TESLA Report 2002-08

Prototyp eines Wirescanners für TTF II

N. von Bargen, U. Hahn, O. Hensler, S. Karstensen, M. Sachwitz, H. Schlarb und H. Thom

Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY

16. Juli 2002

Abstract

Development and test of wire scanners for the Free Electron Laser (FEL) at the Tesla Test Facility phase II are described. The design fulfills the requirements of high precision measurements, of compact and easily exchangeable and referable structures as well as user friendly implementation into the accelerator environment. The basic principle of the measurements consist in detecting the secondary particles created when the wire transverses the electron beam with a constant velocity of up to 1 m/sec. A high resolution measurement system connected with the wire determines the profile and position of the beam with high precision. A reference system connected with the wire scanner components enables the in situ determination of the absolute position of the beam within 20 - 30 μ m.

Zusammenfassung

Es wird die Entwicklung der Wirescanner für den Freien Elektronlaser (FEL) an der Tesla Test Facility Phase II beschrieben. Die Neuentwicklung wird den Forderungen nach hoher Meßgenauigkeit, kompaktem, einfach austauschbarem und referenzierbarem Aufbau, sowie der nutzerfreundlichen Einbindung in den Beschleunigerbetrieb gerecht. Das Meßprinzip beruht auf dem Nachweis von Streustrahlung, die beim Durchgang eines Wirescanner Drahtes durch den Elektronenstrahl entsteht. Der Draht kann mit konstanter Geschwindigkeit von bis zu 1 m/s durch den Elektronenstrahl bewegt werden. Ein mit dem Draht verbundenes hochauflösendes Meßsystem gestattet es, das Profil und daraus die Position des Strahls mit großer Genauigkeit zu bestimmen. Durch eine Referenzierung der Einbaulage ist eine absolute Strahllagebestimmung von 20 - 30 μ m am Ort des Wirescanners möglich.

1 Einleitung

Wirescanner werden seit Jahren an Beschleunigeranlagen je nach Anforderungen und Rahmenbedingungen in vielen Variationen eingesetzt. In den Referenzen [1, 2, 3, 4] sind einige Meßanordnungen dargestellt. Als Beitrag zur Strahldiagnostik an der Tesla Test Facility (TTF II) wurde für diese Anlage ein Wirescanner entwickelt (siehe Abbildung 1 und 2), dessen wesentliche Eigenschaften der kurze Hub von S = 48mm, die Positioniergenauigkeit $\Delta S \lesssim 0,003$ mm sowie die im Arbeitsbereich von 30 mm maximale, konstante Geschwindigkeit von v = 1 m/s sind. Das Antriebskonzept beruht auf dem Einsatz eines Nutkurvenzylinders (siehe Abbildung 3), um die Drehbewegung des Motors mit Hilfe der Übertragungsfunktion einer Bestehorn-Sinoide (siehe Abbildung 4) in eine Linearbewegung umzuformen. Vergleichsweise wurden andere schnelle, kurzhübige Antriebe (Linearantrieb, Zahnstangenantrieb, Gewindespindelantrieb, Rollringgetriebe) untersucht. Die gewählte Variante entspricht in ihrer Dynamik und Kompaktheit den Anforderungen für TTF II. Die Abstimmung der Mechanik, Elektronik und Software (Mechatronik) ermöglicht eine einfache Wartung, Bedienung und Anpassung an das Meßproblem. Die Wartungsfreundlichkeit ist durch die Einfachheit des Eichens, der Montage und der Austauschbarkeit gegeben. Der große Geschwindigkeitsbereich, die hohe Positioniergenauigkeit und die stetig verlaufende Hubbewegung ermöglichen eine Anpassung an den Beschleunigerbetrieb. Die Einsatzdauer eines Wirescanners wird wesentlich von der Haltbarkeit der verwendeten Drähte bestimmt, die beim Durchqueren des Strahls einer hohen thermischen Belastung ausgesetzt sind.

2 Mechanik

2.1 Aufbau

Die Hubbewegung mit einer maximalen Geschwindigkeit von $v_{max} = 1$ m/s und die geforderte Positioniergenauigkeit von $\Delta S \leq 0,003$ mm stellen hohe Anforderungen an die konstruktive Gestaltung des Wirescanners [5]. Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Anordnung der Baueinheiten mit den Abmaßen L x B x H = 320mm x 160mm x 205mm.

Zwischen den beiden Zinken einer Keramikgabel (siehe Abbildung 1) sind hintereinander drei Meßdrähte gespannt, die zur Vermeidung bzw. Minimierung von Wakefields durch einen 1 mm engen Schlitz geführt werden. Um einen problemlosen Durchgang zu gewährleisten, muss die Gabel vertikal und horizontal zum Strahl sowie um ihre Bewegungsachse justierbar sein. Mit einem Membranbalg wird die im Ultrahochvakuum befindliche Gabel von der Atmosphäre getrennt. Die Gabel ist direkt an den stabilen und torsionssteifen Führungsschlitten gekoppelt. Die Anforderungen an den Führungsschlitten für hohe Geschwindigkeiten verbunden mit genauer Positionsbestimmung sind geringe Reibung (kein Rattern), hohe Steifigkeit, geringes Lagerspiel (< 0.002 mm), hohe Dämpfung und eine geringe Masse. Direkt an dem Führungsschlitten ist ein gekapselter Meßtaster MT 60 K (Heidenhain) so angeschlossen, dass die Kopplung die Abbe'schen Prinzipien [6] nicht verletzt. Der Führungsschlitten wird von einem Nutkurvenzylinder- Übertragungsgetriebe über einen Gleitstein bewegt, der stabil und spielfrei drehbar gelagert ist. Die Nut des Nutkurvenzylinders wird nach vorgegebener Übertragungsfunktion gefertigt [7, 8, 9, 10]. Dadurch kann man den zeitlichen Bewegungsablauf des Führungsschlittens so determinieren, dass keine Unstetigkeiten in den Bewegungsphasen des Führungsschlittens und unerwünschte Beschleunigungsspitzen auftreten. Mit dem im Wirescanner eingesetzten ausgewuchteten Nutkurvenzylinder erzeugt man einen Hub von S = 48 mm. Die Nut ist eine geschlossene Kurve. Sie bewirkt bei einer Umdrehung einen Vor- und Rücklauf, die in 6 Bewegungsphasen zu je 60° unterteilt ist (siehe Abbildung 4). Die Anlauf- und Auslaufphase sind nach der Funktion der Bestehorn-Sinoide (siehe Kapitel 2.2) gefertigt worden, die stetige Bewegungsabläufe gewährleistet. Durch den Einsatz des Nutkurvenzylinders sind keine Endschalter und keine Drehrichtungsumkehr erforderlich.

2.2 Bewegungsfunktion der Gabel

Kurvengetriebe sind sehr gut für oszillierende Bewegungen geeignet. Die Bewegungsübertragung wird durch die Übertragungsfunktion bestimmt, die den mathematischen Zusammenhang zwischen Antriebs- und Abtriebsparameter darstellt. Es sind verschiedene Übertragungsfunktionen bekannt, deren Bewegungsabläufe unterschiedliche Eigenschaften aufweisen [9, 10]. Für die Anlauf- und Auslaufphase des Wirescanners wurde die Übertragungsfunktion nach der Bestehorn-Sinoide ausgewählt.

$$S = s_B \bigg[\omega t - (1/2\pi) \sin(2\pi\omega t) \bigg] \qquad 0 \le \omega t \le 1 \qquad (1)$$

Hierbei bedeuten S= Hub der An- und Auslaufphase, s_B = Hub des Übergangsbereiches, ωt = normierte Größe des Übertragungswinkels der An- und Auslaufphase und ω = Winkelgeschwindigkeit des Bereichs der Bestehorn-Sinoide.

Der Bereich $\omega t = 0$ bis $\omega t = 1/2$ stellt die Anlaufphase dar und $\omega t = 1/2$ bis $\omega t = 1$ beschreibt die Auslaufphase. Die Arbeitsphase mit erwünschtem, konstantem Geschwindigkeitsverlauf wird zwischen der An - und Auslaufphase bei $\omega t = 1/2$ implementiert. Dabei muß der Steigungswinkel der linearen Übertragungsfunktion gleich dem der Bestehorn-Sinoide bei $\omega t = 1/2$ sein (siehe Abbildung 4). Der Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverlauf ergibt sich durch Differenzieren zu:

$$S' = s_B \omega \left[1 - \cos(2\pi\omega t) \right] \qquad 0 \le \omega t \le 1$$
(2)

$$S'' = s_B \omega^2 2\pi \sin(2\pi\omega t) \qquad 0 \le \omega t \le 1 \tag{3}$$

Eine Beispielrechnung für den vorliegenden Wirescanner ergibt mit $\varphi = \omega t = 120^{0}$ und der vorgegebenen Geschwindigkeit im linearen Bereich v = 1000 mm/s für den Bereich der Bestehorn-Sinoide ein $\omega = 20,833$ Hz. Bezieht man den Bereich der Bestehorn-Sinoide auf eine volle Umdrehung $\varphi = 360^{0}$, so ergibt sich für den Schrittmotor ein $\omega = 6,944$ Hz, das einer Ansteuerfrequenz von f = 1 389 Hz entspricht.

3 Motorsteuerung

Um die Bewegungen mit hoher Auflösung zu realisieren wurde ein Schrittmotor mit einem Drehmoment von $M \ge 2$ Nm bei 51200 Mikroschritten pro Umdrehung eingesetzt. Durch den kurzen Anfahrweg von 60° vom Stillstand des Motors bis zur Höchstgeschwindigkeit werden hohe Anforderungen an den Schrittmotortreiber und das dazugehörende Netzteil gestellt. Um zu gewährleisten, dass der Motor ohne Schlupf anläuft und keinen Schritt verliert, wurde ein spezielles Leistungsnetzteil [11] an den Motor angepasst. Laborversuche haben gezeigt, dass der Leistungstreiber IM1007 unseren Anforderungen genügt. Der Motor wird mit einem Betriebsstrom von 8 A (und einem kurzzeitigen Anlaufstrom von 10 A) sowie einem Eingangsspannungsbereich von 24 VDC bis 110 VDC betrieben. Die hohe Schrittzahl ermöglicht es, im linearen Bereich des Nutkurvenzylinders mit einem Mikroschritt (0,0070312°) einen Hub von 2,8 μ m zu erreichen. Die Ansteuerung (Takt und Richtung) des Leistungstreibers IM1007 erfolgt mittels eines IP-Stepper Moduls [12]. Damit ist auch eine definierte Anfahrrampe programmierbar, die eine Endgeschwindigkeit von 1 m/s ohne Schrittverlust nach 60° garantiert.

Bei einer gewählten Einstellung von 256 Mikroschritten ist eine genaue Positionierung durch Approximation unumgänglich, da Schrittmotore nur 32 Mikroschritte verlässlich auflösen. Diese Diskrepanz (256 gegen 32 Mikroschritte) wird mit dem externen Meßsystem MT60K (Heidenhaingitter) [13] behoben. Die Auslese erfolgt durch das IP-Quadrature Modul [14]. Der Längentaster MT60K hat einen Hub von 60 mm und besitzt einen Maßstab mit einer Teilung von 10 μ m. Um genauere Messungen zu erreichen, wird eine sogenannte Interpolations-Elektronik der Herstellerfirma eingesetzt. Für die Endgeschwindigkeit von 1 m/s erreicht man mit dem Modul EXE 612 die geforderte Auflösung von 1 μ m. Die folgende Tabelle fasst die technischen Parameter des Wirescanners zusammen.

Technische Daten des Wirescanners

Hubweg gesamt	S = 48 mm
	$\Delta C = 0.0000$
Hubweginkreinent	$\Delta S \equiv 0,0028 \text{ mm}$
Geschwindigkeitsbereich	v = 0.1 bis 1000 mm/s
max. Beschleunigung	$a = 65.4 \text{ m/s}^2$
Schrittfrequenzbereich des Motors	$f_{mot} = 40$ - 1400 Hz
Schrittwinkel des Motors	$\varphi = 1,8^0$
Mikroschritt des Motors	$\Delta \varphi = 1.8^0 / 256 = 0.0070312^0$
Meßdrähte Durchmesser	$d = 10$ bis 80 μm
Gabel - Material	Macor - Keramik
Signalleitungsausführung	n = 4
Meßtaster:	
Meßbereich	s = 60 mm
Auflösung	$\Delta s = 0,001 \text{ mm}$

4 Software Konzept

Das Distributed Object Oriented Control System DOOCS [15], das Standardkontrollsystem der Anlage TTF, ist die Entwicklungsumgebung für die spezielle Software des Wirescanners. Das modular aufgebaute System DOOCS ist seit Jahren bei TTF im Einsatz und kontrolliert dort wichtige Subsysteme wie Vakuum, Diagnostik oder den Laser [16]. Der vielfältige Einsatz für diverse Hardware und der modulare Aufbau erlauben es, folgende DOOCS Standard Server unverändert zu benutzen:

- ADC Server zur Auslese des schnellen ADC's [17].
- Stepper Server für den Schrittmotor.
- Timer Server.

Die Integration der drei Standard Server zusammen mit speziellen Merkmalen (IP-Quadrature, IP-Stepper) erfolgt über den zusätzlich entwickelten Wirescanner Server. Alle Server laufen auf einer VME-CPU (Intel-Pentium) in dem VME-Crate, das direkt mit der Hardware verbunden ist. Innerhalb des Wirescanner Servers werden Standard User/Client DOOCS Kommandos benutzt, um relevante Informationen des Gesamtsystems zu verarbeiten.

Der Wirescanner Server hat folgende Aufgaben :

• Aufnahme der Position mit Hilfe des Heidenhain Meßsystems aus dem IP-Quadrature Module.

- Slow Scan:
 - Einstellung der Scangeschwindigkeit.
- Fast Scan:
 - Mit Hilfe einer Tabelle (Schritte versus Drahtposition) Berechnung der nötigen Fahrschritte des Schrittmotors aus Ist- und Sollposition.
 - Bestimmung und Einstellung der Scangeschwindigkeit.
- Steuern des Scans (Start/Stop) über den Stepper Server.
- Auslese Szintillator.
 - Auslese der ADC/Photomultiplier Werte direkt aus dem Fast ADC.
 - Wandeln der 12 bit Werte mit Hilfe der Polynomparameter in physikalisch sinnvolle Grössen.
 - Funktionsbildung aus Position und Signalhöhe (Strahlprofil).
- Führungsschlitten bewegen bis Meßdrähte ausserhalb des Strahlbereichs.

Beim *Slow Scan* stellt der Server für die Datenerfassung 30 Strahlprofile mit jeweils 200 Einträgen zur Verfügung. Zur Bestimmung des Strahlprofils können innerhalb eines Makrobunches bis zu 30 Mikropulse bei gleicher Position des Drahtes aufgezeichnet werden. Bis zum nächsten Bunch hat der Draht eine definierte Weglänge zurückgelegt und die entsprechenden Mikropulse werden wieder mitgeschrieben. So kann die gesamte Strahlbreite durch eine Kurvenschar von 200 Makropulsen abgebildet werden. Der Anfangstrigger der Datennahme ist veränderbar, so dass innerhalb eines Makropulses an jeder beliebigen Position gemessen werden kann. Weiterhin ist es möglich, einen beliebigen Offset zwischen den Mikropulsen einzufügen, um z.B. jeden 10. Mikropuls zu messen.

Der Fast Scan ist eine grosse programmtechnische Herausforderung, da die Strahldurchquerung des Drahtes innerhalb eines Markropulses bei maximaler, konstanter Geschwindigkeit gesichert sein muss. Voraussetzung ist die präzise Bestimmung des Startortes in der Parkposition. Da der Hubtisch im Gebiet der Bestehorn-Sinoide geparkt wird, reichen wenige Schritte aus, um eindeutig das Kurvensegment und damit die absolute Lage des Drahtes zu ermitteln. Vier aufeinanderfolgende Positionen werden durch alle vier IP-Quadrature Zähler bestimmt, die extern vom Timingsystem zu jeweils anderen Zeiten getriggert werden. Die so gewonnenen vier Positionsstützpunkte werden entweder mit einer Kalibrationstabelle verglichen oder mit der Bestehorn-Sinoide gefittet (siehe nächstes Kapitel und Abbildung 9). Da die Strahlposition aus dem Slow Scan bekannt ist, kann die erforderliche Beschleunigung des Wirescanners im IP-Stepper Modul exakt eingestellt werden. Synchron zum Strahl wird der Motor durch ein vom TTF Timing System erzeugtes externes Signal getriggert. Für den Fast Scan gibt es ein XY-Array mit 800 Einträgen, um im 1 MHz Regime die 800 μ s eines Makropulses komplett mit den gemessenen Schritten zu kombinieren.

5 Messungen im Labor und am Strahl

Um die Funktionsparameter des Wirescanners zu testen, wurde ein Prototyp mit dem kompletten Auslesesystem im Labor aufgebaut. Das TTF Kontrollsystem DOOCS mit der entsprechenden Bedienoberfläche diente zur Steuerung und Koordination der Signale für die IP-Stepper und IP-Quadrature Module. Die Auswertung von Position, Mikroschritten (und der ADC Kanäle der Szintillatoren im Strahl) erfolgte mittels Matlab-Programmierung [18]. Mit dem entsprechenden Wirescanner Server wurden die Mikroschritte, Anlaufgeschwindigkeit und maximale Geschwindigkeit optimiert. Die Position wurde mit einem inkrementalen Längenmeßsystem ausgelesen. Die Abbildung 10 zeigt, dass die Genauigkeit der Positionierung für eine Umdrehung des Nutkurvenzylinders etwa $\sigma_1 = 3 \ \mu m$ beträgt.

Ein zweiter Prototyp des Wirescanner ist im Abschnitt EXP1 der Tesla Test Facility eingebaut. Für die Bestimmung der Strahllage wurde die Keramikgabel mit 3 Drähten bestückt - je ein 20 und 80 μ m Molybdändraht sowie ein 10 μ m Wolframdraht. Ein etwa 1 m entfernter Szintillator, der mit einer Aussparung senkrecht zur Strahlröhre steht, registrierte die Streuung des Strahls bei Durchgang der verschiedenen Drähte. Ein Steuerungsmenue auf der Grundlage des DOOCS Data Displays [19] erlaubte eine einfache Einstellung von Position und Geschwindigkeit (siehe Abbildung 6). Abbildung 7 zeigt die Anzahl der Sekundärteilchen im Szintillator für den 80 μ m dicken Draht, die Abbildung 8 die Signale für die 10 und 20 μ m dicken Drähte. Die Stärke der Signale sind abhängig vom Durchmesser und dem Material der Drähte. Eine einfache Abschätzung des erwarteten Signals $\propto d^2Z^2$ mit Z = 42 (Molybdän) und Z= 74 (Wolfram) gibt die Signalhöhen in den Abbildungen 7 und 8 bis auf 15% recht gut wieder.

Für die Bestimmung der absoluten Strahllage ist es notwendig, die Position des Drahtes genau zu kennen. Die theoretische Kurve ist durch die Formel (1) für die Anlauf- und Auslaufphase sowie einem linearen Zwischenteil gegeben. Die Differenz der theoretischen Kurve mit der gemessenen Charakteristik des in der Test Facility eingebauten Wirescanners zeigt die Abbildung 9. Man sieht, dass die Übereinstimmung zwischen den Kurven in der Grössenordnung von einem Mikrometer liegt. Die Sprünge von ca. 0.5 μ m liegen im Bereich der maximalen Beschleunigung. Hier wird das Spiel zwischen Gleitstein und Nut wirksam.

6 Vorgesehener Aufbau im Undulatorteil des Free Elektron Lasers

Ein schwieriges Problem stellen die grossen Entfernungen zwischen den Wirescannern und der Ansteuer- bzw. Auswerteelektronik dar. Eine räumliche Trennung war nötig, um eine zusätzliche Wärmeentwicklung durch die Schrittmotoransteuerungen an den Undulatoren zu vermeiden. Die Nachteile langer leistungsführender Leitungen wurde durch eine hohe Spannung (80 V) für die Schrittmotore kompensiert. Alle Leitungen sind doppelt geschirmt, um ein Streufeld auf andere Ausleseelektroniken so gering wie möglich zu halten. Die Auslese des inkrementalen Meßsystems MT60K erfolgt mittels seriellem RS-422 Bus, der hohe Übertragungsraten über lange Distanzen garantiert. Ein schematischer Aufbau für einen Wirescanner Stand ist in Abbildung 10 dargestellt.

Insgesamt sind 7 Meßstationen mit den zugehörigen Szintillationszählern vor, zwischen und hinter den 6 Undulatoren in der zweiten Ausbaustufe der Tesla Test Facility geplant. In Abbildung 11 wird ein Modul mit den zwei in x und y ausgerichteten Wirescannern gezeigt. Das Flußdiagram in Abbildung 12 zeigt die verschiedenen DOOCS Instanzen und die Einbettung der Wirescanner in das DOOCS Kontrollsystem. Im Userinterface als höchste Instanz werden alle Strahlprofilkorrekturen, komplexen Rechenalgorithmen zur Berechnung der Strahlemittanz sowie die Bestimmung der Strahlparameter durchgeführt. Dadurch kann in der Undulatorsektion eine vollständige Analyse des Strahls durchgeführt und das Ergebniss in das elektronische TTF-Logbook transferiert werden.

Literatur

- K. Wittenburg, Strahlprofilmonitore f
 ür den HERA-Protonenring DESY-HERA 1986-06.
- [2] K. Wittenburg, Proc. Int. Workshop on Particle Dynamics in Accelerators, Tsukuba, Japan, 1994.
- [3] U. Hahn et al., NIM A429 (1999), p.276 280.
- [4] G. Schmidt et al., NIM A475 (2001), p.545 548.
- [5] S. Karstensen, H. Thom, Studie Schnelle oszillierende Bewegungen für einen Weg s=50mm und v= 1m/s sowie hohe Positioniergenauigkeit, Interner Bericht, März 2000.
- [6] P. Leinweber, Taschenbuch der Längenmesstechnik, Berlin: Springer-Verlag 1954.

- [7] J. Volmer, Autorenkollektiv Lehrbuch Getriebetechnik, Verlag Technik, Berlin, 5. Auflage (1987).
- [8] J. Volmer, Autorenkollektiv Grundlagen Getriebetechnik, Verlag Technik, Berlin, 2. Auflage (1995).
- [9] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2143 Blatt 1 Bewegungsgesetze f
 ür Kurvengetriebe, Theoretische Grundlagen Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln
- [10] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2143 Blatt 2 Bewegungsgesetze f
 ür Kurvengetriebe, Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln
- [11] Datenbuch Firma **API-Portescap**.
- [12] IP-Stepper Handbuch von **SBS-Greenspring** Modular I/O.
- [13] Datenbuch Dr. Johannes Heidenhain GmbH, http://www.heidenhain.de
- [14] IP-Quadrature Handbuch von **SBS-Greenspring** Modular I/O.
- [15] K. Rehlich et al., **DOOCS**: A Distributed Object Oriented Control System, internal paper.
- [16] K. Rehlich, **DOOCS**: An Object Oriented Control System as the integrating Part for the TTF Linac, internal paper.
- [17] K. Rehlich, L. Petrosyan, **TTF controls Note 1**: Fast ADC Server.
- [18] MATLAB, The MathWorks, Inc., http://www.mathworks.com
- [19] K. Rehlich, V. Kocharryan, The DOOCS Data Display MVP documentation ddd, 2001.



Abbildung 1: Abbildung des Wirescanners.



Abbildung 2: Querschnitt des Wirescanners.



Abbildung 3: Nutkurvenzylinder des Wirescanners.



Abbildung 4: Übertragungsfunktion des Nutkurvenzylinders



Abbildung 5: Positionierungsgenauigkeit für eine Umdrehung des Nutkurvenzylinders.



Abbildung 6: Steuerungsmenue des Wirescanner im DOOCS Data Display.



Abbildung 7: Signal des Szintillators PM1EXP1 beim Durchqueren des 80 $\mu \rm m$ Drahtes.



Abbildung 8: Signal des Szintillators PM1EXP1 beim Durchqueren des 10 und 20 $\mu \mathrm{m}$ Drahtes.



Abbildung 9: Differenz zwischen theoretischer und gemessener Kurve (dickere Linie). Als Anhaltspunkt ist der schematische Verlauf der Bestehorn-Sinuide mit linearem Teil gegeben (dünnere Linie).



Abbildung 10: Schematische Darstellung der Steuer- und Ausleseelektronik in TTF II.



Abbildung 11: Geplanter Aufbau eines Wirescanner Moduls in TTF II.

Flowdiagram for Wirescanner in Undulator Sections



Abbildung 12: Flußdiagramm für die Einbindung des Wirescanners in den Undulatorteil.