

Abbildung 134: Das hydrogeologische Profil entlang der TESLA-Trasse. Der TESLA-Tunnel liegt in wasserdurchlässigen und -undurchlässigen Schichten. Die wasserdurchlässigen Bereiche bestehen hauptsächlich aus quartären und tertiären Sanden. Die oberen wasserundurchlässigen Bereiche bestehen aus eiszeitlichen Geschiebemergel- und Lehmlagerungen. Darunter befinden sich tertiäre Meeres- und Flussablagerungen. Alle Schichten unterhalb des Grundwasserspiegels sind mit Wasser gesättigt.

Voruntersuchungen zum TESLA Linear-Collider Projekt

Ein wichtiger Meilenstein für die Genehmigung von TESLA war die positive Stellungnahme, die der Wissenschaftsrat im Juli nach Begutachtung des Technical Design Report (TDR) abgegeben hatte. Diese Stellungnahme wurde vom WR im November in eine Empfehlung an die Bundesregierung umgewandelt. Die Empfehlung war mit zwei Auflagen verbunden. Eine war die Ausarbeitung einer technischen Lösung für den Freie-Elektronen Laser (XFEL) mit einem separaten Linearbeschleuniger, die andere eine genauere Darstellung der möglichen Organisation des Global Accelerator Networks (GAN) für den Linear-Collider. Es wurde ein umfangreicher Bericht zur technischen Auslegung des separaten Linearbeschleunigers erstellt und ein detaillierter Vorschlag zur Organisation der internationalen Linear-Collider Kollaboration ausgearbeitet. Beide Berichte wurden im November an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) übergeben.

Technische Evaluierung der Linear-Collider Konzepte

Im Jahr 2001 wurde vom International Committee for Future Accelerators (ICFA) ein technisches Komitee zur Evaluierung der vorliegenden Konzepte zum Bau eines e^+e^- Linear-Colliders der nächsten Generation initiiert. Dieses Technical Review Committee (TRC) schloss seine Arbeit gegen Ende des Berichtszeitraums 2002 ab und verfasste einen etwa 400-seitigen Bericht. Im TRC haben 30 Beschleuniger-Experten aus den weltweit führenden Labors mitgearbeitet, davon fünf Mitarbeiter von DESY. Die beiden in Konkurrenz stehenden Konzepte für einen nächsten e^+e^- Linear-Collider (500 GeV Kollisionsenergie, erweiterbar auf etwa 1 TeV) sind TESLA und der auf konventioneller

Technik mit Kupfer-Resonatoren bei 11.4 GHz (X-Band) basierende NLC/JLC, der in Zusammenarbeit zwischen den USA und Japan entwickelt wird (ein Alternativkonzept bei 5.7 GHz wird in Japan ebenfalls untersucht). Das Two-Beam Konzept CLIC (CERN) wird als mögliche Maschine der übernächsten Generation (Energie 3–5 TeV) ebenfalls diskutiert. Die vom ICFA dem TRC gestellten Aufgaben waren:

- den gegenwärtigen technischen Status der vorliegenden Linear-Collider Konzepte festzustellen und zu bewerten, einschließlich des Potentials, alle Maschinen Entwurfs-Parameter für 500 GeV Kollisionsenergie zu erreichen,
- das Potential für das Erreichen höherer Kollisionsenergien als 500 GeV festzustellen und zu bewerten,
- die in den nächsten Jahren noch erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (R&D) zu identifizieren,
- Vorschläge für zukünftige Internationale Zusammenarbeit zu unterbreiten.

Die detaillierte Analyse und Bewertung der Linear-Collider Entwürfe wurde durch drei Arbeitsgruppen durchgeführt:

- „Energy Performance“ Arbeitsgruppe: Technische Komponenten des Linearbeschleunigers sowie der Sub-Systeme.
- „Luminosity Performance“ Arbeitsgruppe: Strahldynamik im Linearbeschleuniger und in den Sub-Systemen wie zum Beispiel Dämpfungsringen, Erreichbarkeit und Stabilisierung der Luminosität.
- „Reliability and Operability“ Arbeitsgruppe: Zuverlässigkeit und Effizienz des Betriebs, Einfluss des Ausfalls technischer Komponenten.

Im Folgenden werden die wichtigsten Schlussfolgerungen des Komitees bezüglich des TESLA Linear-Colliders zusammengefasst:

Es wurde festgestellt, dass die für den 500 GeV Linear-Collider erforderliche supraleitende Beschleuniger-Technologie im Wesentlichen an der Testanlage TTF demonstriert worden ist. In der nach ihrer Bedeutung in vier Kategorien geordneten Liste erforderlicher R&D Arbeiten hat der 500 GeV TESLA-Entwurf in der ersten Kategorie (Demonstration der Machbarkeit) im Gegensatz zum NLC/JLC somit keinen Eintrag. Für die Energieerhöhung auf 800 GeV wird allerdings ein solcher Nachweis der Machbarkeit durch Bau und Betrieb eines vollständigen Moduls mit Kavitäten bei einem Gradienten von 35 MV/m noch für erforderlich gehalten (bei TTF wurde ein Gradient von 35 MV/m mit mehreren einzelnen 9-zelligen Resonatoren bereits erreicht). Außerdem weist das TRC darauf hin (Kategorie II in der R&D Liste), dass weitere Betriebserfahrung mit mehreren Modulen im Test-Linac über einen längeren Zeitraum und mit Strahlparametern nahe den TESLA-Entwurfswerten erforderlich ist. Dies wird mit der erweiterten Testanlage (TTF2) ab 2004 möglich sein.

In der kritischen Analyse der Gesamtkonzeption der TESLA-Anlage einschließlich der Sub-Systeme wie Strahlquellen, Dämpfungsringe, Final Focus usw. gelangt das Komitee in der Kategorie II zu einigen Empfehlungen für weitere R&D Arbeiten und Entwurfs-Studien. Hierzu gehört die Entwicklung eines Prototyps für das anspruchsvolle Injektions- und Extraktionssystem der Dämpfungsringe sowie eine genauere Untersuchung der Wechselwirkungszonen-Auslegung im Hinblick auf eine sichere und verlustfreie Strahl-extraktion. Es wird ebenfalls für erforderlich gehalten, die dynamische Apertur-Einschränkung der Dämpfungsringe durch nichtlineare Felder in den Wiggler-Magneten genauer zu untersuchen und gegebenenfalls eine Änderung des Magnet-Entwurfs vorzunehmen.

Im gesamten Problemkreis der Strahl-Physik und -Stabilität bestehen zwischen den verschiedenen Linear-Collider Konzepten trotz quantitativer Unterschiede in einer Reihe von Aspekten große Gemeinsamkeiten. So kommt das TRC zu dem Schluss, dass in allen Dämpfungsring-Konzepten kollektive Instabilitäten durch Wechselwirkung des Strahls mit Ionen- bzw. Elektronenwolken von großer Bedeutung sind.

Detaillierte Computer-Simulationen sowie experimentelle Studien an existierenden Speicherringen sind nötig, um sicherstellen zu können, dass die Dämpfungsringe im späteren Betrieb die für eine hohe Luminosität erforderliche exzellente Strahlqualität liefern.

Ein weiterer wichtiger Punkt für zukünftige R&D Arbeiten betrifft strahlbasierte Korrektur- und Optimierungsverfahren, mit denen die Erhaltung der Strahlqualität beim Transport durch den Linearbeschleuniger und das Final Focus System garantiert werden kann. Neben einer Weiterentwicklung von Computer-Simulationstechniken ist hier auch R&D auf dem Gebiet hochpräziser Strahldiagnostik notwendig.

Im Rahmen der Komitee-Arbeit hat sich eine fruchtbare und effiziente Kollaboration zwischen den Beschleunigerexperten aus den verschiedenen Laboratorien entwickelt, über die Grenzen der in Konkurrenz stehenden Linear-Collider Projektvorschläge hinweg. Die Fortsetzung und weitere Stärkung dieser internationalen Zusammenarbeit wird von allen Mitgliedern des Komitees als ein wichtiger Schritt auf dem Wege zur Realisierung eines Linear-Collider Projekts gesehen und unterstützt.

Vorbereitung des Planfeststellungsverfahrens für TESLA

Die Vorbereitungen des Planfeststellungsverfahrens wurden weiter vorangetrieben. Arbeitsgruppen innerhalb DESYs erarbeiteten die technischen Vorgaben und Rahmenbedingungen für die zu erstellenden Unterlagen. Grundlage dafür bildete zunächst der im März 2001 veröffentlichte Technical Design Report. Im Laufe der Begutachtung durch den Deutschen Wissenschaftsrat wurde eine neue Lösung für einen weitgehend unabhängigen Betrieb der Röntgenlaseranlage (XFEL) erarbeitet. Diese sieht einen eigenen Beschleunigertunnel für den XFEL vor, der an der Kältehalle in Borstel-Hohenraden beginnt. Diese Änderung wird zurzeit in die Unterlagen eingearbeitet.

Die TESLA-Planungsgruppe umfasst die bereits genannten DESY-Arbeitsgruppen sowie mehrere unabhängige Ingenieurbüros. Gemeinsam benutzte Werkzeuge, wie zum Beispiel EDMS, sowie regelmäßige

Besprechungen garantieren Informationsaustausch und gleichen Wissensstand. Besonderes Augenmerk wurde in diesem Jahr auf die Erarbeitung des Sicherheitskonzeptes und eines Design-Konzeptes für die Strahlaborber gelegt.

Intensiviert wurde die Information der Anlieger entlang der Trasse. In Gemeindeversammlungen, öffentlichen Veranstaltungen und Gesprächen mit direkt betroffenen Anwohnern wurden die Grundlagen der Planungen erläutert und die Bedenken der Anwohner diskutiert.

Eine Vorabversion der Unterlagen wurde dem Landesbergamt in Clausthal-Zellerfeld als der Planfeststellungsbehörde zu einer ersten Prüfung zugestellt. Gleichzeitig wurde die Gestaltung der digitalen Planfeststellungsunterlage und der zugehörigen Pläne festgelegt. Die Arbeiten sind so weit fortgeschritten, dass eine Einleitung des Verfahrens in der ersten Hälfte des Jahres 2003 möglich wäre.

Geologische Untersuchungen

Bei TESLA muss man sowohl beim Linear-Collider als auch beim Röntgenlaser die Strahlgestabilität besonders beachten. Bewegungen der Quadrupole bewirken Bahnänderungen der Teilchenstrahlen. In den Beschleunigerabschnitten führt das zur Aufweitung der Emittanz. Die Emittanz ist ein Maß für die Strahlgröße und -fokussierbarkeit. Eine Vergrößerung der Emittanz führt zu einer geringeren Luminosität und damit zu einer geringeren Ereignisrate beim Linear-Collider und einer geringeren Lichtausbeute beim Freie-Elektronen Laser. Direkt beeinflusst ist die Zentrierung der Elektronen- und Positronenstrahlen in der Wechselwirkungszone. Am Wechselwirkungspunkt beträgt die Strahlhöhe etwa 5 nm, die Strahlbreite ist wesentlich größer. Deshalb müssen hauptsächlich vertikale Drifts und Schwingungen der Strahlhöhe bis zu Werten deutlich kleiner als die Strahlhöhe kompensiert werden. In den XFEL-Undulatoren müssen die Licht- und Elektronenstrahlen auf der gleichen Achse laufen, da nur so die notwendige stimulierte Emission erfolgen kann. Jedoch sind hier die Stabilitätsanforderungen aufgrund der größeren Strahlmessungen geringer als für die Hochenergiephysik.

Der TESLA-Tunnel beginnt auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld und verläuft etwa in Richtung

Nordnordwest durch den gesamten Kreis Pinneberg bis zur Gemeinde Westerhorn. Er ist etwa 33 km lang und wird voraussichtlich mit einer Tunnelbohrmaschine bergmännisch aufgeföhren werden. Die Trasse liegt unter zwei Stadtteilen von Hamburg und fünfzehn Städten und Gemeinden im Kreis Pinneberg. Über weite Bereiche verläuft der Tunnel etwa in Richtung der Autobahn A23 von Hamburg nach Itzehoe. In Halstenbek kreuzt die Trasse die Autobahn. Wenige hundert Meter weiter verläuft der Tunnel unter der Kirche von Rellingen, einem Baudenkmal aus dem 18. Jahrhundert. Die geologischen Verhältnisse sind sehr gut geeignet für das Aufföhren eines Tunnels mit einer bentonitgestützten Schildvortriebsmaschine. Während der Bauzeit kommt es an der Oberfläche nur zu Setzungen in der Größenordnung von weniger als 1 cm. Diese Setzungen sind nach kurzer Zeit abgeklingen.

Für die im Staatsvertrag für TESLA vorgeschriebene Umweltverträglichkeitsprüfung ist ein hydrogeologisches Profil aufgrund bereits vorhandener und achtzehn neuer Bohrungen an ausgewählten Standorten erstellt worden (Abb. 134). Aufgrund der besonderen Situation in Rellingen wurde dort ein zusätzliches Gutachten mit Hilfe von drei weiteren Bohrungen erstellt. Der Baugrund entlang des gesamten TESLA-Tunnels besteht zu zwei Dritteln aus quartären eiszeitlichen Sanden, die zum Teil mit Kies und Findlingen durchsetzt sind, sowie tertiären Sanden und zu einem Drittel aus eiszeitlichem Geschiebemergel und -lehm.

Der Tunnel verläuft im Wesentlichen horizontal auf einer Höhe von acht Metern unter Normalnull (etwa der mittlere Meereswasserspiegel), das heißt, er folgt der Erdkrümmung. Die Erdüberdeckung beträgt zwischen 7 m in der Pinnauniederung und 23 m zwischen Borstel-Hohenraden und Kummerfeld. Auf der gesamten Länge liegt der Tunnel im Grundwasser. Das DESY-Gelände liegt fast dreißig Meter höher als im Mittel der Kreis Pinneberg, deshalb ist der TESLA-Tunnel auf den ersten Kilometern geneigt.

DESY vereinbarte 2002 eine Zusammenarbeit bei der technischen Planung von TESLA mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg. Im Berichtszeitraum wurden vom Arbeitsbereich Geotechnik und Baubetrieb bodendynamische Untersuchungen der TESLA-Trasse vorbereitet. Bodenschwingungen bis zu einer Schwingungsfrequenz von 20 Hz können mit zwei Guralp-Seismometern synchron aufgezeichnet werden.

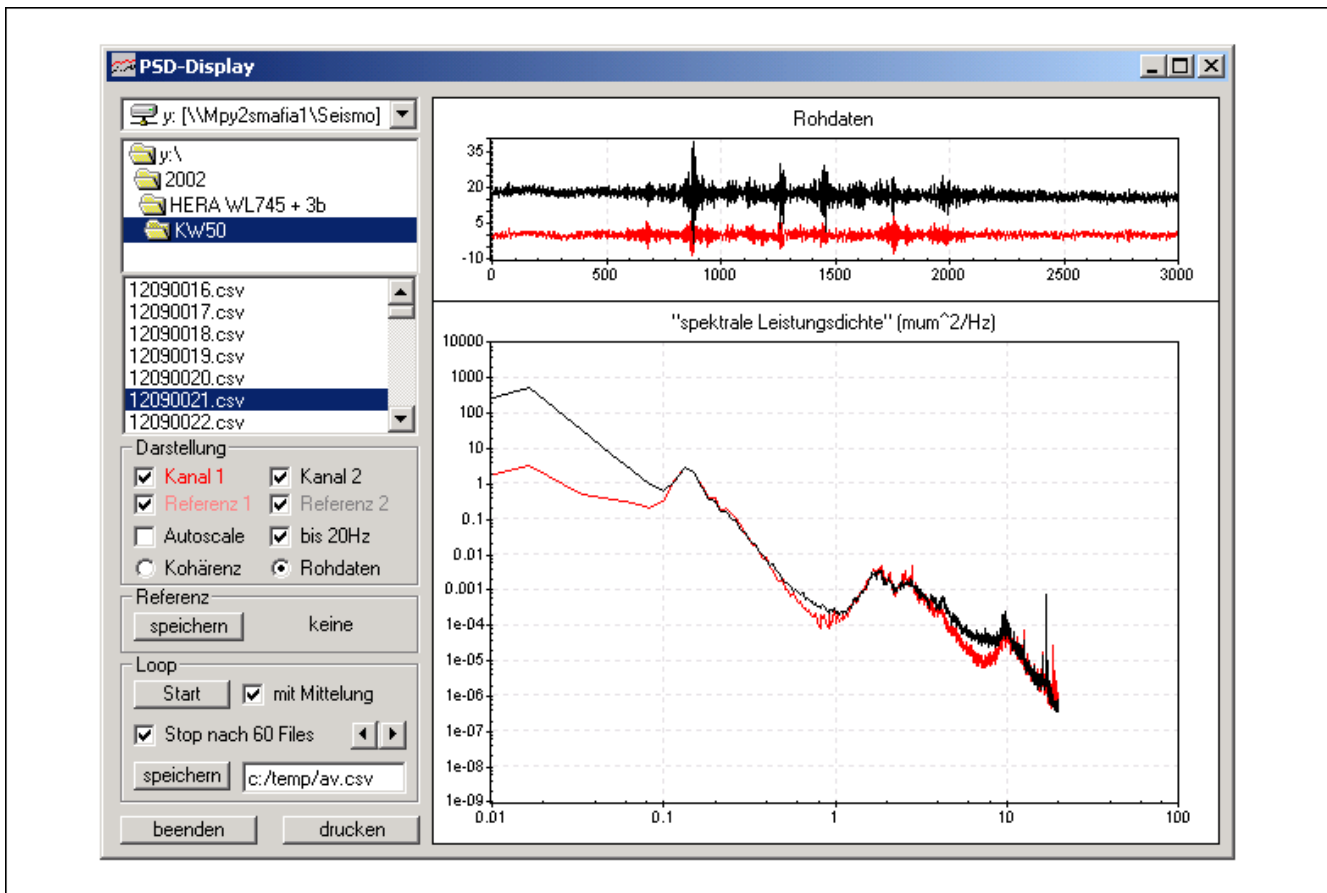


Abbildung 135: Spektrale Leistungsdichte gemittelt über eine Stunde und Seismometerdaten von einer Minute, gemessen im HERA-Tunnel und an der Geländeoberfläche.

Die von den Geräten gemessenen Geschwindigkeiten werden mit einer Abtastrate von 50 Hz aufgezeichnet.

In einer ersten Messserie wurden an verschiedenen Orten auf dem DESY-Gelände in Hamburg-Bahrenfeld Daten über mehrere Monate aufgenommen. In einer Messanordnung wurde ein Seismometer auf den Betonboden des HERA-Tunnels gestellt und das zweite direkt darüber auf die Geländeoberfläche. Dazwischen befinden sich etwa 20 m quartärer Sand. Der Grundwasserspiegel liegt etwa auf der Höhe des HERA-Tunnels.

Ein repräsentatives Ergebnis ist in Abbildung 135 dargestellt. Das obere Diagramm zeichnet die von den beiden Messinstrumenten über eine Minute (gleich 3000 Messpunkten) aufgenommenen Geschwindigkeiten in $\mu\text{m/s}$ auf. Die obere schwarze Kurve zeigt die an

der Oberfläche aufgenommenen Daten, die untere rote Kurve gibt die Daten aus dem HERA-Tunnel wieder. In dem unteren Diagramm sind die über eine Stunde gemittelten spektralen Leistungsdichten in $\mu\text{m}^2/\text{Hz}$ über der Frequenz in Hz aufgetragen. In erster Näherung ist das Leistungsspektrum umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Frequenz.

Starke Abweichungen gibt es in der Nähe von 0.1 Hz und oberhalb von 1 Hz. Die niederfrequente Überhöhung entstammt der Meeresmikroseismik, die von den Brandungswellen des Atlantiks angeregt wird. Die höherfrequente Überhöhung, die von der Tageszeit und dem Wochentag abhängig ist, wird durch menschliche Aktivitäten angeregt. Die Anregungen durch Lastkraftwagen und Omnibusse werden durch weitere Überhöhungen zwischen 1 und 10 Hz sichtbar. Die scharfen Signale sind elektronische Störungen.

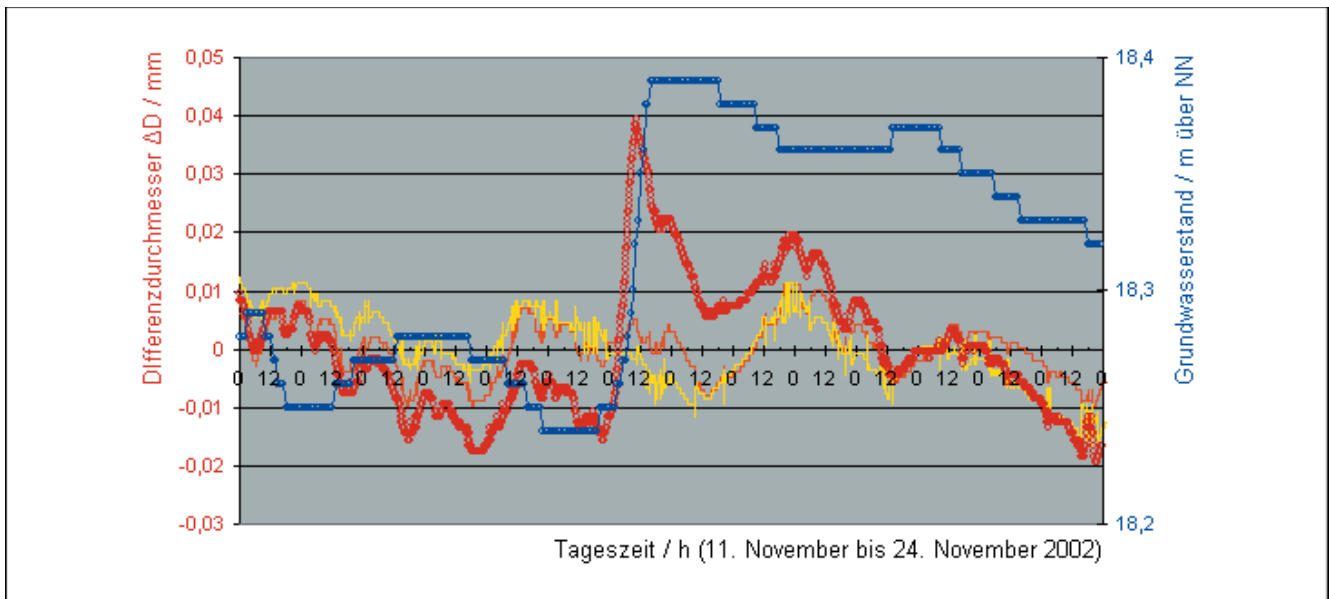


Abbildung 136: Grundwasserstand und der an drei Stellen im Abstand von 50 m gemessene vertikale Durchmesser des HERA-Tunnels.

Weiterhin erkennt man, dass die Dämpfung durch das Erdreich über dem HERA-Tunnel frequenzabhängig ist. Die über den gesamten Frequenzbereich gemittelte Dämpfung beträgt etwa 20%. Der Anstieg der spektralen Leistungsdichte im HERA-Tunnel ab etwa 10 Hz wird vermutlich von rotierenden Maschinen wie Turbopumpen für das Isolationsvakuum der Kryostaten und dem zirkulierenden Kühlwasser verursacht.

In einem ersten Messaufbau wird auch die Bewegung des HERA-Tunnels unter anderem in Abhängigkeit vom Grundwasserstand untersucht. Dafür wurden im Abstand von 50 m drei Messstangen installiert, die den vertikalen Durchmesser des Tunnels messen. Eine Grundwassermessstelle wurde in der Nähe errichtet, um den Grundwasserpegel zu messen.

In Abbildung 136 ist ein erstes Ergebnis dargestellt. Aufgrund von Regenfällen steigt das Grundwasser innerhalb eines halben Tages um 14 cm an. Während bei den äußeren Stangen nur der Einfluss der Tunneltemperatur gemessen werden kann, ändert sich der Tunneldurchmesser an der mittleren Position um 50 μm . Jedoch geht der Durchmesser wieder auf den Ausgangswert zurück, ohne dass der Pegel in dem gleichen Maße fällt. Der Tunneldurchmesser ändert sich wohl nur aufgrund einer Pegeländerung. Es sind jedoch noch wei-

tere Messungen zum Verständnis der Abhängigkeiten notwendig.

Im Jahr 2003 sollen sowohl diese Messungen der Tunnelbewegung in Abhängigkeit vom Grundwasserstand als auch die seismischen Messungen insbesondere entlang der TESLA-Trasse und an Vergleichsorten fortgeführt werden.

TESLA Test Facility (TTF)

Linac-Betrieb und Erweiterungen

Im Rahmen der Voruntersuchungen zum TESLA Projekt wird bei DESY der Linearbeschleuniger der TESLA Test Facility betrieben. In seinen unterschiedlichen Ausbaustufen wird er zum einen für den Test von neu entwickelten Beschleunigerkomponenten genutzt, zum anderen aber auch als so genannter Treiber für einen Freie-Elektronen Laser (FEL).

Im Berichtszeitraum wurde der TTF Linac Beschleuniger zunächst bis Mitte März für den FEL betrieben. Hierbei stand in einigen Experimenten die Wechsel-

wirkung der erzeugten Laserstrahlung mit Festkörpern im Vordergrund, in anderen wurden hochionisierte Xenon Cluster erzeugt. In beiden Fällen ging es darum, erste Erfahrung mit der Nutzung der brillanten Strahlung (bis zu 10^{13} Watt/cm²) des FELs zu sammeln. Die gewonnenen Ergebnisse werden im Kapitel HASYLAB (S. 99ff) ausführlich beschrieben.

Ab Mitte März standen dann Untersuchungen im Hinblick auf hohe Beschleunigungsgradienten im Vordergrund. Die Feldstärke im ersten der beiden Beschleunigermodule wurde mit dem Ziel erhöht, die Grenzen des Moduls zu ermitteln. Von diesem so genannten Modul 3 wurde nach den früher durchgeführten Hochfrequenzmessungen ein über alle acht Beschleunigungsstrukturen gemittelter Gradient von 22.7 MV/m erwartet. Dieser Wert wurde 1999 in einem Betrieb über 11 Stunden ermittelt. Da für den Test nur ein Klystron zur Verfügung stand und der maximale Gradient im zweiten installierten Modul durch Probleme mit einem Hochfrequenzeinkoppler auf etwa 15 MV/m begrenzt war, wurde nach ersten Untersuchungen bald darauf verzichtet, beide gemeinsam zu betreiben. Modul 2 wurde abgeschaltet. Durch Bestimmung der Elektronenergie vor und nach der Beschleunigung in Modul 3 konnte zunächst der Gradient von 22.7 MV/m bestätigt werden. Ein längerer Betrieb mit Strahl wies jedoch auf höhere, nicht tolerierbare kryogenische Verluste hin. Als stabil wurde schließlich ein maximaler Gradient von 21.4 MV/m ermittelt, bei dem 800 μ s lange Strahlpulse beschleunigt werden konnten. Die während der Beschleunigung ermittelten zusätzlichen kryogenischen Verluste lagen dabei unter 2 W für das gesamte Modul. Während des gesamten Tests von Modul 3 wurden viele Daten aufgezeichnet. So zeigte sich beispielsweise, dass die bei einem angestrebten Betrieb mit 800 μ s langen Strahlpulsen, 8 mA Strahlstrom und 1 Hz Pulswiederholfrequenz tatsächlich erreichte integrierte Ladung mit bis zu 165 mCoulomb pro Tag nur etwa 30% der geplanten Ladung war. Dies hatte seine Ursache nicht im Betrieb des Beschleunigermoduls – hier wurde eine Effizienz von über 90% erreicht – sondern war unter anderem begründet in nicht akzeptablem Strahlverlust im Bereich des Undulators, der nach wie vor im hinteren Teil des TTF Linac installiert war. Für den Ausbau des TTF Linac zur TTF2 Nutzeranlage wurde hiermit die Richtigkeit der Entscheidung für den Einbau eines Kollimatorsystems bestätigt. Nur der nutzbare Teil des Elektronenstrahls wird zum Undulator durch-

gelassen. Die Aufzeichnung der Daten ermöglichte auch erstmalig eine statistische Analyse von Quenchen, dem Zusammenbruch der Supraleitung in einzelnen Beschleunigungsstrukturen, hervorgerufen durch lokale Erwärmung. Der Beginn und zeitliche Verlauf eines solchen Quenches wurde durch Aufzeichnung der Beschleunigungsfeldstärke innerhalb vieler Hochfrequenzpulse zugänglich. Gegen Ende der Betriebsperiode wurden nur noch einzelne Quenche pro 24 Stunden Betriebstag nachgewiesen. Dieser Erfolg wurde durch eine verbesserte Logik des Regel- und Kontrollsystems für Beschleunigungsgradient und -phase ermöglicht.

Nach insgesamt 50 Tagen Betrieb bei hohem Gradienten begann Anfang Mai eine dreimonatige Betriebsunterbrechung. In ihr wurden nachfolgend beschriebene Umbauten vorgenommen, die schließlich den Test so genannter Superstrukturen und den Test eines weiteren Beschleunigermoduls, Modul 1*, ermöglichten.

Die seit mehreren Jahren betriebene Elektronenquelle (RF Kanone), ein kurzer normalleitender Beschleuniger, wurde ausgetauscht, da es beim Betrieb mit langen Strahlpulsen zunehmend Probleme gab, die Beschleunigungsspannung über 800 μ s aufrecht zu erhalten. Fermilab/Chicago stellte Ersatz.

Das erste Beschleunigermodul wurde durch einen neuen Abschnitt ersetzt, der insgesamt vier supraleitende Beschleunigungsstrukturen enthält, von denen jeweils zwei zu einer so genannten Superstruktur gekoppelt sind. Ein solches Paar von Strukturen wird über nur einen Hochfrequenzeinkoppler versorgt. Dies führt zu einer Änderung der Verteilung der elektromagnetischen Felder innerhalb der Struktur, weshalb eine genaue Untersuchung mit Elektronenstrahl notwendig ist.

Das zweite Beschleunigermodul wurde durch das Anfang 2000 zusammengebaute Modul 1* ersetzt. Die Beschleunigungsstrukturen dieses Moduls waren vor dem Einbau in ihren erreichbaren Gradienten vermessen worden. Ein mittlerer Gradient von 25 MV/m sollte bestätigt werden.

Um beim Test der neuen Beschleunigermodule möglichst flexibel zu sein, wurden alle engeren Stellen im Strahlführungssystem beseitigt. Dies ermöglichte unter anderem auch den Einschuss des Elektronenstrahls

mit einem deutlichen Versatz bezogen auf die Achse der Beschleunigerstrukturen, ein Experiment, das zur Untersuchung so genannter höherer Moden – durch den Strahl selbst angeregte elektromagnetische Felder – durchgeführt werden muss. Der Ausbau des Undulators und der Photonenstrahl-diagnose wurde auch wegen der anstehenden Modifikationen für den Einsatz bei TTF2 notwendig.

Anfang August konnte der TTF Linac Injektor in Betrieb genommen werden. Die für alle weiteren Untersuchungen benötigten Elektronenstrahlparameter wurden demonstriert. Nach Abschluss des Konditionierens der Hochfrequenzkoppler sollte daraufhin der Strahl durch die Superstruktur geführt und in ihr beschleunigt werden. Dies gelang jedoch erst nach einem Aufwärmen und erneutem Abkühlen, da ein Handventil innerhalb des Beschleunigermoduls nicht richtig geöffnet war.

Anfang September konnte dann aber der Strahl in der Superstruktur beschleunigt werden. Mitte des Monats war die Untersuchung der oben genannten höheren Moden mit langen Strahlpulsen möglich. In zwei verschiedenen sich ergänzenden Messungen konnte klar nachgewiesen werden, dass die Superstruktur für die Beschleunigung eines Elektronenstrahls mit TESLA Strahlparametern geeignet ist. Dies ist eine gute Grundlage für die nächsten mehr technisch bedingten Schritte: Vakuumdichttechnik nahe den Enden der einzelnen Strukturen, höhere Leistungen der Hochfrequenzkoppler, hohe Gradienten einer gesamten Einheit usw.

Im gleichen Betriebszeitraum wurde Modul 1* getestet, das im März 2000 unter Verwendung des alten Kryostat- und alten Kopplerdesigns montiert wurde. Nach dem Konditionieren zeigte sich, dass zwei der acht Beschleunigungsstrukturen deutlich niedrigere Gradienten haben als vor der Montage und damit im gemeinsamen Betrieb aller Strukturen ein maximaler mittlerer Gradient von 22 MV/m möglich ist. Dies weicht von den Erwartungen (25 MV/m) ab. Im Weiteren wurde versucht, diese Diskrepanz zu erklären. Anhand von Montageprotokollen wurde schließlich vermutet, dass Probleme beim Einbau der Hochfrequenzkoppler ursächlich verantwortlich sind.

Mit Abschluss des beschriebenen Modultests endete nach mehr als 13 000 Betriebsstunden der Strahlbetrieb des TTF1 Linacs. Es wurden insgesamt vier Beschleunigermodule betrieben und mit dem Ziel, die technische Realisierung eines Linear-Colliders und auch eines Röntgenlasers zu ermöglichen, ausführlich untersucht. Der beschleunigte und für viele Experimente der Beschleunigerphysik genutzte Elektronenstrahl wurde hierbei anfänglich von dem in Kollaboration mit Saclay und Orsay gefertigten thermionischen Injektor erzeugt. Dieser konnte später durch eine von Fermilab beigesteuerte RF Kanone für den FEL Betrieb modifiziert werden.

Bestandteile der Elektronenquelle sind weiterhin die vom INFN Mailand gelieferte Kathodenkammer und der vom Max-Born Institut (Berlin) entwickelte und gebaute Kurzpuls-laser. Komponenten wie der zwischen den beiden Beschleunigermodulen installierte Bunchkompressor sowie Strahl-diagnoseeinrichtungen, unter anderem beigesteuert von INFN Frascati, Saclay, Orsay, der Universität Hamburg und der RWTH Aachen, erlaubten den Betrieb des TTF Linac als Treiber für den im letzten Jahresbericht (Seite 233ff) beschriebenen SASE FEL im VUV Wellenlängenbereich. Seit der Inbetriebnahme des FEL im Februar 2000 sind etwa 2500 Stunden für die Erzeugung von Laserlicht genutzt worden, wobei etwa 500 Stunden für die oben genannten Physik-Experimente im Wellenlängenbereich von 80 bis 180 nm angeboten wurden.

In der aktuellen Umbauphase wird die Erweiterung des Linacs auf insgesamt fünf Beschleunigermodule vorgenommen. Dies ermöglicht eine Strahlenergie von bis zu 1 GeV, eine wesentliche Voraussetzung für die Verkürzung der FEL Wellenlänge bis hinunter zu 6 nm. Die neu eingebauten Beschleunigermodule sollen im Frühjahr 2003 getestet werden. Im Anschluss wird bis Spätsommer die Strahlführung vervollständigt, so dass schließlich Beschleuniger, Bunchkompressoren, Strahlführung, Kollimatoren, Undulatoren und Photonenstrahlführung den erweiterten FEL bilden. Die Inbetriebnahme wird abhängig vom Fortschritt der Installation in mehreren Phasen erfolgen, so dass spätestens im Frühsommer 2004 mit einem ersten Laserstrahl gerechnet werden kann.