

Zeitschrift:	Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber:	Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band:	77 (1959)
Heft:	15: Schweizer Mustermesse Basel, 11. bis 21. April 1959
 Artikel:	Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit dem 31 MeV Brown Boveri Betatron
Autor:	Sempert, M.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-84236

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: 02.02.2026

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

Der Bundespräsident zur Schweizer Mustermesse 1959

Der heutige Rhythmus der technischen Entwicklung erlaubt es niemandem, der sich auf diesem Gebiet betätigt, Halt zu machen — und wäre es auch nur ganz kurze Zeit. Er muss der wissenschaftlichen Forschung und den neuesten Entwicklungen folgen. Ob es sich nun um Produktion, Veredelung von Erzeugnissen oder um Verkauf handelt, stets werden die Menschen in einen Bewegungsablauf eingespannt, der ihnen keine Ruhe lässt, sondern sie vielmehr verpflichtet, ohne Unterlass nach neuen Möglichkeiten Ausschau zu halten. Vom Zeitpunkt an, da ein Produkt als Ergebnis grosser Anstrengungen auf dem Markt erscheint, zählt es bereits zur Vergangenheit. Intellektueller Wissensdurst, Schöpfer- und Unternehmergeist und die Qualität der Arbeit sind die wichtigsten Faktoren unserer wirtschaftlichen Sicherheit und unseres Fortschritts. Sie setzen die Bedingungen für die Entwicklungsmöglichkeiten in der Schweiz selbst und im Ausland.

Diese Tatsachen verleihen unseren nationalen Messen eine ganz besondere Note. Sie schaffen zwischen den Produzenten, Industriellen und dem Handel den gewünschten Wettstreit. Sie vermitteln aber auch den notwendigen Kontakt mit der Kundschaft und erlauben, eine Art Bilanz der Aktivität des Landes zu ziehen.

Der zunehmende Erfolg der Schweizer Mustermesse in Basel liefert den Beweis dafür, dass eine derartige Veranstaltung den verschiedensten, stets wachsenden Bedürfnissen entspricht. Wir erblicken darin das Zeichen für die Zunahme unserer wirtschaftlichen Möglichkeiten, über welche die Exportzahlen klaren Aufschluss liefern. Diese Tendenz beweist, dass sich die schweizerische Wirtschaft auf dem Weltmarkt energisch zur Wehr setzt. Wenn neue Konkurrenten unsere ganze Aufmerksamkeit auf das Problem des Verhältnisses zwischen Qualität und Preis lenken, so wird erst recht deutlich, dass der Existenzkampf die Aus schöpfung aller Möglichkeiten, über welche wir verfügen können, erfordert. Dass sich der wirtschaftliche Wettbewerb, an dem wir teilnehmen, auf den ganzen Weltmarkt erstreckt, vermindert zudem die Gefahr von Rückschlägen aller Art.

Die Basler Mustermesse wird beredten Aufschluss über die gewaltigen Anstrengungen geben, die unsere Wirtschaft unternimmt, um den Ruf unseres Landes zu behaupten. Sie wird beweisen, dass unser Land in der Lage ist, seinen Platz da zu behaupten, wo es darum geht, den Wohlstand unserer Bevölkerung durch fruchtbare und friedliche Arbeit sicherzustellen.

Paul Chaudet, Bundespräsident

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit dem 31 MeV Brown Boveri Betatron

Von Dr. M. Sempert, Ennetbaden

DK 620.179:539.165

Die industrielle Anwendung von Röntgen- und Gammastrahlen entwickelte sich in den vergangenen Jahren zu einem sehr wertvollen Hilfsmittel der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung. Werkstücke verschiedenster Art und Grösse lassen sich der Strahlenprüfung unterziehen und können so auf das Vorhandensein von Fehlern untersucht werden.

Bis vor etwa zehn Jahren wurden für die Strahlenprüfung fast ausschliesslich konventionelle Röntgengeräte verwendet. Mit ihnen lassen sich bei Röhrenspannungen bis etwa 400 kV Stahlstücke mit einer grössten Dicke von ungefähr 80 mm noch prüfen. Grössere Dickenabmessungen führen zu sehr langen Belichtungszeiten, und die Qualität der Durchstrahlungsbilder ist schlecht. Die rasche technische Entwicklung während der vergangenen Jahre verlangte Mittel, welche die Strahlenprüfung wesentlich dickerer Werkstücke ermöglichen sollten. Es stellte sich damit die Forderung nach neuen Strahlenquellen, deren Strahlung ein besseres Durchdringungsvermögen aufweist und deren Intensität auch bei grosser Dicke des Prüfobjektes noch tragbare Belichtungszeiten gewährleistet.

Heute stehen zwei neue Mittel für die Strahlenprüfung dicker Metalleile zur Verfügung: In Kernreaktoren erzeugte *radioaktive Isotope* und Teilchenbeschleuniger, sog. *Akzeleratoren*. Die Isotope, z. B. der heute oft verwendete Gammastrahler Kobalt-60, ermöglichen die Durchstrahlung von Stahlteilen mit Wandstärken bis etwa 150 mm. Die hierzu erforderlichen Belichtungszeiten sind allerdings recht lang; sie können selbst bei Verwendung starker Präparate (einige Curie) Stunden bis Tage betragen. Von den Teilchenbeschleunigern, welche für die technische Anwendung entwickelt wurden, hat sich hauptsächlich das *Betatron* durchgesetzt (auch Strahlentransformator genannt). Es ist ein im Prinzip einfacher und betriebssicher arbeitender Akzelerator, der ausserordentlich durchdringende Gammastrahlung von

sehr hoher Strahlintensität erzeugt. Das von der Firma AG. Brown, Boveri & Cie., Baden, entwickelte Gerät, das 31 MeV-Materialprüfbaetron, ermöglicht die Strahlenprüfung von Stahlteilen bis zu 500 mm Wandstärke (Bild 1). Die Fehlererkennbarkeit ist vorzüglich, sie wird mit keinem andern heute verwendeten Verfahren der Strahlenprüfung erreicht.

Die Wirkungsweise des Brown-Boveri-Betatrons für Materialprüfung¹⁾

Der Grundgedanke des Betatrons beruht auf der Tatsache, dass ein zeitlich veränderliches Magnetfeld von einem elektrischen Wirbelfeld umgeben ist. Es handelt sich dabei um die allgemein bekannte Erscheinung, dass in der Sekundärwicklung eines Transformators eine elektrische Spannung induziert wird, wenn man die Primärwicklung mit Wechselstrom erregt. Im Betatron liegt nun an Stelle einer Sekundärwicklung ein evakuiertes Beschleunigungsrohr, die sog. Kreisröhre. Der Sekundärstrom wird durch den ringförmigen elektrischen Strom im Innern der Kreisröhre dargestellt. Die Elektronen dieses Ringstromes erfahren wegen des elektrischen Wirbelfeldes eine Beschleunigung. Damit sie während des ganzen Beschleunigungsvorganges auf ihrer Kreisbahn bleiben, ist es notwendig, ein geeignetes magnetisches Steuerfeld senkrecht zur Kreisröhrenebene zu erzeugen.

Der grundsätzliche Aufbau des Materialprüfbaetatrons ist in Bild 2 schematisch dargestellt. Zwischen den Steuerpolen 1 des Betatrons liegt die evakuierte und abgeschmolzene Kreisröhre 2. Der Magnet²⁾ wird über einen Transformator 3

¹⁾ Eingehende Darstellungen über das Betatron siehe z. B. die Literaturangaben [1], [2], [3] am Schluss des Aufsatzes.

²⁾ Da eine Sekundärwicklung im üblichen Sinn fehlt, spricht man besser von einem Magneten als von einem Transformator.

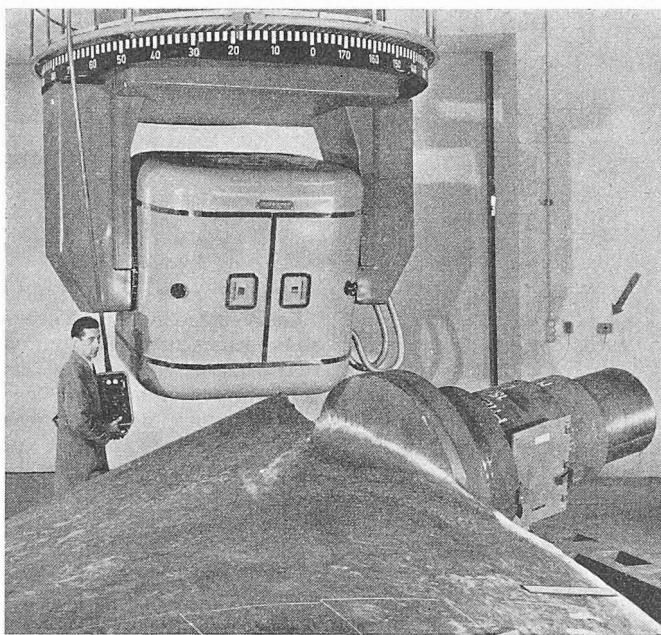


Bild 1. Einrichten des Materialprüf-Betatrons für die Prüfung einer Kaplan-turbine. Durchmesser der Welle an der Prüfstelle: 50 cm

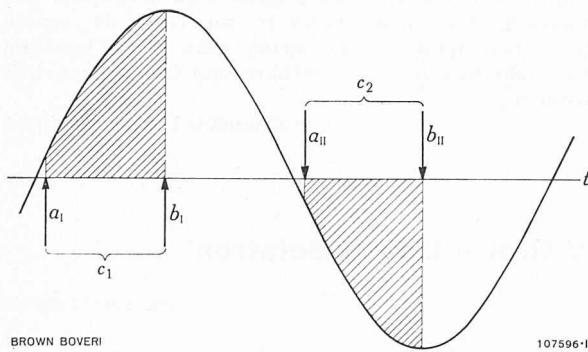


Bild 3. Magnetische Induktion B in Funktion der Zeit t

- a_I, a_{II} Elektroneneinspritzung
- b_I, b_{II} Expansion der Elektronenkreisbahn
- c_I, c_{II} Beschleunigungsphasen für Strahl γ_I bzw. γ_{II}

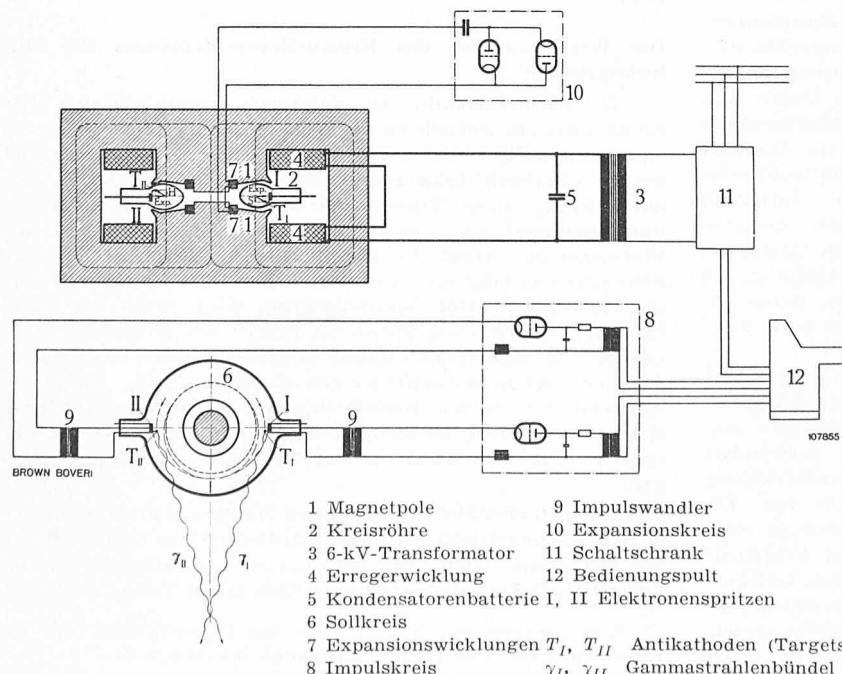


Bild 2. Prinzipschema der Betatronanlage für Materialprüfung

mit der Netzfrequenz erregt. Parallel zur Erregerwicklung 4 ist eine Kondensatorenbatterie 5 zur Kompensierung der Blindleistung geschaltet. Kurze Zeit nach dem Nulldurchgang der magnetischen Induktion B (siehe Bild 3, Zeitpunkt a_1) wird durch die Elektronenspritze I ein Elektronenstrahl in die Kreisröhre eingeschossen. Die Glühkathode der Spritze wird hierzu kurzzeitig an eine negative Spannung von etwa 50 kV gelegt, was die Emission des gewünschten Elektronenstrahls zur Folge hat. Die Elektronen verlassen die Spritze nahezu tangential zur Kreisbahn und werden durch das magnetische Führungsfeld (zwischen den Steuerpolen) auf den Sollkreis 6 gebracht. Wegen des zeitlich ansteigenden Magnetflusses erfahren sie auf ihrem Weg längs des Sollkreises eine Beschleunigung. Sie gewinnen im Mittel pro Umlauf die Energie von 31 MeV³) und zwar so lange, als der Magnetfluss zunimmt. Am Ende der Beschleunigungsphase (Zeitpunkt b_1), welche eine Viertelperiode, bei der Netzfrequenz 50 Hz also $1/200$ Sekunde beträgt, haben sie den Sollkreis 1 Million mal umkreist und so die Energie von 31 MeV erreicht.

Für die Materialprüfung ist es notwendig, mit dem Strahl hochenergetischer Elektronen Gammastrahlen zu erzeugen. Hierzu wird der Sollkreis zur Zeit b_1 mit einem Stromimpuls durch die Expansionswicklungen 7 ausgeweitet. Die Expansion hat zur Folge, dass die Elektronen auf eine Platin-Antikathode oder Target T_1 auftreffen, dort abgebremst werden und dabei eine sehr harte, d. h. durchdringende Bremsstrahlung erzeugen.

Die Kreisröhre des hier beschriebenen Betatrons besitzt zwei Elektronenspritzen I und II mit je einer Antikathode T_1 und T_{II} . Die beiden Injektionssysteme sind derart angeordnet, dass die Spritze I zur Zeit a_1 im Uhrzeigersinn, die Spritze II zur Zeit a_{II} im Gegenuhrzeigersinn emittiert. Der Beschleunigungsvorgang kann sich daher in jeder Netzperiode zweimal abspielend. Während der einen, positiven Halbwelle des Magnetfeldes injiziert die Elektronenspritze I, und in der entsprechenden Antikathode T_1 wird das Gammastrahlbündel γ_1 erzeugt. Während der andern, negativen Halbwelle des Feldes arbeitet die Spritze II, der Strahl γ_{II} entsteht in der Antikathode T_{II} . Diese Anordnung der Elektroneninjektoren und der entsprechenden Targets ist für das Brown-Boveri-Materialprüfbetatron charakteristisch. Es liefert zwei Strahlbündel, deren Achsen leicht konvergent sind. Sie schneiden sich im Abstand von 2,5 m vom Zentrum des Betatrons unter einem Winkel von $12,5^\circ$. Die beiden Gammastrahlbündel können jedes einzeln oder beide gleichzeitig eingeschaltet werden. Die charakteristische Anordnung von Injektoren und Antikathoden und die daraus resultierenden Achsen der Strahlbündel haben zwei bemerkenswerte Eigenschaften des Materialprüfbetatrons zur Folge [4]:

1. Es können sog. Breitfeldaufnahmen hergestellt werden, d. h. Radiographien mit doppelt so grossem Strahlengang, als dies mit einer Einstrahlung möglich ist.

2. Auf sehr einfache Weise lassen sich Stereo-Bilder aufnehmen. Die Betrachtung von Stereo-Radiographien mit Hilfe geeigneter optischer Instrumente vermittelt einen plastischen Eindruck des durchstrahlten Werkstücks. Die Beurteilung des Durchstrahlungsbildes wird dadurch wesentlich erleichtert. Aus Stereo-Radiographien kann die Tiefe von Fehlerstellen im Prüfobjekt leicht berechnet werden.

Die zwei Antikathoden, die sich in der Stereo-Kreisröhre des Betatrons befinden, liegen nicht genau in der Ebene des Sollkreises. Die Target T_1 liegt 2 mm unterhalb, die Target T_{II} 2 mm oberhalb der Sollkreisebene. Diese geometrische Anordnung ist deshalb notwendig, damit bei der Expansion ausschliesslich die eine oder an-

3) eV: Elektronvolt, in der Kernphysik gebräuchliches Energienmaß, 10^6 eV = 1 MeV.

dere Antikathode getroffen wird. Eine Anordnung genau in Sollkreisebene hätte zur Folge, dass beide den zwei Halbwellen zugeordneten Elektronenbündel bei der Expansion etwa zur Hälfte die beiden Targets erreichen könnten und nur ein Teil der erzeugten Strahlleistung die Kreisröhre in der gewünschten Richtung verlassen würde. Eine Antikathode, die ober- oder unterhalb des Sollkreises liegt, kann durch Expansion allein nicht optimal getroffen werden. Gleichzeitig mit der Expansion wirkt daher in der Kreisröhre ein Magnetfeld derart, dass für die Erzeugung des Strahlenbündels γ_I der Sollkreis gesenkt, für die des Bündels γ_{II} der Sollkreis gehoben wird. Die Resultierende der durch Expansion und Senken bzw. Expansion und Heben verursachten Kräfte soll die Elektronen je nach Strahl genau auf die Antikathode T_I oder T_{II} auftreffen lassen.

Die Richtungsverteilung der aus den Antikathoden austretenden Gammastrahlen ist durch eine ausgesprochene Bündelung um die Strahlachsen gekennzeichnet. Die Intensitätsverteilung in einer Ebene senkrecht zur Axe ist ungleichmässig und daher in der Regel für Materialprüfung nicht ohne weiteres geeignet. Durch zweckmässig geformte Ausgleichskörper aus Kupfer lassen sich die beiden Strahlenbündel ausgleichen, und zwar so, dass Stellen mit zu hoher Intensität durch Absorption im Ausgleichskörper gerade um den richtigen Faktor geschwächt werden. Die Schwärzung eines Films, der senkrecht zur Axe belichtet wird, ist bei Feldausgleich auf $\pm 5\%$ konstant. Die maximal ausnutzbare Feldgrösse beider Gammastrahlenfelder beträgt in 1 m Fokusabstand (Abstand von der Antikathode) 200×200 mm, wovon eine Kreisfläche von 180 mm Durchmesser ausgeglichen ist. Mit Hilfe von 60 mm dicken Bleiblenden kann das Feld in der Vertikalrichtung symmetrisch zur Axe kontinuierlich bis auf Null verkleinert werden. Die Ausblendung von Längsfeldern erhöht die Fehlererkennbarkeit bei der Radiographierung von Schweißnähten, Wellen, Uranstäben von Kernreaktoren usw.

Unter Umständen ist das Arbeiten mit nicht ausglichenem Feld zweckmässig, nämlich dann, wenn ein Werkstück ungefähr die Dickenunterschiede aufweist, die denjenigen des Kupferausgleichskörpers entsprechen. In diesem Fall stellt das Werkstück selbst, wenigstens angenähert, den Strahlausgleich her. Für das Arbeiten mit unausglichenen Strahlenfeldern können die Ausgleichskörper bei der Strahlen leicht entfernt werden. Die Strahlintensität in der Axe steigt dabei um den Faktor 3. Bei sehr grossen Materialdicken, z. B. bei 500 mm Stahl, sind die gegenüber ausgeglachten Strahlenfeldern dreimal kürzeren Belichtungszeiten sehr erwünscht.

In Bild 4 sind die Belichtungszeiten in einem Nomo gramm angegeben, welche bei verschiedenen Stahldicken und Film-Fokus-Abständen einen Film mittlerer Empfindlichkeit richtig schwärzen, d. h. die für die Fehlererkennbarkeit günstige Schwärzung $S = 2$ ergeben. Wegen der ausserordentlich intensiven Strahlung und dem hohen Durchdringungsvermögen der 31 MeV Gammastrahlung ergeben sich auch bei grossen Dicken noch verhältnismässig kurze Bestrahlungszeiten. So erfordert z. B. die Durchstrahlung einer Stahlplatte von 250 mm Dicke bei 2 m Film-Fokus-Abstand eine Belichtungszeit von nur zehn Minuten.

Strahlenprüfung mit dem Brown-Boveri-Betatron

Bild 1 zeigt das Betatron im Stahlwerk der Georg Fischer AG., Schaffhausen. Eine Kaplanschaufel soll mit der 31-MeV-Anlage durchstrahlt werden. Der Operateur ist im Begriff, eine Aufnahme des Lagerzapfens vorzubereiten. Die Belichtung eines Films vom Format 30×40 cm ist vorgesehen, und dementsprechend muss der Film-Fokus-Abstand gewählt werden. In 2,5 m Abstand wird dieses Format voll ausgeleuchtet. Die Radiographie wird mit einem Strahlenfeld allein ausgeführt. Die entsprechende Strahlaxe muss so auf das Objekt gerichtet werden, dass die zu prüfende Stelle und der Film vollständig in das Strahlenfeld zu liegen kommen. Sie ist durch einen Lichtzeiger markiert. An der fokusfernen Seite des Prüfobjekts ist die Filmkassette mit Haltemagneten befestigt. Die richtige Belichtungszeit für den Film wird mit Hilfe eines Dosiszählers automatisch bestimmt. Während der Durchstrahlung integriert er die Dosis-

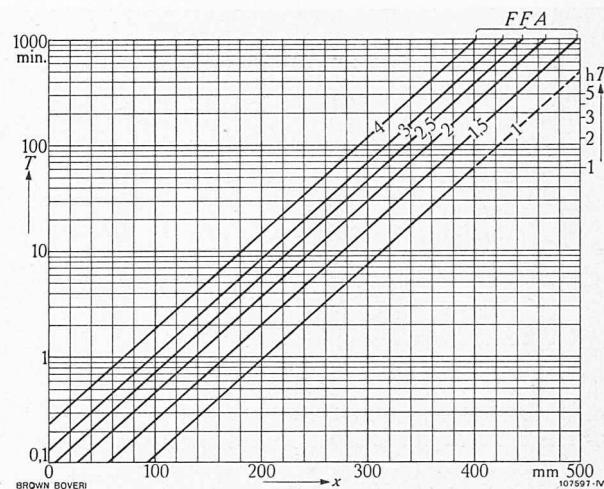


Bild 4. Belichtungszeit - Nomogramm für Betatronprüfung. Film: Kodak No Screen, α Durchstrahlte Eisendicke in mm, T Belichtungszeit für Schwärzung $S = 2$ in Minuten bzw. Stunden, FFA Film-Fokus-Abstand in m. Strahlintensität: 75 r/min in 1 m Fokusabstand (ausgeglichenes Feld)

leistung (Strahlintensität), und sobald der Film für die gewünschte Schwärzung bestrahlt worden ist, schaltet er die Strahlung aus.

Für die Strahlenprüfung mit 31-MeV-Gammastrahlen werden Röntgenfilme zwischen Bleiplatten verwendet. In die Kassetten wird vor dem Film, fokusnah, 3 mm und dahinter, fokusfern, 1 mm Blei eingelegt. In ein und derselben Kassette können gleichzeitig zwei Filme belichtet werden, sofern man zwischen die beiden Filme zusätzlich 1 mm Blei legt. Beide Exemplare werden hinsichtlich Schwärzung und Qualität der Aufnahme nahezu gleichwertig. In den Bleiplatten erzeugen die Gammastrahlen Sekundärelektronen (Compton- und Paarelektronen), die sehr wesentlich zur Filmschwärzung beitragen. Gleichzeitig werden auch Sekundärelektronen, die in dem zu prüfenden Werkstück entstehen, und die eine Unschärfe hervorrufen würden, in den Bleiplatten absorbiert.

Fehlererkennbarkeit

Für die Beurteilung eines Werkstückes ist von wesentlicher Bedeutung, welche Fehler auf dem Film noch erkannt werden können und welche Fehler der Beobachtung entgehen. Materialfehler können verschiedenartigste Form, Grösse und Beschaffenheit aufweisen. Es können z. B. Risse, Lunker, Fremdkörpereinschlüsse usw. vorkommen, und je nach seinen besonderen Eigenschaften ist ein Fehler auf der Radiographie mehr oder weniger gut zu erkennen. Ein

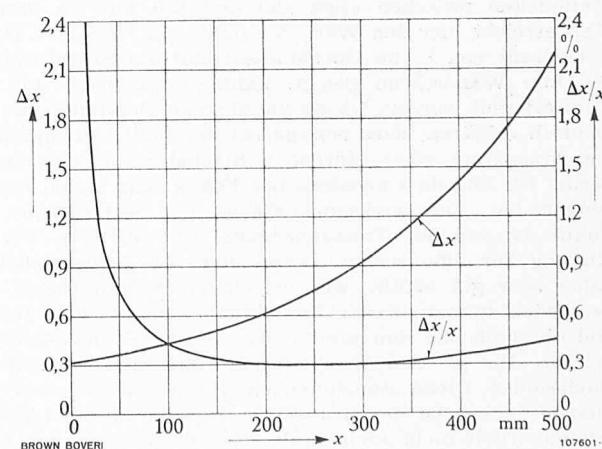


Bild 5. Draht-Erkennbarkeit in Funktion der Stahldicke

Δx Absolute Drahterkennbarkeit

Δx Absolute Drahterkennbarkeit
 $\Delta x/x$ Relative Drahterkennbarkeit

x Stahldicke in mm

Film: Ilford C, Kodak A, Kodak AA, Kodak M

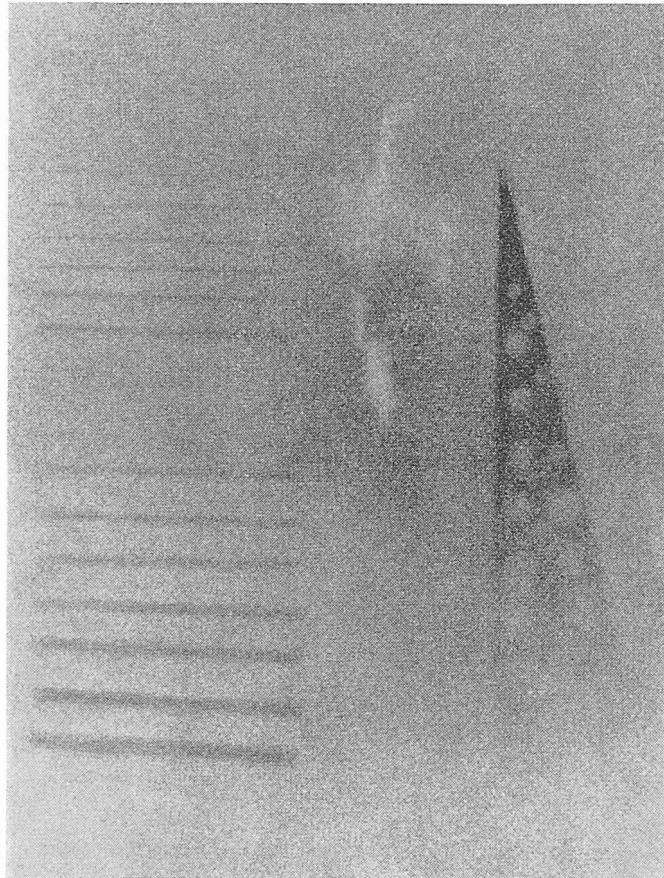


Bild 6. Radiographie einer Stahlplatte von 356 mm Dicke. Drahtstege und Stufenpenetrometer sowie einige Lunker sind zu erkennen

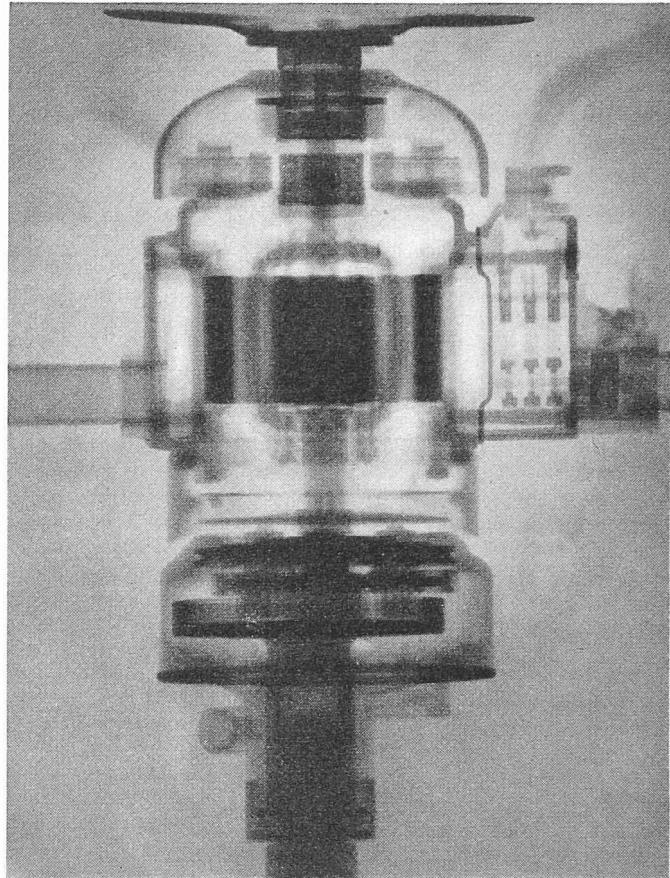


Bild 7. Radiographie einer elektrischen Handbohrmaschine

objektives Mass für die Qualität der Aufnahmen erhält man, wenn auf dem Prüfstück geeignete Testkörper, sog. Penetrometer, angebracht werden. Die heute meist verwendeten Ausführungen sind Drahtstege aus Eisendraht (DIN) und Stufenpenetrometer aus Eisen. Auf der Radiographie wird untersucht, welche Drähte bzw. Stufen gerade noch zu erkennen sind. Die Dicke Δx der eben noch sichtbaren Teststufen bezeichnet man als absolute Fehlererkennbarkeit (besser: absolute Draht- bzw. Stufenerkennbarkeit), das Verhältnis von Drahtdurchmesser bzw. Stegdicke zur total durchstrahlten Materialdicke $\Delta x/x$ als relative Fehlererkennbarkeit. Für 31 MeV-Betatronstrahlung sind Δx und $\Delta x/x$ als Funktion der Eisendicke für DIN-Drahtstege in Bild 5 dargestellt [5]. Die beste relative Drahterkennbarkeit ist bei Stahldicken zwischen etwa 150 und 350 mm zu erzielen. Man erreicht hier den Wert von 0,3 %. Das heisst z. B., ein Eisendraht von 1 mm Durchmesser, auf ein Prüfobjekt von 300 mm Wandstärke gelegt, kann gerade noch auf dem Film erkannt werden. Dieses vorzügliche Ergebnis lässt sich dadurch erklären, dass erstens bei der hohen Strahlenergie die Erzeugung einer störenden Streustrahlung im Objekt gering ist, und dass zweitens der Fokus sehr kleine Abmessungen hat. Die wirksame Fläche der Antikathode, der Fokus, ist von der Größenordnung $0,1 \times 0,3$ mm. Die Bedingung für eine scharfe Abbildung von Fehlerstellen ist daher sehr gut erfüllt, was bei einem starken Kobalt-Präparat nicht immer zutrifft. Für Stahldicken unterhalb 150 mm und oberhalb 350 mm nimmt die relative Fehlererkennbarkeit ab. Bei grossen Wandstärken röhrt dies von der mit wachsender Dicke zunehmenden Streustrahlung her; bei kleinen Dicken ist der Grund der, dass die absolute Fehlererkennbarkeit nicht kleiner als etwa 0,3 mm werden kann. Das menschliche Auge ist nicht in der Lage, Schwärzungunterschiede zu erkennen, die einem Dickenunterschied von weniger als 0,3 mm entsprechen [6] [7].

Die Bilder 6 und 7 zeigen als Beispiele die Kopien zweier Radiographien, die mit dem Brown-Boveri-Betatron aufge-

nommen wurden. In Bild 6 wurde eine Stahlplatte von 356 mm Dicke durchstrahlt. Man erkennt auf dem Film Draht- und Stufenpenetrometer sowie mehrere Lunker. Mit dem Betatron belichtete Filme zeigen, wie dieses Beispiel darlegt, wenig Kontrast, wenn das Prüfobjekt nur geringe Dickenunterschiede aufweist. Der geübte Beobachter ist aber sehr rasch in der Lage, auch aus solchen «flauen» Filmen sehr viele Feinheiten herauszulesen. In Bild 7 ist das Durchstrahlungsbild einer elektrischen Handbohrmaschine dargestellt. Diese Aufnahme veranschaulicht, wie ein fertiggestellter Apparat mit dem Betatron nachträglich auf richtigen Zusammenbau geprüft werden kann.

Die Betatronanlage bei der Georg Fischer AG., Schaffhausen

Für die praktische Ausführung einer Materialprüf-Betatronanlage sind verschiedene Faktoren betriebstechnischer Natur von wesentlicher Bedeutung. Der vorgesehene Einsatz des Gerätes entscheidet weitgehend über die Art, nach der die einzelnen Elemente der Anlage angeordnet werden sollen. Wichtige Gesichtspunkte für die Ausführung sind z. B. die Art der Werkstücke, die zu prüfen sind (Material, Grösse, Form, Gewicht), wieviel Zeit für die Durchführung der Prüfungen zur Verfügung steht, wieviele Prüfobjekte innert einer bestimmten Zeitspanne zu untersuchen sind, welche Anforderungen an den Strahlenschutz gestellt werden usw.

Bei der Betatronanlage im Stahlwerk Georg Fischer handelt es sich um eine ausserordentlich universelle Anlage, die ein sehr vielseitiges und umfangreiches Prüfprogramm bewältigen kann. Es werden vorwiegend die im Werk hergestellten Stahlguss-Stücke durchstrahlt, z. B. Schaufeln von Kaplan-turbinen, Peltonräder, Turbinenhäuse, Kurbelkröpfungen. Grund- und Aufriss sind in Bild 8 dargestellt. Die verschiedenen Elemente der Betatronanlage sind im Maschinenraum, Kontrollraum und Strahlraum untergebracht. Der Maschinenraum enthält eine spannungs-stabilisierte Umformergruppe für die Speisung der Anlage

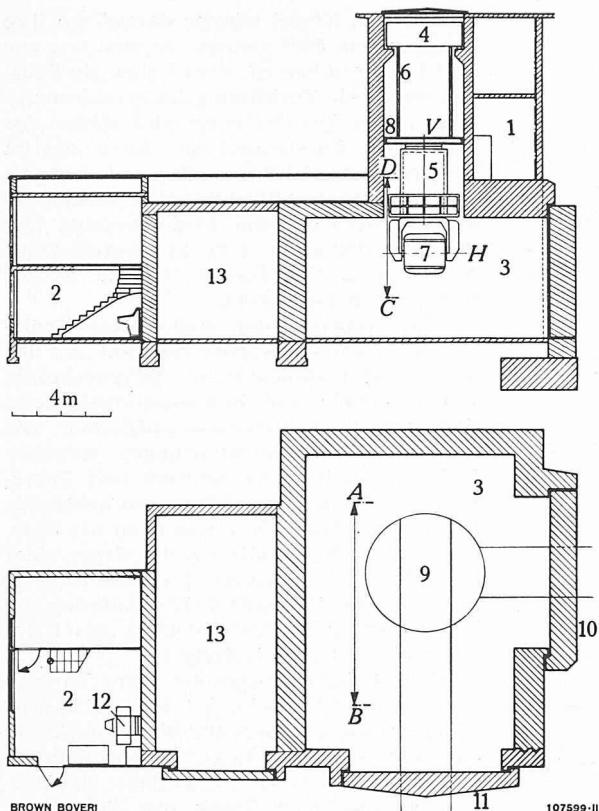


Bild 8. Betatronanlage bei der Georg Fischer AG., Schaffhausen

1 Maschinenraum	10, 11 Betontore
2 Kontrollraum	12 Bedienungspult
3 Strahlraum	13 Raum für Röntgen- und Isotopenprüfung
4 Kran	
5 Apparategehäuse	
6 Stahlseile	
7 Betatron	
8 Hydraulische Blockierung	
9 Drehscheibe	
A—B, C—D Bewegungsbereich des Betatrons	
H Horizontale Drehaxe	
V Vertikale Drehaxe	

mit 3×380 Volt, den Transformator und die Kondensatorenbatterie. Vom Kontrollraum aus wird die Anlage bedient. Der Strahlraum (Bild 9), der das Betatron und zwei Apparateschränke enthält, hat eine Grundfläche von $11,6 \times 8,3$ m und ist 4,8 m hoch. Er vermag praktisch jedes im Stahlwerk hergestellte Stück zur Prüfung aufzunehmen. Das Betatron ist an einem Kran befestigt und kann in der Längs- und Vertikalrichtung des Strahlraumes bewegt werden. Weitere Einstellmöglichkeiten sind durch zwei Rotationsfreiheitsgrade gegeben: Drehung des Betatrons um die Vertikalaxe (Drehbereich 180°) und Kippbewegung um die Horizontalaxe (Bereich von $+35^\circ$ bis -95° , waagrechte Lage der Strahlaxen entspricht 0°). Die Kabel für die Stromzuführungen sind in einem flachen, flexiblen Kabelbund zusammengefasst.

Der an vier Stahlseilen aufgehängte bewegliche Teil der Krananlage wird für die Aufnahmen mit Hilfe einer mit Drucköl betätigten Pressvorrichtung zwischen den Wänden des Strahlraumes festgeklemmt. Dadurch erhält das Betatron die für Aufnahmen erforderliche ruhige Lage. Ein Vibrieren oder Pendeln des Betatrons während einer Belichtung hätte wegen der Bewegung der Strahlenquelle unscharfe Bilder mit schlechter Fehlerkennbarkeit zur Folge. Die Werkstücke, welche für die Betatronprüfung vorgesehen sind, werden ausserhalb des Strahlraumes auf einen Wagen verladen und durch eine der beiden Toröffnungen auf die Drehscheibe gefahren. Die Bedienungsknöpfe für Kran und Drehscheibe und die Schalter für die optischen Strahlrichtungsanzeiger sind auf einer Hängedruckknopfstation zusammengefasst. Das Bedienungspersonal ist so in der Lage, von einer zentralen Stelle aus das Einrichten von Werkstück und Betatron zu steuern.

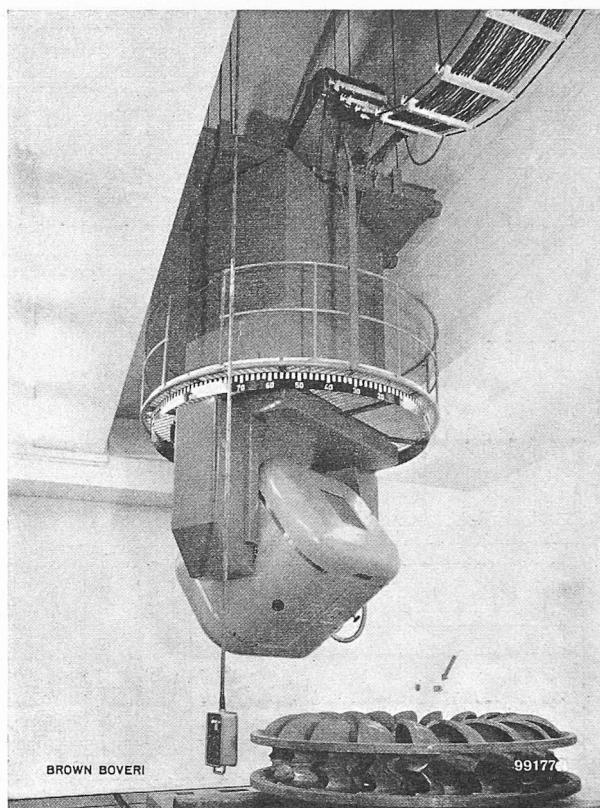


Bild 9. Teilansicht des Strahlraumes mit Blick auf Betatron, Kabelbund und Hängedruckknopf-Station der Betatronanlage bei der Georg Fischer AG., Schaffhausen

Die Mauern des Strahlraumes sind so bemessen, dass ausserhalb des Raumes keine Strahlungsgefahr vorhanden ist. Sie bestehen aus Baryt-Beton; ihre Dicke liegt zwischen 0,6 und 1,1 m. Wo der direkte Betatronstrahl ungeschwächt gegen die Wände gerichtet werden kann, muss seine Intensität von etwa 250 r/min⁴) (im Fokusabstand von einem Meter im unausgeglichenen Strahlenfeld) auf den Höchstwert von 3 mr/h herabgesetzt werden. Bei der Bemessung des Strahlenschutzes und bei den Protektionsmessungen an der fertiggestellten Anlage ist nicht allein der Schutz gegen Gammastrahlung zu berücksichtigen. Das Betatron erzeugt infolge seiner hohen Quantenenergie von 31 MeV etwas Neutronenstrahlung. Die Neutronenproduktion beruht auf dem sogenannten Kernphotoeffekt, wonach hochenergetische Quanten aus Atomkernen Neutronen abzuspalten vermögen [10]. Die ausgeföhrten Strahlenschutzmessungen mit einer geeigneten Neutronen-Messkammer ergaben, dass die dicken Betonwände die Neutronenstrahlung ausreichend, und zwar auf etwa ein Fünftel der Toleranzdosis abschwächen⁵).

Die Betatronanlage im Werk Thyssen, Mülheim/Ruhr, der Phoenix-Rheinrohr AG.

Für Planung und Ausführung dieser Materialprüfungsanlage der Vereinigten Hütten- und Stahlwerke, Düsseldorf, war massgebend, dass das Betatron insbesondere für die Prüfung grosser Röhren und Kessel eingesetzt werden sollte. Es wurden Objekte dieser Art mit Durchmessern bis zu 6 m und Längen bis zu 25 m erwartet. Die Anlage, die 1958 fertiggestellt wurde, trägt diesen Forderungen Rechnung. Bild 10 gibt eine Uebersicht über die Anordnung der einzelnen Elemente der in einer grossen Werkhalle untergebrachten Strahlungsprüfungsanlage. Im Strahlraum ist das Betatron an einer Krananlage befestigt (Bild 11). Es kann in der Längs- und Querrichtung sowie in der Senkrechten verschoben werden. Außerdem hat der Kran zwei Rota-

⁴⁾ r/min = Röntgen pro Minute, mr/h = Milliröntgen pro Stunde, 1 r = Strahlungsmenge, die in 0,001293 g Luft durch Ionisation eine elektr. Ladung von $1,3 \times 10^{-9}$ As beider Vorzeichen erzeugt [8] [9].

⁵⁾ Der Höchstwert für schnelle Neutronen (Energie grösser als 2 MeV) beträgt 30, für langsame 2000 Neutronen pro cm² und Sekunde.

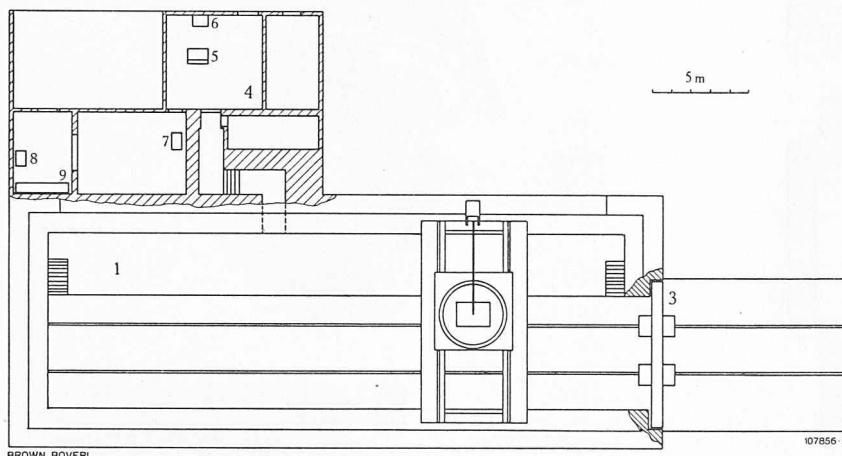
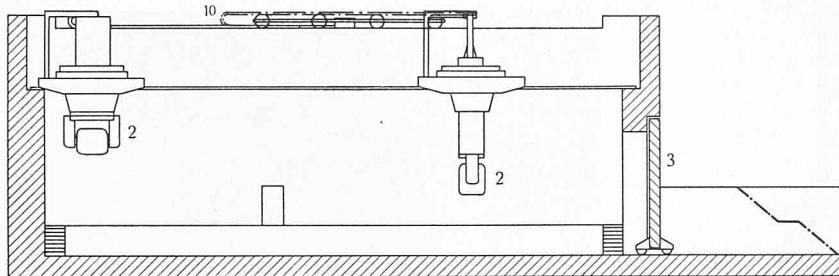


Bild 10. Betatronanlage im Werk Thyssen der Phönix-Rheinrohr AG., Mülheim/Ruhr

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1 Strahlraum | 4 Kontrollraum | 8 Transformator |
| 2 Betatron | 5 Bedienungspult | 9 Kondensatorenbatterie |
| 3 Tor aus Schwerbeton | 6, 7 Apparateschränke | 10 Kabelschleppkette |

tionsfreiheitsgrade: Um seine Horizontalaxe lässt sich das Betatron um $\pm 120^\circ$ kippen, wobei 0° der Strahlrichtung senkrecht nach unten entspricht. Um die Vertikalaxe ist eine Drehbewegung um 240 Grad möglich. Die Prüfobjekte werden auf einen zweiteiligen Wagen verladen.

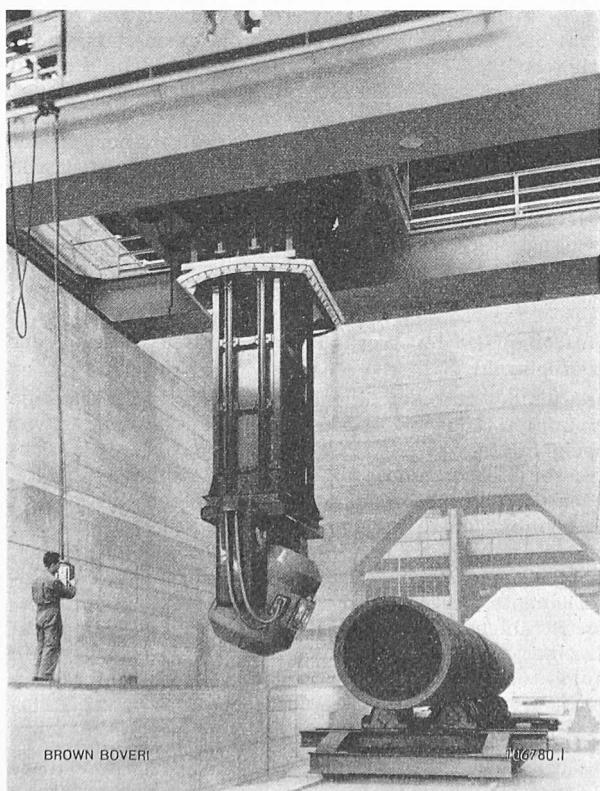


Bild 11. Betatronprüfung eines Stahlrohres im Werk Thyssen der Phoenix-Rheinrohr AG., Mülheim/Ruhr

Röhren und Kessel können darauf um ihre Längsaxe um 360° gedreht werden. Wie aus Bild 11 zu ersehen ist, wurde eben ein Prüfling durch die Toröffnung des Strahlraumes eingefahren. Die Öffnung wird später, vor Beginn der Durchstrahlung, durch das im Hintergrund sichtbare Tor geschlossen. Die Mauern des Strahlraumes haben, damit sie ausreichenden Strahlenschutz bieten, eine Dicke von 2 m. Sie bestehen aus Normalbeton. Das Tor, 60 cm dick, ist aus Baryt-Beton hergestellt.

Im Kontrollraum stehen das Bedienungspult und ein Apparateschrank mit den beiden Dosiszählgeräten. Schaltschrank, Transformator und Kondensatorenbatterie sind in zwei Schalträumen aufgestellt. Die Kabel für die Stromzuführungen zwischen Bedienungspult, Schaltschrank und Transformator einerseits und Betatron andererseits haben eine Länge von etwas mehr als 70 m. Eine Kabelschleppkette auf der Krone einer der beiden Längsmauern des Strahlraumes sorgt für die einwandfreie Nachführung des Kabelstranges bei Verschiebung des Betatrons in der Längsrichtung.

Die Betatronanlage im Werk Thyssen der Phoenix-Rheinrohr AG. stellt eine sehr leistungsfähige Anlage für Strahlenprüfung dar. Sie ist in der Lage, außerordentlich grosse und schwere Werkstücke zur Prüfung aufzunehmen. Dank den vielfältigen Einstellungsmöglichkeiten des Betatrons und den hohen Gammastrahl-Intensitäten in zwei Strahlenfeldern kann auch ein sehr umfangreiches Prüfprogramm bewältigt werden.

Projekt einer fahrbaren 31-MeV-Betatronanlage

In neuerer Zeit, hauptsächlich im Zusammenhang mit der Entwicklung der Reaktortechnik, stellen sich für die Betatronprüfung vermehrt Probleme, die in ortsgebundenen Anlagen nicht mehr gelöst werden können. Für verschiedene Typen von Kernreaktoren werden Druckbehälter benötigt. Der Zusammenbau und die Prüfung dieser Behälter sind wegen der grossen Abmessungen und Gewichte oft nicht mehr im Stahlwerk möglich, sondern müssen am endgültigen Standort vorgenommen werden.

Das nachfolgend beschriebene Projekt einer fahrbaren 31 MeV-Betatronanlage bietet die Möglichkeit, die Prüfung dickwandiger Behälter an deren Einbauort selbst vornehmen zu können (Bild 12). Das Betatron ist an einem fahrbaren

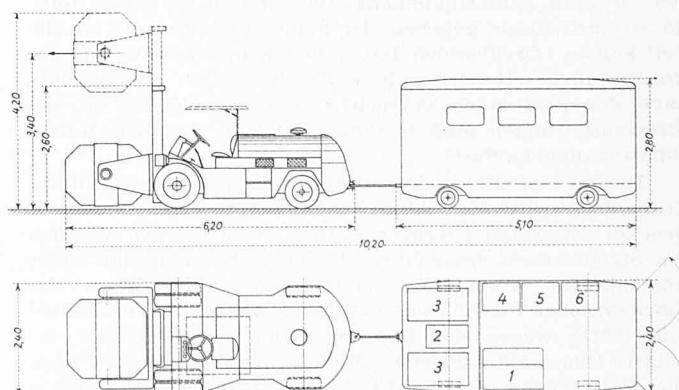


Bild 12. Fahrbare 31 MeV-Betatronanlage für Werkstoffprüfung

- | | |
|------------------|--------------------------|
| 1 Bedienungspult | 3 Kondensatorenbatterie |
| 2 Transformator | 4, 5, 6 Apparateschränke |

Während der Filmaufnahmen wird der Anhänger ausgekuppelt und in 25 m Entfernung vom Betatron aufgestellt (Strahlenschutz). Betatron und Anhänger werden mit einem beweglichen Kabelstrang verbunden

Stapler befestigt. In Vertikalrichtung lässt sich die Lage innerhalb 2,7 m, zwischen 0,7 und 3,4 m ab Boden, beliebig einstellen. Bei Verwendung eines grösseren Staplers vergrössert sich der Einstellbereich in vertikaler Richtung. Der Kippbereich, die Drehung um die Horizontalaxe, beträgt $\pm 120^\circ$ (Null Grad entspricht waagrechter Strahlrichtung). Wenn diese Einstellmöglichkeiten nicht ausreichen, lässt sich das Betatron vom Stapler trennen und an einem Kran aufhängen. In diesem Fall ist es zweckmässig, das Betatron gegen das Prüfobjekt abzustützen, um eine genügend stabile Lage der Maschine zu erhalten. Die Zusatzapparate sind in einem Anhänger, dem Apparatewagen, zusammengefasst. Der bewegliche Kabelstrang zwischen Betatron und Anhänger kann bis etwa 25 m lang gemacht werden. Für den Einsatz trennt man Stapler und Anhänger, bringt das Betatron mit dem Stapler in die gewünschte Strahlstellung und bedient die Anlage vom Apparatewagen aus. Eine Notstromgruppe für 20 kW, die im Stapler eingebaut ist, macht die Anlage von jeglicher Fremdspeisung unabhängig.

Literaturverzeichnis:

- [1] R. Kollath: Teilchenbeschleuniger, S. 18 ff. Braunschweig 1955, Vieweg & Sohn.
 - [2] R. Wideröe: Das Betatron, «Zschr. f. ang. Phys.» 5, S. 187 . . . 200 (1953).
 - [3] R. Wideröe: Der 31 MeV-Strahlentransformator, «Brown Boveri Mitt.» 38, Nr. 9/10, S. 260 . . . 272 (1951).
 - [4] M. Sempert: Das Brown Boveri 31 MeV-Betatron für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, «Brown Boveri Mitt.» 45, Nr. 9, S. 383 . . . 396 (1958).
 - [5] H. Möller, W. Grimm, H. Weeber: Versuche über die Leistung eines 31 MeV-Betatrons bei der Durchstrahlung, «Arch. f. d. Eisenhüttenwesen» 25, S. 279 ff. (1954).
 - [6] R. Wideröe: Werkstoffprüfung mit Betatron-Röntgenstrahlen, «VDI-Z.» 96, Nr. 15/16, S. 450 . . . 456 (1954).
 - [7] R. Wideröe: Further Investigations on the Industrial Use of the 31 MeV Betatron, «Nondestructive Testing» XII, S. 27 . . . 32 (1954).
 - [8] Eidg. Gesundheitsamt, Bern: Richtlinien für den Schutz gegen ionisierende Strahlung, S. 4 (1955).
 - [9] National Bureau of Standards Handbook 55 (1954), Protection against Betatron-Synchrotron Radiation up to 100 MeV.
 - [10] H. Nabholz: Das Betatron als Forschungsinstrument in der Physik, «Brown Boveri Mitt.» 42, Nr. 11/12, S. 472 . . . 478 (1955).
- Adresse des Verfassers: Dr. M. Sempert, dipl. Phys., Geissbergstrasse 21, Ennetbaden AG.

Schweiz. Energie-Konsumenten-Verband

DK 061.2:620.9

Im Zürcher Kongresshaus fand am 18. März die Generalversammlung des Schweizerischen Energie-Konsumenten-Verbandes (EKV) statt, die aus allen Teilen des Landes einen sehr starken Besuch aufwies. Man besprach wie üblich die *Frage der Energieversorgung unseres Landes*.

Der Präsident, Ing. Hermann Bühler, Winterthur, teilte der Generalversammlung mit, dass Dr. Ernst Steiner, der kürzlich seinen 70. Geburtstag begehen konnte, auf den kommenden 31. März den Rücktritt als Leiter der Geschäftsstelle des EKV erklärt hat. Der Jubilar betreute während 35 Jahren die Geschäftsstelle und erwarb sich dabei grosse Verdienste um den Verband, dessen Vizepräsidium er seit 1928 bekleidet. Er wird dieses Amt weiterhin beibehalten. Der EKV hat sich unter seiner Führung aus kleinen Anfängen zu einer einflussreichen Organisation entwickelt. Eine gewaltige Entwicklung vollzog sich während der Zeit seines Wirkens auf dem Gebiete der Energieversorgung, und manigfach waren die Anforderungen an den Geschäftsleiter. Dr. Steiner erfüllte sie mit grossem Können und reicher Erfahrung. Bei allzu gegensätzlichen Auffassungen über Probleme verschiedenster Art, die Produzenten und Konsumenten in allen Teilen unseres Landes bewegt haben, hat er immer ausgleichend gewirkt. Durch seine Ruhe und sein umfassendes Wissen war er als Geschäftsleiter ein gern gesehener Berater bei der Industrie und andern Energie-Konsumenten, sei es in rein technischen Fragen oder in Vertragsverhandlungen zwischen Produzent und Konsument. Er vertritt den Verband heute noch in zahlreichen eidgenössischen

Kommissionen und er ist ein geachteter Verhandlungspartner. Dem EKV wird er auch weiterhin mit Rat und Tat beistehen. — Als neuer Leiter der Geschäftsstelle wurde René Gonzenbach, dipl. El. Ing. ETH, gewählt, der seit 1954 als Mitarbeiter von Dr. Steiner in der Geschäftsstelle des EKV und auch in der Redaktion des «Energie-Konsument» tätig ist.

Nach Abnahme von Jahresbericht und Jahresrechnung gab der Präsident die Wahl eines zweiten Vizepräsidenten des Verbandes in der Person von Urs Sieber, Direktor der Cellulosefabrik Attisholz AG., bekannt. Als neues Ausschussmitglied an Stelle von Dr. E. Martz ist Dr. H. Gygi, Präsident des Vereins Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten, gewählt worden.

Der bisherige Leiter der Geschäftsstelle und Vizepräsident des EKV, Dr. E. Steiner, wies in seinem Auszug aus dem Jahresbericht 1958 auf die Verbrauchszunahme an elektrischer Energie hin, die nur noch 2,9 % gegenüber 6,8 % im Vorjahr betrug. Diese geringe Zunahme ist die Folge einer rückläufigen Entwicklung in einzelnen Branchen der Wirtschaft. Da für das laufende Jahr die Konjunkturprognosen wieder eher zuversichtlicher lauten, ist mit einer weiteren rückläufigen Entwicklung des Elektrizitätskonsums kaum zu rechnen. Jedenfalls darf aus der leichten Abflachung der Verbrauchsentwicklung im Jahre 1958 nicht der Schluss gezogen werden, es seien die Anstrengungen im Ausbau der Wasserkräfte einzuschränken. Die Fachleute sind übereinstimmend der Auffassung, dass der Kraftwerkbau in der Schweiz nach wie vor energisch vorangetrieben werden muss.

Auch gesamteuropäisch betrachtet stellen sich die Probleme gleich. Nicht nur mehr Energie, sondern auch möglichst billige Energie ist die Forderung unserer Zeit, und das ist nur möglich, wenn die nationalen und internationalen Zusammenhänge der Energiewirtschaft gebührend berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde sind die Auswirkungen der europäischen Integrationsbestrebungen — Gemeinsamer Markt, Freihandelszone, Montanunion und Euratom — auch für die schweizerische Energiewirtschaft von grösster Bedeutung. Der *Kraftwerkbau* wurde im Jahre 1958 in der Schweiz wieder stark gefördert. In diesem Zusammenhang sei auf den Aufsatz von Dr. M. Oesterhaus und seiner Mitarbeiter: «Der Ausbau unserer Wasserkräfte» in SBZ 1958, Hefte 45 und 46, S. 665 und 685, sowie auf die Mitteilung: «Vom schweizerischen Energiehaushalt 1957/58» in SBZ 1958, Heft 52, S. 787, verwiesen.

Im Anschluss an die geschäftlichen Traktanden sprach Ing. E. Zehnder, Vorsteher der Energiebetriebe der Ciba-Aktiengesellschaft, Basel, über «Die Sorgen der Konsumenten». Er skizzierte die Entwicklung der Energiewirtschaft in der Schweiz. Der Export von Stromüberschüssen, der in einzelnen Vorkriegsjahren bis zu 25 % der jährlichen Stromproduktion ausmachte, hat sich als nützlich erwiesen, weil er für die Kriegszeit eine Energiereserve für den Inlandverbrauch und für den Austausch mit dem Ausland darstellte. Wenn auch bis zum Jahre 1950 der ärgste Produktionsmangel an elektrischer Energie einigermassen behoben werden konnte, so haben sich doch Verschiebungen in der *Energiewertigkeit* ergeben, die Beachtung verdienen. Die Energie, die für Boiler und Elektrokessel geliefert wird, hat meistens nicht mehr den Charakter von «Überschussenergie». Auch ein Teil der Elektrochemie und der Elektrometallurgie ist in eine ungünstige Lage geraten, indem ihre Versorgung mit genügend billiger Energie heute in Frage gestellt ist. Die freiwillige Zusammenarbeit auf privatwirtschaftlicher Grundlage war erfolgreich. Sie hat einen guten Ausbau der Stromversorgung bei meist tragbaren Preisen gewährleistet, und es war möglich, einen raschen Anstieg der Stromkosten zu verhindern. Wir müssen uns aber klar sein, dass dieser Entwicklung Grenzen gesetzt sind, indem bis zum Jahr 1975 unsere Wasserkräfte fertig ausgebaut sein werden und Energie aus Atomkraftwerken bis zu jenem Zeitpunkt wohl kaum ausreichend und preislich günstig zur Verfügung stehen wird. So bleibt für die Ueberbrückung des zu erwartenden Leistungsmangos nur die Verwendung konventioneller Brennstoffe wie Kohle und Öl und später eventuell Erdgas

Schluss siehe Seite 227