

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 12

Artikel: Einführung in die Leitsätze für die Bestimmung des dielektrischen Verlustfaktors von Isolierölen

Autor: Metzler, H.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916726>

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: 03.02.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Einführung in die Leitsätze für die Bestimmung des dielektrischen Verlustfaktors von Isolierölen *)

Von H. Metzler, Zürich

621.315.615.2 : 537.226.31.08

Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ ist unter anderem ein Kriterium zur Beurteilung der Brauchbarkeit von Isolierölen [1] ¹⁾. Trotzdem seine Bestimmungsmethoden in der Fachliteratur und verschiedenen Normen ausführlich dargestellt sind [2...5], erhielten die Isolierölverbraucher vom gleichen Öl, das in diversen Laboratorien gemessen wurde, die unterschiedlichsten Messresultate. Die Messabweichungen sind jedoch in der Literatur [3; 5] mit nur $\pm 2\ldots\pm 5\%$ angegeben.

Diese Lage führte zur Gründung einer Unterkommission für die Messtechnik des Verlustfaktors von Isolierölen (UK-VF) im Rahmen des Fachkollegiums 10 (Isolieröle) des CES ²⁾ mit folgendem Auftrag: Abklärung der Messmethoden und der Messtechnik für die Bestimmung des Verlustfaktors von Isolierölen und der Vorbereitung einer schweizerischen Konvention, die ermöglichen sollte, dass reproduzierbare Werte des Verlustfaktors gemessen werden können. Ferner war auch die Bestimmung von Grenzwerten des Verlustfaktors erwünscht. Die UK-VF trat im Sommer 1960 das erste Mal zusammen, erlitt aber dann durch den Tod ihres ersten Präsidenten, Dr. M. Zürcher, einen Unterbruch in ihrer Arbeit.

Die vorliegende Aufgabe war kein Vorstoß in Neuland. 1948 hat das Comité d'Etudes Nr. 1 der CIGRE einen Fragebogen über diese Materie zirkulieren lassen, den 33 Laboratorien aus 8 Nationen beantworteten [6]. Anschliessend wurde ein Rundversuch zur Messung von drei verschiedenen Ölen in 8 Laboratorien durchgeführt, der folgende Extreme der Absolutwerte zeigte:

Ölmuster	$\tan \delta$
I	0,052 ... 0,145 8
II	0,014 ... 0,030
III	0,000 6...0,003 8

*) Leitsätze siehe S. 608...609 dieses Heftes.

¹⁾ Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

²⁾ Die UK-VF hat zur Zeit folgende Mitglieder:

Angern, K., von, Ingenieur, Gretag AG, Regensdorf (ZH).
Boletzky, G., von, Prokurist, Emil Haefely & Cie. AG, Postfach Basel 2
Brückel, W., Ingenieur, Tettex AG, Rotbuchstrasse 45, Zürich 37
Erhart, L., Ingenieur, Sprecher & Schuh AG, Aarau
Gänger, B., Dr.-Ing., AG Brown, Boveri & Cie., Baden (AG)
Mästinger, H., Chemiker, Chef der Abteilung für Materialprüfung, Maschinenfabrik Oerlikon, Zürich 11/50 (Protokollführer)
Metzler, H., Dr. sc. techn., Chemiker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8 (Präsident)
Lütfolf, H., Sekretär der Sektion A des CES, Seefeldstrasse 301, Zürich 8 (ex officio)

Die Abweichungen wurden den Faktoren Präzision der Messeinrichtung, Zellenkonstruktion und Vorbereitung der Probe sowie Reinigung der Messzelle zugeschrieben.

Ein zweiter Rundversuch im Jahre 1949 mit zwei Ölen, die in 21 Laboratorien gemessen wurden, gab folgendes Bild:

Ölmuster	$\tan \delta$
A	0,000 05...0,014 50
B	0,000 10...0,030 0

Diese extremen Werte können stark gemindert werden, wenn die Messergebnisse von zwei Teilnehmern, die offensichtlich mit ungeeigneten Einrichtungen gemessen haben, nicht berücksichtigt werden. Aus diesem Versuch wurde geschlossen, dass Absolutwerte des $\tan \delta$ unter 10^{-4} üblicherweise nicht diskutiert werden und zur Messung vor allem Zellen aus Stahl mit Schutzring und einem Inhalt von max. 100 ml verwendet werden.

Im dritten CIGRE-Versuch haben 21 Teilnehmer einen Keramikkondensator mit drei Werten gemessen, bei denen die zwei am stärksten streuenden Werte nicht berücksichtigt wurden (Fig. 1).

Meßstelle	$\tan \delta$	Streuung in %
I	0,00065 \pm 0,0001	± 15
II	0,0018 \pm 0,0001	± 5
III	0,0125 \pm 0,001	± 8

In der vierten Versuchsreihe wurde ein Vergleichskondensator in 16 Laboratorien mit folgenden Resultaten bestimmt:

Meßstelle	$\tan \delta$	Streuung in %
A	0,00015	± 33
B	0,00132	+ 7,5 — 10,5
C	0,0118	+ 6 — 7

Im Jahre 1956 wurde ein fünfter Rundversuch beschlossen, bei welchem 6 Laboratorien von 6 Nationen mit drei verschiedenen Zellen ein Ölmuster gemessen haben. Dabei traten folgende Verhältniswerte der Absolutwerte auf:

Messzelle	Verhältnis
I	4,5 : 1
II	8,5 : 1
III	11 : 1

Diese Vergleiche führten zur Entwicklung und Empfehlung der Messzelle CIGRE Nr. 5 (Fig. 1 und 2).

Im Rahmen der UK-VF des FK 10 des CES wurde 1960 ein erster Vorversuch in drei Laboratorien mit drei Ölmustern angelegt.

Ölmuster	A	B	C
I	0,933	0,64	0,634 4
II	0,001	0,003	0,000 9
III	0,08	0,062	0,062 4

Diese Absolutwerte liegen trotz verschiedenen Messbrücken und -Zellen überraschend nahe zueinander. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass nach [1] die interessierenden Werte bei 0,05...0,25 liegen.

Trotz den guten Ergebnissen wurde beschlossen, diesen Test auf alle erfassbaren Laboratorien der Schweiz auszudehnen, die sich mit Verlustfaktormessung an Isolierölen beschäftigen. Vor dem Rundversuch wurde an alle Interessenten ein Fragebogen verteilt, dessen Auswertung die Aufstellung eines Messprogrammes gestattete, das von allen Teilnehmern eingehalten werden konnte.

Im Juli-August 1962 konnte dann der Rundversuch der UK-VF durchgeführt werden. Aus Transformatoren wurden Ölproben entnommen, die in einem grossen Gefäß gut durchgemischt, in dunkle 1-Liter-Schliffflaschen abgefüllt und sofort versandt wurden.

Die chemisch-physikalische Analyse der Muster ergab folgende Resultate:

	Testöl I	Testöl II	Testöl III
Aussehen	klar	klar	klar
Farbe	gelb	gelb	gelb
feste Verunreinigungen	keine	keine	keine
spezifisches Gewicht bei 20 °C g/ml	0,874	0,876	0,872
Viskosität bei 20 °C cSt	33,2	34,4	32,7
Stockpunkt °C	— 51	— 52	— 46
Flammpunkt °C	170	170	166
Neutralisationszahl mgKOH/göl	0,06	0,03	0,03

Die Messungen wurden nach einem bestimmten Programm durchgeführt: Nach Empfang wurden die Flaschen bei 20 °C ohne direkten Lichteinfluss während 7 Tagen ruhig gelagert. Die Messzellen wurden dreimal mit destilliertem Benzol gewaschen und während 4 h bei 110 °C getrocknet. Nach dem Abkühlen wurde die Zelle einmal mit dem Testöl gespült und anschliessend das Öl mit Hilfe einer sauberen und trockenen Pipette in den Messkondensator gebracht. Dabei wurde die Probe aus der oberen Hälfte

33'061-062

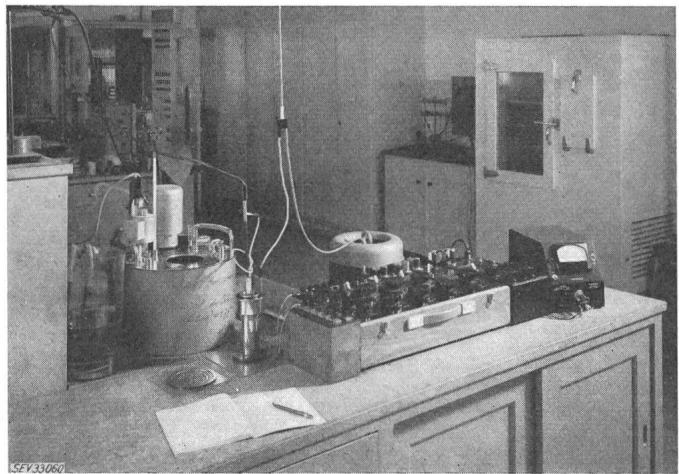


Fig. 1

Verlustfaktor-Messeinrichtung

von links nach rechts: Ölthermostat, CIGRE-Messzelle Nr. 5, Scheringbrücke, Nullindikator; dahinter Pressgaskondensator

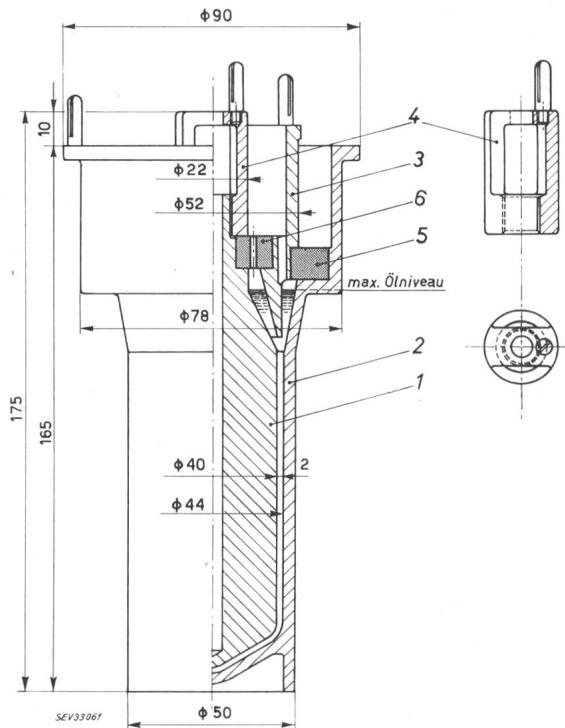


Fig. 2
Schema der CIGRE-Messzelle Nr. 5
1 innere Elektrode; 2 äussere Elektrode; 3 Schutzring; 4 Handgriff; 5, 6 Isolierringe

der Flasche entnommen und darauf geachtet, dass das Öl ruhig und ohne Luftblasenbildung eingefüllt wurde. Nach 30 min wurde eine erste Messung bei 20 °C vorgenommen. Die vorgeschriebene Messfrequenz war 50 Hz und die empfohlene Messfeldstärke 10 kV/cm. Nachher wurde innert höchstens 4 h die Ölprobe auf 90 °C erwärmt und auf dieser Temperatur während 30 min konstant gehalten und nachher der tg δ gemessen. Anschliessend an die Messung bei 90 °C wurde der tg δ nach ruhigem Abkühlen des Öles bei 20 °C ein drittes Mal gemessen. An jedem Ölmuster wurden zwei Messungen pro Laboratorium ausgeführt.

Gleichzeitig mit den Ölmustern wurde auch der Verlustfaktor von je zwei Kunststoffmustern gemessen. Die Muster wurden aus je einer Platte Polyäthylen und Polyvinylchlorid entnommen, vorkonditioniert, mit Messelektroden aus Stanniolfolien versehen und so versandt. Vor der Messung waren sie während 7 Tagen bei 20 °C und 45 % rel. Feuchtigkeit zu lagern. Die Bestimmungen waren nach der Schutzringmethode bei 20 °C, 50 Hz und 1000 V durchzuführen, wobei die Messelektrode mit mindestens 400 g belastet wurde. Pro Muster und Laboratorium wurden auch hier zwei Messungen durchgeführt. Die Messresultate sind in Tabelle I dargestellt.

Die absoluten Extremwerte lagen im Rundversuch wie folgt:

Muster	Extremwerte des tg δ
Öl I	0,154 3 ... 0,230 0
Öl II	0,016 7 ... 0,028 9
Öl III	0,000 19 ... 0,003 3
PVC	0,052 ... 0,062 4
Polyäthylen	0,001 ... 0,000 1

Die Literaturangaben für tg δ bei ähnlichen Bedingungen liegen für PVC bei 0,01...0,14 und für Polyäthylen bei 0,0001...0,0004. Bei den Ölen sind die 90 °C-Werte eingesetzt und die zwei extremsten Werte eliminiert.

Auswertung der $\text{tg } \delta$ -Messungen im Rundversuch

Tabelle I

Laboratorium	PVC 20 °C	Poly- äthylen 20 °C	Öl I			Öl II			Öl III		
			20 °C	90 °C	20 °C	20 °C	90 °C	20 °C	20 °C	90 °C	20 °C
1			0,0089 0,0104	0,1941 0,2210	0,0104 0,0106	0,0012 0,0013	0,0289 0,0217	0,0013 0,0010	0,00007 0,00007	0,00082 0,00071	0,00007 0,00006
2	(24 °C) 0,0495	(24 °C) <0,001	0,0068	(90,5 °C) 0,169	0,0069	0,001	(91 °C) 0,017	0,001	0,0006	(91 °C) 0,0028	0,0006
3	(24 °C) 0,0624 0,0625	(24 °C) 0,00022 0,00024	0,008 ⁴⁾ 0,008	0,20 0,20	0,008 0,008	0,0012 0,0011	0,021 0,027	0,0012 0,0011	0,00018 0,0002	0,00105 0,0009	0,00015 0,00116
4	(22 °C) 0,056	(22 °C) 0,0026 ³⁾	0,012	0,17	—	0,0014	0,019	—	0,0004	0,003	—
5	0,0625	(100 Hz) 0,0013	(25 °C) 0,0084 (25 °C) 0,0103 ²⁾	(90...92 °C) 0,192 (90...92 °C) 0,192	(25 °C) 0,0114 (25 °C) 0,0016	(25 °C) 0,002 (25 °C) 0,0016	(90...92 °C) 0,0198 (90...92 °C) 0,0198	(25 °C) 0,00063 (25 °C) 0,0021	(25 °C) <0,00001 (25 °C) 0,00084	(90...92 °C) 0,00085 (90...92 °C) 0,001	(25 °C) <0,00002 (25 °C) <0,00003
6	0,0592 0,0580	0,00011 0,00010	0,0135 0,01336	0,32920 0,23000	0,01195 0,01184	0,00084 0,00116	0,01953 0,01765	0,001077 0,001345	0,00006 0,000036	0,001103 0,000589	0,00010 0,000118
7	0,052 0,054	(24 °C) 0,001	(25 °C) 0,013 (25 °C) 0,012	0,177 0,19	(23 °C) 0,011 (25 °C) 0,012	(35 °C) 0,0034 (25 °C) 0,0015	0,038 0,019	(35 °C) 0,0023 (25 °C) 0,001	(25 °C) 0,0002 (25 °C) 0,00017	0,0033 0,00019	(26 °C) 0,0006 (25 °C) 0,0001
8	—	—	(22 °C) 0,0084 (24 °C) 0,0080	(89 °C) 0,1587 0,1446	(23 °C) 0,0100 (24 °C) 0,0079	(22 °C) 0,0023 (24 °C) 0,0013	0,0022 (89 °C) 0,0049	(23 °C) 0,0025 (23 °C) 0,0009	(23 °C) <0,0001 (24 °C) 0,0004	<0,0001 <0,0001	(23 °C) 0,0009 (24 °C) 0,005
9	0,0599	(22 °C) 0,0001	(22 °C) 0,0096 (22 °C) 0,0089 ⁵⁾ 0,0101 ⁶⁾	0,1543 0,1614 0,187	— (23 °C) 0,0086 —	(25 °C) 0,0007 (22 °C) 0,0012 0,0008	0,0185 0,0178 0,0203	— (24 °C) 0,0006 —	(22 °C) 0,0001 (23 °C) 0,0001 0,0001	0,0002 0,0004 0,0006	(25 °C) 0,0001 (25 °C) 0,0001 —
10	0,0521	(21 °C) 0,000115	(22 °C) 0,0107 (23 °C) 0,0133 (27 °C) 0,0116 ¹⁾	0,1885 0,187 —	(25 °C) 0,0168 (26 °C) 0,0157 (24 °C) 0,0100	(27 °C) 0,0020 (26 °C) 0,00318 0,0008	0,0189 0,0258 0,0167	(27 °C) 0,00128 (28 °C) 0,00255 (22 °C) 0,0006	(21 °C) 0,000155 (25 °C) 0,000215 (22 °C) 0,00006	0,00174 0,00286 0,00069	(25 °C) 0,000168 (26 °C) 0,000378 (24 °C) 0,00006
11											

¹⁾ Reinigungsmethode Variante

²⁾ Messkondensator Variante

³⁾ Leitsilberbelag

⁴⁾ Öllagerung vor Messung 4 Wochen

⁵⁾ Messungen durch 2 Prüfer

⁶⁾ nach 2 Monaten Lagern bei 21 ± 1 °C im Dunkeln

Interessanterweise wurde bei den PVC-Platten beim Durchmessen in einem Laboratorium die gleiche Streuung erhalten, so dass geschlossen werden darf, dass in diesem Fall in erster Linie die Verschiedenheit der Proben an den Messabweichungen beteiligt ist.

Der weitere Vergleich lässt schliessen, dass in die Streuung hauptsächlich folgende Faktoren eingegangen sind:

1. *Temperatur*. Die Temperatur kann auch im Thermostat mit einer Konstanz von $0,1^{\circ}\text{C}$ mit Sicherheit nur auf $90 \pm 1^{\circ}\text{C}$ angegeben werden. Eine Differenz von 2°C kann aber schon mit einer Abweichung von 10 % an der Messung beteiligt sein.

2. *Vergangenheit der Messprobe, inklusive Probenahme und Vorbereitung zur Messung*. Um eine Aussage über den Messwert des Öles im Transformator und Wandler zu erhalten, ist es notwendig, dass das Öl bei der Probenahme, dem Versand und dem Einfüllen in den Messkondensator keine Vorbehandlung erfährt. Es wurde darum bewusst auf jede Filtrierung, Vakuumbehandlung usw. der Proben vor der Messung verzichtet. Mit grosser Wahrscheinlichkeit sind die relativ geringen Streuungen in diesem Versuch dieser Massnahme zuzuschreiben.

3. *Messzelle*. Der Vergleich mit den Bestimmungen der PVC-Muster lässt den Schluss auf eine geringe Beeinflussung durch die Verschiedenheit der verwendeten Messkondensatoren zu.

Die Auswertung der Fragebogen im Zusammenhang mit den Resultaten zeigte überraschenderweise, dass von 11 Laboratorien 10 Scheringbrücken des gleichen Typs verwendeten. Als Spannungsquellen standen ausnahmslos vom Netz gespiesene Transformatoren zur Verfügung. Die Mehrheit der Teilnehmer verwendete als Normal Pressgaskondensatoren. Auffallend ist die Vielfalt bei den Messzellen, wo

praktisch jedes Laboratorium eine andere Konstruktion einsetzte. Apparatemässig kann hier am besten in Richtung einer Vereinheitlichung gearbeitet werden, da für die CIGRE-Zelle Nr. 5 (Fig. 2) CEI-Empfehlungen bestehen und das im Rundversuch gebrauchte Exemplar keine Nachteile gezeigt hat.

Der apparative Einfluss auf die Streuung der Messresultate im Bereich von technischen Routinemessungen ist jedoch im Vergleich zur Wirkung der Ölbehandlung gering, darum wurden alle Arbeiten mit den Ölmustern auf ein Minimum reduziert und diese Faktoren sowie die Reinigung der Messzelle in den Leitsätzen definiert.

Wenn alle Laboratorien nach der genannten Methode arbeiten, können die $\text{tg } \delta$ -Werte in den gewünschten Bereichen als reproduzierbar und gleichwertig betrachtet werden.

Literatur

- [1] H. Lutz, Oerlikon-Mitteilungen Nr. 221/222, April/Juni 1963
- [2] A. R. von Hippel, Dielectric Materials and Applications, 3. Auflage 1961
- [3] F. Oehme, Dielektrische Messmethoden, 2. Auflage 1962
- [4] VDE 0303, Teil 4/10.55
- [5] CEI-Dokument 15(Secrétaire)46 vom Oktober 1962
- [6] CIGRE, Comité d'Etudes des Huiles Isolantes, Note L. 62 vom 8. Mai 1962 von G. Pléeck

Adresse des Autors:

Dr. sc. techn. H. Metzler, Chemiker, Materialprüfanstalt des SEV, Seefeldstrasse 301, Zürich 8.

656.212.05

Überblick der Entwicklung mit kurzer Schaltungsbeschreibung. Bedienung und Prinzipschaltung der heutigen Anlagen. Zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten.

Aperçu des perfectionnements apportés aux installations de signalisation des voies de manœuvres en gare, avec brève description des couplages. Service et principe du montage d'installations actuelles. Possibilités de plus amples perfectionnements.

1. Einleitung

Auf allen Bahnhöfen und Stationen der Schweiz sind seit langer Zeit praktisch alle Aussenanlagen wie Weichen, Signale usw. ferngesteuert. Dies bedingt natürlich, dass das Stellwerkpersonal genauestens über alle Fahrten und Manöver innerhalb seines Stellbereiches orientiert sein muss. Auf kleineren Stationen werden Manöverfahrten innerhalb des Stationsbereiches zwischen dem Stationsbeamten und Zugpersonal vor ihrer Ausführung abgesprochen. Vom Stellwerk aus wird dann das Manöver durch Zeichengabe (Fahnen- oder Hornsignale) geleitet. Auf grösseren Bahnhöfen, besonders dort wo gleichzeitig mehrere Manöverfahrten durchgeführt werden, müssen dem Personal technische Hilfsmittel zur Verfügung gestellt werden. An Stelle der vorherigen Absprache treten Gleisfeldtelephone, Wechselsprecheinrichtungen, Funk oder spezielle Gleismelder-Anlagen. Die Zeichengabe nach der Einstellung der Fahrstrassen wird durch Zwergsignale ersetzt.

2. Geleise-Bezeichnungen

Um die Verständigung zwischen dem Personal zu erleichtern, muss jedes Geleise möglichst einfach und eindeutig bezeichnet werden. Zu diesem Zweck wird das ganze Gleisfeld eines Bahnhofes in verschiedene Abschnitte unterteilt.

Jeder Abschnitt erhält als Bezeichnung einen Buchstaben. Im Abschnitt selbst werden die einzelnen Geleise fortlaufend numeriert (Fig. 1). Die so entstehende Geleisebezeichnung besteht also immer aus einem Buchstaben und einer Zahl. Im Beispiel von Fig. 1 trägt das oberste Geleise somit die Bezeichnung R6. Mit dieser Bezeichnung ist ein Geleise eindeutig bestimmt, da selbstverständlich im gleichen Bahn-

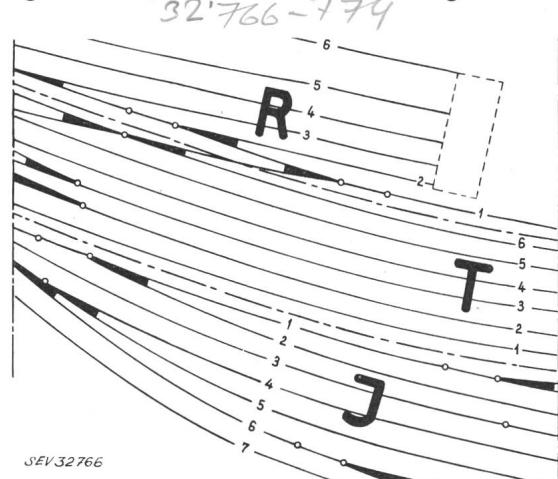


Fig. 1
Gleisfeldausschnitt mit Abschnittsbezeichnung und Numerierung der einzelnen Geleise