willems aus Münster). Mit dem ersten Betrieb in PbPb-Kollisionen mit signifikanter Rate traten unter diesen erheblich erschwerten Bedingungen Konditionen auf, die Korrekturen und Verbesserung der Firmware und Software erforderten, die auch noch robuster gemacht werden musste. Seitdem kann der TRD auch bei 50 kHz PbPb-Kollisionsrate ohne Probleme betrieben und mit ca. 20 kHz (limitiert durch die Auslesezeit der immer noch erheblichen Datenmenge) getriggert werden. Hierzu war die Entwicklung und Implementierung verschiedener Fehlerkorrekturen während des laufenden Datennahmebetriebs für strahlungsbedingte Probleme (single event upsets) nötig, so dass der TRD seitdem zu den verlässlichsten Detektorsystemen in ALICE gehört.

Die Kalibrierung der Verstärkungsfaktoren der 1.15 Millionen Auslesepads des Detektors wurde durch die Analyse von Daten, aufgenommen mit einer radioaktiven Kryptonquelle, erhalten, wobei die entsprechende Software im Rahmen des O2-Pakets neu geschrieben wurde (J. Crkovska, A. Schmah). Die komplett neu erarbeiteten und in das O2-Framework implementierten Algorithmen zur Rekonstruktion der TRD Daten und Kalibration der Driftgeschwindigkeit und des Lorentz-Winkels konnten anhand der aufgezeichneten Strahldaten erfolgreich getestet und weiter verbessert werden (O. Schmidt, A. Schmah). Die in der synchronen Rekonstruktion verwendeten Kalibrationsobjekte wurden in die entsprechende Datenbank und die Qualitätskontrolle eingebracht und die dafür benötigte Software entwickelt. Eine "stand-alone" Spurrekonstruktion mit dem TRD für die online Kalibration des Detektors und für neuartige Physikanalysen (siehe unten) wurde mittels ML Methoden weiterentwickelt (Doktorarbeit M. Kroesen). Ebenso wurde Software erstellt und implementiert, um das zeitliche Alignment der Detektorsignale aller 522 TRD Kammern zu überwachen (L. Bergmann). Seit Mitte 2023 ist B. Zhang für die gesamte TRD Kalibration und deren Monitoring verantwortlich. Die stark variierenden und z.T. sehr hohen Wechselwirkungsraten führen zu hohen Strömen in den TRD-Kammern, die ein stetiges und stringentes Monitoring erfordern (Y. Pachmayer und M.J. Kim in Zusammenarbeit mit A. Andronic aus Münster und I. Arsene aus Oslo). Zur Überwachung der Ströme der Anodenkanäle der TRD-Kammern wurde von den Mitarbeitern der Elektronikwerkstatt des Instituts ein schnelles, hochempfindliches System weiterentwickelt, getestet und am CERN erfolgreich in Betrieb genommen (V. Angelov, K. Schweda, Bachelorarbeit F. Schlepper). Auf dieser Entwicklung basierte auch das oben erwähnte System für die TPC. Die Detektorsimulation musste in der O2-Umgebung neu programmiert werden. Diese Aufgabe wurde bis Mai 2022 von J. Lopez durchgeführt, seit 2023 ist J.J. Seo dafür verantwortlich. Die Teilchen- und insbesondere Elektronenidentifikation stand bis August 2023 unter der Leitung von Y. Pachmayer. Hier wurden für Run 3 auch Mittel der AI eingesetzt (Masterarbeit F. Schlepper mit Y. Pachmayer).

5.1.3 Entwicklung von genereller O2 Software

An der Neuentwicklung und Implementierung der Software in der ALICE O2 Software Umgebung zur Analyse von Leptonen aus dem Zerfall schwerer Quarks und der Rekonstruktion von Quarkonium war V. Feuillard stark innerhalb des zentralen ALICE Software-Teams tätig. Tests anhand erster Daten von Run 3 erfolgten in den Bachelorarbeiten von V. Santiago und K. Korf. Außerdem wurden Methoden entwickelt, um für das ALICE Run 3 Mess-Programm interessante Physiksignale in pp-Kollisionen in der asynchronen Rekonstruktion herauszufiltern. In diesem Kontext trugen V. Feuillard und B. Zhang wesentlich zur Implementierung eines Software-Triggers für die Messung von Charm- und Beauty-Hadronen einschließlich Quarkonia bei, um in der asynchronen Rekonstruktion die pp-Datensamples um mehr als 4 Größenordnungen zu reduzieren, bzw die entsprechenden Heavy-Flavor-Signale gegenüber minimum-bias Daten anzureichern. Beide haben auch große Verantwortung in der Qualitätskontrolle der Trigger bei der routinemäßigen Rekonstruktion übernommen. Die Gruppe ist in das Benchmarking und die Optimierung der Rekonstruktion von sekundären Vertices zur Photon-Konversionen oder von schwachen Zerfällen in Run 3 involviert (A. Borquez und F. Schlepper sowie die Bachelorarbeiten von N. Tatsch und A. Enderich betreut von A. Marin). Insbesondere konnte die Anzahl von nur auf TPC-Daten basierten Spurkandidaten für sekundäre Vertices so dramatisch reduziert werden, dass es seit Ende 2023 möglich wurde, sie in der asynchronen Rekonstruktion in das gespeicherte Datensample aufzunehmen und daher auch Photonen von niedrigem Transversalimpuls zu rekonstruieren (F. Schlepper in Zusammenarbeit mit R. Shahoyan, CERN). In der Bachelorarbeit von I. Kantak (mit A. Marin) wurde der O2-Task für die Rekonstruktion von χ_c entwickelt. In diesem herausfordernden Projekt wird die Behandlung von Photon-Konversion und die J/ψ -Rekonstruktion, also zwei unterschiedlichen Analysepaketen, kombiniert.

5.2 ALICE-Physikanalysen

Teilprojekt 1:

Im Bereich des Energieverlusts von Partonen im Quark-Gluon-Plasma wurden mehrere wichtige Untersuchungen durchgeführt. J.Y. Kim hat in ihrer Doktorarbeit Jet-Hadron- und Jet-Proton-Korrelationen im azimuthalen und polaren Winkel untersucht. Dabei zeigten sich, innerhalb der noch limitierten Statistik, keine experimentellen Hinweise auf die Entstehung eines Machkegels. N. Grünwald entwickelte in ihrer Masterarbeit eine neue Methode zur Messung von Jet-Spektren bei sehr niedrigen Transversalimpulsen bis zu $20 \text{ GeV}/c$, was neue Erkenntnisse über den Energieverlust von Quarks und Gluonen im Medium und die Rückwirkung auf das Medium selbst ermöglicht. Sie setzte diese Analysen in ihrer Doktorarbeit fort. L. Bergmann untersuchte in ihrer Doktorarbeit die Weglängenabhängigkeit des Parton-Energieverlusts mittels Zwei-Teilchen-Korrelationen relativ zur Reaktionsebene. Ihre Doktorarbeit steht kurz vor dem Abschluss.

Bei der Messung thermischer direkter Photonen aus dem Quark-Gluon-Plasma wurden bedeutende Fortschritte erzielt. Durch eine neue Kalibrationsmethode konnte die Unsicherheit des Materialbudgets bei der Messung von Photonen über Photon-Konversion im Detektormaterial

von 4.5% auf 2.5% deutlich reduziert werden, was im Journal of Instrumentation (JINST) publiziert wurde. M. Danisch schloss ihre Doktorarbeit zu direkten Photonen in PbPb-Kollisionen im Datensatz von 2015 ab. Die entsprechende Publikation steht kurz vor der Fertigstellung. M. Kroesen entwickelte in seiner Doktorarbeit einen neuen, auf maschinellem Lernen basierenden Rekonstruktions-Algorithmus für die Photonenmessung mit dem TRD. S. Stiefelmaier hat die Analyse der Run 2 PbPb-Daten von 2018 vorangetrieben, wobei die statistischen und systematischen Fehler weiter reduziert werden konnten. Eine ML basierte Analyse desselben Datensatzes erlaubt, die Signifikanz noch zu erhöhen. Die gefundenen sehr kleinen Signale direkter Photonen können gut durch State-of-the-Art-Modellrechnungen beschrieben werden. Die Messungen von Photonen der Heidelberger Gruppe basiert auf der Rekonstruktion sekundärer Vertizes, die aus der der Konversion von Photonen im Detektormaterial stammen. Dieses Knowhow bezüglich der Rekonstruktion sekundärer Vertizes hat A. Bórquez in der Doktorarbeit verwendet, um in den 2018 PbPb-Daten nach einem hypothetischen Sechsquark-Zustand (Sexaquark, Quarkinhalt $uuddss$) zu suchen. Das von Theoretikern vorhergesagte Sexaquark wäre ein bislang unentdecktes Teilchen der starken Wechselwirkung und zudem auch ein möglicher Kandidat für ein Teilchen dunkler Materie. A. Bórquez hat die vollständige Analyse zur Suche nach Sexaquarks implementiert und die Ergebnisse werden mit Spannung erwartet. Im Forschungsbereich der Charm- und Beauty-Quarks wurden verschiedene bedeutende Studien durchgeführt. M.J. Kim untersuchte in ihrer Doktorarbeit die Produktion von Quarkonia in pPb-Kollisionen bei $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV. Die Ereignisse wurden durch den Übergangsstrahlungsdetektors auf Level 1 getriggert. Die Daten werden sehr gut mit neuesten Gluonen-Verteilungen im Bleikern beschrieben, was im Journal of High Energy Physics (JHEP) veröffentlicht wurde. J.J. Seo analysierte erstmals bei Mid-Rapidität $\psi(2S)$ -Produktion in pp-Kollisionen bei 13 TeV, wobei auch hier TRD-getriggerte Daten analysiert wurden. Die entsprechende Veröffentlichung ist im Kollaborationsreview. In diesem Zusammenhang sollten vorbereitende Studien der Trigger-Performanz und der verbundenen systematischen Unsicherheiten im Rahmen der Bachelorarbeiten von F. Waldherr und H. Gebhardt erwähnt werden. B. Zhang leistete wichtige Beiträge zur Messung des elliptischen Flusses nicht-prompter D^0 -Mesonen in PbPb-Kollisionen. F. Zanone hat erfolgreich Baryonen mit Charm-Quarks in Run 3 pp-Daten rekonstruiert. Im Bereich der Fluktuationen von Erhaltungsgrößen wurden die Kumulanten der dritten Ordnung in der Netto-Protonenzahlverteilung veröffentlicht (Phys. Lett. B, 2023). I. Fokin implementierte komplexe Methoden zur Korrektur der begrenzten Detektorauflösung und -Effizienz und hat die Messung des Kumulanten vierter Ordnung der Netto-Protonenzahlverteilung sehr weit vorangetrieben (Ergebnisse sind rechtzeitig für Quarkmatter 2025 im April erwartet). B. Zhang studiert die Fluktuationen von Netto-Strangeness anhand von Kaonen, wobei insbesondere die Korrelationen durch Resonanzzerfall genau berücksichtigt werden müssen.

Teilprojekt 2:

Im Rahmen der besetzten Stelle wurden die 2023 aufgenommenen PbPb- und pp-Daten umfassend hinsichtlich der transversalen Impulsauflösung von primären und sekundären Teilchen-

spuren sowie von gut bekannten rekonstruierten Zerfällen untersucht. Die Ergebnisse dienen als differenziertes Feedback zur Weiterentwicklung der Daten-Rekonstruktion und -Kalibrierung und trugen dadurch direkt zur schrittweisen Verbesserung der allgemeinen Datenqualität bei. Die Analysearbeit des Teilprojektes fokussiert sich auf die genaue Rekonstruktion von Hadronen mit Strangeness, insbesondere des Dreikörper-Zerfalls des Hypertritiums. Dazu wurde im ersten Schritt die Implementierung der Aufnahme von Spuren, die von Hypertritium stammen, im innersten Teil des ITS Detektors abgeschlossen. Es wurde gezeigt, dass diese neue Messtechnik die Ortsauflösung dieser gemessenen Teilchenspuren am primären Interaktionsvertex signifikant verbessert und den Hintergrund der Rekonstruktion stark reduziert. Dies ist von fundamentaler Bedeutung für die erfolgreiche Rekonstruktion und Analyse des Dreikörper-Zerfalls des Hypertritiums. Die Implementierung des entsprechenden Analyse-Codes im ALICE Run 3 Software Framework O2 wurde inzwischen erfolgreich abgeschlossen und die Analyse der neu aufgenommenen Run 3 pp- und PbPb-Daten läuft zur Zeit. Es wird erwartet, dass die oben genannte neue Messtechnik zusammen mit der hohen Auflösung der Sekundärvertex-Rekonstruktion die erste Messung des Hypertritium Dreikörper-Zerfalls in ALICE pp- und PbPb-Daten ermöglichen werden.

5.3 Studien zu ALICE 3

Was den Letter-of-Intent für den Upgrade zu ALICE 3 Ende 2022 angeht, war die Gruppe intensiv bei der Erarbeitung des Konzepts und der physikalischen Ziele beteiligt. Dies involvierte auch verschiedene Monte-Carlo Simulationen zur Optimierung. Der LOI wurde von den zuständigen CERN-Gremien sehr positiv begutachtet. Ähnlich war die Gruppe auch bei dem im letzten Jahr erstellten "Scoping Document" und den internen Reviews beider Dokumente involviert. Insbesondere war die Heidelberger Gruppe führend in der Ausarbeitung eines Programms und Subdetektors zur Messung von 'Low'-Photonen beteiligt (K. Reygers (Vorsitz), P. Braun-Munzinger, K. Schweda, J. Stachel, M. Völkl, C. van Veen). Zu dem Thema haben Messungen der vergangenen 40 Jahre zu einer verwirrenden Situation geführt, in dem ein fundamentales Theorem (Low-Theorem) in Widerspruch zu bisherigen Daten steht. Die Möglichkeit einer Messung am LHC bietet signifikante Vorteile und hat erhebliches theoretisches Interesse hervorgerufen (10+ Veröffentlichungen). Die Thematik wurde in einer EMMI Rapid Reaction Force gemeinsam von theoretischen Physikern und ALICE Mitgliedern bearbeitet. Das entsprechende Dokument wurde kurz nach seinem Erscheinen auf dem arXiv zur Veröffentlichung in Physics Reports ausgewählt und dort veröffentlicht. Dies bildet eine solide Grundlage für die künftige Messung in ALICE 3. Die Doktorarbeit von C. van Veen befasst sich mit der Optimierung des dafür vorgesehenen Subdetektors, des Forward Conversion Trackers (FCT).

Was die konkrete Vorbereitung des Detektors angeht, ist die Heidelberger Gruppe beteiligt an den Vorstudien für die mechanischen Strukturen und die Kühlung der CMOS-MAPS Outer Trackers (B. Windelband, D. Sigmund, P. Glässel). Erste Rechnungen zur mechanischen Stabilität wurden durchgeführt und es gibt erste Ergebnisse zur Montage im zentralen Barrel zur Anordnung von Chip-Modulen auf Leitern. Erste Prototypen sind in Herstellung. Für eine mögliche se-

rielle Spannungsversorgung der Leitern wurden Shunt-Regulatoren untersucht und Simulations-PCBs mit Heizelementen und Temperatúrauslese hergestellt (V. Angelov und Elektronikwerkstatt). Diese wurden für Kühlungstests mit Luftkühlung mit einer 'dummy' Modul- und Leiterstruktur eingesetzt (Bachelorarbeit von H. Rainer mit P. Glässel), die bereits sehr ermutigende Ergebnisse zeigen. Hier gibt es eine enge Zusammenarbeit mit der Gruppe von der TU München. Da die beantragten Personalmittel in Höhe von 18 Personenmonaten in der Förderperiode nicht bewilligt werden konnten, konnte nur auf anderweitig finanzierte Personpower zurückgegriffen werden und der Fortschritt war entsprechend langsamer.

5.4 Sonstiges

- Y. Pachmayer fungierte als Chair des ALICE Editorial Boards, K. Reygers ist Mitglied des Conference Committees.
- M. Völkl agierte als Coconvenor der 'heavy flavor lepton' Physics Analysis Group (PAG), V. Feuillard war Coconvenor der 'quarkonia to ee' PAG, M. Danisch war Coconvenor der 'photons and neutral mesons' PAG, R. Schicker war Coconvenor der 'diffraction' PAG, K. Reygers ist Koordinator für den ALICE 3 Forward Conversion Tracker sowie Koordinator der ALICE 3 Working Group für Photonen und Elektronen.
- Mitglieder der Gruppe dienten als Mitglieder in zahlreichen Paper Committees und Internal Review Committees.
- Die Gruppe war in zahlreichen 'outreach' Aktivitäten engagiert und sichtbar.

6. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeiten der Gruppe sind für den reibungslosen Betrieb von ALICE am LHC notwendig. Insbesondere waren die Arbeiten am TPC-Upgrade und an TRD-Wartung und -Upgrade Voraussetzung dafür, dass in Run 3/Run 4 PbPb-Kollisionen kontinuierlich mit einer Rate von 50 kHz aufgenommen werden können. Dies gibt Zugang zu bisher nicht möglichen Messungen. Die Datenanalysen sind zu einer Charakterisierung des QGP und das Verständnis des Phasenübergangs zwischen hadronischer Materie und dem QGP notwendig.

7. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit der Ergebnisse

Der Nutzen dieses Projekts in der Grundlagenforschung ist Erkenntnisgewinn. Die Verwertung der Ergebnisse besteht primär in der Veröffentlichung in der Allgemeinheit zugänglichen Zeitschriften mit "Open Access" bzw. in der Verbreitung der Ergebnisse in Vorträgen auf wissenschaftlichen Konferenzen. Des Weiteren geht es um die Ausbildung von hochqualifizierten jungen Wissenschaftlern, die entweder in der Wissenschaft oder, dominant, in der Wirtschaft ihre Kenntnisse und Fähigkeiten zur Anwendung bringen oder weiterentwickeln können. Die Forschungsergebnisse finden Eingang in die Erziehung einer naturwissenschaftlich gebildeten Jugend, und dienen damit der Allgemeinheit.

8. Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es wurden keine Ergebnisse bekannt, die für die Durchführung des Vorhabens relevant waren. Insbesondere wurden kein Fortschritt bekannt, der den Erfolg oder die Relevanz dieses Vorhabens beeinträchtigt oder geschmälert hat.

9. Erfolgte und geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

9.1 Referierte Publikationen in Fachzeitschriften

1. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Soft-dielectron excess in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Rev. Lett. **127** (2021) 042302, arXiv:2005.14522 [nucl-ex]
2. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Pseudorapidity distributions of charged particles as a function of mid and forward rapidity multiplicities in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02, 7$ and 13 TeV, Eur. Phys. J. C **81** (2021) 7, 630, arXiv:2009.09434 [nucl-ex]
3. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of muons from heavy-flavour hadron decays at high transverse momentum in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ and 2.76 TeV, Phys. Lett. B **820** (2021) 136558, arXiv:2011.05718 [nucl-ex]
4. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Υ production and nuclear modification at forward rapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **822** (2021) 136579, arXiv:2011.05758 [nucl-ex]
5. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Jet-associated deuteron production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Lett. B **819** (2021) 136440, arXiv:2011.05898 [nucl-ex]
6. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Jet fragmentation transverse momentum distributions in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **09** (2021) 211, arXiv:2011.05904 [nucl-ex]
7. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Λ_c^+ production and baryon-to-meson ratios in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV at the LHC, Phys. Rev. Lett. **127** (2021) 202301, arXiv:2011.06078 [nucl-ex]
8. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Λ_c^+ production in pp and in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **104** (2021) 054905, arXiv:2011.06079 [nucl-ex]
9. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Inclusive heavy-flavour production at central and forward rapidity in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV, Phys. Lett. B **819** (2021) 136437, arXiv:2011.06970 [nucl-ex]

10. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiharmonic Correlations of Different Flow Amplitudes in Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, Phys. Rev. Lett. **127** (2021) 092302, arXiv:2101.02579 [nucl-ex]
11. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of coherent ρ_0 photoproduction in ultra-peripheral Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV, Phys. Lett. B **820** (2021) 136481, arXiv:2101.02581 [nucl-ex]
12. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of pions, kaons, (anti-)protons and ϕ mesons in Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV, Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.7, 584, arXiv:2101.03100 [nucl-ex]
13. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Coherent J/ψ and ϕ' photoproduction at midrapidity in ultra-peripheral Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.8, 712, arXiv:2101.04577 [nucl-ex]
14. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of mixed harmonic cumulants in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **818** (2021) 136354, arXiv:2102.12180 [nucl-ex]
15. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Exploring the $N\Lambda$ - $N\Sigma$ coupled system with high precision correlation techniques at the LHC, Phys. Lett. B **833** (2022) 137272, arXiv:2104.04427 [nucl-ex]
16. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Energy dependence of ϕ meson production at forward rapidity in pp collisions at the LHC, Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.8, 772, arXiv:2105.00713 [nucl-ex]
17. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of Λ and K_S^0 in jets in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5$ TeV and pp collisions at $\sqrt{s} = 7$ TeV, Phys. Lett. B **827** (2022) 136984, arXiv:2105.04890 [nucl-ex]
18. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurements of N -subjettiness in central Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, JHEP **10** (2021) 003 arXiv:2105.04936 [nucl-ex]
19. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Inclusive, prompt and non-prompt J/ψ production at midrapidity in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **06** (2022) 011, arXiv:2105.04957 [nucl-ex]
20. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the cross sections of Ξ_c^0 and Ξ_c^+ baryons and branching-fraction ratio $BR(\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^- e^+ \nu_e)/BR(\Xi_c^0 \rightarrow \Xi^- \pi^+)$ in pp collisions at 13 TeV, Phys. Rev. Lett. **127** (2021) 272001, arXiv:2105.05187 [nucl-ex]
21. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigating the role of strangeness in baryon–antibaryon annihilation at the LHC, Phys. Lett. B **829** (2022) 137060, arXiv:2105.05190 [nucl-ex]

22. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Experimental Evidence for an Attractive p - ϕ Interaction, Phys. Rev. Lett. **127** (2021) 172301, arXiv:2105.05578 [nucl-ex]
23. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the production cross section of prompt Ξ_c^0 baryons at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, JHEP **10** (2021) 159, arXiv:2105.05616 [nucl-ex]
24. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Kaon–proton strong interaction at low relative momentum via femtoscopy in Pb–Pb collisions at the LHC, Phys. Lett. B **822** (2021) 136708, arXiv:2105.05683 [nucl-ex]
25. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Charged-particle multiplicity fluctuations in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.11, 1012, arXiv:2105.05745 [nucl-ex]
26. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of $K^*(892)^\pm$ production in inelastic pp collisions at the LHC, Phys. Lett. B **828** (2022) 137013, arXiv:2105.05760 [nucl-ex]
27. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Charm-quark fragmentation fractions and production cross section at midrapidity in pp collisions at the LHC, Phys. Rev. D **105** (2022) L011103, arXiv:2105.06335 [nucl-ex]
28. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Direct observation of the dead-cone effect in QCD, Nature **605** (2022) 440, arXiv:2106.05713 [nucl-ex]
29. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of prompt D^0 , Λ_c^+ , and $\Sigma_c^{0,++}(2455)$ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Rev. Lett. **128** (2022) 012001, arXiv:2106.08278 [hep-ex]
30. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of $K^*(892)^0$ and $\phi(1020)$ in pp and Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **106** (2022) 034907, arXiv:2106.13113 [nucl-ex]
31. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Hypertriton production in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. Lett. **128** (2022) 252003 arXiv:2107.10627 [nucl-ex]
32. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Anisotropic flow of identified hadrons in Xe–Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV, JHEP **10** (2021) 152, arXiv:2107.10592 [nucl-ex]
33. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of very forward energy and particle production at midrapidity in pp and p–Pb collisions at the LHC, JHEP **08** (2022) 086, arXiv:2107.10757 [nucl-ex]
34. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of the groomed and ungroomed jet angularities in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, JHEP **05** (2022) 061, arXiv:2107.11303 [nucl-ex]

35. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Polarization of Λ and $\bar{\Lambda}$ hyperons along the beam direction in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. Lett. **128** (2022) 172005, arXiv:2107.11183 [nucl-ex]
36. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], K_S^0 - and (anti-) Λ -hadron correlations in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Eur. Phys. J. C **81** (2021) no.10, 945, arXiv:2107.11209 [nucl-ex]
37. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the groomed jet radius and momentum splitting fraction in pp and Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. Lett. **128** (2022) 102001, arXiv:2107.12984 [nucl-ex]
38. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Inclusive J/ψ production at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Eur. Phys. J. D **81** (2021) 1121, arXiv:2108.01906 [nucl-ex]
39. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Prompt and non-prompt J/ψ production cross sections at midrapidity in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV, JHEP **03** (2022) 190, arXiv:2108.02523 [nucl-ex]
40. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of light (anti)nuclei in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, JHEP **01** (2022) 106, arXiv:2109.13026 [nucl-ex]
41. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Inclusive quarkonium production in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 61, arXiv:2109.15240 [nucl-ex]
42. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of inclusive charged-particle b-jet production in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **01** (2022) 178, arXiv:2110.06104 [nucl-ex]
43. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], General balance functions of identified charged hadron pairs of (π , K, p) in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, Phys. Lett. B **833** (2022) 137338, arXiv:2110.06566 [nucl-ex]
44. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Prompt D^0 , D^+ , and D^{*+} production in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **01** (2022) 174, arXiv:2110.09420 [nucl-ex]
45. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigating charm production and fragmentation via azimuthal correlations of prompt D mesons with charged particles in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Eur. Phys. J. C **82** (2022) 335, arXiv:2110.10043 [nucl-ex]
46. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of prompt D_s^+ -meson production and azimuthal anisotropy in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **827** (2022) 136986, arXiv:2110.10006 [nucl-ex]
47. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], $K^*(892)^0$ and $\phi(1020)$ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV, Phys. Rev. C **107** (2023) 055201, arXiv:2110.10042 [nucl-ex]

48. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Characterizing the initial conditions of heavy-ion collisions at the LHC with mean transverse momentum and anisotropic flow correlations, Phys. Lett. B **834** (2022) 137393, arXiv:2111.06106 [nucl-ex]
49. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], $K_S^0 K_S^0$ and $K_S^0 K^\pm$ femtoscopy in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV, Phys. Lett. B **833** (2022) 137335, arXiv:2111.06611 [nucl-ex]
50. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Observation of a multiplicity dependence in the p_T -differential charm baryon-to-meson ratios in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Lett. B **829** (2022) 137065, arXiv:2111.11948 [nucl-ex]
51. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of light (anti)nuclei in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **82** (2022) 289, arXiv:2112.00610 [nucl-ex]
52. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Constraining hadronization mechanisms with \square_c^+/D^0 production ratios in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **839** (2023), 137796 arXiv:2112.08156 [nucl-ex]
53. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Forward rapidity J/ψ production as a function of charged-particle multiplicity in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV, JHEP **06** (2022) 015, arXiv:2112.09433 [nucl-ex]
54. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Neutral to charged kaon yield fluctuations in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, Phys. Lett. B **832** (2022) 137242, arXiv:2112.09482 [nucl-ex]
55. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First study of the two-body scattering involving charm hadrons, Phys. Rev. D **106** (2022) 052010, arXiv:2201.05352 [nucl-ex]
56. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Nuclear modification factor of light neutral-meson spectra up to high transverse momentum in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV, Phys. Lett. B **827** (2022) 136943, arXiv:2104.03116 [nucl-ex]
57. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of beauty production via non-prompt D^0 mesons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **12** (2022) 126, arXiv:2202.00815 [nucl-ex]
58. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity dependence of charged-particle jet production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Eur. Phys. J. C **82** (2022) 516, arXiv:2202.01548 [nucl-ex]
59. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of the absorption of ${}^3\overline{\text{He}}$ nuclei in matter and impact on their propagation in the galaxy, Nature Physics **19** (2023) 61, arXiv:2202.01549 [nucl-ex]

60. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], ALICE luminosity determination for Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV, JINST **19** (2024) P02039, arXiv:2204.10148 [nucl-ex]
61. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Study of charged particle production at high p_{T} using event topology in pp p–Pb and Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **843** (2022) 137649 arXiv:2204.10157 [nucl-ex]
62. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of antideuteron number fluctuations at energies available at the Large Hadron Collider, Phys. Rev. Lett. **131** (2023) 041901, arXiv:2204.10166 [nucl-ex]
63. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the production of charm jets tagged with D^0 mesons in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV, JHEP **06** (2023) 133, arXiv:2204.10167 [nucl-ex]
64. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the J/ψ polarization with respect to the event plane in Pb-Pb collisions at the LHC, Phys. Rev. Lett. **131** (2023) 042303, arXiv:2204.10171 [nucl-ex]
65. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], System-size dependence of the charged-particle pseudorapidity density at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV for pp p-Pb and Pb-Pb collisions, Phys. Lett. B **845** (2023) 137730, arXiv:2204.10210 [nucl-ex]
66. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Elliptic flow of charged particles at midrapidity relative to the spectator plane in Pb-Pb and Xe-Xe collisions, Phys. Lett. B **846** (2023) 137453, arXiv:2204.10240 [nucl-ex]
67. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of the groomed jet radius and momentum splitting fraction with the soft drop and dynamical grooming algorithms in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, JHEP **05** (2023) 244, arXiv:2204.10246 [nucl-ex]
68. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of $\psi(2S)$ production as a function of charged-particle pseudorapidity density in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 8.16$ TeV with ALICE at the LHC, JHEP **06** (2023) 147, arXiv:2204.10253 [nucl-ex]
69. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of the Λ - Ξ interaction in proton-proton collisions at the LHC, Phys. Lett. B **844** (2023) 137223, arXiv:2204.10258 [nucl-ex]
70. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity and rapidity dependence of $K^*(892)^0$ and $\phi(1020)$ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 540, arXiv:2204.10263 [nucl-ex]

71. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of inclusive and leading subject fragmentation in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **05** (2023) 245, arXiv:2204.10270 [nucl-ex]
72. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of beauty-strange meson production in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV via non-prompt D_s^+ mesons, Phys. Lett. B **846** (2023) 137561, arXiv:2204.10386 [nucl-ex]
73. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Underlying-event properties in pp and p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **06** (2023) 023, arXiv:2204.10389 [nucl-ex]
74. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], W^\pm -boson production in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV and PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **05** (2022) 036, arXiv:2204.10640 [nucl-ex]
75. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Photoproduction of low- p_T J/ψ from peripheral to central Pb–Pb collisions at 5.02 TeV, Phys. Lett. B **846** (2023) 137467, arXiv:2204.10684 [nucl-ex]
76. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Dielectron production at midrapidity at low transverse momentum in peripheral and semi-peripheral Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **06** (2023) 024, arXiv:2204.11732 [nucl-ex]
77. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of Ω_c^0 production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Lett. B **846** (2023) 137625, arXiv:2205.13993 [nucl-ex]
78. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], $\Sigma(1385)^\pm$ resonance production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 351, arXiv:2205.13998 [nucl-ex]
79. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Constraining the $\bar{K}N$ coupled channel dynamics using femtoscopic correlations at the LHC, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 351, arXiv:2205.15176 [nucl-ex]
80. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Closing in on critical net-baryon fluctuations at LHC energies: cumulants up to third order in Pb–Pb collisions, Phys. Lett. B **844** (2023) 137545, arXiv:2206.03343 [nucl-ex]
81. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Towards the understanding of the genuine three-body interaction for p–p–p and p–p– Λ , Eur. Phys. J. A **59** (2023) 145, arXiv:2206.03344 [nucl-ex]
82. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Observation of flow angle and flow magnitude fluctuations in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV at the LHC, Phys. Rev. C **107** (2023) L051901, arXiv:2206.04574 [nucl-ex]

83. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Anisotropic flow and flow fluctuations of identified hadrons in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV, JHEP **05** (2023) 243, arXiv:2206.04587 [nucl-ex]
84. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], $f_0(980)$ production in inelastic pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **846** (2023) 137644, arXiv:2206.06216 [nucl-ex]
85. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of groomed-jet substructure of charm jets tagged by D^0 mesons in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Rev. Lett. **131** (2023) 192301, arXiv:2208.04857 [nucl-ex]
86. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Performance of the ALICE Electromagnetic Calorimeter, JINST **18** (2023) P08007, arXiv:2209.04216 [physics.ins-det]
87. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity dependence of Υ production at forward rapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, submitted to Phys. Lett. B, arXiv:2209.04241 [nucl-ex]
88. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Neutron emission in ultraperipheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **107** (2023) 064902, arXiv:2209.04250 [nucl-ex]
89. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the lifetime and Λ separation energy of ${}^3_{\Lambda}\text{H}$, Phys. Rev. Lett. **131** (2023) 102302, arXiv:2209.07360 [nucl-ex]
90. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], $\psi(2S)$ suppression in Pb-Pb collisions at the LHC, Phys. Rev. Lett. **131** (2023) 102302, arXiv:2210.08893 [nucl-ex]
91. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of azimuthal anisotropies at forward and backward rapidity with muons in high-multiplicity p-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 8.16$ TeV, Phys. Lett. B **846** (2023) 137782, arXiv:2210.08980 [nucl-ex]
92. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Search for the Chiral Magnetic Effect with charge-dependent azimuthal correlations in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.44$ TeV, Phys. Lett. B **856** (2024) 138862, arXiv:2210.15383 [nucl-ex]
93. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Jet-like correlations with respect to K_S^0 and Λ ($\bar{\Lambda}$) in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{\text{NN}}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 497, arXiv:2211.01197 [nucl-ex]
94. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], The ALICE experiment – A journey through QCD, Eur. Phys. J. C **84** (2024) 813, arXiv:2211.04384 [nucl-ex]
95. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the angle between jet axes in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV, JHEP **07** (2023) 201, arXiv:2211.08928 [nucl-ex]

96. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of K_S^0 , Λ ($\bar{\Lambda}$), Ξ^\pm and Ω^\pm in jets and in the underlying event in pp and p–Pb collisions, JHEP **07** (2023) 136, arXiv:2211.08936 [nucl-ex]
97. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Two-particle transverse momentum correlations in pp and p-Pb collisions at LHC energies, Phys. Rev. C **107** (2023) 054617, arXiv:2211.08979 [nucl-ex]
98. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of electrons from beauty-hadron decays in pp and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **108** (2023) 034906, arXiv:2211.13985 [nucl-ex]
99. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Light (anti)nuclei production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **107** (2023) 064904, arXiv:2211.14015 [nucl-ex]
100. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of Λ_c^+ production down to $p_T = 0$ in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **107** (2023) 064901, arXiv:2211.14032 [nucl-ex]
101. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], J/ψ production at midrapidity in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV, JHEP **07** (2023) 137, arXiv:2211.14153 [nucl-ex]
102. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigation of K^+K^- interactions via femtoscopy in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV at the LHC, Phys. Rev. C **107** (2023) 054904, arXiv:2211.15194 [nucl-ex]
103. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Enhanced deuteron coalescence probability in jets, Phys. Rev. Lett. **131** (2023) 042301, arXiv:2211.15204 [nucl-ex]
104. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity dependence of charged-particle production in pp p-Pb Xe-Xe and Pb-Pb collisions at the LHC, Phys. Lett. B **845** (2023) 138110, arXiv:2211.15326 [nucl-ex]
105. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Pseudorapidity densities of charged particles with transverse momentum thresholds in pp collisions at $\sqrt{s} = 5.02$ and 13 TeV, Phys. Rev. D **108** (2023) 072008, arXiv:2211.15364 [nucl-ex]
106. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of prompt and non-prompt D^{*+} vector meson spin alignment in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Lett. B **846** (2023) 137920, arXiv:2212.06588 [nucl-ex]
107. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Azimuthal anisotropy of jet particles in p-Pb and Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **08** (2024) 234 arXiv:2212.12609 [nucl-ex]
108. [ALICE Collaboration], Letter of intent for ALICE 3: A next-generation heavy-ion experiment at the LHC, arXiv:2211.02491 [physics.ins-det]

109. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of (anti)nuclei production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV, Phys. Lett. B **846** (2023) 137795, arXiv:2212.04777 [nucl-ex]
110. L. Jenkovszky, R. Schicker and I. Szanyi, Regge Models of Proton Diffractive Dissociation Based on Factorisation and Structure Functions, Entropy **24** (2022) 1001, arXiv:2303.00452
111. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Global polarization of $\Lambda\bar{\Lambda}$ hyperons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ and 5.02 TeV, Phys. Rev. C **101** (2020) 044611, Phys. Rev. C **105** (2022) 029902 (erratum), arXiv:1909.01281 [nucl-ex]
112. F. Gross, E. Klempt, S. J. Brodsky, A. J. Buras, V. D. Burkert, G. Heinrich, K. Jakobs, C. A. Meyer, K. Orginos and M. Strickland, *et al.* 50 Years of Quantum Chromodynamics, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 1125, arXiv:2212.11107 [hep-ph]
113. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Production of pions, kaons, and protons as a function of the relative transverse activity classifier in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, JHEP **06** (2023) 027, arXiv:2301.10120 [nucl-ex]
114. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Exploring the non-universality of charm hadronisation through the measurement of the fraction of jet longitudinal momentum carried by Λ_c^+ baryons in pp collisions, Phys. Rev. D **109** (2024) 072005, arXiv:2301.13798 [nucl-ex]
115. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Symmetry plane correlations in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 2.76$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 576, arXiv:2302.01234 [nucl-ex]
116. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], ALICE upgrades during the LHC Long Shutdown 2, JINST **19** (2024) P05062, arXiv:2302.01238 [physics.ins-det]
117. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the non-prompt D-meson fraction as a function of multiplicity in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, JHEP **10** (2023) 092, arXiv:2302.07783 [nucl-ex]
118. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Inclusive photon production at forward rapidities in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 661 arXiv:2303.00590 [nucl-ex]
119. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Azimuthal correlations of heavy-flavor hadron decay electrons with charged particles in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 741 arXiv:2303.00591 [nucl-ex]
120. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the Λ hyperon lifetime, Phys. Rev. D **108** (2023) 032009 arXiv:2303.00606 [nucl-ex]

121. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the radius dependence of charged-particle jet suppression in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{rmNN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **849** (2024) 138412, arXiv:2303.00592 [nucl-ex]
122. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Data-driven precision determination of the material budget in ALICE, JINST **18** (2023) P11032, arXiv:2303.15317 [physics.ins-det]
123. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of inclusive J/ψ pair production cross section in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Rev. C **108** (2023) 045203, arXiv:2303.13431 [hep-ex]
124. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Study of the p–p– K^+ and p–p– K^- dynamics using the femtoscopy technique, Eur. Phys. J. A **59** (2023) 298, arXiv:2303.13448 [nucl-ex]
125. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the angle between jet axes in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, submitted to Phys. Rev. Lett., arXiv:2303.13347 [nucl-ex]
126. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Inclusive and multiplicity dependent production of electrons from heavy-flavour hadron decays in pp and p-Pb collisions, JHEP **08** (2023) 006, arXiv:2303.13349 [nucl-ex]
127. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of inclusive J/ψ production at mid-rapidity and forward rapidity in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **849** (2024) 138451, arXiv:2303.13361 [nucl-ex]
128. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Higher-order correlations between different moments of two flow amplitudes in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **108** (2023) 055203, arXiv:2303.13414 [nucl-ex]
129. J. Alme *et al.* [ALICE TPC Collaboration], Correction of the baseline fluctuations in the GEM-based ALICE TPC, JINST **18** (2023) P11021, arXiv:2304.03881 [hep-ex]
130. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First polarisation measurement of coherently photoproduced J/ψ in ultra-peripheral Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, submitted to Phys. Lett. B, arXiv:2304.10928 [nucl-ex]
131. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Exclusive and dissociative J/ψ photoproduction, and exclusive dimuon production, in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV, Phys. Rev. D **108** (2023) 112004, arXiv:2304.12403 [nucl-ex]
132. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], First measurement of the $|t|$ -dependence of incoherent J/ψ photonuclear production, Phys. Rev. Lett. **132** (2024) 162302, arXiv:2305.06169 [nucl-ex]

133. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Energy dependence of coherent photonuclear production of J/ψ mesons in ultra-peripheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **10** (2023) 119, arXiv:2305.19060 [nucl-ex]
134. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Accessing the strong interaction between Λ baryons and charged kaons with the femtoscopy technique at the LHC, Phys. Lett. B **845** (2023) 138145, arXiv:2305.19093 [nucl-ex]
135. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the low-energy antitriton inelastic cross section, Phys. Lett. B **848** (2024) 138337, arXiv:2307.03603 [nucl-ex]
136. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of inclusive charged-particle jet production in pp and p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, JHEP **05** (2024) 041, arXiv:2307.10860 [nucl-ex]
137. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Pseudorapidity dependence of anisotropic flow and its decorrelations using long-range multiparticle correlations in Pb-Pb and Xe-Xe collisions, Phys. Lett. B **850** (2024) 138477, arXiv:2307.11116 [nucl-ex]
138. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of non-prompt D^0 -meson elliptic flow in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Eur. Phys. J. C **83** (2023) 1123, arXiv:2307.14084 [nucl-ex]
139. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Modification of charged-particle jets in event-shape engineered Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **851** (2024) 138584, arXiv:2307.14097 [nucl-ex]
140. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Study of flavor dependence of the baryon-to-meson ratio in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Rev. D **108** (2023) 112003, arXiv:2308.04873 [hep-ex]
141. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Charm production and fragmentation fractions at midrapidity in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, JHEP **12** (2023) 086, arXiv:2308.04877 [hep-ex]
142. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity-dependent production of $\Sigma(1385)^\pm$ and $\Xi(1530)^0$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, JHEP **05** (2024) 317, arXiv:2308.16116 [nucl-ex]
143. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Skewness and kurtosis of mean transverse momentum fluctuations at the LHC energies, Phys. Lett. B **850** (2024) 138541, arXiv:2308.16217 [nucl-ex]
144. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], $K^*(892)^\pm$ resonance production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. C **109** (2024) 044902, arXiv:2308.16119 [nucl-ex]

145. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Exploring the strong interaction of three-body systems at the LHC, *Phys. Rev. X* **14** (2024) 031051, arXiv:2308.16120 [nucl-ex]
146. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Probing the chiral magnetic wave with charge-dependent flow measurements in Pb-Pb collisions at the LHC, *JHEP* **12** (2023) 067, arXiv:2308.16123 [nucl-ex]
147. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Prompt and non-prompt J/ψ production at midrapidity in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, *JHEP* **02** (2024) 066, arXiv:2308.16125 [nucl-ex]
148. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of jet quenching using semi-inclusive hadron+jet distributions in pp and central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, *Phys. Rev. C* **110** (2024) 014906, arXiv:2308.16128 [nucl-ex]
149. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Observation of medium-induced yield enhancement and acoplanarity broadening of low- p_T jets from measurements in pp and central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, *Phys. Rev. Lett.* **133** (2024) 022301 arXiv:2308.16131 [nucl-ex]
150. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Search for jet quenching effects in high-multiplicity pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV via di-jet acoplanarity, *JHEP* **05** (2024) 229 arXiv:2309.03788 [hep-ex]
151. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], System-size dependence of the hadronic rescattering effect at energies available at the CERN Large Hadron Collider, *Phys. Rev. C* **109** (2024) 014911, arXiv:2308.16115 [nucl-ex]
152. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity and event-scale dependent flow and jet fragmentation in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV and in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, *JHEP* **03** (2024) 092, arXiv:2308.16591 [nucl-ex]
153. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Studying strangeness and baryon production mechanisms through angular correlations between charged Ξ baryons and identified hadrons in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, *JHEP* **09** (2024) 102, arXiv:2308.16706 [hep-ex]
154. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of long-range two-particle correlation over a wide pseudorapidity range in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.0$ TeV, *JHEP* **01** (2024) 199, arXiv:2308.16590 [nucl-ex]
155. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Dielectron production in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, submitted to *Phys. Rev. C*, arXiv:2308.16704 [nucl-ex]
156. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Charged-particle production as a function of the relative transverse activity classifier in pp, p-Pb, and Pb-Pb collisions at the LHC, *JHEP* **01** (2024) 199, arXiv:2310.07490 [nucl-ex]

157. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Femtoscopic correlations of identical charged pions and kaons in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with event-shape selection, Phys. Rev. C **109** (2024) 024915, arXiv:2310.07509 [nucl-ex]
158. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Light-flavor particle production in high-multiplicity pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV as a function of transverse sphericity, JHEP **05** (2024) 184, arXiv:2310.10236 [hep-ex]
159. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of (anti)alpha production in central Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **858** (2024) 138943, arXiv:2311.11758 [nucl-ex]
160. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Observation of abnormal suppression of $f_0(980)$ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **853** (2024) 138665, arXiv:2311.11786 [nucl-ex]
161. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Photoproduction of K^+K^- pairs in ultra-peripheral collisions, Phys. Rev. Lett. **132** (2024) 222303, arXiv:2311.11792 [nucl-ex]
162. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Multiplicity dependence of charged-particle intra-jet properties in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Eur. Phys. J. C **84** (2024) 1079, arXiv:2311.13322 [hep-ex]
163. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurements of chemical potentials in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Rev. Lett. **133** (2024) 092301, arXiv:2311.13332 [nucl-ex]
164. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Emergence of long-range angular correlations in low-multiplicity proton-proton collisions, Phys. Rev. Lett. **132** (2024) 172302, arXiv:2311.14357 [nucl-ex]
165. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Common femtoscopic hadron-emission source in pp collisions at the LHC, submitted to EPJC, arXiv:2311.14527 [hep-ph]
166. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigating the nature of the $K_0^*(700)$ state with $\pi^\pm K_S^0$ correlations at the LHC, Phys. Lett. B **856** (2024) 138915, arXiv:2312.12830 [hep-ex]
167. J. Alme *et al.* [ALICE TPC Collaboration], Signal shapes in multiwire proportional chamber-based TPCs, JINST **19** (2024) P02038 arXiv:2312.13781 [physics.ins-det]
168. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Studying the interaction between charm and light-flavor mesons, Phys. Rev. D **110** (2024) 032004, arXiv:2401.13541 [nucl-ex]
169. A. Andronic, P. B. Gossiaux, P. Petreczky, R. Rapp, M. Strickland, J. P. Blaizot, N. Brambilla, P. Braun-Munzinger, B. Chen and S. Delorme, *et al.*, Comparative study of quarkonium transport in hot QCD matter, Eur. Phys. J. A **60** (2024) 88, arXiv:2402.04366 [nucl-th]

170. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of beauty-quark production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV via non-prompt D mesons, JHEP **10** (2024) 110, arXiv:2402.16417 [hep-ex]
171. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Systematic study of flow vector fluctuations in $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV Pb-Pb collisions, Phys. Rev. C **109** (2024) 065202, arXiv:2403.15213 [nucl-ex]
172. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Exclusive four pion photoproduction in ultraperipheral Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, submitted to Phys. Lett. B, arXiv:2404.07542 [nucl-ex]
173. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of Ω_c^0 baryon production and branching-fraction ratio $\text{BR}(\Omega_c^0 \rightarrow \Omega^- e^+ \nu_e) / \text{BR}(\Omega_c^0 \rightarrow \Omega^- \pi^+)$ in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Phys. Rev. D **110** (2024) 032014, arXiv:2404.17272 [hep-ex]
174. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the impact-parameter dependent azimuthal anisotropy in coherent ρ^0 photoproduction in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **858** (2024) 139017, arXiv:2405.14525 [nucl-ex]
175. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Charm fragmentation fractions and $c\bar{c}$ cross section in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, EPJ C **84** (2024) 1286, arXiv:2405.14571 [nucl-ex]
176. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the production cross section of prompt Ξ_c^0 baryons in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, submitted to EPJC, arXiv:2405.14538 [nucl-ex]
177. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigating strangeness enhancement with multiplicity in pp collisions using angular correlations, JHEP **09** (2024) 204, arXiv:2405.14511 [hep-ex]
178. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigating strangeness enhancement in jet and medium via $\phi(1020)$ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, submitted to Phys. Rev. C, arXiv:2405.14491 [nucl-ex]
179. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of ${}^3_{\Lambda}$ H production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV, Phys. Lett. B **860** (2024) 139066, arXiv:2405.19839 [nucl-ex]
180. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Measurement of the production and elliptic flow of (anti)nuclei in Xe-Xe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.44$ TeV, Phys. Rev. C **110** (2024) 064901, arXiv:2405.19826 [nucl-ex]
181. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Probing strangeness hadronization with event-by-event production of multistrange hadrons, submitted to Phys. Rev. Lett., arXiv:2405.19890 [nucl-ex]

182. S. Acharya *et al.* [ALICE Collaboration], Investigating Λ baryon production in p-Pb collisions in jets and underlying event using angular correlations, arXiv:2405.19855 [nucl-ex]
183. L. Jenkovszky, R. Schicker and I. Szanyi, Dip-Bump Structure in Proton's Single Diffractive Dissociation at the Large Hadron Collider, Universe **10** (2024) 208, arXiv:2406.01735 [hep-ph]
184. N. J. Abdulameer *et al.* [PHENIX Collaboration], Jet modification via π^0 -hadron correlations in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV, Phys. Rev. C **110** (2024) 044901, arXiv:2406.08301 [nucl-ex]
185. R. Bailhache, D. Bonocore, P. Braun-Munzinger, X. Feal, S. Floerchinger, J. Klein, K. Köhler, P. Lebiedowicz, C. M. Peter and R. Rapp, *et al.*, Anomalous soft photons: Status and perspectives, Phys. Rept. **1097** (2024) 1-40, arXiv:2406.17959 [nucl-ex]

9.2 Andere Veröffentlichungen: Konferenzenbeiträge, soweit nicht unter den referierten Publikationen aufgeführt

1. V. Feuillard, Measurement of low-mass dileptons in ALICE (poster at Particles and Nuclei International Conference (PANIC2021), Lisbon, Portugal, Sept 2021), Proc. Particles and Nuclei International Conference (2022) 233
2. V. Feuillard, Overview of quarkonium production in ALICE, (25th Int. Conf. in Quantum Chromodynamics (QCD 22), Montpellier, France, July 2022), arXiv:2212.11524 [nucl-ex]
3. B. Z. Kopeliovich, M. Krelina, I. K. Potashnikova and K. Reygers, Modeling photon radiation in soft hadronic collisions (Proc. Diffraction and Low-x 2022, Corigliano, Italy, Sept 2022), Acta Phys. Polon. Supp. **16** (2023), arXiv:2212.03429 [hep-ph]
4. R. Schicker, L. Jenkovszky, Multiple pion pair production in a Regge-based model (Proc. Diffraction and Low-x conference 2022, Corigliano, Italy), Acta Phys. Polon. Supp. **16** (2023) 5, arXiv:2301.13137 [hep-ph]
5. V. Feuillard, $\psi(2S)$ production in Pb-Pb collisions measured by ALICE at the LHC, (Hard Probes 2023, Aschaffenburg, March 2023), PoS HardProbes2023 (2024) 083
6. V. Feuillard, Heavy-flavor production (Lepton Photon 2023, Melbourne, Australia, July 2023), <https://zenodo.org/records/8348921>
7. B. Zhang, Latest ALICE results on charm and beauty hadronization mechanisms and baryon production in hadronic collisions (EPS-HEP 2023, Hamburg, Deutschland, Aug 2023)

8. N. Grünwald, New measurements of inclusive jet suppression and jet v_2 in Pb–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ALICE (Proc 30th Int. Conf. on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions (Quark Matter 2023), Huston, USA, Sept 2023), EPJ Web of Conferences **296** (2024) 11005
9. I. Fokin, Studying magnetic fields in heavy-ion collisions using net-proton fluctuations with ALICE (poster at Quark Matter 2023, Huston, USA, Sept 2023), <https://indico.cern.ch/event/1139644/content>
10. R. Schicker, Strangeness production in double gap events in ALICE (Proc. 52nd Int. Symp. on Multiparticle Dynamics (ISMD2023), Aug 21-26, 2023, Gyöngyös, Hungary), arXiv:2312.01485
11. F. Zanone, Charmed baryon measurements in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13.6$ TeV with the ALICE Experiment in Run 3 (Erice Int. School of Subnuclear Physics, June 2024)
12. V. Feuillard, Heavy-flavor production and hadronization at the LHC (Large Hadron Collider Physics Conference (LHCP 2024), Boston, USA, June 2024), arXiv:2412.01336 [nucl-ex]

9.3 Bachelor- und Masterarbeiten, Doktorarbeiten

1. First look at J/Ψ production in TRD-triggered pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with ALICE, Sophie Rohletter, (Bachelorarbeit, Juli 2021)
2. Investigating the Initial State of Heavy-Ion Collisions through Measurements of Anisotropic Flow using Spectator Neutrons with ALICE at the LHC, Lukas Kreis, (Disseration, Oktober 2021)
3. Inclusive J/ψ production in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ALICE, Alena Gromada, (Doktorarbeit, November 2021)
4. Measurement of the Λ_c^+ production in proton-proton collisions for $\Lambda_c^+ \rightarrow pK_s^0$ at $\sqrt{s} = 5.02$ TeV with the ALICE detector, Simon Gross-Boelting, (Bachelorarbeit, November 2021)
5. Measurement of neutral mesons and direct photons in Pb-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ALICE at the LHC, Meike Danisch, (Doktorarbeit, Januar 2022)
6. Jet-hadron correlations to search for Mach cone signals in Pb-Pb collisions with ALICE at the LHC, Jiyoung Kim (Doktorarbeit, Februar 2022)
7. Phenomenological study of J/Ψ emission in p-Pb collisions at the LHC, Nicola Wilson (Bachelorarbeit, März 2022)
8. Measurement of prompt and non-prompt J/Ψ production in p-Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 8.16$ TeV with ALICE at the LHC, Minjung Kim (Doktorarbeit, Mai 2022)

9. ALICE TRD electron trigger performance in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Felix Korbinian Waldherr (Bachelorarbeit, Juli 2022)
10. Electron identification for J/Ψ analysis in ALICE with XGBoost, Lasse Bassermann (Bachelorarbeit, Juli 2022)
11. Estimated number of χ_c -states in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with ALICE in LHC Run 3, Carlotta Rosenthal (Bachelorarbeit, August 2022)
12. Measurement of Ξ_c^+ in proton-proton collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ALICE detector, Carolina Reetz (Masterarbeit, August 2022)
13. Identification of inelastic interactions of light antinuclei in the Transition Radiation Detector in ALICE using Graph Neural Networks, Maximilian Hammermann (Bachelorarbeit, August 2022)
14. Applicability of transverse mass scaling in proton-proton collisions at 13 TeV, Clara Ritva Schaefer (Bachelorarbeit, September 2022)
15. First look at $\Psi(2S)$ production in TRD triggered p-p collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV in ALICE, Lucas Eekhof (Bachelorarbeit, September 2022)
16. Analysis of the influence from prompt Ξ_c^+ hadrons on the primary vertex in simulated data, Jan Hubrich (Bachelorarbeit, September 2022)
17. Hydrodynamic modeling of J/Ψ transverse momentum spectra and anisotropic flow at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV using FluiduM, Hjalmar Brunßen (Bachelorarbeit, September 2022)
18. Software development and validation for photon measurements in Run 3 using the photon conversion method in ALICE, Nikita Philip Tatsch (Bachelorarbeit, September 2022)
19. Studies of jets in heavy ion collisions at ALICE with a novel mixed-event approach, Nadine Grünwald (Masterarbeit, Oktober 2022)
20. Neural network regression for particle identification with the ALICE TPC detector in Run 3, Christian Sonnabend (Masterarbeit, Dezember 2022)
21. Multidimensional parameter optimization in fluid dynamic simulations of heavy-ion collisions, Yannis Seemann (Masterarbeit, Dezember 2022)
22. Inner Bremsstrahlung from leptonic J/ψ decays with ALICE, Kristian Köhler (Bachelorarbeit, Dezember 2022)
23. Feasibility study of Ξ_c^+ in proton-lead collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with the ALICE detector, Sarah Liedtke, (Bachelorarbeit, Februar 2023)
24. First look at reconstructed data from pp collisions at $\sqrt{s} = 13.6$ TeV recorded with the upgraded ALICE detector, Victoria Santiago (Bachelorarbeit, Februar 2023)

25. Reconstruction of photon conversions using the ALICE transition radiation detector, Martin Kroesen (Doktorarbeit, März 2023)
26. Feasibility study of the non-prompt $\Lambda_c^+ \rightarrow pK^- \pi^+$ analysis in p–Pb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ALICE, Christian Kleiber (Bachelorarbeit, März 2023)
27. Electron identification with the ALICE TRD in LHC Run 3 and 4, Felix Schlepper, (Masterarbeit, April 2023)
28. Performance test of the KF Particle package for open heavy-flavour baryon reconstruction with ALICE, Phil Stahlhut (Bachelorarbeit, Juni 2023)
29. First look at J/ψ production in pp collisions at $\sqrt{s} = 13.6$ TeV recorded with the upgraded ALICE detector, Katharina Korf (Bachelorarbeit, Juli 2023)
30. Tracking low momentum protons with the ALICE Pixel Detector, Anouk Kaiser (Bachelorarbeit, August 2023)
31. Machine Learning Studies for the Sexaquark Search in ALICE using Boosted Decision Trees, Sven Hoppner (Masterarbeit, September 2023)
32. Determination of systematic uncertainties of the J/ψ measurement in ALICE TRD-triggered pp-collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV, Hannah Gebhardt, (Bachelorarbeit, Oktober 2023)
33. Applying machine learning tools to simulated Sexaquark data, André Meißner (Bachelorarbeit, Dezember 2023)
34. Air cooling tests for the Outer Tracker detector of ALICE 3, Henry Rainer (Bachelorarbeit, Januar 2024)
35. Developing an analysis task in O2Physics for detection of the χ_e in ALICE at the CERN LHC, Isabel Kantak (Bachelorarbeit, Januar 2024)
36. Using spectator neutrons to determine the fluctuating shapes of the QGP droplets created in heavy-ion collisions at the LHC, Michael Rudolf Ciupek (Doktorarbeit, Februar 2024)
37. Performance study on photon measurements using the Photon Conversion Method with ALICE in Run 3, Alica Enderich (Bachelorarbeit, Februar 2024)
38. Ξ -baryon reconstruction with ALICE in LHC Run 3 data, Tim Florian Weinreich (Bachelorarbeit, Juni 2024)

Kurzbericht

- öffentlich -

Zuwendungsempfänger:: Ruprecht-Karls- Universität Heidelberg

Projektleitung: Prof. Dr. Johanna Stachel

Verbund: ErUM-FSP 202

Thema: Verbundprojekt 05P21VHCA1 - Run 3 von ALICE am LHC: TRD und TPC Projekte, Untersuchung des Quark-Gluon-Plasmas am LHC

1. Ziel und Inhalt des Projektes

Ziel des Vorhabens ist die Untersuchung des Mediums, das in Kollisionen von Bleikernen am LHC am CERN produziert wird, des sogenannten Quark-Gluon Plasmas (QGP). Hierzu wird das Experiment ALICE am LHC betrieben.

Hauptziel der vergangenen Förderperiode war, das Experiment nach umfangreichen Upgrades in der vorigen Förderperiode mit Strahlen vom LHC mit wesentlich höherer Kollisionsrate in Betrieb zu nehmen. Insbesondere war das Ziel, mit ALICE in LHC Run 3 und 4 eine Datennahme mit 50 kHz Wechselwirkungsrate in Blei-Blei-Kollisionen zu realisieren. Hierbei ist die Heidelberger Gruppe insbesondere fuer den Betrieb und die Kalibrierung des Übergangsstrahlungsdetektors TRD und die optimale Spurrekonstruktion und Teilchenidentifizierung mit der Zeitprojektionskammer TPC verantwortlich. Ziel der Datennahme mit hoher Rate in Run 3 ist die genaue Messung bisher statistiklimitierter Signale des QGP und des Übergangs zwischen QGP und hadronischer Phase. Dazu soll auch eine wesentlich bessere Vermessung von primären und sekundären Vertizes dienen, insbesondere mit Sonden, die schwere Quarks involvieren, aber auch zur Messung der direkten thermischen Strahlung. Die dramatisch erhoehte Datenrate erfordert auch eine neue Online/Offline Software fuer die synchrone und asynchrone Rekonstruktion. Zugleich standen gut kalibrierte Daten des ALICE Experiments aus Run 2 des LHC zur Datenanalyse zur Verfügung. Auch war die Zeit reif, einen signifikanten Upgrade von ALICE fuer Runs 5 und 6 des LHC zu planen.

2. Ablauf und Ergebnisse des Vorhabens

Ab Mitte 2021 konnte das Experiment mit Pilotstrahlen des LHC in Proton-Proton-Kollisionen in Betrieb genommen werden. In einer ein-jaehrigen Phase bis zum offiziellen Start des Run 3 des LHC im Juli 2022 wurden die neuen Systeme des Experiments in Betrieb genommen, systematisch getestet, Kalibrationsprozeduren entwickelt und angewandt.

Um mit dem TRD die ursprünglich moegliche Datenrate von 400 Hz signifikant zu überschreiten, wurde auf ein neues Datenformat mit Auslese von auf dem Detektor berechneten Spursegmenten (Tracklets) anstatt Rohdaten umgestellt, dementsprechend wurde auch eine neue Teilchenidentifikation in der Detektor-Firmware und -Software implementiert. Im 50 kHz Blei-Blei-Betrieb mussten die Firmware und Software noch verbessert und robuster gemacht werden. Hierzu mussten auch verschiedene Fehlerkorrekturen fuer strahlungs-induzierte Effekte entwickelt und implementiert werden. Die Kalibrierung der verschiedenen Parameter des Detektors mit 1.15 Millionen Auslesekanälen wurde basierend auf dem Tracklet-Format neu entwickelt, die Daten werden in entsprechende Datenbanken eingespeist und automatisches Monitoring fuer den regulären sicheren Strahlbetrieb implementiert. Die Detektorsimulations- und

Teilchenidentifikations-Software wurde fuer die recheneffiziente O2-Umgebung und Detektorauslese neu programmiert.

Was die TPC betrifft, trug diese Gruppe zur Untersuchung der Signalform der GEM-basierten TPC sowie der Common-Mode- und Ion-Tail-Effekte bei. Auch lieferte sie in Zusammenarbeit mit den Teams von der Universität Frankfurt und der GSI essentielle Beiträge zur Korrektur und Überwachung von Raumladungseffekten, die durch die hohen Kollisionsraten die Ionisationsspuren erheblich verzerren. Dadurch wurde eine Reduktion der Spurverzerrungen um mehr als zwei Größenordnungen erreicht, und damit bereits die angestrebte Impulsauflösung weitgehend erreicht.

Fuer die Analyse der Daten im neuen O2 Format wurden zahlreiche Rekonstruktionsalgorithmen und Software-Pakete entwickelt und anhand der Daten getestet und optimiert. Dazu gehört die Rekonstruktion von Photonen über die Konversionsmethode, die bei kleinen Impulsen, die fuer die thermische Strahlung charakteristisch sind, alle anderen Techniken schlägt. Auch wurde Quarkonium-Produktion in Proton-Proton- und Proton-Blei-Kollisionen analysiert. Fuer Run 3 wurde eine neue Analysemethode entwickelt, die den Drei-Koerper-Zerfall von Hypertritium zugänglich machen wird.

Waehrend der Förderperiode konnten zahlreiche Physikanalysen der Run2 Messkampagne mit Blei-Blei-Kollisionen bei einer Schwerpunktsenergie von 5 TeV pro Nukleonpaar durchgeführt werden. Hier ging es schwerpunktmässig um die Wechselwirkung von Jets mit dem QGP, um die Analyse von Proben, die auf die Thematisierung und das 'Deconfinement' schwerer Quarks sensitiv sind, die Untersuchung von direkten Photonen und von Fluktuationen, die die Natur den Phasenübergangs charakterisieren. Ausserdem wurden 2 Analysen zu Charmonia in mit dem TRD getriggerte Datensätzen in Proton-Proton- und Proton-Blei-Kollisionen abgeschlossen. Die Analyse des Dreikoerperzerfalls von Hypertritium ist weit fortgeschritten.

3. Darstellung der wesentlichen Ergebnisse und deren konkreter Nutzen sowie ggf. die Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die oben beschriebenen Massnahmen führten dazu, dass der TRD im Strahlbetrieb von 2024 zu den verlässlichsten Detektorsystemen in ALICE gehörte. Die TPC mit GEM Ausleseammern kann stabil bei 50 kHz Blei-Blei-Kollisionen betrieben werden und elaborierte Massnahmen zur Korrektur von Raumladungseffekten erlauben akkurate Sprurekonstruktion. Der vollen Nutzung der in Run 3 und 4 vom LHC angebotenen Luminositaet steht damit nichts im Wege. Es wurden bereits 3.1 inverse Nanobarn Luminositaet oder 25 Milliarden Ereignisse fuer Blei-Blei-Kollisionen aufgenommen., deren Analyse jetzt mit hoher Internsitaet startete. Die Run 2 Physikanalysen wurden zum Teil soweit abgeschlossen, dass sie bereits in referierten Journalen veröffentlicht werden konnten. Im Berichtszeitraum wurden 25 Bachelor-, 6 Master- und 7 Doktorarbeiten im Heidelberger Team abgeschlossen. Die deutschen Teams arbeiten eng im ErUM-FSP zusammen. Auch die Zusammenarbeit mit anderen ALICE Teams innerhalb der Physics Analysis und Working Groups ist intensiv. Das Projekt fällt in den Bereich der Grundlagenforschung und als solches ist Wissensgewinn das Hauptziel. Die entwickelte Detektor- und Computing-Technologie haben breitere gesellschaftliche Relevanz, z.B. im medizinischen Imaging. Insbesondere ist die grosse Zahl gut ausgebildeter junger Wissenschaftler, die zum grossen Teil innerhalb von 5 Jahren in der Wirtschaft tätig sind, von grosser gesellschaftlicher Relevanz in vielen Bereichen.