

Hochgenaue Vermessung und Justierung zukünftiger Linearbeschleuniger

Markus Schlösser¹, Andreas, Herty¹, Ankush Mitra²,
Johannes Prenting¹, Armin Reichold²

¹Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY Hamburg

²LiCAS Group, University of Oxford, UK

Zusammenfassung: Zukünftige Linearbeschleuniger mit Energien bis zu 1 TeV erfordern neue, hochgenaue Methoden der Alignierung. Die geforderte Relativgenauigkeit für die Justierung der Komponenten in einem beliebigen 600m – Fenster des Beschleunigers beträgt 0,5 mm quer zur Strahlrichtung und 0,2 mm in der Höhe. Mit klassischen geodätischen Methoden kann diese Genauigkeit nicht erreicht werden, daher werden neue Geradheitsmesssysteme auf Basis eines gespannten Drahtes und auf Basis eines Lasersystems im Vakuum entwickelt. Der gespannte Draht und das aus mehreren Interferometern bestehende Lasersystem dienen dabei als Geradheitsreferenz. In den Bereichen, in denen der Beschleuniger dem Erdschwerefeld folgen soll, wird zur Höhenmessung ein hydrostatisches System mit freier Oberfläche eingesetzt. Dazu wurde ein Abtastsystem auf Basis von Ultraschall mit einer in-situ-Kalibrierung entwickelt. Die aktiven Komponenten dieses Meßsystems werden in einem Messzug eingebaut, der die Vermessung des Referenznetzes im Tunnel semiautonom durchführen kann.

1 Einführung

Weltweit streben Teilchenphysiker nach immer höheren Energien, mit denen sie Teilchen kollidieren lassen können. Zu diesem Zweck sind international verschiedene Beschleuniger geplant, so auch TESLA bei DESY. TESLA (Tera Electron Volt Energy Superconducting Linear Accelerator) ist ein 33 km langer, linearer Teilchenbeschleuniger, der in einem Tunnel aufgebaut wird. Die geforderte Genauigkeit für die Justierung der Beschleunigerkomponenten von

$$\sigma_H = 0,5\text{mm (quer zum Strahl)}$$

$$\sigma_V = 0,2\text{mm (vertikal)}$$

über ein beliebiges 600m – Fenster, ist eine Herausforderung an die Vermessung. Dazu kommt, dass die Messzeiten und somit die Stillstandszeiten der Ma-

schine auf ein Minimum reduziert werden müssen. Aus ökonomischen Gründen wird es daher ein Referenznetz im Tunnel geben, von dem aus dann die verschiedenen Strahlwege des Beschleunigers justiert werden. Dieses Referenznetz wird von einem Messzug (RTRS, Rapid Tunnel Reference Surveyor) vermessen, der semiautonom arbeitet. In einem zweiten Schritt werden mit einem Lasertracker, der sich auf einem gesonderten Wagen befindet, die Koordinateninformationen auf die Beschleunigerkomponenten übertragen.

2 Geodätische Lösung

2.1 Drahtmeßsystem (GeLiS-RTRS)

Hierbei dient ein in der Nähe der Referenzpunkte gespannter Draht als Geradheitsreferenz. Es werden die Abstände d_{i-1} , d_i und d_{i+1} zwischen Draht und Referenzpunkten, sowie die Entfernungen $D_{i-1,i}$ und $D_{i,i+1}$ gemessen. Daraus lassen sich die Distanzen s und der Winkel β als Elemente eines klassischen Polygonzuges ableiten.

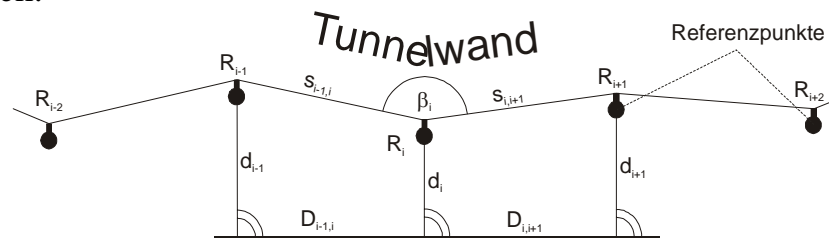


Abb. 1: Geradheitsmessung im Tunnel

Durch Verschiebung des Drahtes um jeweils einen Referenzpunkt kann nacheinander der gesamte Polygonzug bestimmt werden.

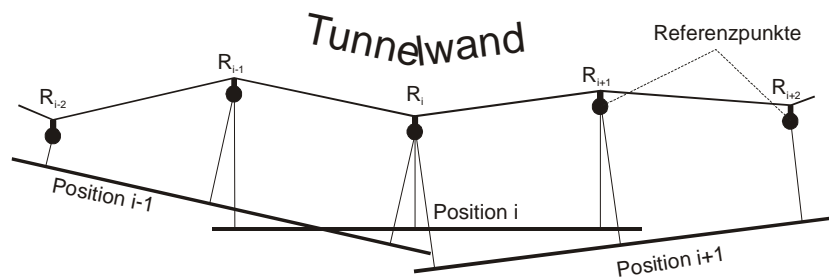


Abb. 2: Geradheitsmessung im Tunnel

Um eine größere Anzahl an Überbestimmungen zu erhalten, kann die Anzahl der Messstellen und somit die Drahtlänge vergrößert werden.

2.2 Lasermesssystem (LiCAS-RTRS)

An der Universität Oxford, Linear Alignment and Survey Group (LiCAS), wird in Zusammenarbeit mit DESY ein Meßzug entwickelt, der auf Basis mehrerer

Laserinterferometer arbeitet. Dabei wird, wie unter 2.1 beschrieben, der Abstand der Referenzpunkte von einer Geraden gemessen, wobei die Gerade hier nicht durch einen Draht, sondern durch mehrere Laserstrahlen im Vakuum realisiert wird. In diesem inneren System werden mit FSI (Frequency Scanning Interferometry) Längenmessungen durchgeführt, für die Messung der Verdrehung des Zuges um die Längsachse und Querabweichung der Strahlen wird ein Laser Straightness Monitor (SM) eingesetzt. Die Abstandsmessung zu den Referenzpunkten (äußeres System) wird ebenfalls mit FSI durch einen räumlichen Bogenschlag realisiert.

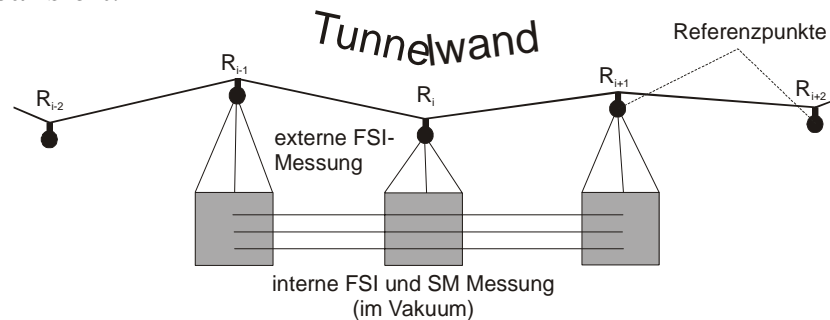


Abb. 3: Funktionsprinzip LiCAS-Meßzug

Ein wesentlicher Unterschied zu dem unter 2.1 beschriebenen System besteht darin, dass eine echte räumliche Gerademessung durchgeführt wird, d.h. es wird keine getrennte Höhenkomponente benötigt. Dies ist für die Teile des Beschleunigers, die nicht einer Äquipotentialfläche folgen werden, von Vorteil.

2.3 Hydrostatisches Meßsystem (HLS)

In weiten Teilen wird der Beschleuniger der Erdkrümmung, bzw. einer Äquipotentialfläche, folgen. Das hat vor allem praktische Gründe, so können z. B. die Kühlmittelpumpen erheblich kleiner und damit kostengünstiger dimensioniert werden und die Zugangsbauwerke in der Mitte des Tunnels sind weniger tief.

In diesen Bereichen bietet sich der Einsatz eines HLS für die Höhenmessung an. Um Fehlereinflüsse durch unterschiedliche Temperaturgradienten in den senkrechten Wassersäulen auszuschalten und um einen Verschluss der Luftseite mit Kondensat zu verhindern, wird ein System mit durchgängig freier Oberfläche eingesetzt.

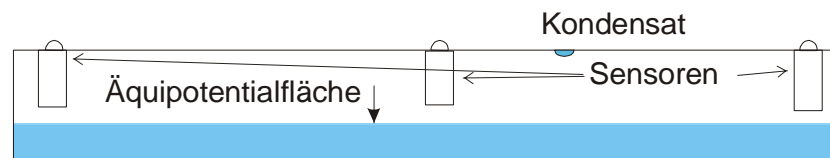


Abb. 4: Hydrostatisches Meßsystem

Die Abtastung der Wasseroberfläche erfolgt mittels Ultraschallsensor mit in-situ Kalibrierung. Dabei werden die Distanzen R_1 , R_2 und OF quasi gleichzeitig ge-

messen, die Distanzen D_1 und D_2 (Abb. 5) werden vorab im Labor kalibriert. Durch eine einfache Gleichung kann nun die Höhe H_p bezogen auf den Wasserspiegel unabhängig von der Schallgeschwindigkeit und der Position des Sensorkopfes berechnet werden. Eine Stabilitätsforderung besteht dabei ausschließlich für das Referenzstück, das aus diesem Grund aus Invar gefertigt wird.

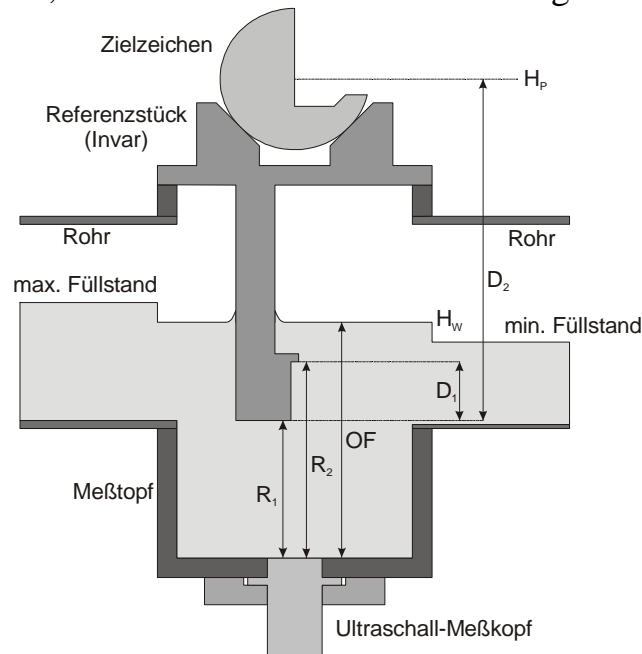


Abb. 5: HLS-Meßtopf

3 Konstruktion und Prototyp

Durch die hohen Genauigkeitsforderungen an die Einzelmessungen sind die Messbereiche der einzelnen beteiligten Sensoren sehr klein. Es wird daher eine Verschiebeeinrichtung innerhalb der einzelnen Wagen benötigt, die die Sensoren an das Messobjekt (Zielzeichen oder Draht) heranfährt.

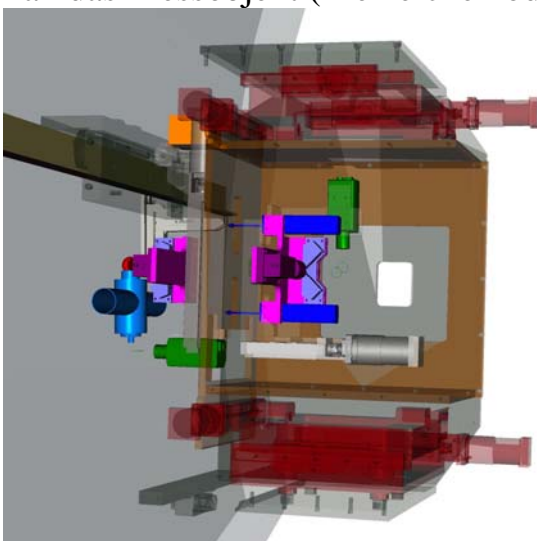


Abb. 6: Messwagen

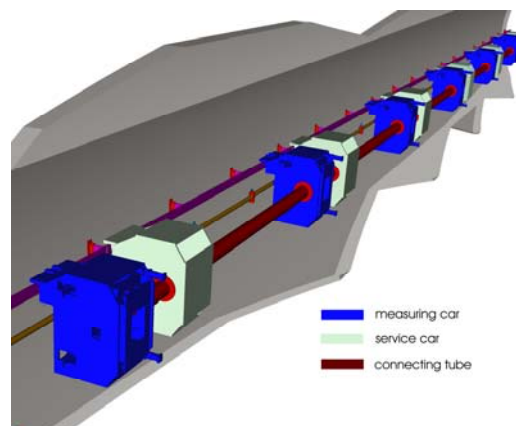


Abb. 7: Meßzug

Weiterhin ist es erforderlich, Längs- und Querneigungen der Wagen, sowie Verdrehungen um die Hochachse zu beseitigen. Diese Anforderungen bedingen eine aufwendige Mechanik innerhalb der einzelnen Wagen, die die Konstruktion recht komplex macht. Es werden insgesamt sieben Linearachsen benötigt, wovon vier mit zwei Antrieben versehen werden müssen. Diese Anforderungen gelten sowohl für das Drahtmeßsystem (GeLiS), als auch für das Lasermeßsystem (LiCAS).

Der Prototyp eines einzelnen Messwagens ist fertig gestellt, es werden derzeit Softwareentwicklungen und Systemtests durchgeführt.



Abb. 8: Messwagen, Außenansicht



Abb. 9: Messwagen, Innenansicht

4 Zusammenfassung

An die Vermessung von Linearbeschleunigern der Zukunft werden hohe Anforderungen hinsichtlich der Genauigkeit und der Geschwindigkeit gestellt, die allein mit klassischen Messprinzipien nicht verwirklicht werden können. Es ist daher erforderlich, völlig neue Messkonzepte zu entwickeln und umzusetzen. Der Ansatzpunkt aller Systeme ist dabei, die Geradheit unabhängig von Refraktionseinflüssen zu realisieren und einen hohen Grad an Automatisierung zu erreichen. Die theoretischen Betrachtungen zeigen die Machbarkeit der beiden Systeme GeLiS und LiCAS, was auch die Tests der einzelnen Sensoren und der mechanischen Komponenten beweisen. Der erste Prototyp wird nun ein wichti-

ger Baustein für die Erprobung des Zusammenwirkens der einzelnen Sensoren sein. Im Bereich des hydrostatischen Meßsystems wurde der Fehlerhaushalt der klassischen Schlauchwaage durch freie Oberfläche und in-situ Kalibrierung drastisch reduziert. Insbesondere wird der Fehlereinfluss durch Temperatur und Messgerätedrift fast vollständig eliminiert.

Literatur:

- ALBERT, J., SCHLÖSSER, M., SCHWARZ, W., Measuring Systems for the high-precision alignment of planned Linear Colliders, Proceedings of the 2nd Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, Berlin, Germany, 2002.
- HERTY, A., ALBERT, J., High precision survey and alignment of large linear colliders – 2D horizontal alignment, Proceedings of the Seventh International Workshop on Accelerator Alignment, Spring8, Japan, 2002.
- MITRA, A., et. al., The Linear Collider Alignment and Survey (LiCAS) Project, Proceedings of the Seventh International Workshop on Accelerator Alignment, Spring8, Japan, 2002.
- PRENTING, J., TESLA – The range of survey and alignment work, Proceedings of the Seventh International Workshop on Accelerator Alignment, Spring8, Japan, November 2002.
- SCHLÖSSER, M., HERTY, A., High precision survey and alignment of large linear colliders – vertical alignment, Proceedings of the Seventh International Workshop on Accelerator Alignment, Spring8, Japan, November 2002.
- SCHWARZ, W., Concept for the Alignment of the planned Linear Collider at DESY, Proceedings of the 5th International Workshop on Accelerator Alignment IWAA, Chicago, United States of America, 1997

Anschriften:

Markus Schlösser, Andreas Herty,
Johannes Prenting

Ankush Mitra, Armin Reichold

DESY Hamburg

MEA2
Notkestraße 85
D - 22607 Hamburg
markus.schloesser@desy.de
andreas.herty@gmx.de
johannes.prenting@desy.de

University of Oxford

LiCAS Group, Particle Physics sub-department
Denys Wilkinson Building
Keble Road
Oxford OX1 3RH
UK
a.mitra1@physics.ox.ac.uk
a.reichold1@physics.ox.ac.uk