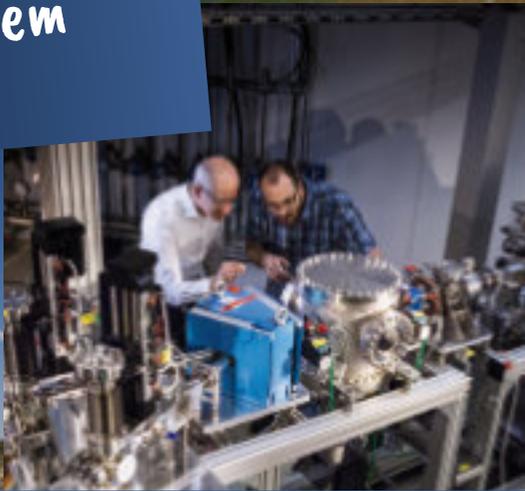


KCETA

KIT-ZENTRUM ELEMENTARTEILCHEN- UND ASTROTEILCHENPHYSIK (KCETA)

KCETA: Suche nach dem Code des Universums



Schon immer strebt die Menschheit danach, das Universum, seine Bestandteile und die Kräfte, die zwischen ihnen wirken, zu verstehen. Heute wissen wir, dass die Strukturen, die im Universum existieren, eng mit grundlegenden Wechselwirkungen zwischen Elementarteilchen verknüpft sind. Im KIT-Zentrum KCETA wird experimentelle und theoretische Forschung und Lehre an der Schnittstelle von Astrophysik, Elementarteilchenphysik und Kosmologie sowie der dazugehörigen Technologieentwicklung betrieben. KCETA ist damit eine einzigartige Plattform zur interdisziplinären Zusammenarbeit bei der Erforschung der kleinsten Bausteine der Materie und ihrer Wechselwirkungen sowie ihrer Bedeutung bei der Entstehung und der Evolution der größten Strukturen des Universums.

Mankind has always sought to understand the Universe, its components, and the forces acting between them. Today we know that the structures existing in the Universe are closely linked with fundamental interactions of elementary particles. The KIT Center KCETA bundles experimental and theoretical research and education at the interface between astrophysics, elementary particle physics and cosmology, as well as related technology development. KCETA is thus a unique platform for interdisciplinary collaboration in the study of the smallest building blocks of matter, their interactions, and their importance in the formation and evolution of the largest structures in the Universe.



www.kceta.kit.edu

KCETA-Wissenschaftler erforschen im Labor und an großen Experimenten wie die Welt im Größten und im Kleinsten aufgebaut ist.

KIT-ZENTRUM ELEMENTARTEILCHEN- UND ASTROTEILCHENPHYSIK (KCETA)

Kosmischen Superbeschleunigern auf der Spur

Ein Wasser-Cherenkov-Detektor vor einem Fluoreszenz-Teleskop in der argentinischen Pampa.
© Pierre-Auger-Observatorium



Das Pierre-Auger-Observatorium ist ein Experiment, wie es weltweit nur ganz wenige gibt. In der argentinischen Mendoza-Provinz wurde in 1500 Meter Höhe ein Detektorfeld in der Größe Luxemburgs (3000 km²) zusammen mit weiteren Teleskopen aufgebaut. Sie weisen sogenannte Luftschauren nach, Teilchenkaskaden, die durch die Interaktion von hochenergetischen Atomkernen mit Kernbausteinen in der oberen Atmosphäre entstehen. Die Herkunft der Atomkerne – auch kosmische Strahlung genannt – gibt noch 100 Jahre nach ihrer Entdeckung Rätsel auf, da die Entschlüsselung ihres Ursprungs noch in den Tiefen des Universums verborgen liegt und auf Entdeckung wartet.

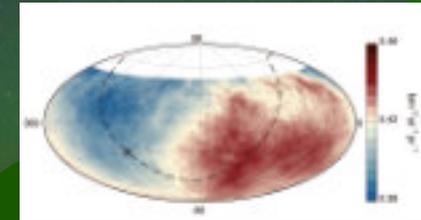
The Pierre Auger Observatory is an experiment in the Argentine province of Mendoza, where a 3000 km² detector array has been set up at an altitude of 1500 metres. They detect air showers, particle cascades that result from the interaction of high-energy atomic nuclei with nuclear building blocks in the upper atmosphere. The origin of these atomic nuclei – dubbed cosmic rays – is still a mystery as decoding of their origin is still hidden in the depths of the universe, awaiting discovery.

Der Nachthimmel über einem der vier Fluoreszenz-Teleskope des Pierre-Auger-Observatoriums in der argentinischen Pampa.
© Steven Saffi/Pierre-Auger-Observatorium



Rechts: Der rote Bereich zeigt an, woher ein Gutteil der Strahlung stammt – und das ist nicht das Zentrum unserer Milchstraße (mit einem Stern markiert), sondern fremde Galaxien.
© Pierre-Auger-Observatorium

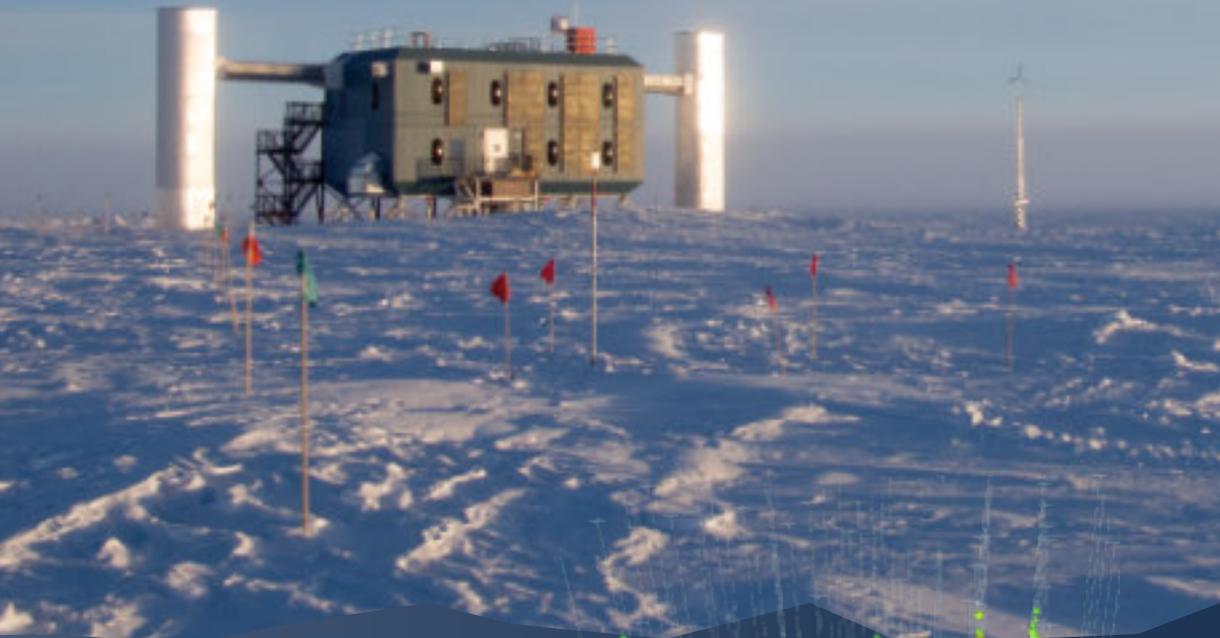
Rechts: Der rote Bereich zeigt an, woher ein Gutteil der Strahlung stammt – und das ist nicht das Zentrum unserer Milchstraße (mit einem Stern markiert), sondern fremde Galaxien.



KOSMISCHE STRAHLUNG



Die kalte Jagd nach heißen Neutrinos



Das Neutrino Observatorium IceCube befindet sich am Südpol und besteht aus optischen Modulen, die über einen Kubikkilometer verteilt tief im arktischen Eis vergraben sind. Die gemessenen hochenergetischen Neutrinos sind ausgezeichnete kosmische Boten, die extreme astrophysikalische Quellen anzeigen und Einblick in die physikalischen Prozesse im Universum geben. An der Oberfläche befindet sich das Detektorfeld IceTop, das aus 162 Eis-Cherenkovtanks besteht. Es ermöglicht das Studium von kosmischen Luftschauern und dient als Veto für astrophysikalische Ereignisse. Unsere Gruppe am KIT arbeitet auch an der nächsten Generation des IceCube Experiments, IceCube-Gen2.

IceCube is a neutrino observatory located at the South Pole consisting of optical modules within a cubic kilometer of Antarctic ice. High-energy neutrinos are great cosmic messengers pointing to the extreme astrophysical sources and giving insight into the physical processes in our Universe. The surface part of IceCube, IceTop, including 162 ice Cherenkov tanks enables the study of cosmic-ray air showers and acts as a veto for astrophysical events. Our group at KIT also works in the frame of the next generation of the IceCube experiment, IceCube-Gen2.



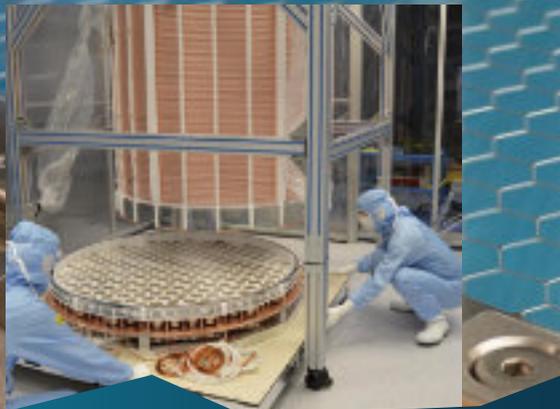
© Bilder: IceCube Collaboration

www.iap.kit.edu/icecube

HOCHENERGIE NEUTRINO-ASTRONOMIE

Die große Unbekannte: Dunkle Materie

Entwicklung von Hochspannungselektroden
© IAP / KIT



Montage des XENONnT-Detektors
© XENON Collaboration

Rund 82% der Materie im Universum sind unbekannt. Die Erforschung dieser „Dunklen Materie“ ist eines der größten Rätsel der Physik, da keines der uns bekannten Elementarteilchen aufgrund seiner Eigenschaften für die Dunkle Materie in Frage kommt. Am KIT arbeiten wir an verschiedenen Experimenten, um hypothetische Dunkle-Materie-Teilchen nachzuweisen. Wir entwickeln z.B. hochsensible Instrumente für Detektoren basierend auf flüssigem Xenon, die nach extrem seltenen Wechselwirkungen zwischen dunkler und normaler Materie suchen. Wir forschen auch in theoretischer Physik an Modellen für Dunkle Materie und berechnen beobachtbare Effekte dieser Modelle.

About 82% of the matter in the universe is unknown. The investigation of this “dark matter” is one of the greatest puzzles in physics. At KIT, we develop for example highly sensitive instruments for detectors based on liquid xenon that search for extremely rare interactions between dark and normal matter.

We also conduct research in theoretical physics on dark matter models and calculate observable effects of these models.



Installation von XENONnT
unter Tage am LNGS
© XENON Collaboration



www.iap.kit.edu/dm
www.iap.kit.edu/astroparticle_theory

DUNKLE MATERIE

Die Mathematik hinter den elementaren Teilchen

Die grundlegenden Bausteine der Materie, die Elementarteilchen, werden durch das sogenannte „Standardmodell“ beschrieben, welches Information zu den Eigenschaften dieser Teilchen und deren Wechselwirkungen liefert. Die mathematische Formulierung beruht auf der Quantenfeldtheorie, einer Synthese von Quantenmechanik und spezieller Relativitätstheorie. Forscherinnen und Forscher am KIT führen komplexe Rechnungen durch, sowohl innerhalb des Standardmodells als auch jenseits davon, um mehr über grundlegende Naturgesetze und Naturkonstanten herauszufinden.

The fundamental building blocks of matter, the elementary particles, are described by the Standard Model, which provides information about their properties and interactions. Its mathematical formulation uses the framework of quantum field theory, a combination of quantum mechanics and special relativity. Researchers at KIT perform complex calculations within the Standard Model and its extensions to extract fundamental laws and constants of nature.

LEPTONS		QUARKS	
 Electron Mass 0,0005 GeV	 Electron-Neutrino Mass unknown	 Up Mass 0,004 GeV	 Down Mass 0,007 GeV
 Muon Mass 0,1 GeV	 Muon-Neutrino Mass unknown	 Charm Mass 1,5 GeV	 Strange Mass 0,15 GeV
 Tau Mass 1,8 GeV	 Tau-Neutrino Mass unknown	 Top Mass 174 GeV	 Bottom Mass 4,7 GeV
Atomic Nucleus 	Atom 	Radioactivity 	Solar System 
RELEVANT FORCE PARTICLE			
Gluon Mass 0	Photon Mass 0	W and Z Boson Mass 80,4 GeV (W) 91,2 GeV (Z)	Graviton Mass 0



Vom Higgs-Teilchen zur Dunklen Materie



Wie verhält sich das Higgs-Teilchen? Woraus besteht Dunkle Materie? Diese und weitere Fragen zu den kleinsten Bausteinen der Natur und ihren Wechselwirkungen untersuchen wir in an den leistungsfähigsten Teilchenbeschleunigern der Welt: Das KIT ist am CMS-Experiment am CERN bei Genf beteiligt, das Kollisionen von Protonen bei den höchsten Energien am Large Hadron Collider (LHC) aufzeichnet. Das Belle II-Experiment am KEK in Japan untersucht Kollisionen von Elektronen und Positronen bei den höchsten Intensitäten. Kleinere Experimente mit Teilchenstrahlen am DESY (LUXE) und am CERN (SHADOWS) sind in Vorbereitung.

How does the Higgs particle behave? What does dark matter consist of? We investigate these and further questions about the smallest building blocks of nature at the most powerful particle accelerators in the world: KIT is involved in the CMS experiment at CERN, which records collisions of protons at the highest energies at the Large Hadron Collider (LHC). The Belle II experiment in Japan studies collisions of electrons and positrons at the highest intensities. Smaller experiments with particle beams at DESY (LUXE) and at CERN (SHADOWS) are in preparation.

© 2019 CERN, for the benefit of the CMS Collaboration

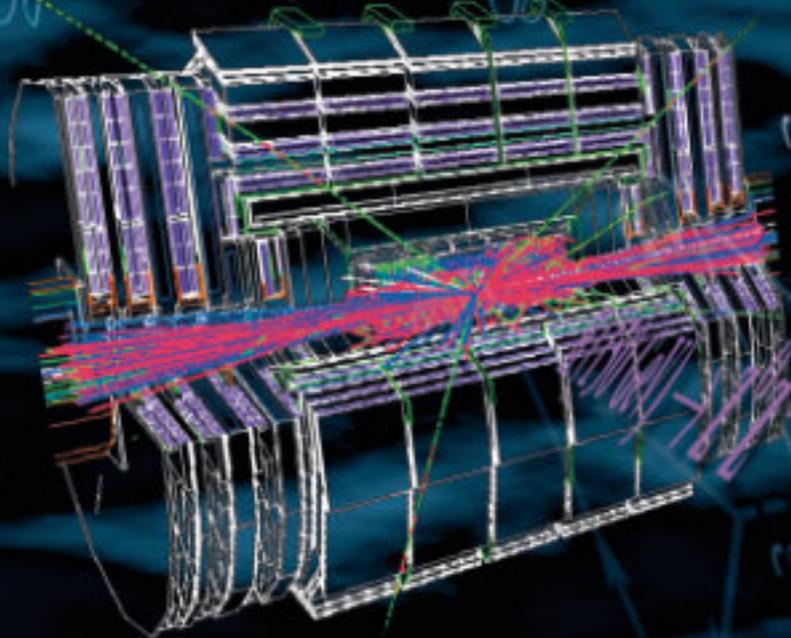


www.etp.kit.edu/forschung.php

Der CMS-Detektor
© Michael Hoch / CERN

TEILCHENPHYSIK AM BESCHLEUNIGER

Detektivspiel am Large Hadron Collider



Informationen über bekannte oder noch unbekannte Kräfte zwischen Elementarteilchen werden durch Experimente gewonnen, bei denen Teilchen mit sehr hohen Energien zur Kollision gebracht werden. Die höchsten Energien werden an den modernen Teilchenbeschleunigern wie dem Large Hadron Collider am CERN erreicht. Die theoretische Kolliderphysik macht Vorhersagen für diese Experimente und hilft bei der Interpretation der Daten. Es gilt, in der Vielzahl der Daten seltene Ereignisse zu finden, welche auf „neue Physik“ hinweisen. Dieser Forschungsbereich steht in engem Zusammenhang mit dem Bereich „Quantenfeldtheorie“. Die Simulationen umfassen die Higgs-Physik, Quantenchromodynamik, elektroschwache Physik, Flavour-Physik und Vorhersagen für die Suche nach Dunkler Materie an Kollidern.

Information about known or yet unknown forces acting between elementary particles is obtained by experiments in which particles are brought to collision at very high energies. Highest energies are reached at modern colliders, such as the Large Hadron Collider at CERN. Theoretical collider physics makes predictions for these experiments and helps interpreting the data. The name of the game is finding hints for “new physics” in the wealth of data. This research field is closely connected to the topic “Quantum Field Theory”. The simulations include Higgs physics, quantum chromodynamics, electroweak physics, flavour physics and predictions for dark matter searches at colliders.



www.ttp.kit.edu
www.itp.kit.edu

THEORETISCHE KOLLIDERPHYSIK

Mit höchster Präzision: Flavourphysik



Der Begriff „Flavour“ bezieht sich auf die verschiedenen Arten von Elementarteilchen - jedes mit einzigartigen Eigenschaften wie Masse, Ladung, und Zerfallsmöglichkeiten. Die Untersuchung der Zerfälle von Teilchen mit unterschiedlichem „Flavour“ mit höchster Präzision könnte es uns ermöglichen, Hinweise auf eine bislang unbekannte Physik zu finden – einschließlich eines neuen Teilchens, das so selten mit uns wechselwirkt, dass es noch gar nicht direkt beobachtet wurde und Bestandteil der Dunklen Materie im Universum ist. In KCETA kombinieren wir theoretische Berechnungen und experimentelle Daten aus dem Belle II-Experiment, um neue physikalische Gesetze zu erforschen.

“Flavour” refers to the various types of elementary particles that exist, each with their own unique set of properties. Studying the transition of particles with different flavour with highest precision may allow us to find hints of physics beyond what is known - including a new particle so rare that it has not been observed yet and constitutes the Dark Matter in the Universe. In KCETA we combine theoretical calculations and experimental data from the Belle II experiment to explore new laws of physics.



etp.kit.edu/flavourphysics.php

*Der geöffnete Belle II Detektor
© Shota Takahashi, KEK*

FLAVOURPHYSIK

Das KATRIN Experiment: Leicht, leichter, Neutrinos



KATRIN-Hauptspektrometer
© Michael Zacher / KATRIN

Neutrinos sind ein Schlüssel zu unserem Verständnis des Universums von den kleinsten bis zu den größten Skalen. Das Karlsruher Tritium Neutrino Experiment KATRIN am Tritiumlabor des KIT ist das weltweit führende Experiment, das die Masse von Neutrinos direkt und modellunabhängig sucht. Die Präzision der technisch komplexen Anlage erlaubt inzwischen aber auch andere ebenfalls spannende Suchen nach „neuer Physik“, wie beispielsweise nach exotischen Neutrinos oder Abweichungen von fundamentalen Grundsätze der Physik. Nicht nur Experimentalphysik ist hierbei im Fokus, sondern auch die begleitende Einordnung der Ergebnisse durch die Theorie am KIT.

Neutrinos are a key to our understanding of the universe. The Karlsruhe Tritium Neutrino Experiment KATRIN at KIT's Tritium Laboratory is the world's leading experiment searching for the mass of neutrinos in a model-independent measurement. Its precision enables equally exciting searches for “new physics”, for example for exotic neutrinos. The focus is not only on experimental physics but also on the interpretation of the results by the theory groups.



© Markus Breig,
Gabi Zachmann,
Anne Behrendt / KIT



Computerspiele auf hohem Niveau

In der Grundlagenforschung im Bereich der Teilchen- und Astroteilchenphysik ist es notwendig, dass die Vorhersagen der theoretischen Modelle Quanteneffekte enthalten. Das ist nur möglich unter Verwendung von Hochleistungscomputern in Verbindung mit effektiven Algorithmen, die in speziellen Computerprogrammen implementiert sind. Forschende am KIT arbeiten an der automatischen Berechnung von Quanteneffekten. Dazu werden neben analytischen Methoden unter Zuhilfenahme von Computeralgebra auch numerische Verfahren eingesetzt. Außerdem werden Teilchenkollisionen auf dem Computer simuliert. Das ist notwendig, um die experimentellen Daten zu interpretieren.

Research in particle and astroparticle physics is not feasible without the use of high-performance computers and the development of effective algorithms in specialized computer programs. High precision requires quantum effects to be considered in theoretical predictions. Researchers at KIT are working on automated calculations of quantum corrections based on methods of perturbation theory and computer algebra. They also develop software packages for the detailed simulation of particle collisions, allowing for the interpretation of experimental data. When calculating scattering processes, enormous amounts of data are generated, which must be processed efficiently.

© CMS Collaboration



www.scc.kit.edu/en/research/4942.php
www.ttp.kit.edu
www.itp.kit.edu

COMPUTERGESTÜTZTE PHYSIK

Cooler Detektoren



Um zu enträtseln „was die Welt im Innersten zusammenhält“, müssen immer empfindlichere Instrumente entwickelt werden, mit denen winzige, bisher verborgene Merkmale der Natur und des Universums untersucht werden können. In dieser Hinsicht stellen supraleitende Quantensensoren eine herausragende Detektortechnologie dar, die es heute ermöglicht, Experimente durchzuführen, die bisher als unmöglich galten. Auf diese Weise tragen wir dazu bei, die schwierigsten Rätsel in verschiedenen Bereichen der Wissenschaft zu lösen und das Verständnis über unser Universum zu erweitern.

Advancing our understanding of the universe is intimately related to building ever more sensitive instruments to probe minute features of nature that have been hidden so far. In this respect, superconducting quantum sensors are an outstanding detector technology that allows pushing forward experiments that have been thought impossible so far. By this, we contribute to solving the most challenging puzzles in various fields of science.



Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines magnetischen Mikrokalorimeters
© IMS / KIT

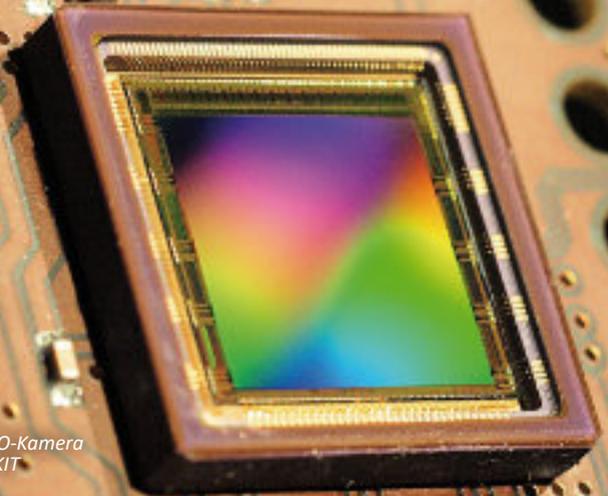


www.ims.kit.edu/15.php

Magnetische Mikrokalorimeter
© IMS / KIT

QUANTENTECHNOLOGIE

Macht Unsichtbares sichtbar: Elektronik



CMOS-Sensor der UFO-Kamera
© Marc Schneider / KIT

Rechts: Tieftemperatur-Kryostat für Entwicklung und Tests von Elektronik für Quantensensoren.
© KIT

KCETA-Forschende entwickeln hochempfindliche Messinstrumente, um für das menschliche Auge unsichtbare Elementarteilchen unter extremen Bedingungen vermessen zu können. Mit der Kombination von leistungsfähiger Messelektronik und effizienter Echtzeit-Datenauswertung gelingt es, nahezu unsichtbare Spuren und winzige Signale in riesigen Datenmengen zu erkennen. Maßgeschneidert Detektorsysteme schaffen die Voraussetzung für die experimentelle Erforschung von kosmischer Strahlung, dunkler Materie, neuen Konzepten für Teilchenbeschleuniger, sowie der Aufnahme von Teilchenkollisionen in der Hochenergiephysik.

To measure elementary particles invisible to the human eye under extreme conditions, highly sensitive instruments are developed at KIT. With the combination of powerful electronics and efficient real-time data processing it is possible to detect almost invisible traces and tiny signals in huge amounts of data. Custom detector systems are key to investigate cosmic rays, search for dark matter, advance particle accelerators and to record particle collisions in high-energy physics experiments.



Oben: Erster photonischer Test-Chip des CMOS Sensors
© Marc Schneider / KIT

DETEKTOR-INSTRUMENTIERUNG UND DATENERFASSUNG



Organisierte Datenflut



© KIT

Am KIT entwickeln interdisziplinäre Teams aus Physik und Informatik effiziente Algorithmen, skalierbare Methoden und leistungsfähige Werkzeuge für die sich entwickelnden föderierten Rechen- und Dateninfrastrukturen, die zur Lösung der großen Herausforderungen in der Wissenschaft unverzichtbar sind, wie die National Research Data Infrastructure (NFDI) oder die European Open Science Cloud (EOSC). GridKa, das deutsche Tier-1-Zentrum des Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), wird weiterentwickelt und verbessert, um seine Rolle als Daten- und Analysezentrum für die Hochenergie- und Astroteilchenphysik in diesen föderierten Infrastrukturen und für die zukünftige HL-LHC-Periode zu erfüllen.

At KIT, interdisciplinary teams from physics and computer science develop efficient algorithms, scalable methods and powerful tools for the evolving federated computing and data infrastructures that are indispensable to solve the grand challenges in science, such as the National Research Data Infrastructure (NFDI) or the European Open Science Cloud (EOSC). **GridKa**, the German Tier-1 centre of the Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) is further developed and enhanced to play its role as a data and analysis hub for high energy and astroparticle physics in these federated infrastructures and for the future HL-LHC period.

KOMPLEXE DATENVERARBEITUNG UND BIG DATA



www.scc.kit.edu/en/research/gridka.php

Teilchenbeschleuniger designed @KIT

Teilchenbeschleuniger sind Schlüsselinstrumente der Spitzenforschung in Physik, Chemie, Biologie, Medizin und in Materialwissenschaften. Viele Nobelpreise gehen auf Forschung mit den komplexen Maschinen zurück. Beschleuniger bringen kleine Teilchen wie Elektronen und Atomkerne auf enorme Geschwindigkeiten bis annähernd zur Lichtgeschwindigkeit. Das KIT entwirft Technologien und Komponenten für kompaktere und energieeffizientere Maschinen. Komplexe Messmethoden und künstliche Intelligenz werden zur Kontrolle der Teilchenpakete eingesetzt. Modernste Infrastrukturen und Testanlagen wie die Karlsruhe Beschleuniger KARA und FLUTE ermöglichen dies.

Particle accelerators are key instruments for cutting-edge research in physics, chemistry, biology, medicine and materials science. KIT develops technologies and components for more compact and energy-efficient machines. Complex measurement methods and artificial intelligence are used to control the particles. State-of-the-art infrastructures, test facilities and the Karlsruhe accelerators KARA and FLUTE make this possible.



KSETA Promovierende bauen ein Experiment im Reinraum auf, © Katja Heil, IBPT / KIT

*Ferninfrarot Linac- und Test-Experiment (FLUTE)
© Markus Breig / KIT*



www.ibpt.kit.edu
www.ibpt.kit.edu/kara
www.ibpt.kit.edu/flute

BESCHLEUNIGERPHYSIK

KSETA: Ausbildung von Promovierenden



© KSETA / KIT

Die 2012 eröffnete „Karlsruher Schule für Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik: Wissenschaft und Technologie“ (KSETA) ist die Graduiertenschule von KCETA. Sie ergänzt die Forschungskollaboration durch ein strukturiertes, einzigartiges Promotionsprogramm und bietet die Möglichkeit, junge Promovierende aus Physik und Ingenieurwissenschaften durch die Mitarbeit an internationalen Großprojekten im Bereich Elementarteilchen- und Astroteilchenphysik optimal auf Karrieren in Naturwissenschaft und Wirtschaft vorzubereiten.

Die Schule verfolgt einen sehr stark interdisziplinären Charakter und vereinigt Forschende und Promovierende aus elf KIT-Instituten, die wiederum vier KIT-Fakultäten zugeordnet sind. Sie garantiert dadurch auch eine optimale Betreuung durch Experten und Expertinnen für alle Forschungsgebiete.

The “School of Elementary Particle and Astroparticle Physics: Science and Technology” (KSETA), which was opened in 2012, is the graduate school associated with KCETA. It complements the research collaboration with a structured and unique PhD programme that offers the opportunity to prepare young doctoral researchers (physicists and engineers) for careers in science and industry by working on large international projects in the field of elementary particle and astroparticle physics.



www.kseta.kit.edu

GRADUIERTENSCHULE KSETA



KIT-Zentrum Elementarteilchen-
und Astroteilchenphysik (KCETA)
info@kceta.kit.edu
www.kceta.kit.edu

Design: Beatrix von Puttkamer
Edited by:
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

The Great Observatories' Multiwavelength View of the Crab Nebula
© NASA, ESA, J. DePasquale (STScI), and R. Hurt (Caltech/IPAC)

© KIT 2023