

# Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Autor(en): **Neth, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71 (1953)**

Heft 2

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-60475>

## **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.

lichen Praktikum geboten werden. Lehrgebäude, Verpflegungshaus, Platzwart- und Unterkunftshaus, Sägereihalle, thermische Zentrale, Zurechterei-Schärferei-Maschinenhalle bilden diese für die Schweiz neuartige Schulanlage. Die gesamten Aufwendungen für Bauten, Maschinen und Mobiliar dürften heute die Summe von etwa 1,9 Mio Fr. erreichen. Das generelle Projekt wurde von einem Arbeitsausschuss — der späteren Baukommission — unter dem Präsidium und der besonderen persönlichen Förderung von Technikumsdirektor Arch. H. Schöchlin entwickelt. Die verschiedenen Bauten stehen in wohlwogener organisatorischer und räumlicher Beziehung. In die architektonische Bearbeitung der Aufgabe teilten sich die Architekten E. Anderfuhren und W. Schindler in Biel. Die Bauführung versah Arch. K. Frey (Biel). Die Firma K. Schmid & Sohn, Biel, war mit den Ingenieurarbeiten betraut. Als Vertreter des bernischen Baudepartementes amteete ex officio der Kantonsbaumeister.

Nach einer Bauzeit von knapp eineinhalb Jahren konnten die Schulbauten am 11. Dezember 1952 vom Chef des kantonal-bernischen Baudepartementes dem Direktor der Volkswirtschaft des Kantons Bern übergeben werden. Daran schloss sich vor einem grösseren Kreis geladener Gäste, darunter auch verschiedenen Magistratspersonen, die das Bauvorhaben während ihrer früheren Amtszeit gefördert und unterstützt hatten, der Einweihungsakt in einfacher, würdiger Form.

Ein Rundgang durch sämtliche Bauten und Vorführungen in den einzelnen Werkkräumen vermittelte erstmals einen zusammenhängenden Ueberblick und auch einen Eindruck von dem erfreulichen, frischen Geiste, in dem die Schule mit dem ihr angeschlossenen Internat künftig geführt werden soll.

Eine umfassendere und vertiefte Berufsausbildung im holzverarbeitenden Gewerbe wird zur vermehrten Anwendung des Bau- und Werkstoffes Holz auch durch Ingenieure und Architekten beitragen können. Die innere Bereitschaft, auf die Möglichkeiten des Bauens und Gestaltens in Holz einzugehen, wäre der schönste Dank, der auch von unserer Seite allen zukommt, die zur Verwirklichung der Schweizerischen Holzfachschule ihren Beitrag geleistet haben. G. Risch

## Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung DK 620.179

Am 30. und 31. Oktober 1952 fand an der Montanistischen Hochschule in Leoben in der Steiermark eine vom technisch-wissenschaftlichen Verein «Eisenhütte Oesterreich» veranstaltete Tagung mit dem Thema «Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, Verfahren und Geräte» statt. Die Vorträge wurden von namhaften in- und ausländischen Fachleuten gehalten und gaben einen interessanten Einblick in die neuesten Ergebnisse dieses für alle Industrien wichtigen Gebietes. Eine ebenfalls von in- und ausländischen Firmen reich besockelte Ausstellung gab Gelegenheit, die modernsten Geräte zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung in Funktion zu sehen.

### 1. Prüfung mit Röntgen-, Gamma- und Betastrahlen

Die Fortschritte der seit mehreren Jahrzehnten bekannten und verwendeten Röntgengrobstrukturmethode zur Fehlerkontrolle technischer Werkstücke sind vor allem durch den Einsatz neuartiger Strahlungsquellen an Stelle von Röntgenröhren und durch Verbesserung der Strahlungsindikatoren gekennzeichnet. Der Einsatz der nunmehr auch in Europa erhältlichen radioaktiven Isotope als Strahlungsquelle gestattet die Durchstrahlung grösserer Werkstoffdicken. Ausserdem ist man vollkommen unabhängig von umfangreicheren Apparaturen und Energieanschlüssen, weshalb ihr Einsatz auch bei kleineren Wandstärken, z. B. bei Stahl bis herab zu etwa 10 mm, angestrebt wird. Der Apparat für die Durchführung von Gammastrahlungen wiegt nur einige Kilogramm. Verwendet werden hauptsächlich zwei Arten von radioaktiven Strahlern, nämlich radioaktives Iridium und radioaktives Kobalt. Es hat sich herausgestellt, dass es zweckmässig ist, für Durchstrahlungen von Stahl und Eisen bis zu einer Wandstärke von 45 mm radioaktives Iridium, darüber Kobalt zu verwenden.

Durch die Verwendung neuartiger Filme besonders steiler Gradation und äusserster Feinkörnigkeit in Verbindung mit sehr scharf zeichnenden Verstärkerfolien aus Blei kann die Bildgüte von Röntgen- und Gammaaufnahmen sehr verbessert werden, wodurch die Erkennbarkeit von Einzelheiten in er-

wünschter Weise zunimmt. Da dieser Vorteil aber durch eine Verlängerung der Aufnahmedauer erkauft werden muss, wendet man diese Hilfsmittel nur bei der Untersuchung sehr hoch beanspruchter Werkstücke oder Bauteile an. Für Teile niedrigerer Beanspruchung, etwa Stahlguss, begnügt man sich aus wirtschaftlichen Gründen mit einer geringeren Bildgüte. In vielen Fällen kann als Strahlenindikator das empfindliche Zählrohr treten, das sich aus dem bekannten Geiger-Müller-Zähler entwickelt hat. Die Empfindlichkeit dieses Gerätes ist so gross, dass es Strahlenintensitäten, die so gering sind, dass sie einen Film erst in zwei Jahren schwärzen würden, sofort anzeigt und auch zu messen gestattet. Besonders in Verbindung mit radioaktiven Strahlungsquellen ergeben sich eine Reihe wichtiger und interessanter Anwendungen, nämlich die Ueberwachung und Steuerung von Füllständen in Flüssigkeitsbehältern, insbesondere bei hohen Drücken und Temperaturen, zähen und chemisch sehr aggressiven Stoffen, sowie die Kontrolle von Behältern auf innere Zerstörung durch Korrosion. Aber auch Abnutzungsvorgänge können nach dieser Methode einfach verfolgt werden. Macht man beispielsweise die äusserste Schicht der Lauffläche einer Lagerschale radioaktiv, so kann man mittels Zählrohr laufend den Grad der Abnutzung der Lagerfläche feststellen.

Eine eigene Gruppe der Anwendungen des Zählrohres bilden die Dicken- und Schichtdickenmessungen. Die Schwächung der durchdringenden Strahlung beim Durchgang durch die Werkstücke hängt in starkem Masse von der Dicke des Stückes ab. Dadurch ist es möglich, durch Messung der Strahlungsintensität nach dem Durchtritt durch das Probestück auf dessen Dicke zu schliessen. Da es sich um eine berührungslose Messung handelt, spielt die Temperatur der Probe keine Rolle und es können beispielsweise laufende Messungen am glühenden Walzgut während des Walzprozesses vorgenommen werden. In einigen Fällen wird sogar die Nachstellung der Walzen mit dieser Einrichtung gesteuert. Für die Technologie der metallischen und nichtmetallischen Ueberzüge ist es wichtig, die Dicke dünner Schichten auf beliebiger Unterlage zerstörungsfrei mit grosser Genauigkeit messen zu können.

Von der Industrie werden Geräte zur Durchführung von Arbeiten mit radioaktiven Isotopen hergestellt, die auch bei Verwendung stärkster Strahlungsquellen ein gefahrloses Arbeiten gestatten. Die Kosten sind durchaus erschwinglich und liegen weit unter den Anschaffungskosten einer leistungsfähigen Röntgenanlage. Auch die Strahlungsquelle selbst ist billig; so kostet eine Kobaltquelle mit einem Strahlungsgleichwert von 1 g Radium derzeit etwa nur 20 Pfund Sterling. Allerdings nimmt die Strahlungsintensität einer solchen Quelle im Laufe der Zeit ab, so dass beispielsweise bei einer Kobaltquelle nach etwa 5,3 Jahren nur mehr mit der halben Strahlungsintensität gerechnet werden muss. Eine verhältnismässig billige Regenerierung ist aber möglich.

Mit dem Betatron wird in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung in neuerer Zeit ein Gerät zum Einsatz gebracht, das in der atomphysikalischen Forschung seit langem Verwendung findet. Dieses Gerät, das Röntgenstrahlen erzeugt, wie sie sonst nur in Röntgenröhren beim Betrieb mit sehr hohen Spannungen (etwa 20 Mio Volt) entstehen, erlaubt die Durchstrahlung ganz grosser Werkstücke in sehr kurzer Zeit. Wenn auch der apparative Aufwand hoch sein dürfte, lohnt sich der Einsatz bei der Prüfung teurer Stücke. Die Bildgüte der Betatronaufnahmen kann im Vergleich zu den gleichzeitig vorgeführten Röntgen- und Gammaaufnahmen jedenfalls als ausgezeichnet angesprochen werden.

### 2. Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit Ultraschall

Die Entwicklung der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung dürfte auf dem Sektor des Ultraschalls derzeit am lebhaftesten sein, wie die vielen Vorträge und auch die grosse Zahl der ausgestellten Geräte bewiesen. Das Ultraschallverfahren<sup>1)</sup> ist ein indirektes Prüfverfahren, da aus dem Verhalten der Schallausbreitung auf den Aufbau des Werkstückes geschlossen werden muss, und daher die Deutung eine genaue Kenntnis des Ausbreitungsverhaltens des Ultraschalls voraussetzt. Der Besitz eines guten Gerätes gewährleistet allein noch keineswegs gute Erfolge; viel mehr sind besonders bei indirekten Verfahren gute Kenntnisse der physikalischen Grundlagen, sowie reichliche Prüferfahrung nötig.

1) SBZ 1948, Nr. 14, S. 185\* und Nr. 16, S. 215\*.

Der Ultraschall wird gewöhnlich in einem Quarzkristall auf elektrischem Weg erzeugt und unter Zwischenschaltung einer dünnen Oelschicht oder einer eigenen Ankopplungspaste in das Werkstück eingeleitet. Je nachdem man entweder die durchlaufende Schallintensität auf der anderen Seite oder den reflektierten Schallstrahl auf der selben Seite zur Auswertung heranzieht, unterscheidet man die Durchstrahl- oder die Rückstrahlverfahren. Mit den üblicherweise verwendeten Frequenzen von annähernd 1 Mio Hertz lassen sich Werkstücke aus Stahl bis zu 7 m Dicke ohne erhebliche Schwierigkeiten untersuchen. Vorteilhaft ist ferner die Tatsache, dass die Ultraschalluntersuchung keine Gefährdung des Prüfers, wie etwa bei der Prüfung mittels Röntgen- oder Gammastrahlung mit sich bringt.

Von Schweizer Seite wurde über das sogenannte Schallsichtverfahren berichtet, das eine Materialuntersuchung mittels schalloptischer Abbildung gestattet. Das Werkstück wird mit einem breiten parallelen Schallbündel durchstrahlt; der durchtretende Schall wird mit einer «Schalllinse», die ähnlich wie eine lichtoptische Linse wirkt, gesammelt. Auf einem Schirm kann das Innere des Werkstückes abgebildet werden. Der Bildschirm besteht aus einer flachen Zelle, gefüllt mit einem Leichtöl, in dem feine, flache Aluminiumflitter schweben. Bei der Bestrahlung mit Schall stellen sich die Aluminiumflitterchen senkrecht zum Schallstrahl, sie spiegeln das auffallende Licht in eine einzige Richtung und erscheinen deshalb hell. Teilchen, die nicht getroffen werden, zeigen keine bevorzugte Richtung, reflektieren das Licht in alle möglichen Richtungen und erscheinen demnach dunkler. Die erhaltenen Bilder von Dopplungen in gewalztem Blech, von Plattierungsfehlern, sowie von Punktschweissungen von Blechen zeichneten sich durch grosse Anschaulichkeit aus.

Gegenüber den Röntgen- und Gammastrahlverfahren weist das Schallsichtverfahren den Vorteil auf, grosse Dicken bis zu 400 mm Stahl ohne Schwierigkeiten «durchstrahlen» zu können. Auch die Fehlererkennbarkeit ist unter Umständen viel grösser. Während sie bei der Röntgenmethode etwa bei 1 % der durchstrahlten Dicke liegt, können nach der Ultraschallmethode bereits Materialtrennungen mit einer Spaltbreite von  $10^{-6}$  mm quer zur Durchschallungsrichtung nachgewiesen werden.

Die Vorteile der Ultraschallprüfung kommen besonders bei grossen Werkstücken einfacher Gestalt zur Geltung. Ebenfalls von Schweizer Seite liegt aber neuestens ein Gerät vor, das auch kleine Prüflinge und solche mit verwickelter Gestalt mit Erfolg zu prüfen gestattet. Es stellt eine Anwendung des Durchstrahlungsverfahrens dar, wobei die Einflüsse der Oberfläche von der eigentlichen Fehleranzeige mit Hilfe eines Amplitudensiebes getrennt werden. Da die Empfindlichkeit nach Wahl eingestellt werden kann, erübrigt sich die subjektive Deutung der Ergebnisse. Das Gerät dürfte sich für die Serienprüfung von Massenteilen, wie Federn, Lagergehäusen usw. mit Erfolg einsetzen lassen.

Einen breiteren Rahmen nahmen die Rückstrahlverfahren oder, wie sie auch heissen, die Echolotverfahren ein. Sie arbeiten vorwiegend mit einem einzigen Schallkopf. Der eintretende Schallimpuls, der am Boden des Werkstückes reflektierte Impuls, sowie etwaige Fehlerechos werden auf dem Leuchtschirm einer Braunschen Röhre sichtbar gemacht und vermitteln ein anschauliches Bild des Schallstrahlweges, wobei sich jeder Fehler in Form einer Zacke auf dem Leuchtschirm zeigt. Die Ermittlung der Lage, Ausdehnung und Art des Fehlers kann aus der Lage, Form und Höhe der Zacke bestimmt werden. Diese Deutung erfordert aber umfassende Kenntnisse und viel Erfahrung. Bemerkenswert ist die Tendenz, wertvolle Stücke in einem möglichst frühen Stadium der Herstellung zu untersuchen, um im Schadensfalle die hohen Bearbeitungskosten ersparen zu können. Eine aussichtsreiche Anwendungsmöglichkeit dürfte der Ultraschallmethode bei der zerstörungsfreien Untersuchung von Schweissnähten erwachsen.

### 3. Magnetische und elektrische Prüfung

Diese Prüfmethode stellen indirekte Verfahren dar, bei denen man aus gemessenen magnetischen und elektrischen Grössen Aussagen über die Gestalt, Gestaltfehler, chemische und mechanische Eigenschaften der Prüflinge ableitet. Die magnetischen Verfahren haben den Nachweis verborgener Gestaltfehler zum Ziel, die Ermittlung der Schichtdicken,

sowie die Feststellung gewisser magnetischer Eigenschaften. Das wichtigste und noch immer verbreitetste Verfahren zum Nachweis feinsten Oberflächenrisse ist das Magnetpulververfahren.

Die induktiven Verfahren beruhen darauf, dass die an Rissen austretenden magnetischen Streufelder verwendet werden, um in bewegten Spulen Induktionsspannungen zu erzeugen, die der Rissanzeige dienen. Sie kommen in erster Linie in Betracht, wenn es sich darum handelt, in langgestreckten Prüflingen Querfehler nachzuweisen, wie in Schienen oder hochbeanspruchten Drahtseilen. Das dritte Verfahren zum Nachweis von Rissen in magnetisierbaren Werkstücken verwendet eine in Deutschland entwickelte magnetische Sonde kleinster Dimension zur Ausmessung des Fehlerstreufeldes.

Zur Fehlersuche an grösseren und komplizierteren Teilen wurde der Rissdetektor entwickelt. Mit ihm wird das zu prüfende Werkstück abgetastet und ein etwa vorhandener Riss durch Instrumentenausschlag oder akustisches Signal angezeigt. Vorteilhaft ist, dass auch die Grösse des Fehlers erfasst wird. Die Tiefenwirkung ist besser als bei der Magnetpulvermethode.

Dicken- und Schichtdickenmessgeräte auf magnetischer Grundlage benützen die Tatsache, dass der magnetische Widerstand des magnetischen Kreises eines Magnetjoches von den Abmessungen des als Anker aufgelegten Prüflings abhängt. Es lassen sich derart die Dicke ferromagnetischer und unmagnetischer Schichten auf beliebiger Unterlage zerstörungsfrei messen. In dieses Gebiet gehören die Ermittlung der Tiefe einer Einsatzhärteschicht auf zerstörungsfreiem Wege und ähnliche Probleme.

Ein einfaches Gerät zur Schichtdickenmessung nichtferromagnetischer Schichten auf magnetischer Unterlage beruht auf der Messung der Haftkraft eines Permanentmagnets mit Hilfe einer Art Federwaage. Je grösser nämlich die Zwischenschicht zwischen dem Permanentmagneten und der Unterlage ist, um so kleiner ist die Haftkraft. Die Genauigkeit beträgt etwa 5 bis 10 %.

Bekanntlich bestehen sehr enge Beziehungen zwischen der Härte bzw. der Festigkeit eines Materials und seiner magnetischen Koerzitivkraft. Diese Zusammenhänge bilden die Grundlage für die Konstruktion magnetischer Sortiergeräte auf Härte- bzw. Festigkeitseigenschaften. Da die Geräte gewöhnlich vollautomatisiert sind, lassen sich Massenprüfungen von Bolzen, Schrauben und Rollenlagerrollen, aber auch von Stangen- und Rohrmaterial vornehmen.

Während die bisher genannten Verfahren nur die Prüfung ferromagnetischer Prüflinge gestatten, lassen die Wirbelstromverfahren auch die Prüfung nichtmagnetischer Metalle zu. Als physikalische Grösse wird hierbei die elektrische Leitfähigkeit des Werkstückes gemessen und daraus auf die interessierende Werkstückeigenschaft geschlossen. Im Werkstück werden durch Wechselstromspulen Wirbelströme erzeugt, deren Rückwirkungen auf Prüfspulen gemessen werden. Auch damit lassen sich wieder vollautomatisierte Geräte bauen, die zur laufenden Prüfung von Drähten und Stangen dienen und die Risse und Abweichungen von den eingestellten Dimensionen anzeigen. Solche Geräte werden weiterhin zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit, zur Sortierung von Buntmetallen und zur Messung der Schichtdicke von Isolierschichten eingesetzt.

### 4. Oberflächenprüfung und Dehnungsmessungen

Das Dehnungsmessgerät mit Dehnungsmessstreifen<sup>2)</sup> benutzt bekanntlich die Widerstandsänderung feiner Konstantdrähte unter dem Einfluss äusserer Beanspruchung. Zu diesem Zweck werden Messstreifen aus Papier, die einige ebene Windungen des Messdrahtes enthalten, mit Hilfe eines für diese Zwecke eigens entwickelten Klebstoffes auf das Werkstück aufgeklebt. Bei der nunmehr erfolgenden Beanspruchung des Prüflings macht der Dehnungstreifen die Verformung mit. Die Widerstandsänderung kann bei statischen Versuchen mit Hilfe einer elektrischen Messbrücke durch Kompensation genau gemessen werden. Für dynamische Untersuchungen empfiehlt sich die Verwendung eines Oszillographen oder einer elektrischen Registriereinrichtung. Es konnten z. B. die Spannungen in den Federn eines Fahr-

<sup>2)</sup> Siehe SBZ 1951, Nr. 37 u. 38, S. 516\* u. 527\*.

zeuges während der Fahrt, die Schwingungen einer Brücke unter Verkehrslast u. ä. untersucht werden.

Sehr grosses Interesse fand das sogenannte Tast-Dehnungsmessgerät. Ein Dehnungsmesser mit einer Basislänge von nur 5 mm wird, während der Prüfling einer Wechselbeanspruchung in einer Materialprüfmaschine ausgesetzt wird, von Hand aus auf die gewünschte Stelle in der gewünschten Lage an den Prüfling angelegt. Die Dehnungen werden auf induktivem Wege gemessen und gestatten auf schnelle Weise einen Einblick in die Spannungsverhältnisse dieser Stelle. Da keine besonderen Vorbereitungen der Messstellen erforderlich sind, lassen sich in kurzer Zeit eine grosse Anzahl von Oberflächenpunkten spannungsmässig erfassen. Die geringe Basislänge gestattet das Einbringen des Gerätes in Hohlkehlen von Querschnittsübergängen, in Kerben und Bohrungen, also an Stellen, die für die Dauerhaftigkeit der Konstruktionen bekanntlich von grösster Bedeutung sind. Es wurden ferner zwei Geräte vorgeführt, die auf mechanischem Wege allerdings nach entsprechender lichtoptischer Vergrößerung die Oberflächenform verschiedener bearbeiteter Flächen zu erfassen gestatten. Zwei andere Geräte, die auf rein optischen Gesetzen beruhen, ermöglichen, mittels Lichtinterferenzbeobachtung sehr genaue Aussagen über die Güte einer Werkstückoberfläche zu machen. Eine Wiener Firma hat dabei den Weg gewählt, zu den von ihr gelieferten Metallmikroskopen Zusatzeinrichtungen zur interferenzoptischen Untersuchung von Oberflächen zu entwickeln. Das Zusatzgerät besteht aus kugelförmigen oder ebenen Glaskörpern, die auf das Mikroskopobjektiv aufgesetzt werden. Die Einrichtung wird zunächst so betätigt, dass die Kugeloberfläche mit grosser Vorsicht bis zur Berührung an die zu untersuchende Oberfläche herangebracht wird. Ist der Prüfling nun vollkommen eben, so zeigen sich bei der Betrachtung mit monochromatischem Licht im Mikroskop Interferenzfiguren in Form von konzentrischen Kreisen. Bei Abweichungen des Prüflings von der idealen Gestalt ergeben sich Deformationen der Interferenzfiguren, aus deren Grösse auf das Mass der Tiefenrauigkeit geschlossen werden kann. Die Genauigkeit des Verfahrens ist ausserordentlich hoch, da noch Rauigkeiten sichtbar gemacht werden können, die einen Bruchteil der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ausmachen. Sie beträgt in der verwendeten Form des Verfahrens etwa 30 Millimikron. Das Verfahren ist naturgemäss auch auf andere Oberflächenformen anwendbar, wie an einem sehr schönen Beispiel eines geschliffenen Kugellagerringes gezeigt werden konnte.

Prof. Dr. A. Neth, Wien

## Das Insooskop

DK 628.9.021.08

### Ein Besonnungsmesser für Architekten und Bauingenieure

Von Dr. N. ROBINSON, Leiter der Sonnenstrahlungsstation an der Technischen Hochschule Haifa, Israel

#### A. Die Problemstellung

Eine der wichtigsten Bedingungen, die bei der Planung und beim Bau eines Hauses, einer Strasse, einer Parkanlage oder einer neuen Siedlung in Betracht gezogen werden müssen, ist der Einfall an Sonnenstrahlung. Die Wahl geeigneter Strahlungsbedingungen ist daher ein bedeutendes Problem bei jedem Bauvorhaben. Dies gilt sowohl für die strahlungsreicheren tropischen und subtropischen Gebiete als auch für die strahlungsärmeren Länder der gemässigten und kalten Zonen. In strahlungsreichen Gebieten ist es ausserordentlich wichtig zu wissen, wie Hauswände und Dächer im Sommer vor übermässiger Sonnenstrahlung geschützt werden können, und wie der Einfall von starkem Sonnenschein im Sommer in die Strassen und Gebäude möglichst vermieden werden kann. Während des Winters sollen die Innenräume eine genügende Menge Licht und Sonnenschein erhalten.

Die Intensität und die Dauer der Bestrahlung von Hauswänden und Dächern kann analytisch oder graphisch bestimmt werden; diese Verfahren sind umständlich, da sie das Aufzeichnen der Beschattung der Objekte für die verschiedenen Sonnenstände erfordern. Bekanntlich ist der Sonnenstand für irgend einen Punkt durch zwei Koordinaten bestimmt, nämlich durch die Höhe der Sonne über dem Horizont ( $h$ ) und durch ihr Azimut ( $a$ ). Beide ändern sich ständig mit der Tages- und der Jahreszeit; sie hängen ausserdem von der geographischen Breite ( $\varphi$ ) des Ortes, von der Sonnendeklination ( $d$ ) und von

der Sonnenzeit ( $t$ ) ab.  $h$  und  $a$  lassen sich aus folgenden Formeln berechnen:

$$(1) \quad \sin h = \cos \varphi \cos d \cos t + \sin \varphi \sin d$$

$$(2) \quad \operatorname{ctg} a = \sin \varphi \operatorname{ctg} t - \operatorname{tg} d \cos \varphi \operatorname{cosec} t$$

oder aus (1) und (2)

$$(3) \quad \sin a = \cos d \sin t \sec h$$

Die Zeit wird dabei in Winkelgraden ausgedrückt, mit einer Stunde gleich  $15^\circ$ , und sie wird vom wahren Mittag aus gemessen. Die in der Beschreibung des Besonnungsmessers benötigten Sonnenhöhen und Azimute wurden mit Hilfe dieser Formeln für den 15. jedes Monats berechnet. Aus den angegebenen Formeln lassen sich auch Angaben über Dauer und Intensität der Besonnung verschiedener Flächen berechnen; doch soll an dieser Stelle darauf nicht weiter eingegangen, sondern die experimentelle Methode behandelt werden.

Da bei den vorerwähnten Methoden nicht nur die Beschattung der Objekte selbst, sondern gerade auch die wechselnde Bestrahlung und Beschattung der abschirmenden Fenstereinfassungen, Storen, Mauer- und Dachvorsprünge im einzelnen berechnet und gezeichnet werden muss, liegt es nahe, dass man sich nach einfacheren Verfahren umsehen musste, die schneller zu den gewünschten Resultaten führen. Zur Lösung der Besonnungsprobleme eignet sich die *Modellmethode*. Man fertigt ein kleines Modell des zu bauenden Hauses oder der Anlage möglichst einschliesslich der unmittelbaren Umgebung an und studiert dann die zu erwartenden Sonnenschein- und Schattenbedingungen mit Hilfe eines Instrumentes, das die Bewegung der Sonne am Himmel nachahmt. Bereits im Jahre 1932 wurde ein solches Instrument in England konstruiert<sup>1)</sup> sowie neuerdings eines in Australien<sup>2)</sup>. Doch weisen beide Instrumente gewisse Mängel auf, die den Verfasser veranlassen haben, einen anderen Weg einzuschlagen.

#### B. Das Insooskop (Besonnungsmesser)

Bild 1 stellt das Insooskop dar. Die runde Fläche A ist die Ebene, in deren Mitte das zu untersuchende Modell gestellt wird. Am Rand dieser Fläche sind die vier Himmelsrichtungen bezeichnet. Konzentrisch mit der Fläche A befindet sich eine kleinere, runde Fläche B, auf welcher das Modell ruht. B ist um eine senkrechte Achse drehbar, die durch den gemeinsamen Mittelpunkt der Flächen A und B geht. Der Kreisbogen C entspricht dem Sonnengang an einem bestimmten Tag und für einen bestimmten Ort. Entlang diesem Kreisbogen wird die Lampe D bewegt, die ein paralleles Lichtbündel auf B wirft. Die Punkte F und G entsprechen den Sonnenauf- und Untergangspunkten für jedes Datum. Das Bild zeigt die Einstellung des Instrumentes für den wahren Mittag in Haifa (Israel) am 15. Juni.

Um nun die Bewegung der Sonne an jedem beliebigen Tag im Jahre wiederzugeben, bietet das Insooskop zwei Möglichkeiten. Die eine Methode besteht darin, dass man 12 Kreisbogen verwendet, die Teile der gleichen Kugeloberflächenhälfte darstellen, wobei jeder dem Sonnenlaufe am 15. eines Monats entspricht. Diese Kreisbogen haben verschiedene Längen; der Junibogen ist der längste und der Dezemberbogen der kürzeste. Auf jedem Bogen werden Sonnenaufgangs-, Mittags- und Untergangspunkt deutlich markiert, und auch alle anderen Sonnenpositionen können eingestellt und abgelesen werden, wenn man die Kreisbogen mit einer Stundeneinteilung versieht. Der jeweils 15. Tag aller 12 Monate ist auf dem Kreisumfang E aufgezeichnet, und die Kreisbogen können somit leicht in der richtigen Lage und Neigung angebracht werden. Wenn dies geschehen ist, kann man daraus durch Interpolation die Sonnenschein-Bedingungen für jeden beliebigen Tag des Jahres ermitteln.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass man nur den Junibogen benutzt. Auf diesem markiert man die Sonnenauf- und -untergangspunkte für den 15. jedes Monats. Der Kreisbogen mit den auf ihm bezeichneten Punkten wird so eingestellt, dass er, wenn er auf dem Kreisumfang E an dem gewünschten Monat anmontiert wird, automatisch den richtigen Neigungswinkel einnimmt. Um die Tagesstunden auf dem Bogen anzuzeigen, ist es notwendig, entsprechend dem 15. jedes Monats noch 12 Masstäbe herzustellen, die man am

1) The Heliodon, «Journal of Scientific Instruments», August 1932.

2) «Building» (England), March 1951.