

TESLA and Tomorrow's Technology TESLA-Zukunftstechnologie ... Supraleitung bei Weltraumkälte

TESLA

Superconductivity in the Cold of Outer Space

TESLA setzt auf eine neue Zukunftstechnologie

... auf supraleitende Beschleunigungsstrecken aus dem Metall Niob. Wenn Niob kälter als minus 264 Grad Celsius ist – Kälte, wie sie sonst nur im Weltraum herrscht –, verliert es seinen elektrischen Widerstand und leitet den Strom ohne Energieverlust. Diese Eigenschaft tiefgekühlter Metalle heißt „Supraleitung“ und bringt im TESLA-Beschleuniger die Teilchen nahezu verlustfrei auf Trab.

Innovation für die Industrie

Die supraleitenden Beschleunigungsstrecken, die „Resonatoren“, mussten in der erforderlichen Qualität erst entwickelt werden. Daher haben die TESLA-Projektarbeiten in Zusammenarbeit mit Industriefirmen zu bedeutenden Fortschritten in der Hochfrequenz-Supraleitungstechnologie geführt.

Tiefgekühlte Teilchen

Um die Niob-Resonatoren in dem unterirdischen TESLA-Tunnel supraleitend zu machen, werden sie über die gesamte Strecke von 33 Kilometern auf minus 271 Grad Celsius abgekühlt. So können die mit nahezu Lichtgeschwindigkeit fliegenden Elektronen und Positronen auf höchste Energien beschleunigt werden.

Neuer Beschleunigungsrekord

TESLA erreicht neue Rekordwerte für die elektrische Beschleunigungsspannung in supraleitenden Resonatoren; mehr als 25 Millionen Volt pro Meter. Gleichzeitig erzeugt TESLA extrem kleine Teilchenpakete: Jeweils mehrere Milliarden Elektronen sind zu kugelförmigen Paketen zusammengefasst, deren Durchmesser gerade einen Zehntel Millimeter beträgt – eine wichtige Voraussetzung für die Nutzung von TESLA als Röntgenlaser.



Tests for TESLA
Testen für TESLA
... Meilensteine der
Beschleunigertechnologie



Milestones of Accelerator Technology

Ein internationales Team

Seit 1992 entwickeln Wissenschaftler aus aller Welt an einer Testanlage bei DESY in Hamburg die Zukunftstechnologien für TESLA. Insgesamt 41 Institute aus neun Ländern waren bis zur Veröffentlichung des TESLA-Projektvorschlags im März 2001 an den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten beteiligt und haben die Hälfte der Kosten getragen, ihre Zahl steigt.



Ein supraleitendes Beschleunigungsmodul wird in die TESLA-Testanlage eingebaut.

Wegbereitende Erfolge

Die TESLA-Testanlage besteht aus einer Elektronenquelle, einer supraleitenden Beschleunigungsstrecke sowie einer Magnetanordnung, in der die beschleunigten Elektronen zur Aussendung von Laserlichtblitzen veranlasst werden. Die an der Testanlage erzielten Forschungserfolge sind Meilensteine auf dem Weg zu TESLA:

- **Supraleitende Beschleunigungsmodule** wurden zusammen mit Industriefirmen entwickelt. Sie erreichen heute bereits im Dauerbetrieb so hohe Beschleunigungswerte (25 Millionen Volt pro Meter), wie sie für die große TESLA-Anlage vorgesehen sind. Außerdem konnten die Kosten pro Meter um den Faktor vier reduziert werden.
- **Weltweit erstmalig** konnte kurzwelliges Laserlicht im ultravioletten Bereich nach dem neuartigen Funktionsprinzip erzeugt werden, auf dem die TESLA-Röntgenlaser beruhen. Ebenfalls in diesem Strahlungsbereich gelang es, die maximal mögliche Lichtverstärkung von zehn Millionen zu erreichen. Damit hat das Laserlicht eine tausendfach höhere Spitzenleuchtstärke als die besten bisherigen Lichtquellen für den Bereich der harten ultravioletten Strahlung. Nach einem Ausbau soll an der Testanlage Laserlicht mit noch kürzeren Wellenlängen im Bereich der „weichen“ Röntgenstrahlung erzeugt werden. Diese einzigartige Lichtquelle wird ab 2004 der Forschung zur Verfügung stehen.



In diesem „Undulator“, einer besonderen Magnetanordnung, werden die beschleunigten Elektronen auf einen Slalomkurs gebracht. Dabei senden sie Laserlichtblitze aus.



The TESLA Accelerator Der TESLA-Beschleuniger ... Innovation Supraleitung



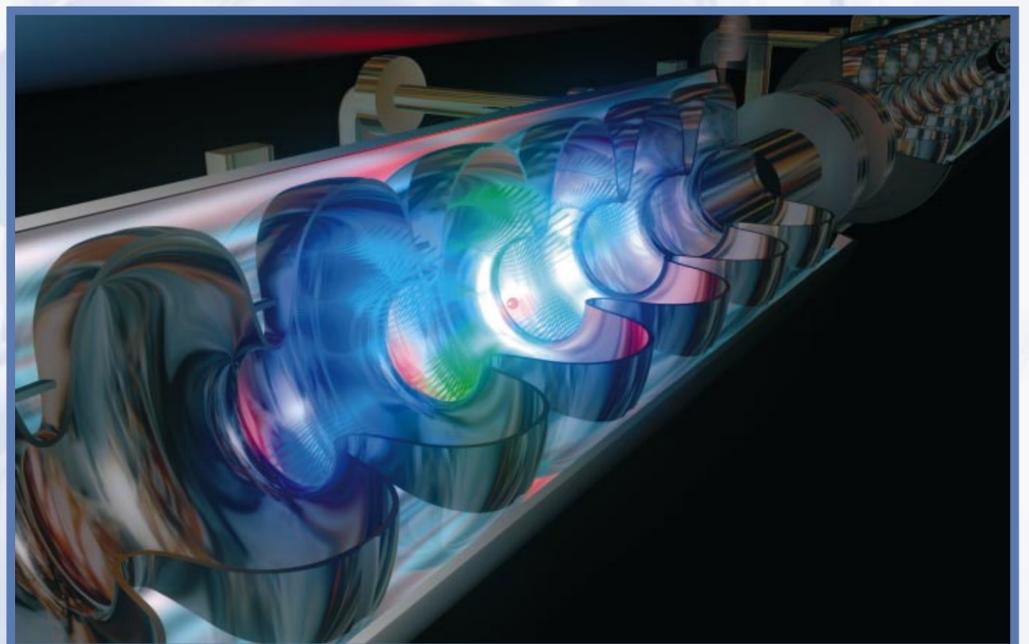
Superconducting Innovation

Teilchenrennen im Resonator

Resonatoren sind metallische Hohlkörper, in denen elektromagnetische Felder schwingen, die geladene Teilchen beschleunigen können. Resonatoren bilden daher das Herz eines Beschleunigers. Sie sind entweder normalleitend oder supraleitend. TESLA ist weltweit das größte Projekt, das auf supraleitende Resonatoren aus dem Metall Niob setzt. Bei Temperaturen nahe dem absoluten Temperatur-Nullpunkt, der bei minus 273 Grad Celsius liegt, verliert Niob seinen elektrischen Widerstand und leitet den Strom ohne Energieverluste – es wird supraleitend. Dann sind die Leistungsverluste in den Wänden der Resonatoren verschwindend gering, und nahezu die gesamte Leistung kann auf die Teilchen übertragen werden. Dies reduziert den Energieverbrauch erheblich. Zudem wird ein Teilchenstrahl von extrem hoher Qualität erzeugt, da die Resonatoren wegen des geringeren elektrischen Widerstands größer als bei normalleitender Bauweise gefertigt werden können und dadurch weniger Störfelder auftreten.



Die TESLA-Resonatoren bestehen aus Niob und sind aus jeweils neun Zellen zusammengesetzt.



Elektromagnetische Felder beschleunigen Elektronen und Positronen im supraleitenden TESLA-Linearbeschleuniger auf Rekordenergien.

Das Kälteprinzip von TESLA

Um die insgesamt 21 024 Resonatoren des TESLA-Beschleunigers supraleitend zu machen, werden sie über die gesamte Strecke von 33 Kilometern auf minus 271 Grad Celsius abgekühlt. Im Prinzip funktioniert die TESLA-Kälteanlage wie ein Kühlschranks, wobei Helium als Kältemittel eingesetzt wird. Das Heliumgas wird zunächst verdichtet und gereinigt. Anschließend wird das Gas in Wärmetauschern vorgekühlt, in Expansionsturbinen weiter abgekühlt und anschließend verflüssigt. In jeder der insgesamt sieben Kälteversorungshallen entlang der TESLA-Trasse sind jeweils zwei Kälteanlagen untergebracht – je eine für einen zweieinhalb Kilometer langen Tunnelabschnitt. Über lange Transferleitungen werden die TESLA-Resonatoren mit flüssigem Helium versorgt. Die für TESLA vorgesehene Kältetechnik ist bereits seit 1987 im HERA-Beschleuniger bei DESY im Einsatz und somit bestens erprobt.

Die HERA-Kälteanlage.



TESLA-Fertigung ... kein Staubkorn zu viel

Manufacturing for TESLA



Not Even a Speck of Dust

Resonatoren im Reinraum

Staub ist überall, und das nicht zu knapp: In einer Großstadt beispielsweise tummeln sich Millionen von Staubteilchen in einem Kubikmeter Luft. Bei der Fertigung der supraleitenden TESLA-Beschleunigungsmodule („Resonatoren“) aus dem Metall Niob können schon ein paar kleine Staubkörner große Folgen haben: Ist die Oberfläche mit Staubpartikeln verunreinigt, führen diese winzigen Störungen dazu, dass sich das elektrische Feld in den Hohlräumen punktuell verdichtet. An diesen Stellen können Elektronen aus dem Metall austreten und an anderer Stelle zurück auf die Oberfläche prallen. Auf diese Weise entsteht dort Wärme, die dazu führt, dass die Supraleitung zusammenbricht. Um dieses zu vermeiden, werden Beschleunigungsmodule in einem nahezu staubfreien „Reinraum“ gefertigt und montiert – einem Arbeitsbereich, in dem hunderttausendmal weniger Staub zu finden ist als in normaler Stadtluft.

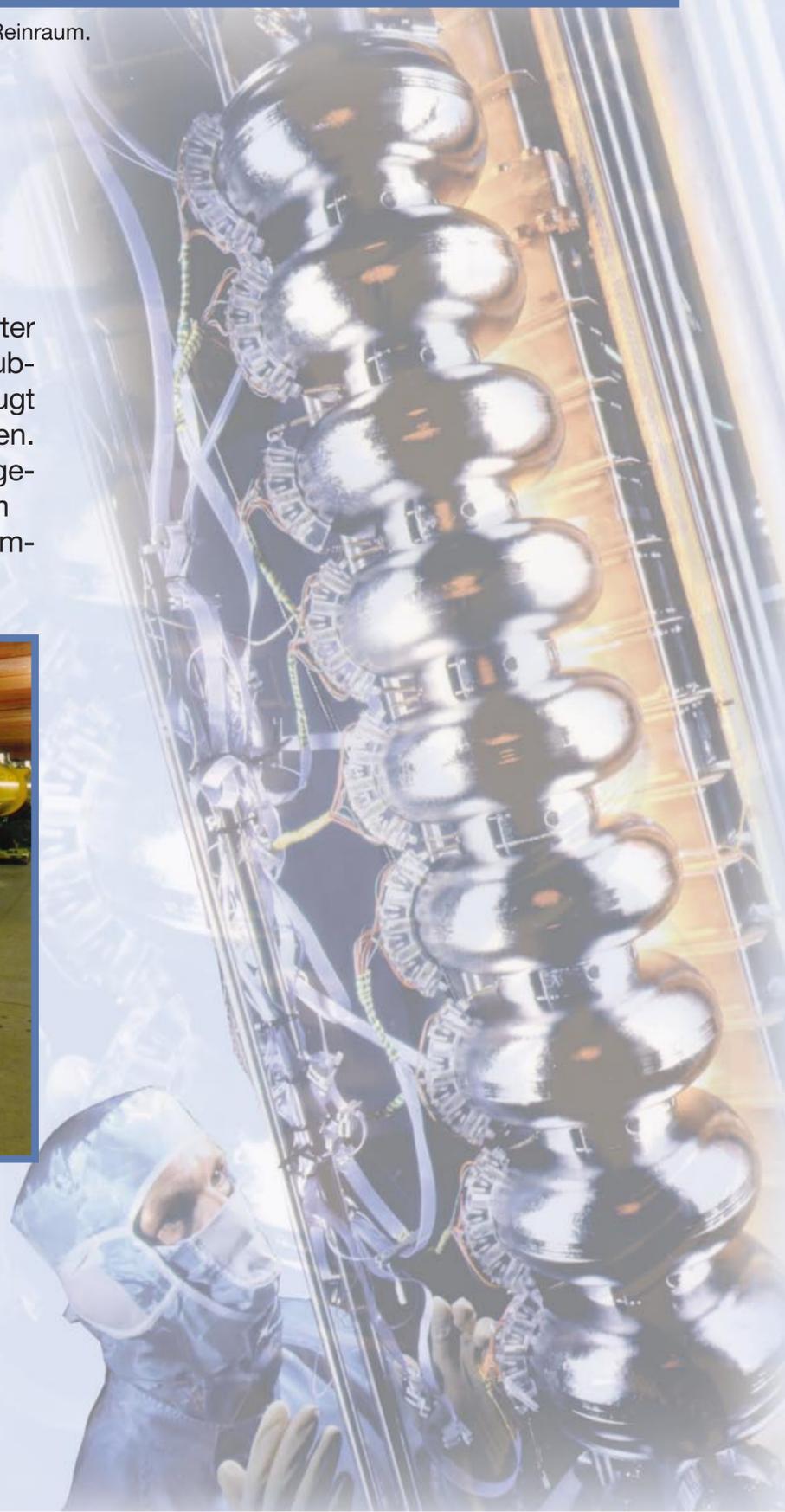


Arbeiten im Reinraum.

Stoppt den Staub

Staubfrei wird ein Reinraum dadurch, dass ein Strom aus gefilterter Luft von der Decke aus abwärts strömt und alle vorhandenen Staubpartikel zu Boden drückt, wo die Staubluft durch Löcher abgesaugt wird. Ist der Reinraum erstmal staubfrei, muss er es auch bleiben. Daher werden Werkzeuge und Materialien in einer Schleuse „luftgeduscht“, bevor sie hineindürfen – ebenso Menschen, die zudem einen speziellen, an eine „Weltraummontur“ erinnernden Reinraumanzug sowie einen Mundschutz tragen müssen.

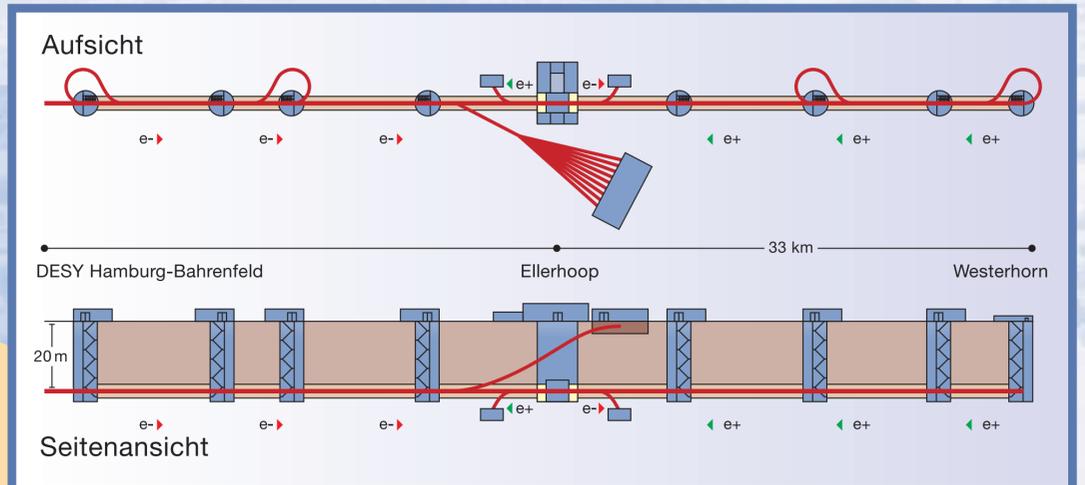
In einem mobilen Reinraum werden einzelne Beschleunigerkomponenten in die TESLA-Testanlage eingesetzt.



TESLA-BAU ... im Schildvortrieb durch Sand und Lehm

Tunneling through Sand and Soil

TESLA Construction



Die geplante TESLA-Trasse: Der Linearbeschleuniger für Elektronen (e-) beginnt in Hamburg bei DESY; der für Positronen (e+) im Norden des Kreises Pinneberg. In der Mitte der 33 Kilometer langen Beschleunigungsstrecke kollidieren die Teilchen. Ein unterirdischer Detektor misst die Reaktionen. Zudem befindet sich dort die Röntgenlaserhalle.

Die Anlage

Der Beschleunigertunnel für TESLA wird 33 Kilometer lang und schnurgerade. Er erstreckt sich vom DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld bis an die Nordgrenze des Kreises Pinneberg in Schleswig-Holstein. Er verläuft acht Meter unter Normalnull, das heißt zwischen zehn und 30 Meter tief unter der Erdoberfläche. Im Abstand von einigen Kilometern werden sich oberirdische Versorgungsgebäude für die Kältetechnik und mit Tunnelzugang befinden. In der Mitte der Strecke, im Außenbereich des Ortes Ellerhoop, werden auf einem 54 Hektar großen Gelände die Experimentierhallen untergebracht. Ein Teil von ihnen wird unterirdisch angelegt, in gleicher Tiefe wie der Tunnel.

Die Planung

Im März 1998 schaffte ein Staatsvertrag zwischen Hamburg und Schleswig-Holstein die planungsrechtlichen Voraussetzungen für den Bau und den Betrieb von TESLA. Vorgesehen ist ein gemeinsames Planfeststellungsverfahren mit einer integrierten Umweltverträglichkeitsprüfung. Dieses wird so vorbereitet, dass es ab Sommer 2002 eingeleitet werden könnte. Die Bürger und Gemeinden entlang der geplanten TESLA-Trasse wurden Ende 1996 erstmals über die TESLA-Planungen informiert und werden seitdem ständig auf dem Laufenden gehalten.

Der Bau

Der TESLA-Tunnel würde in einem unterirdischen Schildvortriebsverfahren gebaut. Dieses Verfahren hat sich beispielsweise beim Bau von U-Bahnen und des HERA-Tunnels bewährt. Mehrere Tunnelbohrmaschinen zugleich sollen den Baugrund aus Sand, Lehm und Mergel durchpflügen. Auf seiner gesamten Länge darf der Tunnel lediglich um maximal zehn Zentimeter von seiner Ideallinie abweichen. Für die TESLA-Anlage rechnen die Bauplaner insgesamt mit einem Erdaushub von mehr als anderthalb Millionen Kubikmetern, für den eigens ein „Boden-Management“ entwickelt werden wird.



DESY hat langjährige Erfahrung im Bau von Beschleunigertunneln. Hier wird der über sechs Kilometer lange unterirdische Ringtunnel für den HERA-Beschleuniger gebaut, der 1987 fertig wurde.