

Vermessungsprobleme des Schweizerischen Institutes für Nuklearforschung (SIN)

Autor(en): **Keller, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **72-F (1974)**

Heft 3

PDF erstellt am: **24.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-226701>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Vermessungsprobleme des Schweizerischen Institutes für Nuklearforschung (SIN)

W. Keller

Zusammenfassung

Die geometrische Justierung der komplizierten technischen Anlagen des SIN, die für Experimente auf dem Gebiet der Kernphysik nötig sind, wird zweckmäßigerweise mittels geodätischer Methoden durchgeführt. Es geht dabei nicht bloß um die Anwendung von Theodolit und Nivellierinstrument bei einer Industrievermessung. Vielmehr erweisen sich die bekannten Methoden der Landesvermessung als nützlich. Ein besonderer Abschnitt behandelt die Justierverfahren, mit denen die Komponenten der Anlage in die räumliche Soll-Lage gebracht werden.

Résumé

L'ajustement géométrique des installations techniques complexes du SIN, indispensables aux expériences dans le domaine de la physique nucléaire, est exécuté opportunément au moyen de méthodes géodésiques. Il ne s'agit pas seulement d'une application de théodolite et de niveau lors d'une mensuration dans l'industrie. Ce sont plutôt les méthodes connues de la géodésie qui prouvent leur utilité. Un paragraphe particulier traite les méthodes d'ajustement, par lesquelles les composants de l'installation sont placés dans leurs positions spatiales désirées.

1. Das Schweizerische Institut für Nuklearforschung (SIN)

Organisation und Aufgaben des SIN

Das SIN ist eine Annexanstalt der Eidgenössischen Technischen Hochschulen bei Villigen im Kanton Aargau. Seine Aufgaben sind der Bau und der Betrieb einer Anlage mit dem Zweck, verschiedene Strahlen von Elementarteilchen (Teilchen von Atomkernen) zu erzeugen. Diese Strahlen braucht man vor allem für kernphysikalische Experimente, aber auch für Grundlagenforschungen auf dem Gebiete der Krebstherapie. Forschergruppen schweizerischer und ausländischer Hochschulen planen im Rahmen ihrer Projekte die Experimente, bauen die notwendigen Einrichtungen und führen dann am SIN die Versuche durch.

Die technischen Anlagen des SIN

Um die Experimente mit den benötigten Strahlen von Elementarteilchen zu versorgen, sind komplizierte technische Anlagen (Abb. 1) nötig. Die Vermessungsprobleme des SIN bestehen vor allem in der geometrischen Justierung dieser Anlagen.

Zuerst wird ein Protonenstrahl in zwei getrennten Stufen beschleunigt. Die Vorbeschleunigung geschieht durch den Injektor (Spiralrückenzyklotron, Philips). Die Energie der Protonen beträgt dann 72 MeV. Anschließend erfolgt in der Ringmaschine (Isochron-Zyklotron, SIN; Abb. 2) die Hauptbeschleunigung auf 590 MeV. Das Besondere der Beschleuniger ist, daß sie einen äußerst intensiven Protonenstrahl liefern werden. Man rechnet mit einer Stromstärke

von 100 μ A. Der beschleunigte Protonenstrahl wird auf zwei hintereinander angeordnete Targetstationen (Abb. 1 und 6) geleitet. Die Protonen werden dort mit verschiedenen Materialien zur Kollision gebracht, wobei die gewünschten Strahlen von Elementarteilchen (Pionen, Müonen, Neutronen u. a.) entstehen. Diese Strahlen sind dann den Experimentierarealen zuzuführen. Zwischen Injektor, Ringmaschine, Targetstationen und Experimentierarealen sorgen Strahlführungssysteme (Abb. 3) dafür, daß die Protonen und andern Elementarteilchen sich auf den projektierten Bahnen bewegen. Die Lage der Bahnen läßt sich durch Diagnostikelemente, die in Meßboxen untergebracht werden, bestimmen. Die Strahlführung in den Beschleunigern und in den Strahlführungssystemen geschieht durch geeignete magnetische Felder, die durch Elektromagnete erzeugt werden. Man unterscheidet Ablenkmagnete und Quadrupole (Abb. 3), deren Funktionen sich mit jenen von Prismen und Linsen in einem optischen Strahlengang vergleichen lassen. Dazu kommen noch Kollimatoren, Spalte, Separatoren, Kanalverschlüsse und Strahlstopper, womit man nicht erwünschte Teilchen auffangen kann.

Alle Teile dieser Anlage sind mit großer Genauigkeit in die projektierte Lage zu bringen, damit die notwendige Qualität der Strahlen gewährleistet ist und die Verlustrate klein gehalten werden kann. Es wird beispielsweise angestrebt, daß in der Ringmaschine weniger als 5% der Protonen verlorengehen, damit die induzierte Radioaktivität im Hinblick auf Unterhaltsarbeiten klein bleibt.

2. Überblick über die Aufgaben der Vermessung

Die Aufgabe im allgemeinen

Die ganze Anlage (Abb. 1) besteht aus einer großen Anzahl verschiedenartiger Komponenten (Abb. 3), die alle mit großer Genauigkeit in die richtige räumliche Lage zu bringen sind. Dazu sind umfangreiche Vermessungsarbeiten nötig.

Die Vermessung wird durch verschiedene Umstände erschwert. Gleichzeitig mit der Montage der Anlage werden umfangreiche Abschirmungen (Abb. 1 und 5) aus Beton-, Schrotbeton- oder Eisenblöcken errichtet. Damit werden die Sichtverhältnisse laufend eingeschränkt. Ferner ist damit eine beträchtliche Belastung der Fundamente verbunden: Vermessungsfixpunkte und bereits justierte Komponenten geraten in Bewegung. Bei der fertiggestellten Anlage kann man verschiedene Areale (Abb. 1) mit getrennten Vermessungssystemen unterscheiden, die später allenfalls höhenmäßig in Beziehung gebracht werden können. Dagegen kann die Lagebeziehung zwischen den Arealen kaum mehr überprüft werden. Nach der Montage der einzelnen Komponenten sind in den meisten Fällen die für die Strahl-

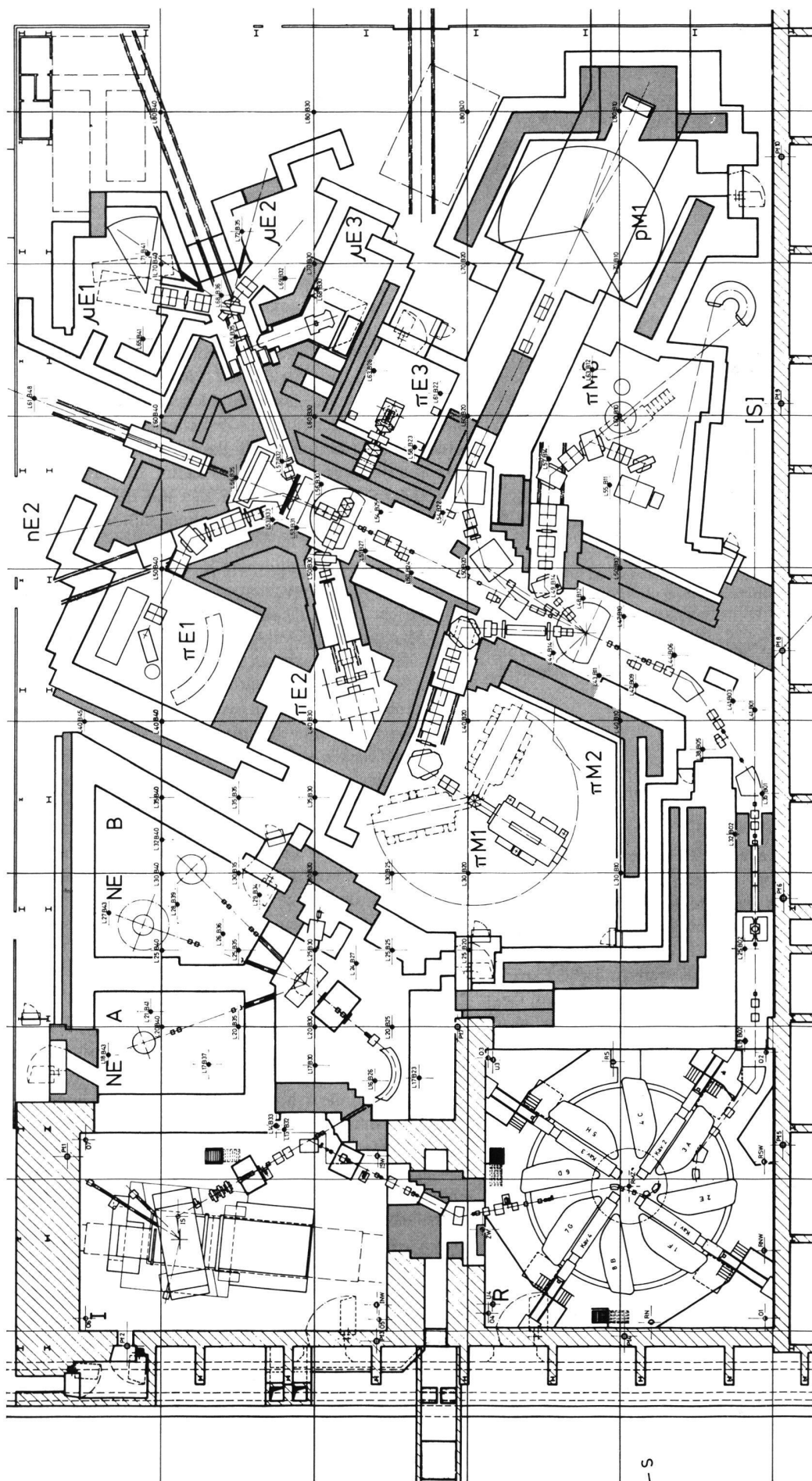


Abb. 1 Hallenplan
 Experimentierhalle, etwa 50×90 m; Injektor I , Ringmaschine R ; Pionenstrahlen $\pi M_1, \pi E_1, \pi E_2$, usw.; Müonenstrahlen $\mu E_1, \mu E_2$, usw.; Strahl polarisierter Protonen pM_1 ; Neutronenstrahlen nE_1, nE_2 ; Target M erzeugt $\pi M_1, pM_1$, usw.; Target E erzeugt $\pi E_1, nE_2$, usw.; Bezugspunkte auf Pfeilern und Konsolen: Pf1 – 10, RN, RNW, U3 (Ringmaschine) usw.

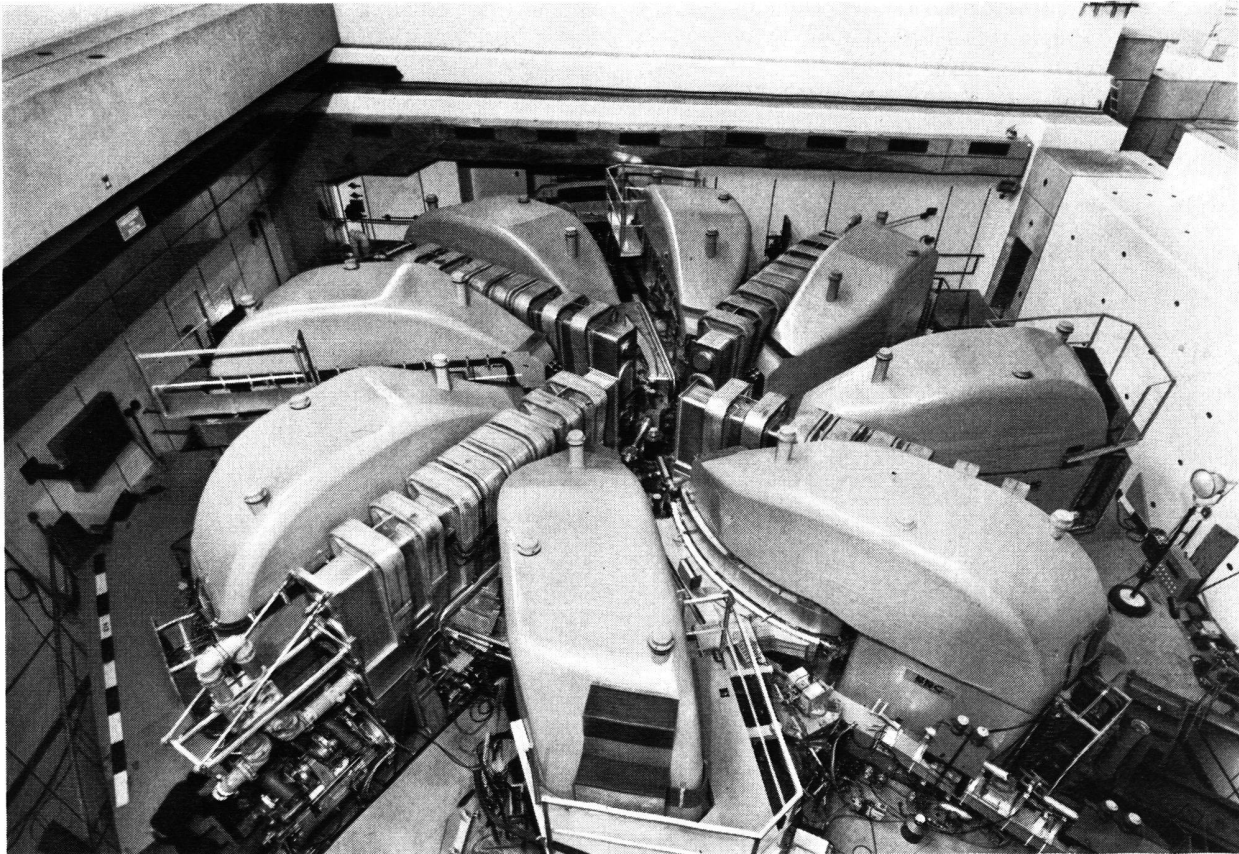


Abb. 2 Ringmaschine
Auf jedem der 8 Sektormagnete erkennt man 3 Meßmarkenträger. Davon sind 4 als Stationspunkte eingerichtet (z. B. auf dem Magnet im Vordergrund)

führung wichtigen Maschinenteile (Polflächen usw.) einer Vermessung nicht mehr zugänglich. In manchen Fällen wird um diese Teile herum eine Vakuumkammer gebaut, oder ihre Lage schließt eine Beobachtung mit den üblichen Meßgeräten aus. Aus diesem Grund muß die Vermessung Maßnahmen treffen, damit die Anlage auch nach Abschluß der Montage justiert werden kann.

Es wurde am SIN öfter die Frage diskutiert, ob der Einsatz geodätischer Meßmethoden angebracht ist. Diese zeichnen sich dadurch aus, daß bei einer geschickten Disposition der Bezugspunkte jede zusätzliche, auch unvorhergesehene Aufgabe gelöst werden kann. Die Vermessung kann sich nach den Erfordernissen der Montagearbeiten richten. Verzichtet man auf den Einsatz geodätischer Verfahren, müßte man das Vorgehen bei Montage und Inbetriebsetzung der Anlage im voraus auf die notwendige Justierung der Anlage ausrichten.

Im folgenden werden die wichtigsten Teilaufgaben der Vermessung aufgeführt.

Grundlagenvermessung

Bei der Konzeption der Vermessung war zu berücksichtigen, daß später Experimentieranlagen, über die man heute kaum etwas weiß, zu justieren sind. Im Hinblick auf diese Arbeiten wurde eine Grundlagenvermessung durchgeführt. Vor Beginn der Montagearbeiten wurden in der Experimentierhalle eine Anzahl von Bezugspunkten eingerichtet. Triangulation und Nivellement lieferten genaue Koordinaten dieser Punkte.

Fixpunktverdichtung und Deformationsmessungen

Nachdem die Anlage bereits etwas Gestalt angenommen hatte und Klarheit über die Disposition der Abschirmungen bestand, wurde eine Anzahl zusätzlicher Punkte versichert. Durch eine umfassende Triangulation, ergänzt durch ein Nivellement, wurden die Koordinaten aller Punkte bestimmt. Die meisten Punkte der Grundlagenvermessung konnten in diese Vermessung einbezogen werden. Da bereits einige Abschirmungen aufgestellt waren, ergaben sich so wertvolle Informationen über die Stabilität der Fundamente. Im Sinne von Deformationsmessungen wurden einige zusätzliche Nivellemente durchgeführt.

Nachführung der Triangulation

Später wurde das Triangulationsnetz nach Bedarf durch weitere Punkte ergänzt. Die Senkungen, welche durch den fortschreitenden Aufbau der Abschirmungen verursacht wurden, führten dazu, daß die Höhen einzelner Punkte nachgeführt werden mußten.

Magnetvermessung

Grundsätzlich müssen die Magnetfelder der Strahlführungskomponenten richtig im Raum angeordnet sein. Dazu wird durch die «Magnetgruppe» des SIN eine Magnetfeldmessung, bezogen auf die Geometrie der Magnetpole, durchgeführt. Daraus läßt sich die Soll-Lage der Magnetpole ableiten. Da es meist nicht möglich ist, für eine Justierung des Magneten im montierten Zustand die Magnetpole zu ver-

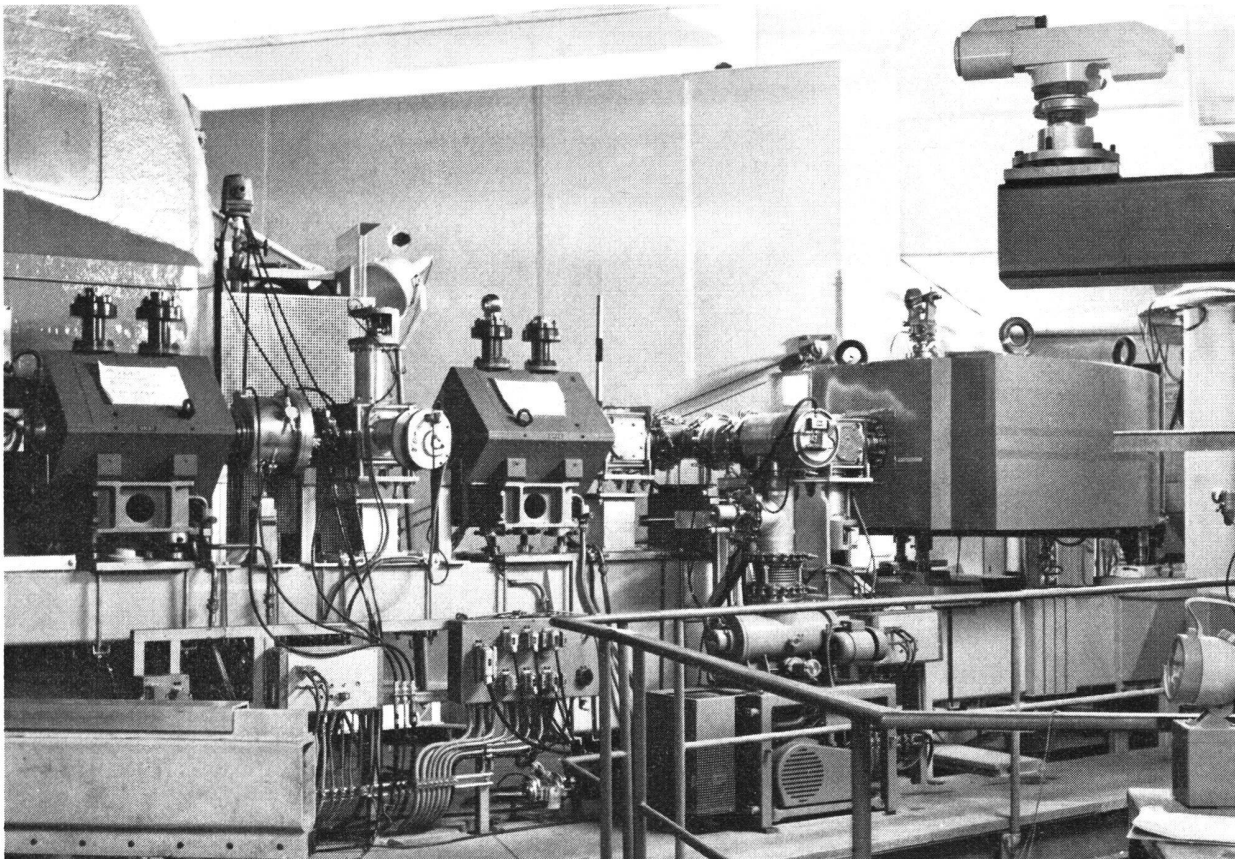


Abb. 3 Strahlführung
Extraktion des Protonenstrahls aus der Ringmaschine. Quadrupol QHA 1, Meßbox, Quadrupol QHA 2, Meßbox, Vakuumpumpe, Meßbox, Ablenkmagnet AHC (v. l. n. r.). Konsole RSW mit Nivellierinstrument Ni1

wenden, sind die Magnete mit geeigneten Meßmarken (Abb. 3) zu versehen. Mit einer Magnetvermessung mittels geodätischer Verfahren wird die Beziehung zwischen der Polgeometrie und den Meßmarken hergestellt. In vielen Fällen ist es im Hinblick auf die Justierung der Magnete von Vorteil, die Meßmarken in eine bestimmte Lage bezüglich der Pole zu bringen. Die Magnetvermessungen liefern auch nützliche Informationen über die Genauigkeit der Polgeometrie.

Absteckung und Montage von einzelnen Komponenten der Anlage

Vor Beginn der Montage ist die Lage von Komponenten der Anlage am Hallenboden anzureißen. Unter Umständen sind im Laufe der Montage einzelne Maschinenteile lage- und höhenmäßig einzurichten. Schließlich erfolgt eine Grobjustierung der Komponenten, wobei durch mechanische Maßnahmen die Justiervorrichtungen in eine Mittelstellung gebracht werden müssen. Bei der Grobjustierung kommen auch Mängel der Justiervorrichtungen aus, und vermessungstechnisch ist diese Aufgabe eine nützliche Hauptprobe für die Feinjustierung.

Justierung der Anlage

Die geometrische Justierung der Anlage ist die Hauptaufgabe der Vermessung. Unter Justierung einer Komponente der Anlage möge man das Ausführen einer Bewegung verstehen, um die Komponente aus der Ist-Lage in eine Soll-Lage zu bringen. Mit geodätischen Verfahren läßt sich die

Ist-Lage bestimmen. Aufgrund der Abweichungen von der Soll-Lage berechnet man dann geeignete, leicht meßbare Korrekturgrößen. Damit kann man die notwendige Justierung ausführen, und schließlich bestimmt man als Kontrolle die neue Ist-Lage, welche innerhalb gegebener Toleranzen mit der Soll-Lage übereinstimmen soll.

Notwendige Genauigkeit der Justierung

Die Frage nach der notwendigen Genauigkeit der Justierung ist wichtig, läßt sich aber nicht leicht beantworten. Beim SIN wurden in verschiedenen Fällen Forderungen gestellt, die in keinem Verhältnis zur Genauigkeit der mechanischen Ausführung der wesentlichen Maschinenteile standen oder die schon infolge ungenügender Justiervorrichtungen nicht erreicht werden konnten. Im übrigen entsprach auch die Stabilität der Konstruktionen nicht immer den Genauigkeitsanforderungen. In Anbetracht dieser Schwierigkeiten war zu prüfen, ob man eine reduzierte Justiergenauigkeit in Kauf nehmen konnte. Andernfalls waren geeignete Lösungen zu suchen. In Frage kommen vor allem konstruktive Verbesserungen und der Einsatz von Steuermagneten. Es bereitet zudem oft Schwierigkeiten, relative Genauigkeiten, worauf es bei den Vermessungsproblemen des SIN vor allem ankommt, in geeigneter Weise zu definieren. Im übrigen konnte man in Anbetracht der komplizierten Verhältnisse nicht erwarten, daß es jemandem gelingt, das Genauigkeitsproblem aufgrund einer umfassenden Fehlertheorie der ganzen Anlage rechtzeitig zu lösen. Bei der Planung der Vermessungsarbeiten nahm man daher an, daß

folgende relative Genauigkeiten zwischen benachbarten Komponenten der Anlage erreicht werden müssen:

- mittlere Fehler an Koordinaten 0,1 mm
- mittlere Fehler an Azimuten, Höhenwinkeln, Neigungen 0,1 mrad (= 64'')

Anmerkung

Dieser Abschnitt sollte vor allem zeigen, in welchem Sinne bekannte geodätische Verfahren zur Lösung von Problemen der Industrievermessung beitragen können. Im folgenden sind einige dem Vermessungsfachmann ungewohnte Aspekte und Modifikationen der bekannten Verfahren zu erläutern.

3. Allgemeines über die Justierung der Anlage

Justierung ist die Bewegung eines Körpers, um diesen aus einer Ist-Lage in die Soll-Lage zu bringen. Eine räumliche Bewegung weist sechs Freiheitsgrade auf, über die in geeigneter Weise zu verfügen ist.

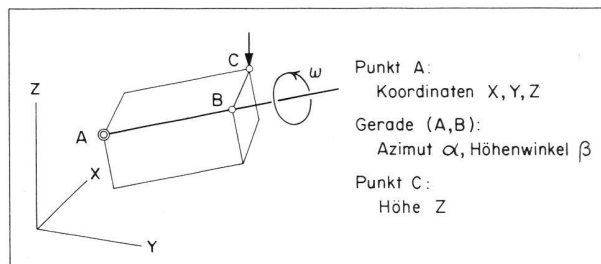
Definition der Soll-Lage

Um die Soll-Lage eines Körpers angeben zu können, muß man sich zuerst über die *Referenzelemente* einigen. Als Referenzelemente kommen *Referenzpunkte*, *-geraden* oder *-ebenen* in Frage. Die Soll-Lage eines Körpers läßt sich dann definieren, indem man die Soll-Lage der Referenzelemente angibt. Die Referenzelemente müssen die Lage des Körpers genügend genau bestimmen, wobei die Qualität ihrer Ausführung und die gegenseitige Lage der Referenzelemente wesentlich sind. Für die Justierung ist eine Vermessung nötig: Die Ausführung und Lage der Referenzelemente muß sich nach den möglichen Meßverfahren richten. Schließlich ist die Justierung einfacher durchzuführen, wenn die Referenzelemente bezüglich der Justiervorrichtungen zweckmäßig liegen. In der Regel können aus diesen Gründen die Ecken, Kanten, Ebenen von Magnetpolen nicht als Referenzelemente verwendet werden. Man ersetzt diese primären Referenzelemente durch sekundäre Meßmarken.

Für die Definition der Lage eines Körpers braucht es sechs Größen, die *Referenzparameter*. Entsprechend der Wahl der Referenzelemente benützt man als Referenzparameter zweckmäßigerweise Größen, die sich mit geodätischen Mitteln leicht bestimmen lassen.

Referenzelement	Referenzparameter
Punkt	Koordinaten in einem beliebigen Koordinatensystem
Gerade (Achse)	a) Koordinaten von zwei Punkten b) Koordinaten eines Punktes und Azimut und Höhenwinkel einer Richtung, bei einer fast vertikalen Richtung wird man die beiden Neigungskomponenten verwenden
Ebene	a) Koordinaten von drei Punkten b) Koordinaten eines Punktes und Azimut und Höhenwinkel der Flächennormalen, bei einer fast horizontalen Ebene wird man die beiden Neigungskomponenten der Flächennormalen verwenden

Bei der Auswahl der Referenzparameter spielen Genauigkeitsüberlegungen eine wichtige Rolle. Ferner ist zu beachten, daß zum Beispiel zwei Punkte eine Strecke definieren, wozu sechs Parameter nötig sind, während eine Gerade bereits durch vier Parameter bestimmt wird. Praktisch ergeben sich daraus kaum Schwierigkeiten.



Im skizzierten Fall ist diese Auswahl von sechs Referenzparametern zweckmäßig: (A, B) ist die längste Kante, und der Differentialquotient $dZ_c/d\omega$ ist größer als $dX_c/d\omega$ oder $dY_c/d\omega$.

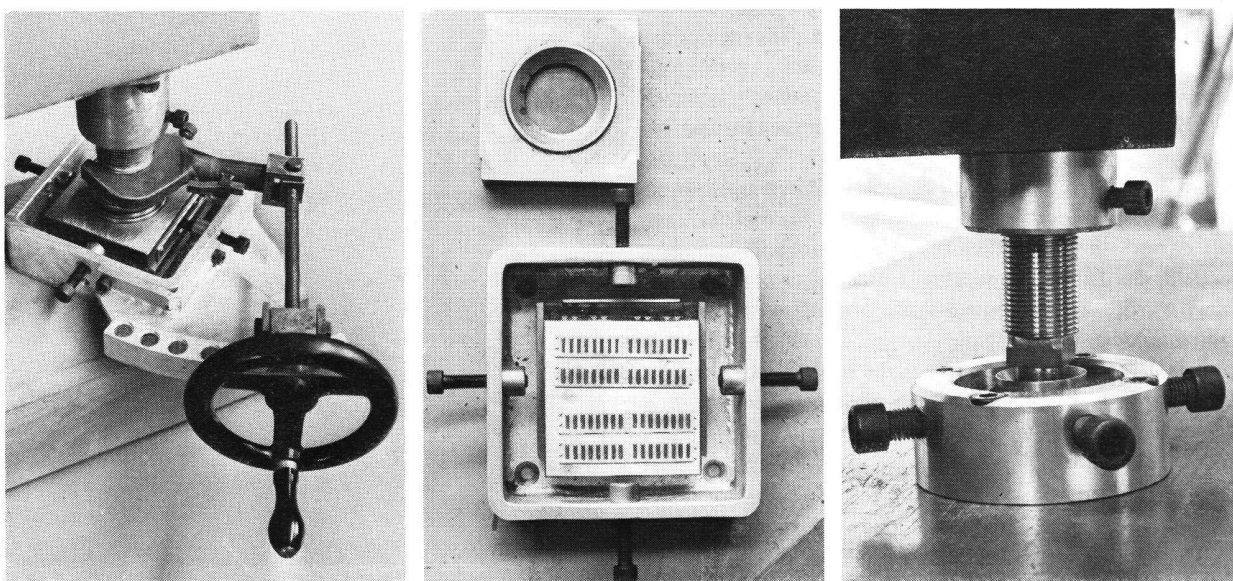


Abb. 4 Justiervorrichtungen
Justierfuß (Belastung max. 10 t) mit einer Vorrichtung für die Höhenverstellung. Detail dazu: Nadellager. Justierfuß (Belastung max. 1 t)

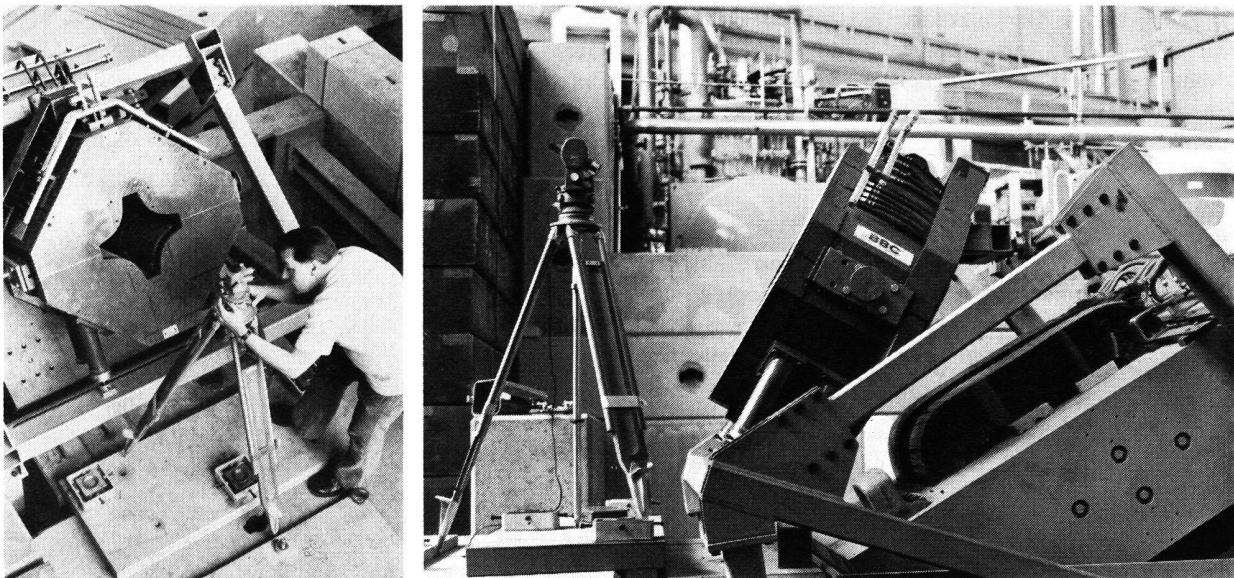


Abb. 5 Justierung von Komponenten des πE_3 -Strahles
Die Strahlachse liegt in einer vertikalen Ebene. Quadrupol, Ablenkmagnet, Abschirmungen aus Eisen- und Betonblöcken. Ablotgerät bzw. DKM2-A auf DKM3-Stativ

Bestimmung von Soll-Werten der Referenzparameter

Die Soll-Lage der Ablenkmagnete und Quadrupole geht grundsätzlich aus Magnetfeldmessungen und strahl-optischen Berechnungen hervor. Für die Justierung erhält die Vermessung von den Physikern Soll-Werte von Referenzparametern, die sich auf primäre Referenzelemente beziehen. Diese können meistens nicht für die Justierung benutzt werden. Man muß deshalb vorher die Magnete mit sekundären Referenzelementen versehen. Durch eine Magnetvermessung bestimmt man die Beziehung zwischen primären und sekundären Referenzelementen, um die Soll-Werte der Referenzparameter umrechnen zu können.

Das *theoretisch richtige Vorgehen* für die Bestimmung von Soll-Werten der Referenzparameter ist ziemlich mühsam. Man vermisst mit einer Magnetfeldmeßmaschine das Magnetfeld und sorgt dafür, daß man die Lage der Referenzelemente bezüglich des lokalen Koordinatensystems der Magnetfeldmeßmaschine kennt, indem man zum Beispiel die Meßmaschine bezüglich der Referenzelemente genau justiert. Aufgrund dieser Messungen lassen sich mit viel Aufwand die Soll-Werte der Referenzparameter bezüglich des Koordinatensystems der Grundlagenvermessung berechnen.

In der Regel wird daher ein *praktisches Näherungsverfahren* angewandt. Bei der Magnetfeldmessung beschränkt man sich darauf, die wesentlichsten Abweichungen vom Magnetfeld, das den strahl-optischen Untersuchungen zugrunde gelegt wurde, zu bestimmen. Aufgrund dieser Messungen kann man die Magnetfelder korrigieren (Shims, Trimmspulen). Eventuell muß man auch die projizierte Lage der Polflächen etwas verbessern. Für die Justierung benützt man grundsätzlich die Polflächen der Magnete als primäre Referenzelemente.

Bestimmung von Ist-Werten der Referenzparameter

Für die Bestimmung der Koordinaten von Punkten stehen sämtliche geodätischen Meßverfahren zur Verfügung. In

gewissen Fällen läßt sich die Richtung von Achsen oder Flächennormalen direkt bestimmen (siehe Abschnitt 4). Geodätischer Praxis folgend, wird man vor allem zur Kontrolle der Messungen und Berechnungen nach Möglichkeit überschüssige Beobachtungen vorsehen. Eine Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate erübrigt sich aber in den meisten Fällen.

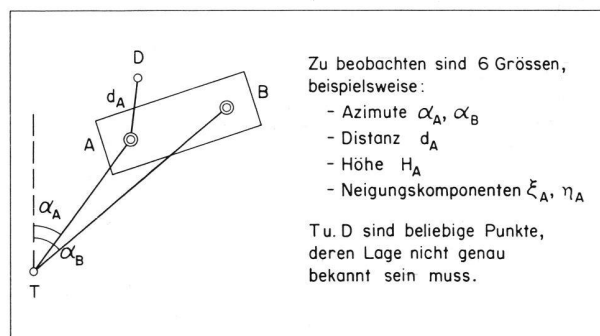
Justierung

Die einzelnen Komponenten der Anlage stehen in der Regel auf drei Justierfüßen (Abb. 4), wobei die Stützpunkte nach Lage und Höhe verschoben werden können. Gelegentlich werden auch kompliziertere Vorrichtungen verwendet.

Die genauesten Justierverfahren gehen davon aus, daß man vorher die Ist-Werte der Referenzparameter mit genügender Genauigkeit bestimmt.

Iterationsverfahren:

Referenzparameter seien die Koordinaten von Punkten und die Neigungskomponenten fast vertikaler Achsen. Die Verschiebungen der Referenzpunkte kann man zum Beispiel überwachen, indem man Azimut-, Distanz- und Höhenänderungen mit Theodolit, Distanzmeßgerät und Nivellierinstrument beobachtet. Die Änderungen der Neigungskomponenten kann man mit einer Stecklibelle kontrollieren.



Man erhält die Soll-Ablesungen, indem man zu den Ablesungen, die man vor der Justierung zu machen hat, die aus

den Differenzen der Ist- und Soll-Werte der Referenzparameter gerechneten Beobachtungsdifferenzen addiert. Instrumentenfehler spielen bei diesem differentiellen Verfahren keine Rolle. Es genügt daher, wenn man zum Beispiel die Richtungen nur in einer Fernrohrlage beobachtet. Schließlich hat man die Justiervorrichtungen so zu betätigen, daß alle sechs Ablesungen mit den Soll-Ablesungen übereinstimmen. Dazu muß man sich ein Iterationsverfahren ausdenken, das von der Anordnung der Justiervorrichtungen und Referenzelemente abhängt. Für eine zweckmäßige Anordnung findet man leicht ein Verfahren, das rasch konvergiert.

Analytisches Verfahren:

Es gibt Fälle, bei welchen die Voraussetzungen, die dem Iterationsverfahren zugrunde liegen, nicht zutreffen. Man kann die Verschiebungen rechnen, die an den Justierfüßen anzubringen sind, da diese leicht mit Meßuhren überwacht werden können. Das Verfahren hat den Nachteil, daß es etwas umständlich ist, die Verschiebungen der Füße zu bestimmen. Zuerst berechnet man aufgrund der Differenzen zwischen Soll- und Ist-Werten der Referenzparameter und der ungefähren Lage der Referenzelemente die Parameter einer Koordinatentransformation, die der Justierbewegung entspricht. Sind die Referenzelemente Punkte, so kann man das Verfahren der räumlichen Helmertransformation anwenden. Mit den Transformationsparametern und der ungefähren Lage der Justierfüße rechnet man anschließend die gewünschten Verschiebungen der Füße. Mit einem Computer läßt sich diese Rechnung aber leicht durchführen. Die analytische Methode ist genauer als das Iterationsverfahren.

Absteckungsverfahren:

Dieses Verfahren ist eine Variante des Iterationsverfahrens, wobei man keine Ist-Werte der Referenzparameter be-

stimmt. Die Genauigkeit ist kleiner als beim Iterationsverfahren, genügt aber in vielen Fällen. Gegeben sind die Soll-Werte der Koordinaten von Referenzpunkten und die Soll-Werte der Neigungskomponenten fast vertikaler Achsen. Der Bezugspunkt T in obiger Figur sei genau bestimmt worden. Damit lassen sich für diese Station Absteckungselemente (Soll-Werte der Azimute und Distanzen) rechnen. Diese Werte benützt man als Soll-Ablesungen an den Meßinstrumenten. Im Gegensatz zum Iterationsverfahren hat man vorher den Theodolit mit Anschlußrichtungen zu orientieren und die Zielachsenhöhe des Nivellierinstrumentes zu bestimmen. Den Instrumentenfehlern, die sonst durch geeignete, für diese Aufgabe nicht anwendbare Meßverfahren eliminiert werden, ist die nötige Beachtung zu schenken.

Kontrolle

Nach der Justierung ist eine Kontrolle durchzuführen, indem man die neuen Ist-Werte der Referenzparameter bestimmt. Diese sollten innerhalb gegebener Toleranzen mit den Soll-Werten übereinstimmen. Andernfalls hat man die Justierung zu wiederholen, wobei die Ist-Werte der Referenzparameter aufgrund der Kontrolle bereits vorliegen.

4. Vermessungsinstrumente und Beobachtungsverfahren

Richtungs- und Höhenwinkelmessungen

Als Meßgerät hat sich der Theodolit DKM 2-A von Kern (Aarau) gut bewährt. Wegen der äußerst engen Platzverhältnisse beim SIN und den hohen Genauigkeitsanforderungen spielt ein geeignetes Zubehör eine große Rolle.

Das Problem der kürzesten Zielweite läßt sich leicht mit *Vorsatzlinsen* lösen.

Vorsatzlinsen	A	B	A+C	B+C
Minimale Zielweite ¹	93,9	136,2	65,0	81,0 cm
Maximale Zielweite ¹	185,2	577	94,3	135,5 cm

¹ Zielweite ab Kippachse, gemessene Werte

Die Zielachse des Fernrohres verändert sich etwas durch das Aufsetzen von Vorsatzlinsen. Sie läßt sich aber recht gut reproduzieren, wenn man die Vorsatzlinsen immer gleich aufsetzt. Beim Messen mit Vorsatzlinsen muß man aufpassen, daß das Fernrohr nicht kippt und die Vorsatzlinse auf der Stütze aufschlägt. Sonst ist zu befürchten, daß die Ziellinie oder der Teilkreis ihre Lage ändern.

Die kurzen Visuren bedingen unbequeme große Verschiebungen der Fokussierlinse. Dabei kann sich ebenfalls die Zielachse etwas verändern. Es ist deshalb vorteilhaft, die erste und die zweite Lage nacheinander zu messen und am Schlusse des Satzes die Ausgangsrichtung zu repetieren, um die Stabilität der Orientierung des Teilkreises zu überprüfen. Kurze Visuren bedeuten im allgemeinen auch große Höhenwinkel. Der Theodolit muß daher genau horizontiert werden. Dies läßt sich bei Verwendung eines DKM 2-A mittels Höhenkreisablesungen leicht erreichen.

Die Probleme der Richtungs- und Höhenwinkelmessung beim SIN liegen vor allem in einer stabilen Aufstellung des Theodolites und in der genauen Zentrierung von Theodolit und Zielmarken. Eine zweckmäßige Disposition der Stationspunkte ist in Anbetracht der engen Platzverhältnisse

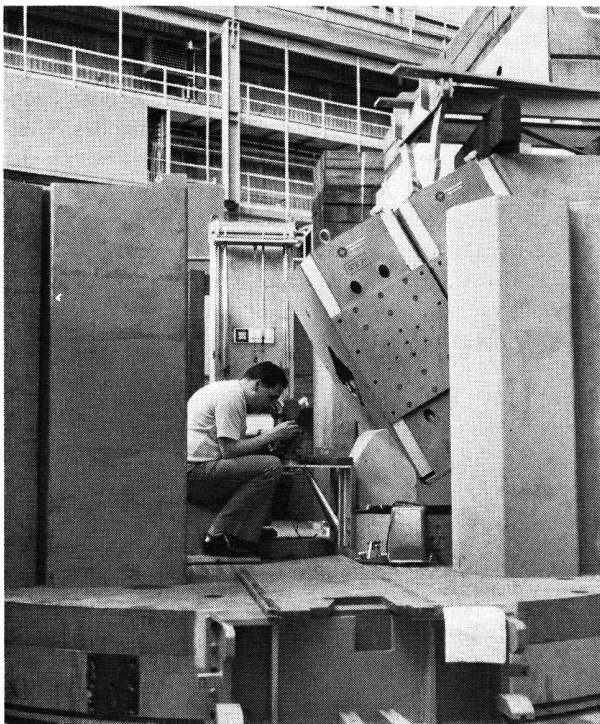


Abb. 6 Justierung von Quadrupolen des πE_3 -Strahles Station im Zentrum des Targets E. DKM 2-A mit Vorsatzlinse und gebrochenen Okularen

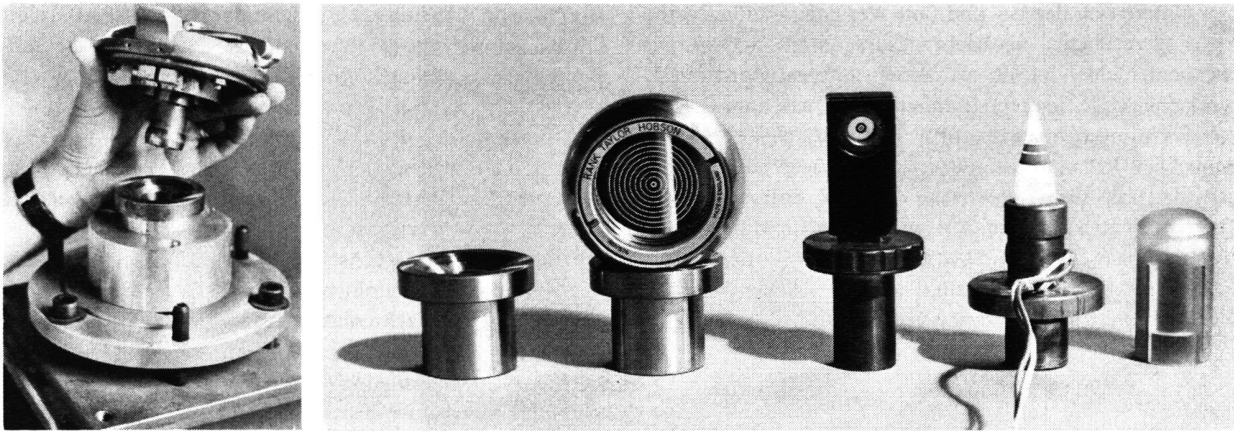


Abb. 7 Zubehör für Marken auf Pfeilern, Konsolen und Magneten, Zwischenplatte zum Aufstellen eines DKM2-A mit Arretierung, CERN-Büchse, Zielmarke Taylor-Hobson, Zielmarke Wild, leuchtende Zielspitze mit Schutzkappe (v.l.n.r.)

oft ziemlich schwierig (Abb. 5, 6 und 11). Im Hinblick auf das Aufstellen von Theodolit und Zielmarken sind die Marken im Hallenboden von den übrigen, die auf Pfeilern, Konsolen oder Magneten angebracht sind, zu unterscheiden.

Marken im Hallenboden:

- Büchsen aus rostfreiem Stahl, normale Bearbeitung, Innendurchmesser 16,5 mm (Abb. 8)
- Theodolit auf üblichem Holzstativ (Kern-Zentrierstativ für DKM3, Abb. 5)
- Zielpunkte für Richtung und Höhenwinkel: Zielmarken, welche in die Büchsen am Boden (Abb. 8) oder die Zentrierbohrung am Stativkopf gesteckt werden
- Zentrierung mit Ablotgerät OL (Kern, Aarau; Abb. 9) und Ablotzielmarke (Abb. 8) oder Bestimmung der Exzentrizität und rechnerische Zentrierung

Die Höhe der verschiedenen Einsätze wurde so gewählt, daß alle Marken denselben Punkt der Büchsenachse, die etwas geneigt sein kann, signalisieren. Die Büchsen werden in gebohrten Löchern mit Araldit befestigt.

Marken auf Pfeilern, Konsolen und Magneten:

- Büchsen aus gehärtetem Stahl, genau geschliffen, Innendurchmesser 30 mm (CERN-Büchsen, Abb. 7)
- Theodolit auf einer Zwischenplatte mit azimuthaler Arretierung (Abb. 7)
- Zielmarken für Richtung und Höhenwinkel in verschiedener Ausführung (Abb. 7)

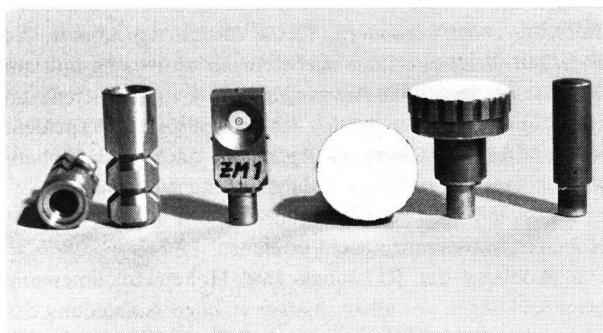


Abb. 8 Zubehör für Marken im Hallenboden: Bodenmarken, Zielmarke SIN, Ablotzielmarken mit mm-Teilungen, Nivellierbolzen (v.l.n.r.)

- Zentrierung von CERN-Büchsen auf Konsolen über Bodenpunkten mit Ablotgerät auf spezieller Zwischenplatte und Ablotzielmarke (Abb. 9)

Die Versicherung der Punkte durch CERN-Büchsen ermöglicht eine genaue Distanzmessung mit Invardrähten oder Innenmeßgeräten. Die gut bearbeiteten Büchsen definieren eine Achse, deren Neigung sehr genau bestimmt werden kann. Man kann die Büchsen so montieren, daß die Achse auf 0,1 mrad (= 64'') genau vertikal ist. Die CERN-Büchsen, die auf den Magneten angebracht werden, bestimmen nicht nur einen Referenzpunkt, sondern auch eine Referenzgerade.

Nivellement

Für die Bestimmung genauer Höhendifferenzen verwenden wir die Nivellierinstrumente Ni1 (Zeiss, Oberkochen) und N3 (Wild, Heerbrugg). Das Ni1 zeichnet sich durch eine kleine kürzeste Zielweite (1,4 m) aus, und die Messung ist dank dem Kompensator sehr bequem. Die Nachteile liegen darin, daß die Justierung des Instrumentes nicht besonders stabil ist und daß der Kompensator durch remanente Magnetfelder beeinflusst wird. Die Justierung des Nivellierinstrumentes ist besonders wichtig, da man wegen der ungünstigen Platzverhältnisse in der Regel mit ungleichen Zielweiten arbeiten muß. Das N3 weist diese Nachteile nicht auf, dagegen ist die kürzeste Zielweite größer (2,2 m), und die Handhabung des Instrumentes ist etwas umständlich. Die Bodenpunkte lassen sich in der üblichen Weise nivellieren, wobei man mit Vorteil eine sogenannte Industrielatte

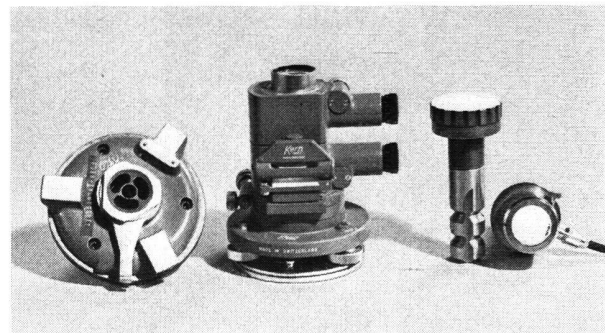


Abb. 9 Ablotung: Zwischenplatte für die Ablotung, optisches Präzisionslot OL (Kern), Ablotzielmarke, Auf- und Ablotzielmarke mit Beleuchtung (v.l.n.r.)

(Abb. 12, Teilung auf Invarband) und einen Nivellierbolzen (Abb. 8) verwendet. Es ist vielfach zweckmäßig, die CERN-Büchsen auf Konsolen oder Magneten als Stationspunkte zu benutzen (Abb. 3). Diese liegen in der Regel etwa gleich hoch, 2,00 m über dem Hallenboden. Um das Nivellierinstrument aufstellen zu können, braucht man eine Zwischenplatte (Abb. 12). Da die Höhendifferenzen zwischen den CERN-Büchsen klein sind, genügen kurze Nivellierlatten (Abb. 12). Für die Bestimmung von Höhendifferenzen Bodenpunkt-CERN-Büchse gibt es Spezialstative (Wild, Heerbrugg), die eine Instrumentenhöhe von mehr als 2 m ermöglichen.

Unter der Voraussetzung, daß die Höhendifferenz zwischen zwei CERN-Büchsen genügend klein ist, kann man diese folgendermaßen sehr genau bestimmen. Zuerst stellt man Nivellierinstrument und Latte auf den Punkten *A* und *B* auf und notiert die Lattenablesung l_B . Anschließend vertauscht man Instrument und Latte, wobei man darauf achtet, daß die Höhe der Zielachse über Oberkant CERN-Büchse konstant bleibt. Die Ablesung sei l_A . Damit erhält man die Höhendifferenz $H_B - H_A = \frac{1}{2} \times (l_A - l_B)$. Auf diese Weise läßt sich eine Restneigung der Zielachse vollständig eliminieren.

Distanzmessung

Die *Distanzmessung mit Invardrähten* (Abb. 10) wird nach einem Verfahren, das beim CERN entwickelt wurde, durchgeführt. Beim SIN verwenden wir ein Meßgerät, das nach Angaben des CERN von der Firma Huggenberger, Zürich, als DIM-CERN gebaut wird. Das DIM-CERN und das zugehörige Pivot werden in CERN-Büchsen, die eine schiefe Distanz definieren, eingesetzt. Mit dem Meßgerät läßt sich eine konstante Spannung des Invardrahtes einstellen, und man erhält mit Hilfe eines Mikrometers die Differenz zwischen der schiefen Distanz und der bekannten Drahtlänge. Die innere Meßgenauigkeit liegt bei $\pm 0,01$ mm mittlerem Fehler. Wir können hier nicht darauf eingehen, wie man die Drahtlängen behelfsmäßig auf etwa 0,1 mm genau bestimmen kann. Für genaue Arbeiten wurden die Drähte auf dem Komparator des CERN geeicht. Damit die

Längen der Drähte möglichst konstant bleiben, wurden die Drähte vor der Eichung beansprucht, indem man den leicht gespannten Draht mehrere Male auf den Boden schlug. Dabei wurden die Drähte bis zu 0,3 mm/m kürzer. Das Distanzmeßverfahren CERN ist praktisch und genau, stellt aber an die Ausführung und Stabilität der Meßmarken hohe Anforderungen, und ferner dürfen die Neigungen der Strecken nicht allzu groß sein.

Für die Bestimmung kürzerer Distanzen kann man eine *Basislatte* verwenden. Abbildung 11 zeigt die Distanzmessung mit einer 1 m-Basislatte von Kern, Aarau, die im Hinblick auf die Arbeiten beim SIN hergestellt wurde¹. Die Basislatte besteht aus einem Invarrohr, an dem die Zielmarken ohne Justier Vorrichtung befestigt sind. Um die Additionskonstante durch eine Drehung der Basislatte um 200° auszuschalten, sollten die Zielmarken von vorne und hinten anzielbar sein. Aus verschiedenen Gründen hat man auf beiden Seiten der Zielmarkenträger Kreismarken angebracht. Die Basislängen zwischen den vordern und hinteren Marken wurden auf einer Längenmeßmaschine bestimmt. Ferner braucht man für die Berechnung der Distanzen die Dicke der Zielmarkenträger. An Horizontal-distanzen, die kleiner als 5 m sind, erreicht man mittlere Fehler von weniger als $\pm 0,1$ mm. Die Einschränkungen, die für Distanzmessungen mit Invardrähten gemacht werden müssen, fallen bei Messungen mit der Basislatte weg. Dagegen sind die Anwendungsmöglichkeiten bei sehr engen Platzverhältnissen beschränkt.

Im übrigen kann man für die Bestimmung kürzerer Distanzen Meßinstrumente anwenden, wie sie im Maschinenbau üblich sind, zum Beispiel Innenmeßgeräte, Schublehren, Mikrometer.

Bestimmung der Neigung von Geraden und Ebenen

Man kann die Neigung von Geraden und Ebenen indirekt bestimmen, indem man Punkte dieser Elemente vermißt.

¹ Nähere Angaben enthält der Artikel «Verbesserung der Basislatte», der in dieser Zeitschrift erscheinen wird.

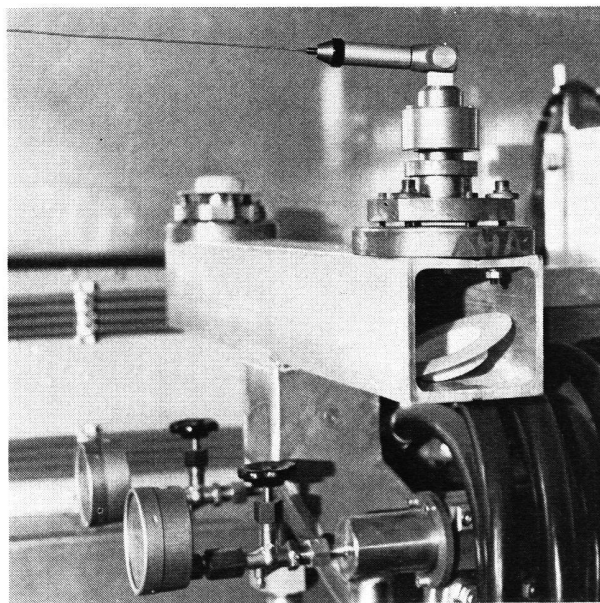
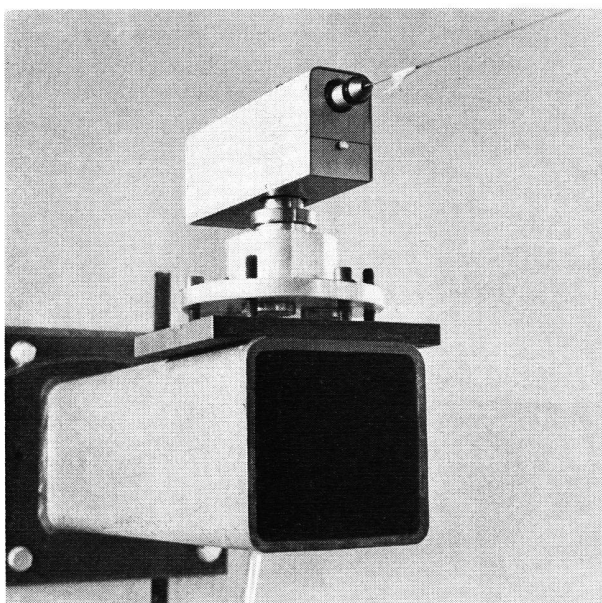


Abb. 10 Distanzmessung mit Invardrähten Meßgerät DIM-CERN (Entwicklung CERN, Fabrikation Huggenberger) auf Konsole RSW, Pivot auf AHA/A

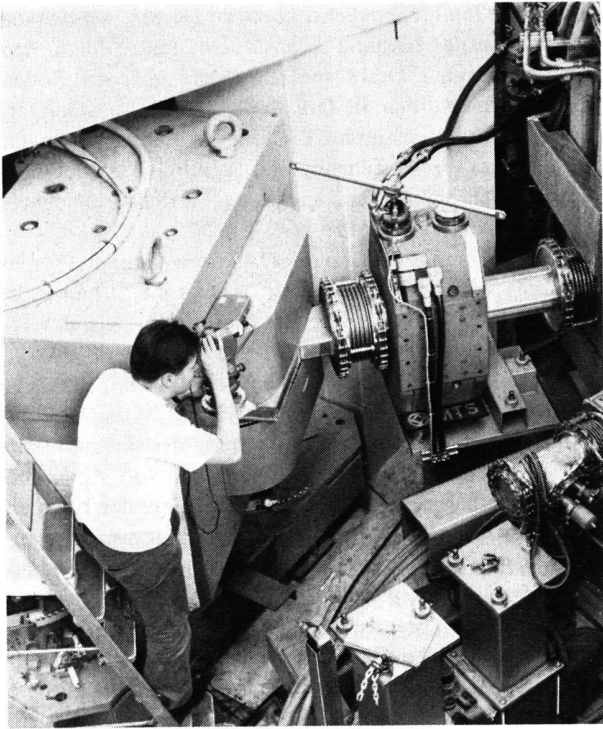


Abb. 11 Distanzmessung mit einer 1 m-Basislatte (Kern) DKM2-A auf Konsole an Ablenkmagnet ASL 31, Basislatte auf Quadropol QTA 33

Es gibt aber auch direkte Verfahren, die sich vor allem für *fast vertikale Geraden oder fast horizontale Ebenen* eignen. Für den Fall einer fast vertikalen Achse von CERN-Büchsen benutzen wir folgende Methoden (Abb. 13):

- Am einfachsten kann man die Neigungskomponenten in zwei zueinander senkrechten Richtungen mit Hilfe einer *Stecklibelle* messen. Bei genauen Libellen ist der Meßbereich klein.
- Um größere Neigungen zu messen, benutzen wir eine Libelle mit Mikrometerschraube (Wyler, Winterthur).

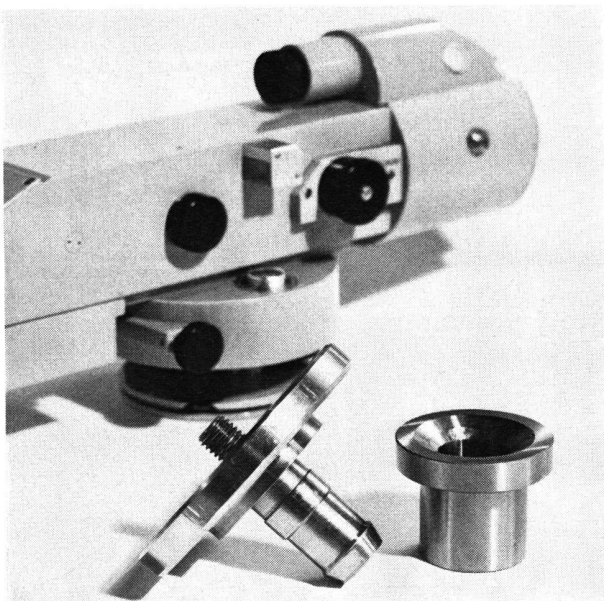


Abb. 12 Höhenbestimmung von CERN-Büchsen Zwischenplatte zum Aufstellen eines Ni1. Verschiedene Nivellierlatten: Minilatte Wild, Industrielatte Wild, Minilatte SIN

- Bei ein spielender Libelle läßt sich die Neigung der Auflagefläche an der Mikrometerschraube ablesen.
- Für sehr genaue Neigungsmessungen kann man auch einen *Theodolit* verwenden. Man zieht die Horizontal- und Vertikalklemmen an und dreht den Theodolit zusammen mit der Zwischenplatte um die Achse der CERN-Büchse. Dabei liest man in diametralen Positionen den Höhenkreis ab, woraus sich die entsprechende Neigungskomponente berechnen läßt. Das Achssystem, bestehend aus CERN-Büchse und Zapfen der Zwischenplatte, weist eine hohe Genauigkeit auf. Der mittlere Taumelfehler liegt in der Größenordnung von einigen Sekundentesimaler Teilung.

Die Neigung fast horizontaler Ebenen läßt sich auf einfache Weise mit Setzlibellen direkt messen.

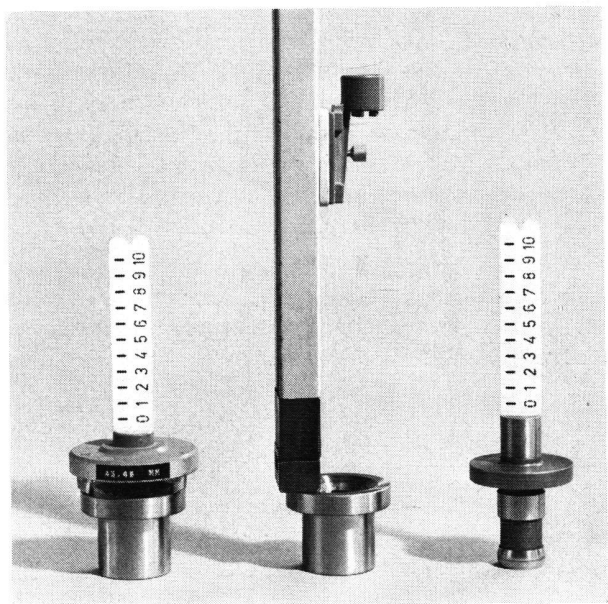
Schwieriger ist die Neigungsmessung von *beliebigen Geraden und Ebenen*. Man kann dazu das *Autokollimationsverfahren* verwenden. Ist die Gerade eine mechanische Achse, so gelingt es in vielen Fällen, an der Welle und senkrecht zur Achse einen Spiegel anzuordnen. Bei Ebenen befestigt man den Spiegel parallel zur Ebene. Mit Hilfe eines Theodolites lassen sich nun nach dem Autokollimationsverfahren Azimut und Höhenwinkel der Spiegelnormalen bestimmen.

Anmerkung

Es wäre reizvoll, zu zeigen, wie die erläuterten Justier- und Meßverfahren eingesetzt werden und welche Genauigkeiten dabei erreicht werden. In diesem Sinne kann diese Darstellung der Vermessungsprobleme des SIN nicht vollständig sein.

5. Einige organisatorische Probleme der Vermessungsarbeiten beim SIN

Die Vermessungsprobleme des SIN sind technischer und organisatorischer Art. Die Lösung der organisatorischen Probleme ist bei einer Industrievermessung von besonderer Bedeutung.



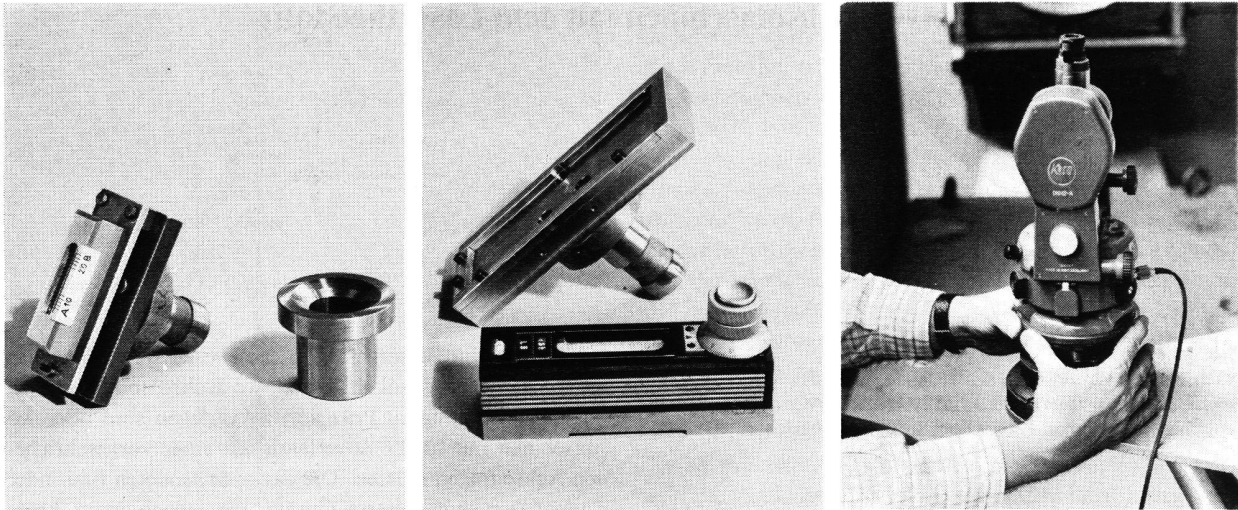


Abb. 13 Neigungsmessung von CERN-Büchsenachsen
Stecklibelle, Libelle mit Mikrometerschraube (Wylmer) und Zwischenplatte für die Verwendung als Stecklibelle, Neigungsmessung mit einem DKM2-A (v.l.n.r.)

Dynamische Problemstellung

Die Vermessung muß sich in einem komplizierten Montagevorgang eingliedern. Unvorhergesehenes spielt eine ziemlich große Rolle. Die Verhältnisse und die Problemstellung ändern sich laufend. Wir konnten uns zu Beginn der Vermessungsarbeiten kein genaues Bild von unserer Aufgabe machen. Es gab kaum Pläne, die für unsere Vorbereitungen geeignet gewesen wären, und die vorhandenen wurden später mehrmals abgeändert. Besondere Schwierigkeiten bereiteten uns in dieser Hinsicht die Abschirmungen, welche die Konzeption der Vermessung wesentlich beeinflussen. Dank einer umsichtigen Anwendung geodätischer Methoden konnte man sich den variablen Verhältnissen stets recht gut anpassen.

Planung der Arbeiten

Man vermeidet größere Schwierigkeiten, wenn die notwendigen Messungen im richtigen Augenblick durchgeführt werden können. Die Planung der Arbeiten ist daher eine wichtige Aufgabe. In Zusammenarbeit mit den verschiedenen Sachbearbeitern ist im Detail abzuklären, was, wann, wie genau und unter welchen Verhältnissen zu justieren ist. Für diese Vorbereitungen braucht es viel gegenseitiges Verständnis und auch Zeit. Es gilt vor allem,

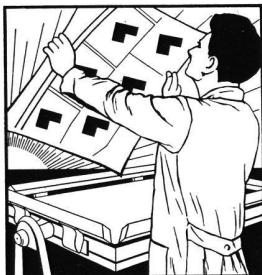
schwierige Situationen rechtzeitig zu erkennen, damit man Methoden und Instrumente anpassen kann.

Termine

Gegenwärtig muß sich die Vermessung nach dem Montageprogramm richten, und später bestimmt die Intensität radioaktiver Strahlung die zur Verfügung stehende Zeit. Schwierigkeiten, die bei der Montage auftreten und in der Natur der Sache liegen, führen oft zu unliebsamen Verzögerungen und Engpässen.

Probleme im Zusammenhang mit Umbau- und Unterhaltsarbeiten

Wenn später einzelne Komponenten der Anlage ersetzt werden müssen, wird man in Kauf nehmen, daß das Personal radioaktiver Strahlung ausgesetzt ist. Damit stellen sich auch für die Vermessung besondere, vor allem organisatorische Probleme: Die Arbeiten müssen in kürzester Zeit ausgeführt werden. Verschiedenartige Komponenten, unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen und vor allem wechselnde örtliche Verhältnisse erschweren die Aufgabe, Standardverfahren zu entwickeln. Damit die personelle Seite des Problems gelöst werden kann, müssen diese Verfahren auch einfach sein.



SCHWEIZ. LICHTPAUSANSTALTEN AG

8001 Zürich
Weinbergstraße 22
Telefon 01/34 96 28

LICHTPAUSEN
PLANDRUCK
REPRO-FOTO
OFFSETDRUCK
TECHN. PAPIERE

FÜHRENDES FACHGESCHÄFT FÜR VERMESSUNGSTECHNISCHE REPRO-ARBEITEN