

Forschung der Zukunft am Teilchenbeschleuniger FAIR

Wissenschaft für Alle | Prof. Dr. Thomas Nilsson | 22. Oktober 2025

Das Universum ...

... im Labor.

Spitzenforschung von Weltrang am Standort: Entdeckung neuer chemischer Elemente

Spitzenforschung von Weltrang am Standort: Neue Krebstherapien



Mega-Science-Projekt FAIR



Internationale
Spitzenforschung in
Deutschland



Hightech-
Anwendungen in
Technik und Medizin



Talentschmiede für hoch-
qualifizierte Fachkräfte in
allen MINT-Berufen

Mega-Science-Projekt FAIR

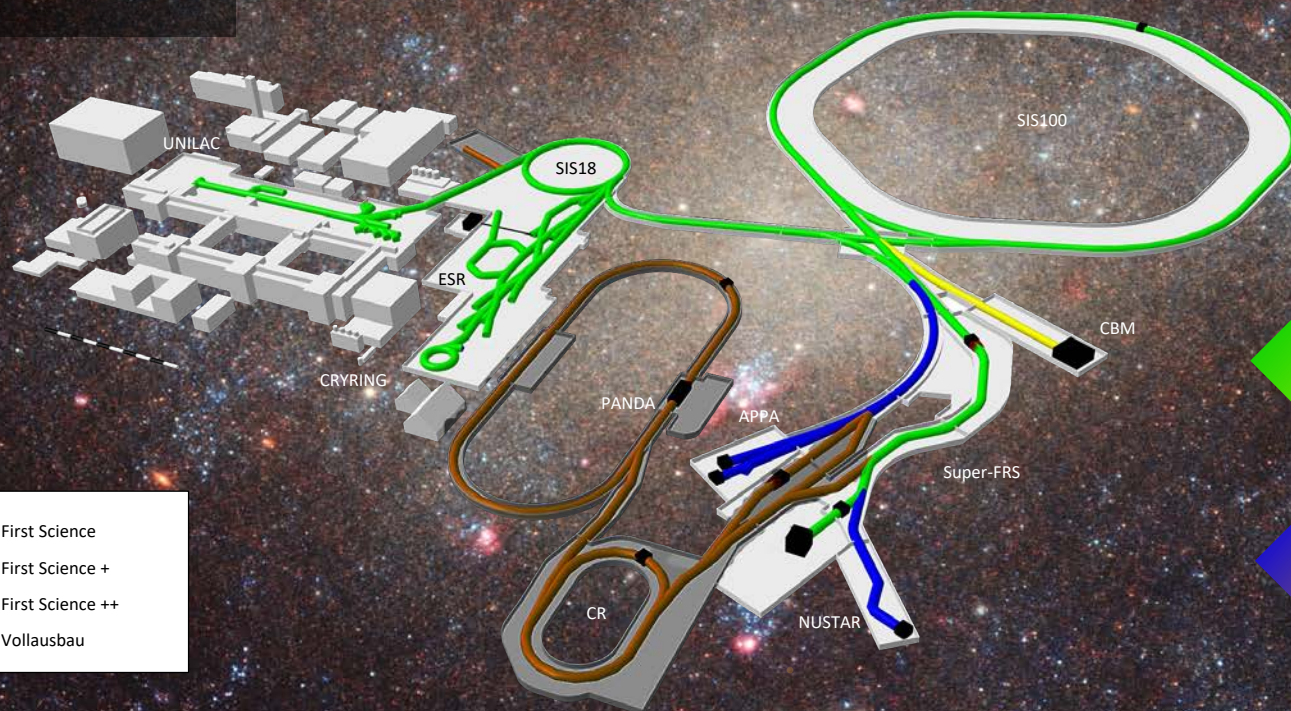


Meilenstein in der
europäischen Forschungs-
Roadmap (ESFRI)



Langfristige Sicherung des
Wissenschafts- und Wirtschafts-
standorts Deutschlands

FAIR 2028



- First Science
- First Science +
- First Science ++
- Volllausbau



Supernova: Synthese
chemischer Elemente



Sterne: Erzeugung der
Grundbausteine des Lebens,
wie Kohlenstoff und Sauerstoff

Neue Physik: Verschieben der Grenzen unseres Wissens



Neutronensterne und
Gravitationswellen: Neue
Teilchen und Wechselwirkungen



Planeten: Ungelöste Rätsel über
das Innere der Erde und
anderer Planeten

Die vier Forschungssäulen von FAIR



NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

Sterne und Kerne – Forschungsfragen

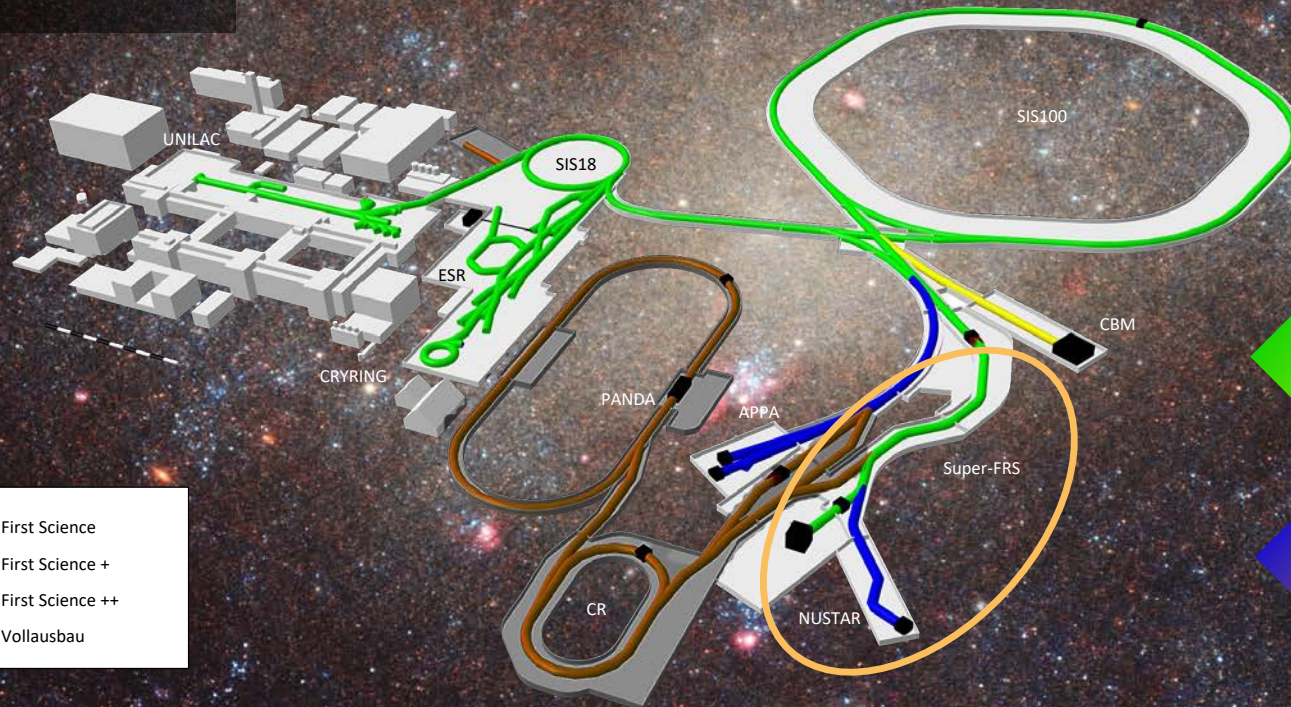
- Wie laufen Kernreaktionen im Inneren von Sternen ab?
- Wie werden chemische Elemente, die Grundbausteine unserer Welt, in unserem Universum gebildet?
- Welche Eigenschaften haben exotische Atomkerne? Welche Lebensdauern, Formen und inneren Strukturen weisen sie auf?

NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

Zukünftige Möglichkeiten an FAIR

- Produktionstarget für große Anzahlen von exotischen Kernen
- Super-FRS – Effiziente “Sortiermaschine” zur Filterung der gewünschten Atomkerne
- Messplätze und Speicherringe zur Untersuchung seltener Kerne

FAIR 2028



NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Fragmentseparator FRS, z. B.
 - Produktion, Separation, Identifikation und Speicherung von exotischen Kernen (z. B. Hyperkerne/WASA)
 - Entwicklungsgeschichte der Sonne

NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Kernreaktionen am Messaufbau R³B/GLAD/NeuLAND, z. B.
 - Nukleare Astrophysik
 - Eigenschaften kurzlebiger, exotischer Kerne
 - Mechanismen von Kernreaktionen

NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Gammaspektroskopie, z. B.
 - Strukturuntersuchungen von Atomkernen
 - Entwicklung von Schalenstruktur und Kernformen und Relevanz für die Nukleosynthese

NUSTAR – Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Superschwere Elemente, z. B.
 - Bestimmung physikalischer Eigenschaften (SHIP/SHIPTRAP)
 - Bestimmung chemischer Eigenschaften (TASCA)

CBM – Compressed Baryonic Matter

Im Inneren eines Neutronensterns – Forschungsfragen

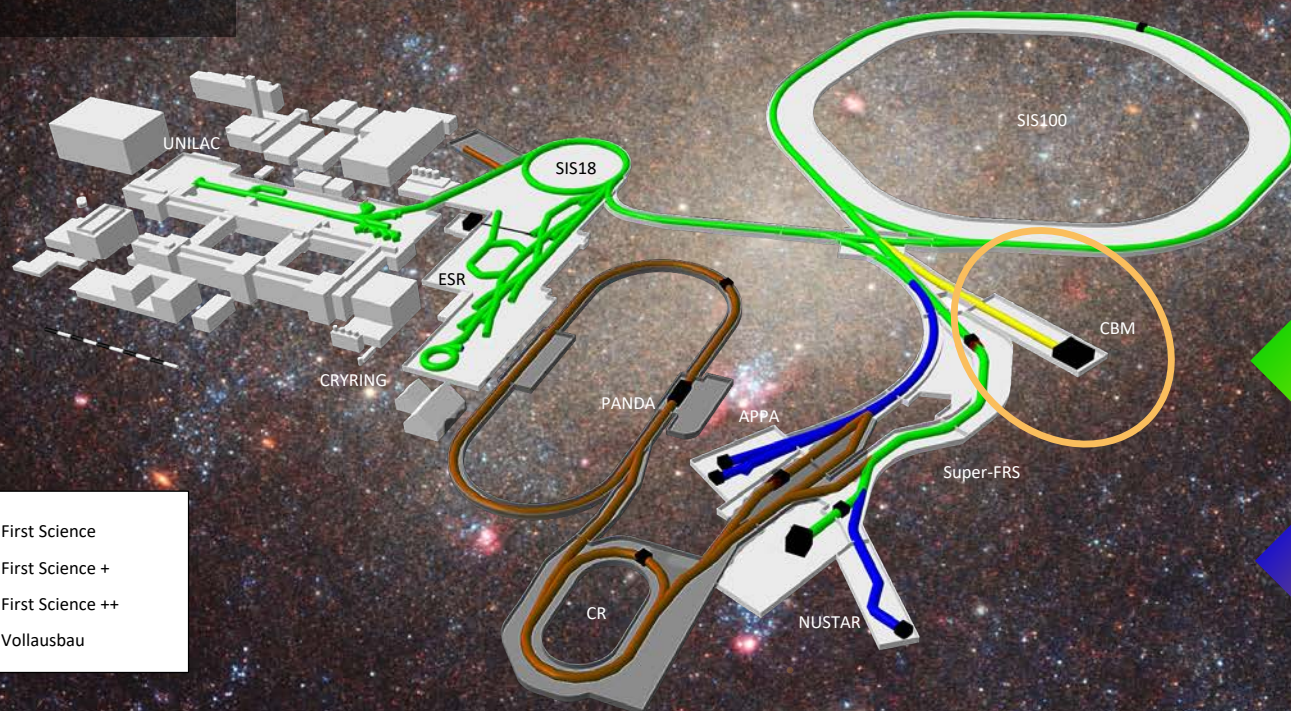
- Wie verändert sich Materie bei extremen Dichten, beispielsweise in Neutronensternen oder Neutronensternverschmelzungen?
- Welche unterschiedlichen Aggregatzustände kann Materie annehmen?
- Ab wann lösen sich Protonen und Neutronen zu einer „Elementarteilchensuppe“ auf?

CBM – Compressed Baryonic Matter

Zukünftige Möglichkeiten an FAIR

- Untersuchung der Zustandsgleichung von Materie bei Neutronensterndichten
- Zusammenarbeit mit Multi-Messenger-Astronomie/Gravitationswellenforschung zur Untersuchung von Neutronensternverschmelzungen
- Erforschung des Phasendiagramms der QCD-Materie – Suche nach Phasenübergängen, Wiederherstellung chiraler Symmetrien und exotischen Formen

FAIR 2028



bis 2028

nach 2028

CBM – Compressed Baryonic Matter

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Großdetektor HADES, z. B.
 - Eigenschaften der Neutronensternmaterie
 - Untersuchung des Aufbaus von Kernbausteinen

CBM – Compressed Baryonic Matter

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Beteiligung am CERN-Experiment ALICE, z. B.
 - Design und Konstruktion von Detektorsystemen
 - Betrieb
 - Datenauswertung

APPA – Atomic, Plasma Physics and Applications

Von Atomen über Planeten bis zur Krebstherapie – Forschungsfragen

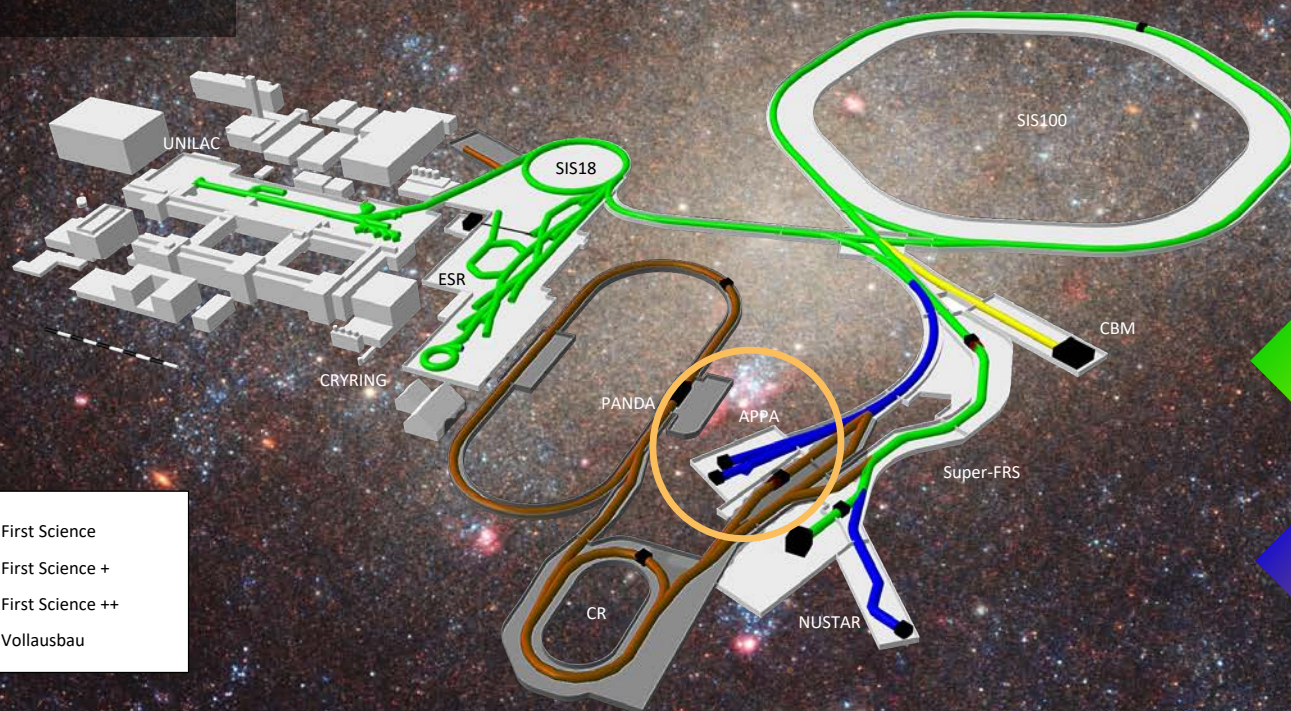
- Welche Zustände nehmen Materialien bei extrem hohen Drücken und Temperaturen an?
- Wie sieht es im Inneren von Planeten und Sternen aus?
- Wie kann man mit Strahlung heilen? Wie kann man vor Strahlung schützen?
- Wie kann man mit Strahlung Materialien gezielt verändern?

APPA – Atomic, Plasma Physics and Applications

Zukünftige Möglichkeiten an FAIR

- Untersuchung heißer, dichter Plasmen, wie sie im Inneren von Sternen und Planeten auftreten
- Hochenergieexperimente im Bereich Biophysik, Materialforschung, Plasmaphysik
- Tests der Quantenelektrodynamik an hochgeladenen Ionen nahe der Lichtgeschwindigkeit

FAIR 2028





APPA – Atomic, Plasma Physics and Applications

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Hochpräzise Messungen an den Speicherringen ESR und CRYRING und der Ionenfalle HITRAP, z. B.
 - Tests der Quantenelektrodynamik
 - Bestimmung fundamentaler Konstanten
 - Hochpräzisionsmassenspektroskopie
 - Einfluss der Kernstruktur auf Zerfallsprozesse
 - Astrophysik mit gespeicherten Ionen

APPA – Atomic, Plasma Physics and Applications

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Forschung zu Tumorthherapie und Schutz vor kosmischer Strahlung, z. B.
 - Anwendung der Partikeltherapie auf weitere Krankheitsbilder („bewegte Tumore“)
 - Neue Behandlungsmethoden (BARB, FLASH)
 - ESA-Kooperation zur Untersuchung von Strahlenschäden und Strahlensicherheit für Menschen und Materialien

APPA – Atomic, Plasma Physics and Applications

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Plasmaphysik, z. B.
 - Kombination von Ionenstrahl und Petawatt-Laser PHELIX
 - Untersuchung von warmer, dichter Materie (WDM)
 - Laserinduzierte Ionenbeschleunigung

APPA – Atomic, Plasma Physics and Applications

FAIR-Phase 0 – Experimente bei GSI

- Materialforschung, z. B.
 - Ionenstrahl-Nanotechnologie
 - Materialmodifikation durch Schwerionenbeschuss
 - Untersuchung von Materialien unter Extrembedingungen

PANDA – Antiproton Annihilation at Darmstadt

Teilchenzauberei mit Antimaterie – Forschungsfragen

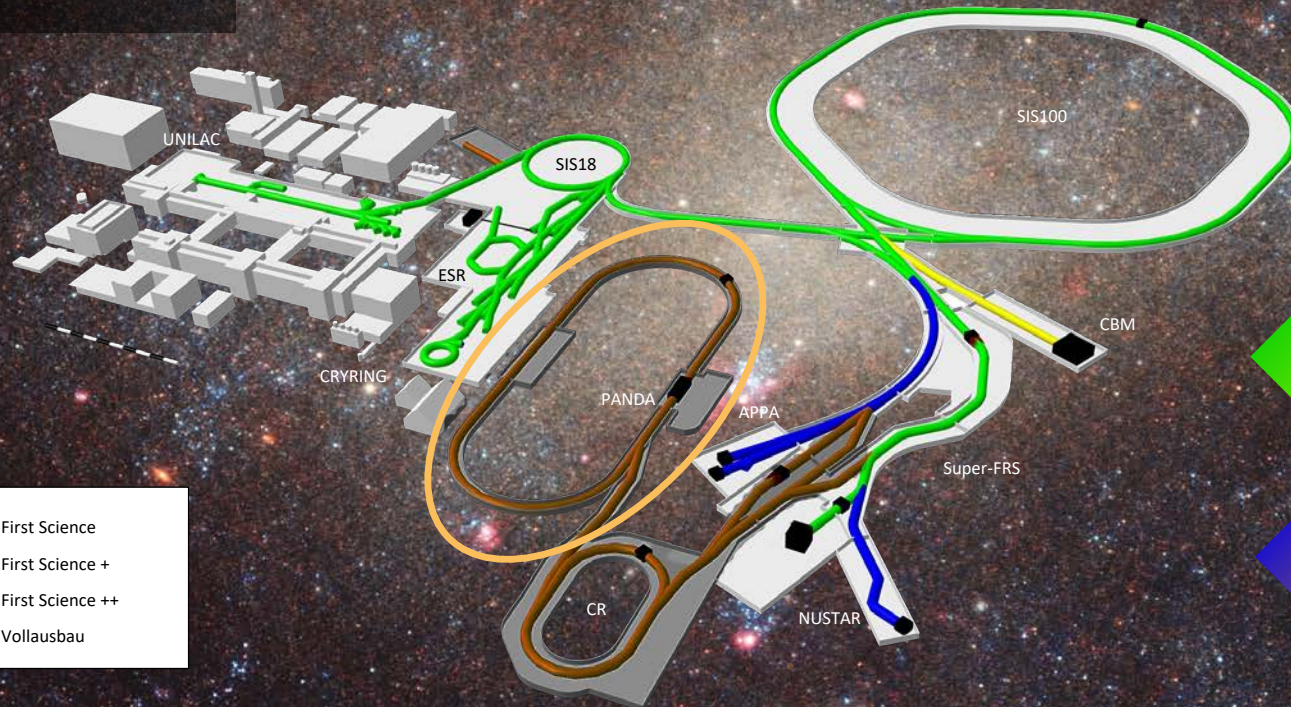
- Woraus bestehen Protonen und Neutronen? Wie ist die Struktur der Hadronen?
- Existieren „Klumpen“ aus Gluonen, sogenannte Glueballs?
- Wie hält die Starke Kraft unsere Welt im Innersten zusammen?
- Welchen fundamentalen Symmetrien gehorchen die Naturgesetze und lassen sich neue Hinweise auf Symmetrieverletzungen in der Natur finden?

PANDA – Antiproton Annihilation at Darmstadt

Zukünftige Möglichkeiten an FAIR

- Nutzung von Antimaterie zur Untersuchung der Starken Kraft und der Zusammensetzung von Hadronen
- Suche nach Gluonenbällen (Glueballs)

FAIR 2028



Hightech-Technologien von morgen: Transfer in die gesellschaftliche Anwendung

Plasma- und Materialforschung für Fusionsenergie

- Höchstleistungslaser PHELIX –
Grundlegende Studien für die Fusionsforschung u.a.

Hightech-Technologien von morgen: Transfer in die gesellschaftliche Anwendung

Green IT, KI und Big Data:

- Nachhaltige, energieeffiziente Rechenzentrum-Infrastruktur für Höchstleistungs-IT
- KI-Innovationslabor des Hessischen Zentrums für Künstliche Intelligenz (hessian.AI) u.a. für Start-Ups und Mittelstand

Hightech-Technologien von morgen: Transfer in die gesellschaftliche Anwendung

Schutz vor Weltraumstrahlung für Mensch und Technik

- Grundlegende Voraussetzung für Flüge zum Mars
- Erforschung von kosmischer Strahlung
- Neue strahlenfeste Materialien
- Intensive Kooperation mit der ESA
- Industriestahlzeiten

Hightech-Technologien von morgen: Transfer in die gesellschaftliche Anwendung

Supraleitung

- Anwendung von supraleitenden Technologien
- Entwicklung von Hochtemperatur-Supraleitern



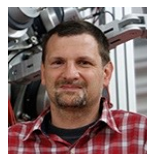
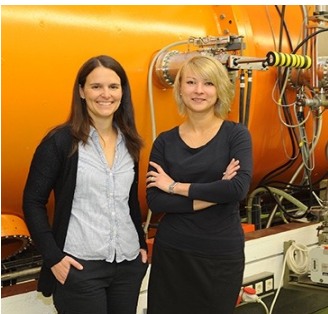
**Wissenschaftsstandort
Deutschland:**
Forschung von Weltrang im
Rahmen internationaler
Kollaborationen.



**Wirtschaftsstandort
Deutschland:**
Einzigartige Fähigkeit Talente &
Know-how anzuziehen und zu
schaffen:
FAIR – eine Talentfabrik



**Technologiestandort
Deutschland:**
Hightech für innovative
Anwendungen in Technik und
Medizin.



Deutschland



Investition in die langfristige
Wettbewerbsfähigkeit
Deutschlands

Mega Bau- und Hightech-Projekt FAIR



Hochkomplexe,
integrierte Installations-
planung und Ausführung



Entwicklung und
Fertigung von Hightech-
Komponenten weltweit

Mega-Science-Projekt FAIR: Installation und Start der Inbetriebnahme



Teilchenbeschleuniger „SIS100“



Experiment-Einrichtung „Super-FRS“



Inbetriebnahme Kryoanlage



Spitzenforschung

Hightech

Talentschmiede

FAIR

DAS UNIVERSUM IM LABOR

FAIR GSI