**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens

**Herausgeber:** Association suisse des électriciens

**Band:** 18 (1927)

**Heft:** 11

**Artikel:** Erster Bericht des Ausschusses für die Arbeiten mit dem Kathodenstrahl-Oscillographen. A. Der Kathodenstrahl-Oscillograph des S.E.V. und seine Anwendungsmöglichkeiten

**Autor:** Tobler, F.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-1058643

**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:** 22.08.2025

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

# Erster Bericht des Ausschusses für die Arbeiten mit dem Kathodenstrahl-Oscillographen [1]).

## A. Der Kathodenstrahl-Oscillograph des S. E. V. und seine Anwendungsmöglichkeit.

Von *F. Tobler,* Obering. der Materialprüfanstalt des S. E. V.

*Es wird eine kurze Beschreibung des im Besitze des S. E. V. befindlichen Kathodenstrahl-Oscillographen gegeben. Ferner wird über seine Vervollkommnung zwecks Aufnahme von Ueberspannungserscheinungen in elektrischen Anlagen berichtet. Zum Schlusse werden die hanptsächlichsten Störungserscheinungen in elektrischen Anlagen erwähnt, die mit Hilfe des Kathodenstrahl-Oscillographen auf experimentellem Wege abgeklärt werden können. Es ist hierbei insbesondere auch auf die wirtschaftliche Bedeutung dieser Studien hingewiesen.*

*Dans cet article, on donne une description sommaire de l'oscillographe cathodique de l'A. S. E., puis on parle des perfectionnements apportés à cet appareil pour lui permettre d'enregistrer des phénomènes de surtension dans des installations électriques. On signale enfin les perturbations principales survenant dans les installations électriques et qui peuvent être analysées expérimentalement à l'aide de l'oscillographe cathodique. On indique en particulier l'importance économique de ces études.*

### *1. Entstehungsgeschichte und Beschreibung des Oscillographen.*

Der bisherige auf elektromagnetischem Prinzip beruhende Oscillograph, wie er seit Jahrzehnten zur photographischen Aufnahme von Strom- und Spannungskurven, d. h. zur Registrierung von relativ langsamen elektrischen Vorgängen Anwendung findet, versagt überall da, wo die Schwingungserscheinungen Frequenzen von einigen tausend überschreiten. Die überwiegende Mehrzahl der in elektrischen Anlagen sich abspielenden Vorgänge liegt aber weit oberhalb dieser Grenze. Es ist deshalb die zuverlässige Erforschung all dieser Phänomene erst mit Hilfe eines Apparates möglich, dessen für die Registrierung nutzbar gemachtes Organ praktisch trägheitsfrei den raschesten Schwingungen folgt.

Einen solchen Apparat stellt nun der Kathodenstrahl-Oscillograph dar, wie er im Laufe der letzten Jahre in verschiedenen ausländischen Hochschullaboratorien aus der schon längst bekannten Braunschen Röhre entwickelt wurde. Diese letztere besteht aus einem Glasgefäss, welches einen stark luftverdünnten Raum umschliesst und in welches zwei Metallelektroden, die Kathode und die Anode, eingesetzt sind. Durch eine zwischen diesen angelegte Gleichspannung von mehreren tausend Volt wird aus der Kathode ein Strahl freier Elektronen losgelöst und gegen die Anode geschossen. Die letztere ist mit einer kleinen Düse versehen, durch welche ein Teil der Elektronen weiterfliegt, bis sie auf die Glaswand oder einen Schirm auftreffen, woselbst die ihnen innewohnende Energie zum Hauptteil in Wärme umgewandelt wird.

Dieser Elektronenstrahl ist ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel dem Auge unsichtbar; lässt man ihn aber auf einen mit einer Fluoreszenzschicht überzogenen Schirm fallen, so leuchtet dieser an der getroffenen Stelle hellblau auf. Diesen feinen Strahl fliegender Elektronen nennt man Kathodenstrahl. Da er aus bewegten, negativ geladenen Teilchen besteht, lässt er sich sowohl durch elektrische, wie auch durch elektromagnetische Felder ablenken. Die elektrische Ablenkung wird bewirkt durch ein Paar symmetrisch angeordneter Metallplatten, die einen kleinen Kondensator mit elektrischen Kraftlinien, senkrecht zum Kathodenstrahl verlaufend, bilden. Die magnetische Ablenkung geschieht durch zwei symmetrisch angebrachte stromdurchflossene Spulen. Die Ablenkung des Strahles ist auf dem Leuchtschirm sichtbar. Da der Strahl infolge der ausserordentlich kleinen Masse der Elektronen eine winzig kleine Trägheit besitzt, folgt er der ablenkenden Spannung oder dem ablenkenden Strom augenblicklich. Seine Trägheit ist derart gering, dass er Ver-

[1]) Der Ausschuss setzt sich zusammen aus folgenden Mitgliedern: Prof. Dr. *B. Bauer,* Zürich, Präsident; Prof. Dr. *W. Kummer,* Zürich; *F. Largiadèr,* Zürich; Dr. *K. Sulzberger,* Zürich; *F. Tobler,* Zürich; *H. F. Zangger,* Zürich und Prof. Dr. *H. Schait,* Winterthur (Mitarbeiter).

änderungen, die sich innert einer milliardstel Sekunde abspielen, zu folgen vermag. Der Kathodenstrahl hat die willkommene Eigenschaft eine photographische Schicht, ähnlich wie das Licht, zu schwärzen. Er eignet sich deshalb in hervorragender Weise dazu, rasch veränderliche Vorgänge auf photographischen Platten oder Filmen festzuhalten.

Das Prinzip der Strahl-Ablenkung kann nun in folgender Weise ausgenützt werden. Handelt es sich um Registrierungen im Frequenzbereich von einigen hundert bis ca. tausend, so wird man für die Aufnahme zweckmässig eine rotierende Trommel mit aufgespanntem Film verwenden. Der Kathodenfleck beschreibt dann, gleich wie beim gewöhnlichen elektro-magnetischen Oscillographen, infolge der Trommelrotation die Abszissenlinie. Die aufzunehmende Spannung oder den Strom schaltet man auf ein Platten- resp. ein Spulen-Paar, welches den Strahl senkrecht zu der Abszissenachse ablenkt. Man erhält auf diese Weise in rechtwinkligen Koordinaten ein zeitgetreues Abbild des betr. Vorganges.

Liegt die Frequenz der zu registrierenden Schwingung oberhalb ca. tausend, so versagt die beschriebene Methode, weil der Vorgang auf eine so kurze Strecke der Zeitachse zusammengedrängt wäre, dass eine zuverlässige Auswertung verunmöglicht würde. Es wählte daher Dufour den Kunstgriff, die Trommelrotation zu ersetzen durch eine künstliche, der Zeit proportionale Bewegung des Strahles über die ruhende photographische Platte. Die Zeitablenkung wird dabei wieder durch ein entsprechend gesteuertes Platten- oder Spulen-Paar erzielt. Zur Verlängerung der Nullinie drückte Dufour überdies einem zum ersten senkrechten Plattenpaar gleichzeitig eine sinusförmige Hilfsspannung von einigen tausend bis einigen hunderttausend Perioden auf. Dadurch erreichte er für die gleiche Zeitdauer der Aufnahme eine Nullinie vielfacher Länge. Der Messvorgang selbst wird durch ein drittes zum erstgenannten paralleles Plattenpaar über der Sinuslinie als Nulllinie aufgeschrieben. Diese Massnahmen ermöglichen es, mit der Umfassung eines grösseren Zeitintervalles den Vorteil einer deutlichen Aufzeichnung sehr rascher Aenderungen zu verbinden. Die beschriebene Registriermethode hat den Nachteil, dass das Oscillogramm nicht mehr in rechtwinkligen Koordinaten direkt abgelesen werden kann, sondern vorerst in ein solches übersetzt werden muss. Ueberdies ist man dabei immer noch an einen Schaltmechanismus gebunden, der verhältnismässig träge wirkt und in passend kurzem Zeitintervall sowohl den zu untersuchenden Vorgang, wie auch den Oscillographen selbst auslöst. Die beschriebene Technik ist deshalb nur für willkürlich einzuleitende Phänomene verwendbar.

Zur photographischen Aufnahme von Vorgängen, deren zeitliches Auftreten vom Operateur nicht nach Belieben bestimmt werden kann, muss zur Verwendung eines möglichst trägheitsfreien Relais gegriffen werden. Dabei ist der Kathodenstrahl vor der Aufnahme elektrisch aus dem Bereiche der photographischen Platte abgelenkt. Im Momente des Auftretens einer Störung (rasche Spannungsänderung) wird eines der Ablenk-Plattenpaare durch ein Relais mit Hilfe von Elektronenröhren derart gesteuert, dass der Strahl auf die Platte fällt und dann mit gleichmässiger Geschwindigkeit über diese hinweg gleitet. Ein weiteres, dazu senkrechtes Plattenpaar besorgt die durch den aufzunehmenden Vorgang bewirkte Ablenkung. Damit die zu registrierende Schwingung auch tatsächlich auf die Platte fällt, ist es notwendig, das Auftreffen des Vorganges auf die Mess-Ablenkplatten um die Aktionsdauer des Relais zu verzögern. Das zur Verwendung gelangende Relais, das im Prinzip eine ähnliche Schaltung aufweist, wie sie bereits von Gabor verwendet wurde (siehe Archiv für Elektrotechnik Bd. XVIII, Heft No. 1, Seite 48 u. f.), funktioniert innerhalb einiger millionstel Sekunden und dürfte für die Aufnahme beliebiger Vorgänge in elektrischen Anlagen ausreichen. Diese Art der Aufzeichnung hat gegenüber der vorher beschriebenen mit Hilfs-Sinuslinie den Vorteil, dass die Oscillogramme unverzerrt in rechtwinkligen Koordinaten geschrieben werden können.

Dank der Subvention des Aluminiumfonds Neuhausen und der Eidgenössischen Stiftung zur Förderung schweizerischer Volkswirtschaft war es dem S. E. V.

möglich, im Jahre 1926 einen Dufourschen Kathodenstrahl-Oscillographen bei der Pariser Firma Ch. Beaudouin zu bestellen. Bei diesem Modell ist das Glasgefäss der Braunschen Röhre durch ein Bronzegehäuse ersetzt. An Stelle des Leuchtschirmes lässt sich entweder eine Filmtrommel mit elektromagnetischem Antrieb oder aber eine Platten-Kassette für sechs Platten einsetzen. Diese sechs Platten können nacheinander belichtet werden, ohne dass zwischen hinein der Apparat geöffnet, bezw. das Vakuum aufgehoben werden muss. Für das Auswechseln der Platten ist dann allerdings ein Oeffnen des Gefässes unumgänglich und für die Wiederbereitschaft muss das Vakuum durch frisches Pumpen neuerdings hergestellt werden.

Die für die Erzeugung eines scharfen und lichtstarken Kathodenstrahles nötige Spannung zwischen Kathode und Anode beträgt, je nach Raschheit des zu photographierenden Vorganges, 30 bis 80 kV Gleichspannung. Diese wird durch Transformation des Netzwechselstromes und nachheriges Gleichrichten in Glühventilen erzeugt. Die generelle Schaltung des Oscillographen ist aus Fig. 1 ersichtlich.

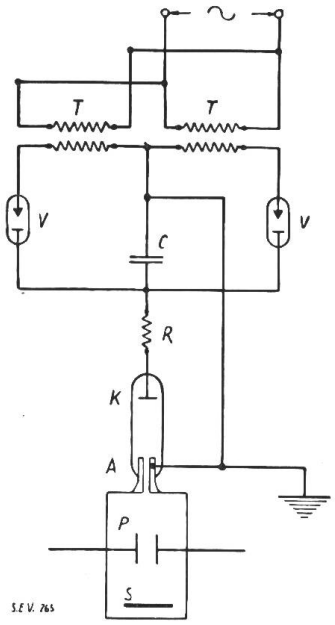

Fig. 1.

Darin bedeuten:

*T* die beiden Hochspannungstransformatoren
*V* die zwei Glühventile zur Gleichrichtung des hochgespannten Wechselstromes
*C* eine Hochspannungskapazität zur Verminderung der Welligkeit des Gleichstromes
*R* ein hochohmiger Vorschaltwiderstand
*K* die Kathode des Oscillographen
*A* die Anode des Oscillographen
*P* die Ablenkplatten, an denen die zu untersuchende Spannung angelegt wird
*S* der Leuchtschirm, der den Strahl sichtbar macht.

Der von obengenannter Firma gelieferte Dufour-Oscillograph ist wohl vorzüglich ausgebildet zur Aufnahme rascher Schwingungsvorgänge, deren Einleitung in die Willkür des Operateurs gelegt ist; er musste aber erhebliche Modifikationen und Ergänzungen erfahren, um die photographische Registrierung von Vorgängen zu ermöglichen, wie sie sich zu beliebiger Zeit in elektrischen Anlagen abspielen. Der Umbau des Oscillographen und die Erweiterungen der Versuchseinrichtung, über welche allenfalls in einem späteren Hefte des Bulletins eingehender berichtet werden soll, sind während des laufenden Jahres in den Laboratorien und der Werkstätte der Technischen Prüfanstalten des S. E. V. durchgeführt und ausprobiert worden, so dass mit oscillographischen Aufnahmen in elektrischen Hochspannungsanlagen in Bälde begonnen werden kann. Die photographischen Aufnahmen Fig. 2 und 3 bringen den zu dem erwähnten Zwecke abgeänderten Oscillographen mit seinen Zubehörteilen zur Darstellung. Die letzteren setzen sich in der Hauptsache aus folgenden Hilfsapparaten zusammen:

Hochvakuumpumpanlage, Gleichspannungseinrichtung, Synchronschalter für die Aufnahme willkürlich auslösbarer Vorgänge, ein kleiner Hochfrequenzgenerator in Gestalt eines Röhrensenders und das schon erwähnte Röhrenrelais. Die ganze Versuchseinrichtung soll später in einen geschlossenen Wagen eingebaut werden, damit man bei den Aufnahmen in den Netzen nicht an einen einzigen Standort gebunden ist.

### 2. *Anwendungsgebiet des Kathodenstrahl-Oscillographen.*

Die Beschaffung eines Kathoden-Oscillographen drängte sich bei dem Studium der Ueberspannungsvorgänge in elektrischen Anlagen geradezu auf. Diese Erscheinungen, darunter in erster Linie die Gewittereinflüsse mit ihren Folgen führen auch heute noch allzu häufig zu ernsten Störungen im Betriebe elektrischer Produk-

tions- und namentlich Verteilanlagen und haben neben oft erheblichem Materialschaden noch weit bedeutenderen Einnahmenausfall wegen Unterbruchs der Energielieferung zur Folge. Für diese Störungserscheinungen sind bis heute wohl Erklärungen und z. T. weit ausgebaute Theorien aufgestellt worden, die wirkliche Erforschung und völlige Abklärung dieser Vorgänge war aber mangels eines geeigneten

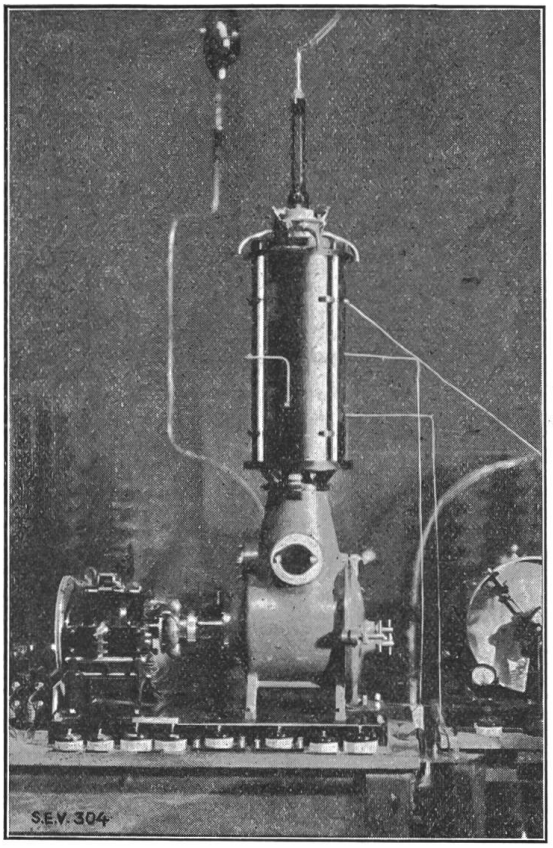


Fig. 2.

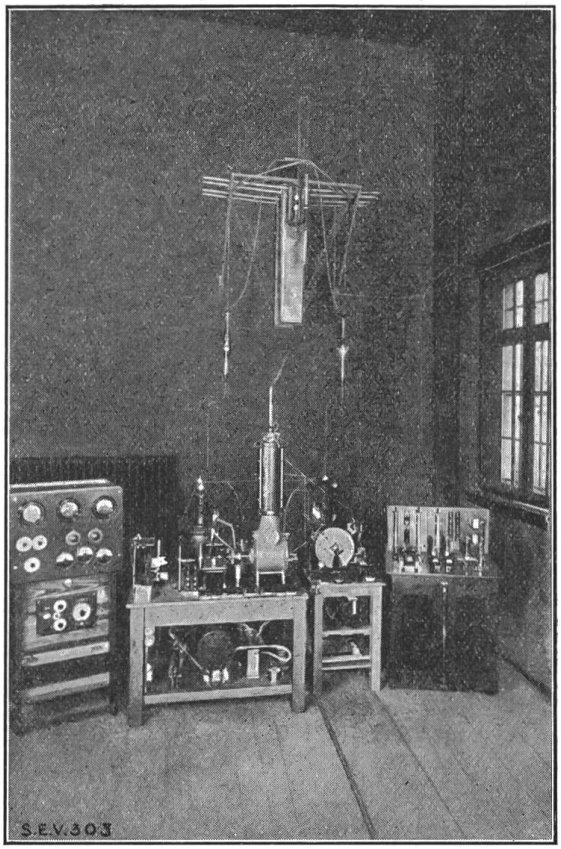


Fig. 3.

Messinstrumentes zur Registrierung der raschen Schwingungserscheinungen bis heute nicht möglich.

Zur Verhütung von Betriebsstörungen durch Ueberspannungen installierte und installiert man heute noch kostspielige sogenannte Ueberspannungs-Schutzapparate, deren Anschaffungskapital die Energieerzeugungs- und Verteilkosten nicht unerheblich belasten, wobei aber deren Wirkungsweise und Nützlichkeit bei weitem nicht restlos abgeklärt ist. Es geht auch aus dieser Ueberlegung hervor, welch grosse, nicht nur rein technisch-wissenschaftliche, sondern vornehmlich auch wirtschaftliche Bedeutung der gründlichen Erforschung all dieser Störungsprobleme zukommt. Es sei in diesem Zusammenhang auch noch darauf hingewiesen, wie ausserordentlich nachteilig Störungen in der Energieversorgung auf die Erweiterung des Absatzgebietes elektrischer Energieerzeugungsanlagen einwirken.

Der einzig mögliche Weg, diesen Betriebsstörungen auf den Leib zu rücken, ist derjenige, die Ursachen dieser Erscheinungen und die dabei sich abspielenden Vorgänge einwandfrei zu erforschen, um nachher die nötigen Massnahmen zu deren Verhütung zu treffen. Dieses Ziel kann aber nur auf experimentellem Wege, d. h. durch messtechnische Aufnahmen in den elektrischen Anlagen selbst erreicht werden und das hierzu sich vorzüglich eignende Registrierinstrument ist der eben beschriebene für Netz-Aufnahmen ergänzte Kathodenstrahl - Oscillograph.

Das eingehende Studium und das Ausprobieren der Ergänzungseinrichtungen zum Dufourschen Oscillographen musste zweckmässigerweise im Laboratorium

geschehen. Parallel mit diesen Arbeiten, welche durch einen dem S.E.V. speziell zu diesem Zwecke verpflichteten Ingenieur durchgeführt wurden, gingen Versuche an Stromwandlern und deren Ueberbrückungswiderständen. Herr Ing. Berger berichtet im nachfolgenden persönlich über diese eingehenden Untersuchungen. Die Anregung zu diesem Studium ist den Techn. Prüfanstalten aus dem Werksbetriebe zugegangen, indem in elektrischen Anlagen zu wiederholten Malen Störungserscheinungen an Ueberbrückungs- oder sog. Schutz-Widerständen von Stromwandlern beobachtet wurden. Solche Ueberschläge und Feuererscheinungen bilden häufig die Einleitung zu umfangreicheren Betriebsstörungen und es muss daher am Entstehungsort deren Auftreten verhindert werden. Unter diesem Gesichtspunkte erhält die nachstehende Arbeit neben dem interessanten wissenschaftlichen Wert auch eine wesentlich praktische Bedeutung.

Im Anschluss an diese Ausführungen seien noch die verschiedenen Phänomene aufgezählt, die mangels einer geeigneten Messeinrichtung bis heute experimentell nicht erschöpfend abgeklärt werden konnten und zu deren Erforschung sich der Kathodenstrahl-Oscillograph in hervorragendem Masse eignet. Sie alle hängen mit der Betriebssicherheit der elektrischen Anlagen eng zusammen. Hierher gehören u. a. das Verhalten von Transformatoren und Apparaten bei plötzlichen Erd- und Kurzschlüssen und im Zusammenhang damit die Untersuchung der Vorgänge bei der heute stark angefochtenen Sprungwellenprobe, die praktische Entscheidung über Wert und Wirkungsweise der sogenannten Schutzdrosselspulen gegen Sprungwellen, welche aus einer Leitung in eine Anlage eindringen, ferner die Vorgänge beim Abschalten von Stromkreisen durch Oelschalter und Schmelzsicherungen, weiter die Frage der Schaltüberspannungen an leerlaufenden Transformatoren und Leitungen. Die grösste Bedeutung wird aber der Erforschung der Gewitter und ihrer Folgeerscheinungen in den elektrischen Anlagen zukommen, eine Arbeit, die wohl nur mittelst des Kathodenstrahl-Oscillographen ihrer Lösung entgegengeführt werden kann. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auch im Ausland, namentlich in Deutschland und in jüngster Zeit auch in den Vereinigten Staaten an diesen Problemen mit Hilfe des Kathodenstrahl-Oscillographen emsig gearbeitet wird. In Deutschland hat sich unter dem Namen „Studiengesellschaft für Höchstspannungs-Anlagen" eine Gesellschaft gebildet, der eine grosse Zahl Elektrizitätswerke und die wichtigsten Firmen der Elektroindustrie angehören und welcher von ihren Mitgliedern bedeutende finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt werden. Auch in Deutschland nimmt unter diesen Studien die Gewitterforschung einen breiten Raum ein. Sobald der S.E.V. in diesem Arbeitsgebiet über einige eigene Erfahrungen und Versuchsresultate verfügt, wird eine Aussprache mit dem Ausland und ein Austausch von Erfahrungen und Beobachtungen der Sache nur förderlich sein.

Die nun folgende Studie, die mittels des Kathodenstrahl-Oscillographen des S.E.V. durchgeführt wurde, sei als erste Laboratoriumsarbeit gewertet, die gleichzeitig dem Versuchs-Ingenieur gestattete, in der Handhabung des Oscillographen die für weitere schwierigere Untersuchungen unerlässliche Fertigkeit in der Handhabung der Messapparatur zu gewinnen.