Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 44 (1953)
Heft: 16

Artikel: Porzellan als Werkstoff
Autor: Kläy, H.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1058094

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: 15.12.2025

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

2. Hohe mechanische Festigkeit, um das Aufwalzen der Metallhülsen zu sichern und ferner den beim Durchschmelzen, vor allem bei Kurzschluss auftretenden innern Druck ohne Schaden auszuhalten.

3. Temperaturwechselbeständigkeit um die bei der zulässigen Überlastung auftretende Erwärmung und eventuell schroffe Abkühlung ohne Rissbildung zu ertragen.

Die ersten beiden Bedingungen werden von Steatit sehr gut erfüllt, während es sich gezeigt hat, dass die dritte im allgemeinen nicht mehr gewährleistet ist. Hülsen aus der dichtgebrannten, temperaturwechselbeständigen Cordieritmasse Calorstea erfüllen bis zu einem gewissen Grad die 3 Hauptanforderungen, sofern beim Aufwalzen der Metallteile Rücksicht auf die etwas geringere mechanische Festigkeit genommen wird. Zu einer bedeutenden Verbesserung führte jedoch die Schaffung einer Masse als Zwischenstufe von Steatit und Zirkonmagnesiumsilikat, welche die Bedingungen in mechanischer und thermischer Hinsicht erfüllt.

Das dritte Problem, das es zu lösen gilt, betrifft die Schaffung einer Masse mit möglichst hoher Biegefestigkeit bei gleichzeitiger Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel. Wie bekannt sein dürfte, werden an Stützisolatoren für Druckluftschalter sehr hohe Ansprüche gestellt bezüglich deren Umbruchfestigkeit. Die Beanspruchung erfolgt meist schlagartig, oft sind solche Isolatoren auch schockartigen Temperaturwechseln ausgesetzt. Die Ansprüche an die Biegefestigkeit allein vermag auch bei entsprechender Verarbeitung Steatit zu erfüllen. Wird aber zusätzlich Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel gefordert, so zeigt sich, dass diese Bedingungen mit weit grösserer Sicherheit durch Verwendung der erwähnten Sondermasse erfüllt werden.

Mit der Masse allein ist allerdings bei all diesen Problemen nur ein Teil der Aufgabe gelöst. Erst sorgfältige Aufbereitung, richtiges Bearbeiten, vorsichtiges Trocknen und Brennen bringen den vollen Erfolg, den die Massezusammensetzung bietet. Rationelle Einrichtungen, sowohl für die Fabrikation wie für das Brennen, sorgen für eine wirtschaftliche Fertigung. Gut ausgerüstete Laboratorien helfen mit, die Forschung und Entwicklung zu fördern und die erzielten Resultate zu überprüfen.

Adresse des Autors:
J. Wolf, Vizedirektor der Schweiz. Isola-Werke, Breitenbach (SO).

Porzellan als Werkstoff

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV/SVMT vom 5. Juni 1953 in Zürich,

von *H. Kläy*, Langenthal

621.315.612.2

Für die Berechnung von Isolatoren fehlen sichere Angaben über die Festigkeitswerte von Porzellan. Innere Spannungen, hervorgerufen durch verschiedene Schrumpfung von Glasur und Porzellan sowie Temperaturdifferenzen bei der Abkühlung beeinflussen die Festigkeitswerte. Diese inneren Vorspannungen können zur Verbesserung der Festigkeitswerte ausgenützt werden.

Les valeurs de resistivité mécanique pour la porcelaine varient avec la section à cause de la grande influence de la couche d'émail. En outre les contraintes internes provoquées par le refroidissement hétérogène changent les caractéristiques mécaniques de l'isolateur et peuvent améliorer sensiblement la charge de rupture.

Für die Berechnung von Isolatoren, die ein wichtiges Bauelement der Übertragungsleitungen sind, stehen uns wenige zuverlässige Angaben über die Festigkeit zur Verfügung. In der Regel sind die Festigkeitswerte in Funktion des Querschnittes angegeben (Fig. 1). Um möglichst alle Faktoren, die die Festigkeit beeinflussen könnten, gleich zu halten, hat man Probestäbe mit abgestuftem Durchmesser hergestellt und daran die Biegefestigkeit bestimmt. Die so erhaltenen spezifischen Werte sind in Fig. 1 aufgetragen und zeigen auch die typische Verminderung der Biegefestigkeit mit zunehmendem Querschnitt. Wir werden dieses Verhalten später erklären.

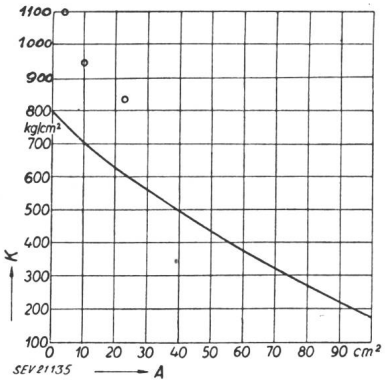

Fig. 1
Biegefestigkeit K von Porzellanzylindern in Funktion des Querschnittes A

Die 3 Einzelwerte bei 5, 10 und 23 cm² sind an einem abgestuften, glasierten Stab bestimmt worden

Zugmessungen sind sehr vorsichtig auszuwerten, weil in der Regel erst in grösserer Entfernung von der Einspannung eine homogene Belastung der Probe erreicht wird. Auch *Druckmessungen* sind unzuverlässig, weil infolge vagabundierender Zugspannungen die Probe in der Regel durch Überschreiten der viel kleineren Zugfestigkeit bricht. In diesem Zusammenhang kann auch darauf hingewiesen werden, dass es schädlich ist, zwischen die geschliffene Druckfläche und den Metallstempel ein «weiches» Metallblech zu legen, um dadurch die Spannungen auszugleichen. Diese weiche Metallzwischenlage beginnt bei hoher Pressung zu fliessen und zerreisst durch Reibungskräfte die Porzellanprobe, die man eigentlich Druckspannungen aussetzen wollte. Um den Einfluss der vagabundierenden Zugspannungen auszuschalten, wurden bei Versuchen in der Eidgenössischen Materialprüfanstalt (EMPA) die Proben gleichzeitig radial hydraulisch gepresst (Fig. 2). Diese Pressung beträgt zirka 10 % des achsialen Druckes. Dabei konnte auch bei 16 t/cm² die Probe nicht mehr zerdrückt werden. Porzellan hat eine so hohe Druckfestigkeit, dass sie meistens nicht ausgenutzt werden kann.

Um diese unsicheren Angaben über Festigkeitswerte verstehen zu können, muss der Aufbau und die Herstellung näher betrachtet werden. Porzellan ist ein Dreistoffsystem aus *Kaolin* (ca. 50 %), *Quarz*

(25 %) und *Feldspat* (25 %), die bei ca. 1400 °C gesintert werden. Im Brande schmilzt zuerst das *Feldspatglas,* das mit Tonerde ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) *Mullit*

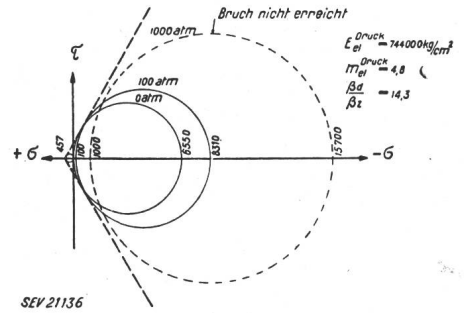

Fig. 2
Bruchzustände der Druckversuche an Porzellan unter allseitig gleichem Druck

($3\ Al_2O_3 \cdot 2\ SiO_2$) bildet und den Quarz ($SiO_2$) zum Teil auflöst. Da die Quarztrümmer kleiner als $^1/_{100}$ mm sind, ist das Auflösungsvermögen gross (Fig. 5).

Im *Sinterungspunkt* (ca. 1400 °C) verliert die Masse den Zusammenhang und wird weich. Das ist am Beispiel der als Brennkontrolle verwendeten

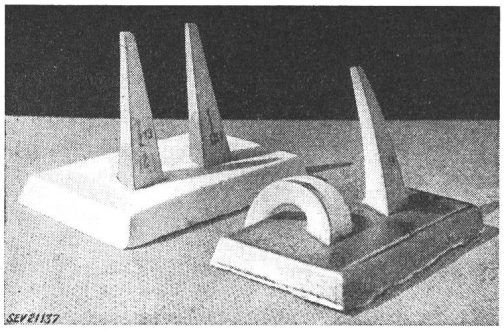

Fig. 3
Segerkegel vor und nach dem Brennen

Segerkegel (Fig. 3) gut ersichtlich. Diese Kegel aus einer «Porzellanmischung» von ganz bestimmter Sinterungstemperatur verhalten sich gleich wie die besprochene Porzellanmasse. Sie biegen sich bei der Sinterung um. Für unsere Betrachtungen ist wich-

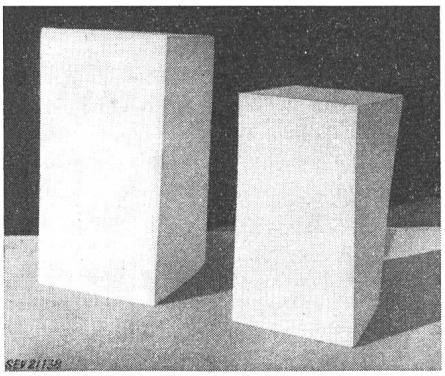

Fig. 4
Porzellankörper vor und nach dem Brennen

tig, dass bei der Sinterung sich alle inneren Spannungen auflösen können. Die zwei Porzellanquader in Fig. 4 waren vor dem Brande gleich gross. Der eine wurde nur getrocknet, der andere gesintert. Ausser der Brennschwindung ist beim gebrannten Stück noch eine Verdrehung auffallend. Die Porzellanmasse wurde auf der im Uhrzeigersinn drehenden Drehscheibe aufgedreht und hat dort eine Verdrehung erfahren, die sich im Sinterungszustande wieder rückgängig machen konnte. (Man sagt daher, dass Porzellan ein Gedächtnis hat!)

Im nun einsetzenden Abkühlungsprozess finden für die spätere Festigkeit äusserst wichtige Vorgänge statt, denen wir deshalb unsere volle Aufmerksamkeit schenken müssen. Die einzelnen Komponenten, insbesondere das Feldspatglas und die Quarztrümmer, schrumpfen beim Abkühlen entsprechend ihren Ausdehnungskoeffizienten verschieden stark. Solange die Feldspatschmelze noch weich ist, können sich Spannungsdifferenzen ausgleichen. Im Transformationspunkt, bei ca. 850 °C, erstarrt die Glasbasis und innere Spannungen beginnen sich auszubilden.

Zu betrachten sind besonders auch die unstetigen Umwandlungen des Quarzes bei 575 °C und bei ca. 200 °C, wobei spontane Volumenänderungen und Sprünge im Ausdehnungskoeffizienten auftreten. Diese ungleichen Schwindungen haben innere Gefügespannungen zur Folge, die statistisch verteilt an sehr kleinen Bereichen ($\approx$ $^1/_{100}$ mm) angreifen und das allgemeine Verhalten des Porzellans beeinflussen. Wichtiger für unsere Betrachtungen sind

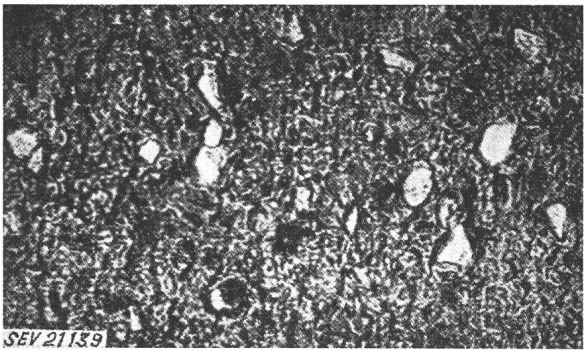

Fig. 5
Porzellan, Dünnschliff — Mikroaufnahme
Die hellen Stellen sind nicht aufgelöste Quarztrümmer im Feldspatglas

dagegen die durch Temperaturunterschiede im abkühlenden Porzellanstück entstehenden Schrumpfspannungen. Auch sie bilden sich unterhalb dem Transformationspunkt. Der Wärmefluss im abkühlenden Körper geht in der Regel von innen nach aussen. In dieser Richtung verläuft damit auch der Temperaturgradient. Zwei benachbarte Gebiete können also einen Temperaturunterschied aufweisen, insbesondere kann das eine schon fest sein, wenn das benachbarte gerade die Verfestigungstemperatur erreicht. Bis dahin waren diese Spannungen noch ausgeglichen, weil das weiche Gebiet nachgeben konnte. Vom Transformationspunkt an wird der Längenausgleich nicht mehr möglich und da sich diese benachbarten Zonen von verschiedenen Temperaturen an abkühlen, entstehen die Schrumpfspannungen, die beträchtliche Werte annehmen können. Die inneren Spannungen können z. B. an einem aufgeschlitzten Ring nachgewiesen werden.

Porzellan ist meistens mit einer Glasurhaut überzogen. Die Glasur kann nun ein weiterer Grund zur Bildung von Spannungsdifferenzen sein, wenn ihre Schrumpfung anders verläuft als die des anliegenden Porzellans. Auch diese Spannungen können leicht nachgewiesen werden. Ein einseitig glasierter Porzellanstab wird an einem Ende fest eingespannt. Bei der Erhitzung verhält er sich wie ein Bimetallstreifen, indem er sich je nach Ausdehnung der beiden Lagen (Porzellan und Glasur) durchbiegt. Aus dieser Durchbiegung kann die innere

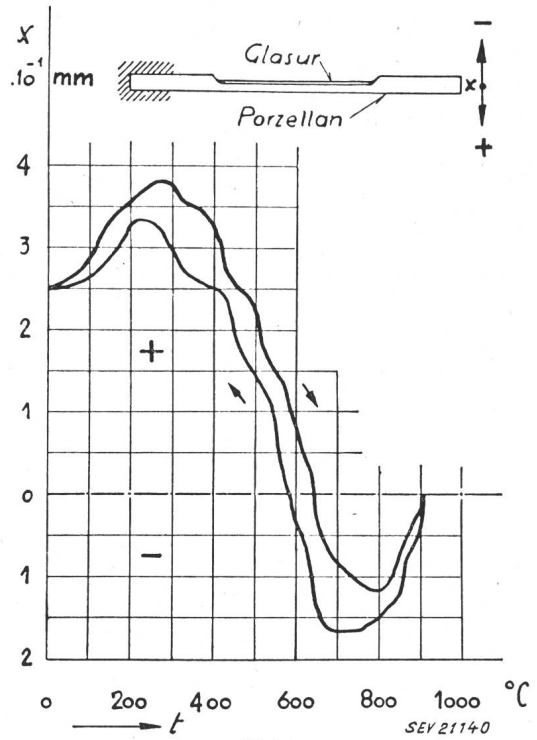

Fig. 6
Durchbiegung x eines einseitig glasierten Stabes beim Erhitzen und Abkühlen in Funktion der Temperatur t

Spannung bestimmt werden (Fig. 6). Dies ist eine geläufige Probe zur Kontrolle der Glasur. Innere Spannungen sind also stets zu erwarten. Wir werden nachher sehen, wie diese richtig gesteuert, vorteilhaft zur Erhöhung der Zugfestigkeit des Isolators ausgenutzt werden können.

Durch die äussere Belastung werden im Werkstück Spannungen erzeugt, die man in der Regel auch nicht kennt; nur für ganz einfache Verhältnisse (Biegung) ist die Beanspruchung bekannt. Glücklicherweise besitzen wir heute ein sehr leistungsfähiges Messverfahren, das auch ganz komplizierte Belastungsfälle zu analysieren erlaubt. Es ist dies die photoelastische Methode. Sie beruht auf der Erscheinung, dass gewisse durchsichtige isotrope Stoffe wie Kunstharze unter Belastung anisotrop werden und sich optisch wie Kristalle (doppel-brechend) verhalten. Insbesondere wird die Polarisationsebene entsprechend den inneren Spannungen verdreht. Aus dem Bild können die inneren Spannungen bestimmt werden. Dies ist ein ausserordentlich wichtiges Hilfsmittel, um über den Spannungsverlauf Aufschluss zu erhalten. Fig. 7 zeigt die Aufnahme am zweidimensionalen Modell eines konischen Kopfes, einem wichtigen Bauelement von Isolatoren. Linien gleicher Helligkeit entsprechen Orten gleicher maximaler Schubspannung.

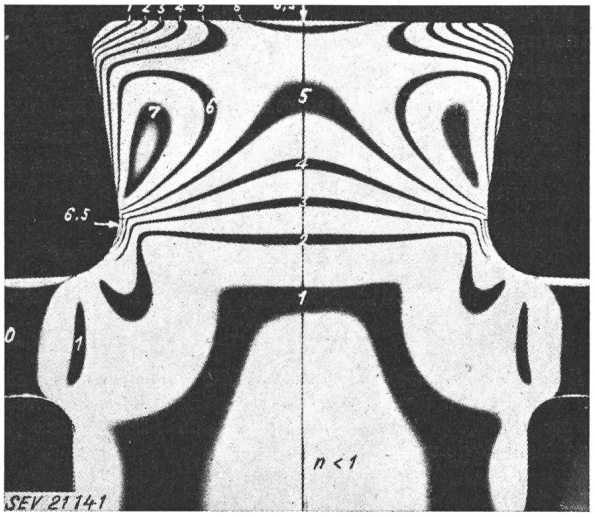

Fig. 7
Photoelastisches Bild der Spannungen im Kopfe eines unter Zug stehenden Vollkernisolators
Linien gleicher Helligkeit bedeuten Orte gleicher maximaler Schubspannungen

Aus dieser photoelastischen Messung sind die Zugspannungen im gefährdeten Querschnitt bestimmt und in Fig. 8 aufgetragen. Am Rande tritt eine Zugspannungsspitze auf, die 6,5mal grösser ist als die Zugspannung im homogen belasteten Mittelteil des Isolators. Da Porzellan keine bleibende Deformation hat, kann diese Spannungsspitze nicht

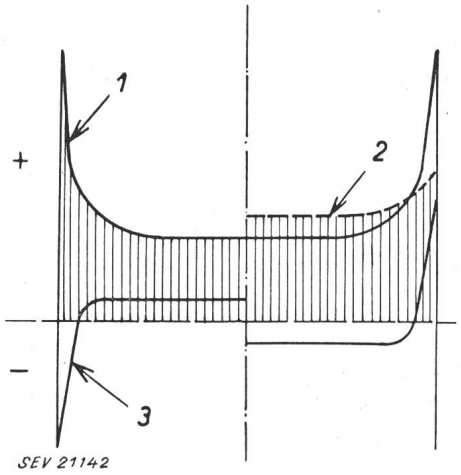

Fig. 8
Verteilung der Spannungen im Kopf des Vollkernisolators
+ Zugspannung; — Druckspannungen
1 äussere Spannungen; *2* resultierende Spannungen; *3* innere Spannungen

abgebaut werden und der Bruch wird von dort aus beginnen. Durch entgegenwirkende innere Vorspannungen können diese Spannungsspitzen teilweise kompensiert werden. Ausser der bereits erwähnten Glasur, die beim Erkalten infolge ihrer kleineren Schwindung zusammengedrückt wird, können auch Schrumpfspannungen der Masse eine entsprechende innere Spannungsverteilung zur Folge haben.

Die in Fig. 8 angedeuteten resultierenden Spannungen aus äusserer Last (*2*) und inneren Vorspan-

nungen (*3*) sind gleichmässiger und die hohen Spannungsspitzen am Rande (*1*) abgebaut. Damit steigt die Bruchlast des Isolators.

Der Einfluss der ca. 0,5 mm dicken Glasurschicht ist grösser bei dünnen Biegestäben. Damit ist die Abnahme der spezifischen Biegefestigkeit mit zunehmendem Querschnitt des Prüflings erklärt.

Die Schrumpfspannungen des Porzellans sind eine Folge der Temperaturunterschiede beim Abkalten und damit stark abhängig von der Form des Isolators und dem Verlauf der Abkühlung. Deshalb sind auch für Porzellan keine eindeutigen spezifischen Festigkeitswerte bekannt, weil diese stark durch die beschriebenen inneren Vorspannungen bestimmt werden.

Durch Tempern konnten die mechanischen Eigenschaften des Glases stark verbessert werden. Die bisherigen Versuche zeigen, dass auch Porzellan durch entsprechende Behandlung vergütet werden kann.

Adresse des Autors:
Dr. *H. Kläy*, dipl. Ingenieur, Porzellanfabrik Langenthal A.-G., Langenthal (BE).

Signalanlagen für die Regelung des Strassenverkehrs

Von *W. Keller* und *Ph. Hahn*, Bern

621.398.2 : 656.1.054.1

Es werden die Gründe und Vorteile dargestellt, die zum Bau von Signalanlagen zur Regelung des Strassenverkehrs führen. An Hand von Beispielen werden verschiedene Anwendungsbeispiele gezeigt.

Exposé des motifs et des avantages, qui conduisent à la construction d'installations de signaux pour la circulation routière. Description de diverses installations de ce genre.

Einleitung

Auch ohne die Konsultierung statistischer Unterlagen ist es jedem aufmerksamen Beobachter des Strassenverkehrs klar, dass dieser in den letzten Jahren enorm zugenommen hat. In den Städten vereinigen sich die einzelnen Fahrzeuge zu eigentlichen Verkehrsströmen, die in den Hauptverkehrsstunden kaum mehr abbrechen. So mehren sich die Stellen, wo die sich kreuzenden Verkehrsflüsse nicht mehr sich selbst überlassen werden können.

Kosten sind aber dauernd sehr hoch und zudem ist bei schlechten Sichtverhältnissen (Nebel, Schneefall) die Zeichengabe undeutlich und erst auf kurze Entfernung wahrnehmbar. Mit elektrischen Signalen werden wohl grössere Anlagekosten verursacht, doch amortisieren sich diese im Betrieb sehr rasch. Diese Signale sind ferner auf grössere Distanz erkennbar, eindeutiger und von Witterungseinflüssen unabhängig. Aus diesen Gründen werden solche Signalanlagen immer mehr eingeführt.

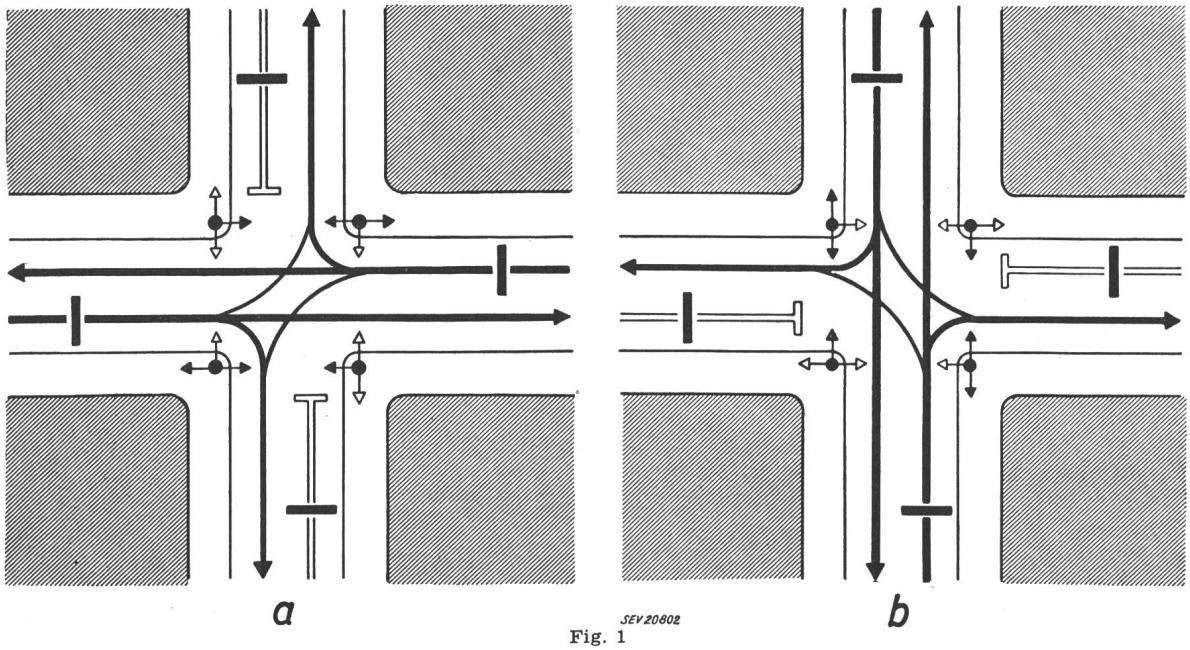

Fig. 1

Regelung der Verkehrsflüsse in 2 Phasen *a* und *b* an einer gewöhnlichen Strassenkreuzung

Der Abbiegeverkehr nach links stört den Verkehr geradeaus. Die Fussgänger sind nicht berücksichtigt

grüne Signallichter — Verkehr frei

rote Signallichter und zusätzlicher grüner Pfeil nach rechts — Verkehr gestoppt

Steuerschwelle

Die Regelung des Verkehrs an solchen Punkten durch einen Polizisten schien anfänglich das Zweckmässigste zu sein. Die damit verbundenen

Je intensiver der Fahrzeugverkehr ist, um so schwieriger wird es für den Fussgänger, eine Fahrbahn ohne Gefahr zu überqueren. Während früher