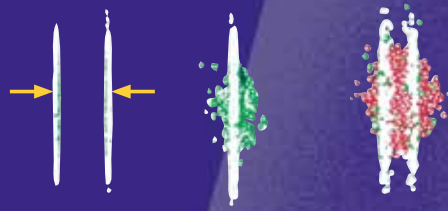
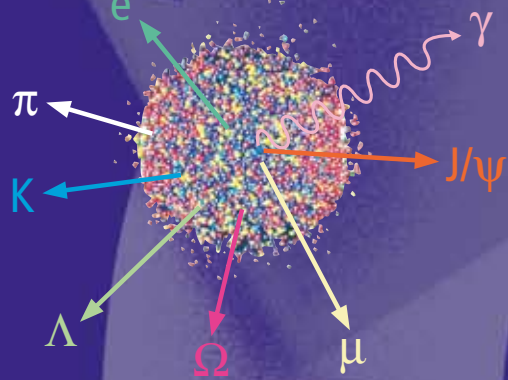


## Wenn schwere Kerne zusammenstoßen ...



## ... kann QGP entstehen ...



## ... und in Teilchen ausfrieren ...

Die obige Computerdarstellung zeigt die Kollision zweier Kerne, die sich einander mit nahezu Lichtgeschwindigkeit nähern und aufeinander prallen. Nach Einsteins Relativitätstheorie haben sie, im Labor betrachtet, die Gestalt von flachen Pfannkuchen. Dieser Mini-Urknall im Labor erzeugt den ursprünglichen Zustand der Materie, das sogenannte Quark-Gluon-Plasma. Der QGP-Feuerball expandiert, kühlt sich dabei ab und verwandelt sich in normale Materie, so wie Dampf beim Abkühlen in Wasser übergeht und schließlich als Eis oder Schnee ausfriert. Die zu tausenden gebildeten Teilchen werden in ALICE von Detektoren wie der unten gezeigten Zeit-Projektionskammer nachgewiesen. Die Spuren, die die Teilchen hinterlassen, werden mit leistungsfähigen Rechnerprogrammen ausgewertet. Einen Eindruck von dieser Analysearbeit geben die simulierten Teilchenbahnen im mittleren Bild.

## ... die von ALICE nachgewiesen werden ...



# Der Zugang zum Quark-Gluon-Plasma

Die uns vertraute Materie besteht aus Atomen, Gebilden mit einem massiven Kern aus Protonen und Neutronen und mit einer nahezu masselosen Hülle aus Elektronen. Die Kernbausteine selbst sind wiederum zusammengesetzt, und zwar aus Quarks, die durch Gluonen zusammengehalten werden. Die Bindung der Quarks untereinander ist äußerst stark. Es bedarf einer Kraft vergleichbar mit dem Anzugsvermögen einer ICE-Lok, um die Quarks voneinander zu trennen, und statt freier Quarks erhält man dabei immer nur neue zusammengesetzte Teilchen aus Quarks und Gluonen.

Die Theorie der Quarks und Gluonen, die Quantenchromodynamik, sagt jedoch vorher, dass bei hoher Temperatur und bei hoher Dichte Protonen und Neutronen ihre Identität verlieren und die Quarks freigesetzt werden. Das gilt für Temperaturen, die mehrere hunderttausendmal höher sind als im Innern der Sonne, oder für Dichten, wie sie im Zentrum von Neutronensternen vorkommen, Objekten mit ein paar Kilometern Durchmesser, die soviel Masse haben wie die Sonne. Unter derartigen Bedingungen lassen sich die Quarks nicht mehr in den konventionellen Teilchen einschließen. Vielmehr bilden sie und die Gluonen eine neue Form der Materie aus, das Quark-Gluon-Plasma.

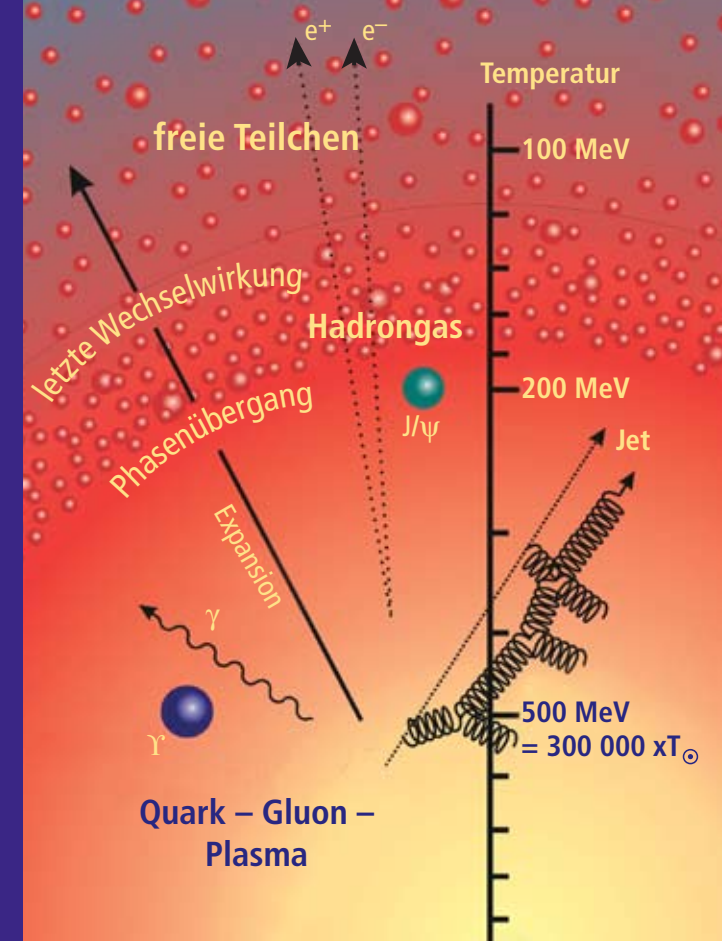
Die Freisetzung der Quarks ist anderen, uns besser vertrauten Übergängen zwischen den verschiedenen Erscheinungsformen der Materie nicht unähnlich. Eis schmilzt, wenn es erwärmt wird, und die entstehende Flüssigkeit geht schließlich bei weiterer Wärmezufuhr in Dampf über. Die drei Phasen, in denen der Stoff Wasser in der Natur auftritt, sind eingehend untersucht worden. Übergänge von einer Phase zur anderen treten nur bei wohl definierten Werten von Druck und Temperatur auf.

Auf ähnliche Weise beginnen die Physiker nun, die Phasenübergänge zu studieren, die das junge Universum nach seiner Entstehung durchlaufen hat. Einige Milliardstel Sekunden nach dem Urknalls war die Materie äußerst heiß und dicht und bildete ein Quark-Gluon-Plasma. Sobald sich das Universum aber unter die kritische Temperatur für freie Quarks abkühlte, sind zusammengesetzte Teilchen - die sogenannten Hadronen - ausgefroren. Auf diese Weise haben sich Protonen und Neutronen und die ersten leichten Atomkerne gebildet.

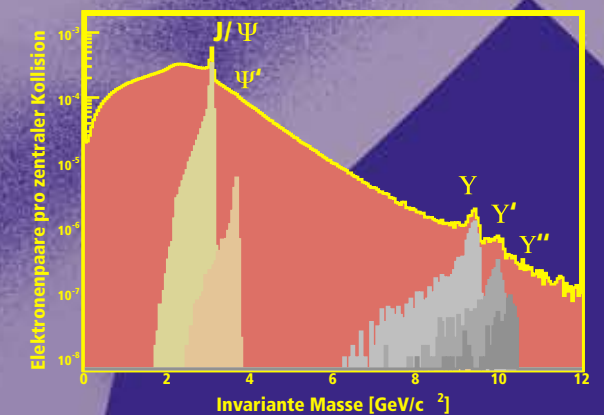
Das Experiment ALICE am LHC zielt darauf ab, den QGP-Zustand des Urknalls wieder herzustellen, und zwar in der Form von winzig kleinen, heißen und dichten Feuerbällen, wie sie beim Zusammenstoß von Atomkernen entstehen. ALICE wird die Ereignisse aufzeichnen, die sich aus jedem solchen Mini-Urknall entwickeln, und wird so beobachten können, wie aus dem QGP die uns vertrauten Formen der Materie geboren wurden.

Die bisherigen CERN-Experimente an dem auf Schwerionenbetrieb umgerüsteten Superprotonsynchrotron SPS haben erste Hinweise dafür geliefert, dass man für kurze Augenblicke, die kaum länger sind als die Dauer des Kernstoßes selbst, QGP erzeugen kann. Inzwischen hat der Schwerionenkollisionsbeschleuniger RHIC am Brookhaven National Laboratory in den Vereinigten Staaten seinen Betrieb bei der 10fachen SPS-Energie aufgenommen und vielfältige Hinweise auf die Bildung eines QGP geliefert. Mit dem LHC jedoch wird die verfügbare Energie um einen weiteren Faktor 30 gesteigert. Der Feuerball in einem Mini-Urknall am LHC wird dementsprechend groß sein und auch deutlich heißer als bei RHIC, und er wird lange existieren. Das wird uns in die Lage versetzen, das QGP eingehend zu studieren und in seinen Eigenschaften präzise zu charakterisieren.

## Mini – Urknall am LHC



## ... aus denen wir auf die Eigenschaften des QGP schließen.



## ... um dann Resultate zu liefern ...

Bei der Interpretation der Daten stützt man sich ganz wesentlich auf Teilchenkonfigurationen, die - Sonden ähnlich - besonders empfindlich auf den QGP-Zustand reagieren. Ein Beispiel stellen die Teilchen J/ψ und γ dar. Sie sind aus schweren Quarks wasserstoffähnlich aufgebaut. Diese Teilchen schmelzen im heißen und dichten Plasma eines Kern-Kern-Stoßes, und ihre Bildungsrate wird deutlich anders sein als in plasmafreien Proton-Proton-Stößen. Das obige, für zentrale Blei-Blei-Stöße simulierte Massenspektrum der Elektronenpaare zeigt die Summe aller bekannten Beiträge und die scharfen Nadeln aus J/ψ- und γ-Zerfällen.

