

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
<b>Herausgeber:</b>	Association suisse des électriciens
<b>Band:</b>	43 (1952)
<b>Heft:</b>	4
<b>Artikel:</b>	Experimentelle Untersuchungen über den elektrischen Widerstand des menschlichen Körpers
<b>Autor:</b>	Söderbaum, Carl E.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1057847">https://doi.org/10.5169/seals-1057847</a>

### **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:** 14.01.2026

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

brachten. Daher wurde auf eine Lokalisierung der übrigen Störer vorläufig verzichtet.

Eine statistische Zusammenfassung der vor der Inbetriebsetzung mit der verbesserten Fernsteuerung ausgeführten Probeschaltungen zeigt folgende Zusammenstellung:

	absolut	relativ %
Summe aller Schaltungen	1680	100
Anzahl Falschschaltungen	0	0
Anzahl Schaltungen, welche 2 Schalt- rundläufe benötigten	7	0,42
Anzahl Schaltungen, welche mehr als 2 Schaltrundläufe benötigten	0	0
Anzahl falscher Rückmeldungen	0	0

	absolut	relativ %
Anzahl Rückmeldungen, welche 2 Rund- läufe benötigten	11	0,65
Anzahl Rückmeldungen, welche mehr als 2 Rundläufe benötigten	0	0

Es ist aus dieser Zusammenstellung zu ersehen, dass die Schaltsicherheit einen sehr hohen Grad erreicht hat.

Die EKZ sind überzeugt, mit diesem ferngesteuerten Unterwerk ein gutes Instrument zur Sicherung der Energieversorgung mit möglichst wirtschaftlichen Mitteln geschaffen zu haben.

#### Adresse des Autors:

Charles Schneider, dipl. Ing., Hanfrose 27, Zürich 55.

## Experimentelle Untersuchungen über den elektrischen Widerstand des menschlichen Körpers

Von Carl E. Söderbaum, Motala (Schweden)

612.014.424

Eine Arbeitshypothese [1]<sup>1)</sup> weist darauf hin, dass Gleichstrom durch die Gewebe und Flüssigkeiten des menschlichen Körpers fließen kann. Dazu kommt bei Wechselstrom und veränderlichem Gleichstrom eine stark kapazitive Komponente, die den Nervenbahnen des Körpers folgt. Die Experimente scheinen diese Hypothese zu bestätigen.

Selon une certaine hypothèse [1]<sup>1)</sup>, un courant continu peut s'écouler par les tissus et les fluides du corps humain. Quand il s'agit de courant alternatif ou de courant continu variable, une forte composante capacitive suit en outre le système nerveux. Les expériences paraissent confirmer cette hypothèse.

### Einleitung

Die grosse Arbeit, die im Laufe der Zeit aufgewandt wurde, um die Verhältnisse bei einem Stromdurchgang durch den menschlichen Körper zu erklären, hatte zur Folge, dass man gewisse Zusammenhänge zwischen den Stromstärken und den körperlichen Reaktionen feststellen konnte. Man weiss, dass für den Eintritt eines gefährlichen Krampfes eine bestimmte Stromstärke nötig ist. Wächst die Stromstärke, so besteht die Gefahr des Herzkammerflimmerns; bei noch grösseren Stromstärken hat die Verbrennung der Gewebe Veränderungen zur Folge, die Überanstrengung der Nieren und Vergiftungen mit sich bringen [2].

Es ist schon versucht worden, eine grundlegende Theorie für den Stromdurchgang durch den Körper aufzustellen. Dabei entwarf man Schalt-schemata und machte Annahmen, aber keine dieser Theorien wurde allgemein angenommen. Um eine Theorie aufzustellen zu können, welche sowohl vom elektrotechnischen als auch vom medizinischen Gesichtspunkt aus angenommen werden könnte, wurden in den letzten Jahren verschiedene Versuche durchgeführt. Das Resultat dieser Versuche und die in diesem Zusammenhang aufgestellte Theorie wird hier dargelegt. Es muss indessen hervorgehoben werden, dass Problemstellung und Versuche auf technische Stromsysteme beschränkt blieben, d. h. bei Wechselstrom auf Frequenzen von höchstens 50 Hz. Die Versuche wurden mit ganz niedrigen Gleich- und Wechselspannungen (meist 10 V) durchgeführt.

Eine Wechselspannung, die mit geeigneten Elektroden an zwei Stellen des Körpers angelegt wird, ruft einen Wechselstrom hervor, welcher stark kapazitiv ist. Daraus, dass eine Gleichspannung im Dauerzustand keinen kapazitiven Strom hervor-

rufen kann, muss geschlossen werden, dass Menschen Gleichspannungen besser aushalten als Wechselspannungen gleicher Grösse. Es fragt sich indessen, ob nicht dieser kapazitive Strom von entscheidender Bedeutung für die Reaktion des Körpers ist. Die Versuche gingen deshalb in erster Linie darauf aus, Klarheit über diese kapazitive Komponente zu bekommen.

Die Versuche können in zwei verschiedene Reihen eingeteilt werden. In der ersten Versuchsreihe wurde der Widerstand mit Volt- und Ampèremetern bestimmt, und die Messungen wurden beim Anlegen von Gleich- und Wechselstrom (im zweiten Fall durch Parallelschalten eines besonderen Zusatzkondensators) durchgeführt. In der zweiten Versuchsreihe wurden Aufnahmen mit dem Kathodenstrahlzillographen gemacht, jedoch ein dreifacher Umschalter mit 6 bzw. 11 verschiedenen Lagen verwendet, so dass man in einer halben Sekunde 7 bzw. 10 verschiedene Messkurven photographieren konnte.

### Versuchsreihe I Messungen mit Ampère- und Voltmetern

Zur Untersuchung der Zunahme der Stromstärke, welche man bei bestimmter Spannung erhält, wenn man von Gleichspannung auf Wechselspannung übergeht, wurden Messungen mit einem Zusatzkondensator durchgeführt.

Die Schaltung der Messanordnung und das dazugehörige Vektordiagramm zeigt Fig. 1. Die voll ausgezogenen Linien zeigen ein Ersatzschema des menschlichen Körpers, bzw. die dementsprechenden Ströme. Die gestrichelten Linien gelten bei Messungen mit einem Zusatzkondensator. Aus der Figur ist ersichtlich, dass bei konstanter Spannung und ohne den Zusatzkondensator  $C_1$  das System bei Gleichstrom  $I_{R0}$ , bei Wechselstrom  $I_0$  durch-

<sup>1)</sup> siehe Literaturverzeichnis am Schluss.  
voir la bibliographie à la fin de l'article.

fliessst. Durch Zuschalten des Zusatzkondensators wird der Wechselstrom  $I_1$  nur durch die kapazitive Komponente  $I_{C_1}$  vergrössert.

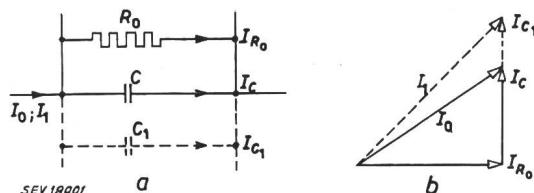


Fig. 1  
Ersatzschema (a) des menschlichen Körpers und  
Vektordiagramm (b) der ersten Versuchsreihe  
Erklärungen siehe im Text

Vergleich der Messungen mit den berechneten Werten

Tabelle I

Ver- suchs- person	Span- nung V	Fre- quenz Hz	$I_1$ gemessen mA	$I_1$ berechnet mA	Differenz zwischen den gemessenen und den berechneten Stromwerten %
A	7	50	1,38	1,79	+ 10,5
A	7	25	1,29	1,36	+ 2,2
B	14	50	3,14	3,46	+ 10,0
B	14	25	2,20	2,28	+ 3,5
C	7	50	1,34	1,37	+ 2,0
C	7	25	0,82	0,84	+ 2,5
D	14	50	2,74	2,98	+ 8,5
D	14	25	1,96	2,02	+ 3,0

Tabelle I zeigt zwischen den gemessenen und den gerechneten Stromwerten eine ziemlich gute Übereinstimmung. Die Differenzen sind dabei immer positiv, was auf einen Systemfehler deutet.

Vom elektrotechnischen Standpunkt aus darf man annehmen, dass der menschliche Körper als ein mit einem Ohmschen Widerstand in Reihe geschalteter Kondensator aufgefasst werden kann. Mit dieser Annahme ändert sich die Schaltung der Fig. 1. Das neue Schaltschema mit dem Vektordiagramm zeigt Fig. 2.

Wenn man die Messungen bei 25 und 50 Hz durchführt, können  $\frac{1}{\omega C}$  und  $R$  berechnet werden.

Wird der Strom auf Grund des Vektordiagrammes der Fig. 2 für die Versuchsperson D aus der Tabelle I berechnet, erhält man  $I_1 = 2,64$  mA. Der gemessene Stromwert betrug 2,74 mA. Der Fehler beträgt somit statt +8,5 % nur -3,7 %.

Eine andere Versuchsreihe, die mit trockenen und mit nassen Handelektroden, ferner mit auf den Rücken der Versuchspersonen befestigten grossen Elektrodenplatten durchgeführt wurde, ergab interessante Resultate (Tabelle II).

Diese Messungen, bei welchen die Differenzen zufriedenstellend niedrig sind, zeigen, dass der Widerstand  $R$ , welcher mit dem Kondensator  $C$  in Reihe geschaltet ist, von derselben Grössenordnung sein muss wie der Parallelwiderstand  $R_0$ . Interessant ist auch, festzustellen, dass die Verwendung einer gross-

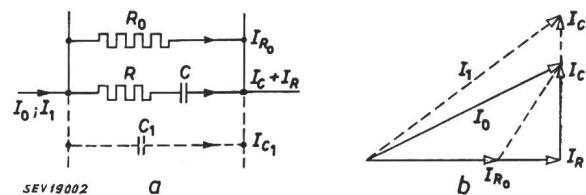


Fig. 2  
Ersatzschema und Vektordiagramm  
Wie in Fig. 1, aber der Kondensator C mit einem Ohmschen Widerstand in Reihe geschaltet

sen Elektrodenplatte auf dem Rücken zu grossen Kapazitäten führt. Diese Werte geben aber kein befriedigendes Resultat, so dass eine Bestätigung oder eine Korrektur durch weitere Messungen und mit anderen Methoden wünschenswert ist.

## Versuchsreihe II

### Messungen mit dem Kathodenstrahlzosillographen

Durch direkte Messungen wurde bewiesen, dass die Widerstandswerte des menschlichen Körpers bei veränderter Gemütsverfassung starken Schwankungen unterworfen sind. Bei den Versuchen wurde

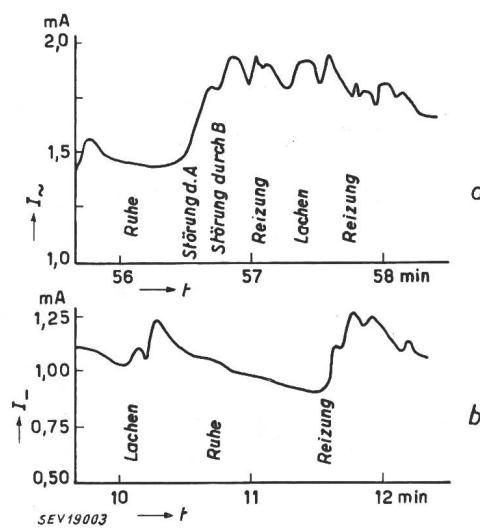


Fig. 3  
Auswirkung der Gemütsverfassung auf den Widerstand des menschlichen Körpers  
a bei 8 V~; b bei 8 V~;  $I_1$ ,  $I$  — Stromstärke;  $t$  — Zeit

Differenzen zwischen Messung und Berechnung bei verschiedenen Elektroden

Tabelle II

Ver- suchs- person	Elektroden- typ	$R_0$ kΩ	$R$ kΩ	$C$ μF	Differenz zwischen den gemessenen und den berechneten Stromwerten $I_1$ %
X	Trockene, kleine Handelektroden	11,7	11,2	0,57	- 5,7
Y	Trockene, kleine Handelektroden	3,7	3,5	1,16	+ 1,7
Z	Trockene, kleine Handelektroden	13,5	8,8	0,46	- 4,5
X	Nasse, grössere Handelektroden	1,5	1,8	1,72	+ 0,8
Z	Nasse, grössere Handelektroden	2,9	1,7	2,3	0
X	Nasse Handelektroden	0,6	0,5	6,7	+ 0,3
Y	Nasse Handelektroden und Elektrodenplatte auf dem Rücken der Versuchsperson	0,7	0,5	10,5	- 1,1
Z	Nasse Handelektroden und Elektrodenplatte auf dem Rücken der Versuchsperson	1,3	0,8	3,8	+ 0,8

ein Film aufgenommen, auf welchem ausser der Versuchsperson ein Milliampèremeter und eine Uhr mit Sekundenzeiger mitaufgenommen wurden. Das Resultat geht aus dem Diagramm der Fig. 3 hervor. Die obere Kurve gibt die Änderung des Wechselstromes, die untere den Gleichstrom bei zwei Versuchen an.

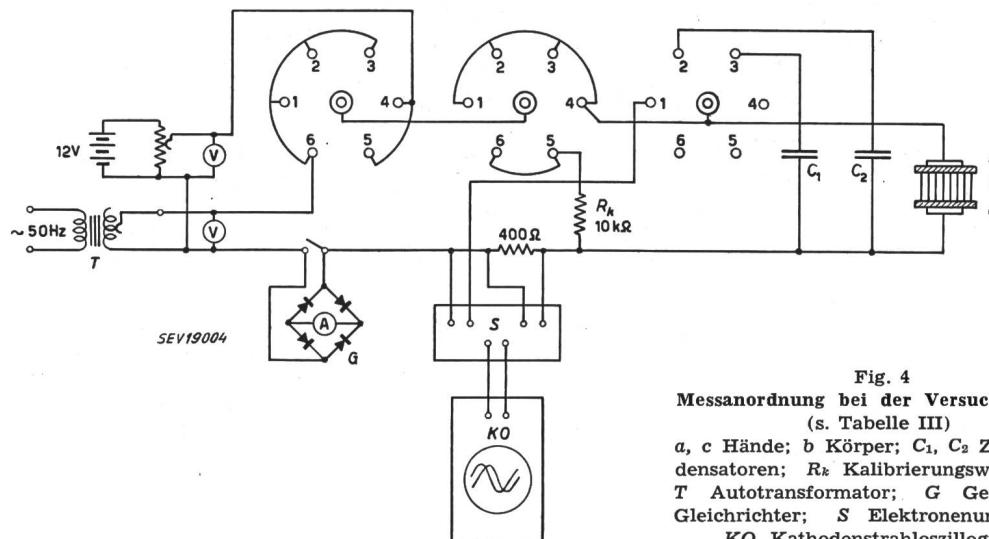


Fig. 4  
Messanordnung bei der Versuchsreihe II  
(s. Tabelle III)  
a, c Hände; b Körper; C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> Zusatzkondensatoren;  
R<sub>k</sub> Kalibrierungswiderstand;  
T Autotransformator; G Germanium-Gleichrichter;  
S Elektronenumschalter; KO Kathodenstrahlloszillograph

Aus den Kurven ist ersichtlich, dass bei Wechselstrom Stromstärken von 1,45 mA bei Ruhe, bis 1,93 mA bei Reizungen, auftraten. Die Schwankung beträgt also 33 %. Die Gleichstromkurve zeigt ähnliche Änderungen von 0,9 mA bis 1,27 mA, das sind 42 %.

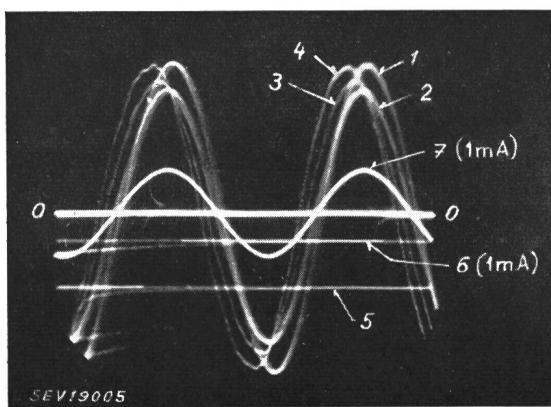


Fig. 5  
Oszillogramm mit 7 verschiedenen Kurven

Um die Veränderungen im Widerstand des menschlichen Körpers bei Gemütsbewegungen abklären zu können, wurde für die oszillographische Untersuchung ein dreifacher Umschalter mit 6 verschiedenen Stellungen in einer Messanordnung gemäss Fig. 4 verwendet. Mit diesem konnten folgende 7 Kurven (Fig. 5) gleichzeitig innert 0,5 s festgehalten werden:

1. Wechselspannung zwischen den Elektroden;
2. Wechselstrom in den Elektroden ohne Zusatzkondensator;
3. Wechselstrom in den Elektroden bei einem parallelgeschalteten Zusatzkondensator von 0,25  $\mu$ F;
4. Wechselstrom in den Elektroden bei einem parallelgeschalteten Zusatzkondensator von 0,5  $\mu$ F;

5. Gleichstrom in den Elektroden;
6. Gleichstrom im Kalibrierungswiderstand;
7. Wechselstrom im gleichen Kalibrierungswiderstand.

Eine direkte Ermittlung der Phasenverschiebung aus dem Oszillogramm konnte mit der gewünschten Präzision nicht durchgeführt werden. Die Phasenwinkel wurden deshalb berechnet. Ausgegangen

wurde dabei von den Stromwerten mit und ohne Zusatzkondensator. Bei den Versuchen wurden zwei verschiedene Zusatzkondensatoren verwendet, um die Resultate kontrollieren zu können. Als Elektroden kamen kreisförmige Metallplatten zur Verwendung. Fig. 6 zeigt die Messanordnung. In

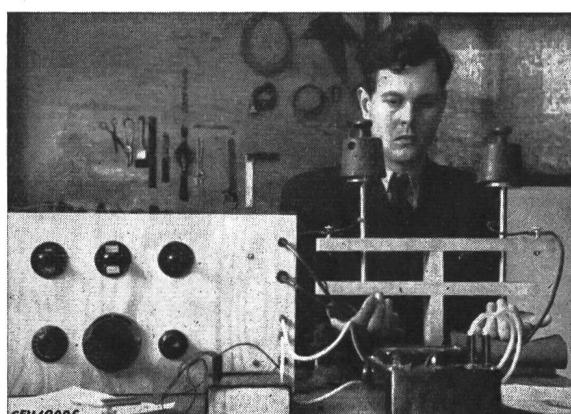


Fig. 6  
Messanordnung

jede Hand der Versuchsperson wurde eine Elektrode gelegt und diese mit einem Druck von 0,13 kg/cm<sup>2</sup> belastet. Bei diesem Versuch wurden zwischen Hand- und Metallelektroden in 3%-Kochsalzlösung getränkende Leinenlappen gelegt. Die Resultate dieser Messungen, welche bei einer Spannung von 10 V durchgeführt wurden, zeigt Tabelle III.

Die Messergebnisse zeigen, dass der Gleichstromwiderstand R<sub>0</sub> bei Reizungen zurückgeht. Da bei den Versuchen eine Rötung des Gesichtes im Falle einer Reizung beobachtet wurde, dürfte die Änderung des Widerstandes R<sub>0</sub> mit der Durchblutung

Messergebnisse

Tabelle III

Versuchsperson		$I_0$ mA	$R_0$ kΩ	$R$ kΩ	$C$ μF
Bezeichnung	Gemütsverfassung				
K	ruhig	3,03	3,9	13,2	0,28
K	gereizt	3,50	3,2	14,8	0,27
L	ruhig	2,94	4,1	15,1	0,32
L	ruhig	2,94	4,2	13,6	0,37
L	ruhig	2,88	4,2	12,9	0,32
M	ruhig	3,08	3,9	9,5	0,27
M	gereizt	3,73	3,0	9,8	0,27
N	ruhig	2,24	5,1	12,3	0,18
N	gereizt	3,00	4,0	12,6	0,19

der Haut zusammenhängen. Gleichzeitig können auch innere Änderungen im Körper (Herzwirksamkeit) entstehen. Der Widerstand  $R$  (siehe Fig. 2) scheint bei Reizungen eine ganz kleine Vergrösserung zu erfahren. Dagegen ist die Kapazität  $C$  beinahe konstant, was mit Rücksicht auf die erwähnten Veränderungen in der Haut besonders interessant ist. Diese Versuche scheinen unsere Behauptungen zu unterstützen:

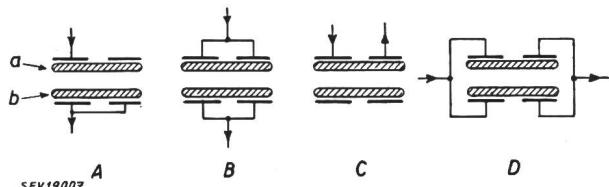


Fig. 7  
Elektrodenanordnungen bei Messungen mit geteilten kreisförmigen Elektroden  
a rechte Hand; b linke Hand

Um weiteres Material für die Beurteilung der Frage zu schaffen, wurde eine neue Versuchsreihe durchgeführt, bei welcher die kreisförmigen Elektroden in zwei Hälften unterteilt wurden. Die Elektrodenanordnungen wurden nach Fig. 7 gewählt. Die Schaltung ist aus Fig. 8 ersichtlich.

Messergebnisse

Tabelle IV

Ver- suchs- person	$I_0$ mA	$R_0$ kΩ	$R$ kΩ	$C$ μF	Elektro- den- anordnung		Bemerkungen
					(Fig. 7)		
O	0,35	47,7	21,9	0,07	A		trockene Hände
O	0,62	35,6	6,6	0,16	B		trockene Hände
O	0,35	57,2	17,3	0,09	C		trockene Hände
O	0,66	34,7	5,6	0,17	D		trockene Hände
P	0,48	39,2	12,0	0,11	A		trockene Hände
P	0,89	22,3	9,7	0,21	B		trockene Hände
P	0,44	51,3	14,7	0,11	C		trockene Hände
P	0,90	24,5	7,4	0,23	D		trockene Hände
P	1,30	12,6	6,9	0,26	B		nasste Hände
L	0,48	42,7	24,7	0,09	A		trockene Hände
L	0,90	18,5	4,7	0,18	B		trockene Hände
L	0,47	39,7	18,4	0,11	C		trockene Hände
L	1,10	13,5	9,9	0,19	D		trockene Hände
L	1,42	9,8	8,7	0,22	B		nasste Hände

Werden die Messergebnisse bei nassen und bei trockenen Elektroden der Schaltungen *A* (zwei parallelgeschaltete Elektrodenhälften in der einen Hand und eine Elektrodenhälfte [Kontaktfläche = 100 %] in der anderen Hand) und *B* (je zwei Elektrodenhälften [Kontaktfläche = 200 %] in beiden Händen) zusammengestellt, erhält man folgendes Bild:

Versuchsperson	Schaltung A			Schaltung B			
	<i>O, P, L</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>L</i>	<i>O</i>	<i>P</i>	<i>L</i>
Kontaktfläche	%	100			200	200	200
$I_0$	%	100			177	186	191
$R_0$	%	100			74	57	43
$R$	%	100			30	81	19
$C$	%	100			232	191	198

Man sieht, dass sich die Kapazität mit der Kontaktfläche vergrössert. Die Widerstände zeigen dagegen ungleiche prozentuale Verminderungen.

Werden die Kontaktanordnungen nach *B* und *D* verglichen, so findet man, dass die Kapazität konstant bleibt. Bei Schaltung *B* fliesst der Strom von

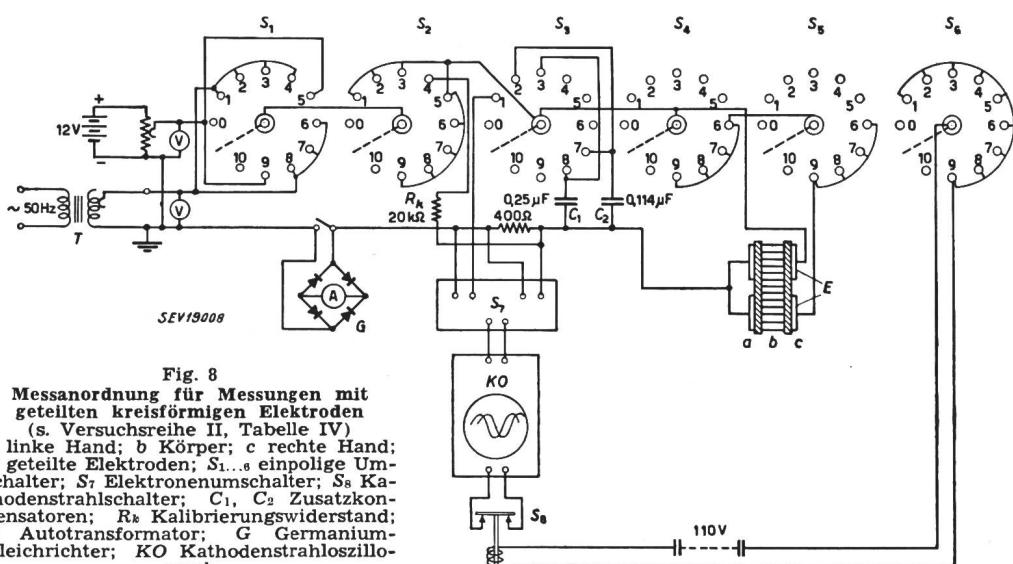


Fig. 8  
Messanordnung für Messungen mit geteilten kreisförmigen Elektroden  
(s. Versuchsreihe II, Tabelle IV)  
a linke Hand; b Körper; c rechte Hand;  
E geteilte Elektroden; S<sub>1</sub>...S<sub>6</sub> einpolige Um-  
schalter; S<sub>7</sub> Elektronenumschalter; S<sub>8</sub> Ka-  
thodenstrahlschalter; C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> Zusatzkon-  
densatoren; R<sub>k</sub> Kalibrierungswiderstand;  
T Autotransformator; G Germanium-  
Gleichrichter; KO Kathodenstrahlzillo-  
graph

Der spezifische Kontaktdruck war bei diesen Versuchen 0,14 kg/cm<sup>2</sup>, die Spannung 10 V. Die Elektroden waren abwechselnd feucht und trocken, wie aus Tabelle IV hervorgeht.

einer Hand zur anderen durch den Körper, während bei Schaltung *D* der Strom zwischen den beiden Elektrodenhälften der gleichen Hand fliesst. Die Widerstände  $R_0$  sind hoch und zeigen ungleich-

mässige Veränderungen. Dies ist mit der Verschiedenheit der Hautwiderstände erklärbar. Auch die Widerstände  $R$  zeigen in diesem Fall ungleichmässige Veränderungen. Die Unterschiede der Kapazität bei den Elektrodenanordnungen  $A$  und  $C$  sind klein. Bei der Schaltung nach  $C$  konnte man auch Stromveränderungen infolge veränderter Gemütsverfassung beobachten.

Werden schliesslich die Messresultate für die Kontaktanordnung nach  $B$  bei trockenen und bei nasen Elektroden verglichen, so findet man gemäss Tabelle V, dass die Kapazität  $C$  ziemlich konstant bleibt, während der Widerstand  $R_0$  stark sinkt, wenn die Haut mit Salzlösung befeuchtet wird.

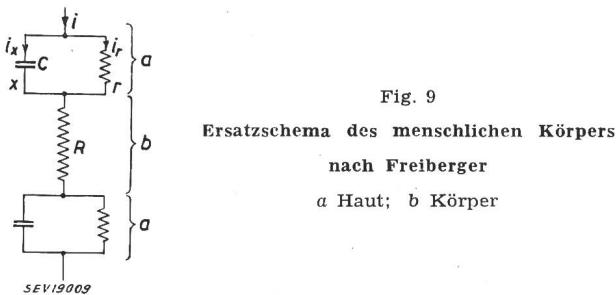
Messergebnisse bei Elektrodenanordnung B in Fig. 7  
Tabelle V

Versuchs-person	Zustand der Elektrode	$R_0$ %	$R$ %	$C$ %
P	trocken	100	100	100
P	nass	56	71	122
L	trocken	100	100	100
L	nass	53	185	122

Die relative Konstanz der Kapazität bei sinkendem Hautwiderstand weist darauf hin, dass die Kapazität vom Zustand der Haut nicht abhängig ist.

### Ältere Theorien

Wie bereits erwähnt, wurden bis jetzt verschiedene Theorien über dieses Thema aufgestellt. *Malov* und *Rschevkin* [3] behaupteten im Jahre 1930, dass es sich im menschlichen Körper um Polarisationskapazitäten handelt. *Freiberger* [4] hat im Jahre 1934, nach umfassenden Messungen sowohl an lebenden als auch an toten Menschen, ein Ersatzschema gemäss Fig. 9 aufgestellt. Er fand, dass die



Haut sowohl Ohmsche als kapazitive Widerstände aufweist; dagegen sollte der innere Widerstand des Körpers einen Ohmschen Charakter haben. *Lychou* [5] hat nach ausgedehnten Messungen folgende Feststellungen über die Einwirkung des elektrischen Stromes auf dem menschlichen Körper gemacht:

«Bei Reizen eines Muskels auf elektrischem Wege bekommt man verschiedene Resultate bei Gleichstrom und Wechselstrom.»

«Bei Gleichstrom kontrahiert der Muskel momentan unter der Voraussetzung, dass die Stromstärke einen gewissen Schwellenwert erreicht. Unter diesem Wert lässt sich der Muskel nicht kontrahieren. Während fortlaufender Einwirkung von diesem Gleichstrom geht der Muskel allmählich zurück. Wenn der Strom plötzlich abgeschaltet wird, kontrahiert er doch wieder. Man erhält entsprechende Veränderung, wenn man die Gleichstromstärke schnell ändert, gleichgültig ob es eine Erhöhung oder eine Verminderung ist. Es ist somit die erste

Ableitung des Stromes, welche die Kontraktion bestimmt. Ist diese gross, erhält man eine Kontraktion, ist sie dagegen klein oder null, bleibt der Muskel ungereizt. Bei Wechselstrom bekommt man einen entsprechenden Verlauf in jeder Halbperiode.»

«Wenn die Stromwechsel so schnell stattfinden, dass der Muskel zwischen den verschiedenen Kontraktionen nicht zurückgehen kann, erhält man einen Krampf, d. h. der Muskel bleibt bei Stromdurchgang immer in Kontraktion. Die Physiologen geben an, dass der Krampf bei 20 Wechseln pro Sekunde entsprechend 10 Hz eintritt. Der Krampf soll bei 50 Hz am besten ausgebildet sein, was damit zusammenhängen sollte, dass die Frequenz der Aktionsströme in den menschlichen Nerven ungefähr 50 Hz ist.»

Es sollte in diesem Zusammenhang festgestellt werden, dass bei relativ konstanten Widerstandsverhältnissen das Zeitderivat der Spannung entscheidend wird. Diesen Zusammenhang erhält man bei dem menschlichen Körper, weil die Widerstandsveränderungen des Körpers so langsam sind, dass sie aus elektrischen Gesichtspunkten als konstant betrachtet werden können. Man bekommt dann dieselben Verhältnisse wie bei einem Kondensator. Dieser lässt eine Strömstärke durch, welche dem Zeitderivat der Spannung proportional ist.

### Vergleich der Versuchsresultate mit den früheren Theorien

Betrachtet man die Versuchsresultate, so findet man, dass die Widerstände des menschlichen Körpers von der Gemütsverfassung abhängig sind. Wenn man eine ruhige Person reizt, kann ihr Widerstandswert bis auf 60 % des Maximalwertes sinken. Messungen, welche diese Verhältnisse nicht berücksichtigen, kommen zu falschen Resultaten.

Schon die ziemlich einfachen Messungen der ersten Versuchsreihe deuten darauf hin, dass man gegenüber Gleichstrom bei Wechselstrom eine neue

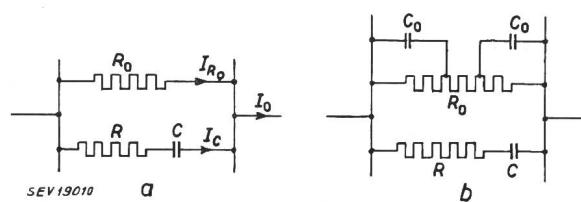


Fig. 10  
Ersatzschemata des menschlichen Körpers  
Erklärungen siehe im Text

Strombahn erhält, welche in der Hauptsache parallel mit der Gleichstrombahn läuft. Das Ersatzschema kann gemäss Fig. 10 gezeichnet werden. Die neue Wechselstrombahn wird durch eine kapazitive Überführung ermöglicht. Dass diese Kapazität allein in der Haut vorhanden sein sollte, wie es Freiberger behauptete, scheint unwahrscheinlich zu sein. Die Kapazität ist viel zu gross und kann nicht mit grossen Dielektrizitätskonstanten oder ausserordentlich kleinen Abständen zwischen den leitenden Platten des Kondensators erklärt werden. Die Berechnung bei unseren Untersuchungen zeigt, dass die Kapazität in der Haut nicht grösser sein kann als  $1 \cdot 10^{-3} \mu\text{F}$ . Solche Kapazitäten ( $C_0$  in Fig. 10b) können das Resultat nicht stärker beeinflussen als die Messfehler. Man kann also weiterhin das Schema in Fig. 10a als richtig annehmen. Die Resultate der

Versuchsreihe II scheinen diese Annahme zu bestätigen.

Diese Behauptungen werden durch die Beobachtungen von Lychou bestätigt. Danach verhält sich das unter Spannung gesetzte Nervensystem wie ein Kondensator. Der Stromübergang in das Nervensystem muss auf kapazitivem Wege vor sich geben. Das scheint um so wahrscheinlicher, als die Nerven auch normalerweise elektrische Impulse durchlassen. Man weiss auch, dass die Umhüllung der Nerven weniger leitend ist als die eigentlichen Nerven. Wo diese kapazitive Übertragung stattfindet, ob sie an den Nervenenden oder den Nerven entlang entsteht, spielt in diesem Zusammenhang keine entscheidende Rolle.

Diese Überlegungen führen zu dem Ersatzschema des menschlichen Körpers gemäss Fig. 10, a. Dieses hat zwei Strombahnen. Die eine besteht aus Ohmschen Widerständen in der Haut, in den Körperflüssigkeiten und in den Geweben. Die andere Strombahn muss auch die Haut passieren, geht dann aber auf kapazitivem Wege auf das Nervensystem über.

### Schlussfolgerungen

Die vorstehenden Feststellungen geben eine Erklärung für den bei Wechselstrom entstehenden

Krampf. Besonders gross wird diese Krampfgefahr, wenn der Körper feucht ist. In diesem Fall können ganz niedrige Spannungen gefährlich werden.

Betrachtet man das Herzkammerflimmern, so sollte es wohl auch möglich sein, dieser Erscheinung auf elektrischem Wege beizukommen. Es gibt nämlich gewisse Herznerven, die eine Erhöhung der Herzfrequenz, und andere, die deren Verminderung hervorrufen können. Wenn man zweckmässige Elektroden anbringen und geeignete Stromquellen herstellen kann, sollte es möglich sein, eine Methode für die Bekämpfung dieser Erscheinung zu finden. Es scheint, als ob Furuheim [6] den richtigen Weg betreten hätte.

### Literatur

- [1] Grönberg und C. E. Söderbaum. Tekn. Tidskr. Bd. - (1946), Nr. 14.
- [2] Fischer, H. und R. Fröhlicher: Neue Erkenntnisse und Behandlungsmethoden beim Hochspannungsunfall. Bull. SEV Bd. 38 (1947), Nr. 16, S. 496...498.
- [3] Malov und Rschevkin. Z. Hochfrequenztechn. Bd. 35 (1930), Nr. 5, Mai.
- [4] Freiberger: Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers gegen technischen Gleich- und Wechselstrom. Berlin: Springer 1934.
- [5] Dag Lychou: Über elektrische Unfälle. Examenarbeit. Königliche techn. Hochschule Stockholm 1932.
- [6] Furuheim, Vidar: Elektrisk gjenoppliving. Elektrotekn. T. Bd. 61 (1948), Nr. 26, September, S. 304...305.

Adresse des Autors:  
C. E. Söderbaum, Kapellgatan 10, Motala (Schweden).

## Possibilités d'une collaboration de la Suisse au développement de l'économie électrique de l'Europe

Par H. Niesz, Baden, R. Hochreutiner, Laufenbourg, et W. Bänninger, Zurich

621.311 (494)

*Le Comité Electricité de la Ligue Européenne de Coopération Economique (Strasbourg) a prié les représentants des pays européens de lui fournir un exposé sur les apports possibles des différents pays au développement de l'économie électrique de l'Europe. Les auteurs se sont chargés d'établir ce rapport concernant la Suisse. Ils ont jugé utile de le publier ici, d'abord pour l'information de leurs collègues suisses, et ensuite pour soutenir les efforts en vue d'un règlement des questions financières qui s'opposent encore au développement futur de la collaboration internationale dans le domaine de l'énergie électrique.*

*Das Komitee Elektrizität der Europa-Liga für wirtschaftliche Zusammenarbeit (Strassburg) ersuchte die Vertreter der europäischen Länder um ein Exposé über die möglichen Beiträge an die weitere Entwicklung der europäischen Elektrizitätswirtschaft. Die Autoren übernahmen die Ausarbeitung des schweizerischen Berichtes. Sie hielten es für zweckmäßig, ihn hier zu veröffentlichen, zunächst, um ihn ihren Kollegen zur Kenntnis zu bringen, dann aber auch, um die Bemühungen zu unterstützen, die zur Lösung der einschlägigen finanziellen Fragen unternommen werden; solange diese finanziellen Fragen nicht geregelt sind, ist die weitere Entwicklung der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Elektrizitätswirtschaft stark behindert.*

### I. Généralités

La Suisse se trouve dans une situation particulière en ce qui concerne ses possibilités d'apport à la production d'énergie électrique de l'Europe, par le fait qu'elle ne dispose pas de gisements de charbon ou de lignite, ou même d'hydrocarbures, mais uniquement de forces hydrauliques.

Ces forces hydrauliques sont limitées non seulement par la quantité que la nature met à notre disposition, mais également par leur qualité économique. Aussi, le total de la production annuelle possible dépendra-t-il en premier lieu de la possibilité économique de mise en valeur de ces ressources, et ce chiffre variera précisément suivant les données économiques que l'on place à la base de l'évaluation: c'est donc un problème de rentabilité plus encore qu'un problème d'inventaire géographique. En estimant avec quelque réserve les richesses hydrauliques, on peut admettre que la production pos-

sible maximum est de 25 milliards de kilowattheures (kWh) par an, ce chiffre comprenant aussi bien la production des usines actuellement en exploitation, soit 11 milliards de kWh, que celle des installations en construction qui, dès 1956, fourniront 3,7 milliards de kWh par année.

On aménage évidemment les forces hydrauliques bon marché avant celles qui coûtent plus cher. Pour cette raison et plus encore par suite de l'augmentation du prix des matières premières et de la main-d'œuvre, l'électricité produite dans les usines à construire à l'avenir coûtera sensiblement plus cher que celle produite dans le passé, ce qui pourra, dans une certaine mesure, freiner le développement.

Il n'est pas facile d'évaluer la demande future d'énergie électrique. L'électricité entre actuellement pour 26 % dans la couverture totale des besoins d'énergie utile sous toutes ses formes (chaleur, énergie mécanique et chimique, lumière) et, pour mainten-