

# Planungen und Untersuchungen für den TESLA Linear Collider und den Röntgenlaser XFEL bei DESY

Am 5. Februar 2003 gab die Bundesforschungsministerin Edelgard Bulmahn ihre Entscheidung über die Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung bekannt. Sie gab grünes Licht für einen Freien Elektronen Laser in europäischer Kooperation und entschied gleichzeitig: Es wird heute kein deutscher Standort für den TESLA-Linearbeschleuniger vorgeschlagen und DESY wird aber die international

eingebetteten Forschungsarbeiten weiterführen können, um eine deutsche Beteiligung an einem späteren globalen Projekt zu ermöglichen. Deshalb hat die TESLA-Planungsgruppe die Vorbereitungen für das TESLA-Planfeststellungsverfahren, das in Zusammenarbeit mit einer Ingenieurgemeinschaft durchgeführt wurde, im Berichtszeitraum zum vorläufigen Abschluss gebracht. Die standortunabhängigen Untersuchungen

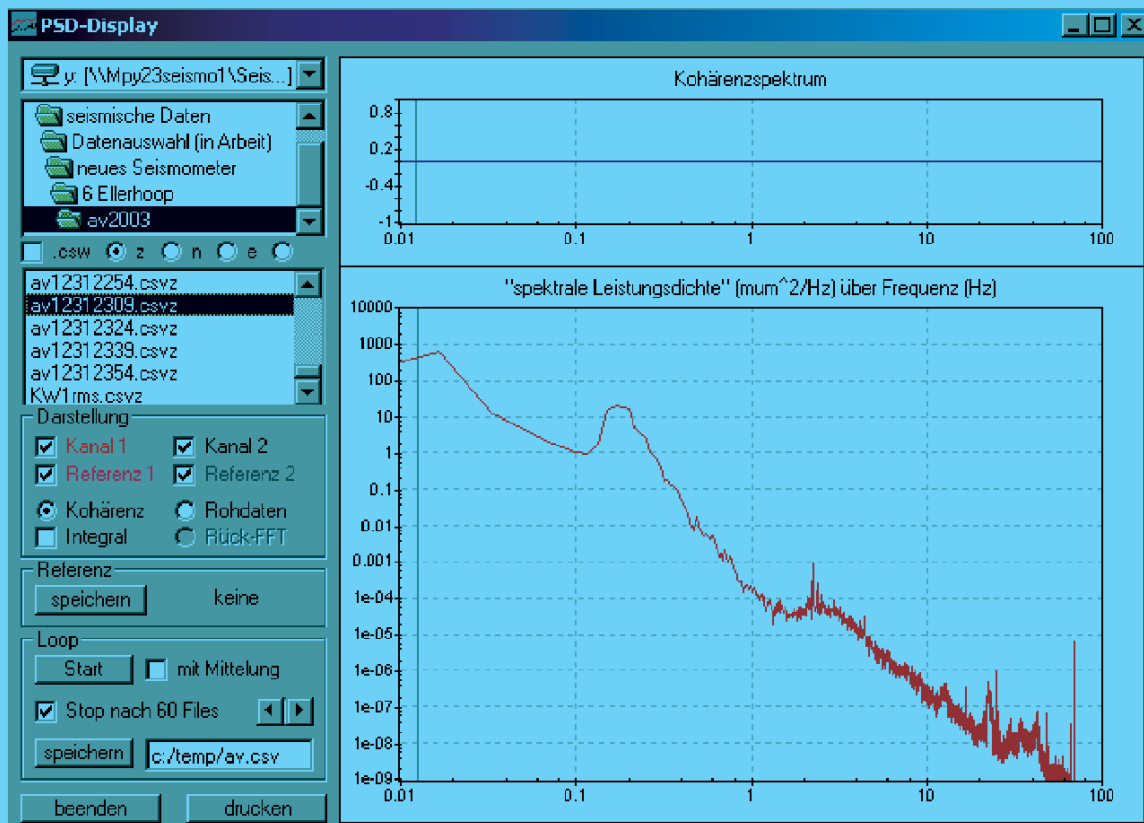


Abbildung 131: Beispiel einer in Ellerhoop gemessenen und über eine Viertel Stunde gemittelten spektralen Leistungsdichte der Bodenbewegung.

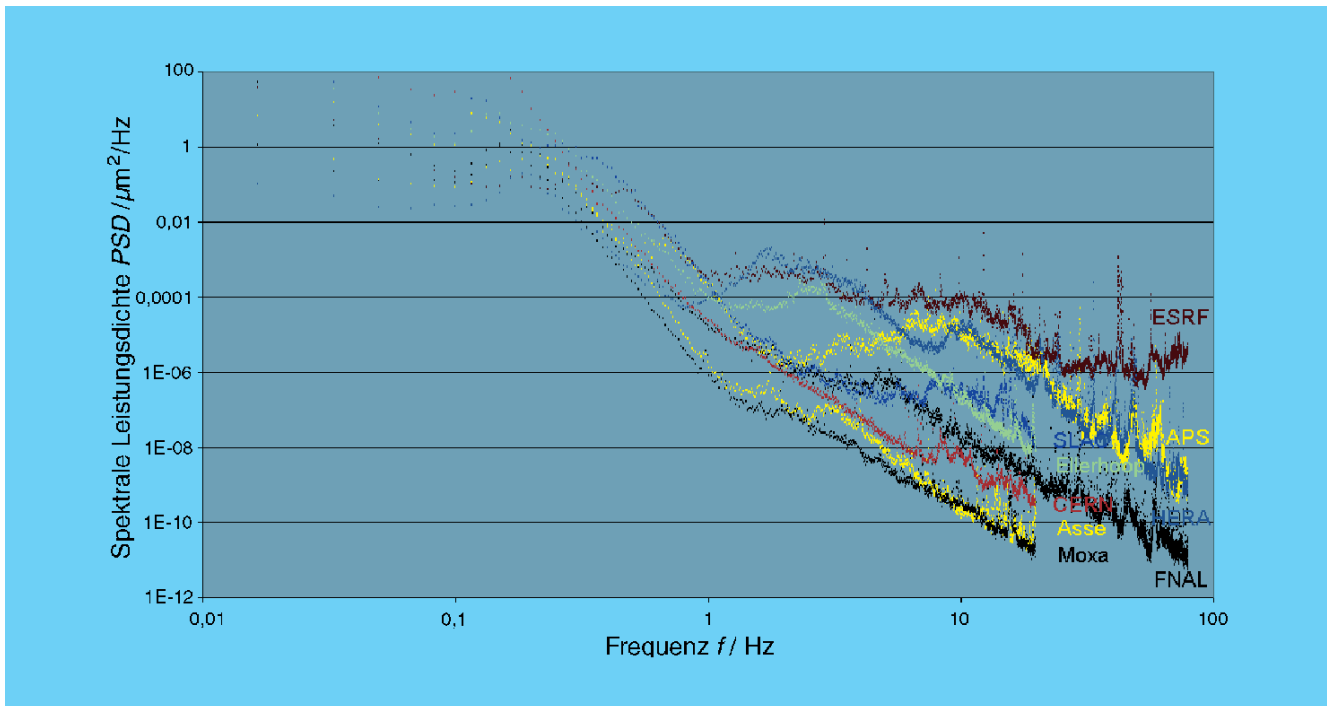


Abbildung 132: Über eine Stunde gemittelte spektrale Leistungsdichten der Bewegung an verschiedenen Messorten.

werden nun global weitergeführt. Außerdem ist durch die Entscheidung der Ministerin der Standort des Röntgenlasers nicht mehr an den TESLA-Standort gekoppelt. Aus diesem Grund hat eine DESY-Arbeitsgruppe den Standort für das FEL-Labor diskutiert und verschiedene Standorte betrachtet. Die TESLA-Planungsgruppe war an dieser Untersuchung beteiligt, und es wurden für die verschiedenen, grundsätzlich in Frage kommenden Trassen, seismische Messungen, in einem Fall über mehrere Wochen, im HERA-Tunnel, im Keller von einem Bürogebäude und an der Erdoberfläche, durchgeführt.

Im Jahr 2002 wurde zwischen DESY und dem Arbeitsbereich Geotechnik und Baubetrieb der Technischen Universität Hamburg-Harburg eine Zusammenarbeit vereinbart. Ein Ziel ist die Erklärung des „Cultural Noise“ in den Bodenvibrationsspektren zwischen 0.01 Hz und 100 Hz. Dabei wird angenommen, dass der Straßen- und Schienenverkehr die Hauptursache darstellt. Im Berichtszeitraum wurden Simulationsrechnungen durchgeführt, die mit Hilfe eines

Anregungsmodells, gemessener Fahrbahnrauigkeiten auf Autobahnen und eines geeigneten Übertragungsmodells für den Boden spektrale Leistungsdichten erzeugen können. Darin sind bereits grob die charakteristischen Signaturen gemessener spektraler Leistungsdichten enthalten.

### Bodenvibrationsmessungen

Wegen immer weiter steigenden Anforderungen an die Teilchenstrahlstabilität zukünftiger Beschleuniger sind auch Bodenvibrationen als mögliche Störursache zu betrachten und bei der Wahl der Standorte zu berücksichtigen. Die hierzu im Jahr 2002 begonnenen Untersuchungen von Bodenvibrationen wurden im Jahr 2003 fortgesetzt. Hierbei kamen sowohl einfache Geophone für schnelle Messungen wie auch aufwändige Breitbandseismometer für Präzisionsmessungen zum Einsatz. Für die Datennahme und -auswertung wurde eine universelle, interaktive Technik entwickelt. Neben vielen Messreihen an Standorten auf oder in der Nähe des

DESY-Geländes wurden einige Messreihen an anderen Beschleunigerlabors und an ruhigen Referenzorten aufgenommen. In der Abbildung 131 ist ein Beispiel für eine gemessene spektrale Leistungsdichte dargestellt. Das Bild ist direkt der Benutzeroberfläche des interaktiven Darstellungsprogramms entnommen worden. Die Daten wurden mit einem Breitbandseismometer CMG-3T von Güralp in Ellerhoop, in der Nähe des geplanten TESLA-Wechselwirkungspunktes, aufgenommen.

In erster Näherung ist das Spektrum umgekehrt proportional zur vierten Potenz der Frequenz. Im Bereich um 0.1 Hz ist eine deutliche Überhöhung zu erkennen, die durch Ozeanwellen verursacht wird. Dieses natürliche mikroseismische Signal ist weltweit zu messen. Oberhalb von etwa 1 Hz ist eine weitere Abweichung zu erkennen, die stark messortsabhängig ist, da sie von der Summe aller in der näheren Umgebung der Messstelle vorhandenen Anregungen durch menschliche Aktivitäten wie Straßen- und Schienenverkehr, Bauaktivitäten und Ähnliches verursacht wird. Sie wird als Cultural Noise bezeichnet. Speziell in diesem Frequenzbereich unterscheiden sich die Messungen an unterschiedlichen Standorten. Die Abbildung 132 zeigt im

Vergleich die an verschiedenen Orten jeweils nachts zu einer besonders ruhigen Zeit aufgenommenen spektralen Leistungsdichten.

Die in der Abbildung 132 dargestellten spektralen Leistungsdichten wurden ebenfalls mit einem Breitbandseismometer CMG-3T von Güralp aufgenommen. Zur Charakterisierung eines Messortes kann der quadratische Mittelwert der Bewegung für den Frequenzbereich oberhalb von 1 Hz verwendet werden. In der Tabelle 4 sind diese RMS-Werte für die verschiedenen Messorte zusammengestellt. Alle aufgenommenen Messdaten stehen außerdem im WorldWideWeb unter der Adresse <http://desyntwww.desy.de/~seismo/Seismometer/> zur Verfügung.

## Bodenmechanik

Bei DESY werden, wie bei fast allen anderen Standorten auch, im Frequenzbereich oberhalb von 1 Hz tageszeitabhängig erhöhte Spektraldichten der Bodenschwingungsamplituden gemessen. Eine mögliche Ursache dafür sind der Straßen- und Schienenverkehr. Bei der Überfahrt von Fahrzeugen über unebene

Messort	Minimaler RMS-Anteil Wert in nm	Zusätzlicher RMS-Anteil in nm an Werktagen
Moxa	0.6	+ 0.5
Asse	0.8	+ 0.5
DESY	40	+ 100 und mehr
DESY HERA-Tunnel	40	+ 80 und mehr
Ellerhoop	15	+ 35
CERN	5	+ 10
CERN LHC/LEP-Tunnel	2	+ 2
ESRF	40	+ 120 und mehr
SLAC	5	+ 5
Copper Mountain	< 2	
FNAL	7	+ 3
FNAL Numi-Targethalle	3	+ 3
APS	15	+ 2

Tabelle 4: RMS-Werte der Bewegung für den Frequenzbereich oberhalb von 1 Hz an verschiedenen Messorten.

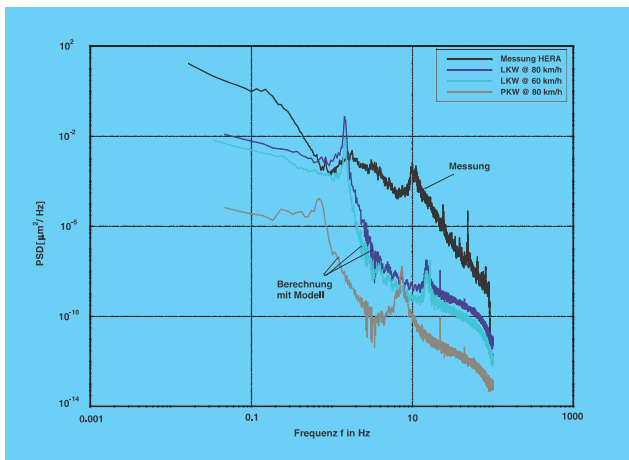


Abbildung 133: Vergleich von gerechneten mit einer gemessenen spektralen Leistungsdichte der Schwingungsamplituden.

Fahrbahnen bzw. Gleise entstehen fahrzeug- und fahrgeschwindigkeitsabhängige charakteristische Bodenschwingungen. Als Modell wurde ein Zwei-Massen-Feder-Dämpfer-System für das Fahrzeug und die Lösung von Payton für eine transiente Anregung für den Untergrund gewählt. Vereinfachend wird von einem homogenen, isotropen und elastischen Halbraum ausgegangen. Erste Berechnungen zeigen, dass die so modellierten Bodenschwingungen in der Spektraldichtedarstellung eine ähnliche Charakteristik wie die gemessenen aufweisen. In der Abbildung 133 ist der Vergleich von gerechneten mit einer gemessenen spektralen Leistungsdichte der Schwingungsamplituden dargestellt. Die berechneten Bodenschwingungsamplituden wachsen, wie erwartet, mit höherer Fahrgeschwindigkeit und Fahrzeugmasse an. Das Modell soll nun weiter verbessert werden, um den Einfluss des Untergrunds und des Verkehrs zu untersuchen.

### Trassenuntersuchungen für den geplanten Röntgenlaser

Am DESY befindet sich zurzeit ein neues Beschleunigerprojekt in der Planung. Es handelt sich hierbei um einen supraleitenden, etwa 2 km langen Linearbeschleuniger für Elektronen mit anschließenden Undulatorstrecken zur kohärenten Röntgenlichterzeugung

(XFEL). Um die bestehende Infrastruktur des aktuellen DESY-Geländes nutzen zu können und um Kombinationsoptionen mit existierenden Teilchenbeschleunigern offen zu halten, soll die neue Anlage möglichst eine Verbindung zum DESY-Gelände haben.

Die TESLA Planungsgruppe hat zu den Untersuchungen der möglichen Trassenvarianten beigetragen. In diesem Rahmen wurde die Geologie betrachtet, die Realisierbarkeit unter Berücksichtigung der existierenden Bebauung, speziell auf dem DESY-Gelände, geprüft, Bodenvibrationsmessungen durchgeführt und Kostenabschätzungen vorgenommen.

### Grundwassermessungen bei HERA NR250

Die im Jahr 2002 installierte Grundwassermessstelle in unmittelbarer Nähe des HERA-Tunnels bei NR 250 m hat für das gesamte Jahr 2003 Pegelstände geliefert. In Abbildung 134 ist der Grundwasserstand über die Zeit seit Beginn der Datennahme dargestellt, wie er auch im WorldWideWeb unter der Adresse <http://desyntwww.desy.de/~seismo/Grundwasser/> zu finden ist. Auffällig ist der im Berichtszeitraum nahezu stetig fallende Grundwasserstand, der durch geringere Niederschläge erklärt werden kann. Ein Vergleich mit dem Tunneldurchmesser wurde aufgrund der fehlenden Signifikanz in den Wasserständen dieses Jahr nicht durchgeführt.

### Hochgradientenprogramm für supraleitende Resonatoren

Die Elektropolituranlage für neunzellige Resonatoren wurde im Berichtszeitraum erfolgreich in Betrieb genommen. Die ersten bei DESY elektropolierten neunzelligen Resonatoren wurden gemessen. Erstmals konnte im vertikalen CW Test eine Beschleunigungsfeldstärke größer als 40 MV/m erreicht werden. Auch bei der Entwicklung von nahtlosen mit Niob ausgekleideten Kupfer-Resonatoren wurde in Zusammenarbeit mit KEK ein hervorragendes Ergebnis erreicht. Die maximale Beschleunigungsfeldstärke lag bei 39 MV/m. Einzelheiten hierzu finden sich in den detaillierten Berichten der Gruppen MKS, MHF-sl und MPL.



Abbildung 134: Grundwasserstand in Abhängigkeit von der Zeit bei HERA NR 250.

## XFEL-Projektgruppe

Mit der positiven Entscheidung der Bundesregierung zum Bau der XFEL-Anlage als Europäisches Projekt einschließlich einer Finanzierungszusage von 50% der auf 684 Mio. Euro (Basis Jahr 2000) geschätzten Kosten sind die Vorbereitungen für die Realisierung dieses Projekts in eine neue Phase eingetreten. Aus der noch erforderlichen Organisation des Projekts auf europäischer Ebene, den technisch-wissenschaftlichen sowie den genehmigungsrechtlichen Vorarbeiten ergibt sich ein Fahrplan, der den Beginn des Baus der Anlage im Jahr 2006 vorsieht. Zur Fokussierung der Arbeit bei DESY auf dieses Ziel hin wurde eine XFEL-Projektgruppe (bereichsübergreifend, mit Beteiligung von M- und F-Gruppen) geschaffen, in der die Vorplanung der Anlage organisiert ist (die Website der Gruppe ist über <http://xfel.desy.de> zugänglich). Die Aufteilung in verschiedene Arbeitspakete deckt die generelle Parameter-Optimierung, strahlphysikalische Fragestellungen, technische Komponenten sowie Sub-Systeme sowohl für den Beschleuniger- als auch den experimentellen (Nutzer-)Teil der Anlage ab. Weitere Arbeitspakete betreffen die Projektverfolgung und Ressourcen-Planung sowie die zu errichtenden Bauten und die

Planung des Standorts, einschließlich des Planfeststellungsverfahrens.

Da der für das TESLA-Linear-Collider-Projekt vorgesehene Standort mit Forschungsgelände in Elleroop/Kreis Pinneberg zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht unterstützt wird, ergab sich die Notwendigkeit einer Revision des Standorts für das XFEL-Projekt, da einerseits die bei gleichzeitiger Realisierung von XFEL und Linear Collider vorhandenen Synergie- und Kostenersparnis-Effekte entfallen und andererseits bei späterem Bau des Colliders erhebliche Beeinträchtigungen des XFEL Betriebs aufgrund der Nähe der parallel verlaufenden Beschleuniger-Tunnel und der Experimentier-Einrichtungen auf dem gleichen Forschungsgelände auftreten würden. Es wurde daher von einer Arbeitsgruppe bei DESY ein neuer Standortvorschlag ausgearbeitet, der einen Verlauf der insgesamt 3.3 km langen Trasse der XFEL-Anlage vom DESY-Gelände beginnend in Richtung West-Nordwest und die Experimente-Halle auf dem Gebiet der Stadt Scheenefeld vorsieht (Abb. 135).

Durch die Anbindung an das DESY-Gelände kann vorhandene Infrastruktur genutzt werden. Außerdem werden sich wichtige Sub-Systeme wie die Strahlquellen,

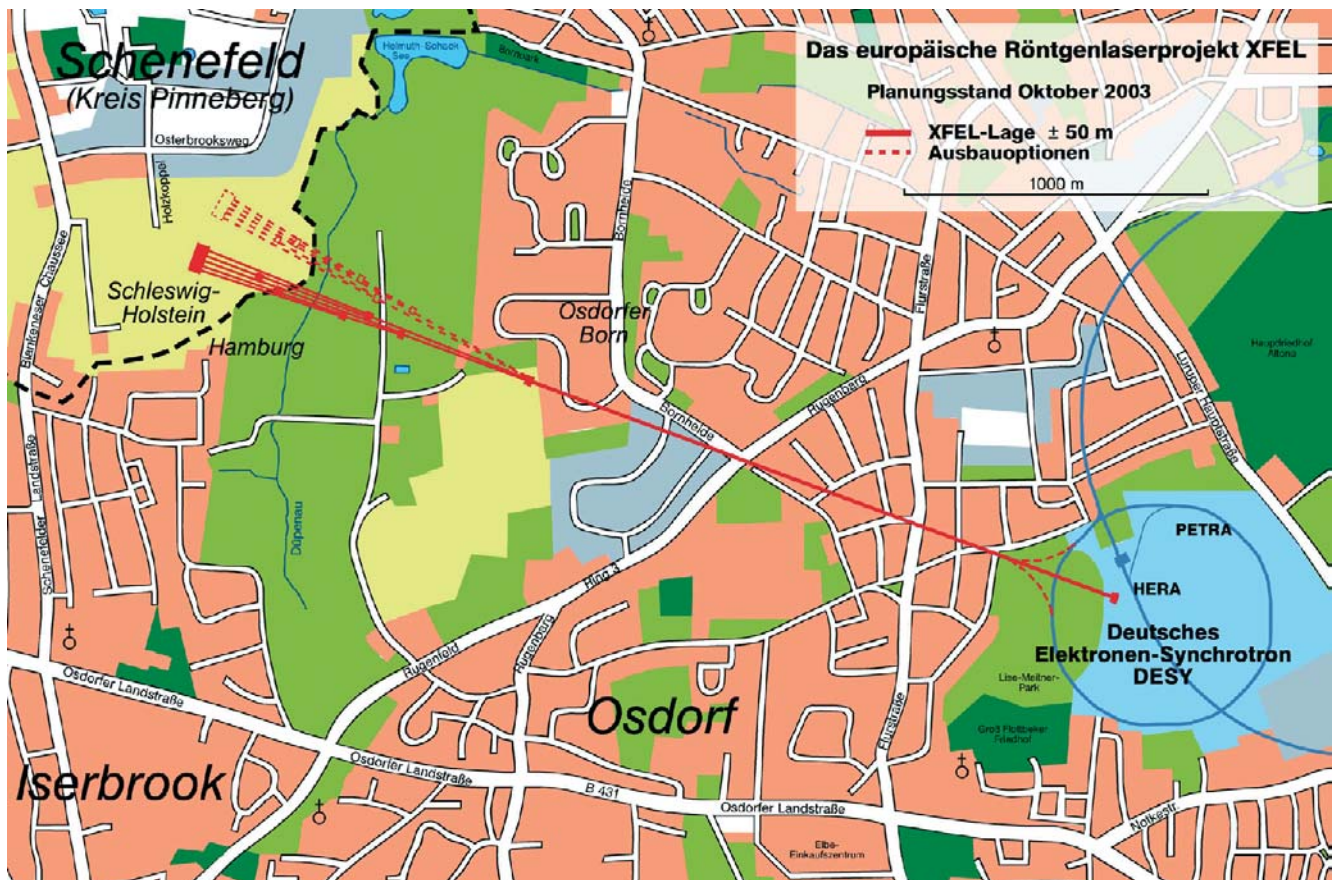


Abbildung 135: Geplanter Verlauf der 3.3 km langen XFEL-Trasse.

die Versorgung für die Hochfrequenzsender (Modulatoren) und die Helium-Kälteanlage bei DESY befinden, was einerseits den externen Flächenbedarf reduziert und andererseits Vorteile bei der Installation, Inbetriebnahme und Wartung der Anlage bietet. Weiterhin schließt die vorgeschlagene Trassenführung für erweiterte Nutzungsmöglichkeiten der Anlage in der längerfristigen Zukunft einen Anschluss an die bestehenden PETRA- und HERA-Ringe nicht aus.

Der Linearbeschleuniger in supraleitender TESLA-Technologie hat eine Länge von 1.5km und ist für eine Strahlenergie von 20 GeV bei einem Gradienten von 23 MV/m ausgelegt. Eine optionale Erhöhung der Strahlenergie ist aufgrund der inzwischen mit den TESLA-Resonatoren erzielten Leistungsfähigkeit (mehrere elektropolierte Resonatoren erreichten im Berichtszeitraum Gradienten von 35–40 MV/m)

gegeben. Für Strahlkollimation und Diagnostik sowie Verteilung auf mehrere Strahl-Linien (einschließlich einer späteren Erweiterung der Nutzer-Anlage) sind 500 m Länge vorgesehen. Die Undulatoren sowie die Photonen-Strahlführungen nehmen eine Gesamtlänge von 1.3 km ein.

Die Referenzparameter für den Linearbeschleuniger sehen eine Pulsfrequenz von 10Hz sowie eine maximale Anzahl von Strahlpaketen („Bunchen“) von ca. 3200 pro Puls vor. Um ein breites Spektrum von Nutzer-Anforderungen abzudecken, ist eine möglichst große Flexibilität in der Zeitstruktur des Elektronenstrahls wünschenswert. In diesem Zusammenhang wurden Überlegungen angestellt, Bunche in einem Pulszug mit unterschiedlicher Zeitstruktur an verschiedene Experimente zu verteilen. Weitere Untersuchungen betreffen

die Möglichkeit, den Beschleuniger bei niedrigerer Strahlenergie mit höherer Pulsfrequenz zu betreiben. Während bei hoher Energie die kryogenische Last für die Helium-Kälteanlage eine Limitierung darstellt, ist bei niedrigerer Betriebsenergie das gepulste Hochfrequenzsystem (im Hauptteil des Linearbeschleunigers wie auch bei der Strahlquelle) ein begrenzender Faktor. Experimentelle Studien hierzu sind an der PITZ-Testanlage bei DESY Zeuthen in Vorbereitung. Bei ausreichend niedrigem Beschleunigungsfeld (entsprechend etwa einem Drittel der Referenz-Strahlenergie von

20 GeV) würde die Auslegung der Beschleuniger-Module ohne die Notwendigkeit technischer Modifikationen sogar einen ungepulsten Dauerstrich-Betrieb zulassen, was u.U. als eine Betriebs-Option der XFEL Anlage interessant werden könnte. Insgesamt lässt die begonnene Analyse der operationellen Flexibilität erkennen, dass der in supraleitender TESLA-Technologie gebaute Beschleuniger Optionen eröffnet, die über die Möglichkeiten konventioneller Technologie deutlich hinausgehen und ein breites Spektrum wissenschaftlicher Nutzung mit langfristiger Perspektive bieten.