Ein Hochfrequenzgerät zum Aufsuchen metallischer Fremdkörper, insbesondere für kriegschirurgische Zwecke[1].

Von J. Pätzold.

Mit 4 Abbildungen.

Mitteilung aus dem Hochfrequenzlaboratorium der Siemens-Reiniger-Werke A.G. zu Erlangen.

Es sind im wesentlichen zwei Gründe, weshalb Lokalisationsmethoden für metallische Fremdkörper mittels Röntgenstrahlen den Chirurgen nicht voll befriedigen können:

1. Die vor der Operation vorgenommene Ortsbestimmung des Fremdkörpers nach einem der zahlreichen Röntgenverfahren führt in vielen Fällen nicht zum Auffinden bei der Operation, weil beim Lagern und Bewegen des Patienten und unter dem Einfluß des Operierens selbst unübersehbare Lageveränderungen der Fremdkörper bis zu mehreren Zentimetern im bzw. mit dem Gewebe stattfinden. Es ist deshalb in diesen Fällen notwendig, nach Lagerung des Patienten auf dem Operationstisch und sogar während der Operation erneut Ortsbestimmungen des Fremdkörpers vorzunehmen. Ohne auf Einzelheiten der bis jetzt für die Nachlokalisation zur Verfügung stehenden Methoden im einzelnen eingehen zu wollen, sei

---

1) Auszug aus einem am 29. Oktober 1940 in der Physikalisch-Medizinischen Sozietät der Universität Erlangen gehaltenen Vortrag. Siehe auch Arbeit von Küntscher und Jaumann, Zentralblatt für Chirurgie, zur Zeit im Druck.

lediglich festgestellt, daß die Benutzung von Röntgenstrahlen am Operationstisch mannigfache Nachteile mit sich bringt, im wesentlichen Zeitverluste, Gefährung der Asepsis, Bedarf eines Spezialtisches an Stelle des Operationstisches, und oftmals sogar Gefahr der Strahlenschädigung für die Hände des Chirurgen, so daß im allgemeinen Röntgenstrahlen am Operationstisch nur sehr ungern und deshalb selten verwendet werden.

2. Der zweite Grund für das nicht restlose Genügen aller Lokalisationsmethoden mittels Röntgenstrahlen ist ein prinzipieller, und zwar betrifft er die Unsicherheit im Feststellen der immer mehr an Bedeutung gewinnenden Fremdkörper aus Leichtmetall, wie Aluminium und Elektron, aus dem physikalischen Grunde eines zu geringen Unterschiedes im Schwächungskoeffizienten von Gewebe und Leichtmetall. Und gerade bei den neuerdings viel verwendeten, stark magnesiumhaltigen Legierungen besteht die Notwendigkeit des Entfernens solcher Metallteilchen in erhöhtem Maße, da es hierbei wegen der starken chemischen Reaktionen mit dem Gewebe zu besonders unangenehmen Entzündungen und schlecht heilenden Wunden kommt.

Diese Argumente, die hier nur kurz aufgezählt werden können, mögen die Berechtigung für ein Verfahren zur Nachlokalisation während der Operation nachweisen, dem diese Nachteile nicht anhaften und das im folgenden kurz beschrieben werden soll.

Es handelt sich dabei dem Prinzip nach um die Relativmessung von Selbstinduktionsänderungen, die der metallische Fremdkörper im hochfrequenten magnetischen Feld einer Suchspule an deren Selbstinduktion durch Rückwirkung hervorruft.

Ohne auf die Historie im einzelnen hier einzugehen, sei nur mitgeteilt, daß Vorschläge für Metallsuchgeräte auf dieser Grundlage schon alt sind. Für medizinische Zwecke wurde es

erstmalig von dem Hamburger Chirurgen Krauß 1930 vorgeschlagen. Unabhängig davon haben später W. Comberg (1), Professor für Augenheilkunde in Rostock, und G. Küntscher (2), Dozent für Chirurgie in Kiel, den Bau derartiger Geräte angeregt und 1933 die ersten Exemplare von unserer Firma erhalten. Ihnen verdanken wir auch die ersten praktischen Untersuchungen und positiven Ergebnisse. Durch den Krieg veranlaßt, wurden die Arbeiten an diesem Gerät beschleunigt wieder aufgenommen und im Laufe des letzten Jahres wesentliche Verbesserungen erzielt, so daß nunmehr das Gerät in größerem Maßstabe in der Chirurgie eingesetzt werden kann. In den letzten Monaten wurde das neue Modell bereits an mehreren maßgebenden Stellen mit bestem Erfolg erprobt.

Über die physikalischen Grundlagen und technischen Einzelheiten sei kurz folgendes ausgeführt:

Das hochfrequente magnetische Feld eignet sich im besonderen Maße zum Nachweis von Selbstinduktionsänderungen, wie sie bei Relativbewegungen von Spule und Metallkörpern zustandekommen. Und zwar geben nicht nur ferromagnetische Metalle infolge ihrer großen Permeabilität Anlaß zu Änderungen und zwar zu Induktivitätsvergrößerungen, sondern ebensogut auch wirken die nicht magnetisierbaren Metalle wie Kupfer, Bronze, Messing, Aluminium usw. auf die Selbstinduktion der Suchspule zurück, und zwar im Sinne von Induktivitätsverkleinerungen als Folge der Verdrängung des hochfrequenten magnetischen Feldes aus dem Metallinnern durch Wirbelstromausbildung. Bei den Eisenmetallen, die außer einem hohen μ ja auch eine große metallische Leitfähigkeit besitzen, ist zu beachten, daß die Induktivitätsvergrößerung infolge der großen Permeabilität und die Induktivitätsverkleinerung als Folge des Verdrängungseffektes einander entgegenwirken. Das hat die Konsequenz, daß es für jede benutzte Frequenz des Magnetfeldes eine Größe von Eisenkörpern gibt, bei der die unter sonst gleichen Verhältnissen erzeugte Änderung der Selbstinduktion besonders gering ist.

Die quantitative Betrachtung über die Größe der Rückwirkung eines Metallkörpers auf die Induktivität der Suchspule, wie sie zuerst Jaumann durchgeführt hat, zeigt, daß der Einfluß sehr stark mit der Entfernung von der Suchspule und zwar mit der 6. Potenz abnimmt. Ferner besteht natürlich unter sonst gleichen Bedingungen eine Abhängigkeit der Rückwirkung von der Größe des Metallkörpers sowie von der Größe der Suchspule, und zwar derart, daß die relative Selbstinduktionsänderung sowohl mit kleiner werdenden Abmessungen des Metallkörpers (mit der 3. Potenz seines Radius) als auch mit kleiner werdendem Suchspulendurchmesser geringer wird. Die Rechnung zeigt, daß die bei der Steckschußlokalisation über mehrere Zentimeter zustandekommenden Selbstinduktionsänderungen der Suchspule nur wenige Millionstel betragen, so daß für den sicheren Nachweis eine sehr empfindliche Meßanordnung Voraussetzung ist.

Als solche steht der Physik seit langem das Überlagerungsverfahren zweier annähernd gleicher hochfrequenter elektrischer Schwingungen zur Verfügung. Im Prinzip handelt es sich dabei um folgende bekannte Anordnung:

Die Hochfrequenzschwingungen zweier Sender O_1 und O_2 nahezu gleicher Frequenz werden in einer Mischröhre zur Überlagerung gebracht, gleichgerichtet und verstärkt (Abb. 1). Liegt

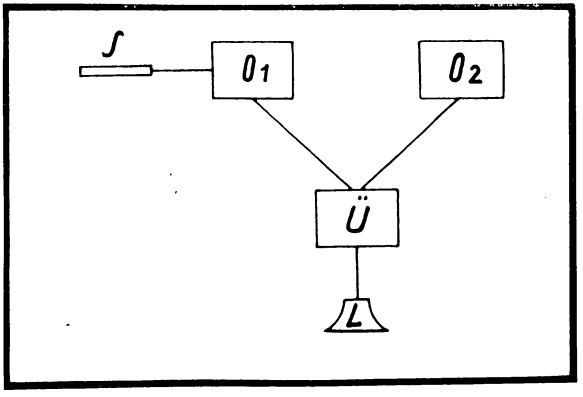

Abb. 1
Schematisches Schaltbild des Siemens-Metallsuchers.

die Schwebungsfrequenz (Differenzfrequenz von 0_1 und 0_2) im hörbaren Bereich, so kann sie unmittelbar im Lautsprecher wahrnehmbar gemacht werden. Die Selbstinduktion des Oszillators 0_1 bildet die Suchspule, die in einer Sonde untergebracht ist. 0_1 besitzt eine konstante Ausgangsfrequenz, die sich beim Annähern der Suchspule an Metalle entsprechend der dabei auftretenden Selbstinduktionsänderungen um geringe Beträge ändert. Die Frequenz des Oszillators 0_2 hingegen ist zur bequemeren Ein- und Nachstellung auf einen gut hörbaren Interferenzton innerhalb geringer Grenzen willkürlich veränderbar.

Bereits Änderungen der Selbstinduktion der Suchspule um etwa $\frac{\Delta L}{L} = 5 \times 10^{-6}$ erzeugen bei hinreichend hoch gewählten und ausreichend konstanten Grundfrequenzen der Oszillatoren noch Änderungen des ursprünglich eingestellten Differenztones, die man leicht und sicher akustisch wahrnehmen kann. Mit anderen Worten lassen sich also mit einer solchen Einrichtung noch Induktivitätsänderungen, wie sie nach dem vorhin Gesagten bei der Suche nach Steckschüssen in der Entfernung einiger Zentimeter größenordnungsmäßig zu erwarten sind, unmittelbar hörbar machen.

Der chirurgische Anwendungszweck schreibt enge Grenzen für die Bemessung der Suchspulen und damit auch für die maximal erzielbaren Reichweiten vor, denn in bezug auf die Abmessungen der Sonden ist man auf die Größe der Wundöffnungen angewiesen. Ebenso sind durch den Anwendungszweck natürlich Größe und Form der nachzuweisenden Metallkörper fest vorgegeben, vom Infanteriegeschoß herunter bis zum Granatsplitter von Stecknadelkopfgröße. Außerdem ist man bei der Wahl von Arbeitsfrequenzen insofern gewissen Beschränkungen unterworfen, als bei zu hohen Frequenzen bereits die Blutleitfähigkeit störend in Erscheinung tritt.

Unter Berücksichtigung aller dieser Gesichtspunkte bestand nun die technische Aufgabe darin, möglichst große Empfindlich-

keit einerseits und, was für die kriegschirurgische Praxis besonders wichtig ist, möglichst geringe Störanfälligkeit andererseits zu erreichen. Es würde den Rahmen dieser Arbeit weit überschreiten, wollte man im einzelnen die Maßnahmen erörtern, die entsprechend dem heutigen Stande der Technik bei dem Bau des Gerätes angewandt wurden.

Abb. 2 zeigt die Außenansicht des Siemens-Metallsuchers mit den beiden Sonden. In Abb. 3 wird kurvenmäßig die Leistungsfähigkeit des Gerätes veranschaulicht. Es ist die Reichweite als Funktion der Fremdkörpergröße für Eisen und Nicht-

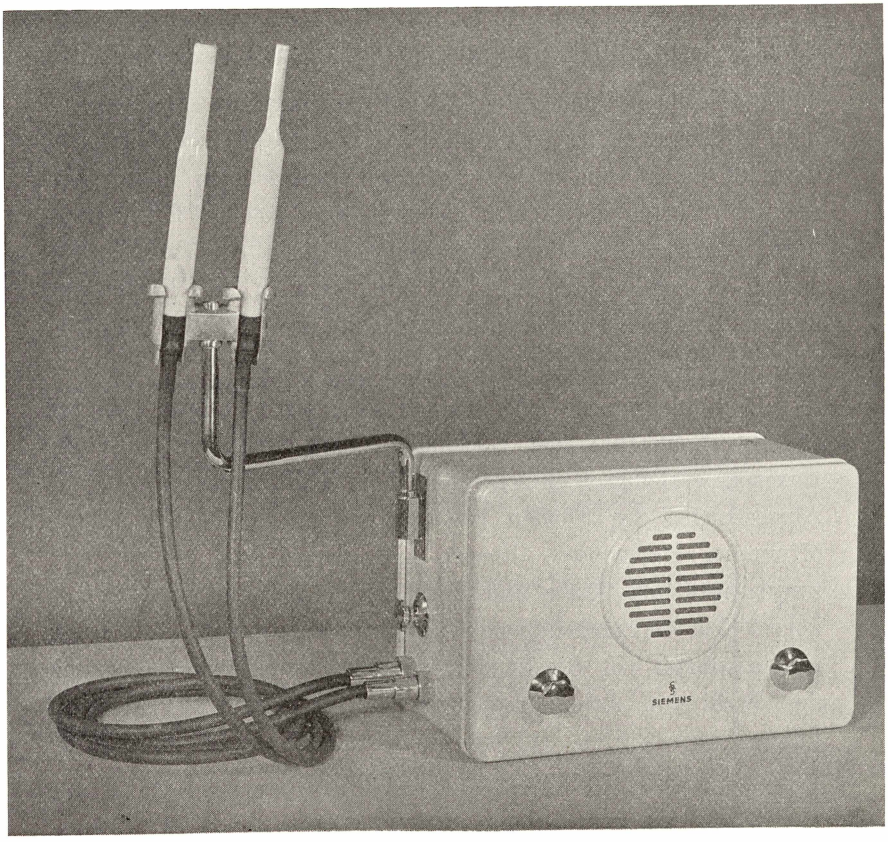

Abb. 2.
Außenansicht des Siemens-Metallsuchers.

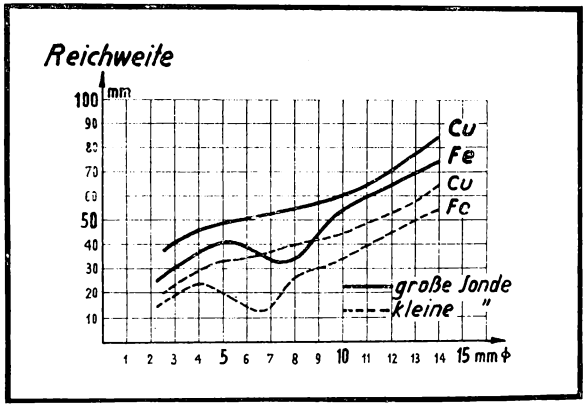

Abb. 3.
Reichweite als Funktion der Fremdkörpergröße.

eisenmetalle aufgetragen und zwar für die beiden Sondenabmessungen von 18 bzw. 10 mm Durchmesser. Als Fremdkörper dienten bei diesen Messungen Kugeln aus Kupfer bzw. aus Eisen von verschiedenen Durchmessern. Unter Reichweite ist die Entfernung verstanden, bei der eine noch gut wahrnehmbare Tonänderung um ca. einen ganzen Ton beim Annähern der Sonde aus großer Entfernung an dem Fremdkörper auftritt. Man erkennt, daß der Nachweis selbst kleinster Granatsplitter mit Durchmessern von wenigen Millimetern noch aus den Entfernungen bequem möglich ist, die bei der Nachlokalisation in der Operationswunde allenthalben gegeben sind. Es sei hervorgehoben, daß der oben beschriebene Kompensationseffekt bei ferromagnetischen Metallen sich praktisch so auswirkt, daß die Kurven für Eisen zwar ein deutlich erkennbares, jedoch keineswegs bis auf Null herabgehendes Minimum aufweisen.

Die Bedienung des Gerätes ist sehr einfach: Nachdem der Überlagerungston nach ca. drei Minuten Einschaltdauer genügend konstant geworden ist (langsame zeitliche Änderungen des Tones stören beim Sondieren nicht), wird mittels des Drehkondensators, der die Frequenz des Oszillators 0_2 regelt, ein tiefer Dauerton eingestellt, dessen Lautstärke in weiten Grenzen beliebig ge-

regelt werden kann. Nähert man die Sonde dem Metallkörper auf einige Zentimeter, so tritt im Lautsprecher eine Änderung der Tonhöhe auf, die um so größer wird, je mehr man sich dem Metallsplitter nähert. Je nach Art und Größe des Fremdkörpers steigt oder fällt der Ton entsprechend seiner induktivitätsvergrößernden oder -verkleinernden Wirkung (siehe oben). Im letzteren Falle verschwindet bei weiterer Annäherung an den Fremdkörper der Ton ganz wegen der Unempfindlichkeit des Ohres für Töne unterhalb 20 Hz bzw. des Lautsprechers schon bei größeren Frequenzen, um erst nach Durchgang durch Null jenseits des Schwellenwertes wieder hörbar anzusteigen. Zu dieser unzweckmäßigen Einstellung des Drehkondensators von 0_2 auf den Ausgangsdauerton gibt es symmetrisch zur Stellung auf völlige Tonlosigkeit eine zweite Einstellungsmöglichkeit, bei der bei Annäherung an denselben Metallkörper der Ton in gewünschter Weise ansteigt. Welche Einstellung des Drehkondensators, ob links oder rechts von der Null-Lage, im Einzelfalle in diesem Sinne die richtige ist, läßt sich nicht voraussagen, da im allgemeinen unbekannt ist, ob der metallische Fremdkörper selbstinduktionsvergrößernd oder -verkleinernd auf die Suchspule rückwirkt. Die Art seiner Rückwirkung ist zu Beginn des Sondierens festzustellen und danach zu verfahren. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhange noch, daß es auch Formen von Eisenkörpern gibt, bei denen der Ton je nach der Richtung, aus welcher man sich dem Metallkörper mit der Sonde nähert, steigt oder fällt. Diese Eigenschaft zeigen am ausgeprägtesten dünne Eisenbleche, bei deren Annäherung an die Suchspule in einem Falle (Fläche senkrecht zur Sondenachse) die Induktivitätsverkleinerung (wie bei großen Eisenkörpern), im anderen Falle (Fläche parallel zur Sondenachse) die Induktivitätsvergrößerung (wie bei kleinen Eisenkörpern) überwiegt.

Es liegt in der Natur eines Metallsuchgerätes, daß sich natürlich keine anderen Metallgegenstände während des Sondierens im Operationsfeld befinden dürfen, und zwar ist es

erforderlich, daß im Umkreis von ca. 10—20 cm von der Sonde chirurgische Instrumente aus Metall bzw. Metallteile des Tisches vermieden werden müssen. Der Einfluß des Metalls vom Operationstisch wird dadurch beseitigt, daß der Patient eine ca. 20 cm starke Unterlage aus Nichtmetall erhält. Für die gebräuchlichsten Operationshaken wurde sterilisierbarer Ersatz aus Kunststoffen bzw. Porzellan geschaffen (Abb. 4). Die Sonden

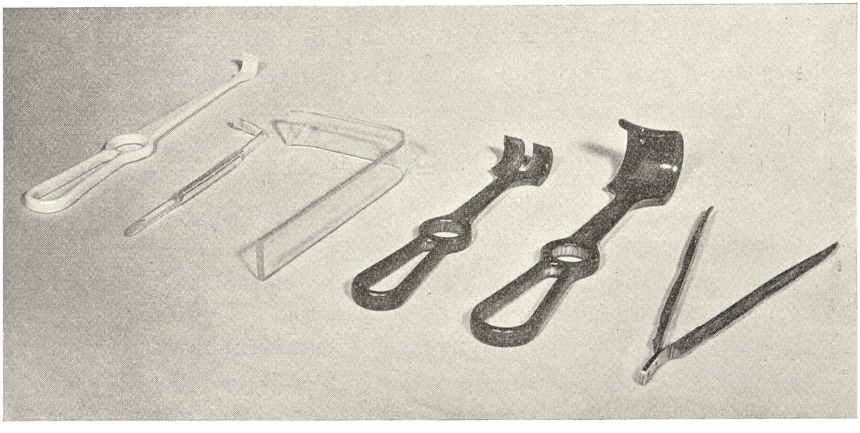

Abb. 4.
Nichtmetallische Operationsinstrumente.

bestehen aus Milchglas und dürfen wegen der im Innern untergebrachten wärmeempfindlichen, hochfrequenten Schaltelemente nur kalt sterilisiert werden. Im Bedarfsfalle wird vorgeschlagen, heiß sterilisierbare Gummihüllen über die Sonden zu ziehen.

Was das Gerät praktisch am Operationstisch zu leisten vermag, kann nur der Chirurg ermessen und wird deshalb von berufener Seite mitgeteilt werden. Hier sei lediglich noch einmal zusammenfassend betont, daß die Hochfrequenzmethode keineswegs die Lokalisationsmethoden mittels Röntgenstrahlen vor der Operation überflüssig macht oder auch nur machen soll. Das Hochfrequenzmetallsuchgerät ist in seiner Anwendung vielmehr

auf die Nachlokalisation am Operationstisch beschränkt und besitzt für diesen Zweck allerdings den für die Aufgabe des Suchens großen Vorzug, daß es innerhalb seiner Empfindlichkeitsgrenzen von jedem beliebigen Bezugspunkt aus augenblicklich die Richtung anzugeben gestattet, in der der metallische Fremdkörper verborgen liegt. Insbesondere kann man deshalb schnell und leicht allen Lageveränderungen des Fremdkörpers folgen. Treffend kann man, wie es ein Kollege tat, den erzielten Fortschritt dahingehend kennzeichnen, daß durch die Anwendung des Hochfrequenzmetallsuchgerätes der Tastsinn des Chirurgen für Metall beträchtlich verfeinert und räumlich erweitert wird.

Literatur.

1. W. Comberg: Münchener Med. Wochenschrift, Jahrg. 80, Nr. 45, S. 1783—1784, 1933.
2. G. Küntscher: Zentralblatt für Chirurgie, Jahrg. 61, Nr. 30, S. 1764 bis 1768, 1934.

   Siehe auch G. Küntscher und Jaumann: Zentralblatt für Chirurgie, zur Zeit im Druck.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1940-1941

Band/Volume: 72

Autor(en)/Author(s): Pätzold Johannes

Artikel/Article: Ein Hochfrequenzgerät zum Aufsuchen metallischer Fremdkörper, insbesondere für kriegschirurgische Zweckel 95-104