Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 119/120 (1942)

Heft: 19

Artikel: Welches sind die kleinsten Bereiche, die von der Turbulenz noch erfasst werden?

Autor: Dubs, Werner

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-52359

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: 10.07.2025

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

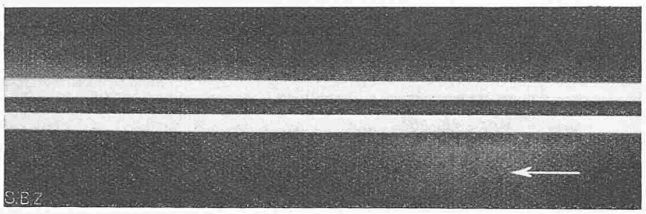

Abb. 1. Strömung laminar, $R_e = 730$

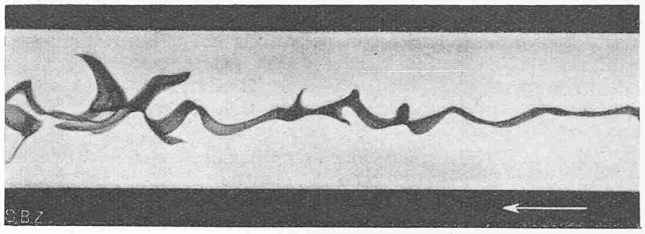

Abb. 2. Beginn der Aufrollung des Farbfadens, $R_e = 1320$

Welches sind die kleinsten Bereiche, die von der Turbulenz noch erfasst werden?

Von Dr. sc. techn. WERNER DUBS, S. I. A., Zürich

Mischt man, dem klassischen Versuch von O. Reynolds[1]) folgend, der Strömung in einem Glasrohr, durch eine im Einlauf angebrachte Düse, einen Farbstoff bei, so zeigt sich bei genügend kleinen Geschwindigkeiten über die ganze Rohrlänge ein geradliniger Farbfaden; die Strömung ist laminar (Abb. 1).

Steigert man nun die Geschwindigkeit stetig, so beginnt sich von einem bestimmten Wert an der Mechanismus der Strömung ohne zusätzliche äussere Einwirkung vollständig zu ändern. Es treten plötzlich Mischbewegungen auf, die ein wirbelartiges Aufrollen des Farbstrahles bewirken; die Strömung wird turbulent (Abb. 2 und 3).

Physikalisch tritt beim Wechsel der Strömungsform dadurch ein Effekt in Erscheinung, dass die Gesetzmässigkeiten der Geschwindigkeitsverteilung, des Druckverlustes (Blasius[2]) und des Wärmeüberganges (Nusselt[3]) beeinflusst werden.

Der Mechanismus der Turbulenz in einer Flüssigkeitsströmung lässt sich, nach der besonders von Prandtl[4]) geförderten Auffassung, qualitativ durch folgendes Bild darstellen: In der turbulenten Strömung bilden sich einzelne *Flüssigkeitsballen* (Wirbel), die innerhalb der Hauptbewegung, während einer gewissen Relaxationszeit eine Eigenexistenz in einer nur statistisch erfassbaren Nebenbewegung führen, um sich dann nach Zurücklegung einer bestimmten Weglänge mit der neuen Umgebung zu vermischen. Die Grösse dieser ausgetauschten Flüssigkeitsbereiche ist zeitlich und räumlich verschieden und ebenfalls nur statistisch bestimmbar. Innerhalb der Strömung durch einen gegebenen Raum nimmt ihre Grösse von der Wand gegen das Innere der Strömung zu, ausserdem spielt offenbar die Dimension des durchflossenen Raumes eine Rolle. Rein grössenordnungsgemäss ist zu vermuten, dass die Dimension dieser Flüssigkeitsballen dadurch bestimmt ist, dass innerhalb derselben die Trägheitskräfte ungefähr gleich den Zähigkeitskräften werden. Dies würde bedeuten, dass die untere Grenze der Ballengrösse durch die Bedingung $Re = 1$ gegeben ist. Wenn wir den Durchmesser eines Ballens mit a und die mittlere Geschwindigkeit am Orte des Ballens mit c_B bezeichnen, ist wohl die Grösse der Bezirke, in die die Turbulenz hinunterreicht, durch $Re = \frac{\varrho\, a\, c_B}{\eta} \leqq 1$ gegeben. In einem Wasserstrahl von 1 mm ∅ und einer mittleren Strömungsgeschwindigkeit von 1000 cm/s ($Re \sim 10\,000$) sind somit die Bezirke vielleicht von der Grössenordnung 1/10 000 cm = 1 μ zu setzen, sodass bei 1/10 μ wahrscheinlich schon nichts mehr zu bemerken sein wird.

Dryden[5]) berichtet in einer neueren amerikanischen Arbeit über Messungen der Frequenz der Schwankungsbewegungen in der Grenzschicht einer im Windkanal angeströmten Platte, vermittelst eines Hitzdrahtanemometers (Plattenlänge 152 cm, Windkanaldurchmesser 91,4 cm, Anströmgeschwindigkeit 1524 cm/s).

Auf Grund seiner Ergebnisse kann in diesem Fall die lineare Ausdehnung eines Wirbels zu 1 bis 2 cm abgeschätzt werden. Anderseits haben Fage und Townend[6]) an der Strömung in einem Messingrohr von rd. 2 cm ∅ mit einem Ultramikroskop die *Mikroturbulenz* untersucht. Als Flüssigkeit verwenden sie gereinigtes Trinkwasser, das Partikelchen enthielt, die bei ruhendem Medium die Brown'sche Bewegung zeigten und somit im Maximum einen Durchmesser von 1 μ haben. In unmittelbarer Wandnähe beschrieb jedes dieser Teilchen, bei Turbulenz, eine unregelmässige, wellenlinienförmige Bahn (Vergr. 200fach). Ueber die Grösse der einzelnen Schwankungsbereiche, die in dieser Zone sehr klein sind, kann allerdings nichts Bestimmtes ausgesagt werden; doch dürfte sie nach einer Schätzung aus den Bildern die Grössenordnung der Teilchen nicht wesentlich übersteigen. Gegen das Innere des Rohres bewegten sich dagegen die Teilchen in geraden Linien, mehr oder weniger schräg zur Strömungsrichtung. Es zeigten sich auch Gruppen von parallelen Bahnspuren, sodass angenommen werden kann, dass in diesem Fall unter Umständen mehrere Teilchen gemeinsam als ein grösserer Komplex reagierten. Bei laminarer Strömung verlaufen im Gesichtsfeld (rd. 2 mm) alle Bahnen gradlinig und parallel zur Strömungsrichtung.

Von Sadron[7]) ist ferner der Einfluss der Strömungsform auf die optischen Eigenschaften reiner Flüssigkeiten und kolloidaler Lösungen untersucht worden, indem er die Lage der optischen Axen und die Grösse der Doppelbrechung der strömenden Substanzen bestimmte. Er fand, dass bei reinen Flüssigkeiten (z. B. primären Alkoholen, Nitrobenzol usw.) die Lage der optischen Axen unabhängig vom Geschwindigkeitsgradienten ist und daher durch die Turbulenz nicht beeinflusst wird. Dagegen ist die Aenderung der Doppelbrechung bei laminarer Strömung proportional dem Geschwindigkeitsgradienten (Proportionalitätsgesetz). Inbezug auf die Turbulenz sind jedoch die Resultate nicht ganz eindeutig, doch scheint bei geeigneter Beobachtungsmethode kein Turbulenzeffekt zu bestehen, sodass somit die optischen Eigenschaften reiner Flüssigkeiten durch die Turbulenz nicht berührt werden.

Bei kolloidalen Lösungen ist im laminaren Strömungsgebiet, nach Messungen von Sadron an Lösungen von Nitrozellulose in Cyclohexanon, der für die Lage der optischen Axen massgebende Winkel Θ eine abnehmende Funktion des Geschwindigkeitsgradienten. Das Auftreten der Turbulenz macht sich in diesem Fall durch eine Unstetigkeit im Funktionsverlauf bemerkbar, indem plötzlich der Wert für Θ verkleinert wird. Ferner wird bei laminarer Strömung das Proportionalitätsgesetz für die Strömungsdoppelbrechung bestätigt. Durch die Turbulenz wird die Grösse der Strömungsdoppelbrechung ebenfalls verändert. Sie bewirkt, wie auf Grund der Resultate von Signer und Gross[8]) an Lösungen von Polystyrol in Cyclohexanon gezeigt werden kann, eine deutliche Vergrösserung der dynamo-optischen Konstanten und damit wiederum eine Unstetigkeit im Funktionsverlauf. Der Umstand, dass sich bei den untersuchten reinen Flüssigkeiten und kolloidalen Lösungen eine Strömungsdoppelbrechung einstellt, deutet auf eine mittlere Orientierung der Moleküle und Partikelchen in der strömenden Flüssigkeit hin.

Es ist nun die Ansicht sehr verbreitet, dass eine Flüssigkeit als ein kondensiertes Gas anzusehen ist. Denkt man aber daran, dass eine Flüssigkeit nicht nur verdampfen, sondern auch fest werden kann, so scheint es manchmal empfehlenswert, eine Flüssigkeit als einen Zustand der Materie anzusehen, der sich dem kristallinen Zustand weitgehend genähert hat. In der Tat sprechen verschiedene Anzeichen dafür, dass Flüssigkeiten ganz allgemein eine gewisse räumliche Regelmässigkeit in der Anordnung der Moleküle, d. h. eine quasikristalline Struktur besitzen. Für diese besonders durch Debye[9]) geförderte Auffassung spricht unter anderem die Tatsache, dass Flüssigkeiten im Röntgenlicht charakteristische Interferenzen ergeben, was beweist, dass auch in der flüssigen Phase Regelmässigkeiten der Anordnung auftreten, die mit denen in festen Kristallen nahe verwandt sind. Eine weitere Formulierung wurde in einer amerikanischen Untersuchung von Stewart[10]) gegeben. Nach seiner Auffassung besteht in einer Flüssigkeit ein «cybotactischer» Zustand, der dadurch gekennzeichnet ist, dass hunderte oder sogar mehr Moleküle einzelne Gruppen mit unbestimmten Grenzen bilden. Diese Gruppen, die eine durch die Temperatur und die molekularen Kräfte bedingte innere Regelmässigkeit besitzen, führen eine

[1]) *O. Reynolds*, Phil. Trans. Roy. Soc. Pap. II, London 1883, S. 935.
[2]) *H. Blasius*, Forsch.-Arb. Ing.-Wes. Nr. 131, Berlin 1913.
[3]) *W. Nusselt*, Forsch.-Arb. Ing.-Wes. Nr. 89, Berlin 1910.
[4]) *L. Prandtl*, Zeitschrift für a. M. M. Bd. 5, Berlin 1925, S. 136. Verh. d. 2. int. Kongr. für techn. Mechanik, Zürich 1927, S. 62.
[5]) *H. Dryden*, N. A. C. Rep. 562, 1936.
[6]) *A. Fage* und *H. Townend*, Proc. Roy. Soc. (A) 135, London 1932, S. 656.
[7]) *C. Sadron*, Schweiz. Archiv, 3. Jahrgang, Nr. 1, Solothurn 1937, S. 8.
[8]) *Signer* und *Gross*, Zeitschrift für phys. Chem. 165, 1933, S. 161.
[9]) *P. Debye*, Fester Körper, Verlag Hirzel, Leipzig, 1938, S. 42.
[10]) *G. Stewart*, Phys. Rev. 37, 1931, S. 9.

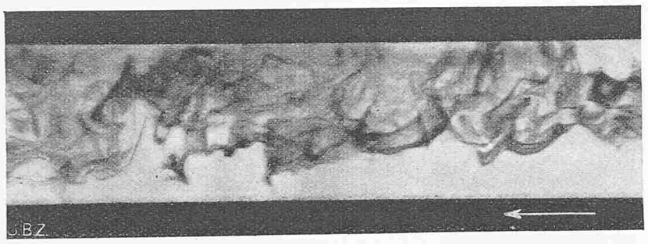

Abb. 3. Strömung turbulent, $R_e = 6820$

zeitliche Existenz als Einzelwesen. Es ist nun von grossem Interesse festzustellen, ob der hydrodynamisch so bedeutsame Effekt des Ueberganges von der laminaren Strömung zur Turbulenz auf eine derartige Anordnung von Einfluss ist. Die Bestimmung eines solchen Effektes im Bereiche molekularer Grössenordnung ist möglich durch Messung der Intensitätsverteilung im Röntgenstreubild bei beiden Strömungszuständen.

In einer neueren Arbeit[11]) sind nun vom Verfasser unter Leitung von Prof. Dr. P. Scherrer im Physikalischen Institut an der E. T. H. diesbezügliche Untersuchungen durchgeführt worden. Mit Rücksicht auf die technische Bedeutung und auf die Einfachheit in der Versuchdurchführung wurde in erster Linie die Wasserströmung untersucht (Abb. 4). Da aber die Wassermoleküle sehr «kugelig» sind und gegenüber dem relativ schweren O-Atom die beiden H-Atome im Röntgenstreubild nur sehr schwach zur Geltung kommen, ist ein Orientierungseffekt wohl im Röntgendiagramm nur schwer zu erkennen. Als weitere Substanz wurde Nitrobenzol untersucht. Die $C_6H_5 \cdot NO_2$-Moleküle haben die Form flacher Scheibchen und besitzen ausserdem eine gewisse Gruppierungstendenz[12])[13]).

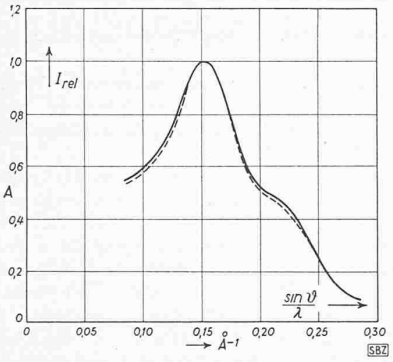

Abb. 4. Relative Intensitäten bei Wasser
——— Laminar. $R_e = 1039$ $t = 21{,}2\,^0C$
— — — Turbulent. $R_e = 6522$ $t = 11{,}8\,^0C$
2ϑ = halber Oeffnungswinkel d. Streukegels
$\lambda = 1{,}539$ A = Wellenlänge d. Röntgenstrahls

Ursprünglich war beabsichtigt, die Untersuchungen auch auf Flüssigkeiten mit Stäbchenmolekülen (aliphatische Reihen) auszudehnen. Jedoch erwies sich in der Folge die im wesentlichen zur Röntgenanalyse der Wasser- und Nitrobenzolströmung konstruierte Zirkulationsapparatur für die Untersuchung solcher in Frage kommender Stoffe (lange Kettenmoleküle) als ungeeignet. Auch Quecksilber als Untersuchungsflüssigkeit wurde geprüft.

Bei der röntgenographischen Analyse der beiden Strömungsformen wurde wie bei der bekannten Debye-Scherrer-Methode[14]) der freie Flüssigkeitsstrahl (Vorteil: keine von den Gefässwänden herrührenden Interferenzringe) von 0,81 mm ∅ (Abb. 5) unmittelbar nach dem Austritt aus einem Rohr photographiert. Die sehr geringe Präparatdicke ergab sich aus Forderungen der Röntgentechnik (Verhinderung einer selektiven Filtration der von der Röhre emitierten Bremsstrahlung usw.).

[11]) *W. R. Dubs*, Helv. phys. Acta, Bd. 12, 1939, S. 169/228 (Diss. E. T. H. Zürich).
[12]) *F. Todd*, Phys. Rev. 44, 1933, S. 787.
[13]) *I. Selman*, Diss. Amsterdam 1932, S. 26 und S. 47.
[14]) *P. Debye* und *P. Scherrer*, Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen 1916.

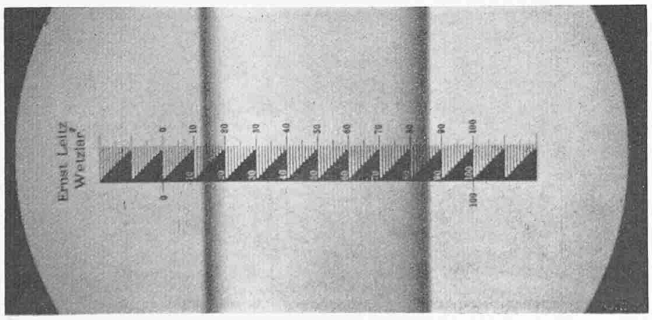

Abb. 5. Freier Strahl bei lam. Strömung. $d = 0{,}81$ mm (Vergr. rd. 45fach)

Von grundlegender Bedeutung für die ganze Untersuchung war die Erzeugung eindeutig determinierter Strömungszustände. Der Zusammenhang zwischen den in der Hydrodynamik zur Beurteilung der Strömungsform üblichen Bestimmungsmethoden und der röntgenographischen Untersuchung über Veränderungen im molekularen Aufbau wurde gegeben durch einen Modellversuch. Der Strömungszustand wurde visuell vermittelst Farbstoffbeimischung (siehe Abb. 1 bis 3) und messtechnisch durch Bestimmung des Widerstandsbeiwertes in Funktion der Reynoldsschen Zahl festgestellt. Ein weiteres Eingehen auf die sehr interessanten Ergebnisse dieser Modellversuche würde jedoch über den Rahmen der vorliegenden Mitteilung hinausgehen, es sei diesbezüglich auf die Originalarbeit[11]) verwiesen [vgl. auch unsere Mitteilung in Bd. 115. S. 105. Red,].

Die nach der photographisch-photometrischen Methode durchgeführten Röntgenuntersuchungen ergaben folgendes:

1. Aus den, bei eindeutig laminaren und turbulenten Strömungszuständen hergestellten zahlreichen Aufnahmen geht mit aller Deutlichkeit hervor, dass im Röntgendiagramm von Wasser und Nitrobenzol, beim Wechsel der Strömungsform ein grosser, dem hydrodynamisch so bedeutsamen Unterschiede beider Strömungszustände entsprechender Effekt sicher nicht besteht.

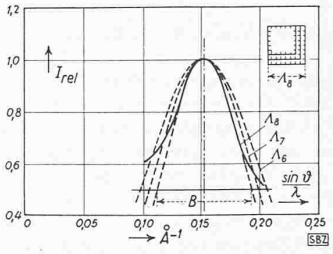

Abb. 6. Einfluss der Kantenlänge Λ eines würfelförm. Quasikriställchens

2. Die untersuchten homogenen Flüssigkeiten ergeben stets vollständig ausgebildete Interferenzringe, die längs ihres Umfanges keine ungleichmässige Schwärzungsverteilung aufweisen, wie sie, nach Versuchen von Hess[15]), strömende Solen mit stäbchenförmigen, ultramikroskopischen Teilchen zeigen, wo bereits Texturen (Faserdiagramme) auftreten. Diese Faserdiagramme sprechen dort für eine Bevorzugung bestimmter Lagen durch einen gewissen Prozentsatz der Teilchen. In unserem Falle jedoch scheint der Strömungszustand auf die Moleküle oder Molekülgruppen keinen orientierenden Einfluss (z. B. Einstellung in eine bevorzugte Richtung bei Laminarströmung) auszuüben.

Wenn wir einerseits auch mit Sicherheit sagen können, dass beim Umschlag von der laminaren zur turbulenten Strömungsform keine grossen bedeutsamen Aenderungen im quasikristallinen Aufbau der Flüssigkeiten eintreten, ist es anderseits doch möglich, dass innerhalb unserer Messgenauigkeit kleine Aenderungen der cybotactischen Gruppenanordnung stattgefunden haben.

Ueber die Grösse eines solchen Einflusses kann man sich auf Grund der von Scherrer[16]) für kristallinische Kolloidteilchen angegebenen Beziehung zwischen der Teilchengrösse (Λ) und der Halbwertsbreite (B) des unter dem Winkel (2ϑ) gegen den einfallenden Strahl auftretenden Maximums ein Bild machen.

In Abb. 6 ist die Aenderung in der Form des Interferenzmaximums $I = I_{max} \cdot e^{-(K \cdot x)^2}$ bei verschiedenen Kantenlängen eines würfelförmig vorausgesetzten Kriställchens (endliche Präparatdicke nicht berücksichtigt) dargestellt. Die Indices bedeuten die Anzahl der Identitätsperioden (Moleküle), aus denen sich die totale Kantenlänge aufbauen soll. Würden nun in unserem Falle an einem zusammenhängenden Quasikriställchen von rund 500 Molekülen (8 Moleküle pro Kantenlänge) Grösse bei Turbulenz die äussersten ein bis zwei Molekülschichten abgebaut ($\Lambda_8 \longrightarrow \Lambda_7 \longrightarrow \Lambda_6$), so wären die in Abb. 6 gezeichneten Aenderungen in den Röntgenstreubildern zu erwarten.

Für die, der Halbwertsbreite B entsprechenden Abszissenwerte (Abb. 6) von $\frac{\sin \vartheta}{\lambda}$ ergibt sich eine zugehörige Intensitätszunahme von 18 bzw. 35 %. Erfolgt der Abbau der äussersten Molekülschicht an einer aus 1000 Einzelmolekülen bestehenden Gruppe, so beträgt die Intensitätszunahme an den Stellen der Halbwertsbreite immer noch 14 %. Man sieht also, dass schon eine geringe Verkleinerung der cybotactischen Bezirke (Abbau einer einzigen Molekülschicht) auf das Röntgendiagramm einen weit grösseren Einfluss haben muss, als er von uns beobachtet wurde.

Die Breite der Maxima kann auch aufgefasst werden als hervorgerufen durch die Ueberlagerung von vielen relativ breiten

[15]) *K. Hess* und *I. Gundermann*, Ber. d. d. Chem. Ges. 70, 1937, S. 1800.
[16]) *P. Scherrer*, Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen 1918, S. 98 und in *R. Zsigmondy*, Kolloidchemie, III. Aufl., S. 404.

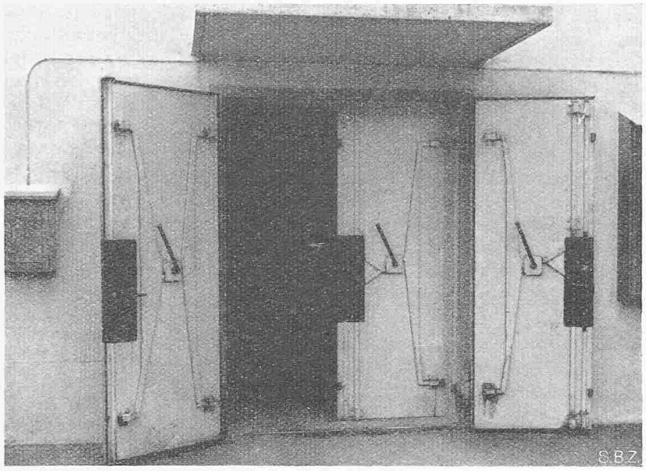

Abb. 6. Schallsichere Aussentüre von Jul. Hädrich & Co., Zürich

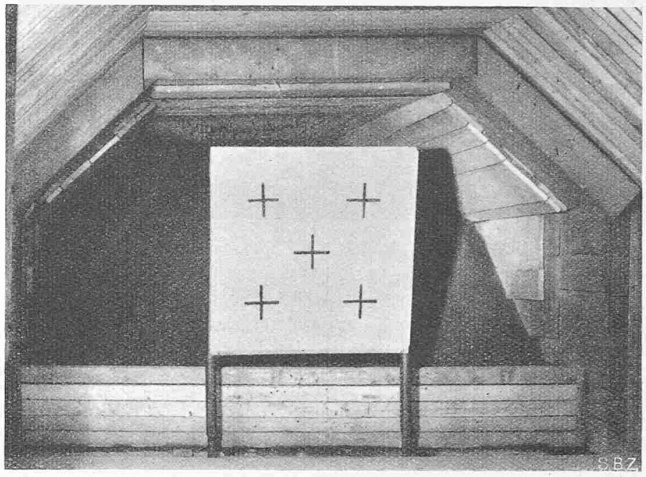

Abb. 5. Ziel mit Kugelfang-Sandhaufen

Linien, herstammend von kleinen Einzelkriställchen, die verschieden anisotrop sind. Wenn nun die Turbulenz diese Anisotropie verstärken würde, so würde dies ebenfalls in den Röntgenstreubildern sichtbar. Auch hier ist nach unseren Ergebnissen der Effekt einer Deformation der Struktur sicher sehr klein.

Wie schon in der Einleitung hervorgehoben wurde, sind nach den dynamo-optischen Untersuchungen von Sadron[7]) an Flüssigkeiten, die in strömendem Zustand Doppelbrechung zeigen (z. B. Nitrobenzol), die Einflüsse der Turbulenz auf die strömungsoptischen Eigenschaften wie hier im Röntgenstreubild, wenn überhaupt vorhanden, sehr klein, sodass auch Sadron sie nicht mit Sicherheit zu postulieren wagte. Dagegen ist bei kolloidalen Lösungen die spezifische Einwirkung des Wechsels der Strömungsform auf die dynamo-optischen Eigenschaften der Lösungen nach Sadron bereits sichergestellt.

Während sich somit im Bereiche der kolloidalen Dimensionen die Aenderungen der Strömungsform deutlich bemerkbar macht, kann ein solcher Einfluss im unter-mikroskopischen Gebiet ($<$ rd. 100 Å, 1 Å $=$ 1 Ångström-Einheit $= 10^{-8}$ cm) bis heute noch nicht mit absoluter Sicherheit festgestellt werden. Aus der vorliegenden Arbeit ergibt sich jedoch, dass ein solcher Einfluss, falls er besteht, sicher *ausserordentlich gering* sein muss. Es ist denkbar, dass durch eine noch verfeinerte Messtechnik und bei geeigneter Stoffwahl die Unterschiede zwischen den Interferenzbildern gross genug werden, um den endgültigen Nachweis eines solchen Effektes herbeizuführen.

Schallsichere Schiessversuch-Anlage der S.W.O.

Von Dipl.-Ing. W. PFEIFFER, Winterthur

Die Schweiz. Werkzeug- und Maschinenfabrik in Oerlikon (S.W.O.) besass seit Jahren einen offenen Schiessplatz im Fabrikareal, wo jedoch wegen der Belästigung der umliegenden Wohnviertel in Oerlikon durch den Schiesslärm nur zu einer bestimmten kurzen Tageszeit geschossen werden durfte. Da diese Einschränkung für den Fabrikbetrieb sehr hinderlich war, entschloss man sich zum Bau einer geschlossenen Schiessanlage mit der Forderung, dass der Schiesslärm ausserhalb der Anlage nicht gehört werden dürfe.

Schiesstechnisch wurde verlangt: Schiessen auf alle Entfernungen bis 100 m, ferner Schiessen senkrecht hinauf und senkrecht hinunter. Gegeben waren ferner die beim Schiessen entstehenden schädlichen Gasmengen, als Grundlage für die Lüftungsanlage.

Um sich Anhaltspunkte über die Grösse des zu erwartenden Lärms und dessen Frequenzzusammensetzung zu verschaffen, wurde mit den in Frage kommenden Waffen in einer der Eidgenossenschaft gehörenden geschlossenen Anlage geschossen. Die Messungen wurden durch Privatdozent Dipl. Ing. W. Furrer von der PTT-Verwaltung durchgeführt und sind in Abb. 1 dargestellt. Deutlich ist die Verschiedenheit des Mündungsknalles und der Kopfwelle der Geschosse ersichtlich. Es würde den Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten, wollte man alle Voruntersuchungen anführen, die mit Rücksicht auf die zu messenden Knall-Geräusche notwendig waren. Die sorgfältigen Messungen dienten als wertvolle Unterlage für die Behandlung dieses nicht alltäglichen Schallproblems. Ing. Furrer bestimmte auch die auftretenden Lautstärken in und ausserhalb der Anlage als Anhaltspunkte über die vorzusehende Luftschalldämmung. Es stellten sich in der Hauptsache folgende Probleme: 1. Dämmung des Luftschalls, 2. Lüftung, 3. Schallschluckung im Innern und 4. Schiesstechnisches.

Die Anlage besteht in der Hauptsache aus dem etwa 120 m langen Schiesskanal und dem angebauten Schiesshaus (Abb. 2, 3 und 4). Als Kugelfang dient ein etwa 8 m tiefer Sandhaufen, vor dem die Scheiben aufgestellt werden (Abb. 5). Ein kleiner Raum in der Nähe dient als Aufenthalt für den Zielwärter. Bei 50 m ist der Kanal erweitert, um Platz für verschiedene schiesstechnische Einrichtungen zu gewinnen. An die rückwärtige Stirnwand des Kanals schliesst der Beobachterraum an. Durch ein schalldichtes Fenster kann die Schiesstrecke leicht überblickt werden, was die Zusammenarbeit zwischen Schiessenden und dem Messpersonal wesentlich erleichtert. Im anschliessenden Schiesshaus sind die Scheibenfabrikation, Scheiben- und Waffen-Lager sowie die umfangreichen Einrichtungen untergebracht, wie sie zu einem wissenschaftlichen messtechnischen Schiessbetrieb gehören. Abb. 4 zeigt einen Blick vom Auswerteraum durch dieses Fenster in den Schiesskanal.

1. Dämmung des Luftschalls

Furrer stellte bei den Voruntersuchungen Lautstärken im Bereich von 130 db fest, Werte, die der Verfasser in der ausgeführten Anlage bestätigt fand. Da nun der Störspiegel im Fabrikareal während des Tages 60 ÷ 70 Phon beträgt, musste die Dämmung aller Aussenwände und -türen 70 ÷ 60 Phon betragen. Dies war mit Wänden von 30 cm Beton zu erreichen, umsoeher als ja einschalige Wände hohe Frequenzen, die besonders lästig sind, besser dämmen als tiefe. Tatsächlich ist ausserhalb der Anlage kaum feststellbar, ob geschossen wird oder nicht. Die Aussen-Türen mussten doppelt ausgeführt werden, da mit Einfachtüren, selbst mit doppelten Fälzen, diese Dämmung niemals erreicht werden könnte. Doppelabschlüsse besitzen eine sogenannte Grenz-Frequenz, unterhalb derer die Dämmung konstant klein bleibt. Sie ist abhängig vom Gewicht der Einzeltüre und dem Abstand der beiden Türen. Mit 130 kg/m² Türgewicht und einem Abstand von 30 cm beträgt sie 19 Hz. Oberhalb dieser Frequenz verhält sich die Doppeltüre wie eine Einfachwand, d. h. die Dämmung steigt mit zunehmender Frequenz. Die Türen bestehen aus 4, bzw. 2 mm starken Eisenblechen, deren Zwischenraum von 35 mm

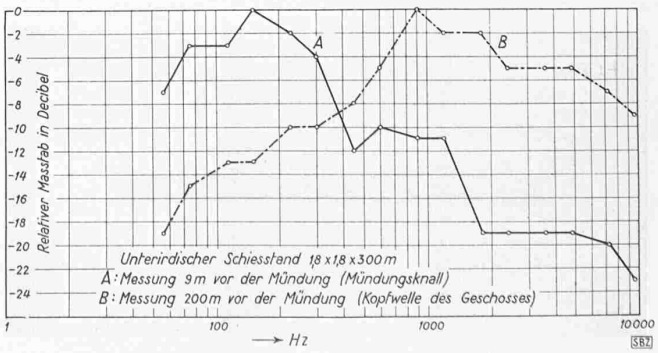

Abb. 1. Knallgeräusch-Messungen von P.-D. Dipl. Ing. W. Furrer (1938)