

Zeitschrift: Mensuration, photogrammétrie, génie rural
Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) =
Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF))
Band: 73-F (1975)
Heft: 3-4: Prof. Dr. F. Kobold zum 70. Geburtstag

Artikel: Geodätische Arbeiten bei der Einrichtung eines Strahlführungssystems
Autor: Gerke, K. / Pelzer, H. / Ritter, B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-227531>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

● Die ausschliessliche Verwendung von Kreismessungen für die Absteckung von Tunnels kann noch nicht empfohlen werden. Jedoch sollen für einzelne Seiten sogenannte Stützazimute (Richtung und Gegenrichtung) bestimmt werden. Um die Fortpflanzung von Refraktionsfehlern abzustoppen, sollen diese Seiten vor oder nach dem refraktionsgefährdeten Tunnelteil ausgewählt werden.

● Die bisher geltende Faustregel, dass bei sorgsamer Messung und Berechnung der Querfehler des Durchschlages unter ± 1 cm/km Tunnellänge liegt, stellt bei Benutzung moderner Methoden eine obere Grenze dar.

● Um Einblick in die Auswirkungen der Lotabweichung zu gewinnen, wird empfohlen, anhand von Modellen und praktischen Beispielen Untersuchungen durchzuführen. Ausserdem soll die Struktur der Atmosphäre im Tunnel untersucht werden mit dem Ziel,

durch zusätzliche meteorologische Messungen Modellatmosphären zu bilden und mit diesen die Seitenrefraktionen rechnerisch erfassen.

Literatur

- [1] Elmiger, A.: Stollenabsteckungen mit Geodätischen Polygonzügen und Vergleich mit der Methode der Triangulation, Schw. Z. f. V. K. u. Ph. 1965 (S. 314–330, S. 336–344).
- [2] Rinner, K., und Löschner, F.: Über die Vermessungsarbeiten bei den Tunnels der Transalpin-Pipeline (TAL) Triest–Innsbruck. Veröffentlichung des Geodätischen Institutes der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Nr. 14, Aachen 1970 (S. 33–123).

Adresse des Verfassers

o. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. ing. E. h. Karl Rinner,
Institut für Landesvermessung und Photogrammetrie,
Technische Hochschule, Graz

Geodätische Arbeiten bei der Einrichtung eines Strahlführungssystems

von K. Gerke, H. Pelzer und B. Ritter, Braunschweig

Zusammenfassung

Es wird über die geodätischen Arbeiten beim Bau und bei der Einrichtung des Messplatzes für Neutronendosimetrie der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig berichtet, insbesondere über die Setzungsbeobachtungen des Gebäudes sowie über die Messungen für das Strahlführungssystem und dessen Justierung.

1. Das Projekt «Neutronendosimetrie» der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Braunschweig

Durch die Realisierung des Projektes Neutronendosimetrie [1] wird die PTB eine Beschleunigeranlage erhalten, die es ermöglicht neben den vielfältigen Aufgaben die mit dem Forschungs- und Messreaktor bisher bearbeitet werden, auch Experimente auf dem Gebiet der Neutronendosimetrie und der allgemeinen Messtechnik schneller Neutronen durchzuführen.

Das folgende Arbeitsprogramm ist vorgesehen worden:

1. Entwicklung von Verfahren zur Messung von Neutronenflussdichte, Neutronenenergie, Energiedosis und Äquivalentdosis für Neutronen.
2. Erzeugung von Neutronenfeldern mit bekannten Eigenschaften, in denen Neutronendetektoren und -dosimeter kalibriert werden können.
3. Messung von Wirkungsquerschnitten neutronenproduzierender und neutroneninduzierter Prozesse für die Grundlagenforschung.
4. Wechselwirkung von Neutronen und der von Neutronen erzeugter Sekundärstrahlung mit Materie.

Zur Bearbeitung dieses Programms müssen monoenergetische Neutronen im Energiebereich von einigen keV bis zu 30 MeV erzeugt werden können und für Messungen zur Verfügung stehen. Mit einem einzigen Beschleuniger lassen sich diese Forderungen nicht erfüllen, so

dass die Wahl auf eine kombinierte Anlage aus zwei Beschleunigern fiel. Die Anlage besteht aus einem im Kellergeschoss auf einem Schwenkarm montierten Isochron-Kompakt-Zyklotron für den Bereich höherer Primärstrahlenergien und einem einstufigen, horizontal-montierten Van-de-Graaff-Generator für den niedrigen Energiebereich (Abb. 1).

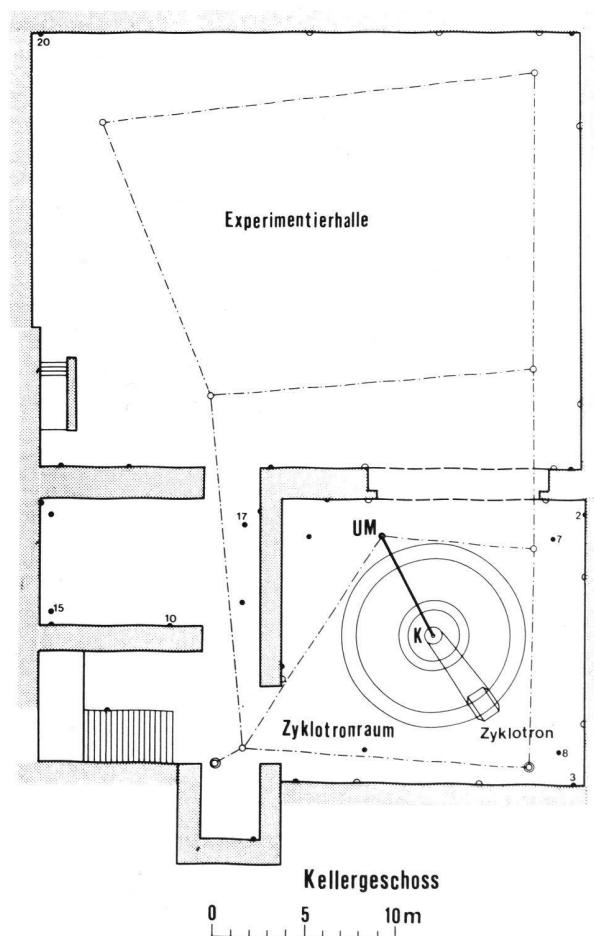
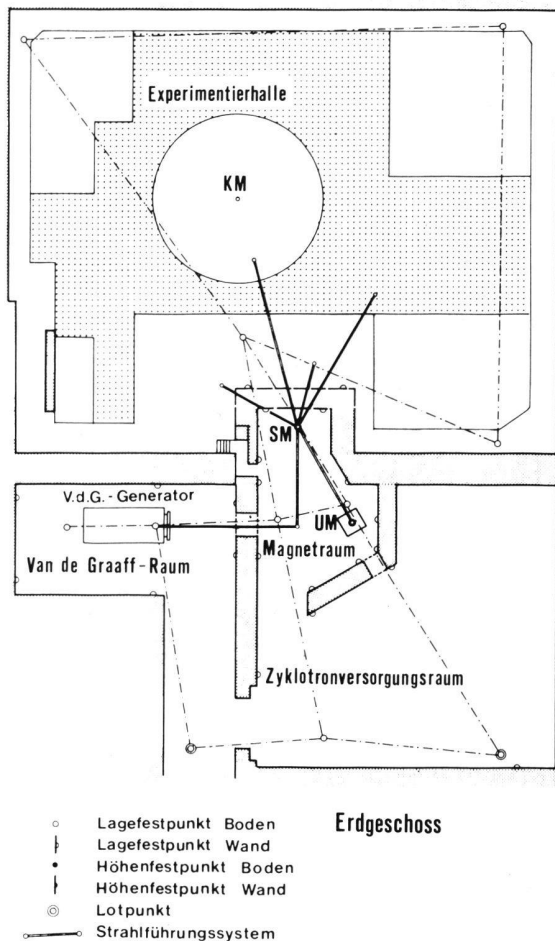


Abbildung 1 Bauwerk und Grundlagentnetz



In dem Kernstück der Anlage, der Experimentierhalle, die im Erdgeschoss nur einen leichten Gitterboden aufweist, sind mehrere Targetplätze eingerichtet. Diese Targetplätze werden durch das Strahlführungssystem (SFS) erreicht. Der Zyklotronstrahl durchläuft zwei Umlenkmagnete (90° -Magnete), wodurch der Strahl vom Kellergeschoss in das Erdgeschoss geführt wird, läuft weiter auf den Schaltmagneten, von dem er zu den verschiedenen Targetplätzen geleitet werden kann. Der Van-de-Graaff-Strahl erreicht die Targetplätze über einen 90° -Analysiermagneten und den Schaltmagneten (Abb. 2).

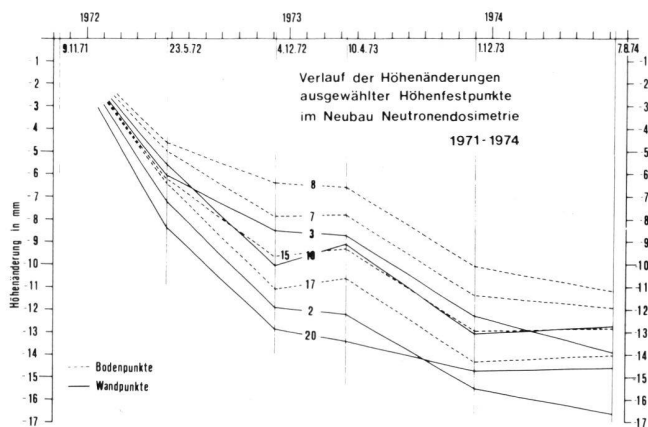


Abbildung 2 Setzungsdiagramm

Mit dem Bau von Teilchenbeschleunigeranlagen entstanden auch dem Vermessungsingenieur neue Aufgaben, über die bereits mehrfach berichtet worden ist [2, 3, 4]. Diese Arbeiten stellen die Problematik beim Bau grösserer Anlagen dar. In ganz ähnlicher Weise stellen sich die vermessungstechnischen Probleme bei der Einrichtung kleinerer Beschleunigeranlagen über die am Beispiel des Projektes «Neutronendosimetrie» berichtet werden soll.

Dem Vermessungsingenieur stellt sich hier eine Aufgabe, die recht gut mit dem Justieren eines optischen Instruments, zum Beispiel eines Fernrohrs, verglichen werden kann. Bei diesem kommt es darauf an, die einzelnen optischen Bauteile, wie Linsen, Umlenkprismen und dergleichen an die richtige Stelle im Strahlengang zu bringen, damit die optischen Justierbedingungen erfüllt werden. Bei der Übertragung dieser Vorstellung aus der geometrischen Optik auf ein Strahlführungssystem wird aus einem Lichtbündel der Protonenstrahl, und die optischen Bauteile werden durch Elektromagnete verkörpert. Die «Linsen» sind dabei Quadrupole oder Sextupole, es gibt Umlenkmagnete anstelle von Umlenkprismen sowie Schaltmagnete, deren «optische» Eigenschaften variabel sind.

Die magnetischen Strahlführungselemente müssen in den Strahlengang eingebracht werden, wobei es — wiederum ganz ähnlich wie in der geometrischen Optik — vornehmlich auf die richtige Zentrierung der Elemente in der «optischen» Achse des Systems ankommt. Hier ist eine Justiergenauigkeit von wenigen Zehntelmillimetern erforderlich, während die Längsabweichungen durchaus eine Zehnerpotenz grösser in Kauf genommen werden können.

Die Justierung eines optischen Instruments kann nur dann erhalten bleiben, wenn der Instrumentenkörper die notwendige Stabilität aufweist. Bei einem SFS übernimmt das Gebäude die Rolle des Instrumentenkörpers als Träger der Strahlführungselemente. Verformungen des Bauwerks, zum Beispiel infolge ungleichmässiger Setzung, müssen die Justierung beeinträchtigen oder gar völlig zerstören.

Die Aufgaben des Vermessungsingenieurs können daher in folgende Phasen gegliedert werden:

1. möglichst frühzeitig beginnende Überwachung des Bauwerks auf Setzungen,
2. Einrechnung des Strahlführungssystems in den durch den Rohbau gesteckten Rahmen und örtliche Absteckung der Positionen für die Strahlführungselemente,
3. Feinjustierung,
4. Überwachung des Justierzustandes durch regelmässige Kontrollmessungen.

2. Setzungsbeobachtungen am Gebäude

Infolge von Inhomogenitäten im Baugrund und dem nachträglichen Einbau schwerer Zwischenwände sowie dem Einbringen der Elemente des SFS in das Gebäude musste von vornherein mit ungleichmässigen Setzungen der einzelnen, zum Teil voneinander unabhängig gegründeten Baukörper gerechnet werden. Solche anhaltenden ungleichmässigen Setzungen würden sich aber

auf den Justierzustand des SFS störend auswirken. Um den Setzungsverlauf aufzudecken, wurden bereits im Rohbauzustand und danach in etwa halbjährlichen Abständen Setzungsbeobachtungen durch Feinnivellements durchgeführt. Für diese Nivellements standen in der Entfernung von etwa 1 km mehrere Höhenfestpunkte an älteren, festen Gebäuden der PTB zur Verfügung.

An und im Neubau Neutronendosimetrie wurden insgesamt 28 Höhenfestpunkte vermarktet. Diese Festpunkte verteilen sich auf Wände und Kellerfussböden (Abb. 1). Die Nivellements wurden mit dem Instrument Zeiss Ni 1 und Invarlatten durchgeführt, sie waren im Gebäude zum Teil sehr erschwert durch die Höhenübertragung in das Kellergeschoss und das nachträgliche Einbringen des Estrichs bei regelmässiger Überwachung der Bodenfestpunkte.

Die Ergebnisse der Setzungsbeobachtungen sind für ausgewählte Höhenfestpunkte im Setzungsdiagramm (Abb. 2) dargestellt worden. Die gleichmässigen Setzungen liegen nach dem ersten Jahr bei etwa 10 mm, nehmen im folgenden Jahr auf etwa 3 mm ab und lassen für die Folgezeit ein weiteres Abklingen erkennen. Es hat sich ergeben, dass im gesamten Zeitraum die Wandfestpunkte grössere Setzungsbeträge erfahren haben als die Punkte in den Kellerfussböden, wobei Unterschiede benachbarter Punkte in der Grössenordnung von 5 mm auftraten. Diese Unterschiede können in der Regel eindeutig auf die Belastung durch nachträglich eingebrachte Zwischenwände, Abschirmungen oder Strahlenschutztüren zurückgeführt werden (zum Beispiel Höhenfestpunkte 2 und 7). Die Schiefstellungen des Gebäudes sowie einzelner Wände oder isolierter Böden bleiben jedoch sehr gering.

3. Messungen für das Strahlführungssystem

3.1 Grundlagnetz

Zu Beginn der Arbeiten war die Lage des SFS im Gebäude noch nicht definiert, sondern musste erst auf Grund der geodätischen Messungen endgültig festgelegt werden. Deshalb wurde ein Grundlagnetz über sämtliche, in zwei Etagen gelegene Räume erkundet und sowohl mit Boden- als auch mit Wandpunkten vermarktet. Zu diesem Zeitpunkt – in der Rohbauphase – war noch eine vollständige Messung des Grundlagnetzes möglich, während mit fortschreitendem Einbau weiterer Wände, der Versorgungsleitungen und dem Aufbau der Elemente nur noch Teilmessungen möglich waren. Das in Abbildung 1 in seinen Grundzügen dargestellte Netz wurde als kombiniertes Richtungs- und Streckennetz beobachtet. Für die Richtungsmessungen wurden Theodolite Jenoptik Theo 010 und Zeiss Th 2 eingesetzt, die Streckenmessung wurde mit einem verglichenen 20-m-Invarband durchgeführt. Die Beobachtungen konnten wegen der engen Räume leider nicht von festen Pfeilern ausgeführt werden, sondern mussten auf Stativen erfolgen. Erschwerend kam weiter hinzu, dass die in den beiden Etagen eingerichteten Teilnetze nur durch zwei Lotungen und einige Steilvisuren verbunden werden konnten. Für die Lotungen wurden optische Lote der Firma Breithaupt mit 10"-Libellen und Steckzapfen verwendet, mit diesen Loten wurden auch die übrigen Zentrierun-

gen und die häufigen Kontrollen der Stativstandpunkte vorgenommen.

Die Genauigkeit des ausgeglichenen Netzes lässt sich hier sinnvoll durch zwei Angaben charakterisieren, nämlich durch die Relativgenauigkeit benachbarter Punkte in derselben Ebene, die im Mittel etwa $\pm 0,2$ mm beträgt, und durch die entsprechende Relativgenauigkeit übereinander in verschiedenen Ebenen gelegener Punkte. Die letztere wird allerdings aus der Ausgleichung nur unzureichend abzuleiten sein, da die Unsicherheit der Steilvisuren und optischen Lotungen nicht a priori als Gewichtsminderung berücksichtigt wurde. Eine Abschätzung ergibt eine Relativgenauigkeit für Punkte in verschiedenen Ebenen von $\pm 0,3$ mm.

3.2 Einrechnung des Strahlführungssystems

Das projektierte SFS muss aus physikalischen Gründen gewisse geometrische Bedingungen erfüllen, die als Entfernungs- oder Winkelbedingungen formuliert sind. Allerdings waren bereits im Rohbau durch fertiggestellte Schächte, Wandlücken und Betonaussparungen für Führungsschienen einige Zwangsbedingungen gegeben, die bei der Einpassung des SFS berücksichtigt werden mussten. Diese Einpassung wurde rechnerisch vorgenommen, wobei sich mehrere Varianten als möglich erwiesen, von denen die günstigste ausgewählt wurde. Die Hauptpunkte des SFS (K = Königszapfen, das ist die [vertikale] Drehachse des Schwenkarmes auf dem das Zyklotron montiert ist; UM = Umlenkmagnet [vertikaler Strahlverlauf]; SM = die [vertikale] Drehachse des Schaltmagneten und KM = Dosimetriemessplatz) konnten nun im Koordinatensystem des Grundlagnetzes berechnet und örtlich angegeben werden. Ferner wurden aus dem Grundlagnetz die Sollpositionen der nun im Laufe der Zeit angelieferten Strahlführungselemente an-

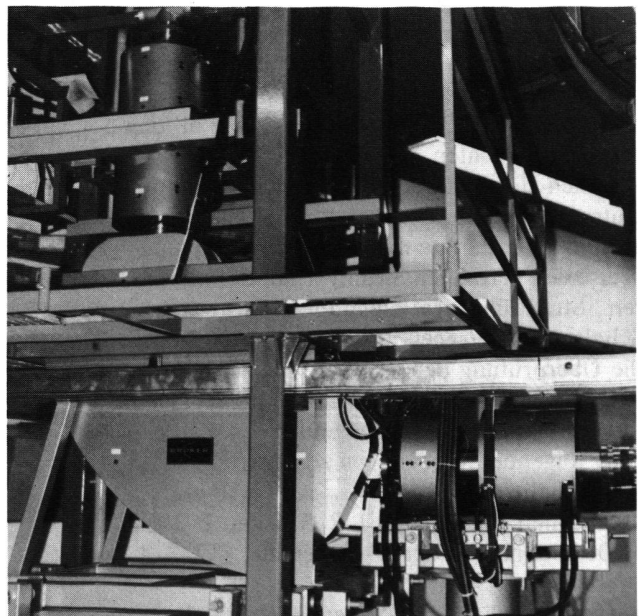


Abbildung 3 Umlenkmagnet

gegeben. Dabei war es zunächst nur notwendig, innerhalb des möglichen Justierbereichs der Elemente zu bleiben, der in Lage und Höhe etwa ± 20 mm beträgt.

3.3 Überprüfung der Elemente des Strahlführungssystems

Es musste vorausgesetzt werden, dass die physikalischen (geometrisch-optischen) Hauptachsen der Strahlführungselemente mit ausreichender Genauigkeit mit den geometrischen Hauptachsen zusammenfallen. Allerdings ist es bei den fertigmontierten Elementen auch nicht mehr möglich die geometrischen Hauptachsen direkt abzugreifen. Deshalb wurden diese Achsen im Zuge der Fertigung von der Herstellerfirma auf den Aussenflächen der Elemente durch präzise Bohrungen zur Aufnahme von Zielmarken und Höhenbolzen bezeichnet.

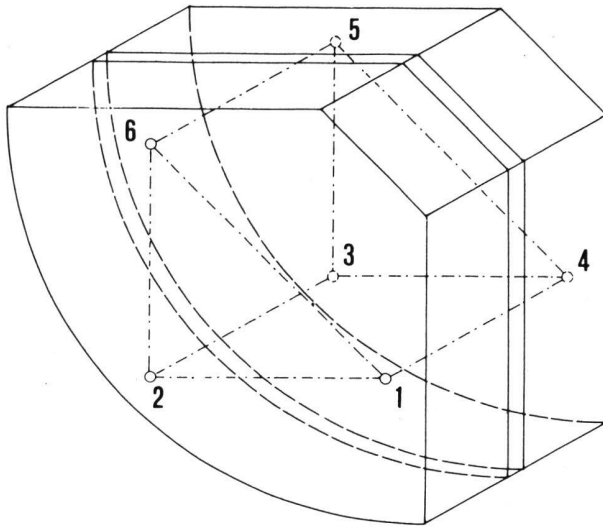


Abbildung 4 Justiermarken an einem Ulenkmagneten

Am Beispiel des Ulenkmagneten (Abb. 3, 4) kann die Überprüfung der geometrischen Bedingungen näher erläutert werden. Der Ulenkmagnet soll den horizontal eintretenden Strahl rechtwinklig in die Vertikale umlenken. Deshalb muss sowohl der horizontale Strahleintritt, als auch der vertikale Strahlaustritt an dem Magneten bezeichnet sein. Dies erfolgt durch die an den Seitenflächen angebrachten Bohrungen 1 bis 6. Von diesen bezeichnen die Punkte 1–2–3–4 den horizontalen Strahleintritt, der symmetrisch zu den Punkten 1–4 und 2–3 erfolgt. Die Punkte 2–3–5–6 sollen in entsprechender Weise den vertikalen Strahlverlauf definieren. Alle anderen Strahlführungselemente (Quadrupole, Sextupole, Schaltmagnet) tragen entsprechende Bohrungen, welche die Überprüfung der geometrischen Bedingungen gestatten. Die Ulenkmagnete wurden im Werk aus zwei vertikalen Hälften zusammengefügt. Es waren nach Lieferung folgende Bedingungen zu überprüfen:

- Parallelität der Ebenen 1–2–6 und 3–4–5
- Ebenheit der Flächen 1–2–3–4 und 2–3–5–6
- Orthogonalität der Grundebene 1–2–3–4 zur Stirnebene 2–3–5–6
- Orthogonalität der Seitenebenen 1–2–6 und 3–4–5 sowohl zur Stirn- als auch zur Grundebene

Dazu wurden in die Bohrungen eigens angefertigte Zielmarken (erkennbar in Abb. 7) eingesetzt und ihre relative Lage trigonometrisch und durch Feinnivellement bestimmt, dabei wurde auf eine gute Horizontierung der Grundebene grosser Wert gelegt, um die folgende Aus-

wertung zu vereinfachen. Die Überprüfungen ergaben Abweichungen von den vermittelnden Ebenen von maximal 0,2 mm und Abweichungen von Orthogonalität und Parallelität von maximal 2', die als unbedenklich angesehen wurden. Mit der Überprüfung der geometrischen Eigenschaften ist allerdings nicht sichergestellt, dass die Strahlführungselemente den geforderten physikalischen (geometrisch-optischen) Bedingungen genügen. Dieser Nachweis kann allein durch die folgenden Experimente erbracht werden.

3.4 Justierung

Durch die Justierung sollen die Einzelemente in die vorausberechnete Position im SFS nach Lage, Höhe und Richtung gebracht werden. Dazu sind mehrere Arbeitsschritte erforderlich. Zunächst wurden die Elemente in ihrer vorläufigen Lage bestimmt. Diese Messungen erfolgten für die Lage trigonometrisch, für die Höhe aus

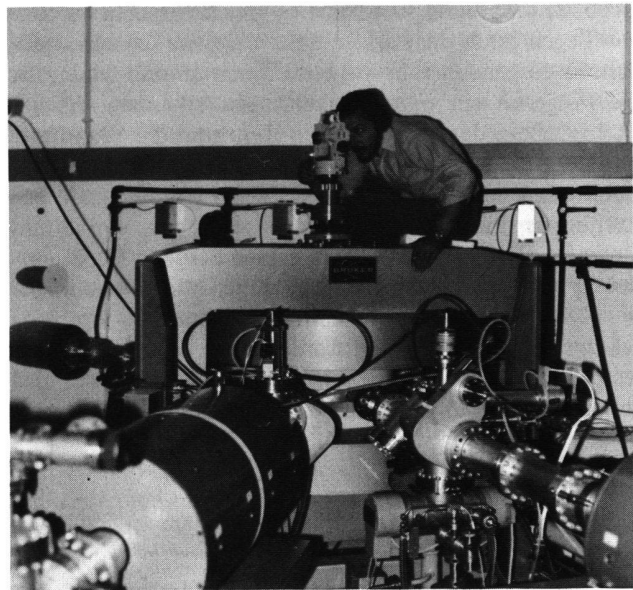


Abbildung 5 Schaltmagnet mit Pfeilerplatte, Kreuzschlitten und Feinmesstheodolit

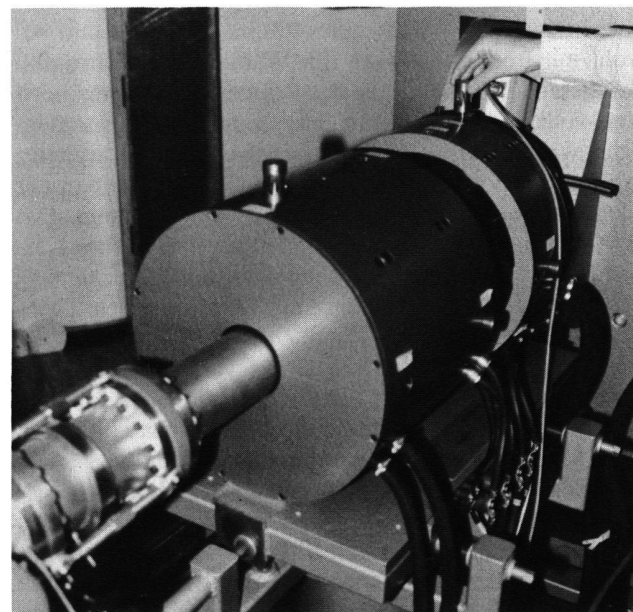


Abbildung 6 Justiereinheit mit Messmarken

Feinnivellements. Die für die trigonometrischen Beobachtungen auszuwählenden Standpunkte fielen in der Regel nicht mit vermarkten Festpunkten des Grundlagentetzes zusammen, konnten jedoch mit der erforderlichen Genauigkeit an den gewünschten Positionen (zum Beispiel in der vertikalen Strahlebene) durch Anschluss an das Grundlagentetz bestimmt werden. Kreuzschlitten mit Höhenverstellung erleichterten die Einstellung der Instrumente auf diese Positionen erheblich (Abb. 5). Nach Ausgleichung der Messungen ergaben sich die Istlagen der Strahlführungselemente, die Differenzen zu den Sollagen und die daraus abzuleitenden Justierbeträge. Die entsprechende Verschiebung der Elemente wurde dann jedoch durch zwei Schwierigkeiten behindert:

1. Die Rahmenlängsachse eines Elements und die Hauptachse des SFS waren in der Regel nicht parallel, sondern um einen bis zu mehreren Gon grossen Winkel verschwenkt (Abb. 6, 7), so dass die nacheinander auszuführenden Längs- und Querjustierungen nicht entkoppelt sind.
2. Der trotz seiner Schwere noch elastische Rahmen und die Gegenfedern der Justierschrauben nehmen bei Betätigen dieser Schrauben zunächst die auftretenden Kräfte auf, und erst nach Überschreiten bestimmter Grenzkkräfte bewegt sich das Element ruckweise. Auch zeitliche Nachwirkungen bis zu 0,5 mm in einigen Tagen wurden festgestellt.

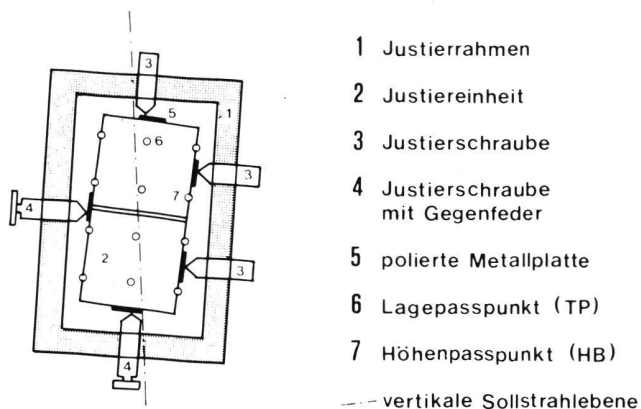


Abbildung 7 Schema einer Justiereinheit

Deshalb konnte die Justierung nur in mehreren Iterationsschritten durchgeführt werden, wobei die Justierbeträge jeweils erneut durch Messung und Ausgleichung zu bestimmen waren. Recht grosse Schwierigkeiten bereitete die Einrichtung der Quadrupole im vertikalen Strahlverlauf (Abb. 3), weil hier trigonometrische Methoden wegen des begrenzten Platzes ausschieden. Diese

Justierung wurde schliesslich mit optischen Präzisionsloten OL der Firma Kern durchgeführt. Die mittleren Abweichungen der geometrischen Achsen der Strahlführungselemente vom festgelegten Strahlverlauf ergaben eine Seitenabweichung von $\pm 0,25$ mm und eine Höhenabweichung von $\pm 0,15$ mm. Die nur mit minderer Genauigkeit erforderliche Justierung in Strahlrichtung erfolgte mit einer mittleren Abweichung von $\pm 1,0$ mm.

4. Überprüfung des Justierzustandes

Die Einhaltung der Justierbedingungen wurde nur für den Zeitpunkt der Justierung nachgewiesen. Die noch nicht völlig abgeklungene Bauwerkssetzung sowie die mechanischen und thermischen Einflüsse während des Betriebes der Anlage lassen eine zukünftige Störung der Justierbedingungen als möglich erscheinen. Derartige Störungen können sowohl langsam und stetiger Natur sein, sie können aber auch plötzlich auftreten. Aus diesem Grund ist eine regelmässige Überprüfung der Justierbedingungen in gewissen Zeitabständen erforderlich. Über die notwendige zeitliche Dichte dieser Überwachungsmessungen liegen noch keine Erfahrungen vor. Die in letzter Zeit recht stürmische Entwicklung der Methoden zur permanenten Überwachung von Bauwerken [5] könnte dazu führen, dass bei derartigen Anlagen in naher Zukunft die Überprüfung des Justierzustandes durch den Benutzer selbst kontinuierlich vorgenommen wird und der Vermessungsingenieur nur bei auftretenden Justierstörungen zur Nachjustierung gerufen würde.

Literatur

- [1] Cosack, M., Jahr, R., Schölermann, H., Taubert R., und Waibel, E.: Das Projekt «Neutronendosimetrie» der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, PTB-Mitteilungen 5/1971.
- [2] Marzahn, K.: Vermessungsprobleme beim Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY), Hamburg-Gross-Flottbek, ZfV 1964.
- [3] Löffler, F.: Geodätische Präzisionsvermessungen beim Deutschen Elektronen-Synchrotron (DESY), Beiträge aus der Geodäsie der Gegenwart, Bonn 1973.
- [4] Keller, W.: Vermessungsprobleme des Schweizerischen Institutes für Nuklearforschung, Vermessung, Programmetrie, Kulturtechnik 1974.
- [5] Pelzer, H.: Neue Methoden zur permanenten Erfassung von Deformationen, DVW Hamburg, 1975.

Adresse der Verfasser

o. Prof. em. Dr. Ing. Karl Gerke
Dipl. Ing. Bernhard Ritter
Institut für Vermessungskunde der Technischen Universität
D-3300 Braunschweig, Pockelstrasse 4
Prof. Dr.-Ing. Hans Pelzer,
Geodätisches Institut der Technischen Universität,
D-3000 Hannover, Nienburger Strasse