

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 31 (1940)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Erdungswiderstand der verschiedenen Bodenarten  
**Autor:** Münger, O.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1061390>

### **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:** 17.02.2026

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

# SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

# BULLETIN

REDAKTION:  
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des  
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

ADMINISTRATION:  
Zürich, Stauffacherquai 36 ♦ Telefon 5 17 42  
Postcheck-Konto VIII 8481

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXXI. Jahrgang

N<sup>o</sup> 23

Mittwoch, 13. November 1940

## Erdungswiderstand der verschiedenen Bodenarten.

Von O. Münger, Zürich.

621.316.993

*Es wird über Untersuchungen berichtet, die die Bestimmung des Widerstandes verschiedener Bodenarten zum Gegenstand haben. Es zeigt sich, dass der Widerstand hauptsächlich vom Porenwassergehalt und dem Widerstand des Porenwassers abhängig ist. Abweichungen zwischen bekannten Messungen werden begründet. Zum Schluss wird noch auf die Methoden zur Messung des Bodenwiderstandes eingegangen und auf das geoelektrische Sondier-Verfahren hingewiesen.*

*Il s'agit d'un rapport sur des recherches concernant la prédétermination de la résistivité de différentes sortes de terrains. On a constaté que la résistivité dépend principalement de la quantité et de la résistivité de l'eau contenue dans les pores. Les écarts constatés entre des mesures connues sont expliqués. Pour terminer, l'auteur indique les méthodes applicables à la mesure de la résistivité du sol et p<sup>u</sup>s particulièrement le procédé de sondage géoélectrique.*

Der Widerstand einer Erdung setzt sich bekanntlich aus dem Widerstand der metallischen Leiter und dem Widerstand des den Leiter umgebenden Bodenmaterials zusammen. Auf den ersten, der im Verhältnis zu demjenigen der Bodenmaterialien im allgemeinen sehr klein ist, soll hier nicht weiter eingetreten werden, ebensowenig auf die Form und die Abmessungen des Erders und seine Anordnung im Erdboden. Die Ausführungen beschränken sich somit auf den spezifischen elektrischen Widerstand der Bodenmaterialien und seine Messung.

Die ersten Angaben über den Widerstand von Bodenarten finden sich im Artikel Ruppel<sup>1)</sup>. Sie beziehen sich auf Sand, Gartenerde, Humuserde, Lehm und normalen (?) Feldboden und resultieren aus Messungen im Laboratorium. Deutlich geht aus ihnen hervor, dass für ein und dieselbe Bodenart der Widerstand mit steigendem Wassergehalt abnimmt.

In der Verordnung über Starkstromanlagen<sup>2)</sup> sind folgende Vergleichszahlen angegeben:

| Lehm | Humus | Sand | Kies | Wasser           |
|------|-------|------|------|------------------|
| 1    | 2     | 3    | 10   | eher mehr als 10 |

In den Jahren 1929...31 haben die Elektrizitätswerke des Kantons Zürich Messungen zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Bodenarten, die bei Erdungsanlagen in Frage kommen, ausgeführt. Die wertvollen Resultate dieser Versuche wurden von E. Sprecher<sup>3)</sup> veröffentlicht.

<sup>1)</sup> Ruppel, Erdungen zur Erreichung eines hohen Schutzwertes, ETZ 1913, S. 1221.

<sup>2)</sup> Verordnung über die Erstellung, den Betrieb und den Unterhalt von elektrischen Starkstromanlagen, vom 7. Juli 1933.

<sup>3)</sup> Sprecher, Untersuchungen über den Erdungswiderstand verschiedener Bodenarten und die Vorausberechnung der Elektroden. Bull. SEV Bd. 25 (1934), Nr. 15.

Inzwischen wurde durch die mehr als siebenjährige praktische Anwendung des Widerstandsverfahrens für die geo-elektrische Bodensondierung ein erweiterter Einblick in die Widerstandsverhältnisse der obersten Schichten des Bodens gewonnen. Da die Ergebnisse auch für den sich mit Erdungsfragen beschäftigenden Elektrofachmann von Interesse sind, seien sie im folgenden kurz zusammengefasst. Dabei wird als Einheit des spez. Widerstandes der in der praktischen Geophysik übliche Widerstand eines Meterwürfels (Ohm pro m<sup>2</sup>/m = Ohm·m) beibehalten.

Die meisten gesteinsbildenden Mineralien haben einen elektrischen Widerstand von 10<sup>8</sup>...10<sup>14</sup> Ohm·m; sie sind also praktisch Nichtleiter. Der Widerstand, der durch sie gebildeten Gesteine ist hauptsächlich abhängig vom Porenwassergehalt und der Leitfähigkeit des Porenwassers. Daneben hat, wenn auch nur in geringem Masse, die Gesteinsstruktur einen Einfluss. Bei geschieferten Gesteinen z. B. ist er in der Richtung parallel etwas kleiner als senkrecht zur Schieferung. Weiter gibt es eine, wenn auch kleine, Zahl von Erzmineralien, die eine nahezu metallische Leitfähigkeit besitzen. In den Erzgängen und sonstigen Erzkörpern kommen diese Mineralien aber stets nur verwachsen mit schlecht leitenden vor. Der Widerstand von Gesteinen mit einem Gehalt von 5...20 % gutleitender Mineralien ist bei gleichem Wassergehalt gegenüber demjenigen normaler Gesteine nur sehr wenig verschieden. Bei einem Gehalt von weniger als 5 % gutleitender Erzminerale besteht in der Regel überhaupt kein Widerstandsunterschied mehr, es sei denn, es liege eine ausgesprochene Schieferung vor.

Das Volumen der mit Luft oder Wasser gefüllten Poren der Gesteine wird gewöhnlich in Prozen-

ten des Gesamtvolumens angegeben (Festmasse + Poren = 1).

Tabelle I gibt die Porenvolumen einer Anzahl Locker- und Felsgesteine an.

Porenvolumen.

Tabelle I.

|  | %             |
|--|---------------|
| Schlamm, Torf, frisch sedimentierte Tone | 70 ... 90     |
| Weiche Tone . . . . .                    | 50 ... 70     |
| Steifere Tone . . . . .                  | 30 ... 50     |
| Schiefertone . . . . .                   | 5 ... 15      |
| Löss . . . . .                           | 40 ... 60     |
| Lösslehm . . . . .                       | 25 ... 40     |
| Gleichkörnige Sande . . . . .            | 25 ... 50     |
| Ungleichkörnige Kiessande . . . . .      | 15 ... 30     |
| Mergel . . . . .                         | 35 ... 50     |
| Sandstein . . . . .                      | 7 ... 34      |
| Kalkstein . . . . .                      | 1 ... 34      |
| Granit . . . . .                         | 0,05 ... 0,90 |

Die Wasserfüllung der Gesteinsporen ist sehr verschieden. Grobporige Gesteine, z. B. Kies, sind im Bereich des Grundwassers nahezu mit Wasser erfüllt, während feinporige, wie Ton und Lehm, auch hier noch Gase, in erster Linie Luft, enthalten. Bei Kiessand z. B. wurden über dem Grundwasserspiegel Porenwassergehalte von 2...10 % (von der Festmasse) festgestellt, während unter dem Grundwasserspiegel sich 18...25 % ergaben.

Nach der Fähigkeit, Wasser aufzunehmen, festzuhalten und weiterzuleiten, sind die Gesteine in 4 Gruppen einzuteilen.

In die erste gehören diejenigen, die undurchlässig und sehr wenig wasseraufnahmefähig sind, z. B. Granit. Das in ihnen enthaltene Wasser wird als Bergfeuchtigkeit bezeichnet. Entsprechend dem kleinen Porenvolumen und geringen Wassergehalt ist der spez. Widerstand hoch. Gemessen wurden unter anderem Werte von 70 000 Ohm·m.

Eine zweite Gruppe wird von denjenigen Gesteinen gebildet, die Wasser in erheblichen Mengen aufzunehmen vermögen, aber ohne äussere Einflüsse nicht imstande sind, es weiterzuleiten. Dazu gehören die Tone und Lehme. Die Ursache, warum diese Gesteine trotz ihres grossen Porenvolumens und daher grosser Wasseraufnahmefähigkeit praktisch undurchlässig sind, liegt darin, dass durch die ausserordentliche Feinheit der Poren das aufgenommene Wasser mit grosser Energie festgehalten wird. Durch einen äusseren Druck kann diese wasserhaltende Kraft jedoch mehr oder weniger überwunden werden, wodurch dann auch diese Gesteine einen gewissen Grad von Durchlässigkeit erlangen. Konstatiert wurden für Lehm und Ton bisher Widerstandswerte von 14...50 Ohm·m.

Die dritte Gruppe umfasst Gesteine, die das Wasser mit grosser Begier und in grossen Mengen aufnehmen, beim Hinzukommen immer neuer Wassermengen dieselben langsam nach unten hin entweichen lassen; sie besitzen ein langsames Wasserleitungsvermögen. Beispiele: Löss und Schreibkreide.

Die vierte Gruppe endlich bilden die gut durchlässigen Gesteine, die grosse Wassermengen aufnehmen und fortzuleiten vermögen. Zu ihnen ge-

hören die Trümmergesteine wie Kies und grober Sand. Auffallen dürfte, dass sie trotz geringern Porenvolumens als Lehm und Ton (15...30 gegen 30...90 %) besser durchlässig sind. Das kleinere Porenvolumen von Kies und grobem Sand wird verursacht durch die verschiedenen Korngrössen, wobei die feinkörnigeren Bestandteile teilweise die Lücken zwischen den gröbern ausfüllen. Trotzdem sind aber ihre Poren grösser als bei Lehm und Ton, daher die bessere Durchlässigkeit.

Für Sand gilt dies nur soweit, als seine Korngrösse über ein bestimmtes Mass hinausgeht, und zwar liegt dieses bei 0,2...0,1 mm. An dieser Grenze tritt eine vollständige Umkehrung hinsichtlich der Durchlässigkeit ein. Während alle diese Korngrösse übertreffenden Sande das Wasser noch leicht durchlassen, sind die Sande von der Korngrösse 0,2...0,1 mm an abwärts dem Wasser gegenüber zunächst schwer durchlässig und sobald sie sich selbst mit Wasser gesättigt haben, fast vollständig undurchlässig.

Entsprechend ihrem starken Wechsel im Wassergehalt (2...25 %) schwanken die bisher gefundenen spez. Widerstandswerte für gewachsenen Kies und Sand in ziemlich grossen Grenzen, nämlich von 60...3000 Ohm·m.

Auf eine weitere physikalische Eigenschaft der Untergrundmaterialien sei noch hingewiesen, trotzdem auch diese auf den ersten Blick für den Erdungswiderstand als belanglos erscheint; es ist die Kapillarität. In engen Haarröhrchen steigt bekanntlich das Wasser kapillar in die Höhe, je enger, desto höher. In den Porenängen der Bodenmaterialien geschieht dasselbe. Tabelle II gibt einige Daten über die kapillare Steighöhe.

Kapillare Steighöhe.

Tabelle II.

|                       | m             |
|-----------------------|---------------|
| Feiner Sand . . . . . | 0,1 ... 0,5   |
| Schluffsand . . . . . | 0,5 ... 2,0   |
| Löss . . . . .        | 2,0 ... 5,0   |
| Lehm . . . . .        | 5,0 ... 15,0  |
| Magerer Ton . . . . . | 20,0 ... 50,0 |
| Fetter Ton . . . . .  | über 50,0     |

Lehm- und Tonböden können somit den z. B. durch Ausdunstung der obersten Schicht entstehenden Wasserverlust aus Grundwasser auch grösserer Tiefe ergänzen, wodurch ihre Austrocknung verhindert wird.

Nun zum elektrischen Widerstand des Wassers. Dieses hängt ab vom Elektrolytgehalt und der Temperatur. Chemisch reines Wasser soll einen Widerstand von 250 000 Ohm·m haben. Destilliertes Wasser, das zum Nachfüllen von Akkumulatoren verwendet wird, ergab 1140 Ohm·m, wogegen in Glasgefäss aufgefangenes Regenwasser nur noch 800 Ohm·m hat. Bei Proben aus Oberflächenwasser, also Bächen, Flüssen und Seen wurden Widerstände von 34...125 Ohm·m gemessen, während bei normalem Grundwasser (ohne Eisen- oder Gipsgehalt) solche von 19...33 Ohm·m konstatiert wurden. Bei Vorhandensein von Eisen oder Gips sanken sie bis

auf 5 Ohm·m herab. Ebenso setzt ein NaCl-Gehalt den Widerstand stark herab. Ein solcher von 0,05 % drückt ihn auf  $\frac{1}{10}$  herab, während stärkere Solen nur noch  $\frac{1}{1000}$  des Widerstandes von normalem Grundwasser haben. Alle Widerstandswerte sind auf die Vergleichstemperatur von 18° bezogen.

Tabelle III gibt den Temperaturumrechnungsfaktor für die Wärmegrade 2...25° C an.

Temperaturumrechnungsfaktor für Wasser.

Tabelle III.

| ° C | Temp.-Umrechnungsfaktor |
|-----|-------------------------|
| 2   | 1,625                   |
| 4   | 1,501                   |
| 6   | 1,389                   |
| 8   | 1,298                   |
| 10  | 1,225                   |
| 12  | 1,160                   |
| 14  | 1,101                   |
| 16  | 1,048                   |
| 18  | 1,000                   |
| 20  | 0,956                   |
| 22  | 0,916                   |
| 24  | 0,879                   |
| 25  | 0,861                   |

Bei den Oberflächenwassern muss mit einer jährlichen Temperaturschwankung von 2...25° gerechnet werden, während diese sich beim Grundwasser nur innert der Grenzen von ca. 9...14° bewegt. Die angeführten Widerstandswerte, bezogen auf die Vergleichstemperatur von 18°, können somit jährlich schwanken:

|                      |                |
|----------------------|----------------|
| Oberflächenwasser    | 29...203 Ohm·m |
| normales Grundwasser | 21... 41 Ohm·m |

Ueber den Zusammenhang zwischen Porenwassergehalt, Leitfähigkeit des Porenwassers und Widerstand der betr. Bodenart wurden von verschiedenen Geophysikern Formeln aufgestellt. Nach eigenen Versuchen hat sich diejenige von Hummel als zutreffend erwiesen; sie lautet

$$\varrho_e = \frac{\varrho_w (3 - p)}{2 p}$$

wo:  $\varrho_e$  spez. Widerstand der Bodenart,

$\varrho_w$  spez. Widerstand des Porenwassers,

$p$  Porenwassergehalt in % von der Festmasse.

In Fig. 1 sind die Resultate eines Modellversuches mit der Formel von Hummel zusammengestellt. Verwendet wurde ein an der Luft getrocknetes Gemisch von Sand und Kies, das in ein Messgefäss von 25/17/15 cm Grösse sorgfältig eingefüllt und eingestampft wurde. Dann ist Wasser, das einen Widerstand von 26,4 Ohm·m hatte, sukzessive eingegossen und die Widerstände sind gemessen worden. Die ausgezogene Linie entspricht den Widerstandswerten nach der Formel von Hummel.

Bei den Wasserzusätzen unter 6,7 % ergaben sich grössere Streuungen, die davon herrühren, dass das eingegossene Wasser sich nicht gleichmässig über den ganzen Inhalt verteilen konnte, sondern von

den oberen Schichten aufgesogen und festgehalten wurde. Bei 32,3 Vol.-% Zusatz war die Wasseraufnahmefähigkeit erreicht. Dieses verhältnismässig grosse Quantum besagt, dass das Versuchsmaterial (im Interesse des Gefässes!) nicht auf die Dichte von gewachsenem Material eingestampft worden ist.

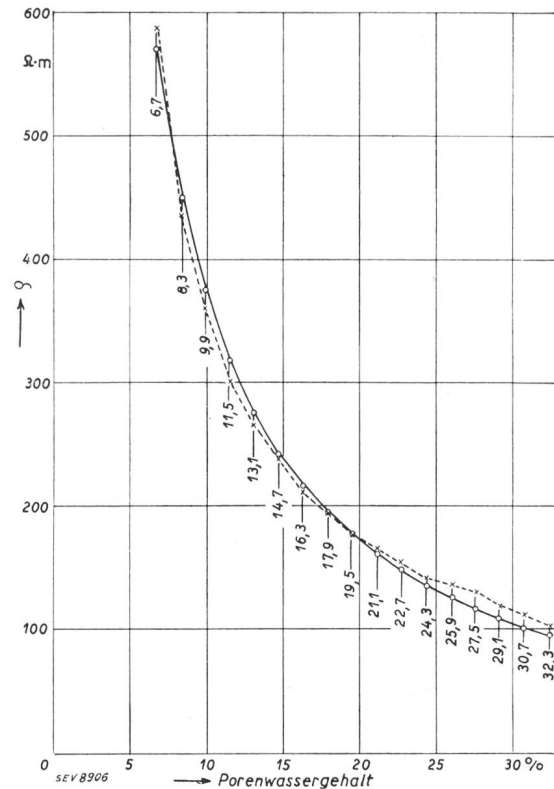


Fig. 1.

Spezifischer Widerstand eines Kiessandgemisches in Funktion des Porenwassergehaltes.

— berechnet nach Formel Hummel.  
 - - - - - gemessen.

Der Widerstand von Bodenschichten in der für Erdungsfragen in Betracht kommenden Tiefe kann sich ändern durch:

a) Zu- oder Abnahme des Porenwassergehaltes, z. B. durch das Steigen oder Sinken des Grundwasserspiegels;

b) Aenderung der Leitfähigkeit des Porenwassers infolge Eindringens von Oberflächenwasser, z. B. bei hoher Wasserführung benachbarter Bäche oder Flüsse;

c) Aenderung der Leitfähigkeit des Porenwassers durch Temperaturschwankungen.

Untersucht man die Auswirkung dieser Einflüsse auf den spez. Widerstand zahlenmässig an einigen Beispielen, so ergibt sich folgendes:

1. Eine Erdung liege im Kies unter dem Grundwasserspiegel; der Porenwassergehalt betrage 25 %, der Widerstand des Porenwassers 30 Ohm·m. Daraus ergibt sich nach der Formel Hummel der spez. Widerstand des die Erdung umgebenden Materials zu 165 Ohm·m. Infolge Sinkens des Grundwasserspiegels unter die Erdung verminderte sich der Porenwassergehalt auf 8 %, der Widerstand des Porenwassers bleibe gleich; dann erhöht sich der Widerstand des die Erdung umgebenden Kiesmaterials auf 547 Ohm·m.

2. Eine Erdung liege im Kies unter dem Grundwasserspiegel; sie habe 25 % Wassergehalt und 30 Ohm·m Wider-

stand des Porenwassers. Infolge Steigens eines in der Nähe vorbeifliessenden Flusses mit einem Wasser von 80 Ohm·m Widerstand sickere solches in das Grundwasser ein und vermische sich mit diesem. Der Widerstand des Gemisches betrage nun 50 Ohm·m, wodurch der spez. Widerstand des Kiesmaterials von 165 auf 275 Ohm·m erhöht wird.

3. Eine Erdung liege im Kies unter Grundwasserspiegel mit ebenfalls 25 % Porenwasser und 30 Ohm·m Widerstand. Die Temperatur betrage 14°. Ein Fallen der Temperatur auf 9° erhöht den Widerstand des Porenwassers auf 34,3 Ohm·m und den spez. Widerstand des Kieses von 165 auf 188 Ohm·m.

Für Lehm und Ton haben die unter 1. und 2. untersuchten Annahmen infolge der starken Undurchlässigkeit dieser Bodenmaterialien keinen nennenswerten Einfluss; es kommt lediglich die Einwirkung der Temperaturschwankungen in Frage.

4. Eine Erdung liege im Lehm mit 70 % Porenwasser-gehalt und 20 Ohm·m Porenwasserwiderstand; der spez. Widerstand des Lehms beträgt somit 33 Ohm·m. Die Temperatur betrage 14°; bei ihrem Absinken auf 9° erhöht sich der Widerstand des Porenwassers auf 23 Ohm·m und derjenige des Lehmmaterials auf 38 Ohm·m.

Wie aus diesen Beispielen hervorgeht, hat die Schwankung des Grundwasserspiegels den grössten Einfluss auf die Aenderung des spez. Widerstandes. Es ergibt sich daraus die Notwendigkeit, bei Erdungen, die in Kies mit Grundwasser verlegt werden sollen, sich über die Ausmasse der Spiegelschwankungen, die unter Umständen mehrere Meter betragen können, zu orientieren.

Wie aus den bisherigen Ausführungen hervorgeht, ist es nicht angängig, einer Bodenart einen bestimmten Widerstand zuzuordnen, noch viel weniger den geologischen Formationen. Um immerhin Anhaltspunkte über die Grössenordnung zu geben, sind in der Tabelle IV eine Anzahl konstatierter Widerstandswerte verschiedener Bodenarten zusammengestellt.

Konstatierte Widerstandswerte einiger Bodenarten.

|   |  | Tabelle IV. |        |
|---|--|-------------|--------|
|   |  | Ohm · m     |        |
| Humus . . . . .   |  | 30 ...      | 40     |
| Ton . . . . .   |  | 14 ...      | 30     |
| Lehm . . . . .  |  | 30 ...      | 50     |
| Sand unter Grundwasserspiegel . . . .                                 |  | 60 ...      | 130    |
| Schotter unter Grundwasserspiegel . . .                               |  | 130 ...     | 240    |
| Schotter ohne Grundwasser (weniger als ca. 5 % Porenwasser) . . . . . |  | 900 ...     | 3 000  |
| Schotter mit Lehmbeimengung . . . . .                                 |  | 200 ...     | 320    |
| Mergel . . . . .  |  | 60 ...      | 90     |
| Sandstein . . . . .   |  | 120 ...     | 180    |
| Kalkstein . . . . .   |  | 200 ...     | 3 600  |
| Eruptivgesteine . . . . .   |  | 6 000 ...   | 70 000 |
| zum Vergleich:  |  |             |        |
| Kupfer . . . . .  |  | 0,000 000   | 017 5  |

Ein Vergleich dieser Werte mit den Zahlen der Verordnung über Starkstromanlagen ergibt, dass diese ungefähr lauten sollten:

| Lehm | Humus | Sand    | Kies    | Oberflächen- und normales Grundw. |
|------|-------|---------|---------|-----------------------------------|
| 1    | 1     | 2...100 | 4...100 | 1...7                             |

Der Nachsatz der Verordnung, dass frei im Wasser liegende, d. h. vom Erdreich nicht umgebene Erdelektroden zu vermeiden sind, da sie eine Verhältniszahl von eher mehr als 10 ergeben, wird damit hinfällig.

In der Tabelle V sind weiter die Resultate der Messungen der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich zusammengestellt.

Messungen der EKZ.

Tabelle V.

|   | Ohm · m     |
|---|-------------|
| 1. Steinige Erde, Obermoräne . . . . .                          | 55 ... 130  |
| 2. Steinige Erde, Grundmoräne . . . . .                         | 100 ... 285 |
| 3. Kiesboden 0,5 ... 2,0 m über Grundwasser, Dietikon . . . . . | 160 ... 480 |
| 4. Kiesboden zeitweise im Grundwasser, Dietikon . . . . .       | 110 ... 560 |
| 5. Kiesboden ca. 50 m über Grundwasser . . . . .                | 420 ... 955 |
| 6. Seebodenlehm . . . . .                                       | 15 ... 25   |
| 7. Torf . . . . .   | 22 ... 35   |
| 8. Molasse-Sandstein . . . . .                                  | 60 ... 120  |
| 9. Molasse-Nagelfluh . . . . .                                  | 130 ... 270 |
| 10. Jura-Kalk . . . . .   | 445 ... 970 |

Bei einem Vergleich dieser Werte mit denjenigen der Tabelle IV muss man sich folgendes vor Augen halten:

Die Daten der Tabelle IV sind Resultate aus einmaligen Messungen an verschiedenen Orten, während diejenigen der Tabelle V Ergebnisse von Beobachtungen an je zwei Elektroden, ausgeführt in Abständen von 2 Wochen während zweier Jahre, darstellen. Letztere sind somit besonders wertvoll im Hinblick auf den Einfluss von Temperaturschwankungen und Niederschlägen.

Die verhältnismässig nahe beieinander liegenden Werte der Beobachtungsstationen 3 und 4 der Tabelle V gaben dritter Seite Veranlassung, die Behauptung aufzustellen, es stehe damit einwandfrei fest, dass die Leitfähigkeit des Bodens durchaus nicht mit dem produktiven, fassbaren Wassergehalt einer Bodenschicht zusammenhänge. Wenn diese «einwandfreie» Feststellung den Tatsachen entsprechen würde, müsste, was wohl der Zweck der Behauptung war, dem geoelektrischen Widerstandsdiagnostikverfahren jede Grundlage abgesprochen werden.

Sehen wir uns deshalb die Sachlage bei diesen zwei Beobachtungsstationen näher an, so ergibt sich folgendes:

Sie liegen 100...300 m unterhalb des Elektrizitätswerkes Dietikon, also im Grundwasserstrom des Limmattales, und zwar zwischen Limmat und dem 60...100 m parallel davon liegenden Kraftwerkkanal. Sowohl durch die Korrektur der Limmat, als auch durch den Bau des Kanals sind die natürlichen Bodenverhältnisse bestimmt gestört worden.

Die in Tabelle V enthaltenen Grenzwerte stammen von je 2 Erdern. Getrennt ergaben sie:

|  |                   |
|--|-------------------|
| 3. Kies 0,50 ... 2,00 m über Grundwasser |                   |
| Erder I . . . . .                        | 160 ... 455 Ohm·m |
| II . . . . .                             | 245 ... 480 »     |
| 4. Kies zeitweise im Grundwasser         |                   |
| Erder III . . . . .                      | 110 ... 380 Ohm·m |
| Erder IV . . . . .                       | 140 ... 560       |

Bereits die beiden Erder derselben Beobachtungsstation weisen, trotzdem sie nur je 20 m voneinander entfernt sind, erhebliche Unterschiede in den gemessenen Widerständen auf, was auf Ver-



schiedenheiten in der Zusammensetzung des die Erder umgebenden Bodenmaterials zurückzuführen ist.

Bei Beobachtungsstation 3 ist der Landstreifen zwischen Limmat und Kanal nur ca. 60 m breit, bei Stat. 4 dagegen ca. 100 m; es ist somit nicht ausgeschlossen, dass durch einen verschiedenen Gehalt an Flusswasser auch in der Zusammensetzung des Porenwassers Unterschiede vorhanden sind.

Auch ein etwas grösserer Lehm- oder Feinsandgehalt des Kiesel bei Stat. 3 kann den Widerstand dieses 0,5...2,0 m über Grundwasser liegenden Materials so beeinflussen, dass er zufällig wenig höher als derjenige von Stat. 4 wird.

Bei der Besprechung des von den EKZ angewendeten Messverfahrens wird weiter unten auch darauf hingewiesen, dass die Messresultate unter den Verhältnissen der Stat. 3 durch die besserleitende überliegende Humus- und unterliegende Grundwasserschicht etwas nach unten beeinflusst werden. Welcher von diesen möglichen Einflüssen nun zutrifft, kann leider heute nicht mehr festgestellt werden.

Die

#### *Bestimmung des elektrischen Widerstandes*

der Bodenmaterialien kann auf verschiedene Weise geschehen, durch Entnahme von Proben aus offener Grube oder durch unmittelbare Messung im Boden selbst. Bei bindigen Böden wie Lehm und Ton bietet es keine Schwierigkeit, Würfel bestimmter Abmessungen herauszuschneiden und ihren Widerstand zwischen 2 Blechelektroden zu bestimmen. Soll die Messung zu Hause durchgeführt werden, dann müssen die Proben zur Vermeidung der Austrocknung luftdicht verpackt werden.

Für nichtbindige Böden (z. B. Sand) kann ein Entnahmestutzen verwendet werden. Es sind dies zylindrische Stutzen von 10...15 cm  $\varnothing$  und ca. 15 cm Höhe, die in die betr. Schicht eingetrieben und dann ausgegraben werden. Für Kies kommt nur die sog. gestörte Entnahme in Frage, d. h. Einfüllen der Probe in ein Messgefäss. Bei der Entnahme wird der Zusammenhang des Materials gelockert, die Probe muss daher ins Messgefäss eingestampft werden.

Im Artikel Sprecher wird das von den EKZ angewendete Verfahren zur *direkten Bestimmung des Widerstandes im Boden* selbst eingehend beschrieben. Als Nachteil dieses Verfahrens muss einmal seine Umständlichkeit angeführt werden, indem die Elektroden eingegraben werden müssen, und dann die Einschränkung, dass es nur genaue Resultate ergibt, wenn der Erdboden auch in der unmittelbaren Umgebung des Erders homogen ist. Schichten besserer Leitfähigkeit über oder unter dem eingegrabenen Erder werden einen etwas zu

kleinen Widerstand für die Einbettungsschicht vortäuschen. Vollständig homogenen Untergrund bis zu den für Erdungen in Frage kommenden Tiefen hat man aber sehr selten, da bereits die Humusschicht in vielen Fällen eine von den tieferen Schichten abweichende Leitfähigkeit hat. Einzig mit Ton und Lehm stimmen ihre Widerstandswerte einigermaßen überein. Haben wir z. B. unter dem Humus erdfeuchten Schotter, in den der Erder verlegt ist, und darunter Schotter mit Grundwasser, so wird für den spez. Widerstand der Einbettungsschicht ein etwas zu tiefer Wert erhalten, da er sowohl vom Humus, als auch von der Grundwasserschicht nach unten beeinflusst ist.

Beim geoelektrischen Sondierverfahren nach der *Wenner-Methode* werden bekanntlich 4 stabförmige Elektroden von ca. 50 cm Länge und 2 cm  $\varnothing$  in einer Geraden in gleichem Abstände etwa 30 cm in die oberste Schicht, also in der Regel in den Humus, eingesetzt. Durch die sukzessive Vergrößerung der Elektrodenabstände werden immer grössere Tiefen erfasst. Hier ist man sich von Anfang an klar, dass die gemessenen Widerstandswerte nicht Werte einer bestimmten Schicht sind, sondern Integralwerte des Widerstandes der gesamten Umgebung. Die gemessenen Werte werden denn auch im Gegensatz zu den spez. Widerstandswerten der einzelnen Schichten als scheinbare Widerstandswerte bezeichnet. Diese Bezeichnung «scheinbar» ist zwar etwas irreführend, da es sich um durchaus reale, jederzeit messbare, in Ohmmetern ausdrückbare Werte handelt. Da sich die Bezeichnung in der Fachliteratur einmal eingebürgert hat, muss sie beibehalten werden. Erst durch die rechnerische Auswertung der durch eine Serie solcher Messungen erhaltenen Widerstandskurven werden aus den gemessenen scheinbaren Widerstandswerten die spez. Widerstände sowie Tiefe und Mächtigkeit der einzelnen Schichten erhalten. Ueber das Verfahren wurde kürzlich in der Schweiz. Bauzeitung<sup>4)</sup> berichtet.

Unter Umständen bietet auch das geoelektrische Bohrlochsondierverfahren Vorteile. Bei diesem wird mit einem Erdbohrer von kleinem Durchmesser, z. B. 45 mm, ein Bohrloch erstellt, dann eine speziell konstruierte Elektrode eingeführt und durch Messungen in verschiedenen Tiefen die Widerstände der einzelnen Schichten bestimmt.

Beide letztgenannten Verfahren haben den grossen Vorteil, dass man ohne Grabungen auskommt und somit die Untersuchungen rasch und ohne nennenswerte Mehrkosten auf beliebige, für Erdungen in Frage kommende Tiefen ausdehnen kann. Auf Grund ihrer Resultate lässt sich dann die wirtschaftliche Anordnung der Erdung vor Beginn der Bauarbeiten ermitteln.

<sup>4)</sup> Mürger, Baugrunduntersuchung durch geoelektrische Profilsondierung. Schweiz. Bauztg., Bd. 114 (1939), Nr. 13, 23. 9. 1939.