

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
GEOPHYSIK

Nr. 2

Herausgegeben mit Subvention der Eidgenossenschaft von der Schweizerischen
Geotechnischen Kommission, Organ der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft

**Eine großräumige Widerstandskartierung
nordwestlich von Zürich
und ihre geologische Deutung**

von

Otto Friedenreich

KOMMISSIONSVERLAG:

Kümmerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

1959

Buchdruckerei Aschmann & Scheller AG., Zürich

Vorwort

der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

An der Sitzung vom 29. November 1958 lag der Schweizerischen Geotechnischen Kommission ein Manuskript von Herrn dipl. ing. petr. O. Friedenreich «Eine großräumige Widerstandskartierung nordwestlich von Zürich und ihre geologische Deutung» vor, ausgeführt als Dissertationsarbeit am Institut für Geophysik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule unter Leitung von Prof. Dr. F. Gassmann. Die Arbeit wurde von der Kommission für ihre Serie Geophysik angenommen.

Die Stiftung Hasler-Werke übernahm einen beträchtlichen Teil der Druckkosten, nachdem sie bereits die ausgedehnten Meßarbeiten im Felde unterstützt hatte. Dafür möchte ihr auch die Kommission den besten Dank aussprechen. Dem Autor sei für seinen interessanten Beitrag zur geophysikalischen Landesuntersuchung und für seine Mitwirkung am Druck vielmals gedankt.

Für den Inhalt von Text und Figuren ist der Verfasser allein verantwortlich.

Zürich, April 1959

Für die Schweizerische Geotechnische Kommission

Der Präsident: **Prof. F. de Quervain**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
I. Allgemeines	7
A. Der wahre und der scheinbare spezifische Widerstand	7
B. Elektrodenanordnungen und gewählte Meßmethode	8
C. Geoelektrische Sondierprofile	9
D. Widerstandskartierung	9
II. Das Untersuchungsgebiet	10
A. Geographische Lage	10
B. Geologische Verhältnisse	10
III. Anordnung und Durchführung der Messungen	12
A. Problemstellung	12
B. Die Meßtechnik	12
C. Wahl der Stationspunkte	13
D. Apparatives	13
E. Gang der Feldarbeiten	15
IV. Auswertung der Sondierprofile	16
A. Über den spezifischen Widerstand der Gesteine	16
B. Bestimmung der Schichtgrenzen und der spezifischen Widerstände	16
C. Geologische Deutung der Meßergebnisse	18
V. Die auftretenden Boden- und Gesteinsarten. Ihre spezifischen Widerstände und Mächtigkeiten	19
A. Torf	19
B. Lehme (junge pelitische Ablagerungen)	21
C. Lehme mit Steinen (Grundmoräne)	21
D. Mesozoische Tone	21
E. Mesozoische Mergel	22
F. Mergelreiche und sandsteinreiche Molasse	22
G. Verkittete Schotter (Deckenschotter)	22
H. Unverkittete Schotter (Kiese)	23
I. Kalke	24

VI. Die Widerstandskarten	25
A. Bemerkungen über Sondiertiefe und scheinbaren spezifischen Widerstand in den Widerstandskarten	25
B. Einige Erläuterungen zu den Widerstandskarten	29
VII. Die geologischen Tiefenkarten	31
A. Erläuterungen zu den Tiefenkarten	31
B. Bemerkungen zu der Lägernantiklinale	32
C. Bemerkungen zum Liegenden des Ruckfeldes	33
Zusammenfassung	34
Abstract	34
Literaturverzeichnis	35
Tabellarische Zusammenstellung der Meßresultate	38

Vorwort

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit einer großräumigen Widerstandskartierung nordwestlich von Zürich. Sie wurde vom Sommer 1955 bis Herbst 1958 unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. F. Gaßmann am Institut für Geophysik der ETH ausgeführt.

Meinem verehrten Lehrer spreche ich hier meinen besonderen Dank aus für die zahlreichen Anregungen und Ratschläge, sowie für das große Interesse, das er dieser Arbeit immer entgegenbrachte. Herr Prof. Dr. F. Gaßmann hat durch ein Kreditgesuch an die Stiftung Haslerwerke Bern die erforderlichen finanziellen Hilfsmittel beschaffen können, welche die Ausführung dieser Arbeit erst ermöglichten. Der Stiftung Haslerwerke Bern danke ich an dieser Stelle besonders für die Gewährung des großzügigen Kredites und den großen Beitrag an die Druckkosten. Danken möchte ich auch Herrn Prof. E. Baumann, Leiter des wissenschaftlichen Kollegiums der Stiftung Haslerwerke Bern, der sich für das Zustandekommen der Arbeit sehr einsetzte.

Herrn Prof. Dr. F. de Quervain danke ich für die Übernahme des Korreferates, für seine zahlreichen petrographischen Ratschläge und für seine Besuche im Terrain.

Für erfolgreiche Diskussionen über die vorliegende Arbeit danke ich auch Herrn P.-D. Dr. M. Weber.

Herzlich danke ich Herrn Dr. K. Vögtli für seine zahlreichen praktischen Ratschläge und für seine persönliche Anteilnahme an dieser Arbeit.

Herr R. Berger leistete mir große Dienste während der Feldarbeiten, ihm danke ich für seine unermüdliche Hilfsbereitschaft. Herrn W. Schneibel danke ich nicht nur für seinen tatkräftigen Einsatz bei den Feldmessungen, sondern vor allem für die exakte Ausführung der zahlreichen Zeichnungen. Den übrigen Mitgliedern der Feldequipe, vor allem den Herren G. Brühlmann, F. Frey und E. Zurflüh, danke ich für ihre wertvolle Hilfe. Dank gebührt allen meinen Studienkollegen und Freunden, mit denen mich die Erinnerung an eine schöne Studienzeit verbindet.

I. Allgemeines

A. Der wahre und der scheinbare spezifische Widerstand

Der spez. Widerstand ist eine Materialkonstante, die von der Form und der Art des Leiters unabhängig ist. Für die Bestimmung des spez. Widerstandes eines homogenen isotropen Materials kann man einen zylindrischen Stab der Länge l und der Querschnittsfläche F verwenden. Legt man an die Endflächen des Stabes die Spannung V an, so fließt in ihm ein Strom I . Aus diesen ergibt sich der spez. Widerstand des Materials $\rho = \frac{VF}{Il}$. ρ hat die Dimension Widerstand $\times$ Länge. Seine Maß-

einheit ist $1 \Omega m$ (Ohmmeter) oder $1 \Omega cm (= 0,01 \Omega m)$. $\frac{1}{\rho}$ ist die elektrische Leitfähigkeit.

Zum Verständnis der Feldmessungen dienen die nachstehenden, allgemeinen Bemerkungen.

Folgende zwei Fälle werden angenommen:

1. Der Untergrund ist homogen und isotrop und durch eine Ebene begrenzt (Halbraum).
2. Der Untergrund ist inhomogen und isotrop.

Fall 1: Der homogene und isotrope Halbraum: Von der Erdoberfläche aus wird mittels zweier Punktelektroden P_1 und P_1' ein stationärer Strom I in Richtung von P_1 nach P_1' durch den Untergrund geleitet. Das Potential des Feldes in einem beliebigen Punkt S ist

$$V(S) = \frac{I\rho}{2\pi r_1} - \frac{I\rho}{2\pi r_1'} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} \right), \quad (1)$$

wobei r_1 und r_1' die Abstände von S nach P_1 bzw. P_1' bedeuten und ρ der spez. Widerstand des Materials ist. Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten S_1 und S_1' ist demnach, falls s_1 und s_1' die Abstände des zweiten Feldpunktes sind,

$$V(S_1) - V(S_1') = \Delta = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} - \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'} \right) \quad (2)$$

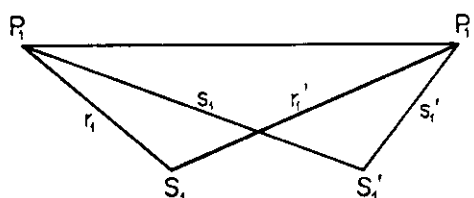


Fig. 1. 4-Punkt-Anordnung

Durch Auflösen nach ρ ergibt sich hieraus die für jede Meßanordnung für den spez. Widerstand des Untergrundes gültige Gleichung

$$\rho = \frac{2\pi\Delta}{I} \frac{l}{\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_1'} - \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_1'}} \quad (3)$$

Experimentell wird ρ so bestimmt, daß auch S_1 und S_1' an der Erdoberfläche sind. Die Werte von Δ , I , r_1 , r_1' , s_1 und s_1' sind an der Erdoberfläche meßbar, womit der spez. Widerstand bestimmbar ist.

Die in Fig. 1 dargestellte Meßanordnung wird üblicherweise 4-Punkt-Methode genannt. In der Folge sollen die Stromzuführungspunkte P_1 und P_1' als Primär-, S_1 und S_1' als Sekundärelektroden bezeichnet werden.

Fall 2: Der inhomogene und isotrope Halbraum: Für einen inhomogenen Untergrund ist die rechte Seite von (3) gleich einer Größe ρ_s , die von der Elektrodenanordnung und den spez. Widerständen der im Untergrund vorkommenden Gesteine abhängt und die man den scheinbaren spez. Widerstand nennt.

Der spez. Widerstand eines Gesteins kann auch direkt am Handstück bestimmt werden. Solche Messungen wurden für die vorliegende Arbeit nicht durchgeführt.

Wenn im weitem vom spez. Widerstand die Rede ist, so ist immer der wahre spez. Widerstand gemeint.

Die nachstehenden Abkürzungen werden in der Folge benützt:

spez. Wid. = spezifischer Widerstand

scheinb. spez. Wid. = scheinbarer spezifischer Widerstand

B. Elektrodenanordnungen und gewählte Meßmethode

Es ist nun möglich, die vier Elektroden so anzuordnen, daß die Gleichung (3) eine einfache Form erhält. Dadurch wird die Auswertung der Meßergebnisse besonders erleichtert.

In der Folge sollen hier die WENNER-, die WENNER-LEE- und die SCHLUMBERGER-Anordnung skizziert werden. Andere Anordnungen findet man in der Literatur (z. B. TARASS 1954) zusammengestellt.

Die WENNER-Anordnung: Die vier Elektroden P_1 , S_1 , S_1' und P_1' liegen im gleichen Abstand a ,

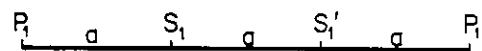


Fig. 2. Die Wenner-Anordnung

der als Grundabstand bezeichnet wird, auf einer Geraden (Fig. 2). Für den scheinb. spez. Wid. eines Untergrundes ergibt sich somit die einfache Beziehung:

$$\rho_s = \frac{2\pi \Delta}{I} a \quad (4)$$

Die WENNER-LEE-Anordnung: Lee hat 1939 eine Verbesserung der Wenner-Anordnung vorgeschlagen. Eine dritte Sekundärelektrode S_0 wird verwendet, welche in der Mitte zwischen S_1 und S_1' liegt. Hier mißt man die Potentialdifferenz Δ_L zwischen der linken Sekundärelektrode S_1 und der Mittelelektrode S_0 , und die Potentialdifferenz Δ_R der rechten Sekundärelektrode S_1' und der Mittelelektrode S_0 .

Es ist: $\rho_{s(\text{links})} = \frac{4\pi \Delta_L}{I} a$ und $\rho_{s(\text{rechts})} = \frac{4\pi \Delta_R}{I} a$.

Für einen horizontal geschichteten Untergrund gilt $\rho_{s(\text{links})} = \rho_{s(\text{rechts})} = \rho_s$. Ist diese Beziehung nicht erfüllt, so ist der Untergrund nicht horizontal geschichtet.

Die SCHLUMBERGER-Anordnung: Der Abstand $2c$ der Sekundärelektroden ist gegenüber dem Primär-

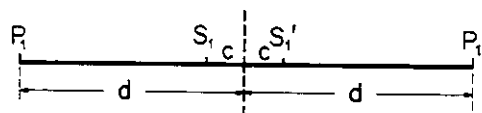


Fig. 3. Die Schlumberger-Anordnung

elektrodenabstand $2d$ sehr klein (Fig. 3). Für diese Anordnung erhält man für ρ_s gemäß (3):

$$\rho_s = \frac{\pi \Delta}{2I} \frac{d^2 - c^2}{c} \quad (5)$$

Bei Messungen werden die Primärelektroden versetzt und die Sekundärelektrodenstellungen solange beibehalten, als Δ meßbar ist. Diese Anordnung erlaubt ein rascheres Messen als es die Wenner- oder die Wenner-Lee-Anordnung gestattet. Sie liefert hingegen keine Auskünfte über allfällige Schichtneigungen.

In der Praxis werden Messungen mit den erwähnten Anordnungen sehr häufig vorgenommen. Der Grund hierfür ist, daß die zur Auswertung notwendigen theoretischen Grundlagen zahlreich zur Verfügung stehen (vgl. Kap. IV). Für unsere Arbeit kam daher nur eine dieser Anordnungen in Frage. Bei der Wenner- oder Wenner-Lee-Methode sind die auftretenden Δ -Werte größer und leichter meßbar als beim Schlumberger-Verfahren. Dieser Umstand und die Möglichkeit einer qualitativen Aussage über Schichtneigungen, waren Gründe für die Wahl der Wenner-Lee-Anordnung. Weitere Gründe werden noch angeführt.

C. Geoelektrische Sondierprofile

Als Beispiel soll angenommen werden, daß man Messungen mit der Wenner-Anordnung durchführt. Nimmt man nun eine Messung bei kleinem Grundabstand ($a =$ einige Meter) vor, so ist die Eindringtiefe des Stromes gering und das durch die Messung erfaßte Bodenvolumen klein. Eine Vergrößerung des Grundabstandes erhöht die Eindringtiefe und das den ρ_s -Wert bestimmende Materialvolumen. So werden bei geschichtetem Untergrund immer tiefere Schichten ρ_s beeinflussen. Wird der Mittelpunkt der Anordnung festgehalten und ρ_s als Funktion des Grundabstandes ermittelt, so liefert dies ein Sondierprofil. Die Auswertung dieses Sondierprofils gibt dann Aufschluß über die Abfolge der spez. Wid. nach der Tiefe zu, sowie über die Mächtigkeiten der erfaßten Schichten. Wie die Auswertung im einzelnen durchgeführt wird, zeigt Kapitel IV.

Natürlich können Sondierprofile mit allen Elektrodenanordnungen gemessen werden.

D. Widerstandskartierung

In vielen Fällen der Prospektion ist es nicht unbedingt nötig, die Abfolge der spez. Wid. nach der Tiefe hin zu kennen. Man ist vielmehr an ihrer horizontalen Verteilung interessiert. Wie im allgemeinen in diesem Fall vorgegangen wird, soll anhand der Wenner-Anordnung erklärt werden. Für einen festgehaltenen Grundabstand a , also mit einer ungefähr konstanten Sondiertiefe, wird der scheinb. spez. Wid. in Punkten, die angenähert gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt sind, bestimmt. Mit diesem flächenhaften Vorgehen, in dem ein Terrainpaket von ungefähr gleichmäßiger Mächtigkeit erfaßt wird, ergibt sich nun eine Widerstandskarte, indem man in jedem Punkt den entsprechenden gemessenen ρ_s -Wert einträgt. Aus dieser Karte ist dann unmittelbar der horizontale Verlauf von ρ_s in diesem Paket ersichtlich. Die allgemeine geologische Bedeutung von Widerstandskarten liegt in erster Linie darin, daß sie Aufschluß geben über die Lage von Gesteinsgrenzen, welche durch horizontal überlagerte Boden- und Gesteinsschichten verdeckt sind. Für kleinere Sondiertiefen kann eine Widerstandskarte als Analogon zu einer geologischen Karte angesehen werden. Die geologischen Formationen sind hier durch ihre Widerstände gekennzeichnet. Oft wird es von Interesse sein, für ein bestimmtes

Untersuchungsgebiet Karten für verschiedene Sondiertiefen zu erstellen. Oberflächennahe Gesteinsformationen werden schon bei geringer Sondiertiefe (kleinere Grundabstände) in Erscheinung treten, während tieferliegende Strukturen sich erst bei größeren Sondiertiefen (größeren Grundabständen) abzeichnen. Die richtige Wahl des Grundabstandes ist für das Resultat der Kartierung ausschlaggebend. Interessiert eine oberflächennahe Struktur, so kann man mit einem kleinen Grundabstand arbeiten und hat dabei ein relativ großes Auflösungsvermögen. Interessiert andererseits eine tieferliegende Struktur, so ist man genötigt, mit größeren Grundabständen zu arbeiten, wobei dann auch das Auflösungsvermögen (Erkennen von Einzelheiten bzw. Schichtgrenzen) entsprechend abnimmt.

Zwischen Sondiertiefe und Meßanordnung besteht kein eindeutiger Zusammenhang. Als empirische Regel gilt, daß die Sondiertiefe für die Wenner-Anordnung angenähert gleich dem Grundabstand a , beim Schlumberger-Verfahren ungefähr gleich einem Viertel der Primärelektrodendistanz ist. In Wirklichkeit wird die Sondiertiefe maßgebend durch das Widerstandsverhältnis und die Mächtigkeiten der erfaßten Schichten beeinflusst (vgl. Kap. VI, Abschn. A).

Widerstandskartierungen können grundsätzlich mit jeder Elektrodenanordnung durchgeführt werden.

II. Das Untersuchungsgebiet

A. Geographische Lage

Das Gebiet (siehe Übersichtskarte Fig. 4) liegt innerhalb der Koordinaten (Projektionssystem der schweizerischen Landesvermessung, winkeltreue schiefachsige Zylinderprojektion) 655000—688000 und 250000—274000 und wird wie folgt begrenzt: Kloten — Embrach — Tößegg — Rhein — Koblenz — Aare — Wildegg — Niederlenz — Mellingen — Stetten — Schlieren — Höngg — Seebach — Kloten.

Die nachstehenden Blätter der Landeskarte der Schweiz dienen als Kartenunterlage:

1:25000: 1050 Zurzach, 1051 Eglisau, 1070 Baden, 1071 Bülach, 1090 Wohlen AG, 1091 Zürich;

1:50000: 215 Baden, 225 Zürich.

B. Geologische Verhältnisse

In der Übersichtskarte Fig. 4 sind die geologischen Einheiten, Tafeljura, Faltenjura und mittelländische Molasse, des Untersuchungsgebietes eingetragen. Der Tafeljura (die hauptsächlichsten Gesteine sind Kalke, Kalkmergel, Mergel und Tone) nimmt den Raum nördlich der Lägern ein. Seine Gesteinsschichten sind flach gelagert und fallen leicht gegen SE ein. Zum Faltenjura (Gesteine siehe Tafeljura) gehören die Lägern und der Kestenbergr. Diese beiden höchsten Erhebungen unseres Gebietes sind die östlichen Ausläufer des Faltenjuragebirges. Den Hauptteil am Aufbau des Gebietes haben die Molasseformationen (wenig verfestigte Sandsteine, Mergelsandsteine, Mergel) des Mittellandes. Die quartären Ablagerungen (verfestigte und unverfestigte Kiese und Sande, Moränen und Lehme verschiedener Entstehung) sind sehr verbreitet.

Im übrigen sei auf das Literaturverzeichnis und die angeführten geologischen Karten verwiesen.

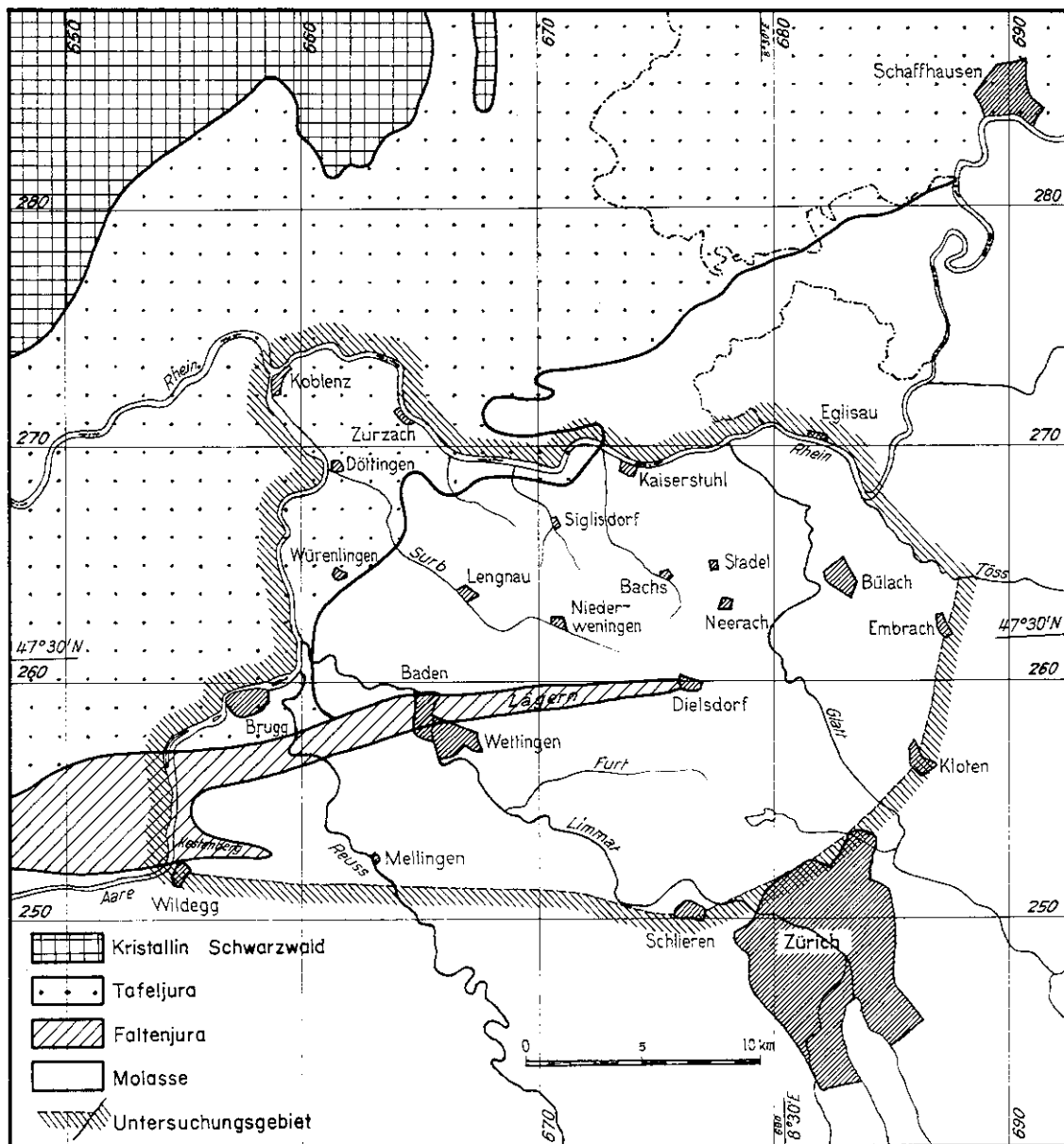


Fig. 4. Geographisch-geologische Übersichtskarte 1:300000

III. Anordnung und Durchführung der Messungen

A. Problemstellung

In einem größeren und geoelektrisch noch unerforschten Gebiet soll der spez. Wid. des Untergrundes untersucht und in Widerstandskarten dargestellt werden. Diese Karten liefern einen Überblick über die Verteilung der Widerstände und somit über die Ausdehnung der geologischen Einheiten. Überdies zeichnen sich geologisch und geophysikalisch interessante Gebiete ab, welche später im Detail untersucht werden können.

Bei der Wenner-Lee-Methode wird im allgemeinen im Vergleich zur Schlumberger-Methode ein größeres Bodenvolumen erfaßt, so daß mit Rücksicht auf die Weitmaschigkeit des Stationsnetzes die Wenner-Lee-Methode gewählt wurde.

Dabei müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

1. Angesichts der großen Ausdehnung des Gebietes (ca. 525 km²) muß ein weitmaschiges Stationsnetz angelegt werden.
2. Die Meßpunkte sollen angenähert gleichmäßig über das Gebiet verteilt sein.
3. Es muß für die Wenner-Lee-Methode eine Meßtechnik gefunden werden, die ein rationelles Arbeiten gewährleistet und gleichzeitig gestattet, Sondierprofile aufzunehmen.

Punkte 1 und 2: Bei einer Widerstandskartierung ist die Meßpunktdichte in erster Linie von der Größe des Untersuchungsgebietes, der technischen Ausrüstung und den wirtschaftlichen Hilfsmitteln abhängig.

Punkt 3: Er wird in Abschnitt B dieses Kapitels besprochen.

B. Die Meßtechnik

Auf jeder Station wird ein Sondierprofil mit den Grundabständen 4 m, 12 m, 36 m, 108 m und 324 m gemessen. Die erhaltenen ρ_s -Werte dienen einerseits zur Herstellung von fünf Widerstandskarten und andererseits zur Aufnahme eines Sondierprofils.

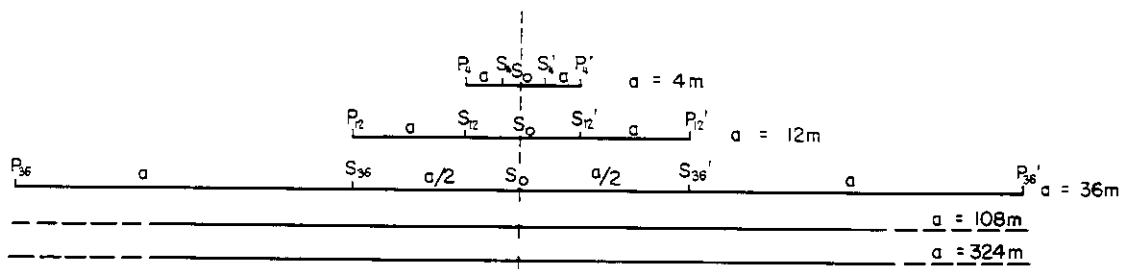


Fig. 5. Die Elektrodenanordnung

In Fig. 5 ist S_0 die Mittelelektrode von Lee. Sie bleibt immer fest und ist Bezugspunkt der Messungen. Die Indices der verschiedenen P, P', S und S' geben jeweils den Grundabstand der Auslage an. Aus der Figur ist ersichtlich, daß links von S_0 die Punkte P_4 und S_{12} je den gleichen Abstand von 6 m von der Profilmitte S_0 haben. Ferner haben P_{12} und S_{36} je den Abstand von 18 m von S_0 . P_{36} und S_{108} sind je

54 m und schließlich P_{108} und S_{324} je 162 m von S_0 entfernt. Das gleiche gilt aus Symmetriegründen auch für die rechte Seite. Von der Meßapparatur aus, die sich in der Nähe von S_0 befindet, werden auf beide Seiten je sechs Verbindungsleitungen zu den entsprechenden Elektrodenstellungen verlegt.

Erste Leitung nach S_4	bzw. S_4'	(in 2 m Entfernung von S_0)
Zweite Leitung nach P_4-S_{12}	bzw. $P_4'-S_{12}'$	(in 6 m Entfernung von S_0)
Dritte Leitung nach $P_{12}-S_{36}$	bzw. $P_{12}'-S_{36}'$	(in 18 m Entfernung von S_0)
Vierte Leitung nach $P_{36}-S_{108}$	bzw. $P_{36}'-S_{108}'$	(in 54 m Entfernung von S_0)
Fünfte Leitung nach $P_{108}-S_{324}$	bzw. $P_{108}'-S_{324}'$	(in 162 m Entfernung von S_0)
Sechste Leitung nach P_{324}	bzw. P_{324}'	(in 486 m Entfernung von S_0)

Die zwölf Leitungen werden auf einen Sammelkasten geführt, von wo aus die fünf Grundabstände gewählt werden können. Durch diese Anordnung schaltet man die sehr zeitraubenden Versetzungsarbeiten der Elektroden aus. Zu Beginn einer Messung werden vorerst alle Kabel nach den obenstehenden Distanzen ausgelegt und an den Stellen 2 m, 6 m, 18 m, 54 m und 162 m unpolarisierbare Elektroden angeschlossen. Diese Elektroden sind im Abschnitt «Apparatives» beschrieben. In 486 m dienen als Elektroden drei Eisenspieße. Die Messungen erfolgen nun von außen nach innen, d. h. man beginnt mit dem größten Grundabstand ($a = 324$ m). Hierauf wird auf dem Schaltkasten der Grundabstand 108 m eingestellt usw. Es wird immer in dieser Reihenfolge gemessen. Den Grund hierfür bilden die unpolarisierbaren Sekundärelektroden, die vorerst der Potentialdifferenzbestimmung dienen, bevor sie für den nächstkleineren Grundabstand als Primärelektroden verwendet werden. Eine Umkehrung des Meßvorgangs würde die Messung stark beeinträchtigen.

Mit diesen Bemerkungen über die Meßanordnung erklärt sich auch die Wahl der Elektrodenabstände bzw. der Grundabstände. Wenn nicht mit einem kleineren Grundabstand als 4 m begonnen wurde, so nur deshalb, weil der Einfluß ganz lokaler Inhomogenitäten im ersten Schichtpaket bedeutungslos ist.

Die Grundabstände sind überdies so gewählt, daß die im doppellogarithmischen Maßstab aufgetragenen Widerstandswerte die Widerstandskurve gleichmäßig belegen. Elektrodenanordnungen dieser Art sind für Untersuchungen von vorwiegend orientierender Natur zu empfehlen. Für spezielle Probleme sind diesen angepaßte Grundabstände zu wählen.

C. Wahl der Stationspunkte

Alle Elektroden einer Wenner-Auslage müssen auf einer Geraden liegen. Diese Voraussetzung war wegweisend für die Auswahl der Stationspunkte. Anhand topographischer Karten (Landeskarte der Schweiz 1:25000) wurden geeignete Stellen gesucht und provisorisch als Meßpunkte bezeichnet. Die endgültige Lage wurde aber erst im Feld unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten (kupertes Gelände, kleinere Hügel, Überbauungen) und unter Wahrung eines möglichst gleichmäßigen Stationsnetzes festgelegt.

D. Apparatives

Die Gleichung für den scheinb. spez. Wid. ρ_s lautet für die Wenner-Anordnung: $\rho_s = \frac{2\pi\Delta}{I} a$. Aus dieser Beziehung ist ersichtlich, daß ein geoelektrisches Meßgerät der Messung des Primärstromes I und der Potentialdifferenz Δ dienen soll.

Die Fig. 6 zeigt eine schematische Darstellung der Meßanordnung. Die Meßapparatur ist durch eine gestrichelte Linie umrandet. Eine Spannungsquelle U_p erzeugt den Primärstrom, der durch die Primärelektroden P, P' und den Boden fließt. Seine Stärke I liegt im allgemeinen zwischen einigen

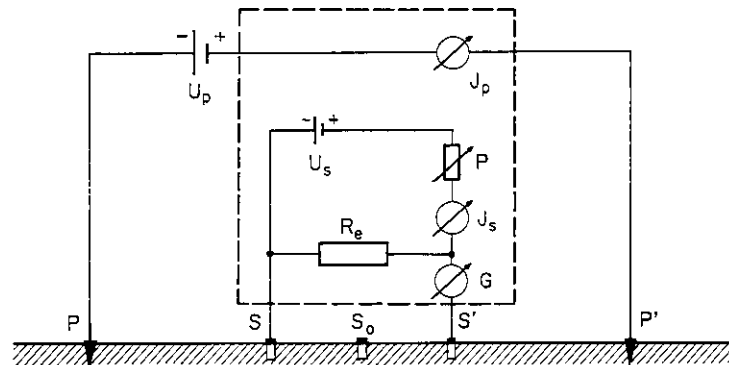


Fig. 6. Schematische Darstellung der Meßanordnung

Milliampère und einem Ampère und wird mit einem Milliampèremeter J_p gemessen, das mehrfach geschuntet werden kann (mehrere Meßbereiche).

Die Δ -Messung beruht auf der Kompensationsmethode. Die unbekannte Potentialdifferenz Δ wird mit Hilfe eines Galvanometers G mit einer bekannten Potentialdifferenz Δ_k verglichen. Die Spannungen Δ und Δ_k sind dann gleich groß, wenn das Galvanometer stromlos ist. Die Kompensationsspannung wird erzeugt, indem man einen durch ein Potentiometer P regulierbaren Strom i (Spannungsquelle U_s) durch einen bekannten Widerstand R_e fließen läßt. Mit drei verschiedenen Widerständen R_e kann Δ_k in drei Bereichen zwischen 0,5 mV bis 1000 mV variiert werden.

In der Formel für ρ_s wird somit Δ durch iR_e ersetzt.

Als Zusätze sind in der Meßapparatur noch ein Kompensator und ein Hochpaßfilter eingebaut. Der Kompensator wird zur Elimination konstanter oder kurzfristig konstanter Störströme im Untergrund benützt. Messungen in der Nähe von Bahnen sind oft durch vagabundierende Wechselströme stark gestört. Durch Einschalten des Hochpaßfilters können diese Störungen weitgehend eliminiert werden.

Zur Vermeidung von Kriechströmen in der Apparatur ist ein Behälter mit Trocknungsmittel (Silikagel) eingebaut.

Als Spannungsquelle U_p des Primärstromes dienten vier Anodenbatterien mit einer Gesamtspannung von 240 V. Im Sekundärkreis ist die Spannungsquelle eine 3-V-Stabbatterie.

Diese Apparatur wurde von M. Weber entwickelt (GASSMANN und WEBER 1956).

Die Kabel: Fig. 7 zeigt die Kabelanordnung für eine Hälfte der Auslage.

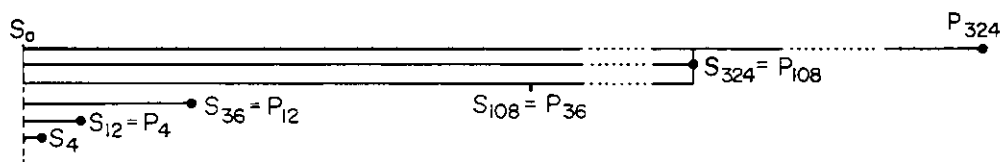


Fig. 7. Kabelanordnung für eine Seite der Auslage

Für die kurzen Distanzen 2 m (Stellung S_4), 6 m (Stellung $S_{12} = P_4$) und 18 m (Stellung $S_{36} = P_{12}$) (vgl. Abschnitt B, Seite 12 und Fig. 5) wurden einadrige Kabel verwendet. Ein dreiadriges Kabel wurde

von S_0 bis 162 m (Stellung $S_{324} = P_{108}$) ausgelegt mit einer Ausföhrung bei 54 m (Stellung $S_{108} = P_{36}$). Von 162 m bis 486 m wurde ein einadriges Kabel verwendet. Es wurden nur Kabel mit hoher Isolationsgüte eingesetzt.

Um sich zeitraubende Distanzabmessungen zu ersparen, waren alle Kabel mit entsprechenden Distanzmarken versehen.

In den Punkten P_{324} und P_{324}' (Stellungen der Primärelektroden für $a = 324$ m) wurden jeweils drei Eisenspieße (40 cm lang, 5 cm breit und 1 cm dick) als Stromzuföhrungen verwendet. Sie wurden in den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks (Seitenlänge ca. 50 cm), dessen Schwerpunkt den Bezugspunkt bildete, in den Boden getrieben.

An allen anderen Stellungen befanden sich unpolarisierbare Elektroden. Sie sind folgendermaßen aufgebaut: In einer porösen Tonzelle von 10 cm Höhe und 5 cm Durchmesser befindet sich eine konzentrierte Kupfersulfat-Lösung, in die ein Kupferstab eingetaucht ist. Der Stab wird durch die Bohrung eines Gummizapfens, welcher die Tonzelle abschließt, gehalten. Für die Messungen wurden kleine Löcher in den Boden gemacht und die unpolarisierbaren Elektroden in sie gestellt. Die durch die Tonwände der Elektroden diffundierenden Ionen der Kupfersulfat-Lösung stellen den Kontakt zwischen dem Kupferstab und dem Boden her. Aus dem Boden diffundiert zugleich Feuchtigkeit in die Elektroden. Die dadurch bedingte Konzentrationsverminderung wird durch stetes Auflösen von CuSO_4 -Kristallen wettgemacht, womit die Lösung immer gesättigt bleibt. In praxi zeigen die unpolarisierbaren Elektroden immer noch eine gewisse Polarisierung, die sich aus dem Umstand erklärt, daß sich die CuSO_4 -Kristalle nicht genügend rasch lösen, um die Lösung gesättigt zu halten. Daher wurde jede Messung zweimal durchgeführt, wobei die Stromrichtung geändert wurde. Die erhaltenen Werte wurden gemittelt, wodurch die Polarisierungsspannungen eliminiert wurden, soweit sie während der Messungen konstant blieben.

E. Gang der Feldarbeiten

Die Messungen wurden in den Jahren 1955 und 1956 durchgeführt und konnten mit Rücksicht auf die Landwirtschaft jeweils nur in den Herbstmonaten vorgenommen werden. In 70 Felddagen wurden teils bei schönem, trockenem, teils jedoch auch bei regnerischem Wetter mit einer Equipe von vier Mann auf 417 Stationen gemessen, was einem Tagespensum von sechs Stationen entspricht. Die Arbeiten auf einer Station benötigten, je nach den Geländebedingungen, dreiviertel bis eine Stunde. Zur Über-



Fig. 8. Das Auslegen der Meßanordnung

prüfung der Reproduzierbarkeit wurden im Frühling und im Herbst 1957 Nachmessungen durchgeführt. Im Rahmen unserer Meßgenauigkeit ergaben sich keine in Betracht fallenden Änderungen.

Ein VW-Omnibus diente als Transportwagen für Material und Mannschaft (Fig. 8). Der Wagen wurde vom Eidg. Militärdepartement zur unbeschränkten Verwendung zur Verfügung gestellt.

IV. Auswertung der Sondierprofile

A. Über den spezifischen Widerstand der Gesteine

Die elektrische Leitfähigkeit bzw. der spez. Wid. eines geologischen Körpers wird bestimmt durch die elektrische Leitfähigkeit der am Aufbau des Gesteinskörpers beteiligten Mineralien und der elektrischen Leitfähigkeit der in den Porenräumen des Gesteins vorhandenen Flüssigkeiten. Die meisten Mineralien sind praktisch Isolatoren. Nur eine kleine Anzahl oxydischer und sulfidischer Mineralien sind gute elektrische Leiter (z. B. Magnetit, Pyrit). Die elektrische Leitfähigkeit, welche trotzdem in den meisten Boden- und Gesteinsarten vorhanden ist, geht daher nicht auf ihren Mineralgehalt zurück, sondern auf das in Poren, Spalten und Rissen sich befindende Wasser mit seinem wechselnden Elektrolytgehalt. So kann der spez. Wid. eines petrographisch einheitlichen Gesteins um einige Zehnerpotenzen je nach dem Gehalt an Feuchtigkeit verschieden sein. Demzufolge sollten die in der Literatur tabellierten spez. Wid. im allgemeinen nicht zur Diagnose von Boden- und Gesteinsarten verwendet werden.

Obschon der spez. Wid. im Felde verschiedentlich direkt am Gestein (Kiesgruben, Molassefelswände, Kalksteinbrüche u. a. m.) bestimmt wurde, konnten die ermittelten Werte erfahrungsgemäß und wie sich mehrfach bestätigt hat, für die Auswertung nicht verwendet werden. Der Grund liegt vorwiegend in der unterschiedlichen Durchfeuchtung des Materials.

B. Bestimmung der Schichtgrenzen und der spezifischen Widerstände

Wie in Kap. I (Seite 9) erwähnt, kam nur eine Meßanordnung in Frage, für die zur Auswertung der Meßwerte theoretische Kurvenbeispiele in genügender Anzahl zur Verfügung stehen. Für die Wenner-Anordnung wurde wohl die vollständigste Sammlung von rund 2300 Kurven zur Auswertung von 2-, 3- und 4-Schichten-Fällen von H. M. MOONEY und W. W. WETZEL (1956) veröffentlicht.

Für die Auswertung von Sondierprofilen wird angenommen, daß die Oberfläche eben ist und der Untergrund aus planparallelen isotropen und homogenen Schichten besteht. In der Praxis werden geringe Schichtneigungen ($< 10^\circ$) außer Betracht gelassen. Wenn ein 2-Schichten-Fall vorliegt, liefert die Auswertung zwei spez. Wid. und eine Mächtigkeit, nämlich für die erste Schicht deren spez. Wid. ρ_1 und Mächtigkeit h und den spez. Wid. ρ_2 der zweiten Schicht. In einem 3-Schichten-Fall erhält man ρ_1 und h_1 der ersten Schicht, ρ_2 und h_2 der zweiten Schicht und ρ_3 der dritten Schicht. Im n-Schichten-Fall liefert somit die Auswertung n ρ -Werte für n-Schichten und n—1 h-Werte für n—1-Schichten.

Die aus den Messungen gewonnenen ρ_s -Werte werden in Funktion des Grundabstandes a (= ein Drittel der Primärelektrodendistanz) auf doppellogarithmisches Papier aufgetragen. Die so erhaltene Kurve vergleicht man mit theoretischen Kurven, bis sie mit einer zur Deckung gebracht werden kann oder bis sie in den Raum zwischen zwei benachbarte Kurven hineinpaßt. Die gesuchten spez. Wid. der einzelnen Schichten und deren Mächtigkeiten können dann leicht ermittelt werden. Wie dies im einzelnen geschieht, wird an einem Beispiel (Fig. 9) gezeigt.

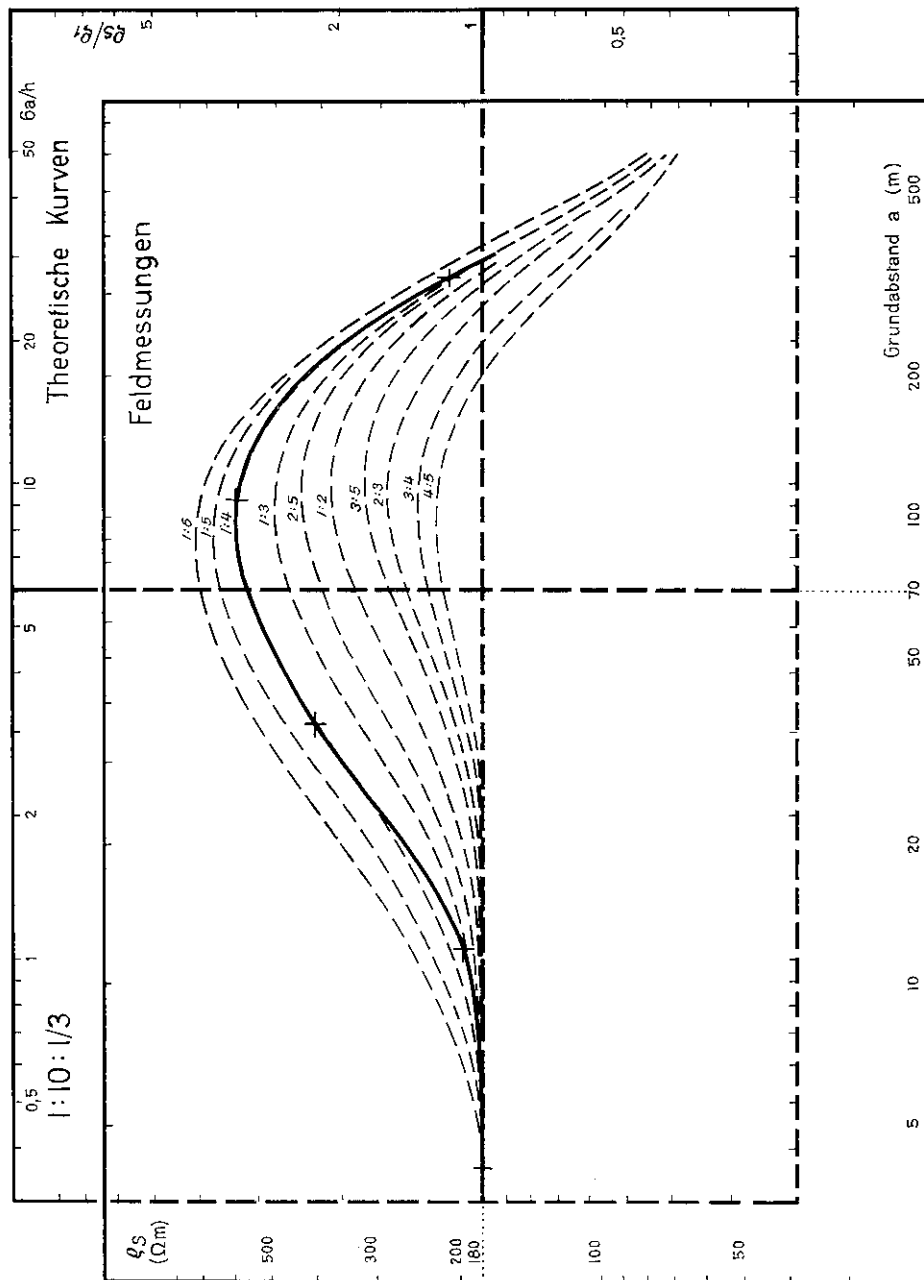


Fig. 9. Beispiel für die Auswertung eines Sondierprofils durch Vergleich mit theoretischen Kurven

Der Verlauf der auf doppellogarithmisches Papier aufgetragenen Meßwerte läßt erkennen, ob man es mit einem 2-, 3- oder Mehr-Schichten-Fall zu tun hat. Ferner kann mit einiger Übung aus dem Kurvenverlauf auf das Widerstandsverhältnis der einzelnen Schichten geschlossen werden, was zeitraubendes Suchen nach den geeigneten theoretischen Kurven erspart.

Fig. 9 stellt die Auswertungen eines 3-Schichten-Falles dar. Sie zeigt auf einem Blatt die theoretischen Kurven für das Widerstandsverhältnis $1:10:1/3 = \rho_1:\rho_2:\rho_3$ und das mit diesem zur Deckung gebrachte Blatt der Feldmessungen (Sondierprofil). Im theoretischen Kurvenblatt sind eingetragen: Als Ordinate das Verhältnis ρ_s/ρ_1 , als Abszisse das Verhältnis $6a/h$ (a = Grundabstand, $h = h_1 + h_2$), ferner zehn Kurven für verschiedene Werte des Mächtigkeitsverhältnisses $h_1:h_2$. Die Ermittlung der gesuchten Werte $\rho_1, \rho_2, \rho_3, h_1$ und h_2 geschieht nun folgendermaßen: $\rho_s/\rho_1 = 1$ der Unterlage deckt sich mit der Ordinate $\rho_s = 180 \Omega\text{m}$ des Deckblattes. Daraus folgt $\rho_1 = 180 \Omega\text{m}$ und somit $\rho_2 = 1800 \Omega\text{m}$ und $\rho_3 = 60 \Omega\text{m}$. $6a/h = 6$ der Unterlage deckt sich mit der Abszisse 70 m des Deckblattes. Daraus folgt, daß $h_1 + h_2 = 70$ m ist. Der Parameter 1:4 der theoretischen Kurve gibt das Verhältnis $h_1:(h_1 + h_2)$ an. Somit ergibt sich für $h_1 = 17$ m und $h_2 = 53$ m. In Kapitel I wurde erwähnt, daß mit einer Wenner-Lee-Anordnung qualitative Aussagen über Schichtneigungen gemacht werden können. In unserer Arbeit kommt diesen Aussagen wegen der Weitmaschigkeit des Stationsnetzes keine sehr große Bedeutung zu. Für detaillierte Untersuchungen mit einem engmaschigen Stationsnetz können sie jedoch sehr wertvoll sein.

In der Auswertung von Sondierprofilen kommt es vor, daß die gemessene Kurve in keine der theoretischen Kurvenscharen hineinpaßt. Der Grund hierfür ist, daß es nie genügend theoretische Kurven geben wird, die alle möglichen Fälle der Praxis erfassen.

Der relative Fehler der ermittelten Werte für die spez. Wid. der Schichten und ihrer Mächtigkeiten übersteigt nicht 20%.

Der nächste Schritt der Auswertung ist die Deutung der gewonnenen Widerstandswerte.

C. Geologische Deutung der Meßergebnisse

Die heikelste Aufgabe des gesamten Auswertungsprozesses ist die geologische Deutung der Meßergebnisse, die darin besteht, die gewonnenen physikalischen Daten in die geologische Sprache zu übersetzen. Zu diesem Zweck ist es in erster Linie notwendig, sich über den geologischen Aufbau des Gebietes durch Einsicht geologischer Karten und Untersuchungen zu informieren. Im weiteren werden die Resultate allfälliger, im Gebiet ausgeführter Bohrungen herangezogen und für die Interpretation verwendet. Ferner müssen auch alle geophysikalischen Aufschlüsse, die das Untersuchungsgebiet betreffen, durchgesehen und deren Ergebnisse mit den eigenen verglichen werden.

Für die vorliegende Arbeit wurden etwa 80 Bohrprofile (meist Grundwasserbohrungen) bei folgenden Stellen durchgesehen: Schweiz. Geotechnische Kommission; Wasserbau- und Wasserrechtsabteilung des Kantons Zürich, Wasserbau- und Wasserwirtschaftsamt des Kantons Aargau und verschiedene Tiefbaufirmen. In den vergangenen Jahren hat das Institut für Geophysik der Eidg. Techn. Hochschule verschiedentlich in unserem Gebiet seismische Refraktionsmessungen durchgeführt. Die hierbei erzielten Resultate wurden mit den Widerstandsmessungen verglichen und auch für die geologische Deutung herangezogen. Die vom Gebiet existierende Schwerekarte (GRETENER 1954) konnte nur in großen Zügen unseren verschiedenen Karten gegenübergestellt werden; für die Interpretation der spez. Wid. konnte sie naturgemäß nicht verwendet werden. Die Arbeit von TARASS — sie betrifft geoelektrische Widerstandsmessungen am Stadlerberg — ermöglichte wertvolle Vergleiche.

Trotz aller zur geologischen Deutung der Widerstandswerte beigezogenen Hilfsmittel erschwerte ein Umstand diese Aufgabe sehr, nämlich die Tatsache, daß die spez. Wid. petrographisch ganz verschiedener Materialien gleich sein können. Wir denken hier z. B. an die Gleichheit der spez. Wid. von Grundmoräne und mergelreicher Molasse. (Vgl. hierzu Tabelle der spez. Wid. der angetroffenen Boden- und Gesteinsarten.)

Ferner ergab sich bei der Ermittlung der spez. Wid. und der Mächtigkeiten der Schichten des öftern, daß aus dem Verlauf einer gemessenen Widerstandskurve nicht ohne weiteres gesagt werden konnte, ob nun ein 3-Schichten- oder ein 4-Schichten-Fall vorliegt (z. B. die Widerstandsverhältnisse 1:10:1 und 1:10:3:1). Die Wahl dieser oder jener theoretischen Kurve wurde durch das nach der geologischen Hypothese vermutete Schichtprofil bestimmt.

V. Die auftretenden Boden- und Gesteinsarten. Ihre spezifischen Widerstände und Mächtigkeiten

Im vorangehenden Kapitel wurde dargelegt, wie aus den Sondierprofilen die spez. Wid. der einzelnen Schichten gewonnen und gedeutet werden. Für jedes Material wurde nun ein Häufigkeitsdiagramm gezeichnet (siehe Tabelle). Diese Diagramme veranschaulichen, innerhalb welcher Grenzen sich die spez. Wid. der angetroffenen Materialien bewegen und welches die häufigsten Werte sind. Als Abszisse ist der spez. Wid. in Ohmmeter, und als Ordinate die Häufigkeit aufgetragen.

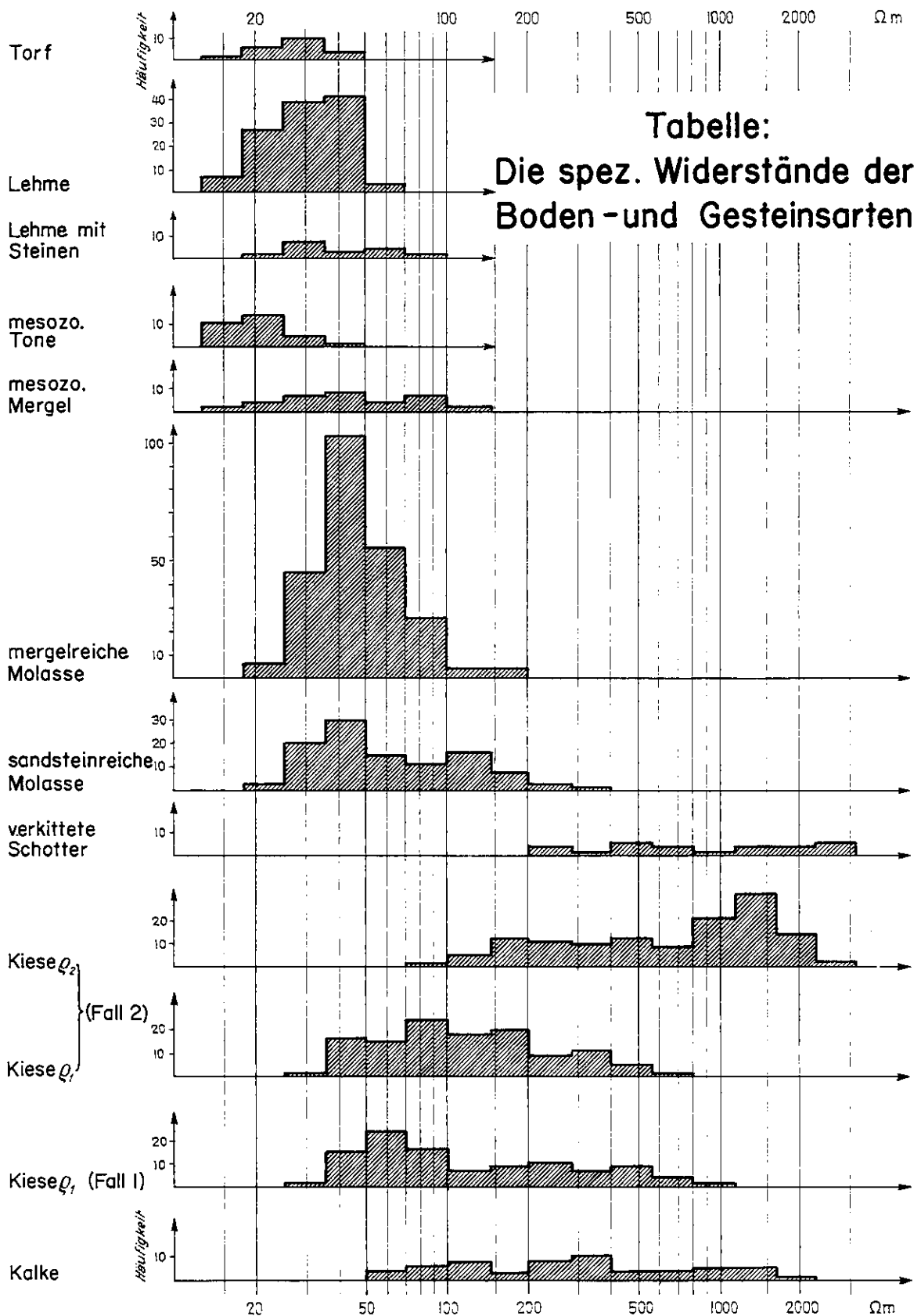
Im folgenden werden für jede Boden- und Gesteinsart angegeben, wo sie vorgefunden wurde, innerhalb welcher Werte ihre spez. Wid. liegen, welcher ihr häufigster spez. Wid. ist und welche Schichtmächtigkeiten (kleinste und größte) angetroffen wurden. Den Angaben über die Schichtmächtigkeiten kommt hier nur die Bedeutung einer Größenordnung zu. Denn wegen der weitmaschigen Anordnung der Meßpunkte (im Mittel ein Meßpunkt pro 1,2 km²) ist es sehr gut möglich, daß in verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebietes die größte bzw. die kleinste Mächtigkeit einer hangenden Schicht nicht erfaßt wurde. Ferner sei nochmals erwähnt, daß Angaben über die Mächtigkeit einer Schicht im Liegenden eines Sondierprofils nicht gemacht werden können.

Die im Gebiet getroffenen Gesteinsschichten wurden nach wesentlichen petrographischen Merkmalen in zehn Gruppen gegliedert, die mit folgenden Stichworten versehen wurden:

Torf, Lehme, Lehm mit Steinen, mesozoische Tone, mesozoische Mergel, mergelreiche Molasse, sandsteinreiche Molasse, verkittete Schotter, Kiese und Kalke.

A. Torf

Im *Neeracher* und *Dielsdorfer Ried*, im *Furttal*, im *Wehntal*, südlich von *Oberglatt* und im *Klotener Ried* wurde Torf angetroffen. Die einzelnen Gebiete können gegenseitig durch ihre spez. Wid. nicht unterschieden werden. Die spez. Wid. bewegen sich zwischen 12—40 Ωm, wobei die häufigsten Werte zwischen 25 und 35 Ωm liegen. Die Mächtigkeiten sind im allgemeinen sehr unterschiedlich und können von einigen Metern bis über 10 m betragen.



B. Lehme (Junge pelitische Ablagerungen)

In dieser Gruppe sind zusammengefaßt Gehängelehme, Seebodenlehme und Lehme verschiedener oder ungeklärter Entstehungsart.

Die Gehängelehme weisen spez. Wid. von 15 bis 45 Ωm auf. Der häufigste Wert ist 30 Ωm . Ihre Mächtigkeit übersteigt im Durchschnitt kaum einige Meter. Ihr Vorkommen beschränkt sich meist auf den Fuß der Hänge von Molassehügeln. Da unser Gebiet zu einem sehr großen Teil aus Molassegesteinen aufgebaut ist, treten die Gehängelehme sehr häufig auf.

Im *Dielsdorfer* und *Klotener Ried* wurden Seebodenlehme angetroffen. Im ersten Gebiet bewegen sich die spez. Wid. um 17 Ωm , bei Mächtigkeiten bis zu 18 m, im zweiten Gebiet zwischen 30—34 Ωm . Die Mächtigkeiten streuen hier von 24 bis 37 m.

Den weitaus größten Anteil in der Gruppe der Lehme haben die Lehme verschiedener Entstehungsart. In der untenstehenden, kleinen Tabelle sind alle Angaben zusammengestellt.

Gebiet	Ωm	Häufigster Wert in Ωm	Mächtigkeiten in m
Dielsdorfer und Neeracher Ried	20—38	32	12—18
Klotener Ried	30—55	45	8—50
Furttal	24—36	30	13—76
Wehntal	34—50	41	7—10
Glattal	28—38	32	5—7
Limmattal	20—55	35	6—45
Reußtal	30—44	38	4—44
Birrfeld	20—44	35	4—80

C. Lehme mit Steinen (Grundmoräne)

Zum Unterschied der Lehme von B weisen diese noch Einlagerungen von Geröllen von Sand- bis Grobkiesgröße auf.

Im *Stadlertal*, in der Ebene *Embrach-Rorbas* und im Gebiet zwischen *Birmenstorf* und *Mellingen* wurden Grundmoränen festgestellt. Die spez. Wid. sind im Stadlertal 20—40 Ωm (32 Ωm häufigster Wert), für Embrach-Rorbas einheitlich 30 Ωm und zwischen Mellingen und Birmenstorf von 30 bis 70 Ωm mit einem häufigsten Wert von 55 Ωm . In keinem der vorliegenden Gebiete konnte die Mächtigkeit der Grundmoräne bestimmt werden. Der Grund hierfür ist der kleine Unterschied der spez. Wid. der Grundmoräne und der ihr unterlagerten Molassegesteine. Im Stadlertal wurden Überlagerungen der Grundmoräne von über 60 m Mächtigkeit bestimmt, zwischen Embrach und Rorbas um 20 m. Bei Mellingen liegt die Grundmoräne in 70 m Tiefe, SE Birmenstorf noch etwa in 36 m Tiefe.

D. Mesozoische Tone

Im nordwestlichen und westlichen Teil des Untersuchungsgebietes wurden mesozoische Tone angetroffen. Es sind zur Hauptsache Opalinustone — kalkarme Schiefertone, in Wasser erweichbar — des unteren Dogger. Die einzelnen Gebiete sind folgende:

Lägern-Habsburg-Antiklinale: Die spez. Wid. sind einheitlich 20 Ωm . *Kestenberg*: 30 Ωm ist hier einheitlich bestimmt worden. *Ruckfeld*: Die Werte streuen zwischen 13 und 20 Ωm , der häufigste Wert liegt bei 19 Ωm . Am *Achenberg* bestimmt man eine Streuung von 14 bis 25 Ωm , mit einem häufigsten Wert um 19 Ωm . Im Gebiet von *Zurzach-Rietheim* sind die spez. Wid. wiederum einheitlich um 21 Ωm .

Mächtigkeiten können keine angegeben werden, da die Tone einerseits sehr gute Leiter sind und somit als «Abschirmung» auf ihr Liegendes wirken, und anderseits meistens unter einer mächtigen Überdeckung (im Ruckfeld bis zu 85 m) liegen.

E. Mesozoische Mergel

Einen Teil dieser Gruppe bilden die Mergel der Effingerschichten des unteren Malms (Argovien), den anderen Keuper- und Liasmergel. Die Effingermergel sind deutlich schiefrige, relativ kalkreiche Mergel mit Einlagerungen von zahlreichen, dünnen Bänken von fein kristallinen Kalksteinen. Die Keupermergel sind vorwiegend karbonatreich, zerfallen in Wasser und haben Einlagerungen von Gips, Sandsteinen und Dolomit. Die Liasmergel sind geringmächtige, kalkarme bis fast kalkfreie Pelite.

Die Effingermergel haben ihren häufigsten Wert zwischen 70—75 Ωm bei einer Streuung von 50 bis 110 Ωm ; die Keupermergel und Liasmergel liegen zwischen 20 und 42 Ωm mit einem häufigsten Wert bei 32 Ωm . Diese beiden Gruppen sind auf dem Häufigkeitsdiagramm (Tabelle S. 20) deutlich erkennbar.

Die Effingermergel wurden an der *Lägern*, am *Kestenberg*, im Raum *Hörnli-Achenberg* und am Rande des *Birrfeldes* festgestellt, die Keuper- und Liasmergel im Gebiet von *Zurzach-Rietheim*.

Aus ähnlichen Gründen, wie bei den mesozoischen Tonen, konnten für die mesozoischen Mergel keine Mächtigkeiten bestimmt werden.

F. Mergelreiche und sandsteinreiche Molasse

Die Molasse besteht einerseits aus porösen, meist kalkhaltigen, feinkörnigen Sandsteinen und anderseits aus Mergeln von verschiedenem Kalkgehalt. Die marine Molasse besteht vor allem aus Sandsteinen, wobei der kalkreiche Muschelsandstein zu erwähnen ist. In der Unteren Süßwassermolasse wiegen Mergel weit vor und z. T. auch in der Oberen Süßwassermolasse. Für unsere Betrachtungen benützen wir folgende Einteilungen: Mergelreiche Molasse = Obere und Untere Süßwassermolasse, Sandsteinreiche Molasse = Marine Molasse.

Aus der Übersichtskarte (Fig. 4) ist der Hauptanteil dieser Gesteine am Aufbau des Gebietes, sowie ihre Verteilung ersichtlich.

Die spez. Wid. der mergelreichen Molasse liegen zwischen 26 und 200 Ωm mit häufigsten Werten zwischen 40—50 Ωm . Die Extremwerte der sandsteinreichen Molasse sind 23 und 330 Ωm . Das Häufigkeitsdiagramm zeigt zwei Maxima. Ein erstes liegt bei 120 Ωm und deutet den höheren Sandgehalt der marinen Molasse an, ein zweites liegt an gleicher Stelle wie das der mergelreichen Molasse. In den Sondierprofilen wurden die Molassegesteine fast überall als Liegendes angetroffen. Die wenigen Stellen, für welche Molassemächtigkeiten angegeben werden können, sind in den Erläuterungen zu den geologischen Tiefenkarten (Kapitel VII, S. 32) zu finden.

G. Verkittete Schotter (Deckenschotter)

Die verkitteten Schotter (Kies-Sandablagerungen der älteren Eiszeit) beschränken sich in ihrem Vorkommen ausschließlich auf Hochplateaus der Molasse. Auf folgenden Molasse-Erhebungen liegen Deckenschotter: *Stadlerberg*: Die Messungen ergaben einen mittleren spez. Wid. von 1700 Ωm und Mächtigkeiten um 15 m. In diesem Zusammenhang sei auf die Arbeit von TARASS (1954) verwiesen.

Sie betrifft eingehende geoelektrische Untersuchungen am Stadlerberg. *Egg*: Der häufigste Wert beträgt 1050 Ωm . Die ermittelten Mächtigkeiten liegen zwischen 20 und 50 m. *Dörn-Gländ*: Auf diesem Plateau wurden viel niedrigere spez. Wid. bestimmt. Der häufigste Wert liegt bei 660 Ωm ; die Mächtigkeiten schwanken zwischen 15 und 48 m. *Bowald*: Die Unterschiede in den spez. Wid. sind hier bedeutend; der größte Wert beträgt 4500 Ωm , der kleinste 250 Ωm . Letzterer deutet auf Verwitterung des im allgemeinen schlecht leitenden Materials hin. Der häufigste Wert für den Bowald ist 1650 Ωm . Die vorgefundenen Mächtigkeiten gehen von 12 bis 50 m. *Kreuzliberg*: Die Werte liegen hier wiederum tief und zeigen eine Häufung bei 500 Ωm . Die Mächtigkeiten bewegen sich zwischen 40 und 50 m. *Sanzenberg*: Auf ihm konnte nur ein einziges Profil gemessen werden. Die Daten sind: 2600 Ωm und 68 m.

An anderen Vorkommen von Deckenschottern, wie z. B. Altberg oder Laubberg, konnten wegen der ungeeigneten topographischen Verhältnisse keine Widerstandsprofile aufgenommen werden.

H. Unverkittete Schotter (Kiese)

Die unverkitteten Kies-Sandablagen der jungen Eiszeit sind in unserem Gebiet sehr reich vertreten und halten sich zur Hauptsache an die weitverzweigten Talsysteme. Ihren größten Anteil bilden die Niederterrassenschotter, zu einem kleineren Teil sind es Schotter der Mittel- und Hochterrasse. Für unsere Betrachtungen sind alle diese Schotter unter ihrer einheitlichen petrographischen Bezeichnung «Kiese» zusammengefaßt. Wegen der weiten Verbreitung dieser Gesteinsart erhielten wir in zwei Drittel aller gemessenen Sondierprofile Angaben über die spez. Wid. der Kiese. Bei der Auswertung ließen sich zwei Fälle von geoelektrischen Profilen unterscheiden.

Fall 1: In Fig. 10a ist ein Bodenprofil dargestellt, wie es die Auswertung des Widerstandsprofils (Fig. 10b) liefert. ρ_1 ist der spez. Wid., h_1 die Mächtigkeit des Kiesel, ρ_2 der spez. Wid. des Liegenden, z. B. der Molasse. Man hat also hier einen 2-Schichten-Fall.

Fall 2: Die Auswertung ergibt ein dreischichtiges Bodenprofil (Fig. 11a). ρ_3 ist als Liegendes des Profils wiederum ein guter Leiter. ρ_1 und ρ_2 sind die spez. Wid. des Kiesel und h_1 und h_2 die entsprechenden Mächtigkeiten (Fig. 11b).

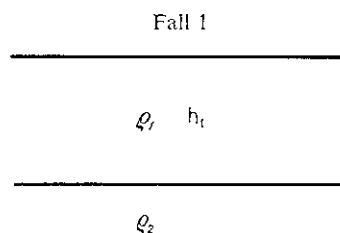


Fig. 10a

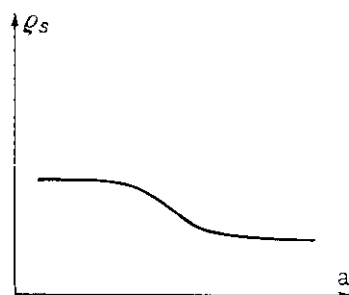


Fig. 10b

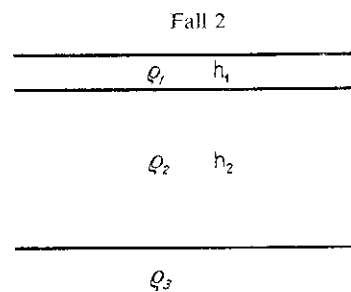


Fig. 11a

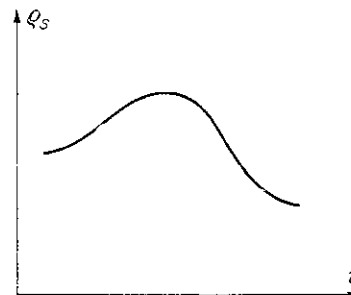


Fig. 11b

Die Häufigkeitsdiagramme der Tabelle (S. 20) geben Aufschluß über das Verhalten der spez. Wid. Aus der Darstellung ist ersichtlich, daß sich ρ_1 der Fälle 1 und 2 nicht unterscheiden lassen. Die Werte von ρ_2 liegen viel höher und haben die größte Häufigkeit zwischen 1000 Ωm und 2000 Ωm . Die Mächtigkeiten der verschiedenen Horizonte sind: h_1 von 1: Mittlere Mächtigkeit 22 m (Extremwerte 2 m und 70 m); h_1 von 2: Mittlere Mächtigkeit 9 m (Extremwerte 1 m und 40 m); h_2 von 2: Mittlere Mächtigkeit 33 m (Extremwerte 1,5 m und 107 m). Es wurde nun untersucht, ob an einen bestimmten Kies nur einer der beiden Fälle gebunden ist, d. h. ob z. B. Fall 2 nur auf Niederterrassen- oder nur auf Hochterrassenschottern auftritt usw., oder ob sich andere gemeinsame Punkte für eine der Kiesgruppen ergeben. Überall wurde festgestellt, daß die beiden Fälle auf allen Schottern (Niederterrasse, Mittel- und Hochterrasse) gefunden werden können. So findet man z. B. sowohl in der Hochterrasse des Ruckfeldes, als auch in der Niederterrasse des Birrfeldes Kiese, wie sie im Fall 2 beschrieben sind. Andererseits zeigte sich, daß Kiese von 1 in der Regel nahe der Ränder eines Schotterfeldes (z. B. nahe von Talhängen) auftreten, während Kiese nach 2 vorwiegend im «Innern» desselben Schotterfeldes anzutreffen sind. Die Besichtigung verschiedener, ganz frischer Kiesgruben zeigt überall eine makroskopische Homogenität des Materials. Petrographisch besteht kein Unterschied zwischen den beiden Kiesgruppen. Der durch die Auswertung der Sondierprofile (Fall 2) gelieferte Horizont h_1 ist rein physikalischer Natur und beruht nicht auf einem lithologischen Wechsel. Seine spez. Wid. sind immer 2- bis 20mal kleiner als das ρ_2 . Der Leitfähigkeitsunterschied in den petrographisch homogenen Kiesen kann somit nur mit unterschiedlichen Elektrolytgehalten erklärt werden. Die Elektrolytgehalte werden vorwiegend durch eingedrungene Sickerwasser mit ihrem chemischen Einwirkungsvermögen auf die verschiedenen Materialkomponenten bestimmt. In den auskeilenden Zonen von Kiesablagerungen können neben den von oben her eindringenden Sickerwassern auch seitlich wässrige Lösungen (z. B. Gehängewasser) den Kiesen zufließen und auf die Weise auch in tieferen Lagen eine größere Feuchtigkeit und einen erhöhten Elektrolytgehalt bewirken. Man wird in diesem Fall ein geoelektrisches Sondierprofil der Gruppe 1 messen. Ob im Liegenden dieser Kiese noch solche von hohem spez. Wid. und einer im Verhältnis zu h_1 sehr geringen Mächtigkeit vorkommen, kann anhand der benützten, theoretischen Auswertungskurven nicht gesagt werden.

Zusammenfassend ergibt sich nach unseren Messungen und Beobachtungen über die Kiese folgendes:

In der Regel werden auf Schotterfeldern geoelektrische Widerstandsprofile nach Fall 2 gemessen. Der obere Horizont h_1 ist rein physikalischer Natur und zeichnet sich durch einen höheren Elektrolytgehalt gegenüber Horizont h_2 aus. Bei den Profilen gegen die Ränder der Schotterfelder hin fehlt Horizont h_2 (eine sehr geringe Mächtigkeit desselben wird durch die Auswertung nicht angezeigt). Die Mächtigkeit des Horizontes h_1 ist im Mittel 9 m, gegen die randlichen Zonen nimmt sie durchschnittlich bis auf 22 m zu. Die gemittelte Gesamtmächtigkeit der Kiesablagerungen ($h_1 + h_2$) beträgt 42 m.

I. Kalke

Das Häufigkeitsdiagramm (Tabelle S. 20) zeigt deutlich drei Maxima. Diese entsprechen drei vorwiegend kalkigen Schichtgruppen, erstens den vorwiegend dichten Kalken des Malms, zweitens den stark von Mergellagen durchsetzten Kalkbänken des Doggers (Mergelkalke) und drittens den dichten bis spätigen Kalken des Muschelkalks der Trias (Muschelkalke).

Die spez. Wid. sind folgende: Mergelkalke: 55—170 Ωm , häufigster Wert zwischen 90 und 95 Ωm ; dichte Kalke: 120—1200 Ωm , häufigster Wert um 380 Ωm ; Muschelkalke: 650—1600 Ωm , häufigster Wert 1100 Ωm . In nachstehenden Gebieten wurden diese Schichtgruppen festgestellt: Mergelkalke und

dichte Kalke: An der *Lägern*, ihrem Ostende und ihrer westlichen Fortsetzung, an der *Habsburg*-Antiklinale, am *Kestenberg*, im Raum zwischen *Kaiserstuhl-Döttingen-Würenlingen*, im *Wehntal* und im *Surbial*; Muschelkalke: SW von *Koblenz* und an der *Habsburg*-Antiklinale.

Die Kalke wurden überall als Liegendes der Sondierprofile angetroffen, so daß keine Angaben über ihre Mächtigkeiten gemacht werden können. Die geologischen Tiefenkarten erteilen jedoch Aufschluß über die Mächtigkeiten des Hangenden der Kalkhorizonte. Es seien hier noch die wichtigsten Stellen erwähnt, an welchen Kalk in mehr als 100 m Tiefe festgestellt wurde: Zwischen Dielsdorf und dem 3 km östlich davon gelegenen Eschenberg und auf der Südseite des Wehntales. Näheres hierüber findet sich in Kapitel VII, Abschnitt B).

VI. Die Widerstandskarten

Eine Widerstandskartierung wird mit einer gleichbleibenden Meßanordnung ausgeführt, wodurch die Sondiertiefen in allen Meßpunkten mehr oder weniger dieselben sind. Man kartiert somit die horizontale Variation des scheinb. spez. Wid. ρ_s eines gleichmäßig dicken Paketes des Untergrundes. Die Mächtigkeit dieses Paketes entspricht für die Wenner-Anordnung ungefähr dem Grundabstand, mit welchem die Kartierung vorgenommen wurde.

Auf jeder Meßstation wurde ρ_s für die Grundabstände 4 m, 12 m, 36 m, 108 m und 324 m bestimmt. Für jeden Grundabstand, bzw. jede Sondiertiefe wurden die Widerstandswerte in eine Karte eingetragen und Kurven gleichen scheinb. spez. Wid. (Isoresistiven) gezeichnet. Es ist nun selbstverständlich, daß eine Widerstandskarte nur dann möglichst objektiv gezeichnet werden kann, wenn ihr ein entsprechend dichtes Stationsnetz zugrunde liegt. Weitmaschige Stationsnetze, wie das vorliegende, geben der Kurvenführung größere Freiheiten, wodurch verschiedene, aber immer mit den Meßwerten verträgliche Lösungen (Karten) gezeichnet werden können. Alle möglichen Lösungen haben jedoch nicht dieselbe geologische Wahrscheinlichkeit. Um diese in größtem Maße zu erreichen, wird man sich beim Zeichnen von Widerstandskarten zur Hauptsache von geologischen Überlegungen und Kenntnissen und dementsprechend von gewissen Vorstellungen leiten lassen, womit nicht gesagt sein will, daß der individuelle Einfluß des Interpreteten nun ausgeschaltet sei. In diesem Zusammenhang sei auf die sehr aufschlußreiche Arbeit von *Poldini* (1944) verwiesen.

Im folgenden Abschnitt werden einige Bemerkungen zu der Sondiertiefe und dem scheinb. spez. Wid. in den Widerstandskarten gemacht und in Abschnitt B Erläuterungen zu den Widerstandskarten gegeben.

A. Bemerkungen über Sondiertiefe und scheinbaren spezifischen Widerstand in den Widerstandskarten

Sondiertiefe: Unter der Sondiertiefe einer festen Meßanordnung verstehen wir diejenige Tiefe einer Unstetigkeitsfläche, die mit einer gewünschten Genauigkeit noch bestimmt werden kann. So kann eine konstante Meßanordnung bei gegebener Genauigkeit der Tiefenbestimmung recht verschiedene Sondiertiefen besitzen. In diesem Fall hängen die erreichbaren Sondiertiefen nur vom Widerstandsverhältnis der erfaßten Schichten ab. Im folgenden werden diese Zusammenhänge näher erläutert.

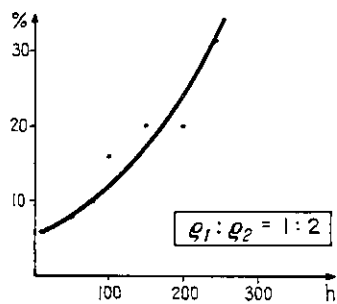


Fig. 12

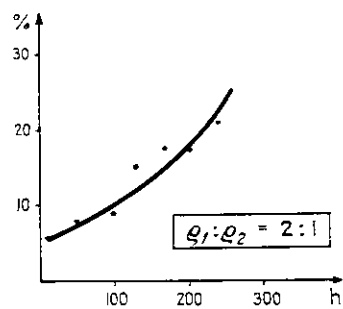


Fig. 13

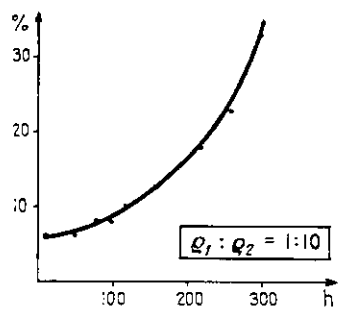


Fig. 14

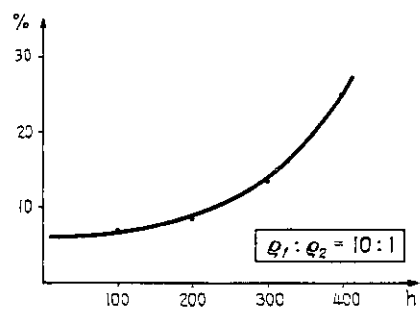


Fig. 15

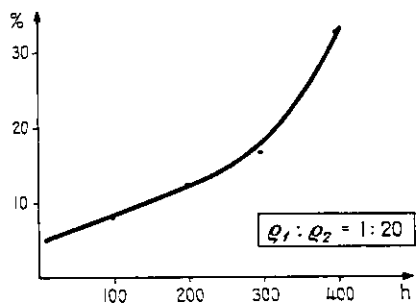


Fig. 16

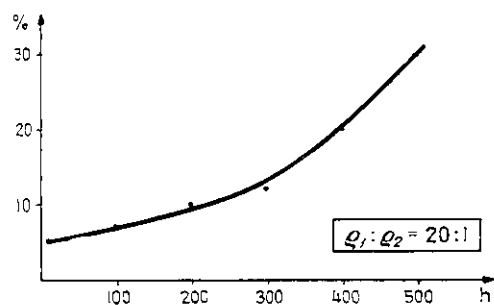


Fig. 17

Zu diesem Zweck betrachten wir unsere Meßanordnung mit ihren fünf Grundabständen und einer Totallänge der Wenner-Auslage von 972 m. Wir fragen nun, was für Sondiertiefen mit dieser Auslage erreicht werden können. Dies soll am 2-Schichten-Fall untersucht werden. Die nachstehenden Widerstandsverhältnisse von erster zu zweiter Schicht werden betrachtet: 1:2, 2:1, 1:10, 10:1, 1:20 und 20:1. Für jedes Widerstandsverhältnis wurde folgendes gemacht: Für verschiedene Mächtigkeiten h (10 bis 400 m) der ersten Schicht wurden deren prozentuale Fehler bestimmt, die sich aus dem visuellen Vergleich der Meßkurve mit den theoretischen Zwei-Schichtenkurven ergaben. Diese Fehler sind für kleine Werte von h noch gering, wachsen jedoch mit zunehmender Mächtigkeit von h .

In den Figuren 12 bis 17 sind jeweils als Abszisse die Mächtigkeiten h und als Ordinate die prozentualen Fehler von h aufgetragen.

Widerstandsverhältnis 1:2 (Fig. 12): Die Figur gibt den Zusammenhang von h und seinem prozentualen Fehler graphisch wieder. So läßt sich mit unserer festen Meßanordnung eine Mächtigkeit der ersten Schicht von 80 m mit 10% Genauigkeit bestimmen. Andererseits kann eine Mächtigkeit von 160 m mit einer Genauigkeit von 18% ermittelt werden usw. Aus der Auswertung aller für die vorliegende Arbeit gemessenen Widerstandsprofile ergab sich für die Mächtigkeitsbestimmung der einzelnen Horizonte ein max. Fehler von 20%. Dieser Wert gelte auch für alle vorliegenden Betrachtungen. Daraus ergibt sich eine Sondiertiefe unserer Meßanordnung bei einem Widerstandsverhältnis von 1:2 von 180 m.

Ist dieses Verhältnis umgekehrt, also 2:1, so zeigt uns Fig. 13 eine Sondiertiefe von 220 m an. Hieraus ist schon ersichtlich, daß größere Sondiertiefen erreicht werden können, wenn das Liegende besser leitend ist als das Hangende. Mit wachsendem Unterschied der Leitfähigkeit nimmt auch die Sondiertiefe zu. Für das Widerstandsverhältnis 1:10 (Fig. 14) beträgt die Sondiertiefe 230 m, für das Verhältnis 10:1 (Fig. 15) 360 m. Bei einem Widerstandsverhältnis von 1:20 (Fig. 16) läßt sich eine Sondiertiefe von 340 m und einem solchen von 20:1 (Fig. 17) von 400 m erreichen.

Die sechs angeführten Widerstandsverhältnisse überdecken einen Großteil der von uns im Feld angetroffenen Fälle. Mittelt man nun alle obenstehenden Sondiertiefen, so ergibt sich eine durchschnittliche Sondiertiefe der verschiedenen Verhältnisse von 290 m. Diese Sondiertiefe entspricht ungefähr dem größten Grundabstand ($a = 324$ m) unserer Widerstandsprofile. In diesem Sinne ist die Faustregel zu verstehen, die besagt, daß für die Wenner-Methode die Sondiertiefe angenähert dem Grundabstand entspricht.

Die dargelegten Betrachtungen für verschiedene 2-Schichten-Fälle können auch für die komplizierteren 3- und Mehr-Schichten-Fälle durchgeführt werden.

Die nachstehenden Bemerkungen betreffen die Frage der Sondiertiefe in den Widerstandskarten. Es wurde oben gezeigt, daß mit einer festgehaltenen Meßanordnung unterschiedliche Sondiertiefen erreicht werden und daß diese vom Widerstandsverhältnis der erfaßten Schichten abhängig sind. Dieses gilt auch für die Widerstandskartierung. Bedenkt man die Vielfalt der in einem zu untersuchenden Gebiet vorkommenden Widerstandsverhältnisse, so kann, aus analogen Gründen wie oben die Sondiertiefe einer Widerstandskarte im Durchschnitt dem Grundabstand gleichgesetzt werden, mit dem sie ausgeführt wurde.

Der scheinb. spez. Wid. in den Widerstandskarten: Anhand von zwei Beispielen soll gezeigt werden, wie die scheinb. spez. Wid. durch die wahren spez. Wid. der einzelnen Schichten bestimmt werden. In Fig. 18 und Fig. 19 sind zwei für unser Gebiet typische Beispiele wiedergegeben. Fig. 18 stellt die Auswertung des Sondierprofils in Meßpunkt 268450/675950 dar. Die Mächtigkeiten sind als Ordinaten im logarithmischen Maßstab in Meter aufgetragen. Die Schichtfolge zeigt bis 50 m Tiefe Kiese mit 1200 Ω m. Die ersten 5 m dieses Materials haben einen geringeren Widerstand (400 Ω m). Es sind Kiese von derselben Beschaffenheit, wie sie in Kapitel V beschrieben wurden. Nach 50 m Tiefe steht mergel-

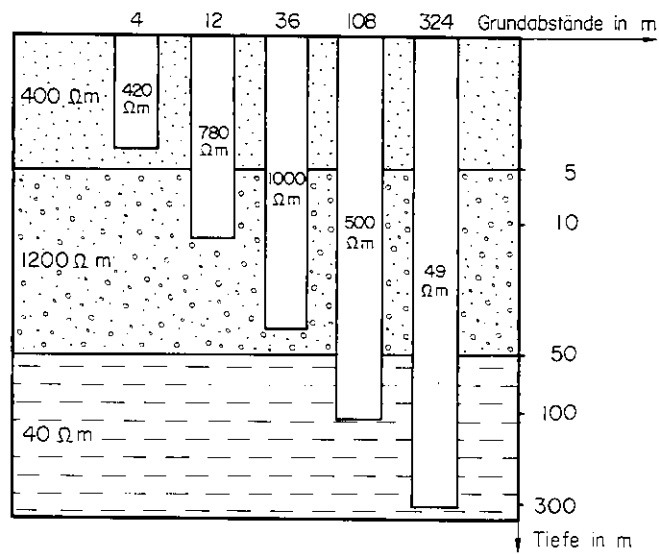


Fig. 18. Geoelektrische Verhältnisse in Meßpunkt 268450/675950
Erläuterungen im Text

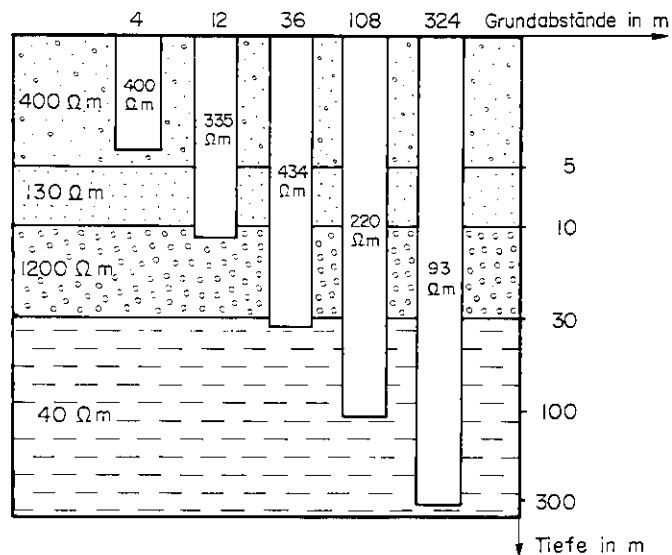


Fig. 19. Geoelektrische Verhältnisse in Meßpunkt 265280/669260
Erläuterungen im Text

reiche Molasse (Obere Süßwassermolasse) mit $40 \Omega\text{m}$ an. Ferner sind in der Figur in fünf Säulen die gemessenen ρ_s -Werte für die Grundabstände 4 m, 12 m, 36 m, 108 m und 324 m eingetragen. Die Säulenlängen entsprechen den Längen der Grundabstände, womit die Größenordnung der jeweiligen Sondiertiefe veranschaulicht sei.

In Fig. 19 sind in analoger Weise die Ergebnisse von Meßpunkt 265280/669260 dargestellt. Das Schichtprofil zeigt hier folgendes: Bis 5 m Tiefe Kiese mit $400 \Omega\text{m}$. Von 5 bis 10 m Kiese z. T. etwas lehmig mit $130 \Omega\text{m}$. Von 10 bis 30 m Tiefe verkittete Schotter (Deckenschotter) von $1200 \Omega\text{m}$ und als Liegendes mergelreiche Molasse (Obere Süßwassermolasse) mit einem Widerstand von $40 \Omega\text{m}$.

Betrachten wir zunächst die scheinb. spez. Wid. (ρ_s) in Fig. 18. Für 4 m Grundabstand ist ρ_s $420 \Omega\text{m}$ und ρ der ersten Schicht (ρ_1) $400 \Omega\text{m}$. ρ_s ist für diese Sondiertiefe schon etwas höher als ρ_1 ; ein Teil des Stromes fließt bereits durch die mittlere schlechtleitende Schicht. Für 12 m ist ρ_s $780 \Omega\text{m}$, wodurch sich der schlechte Leiter deutlich anzuzeigen beginnt. Für 36 m Grundabstand ist ρ_s $1000 \Omega\text{m}$. Dieser Wert liegt etwas unter dem wahren Widerstand der mittleren Schicht ($1200 \Omega\text{m}$). Er ist bedingt durch die besser leitende Oberflächenschicht ($400 \Omega\text{m}$). Die ρ_s -Werte für die Grundabstände 108 m und 324 m nehmen nun schnell ab. Der Einfluß der mittleren schlechtleitenden Schicht macht sich immer weniger bemerkbar. Für 324 m ist ρ_s nur noch $49 \Omega\text{m}$, womit man in die Größenordnung des spez. Wid. des Liegenden ($40 \Omega\text{m}$) gelangt. Etwas komplizierter sind die Verhältnisse des Beispiels in Fig. 19. Hier liegt ein 4-Schichten-Fall vor und die ρ_s -Werte folgen viel weniger deutlich, als im vorangehenden Beispiel, den effektiven spez. Wid. der einzelnen Schichten. Für 4 m Grundabstand ist der ρ_s -Wert gleich dem wahren Widerstand der ersten Schicht ($400 \Omega\text{m}$). Bei 12 m nimmt ρ_s etwas ab ($335 \Omega\text{m}$) und deutet somit die zweite Schicht ($\rho_2 = 130 \Omega\text{m}$) an. Die dritte, am schlechtesten leitende Schicht kommt im ρ_s -Wert für 36 m zum Ausdruck. Mit zunehmender Profillänge nimmt ρ_s wieder ab; der gute Leiter im Liegenden ($40 \Omega\text{m}$) macht sich bemerkbar.

B. Einige Erläuterungen zu den Widerstandskarten (Tafeln I—V)

Eine Widerstandskartierung wird mit um so größerem Erfolg angewendet, je besser sich die zu untersuchenden geologischen Formationen in ihren spez. Wid. unterscheiden.

In unserem Gebiet haben wir für folgende Schichtfolgen gute Leitfähigkeitsunterschiede: Kiese — Molasse, Deckenschotter — Molasse, Kiese — Tone, Kiese — Mergel und Molasse — Kalke. In unseren Widerstandskarten treten die Gebiete solcher Materialpaarungen deutlich hervor.

Ferner ist bei einer Widerstandskartierung noch ein weiterer Punkt zu beachten. Gesteinsgrenzen treten im allgemeinen in einer Karte gut in Erscheinung, wenn man einen im Wendepunktsbereich der Widerstandskurve liegenden Elektrodenabstand wählt.

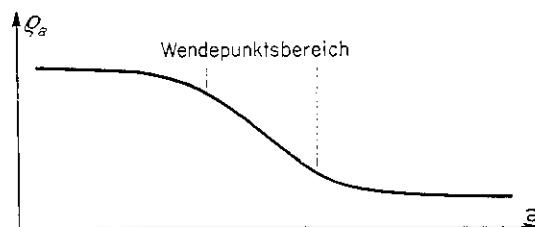


Fig. 20. Widerstandskurve eines 2-Schichtenfalles mit Wendepunktsbereich

In Fig. 20 ist der Wendepunktsbereich auf einer Widerstandskurve für einen zweischichtigen Untergrund eingetragen. Man wählt einen Elektrodenabstand im Wendepunktsbereich, weil die ρ_s -Werte in diesem Bereich der Widerstandskurve am empfindlichsten auf Mächtigkeitsänderungen der überdeckenden Schicht (Lage der Schichtgrenze) reagieren.

Die in unserem Gebiet am meisten interessierende Gesteinsgrenze ist die Trennfläche von quartären und tertiären Formationen. Die quartären Ablagerungen haben sehr verschiedene Mächtigkeiten. Demzufolge wird nicht nur eine der vorgelegten Karten die Verhältnisse am besten wiedergeben. Je nach der Schichtdicke der Überdeckungen werden lokale Verhältnisse besser in der einen als in der anderen Karte erscheinen. Dies ist mitunter ein Grund, warum mehrere Widerstandskarten gezeichnet wurden.

Im folgenden wird anhand der Karte für 36 m Grundabstand gezeigt, wie diese Karten gelesen und interpretiert werden können.

Die *Widerstandskarte* für 36 m *Grundabstand* (Tafel III): Entsprechend der geologischen Vielseitigkeit zeichnet sich die Widerstandskarte durch große Unterschiede der Widerstände aus, wie dies durch die verschiedenen Helligkeitsstufen der Signatur schon ersichtlich ist. Die dunkelsten Bereiche haben Widerstände von 400 Ω m und mehr, die hellsten von 50 Ω m und darunter. Mit den Betrachtungen soll im erweiterten Gebiet des Glattales begonnen werden. Im Süden ist eine große Zone niedrigen Widerstandes ($< 50 \Omega$ m); es ist das Klotener Ried mit seinen Lehmen um 45 Ω m. Ebenfalls als gutleitende Zone bezeichnet sich NE des Klotener Riedes der Molassehügel zwischen Bülach, Embrach und Kloten ab. Von Oberglatt an nordwärts bis zum Rhein nehmen die Widerstände ständig zu. Dieses Gebiet schlechter Leitfähigkeit zeigt die weitverbreiteten Kiesablagerungen des unteren Glattales an. Südlich von Eglisau, zwischen Laubberg und Rheinsberg, ist durch eine Rinne hohen Widerstandes ein alter Glattlauf angedeutet. Die Deckenschotter des Stadlerberges und des Sanzenberges, der Egg und ihrer nördlichen Fortsetzung (als «Belchen» in der Landeskarte bezeichnet), des Bowaldes und des Gländ heben sich deutlich durch ihre hohen Widerstände von ihrer gutleitenden Unterlage, der Molasse, ab. Die zwischen diesen Deckenschotterplateaus durchziehenden Täler, wie Bachsertal und das Tal von Niederweningen nach Siglisdorf treten als Zonen guter Leitfähigkeit (Molasse) hervor. Im Gegensatz zu diesen Tälern von kleinem Widerstand hebt sich das südlich von ihnen gelegene Wehn- und Surbtal (von Steinmaur bis Endingen) durch höheren Widerstand (100–200 Ω m) von seiner Umgebung ab. Im Osten des Wehntales erkennt man an den kleinen Widerständen ($< 50 \Omega$ m) das sumpfig-lehmige Gebiet des Dielsdorfer und Neeracher Riedes. In westlicher Fortsetzung des Surbtales trifft man zuerst auf das deutlich hervortretende Ruckfeld (200–400 Ω m) und dann auf die sehr schlecht leitenden Aarekiese (höchste Werte bis 1950 Ω m). Die Höhenzüge Achenberg und Hörnli zeichnen sich durch geringen Widerstand aus (20–30 Ω m). Es sind zur Hauptsache die Opalinustone, die hier ein Gebiet guter Leitfähigkeit bewirken. Im Birrfeld, im Reußtal und im Bünztal (S des Kestenberges) werden hohe Widerstände bestimmt, welche die ausgedehnten Kiesablagerungen in diesem Gebiet anzeigen. Im S des Birrfeldes und auf der rechten Reußtalseite zeichnet sich die Molasse als guter Leiter ab. An den höheren Widerständen als ihre Umgebung erkennt man das Limmattal und das Furttal. Die übrigen Teile unseres Untersuchungsgebietes, die hier nicht näher erwähnt werden, haben geringe Widerstände (immer $< 100 \Omega$ m, niedrigste Werte bis gegen 20 Ω m). Es sind zur Hauptsache die elektrisch gut leitenden Molassegesteine.

Aus obenstehenden Erläuterungen geht hervor, wie eine Widerstandskarte, trotz Mehrdeutigkeit der scheinb. spez. Wid., das Untersuchungsgebiet in geologische Einheiten aufteilt und daher wie eine geologische Übersichtskarte gelesen werden kann.

VII. Die geologischen Tiefenkarten

Aus den Sondierprofilen erhält man Einsicht in die Abfolge und die Mächtigkeiten der Gesteinsschichten des Untergrundes. Man hat die Möglichkeit, Angaben über die Materialart in einer bestimmten Tiefe zu machen und die gewonnenen Erkenntnisse in einer Karte zusammenzufassen. Es gibt verschiedene Arten dies zu tun. Wir haben uns für folgende kartographische Darstellung entschlossen. Die vorgelegte Karte veranschaulicht die geologischen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes in einer konstanten Tiefe. So wird z. B. eine Karte für 80 m Tiefe die geologische Situation in 80 m unter der Erdoberfläche wiedergeben. Wie leicht einzusehen ist, stehen die Möglichkeiten, anhand dieser Tiefenkarten geologische Aussagen machen zu können, in direktem Zusammenhang mit der Meßpunktdichte. In unserem Fall zeigen die Karten, was sich mit einer weitmaschigen und großräumigen Meßpunktverteilung geologisch aussagen läßt. Es wurden Karten für 10 m, 20 m, 50 m und 100 m Tiefe erstellt. In ihnen sind Lehme, Kiese und verkittete Schotter, mergelreiche und sandsteinreiche Molasse, mesozoische Kalke und mesozoische Tone und Mergel ausgeschieden.

A. Erläuterungen zu den Tiefenkarten (Tafeln VI—IX)

10 m Tiefe (Tafel VI): In dieser Tiefe herrschen in unserem Gebiet die quartären Ablagerungen (Lehme, Kiese, verkittete Schotter) noch stark vor. Die Lehme halten sich vorwiegend an das Klotener Ried und das Neerach-Dielsdorfer Ried. Kleinere Stellen sind im Furttal, Wehntal, Limmattal und Reußtal. An vereinzelt Stellen trifft man noch Gehängelehme bis in diese Tiefe. Die Kiese überdecken noch über weite Gebiete hin die Molasse und ziehen noch hoch an die Hänge hinauf. Die Deckenschotterplateaus (verkittete Schotter) des Stadlerberges, der Egg, des Sanzenberges, des Bowaldes und des Dürn-Gländ sind in der Karte deutlich erkennbar und bilden große, einheitliche Komplexe. Über große Gebiete erstrecken sich Molassegesteine. Es sind dies der Altberg, das Gebiet zwischen Dielsdorf und Oberglatt, die Gebiete südlich und nördlich der Lägern und des Kestenberges und der östlich von Bülach gelegene Dettenberg. Mesozoische Kalke, Tone und Mergel sind an der Lägern, am Kestenberg und im NW des Untersuchungsgebietes (Tafeljura) anzutreffen.

20 m Tiefe (Tafel VII): Die Lehme und Kiese halten sich mit einigen, sehr kleinen Ausnahmen an die Talsysteme. Diese zeichnen sich nun deutlich ab. Die Deckenschotterplateaus verkleinern ihre Ausdehnungen, was gut erkennbar an der Egg, am Dürn-Gländ und am Bowald ist. Die Molassegesteine treten stärker hervor und erscheinen über große Gebiete zusammenhängend. Südlich von Endingen stößt man in dieser Tiefe auf dichte Malmkalke des Tafeljura, ebenso südöstlich von Rümikon.

50 m Tiefe (Tafel VIII): Das Gebiet des Glattales zeigt keinen zusammenhängenden Verband der quartären Ablagerungen mehr. Im Klotener Ried mit seinen Grenzgebieten und im erweiterten Stadlertal sind größere Molasseeinmuldungen vorhanden. Limmat- und Furttal erscheinen nur noch als schmale Quartärzonen. Die Deckenschotterplateaus sind bis auf einige kleine «Inseln» (Egg, Stadlerberg, Sanzenberg) verschwunden. Im Birrfeld und im Reußtal sind die Quartärablagerungen nicht mehr so ausgedehnt. Im nördlichen Teil des Birrfeldes erscheint ein bedeutender Lehmkomplex, während im südlichen Teil die Molassegesteine nun schon mächtig anstehen. An zwei Stellen ist das Liegende (Opalinuston) der Kiesablagerungen des Ruckfeldes bereits angedeutet. Die Malmkalke, die sich in 20 m Tiefe bei Endingen zeigten, erstrecken sich nun von da aus über Würenlingen bis gegen Untersiggenthal. Die nördlich hiervon liegende Kalkzone zieht vom Achenberg bis nach Kaiserstuhl.

100 m Tiefe (Tafel IX): In dieser Karte sind einige Quartärzonen gestrichelt eingezeichnet. Für diese Zonen kann nicht mit Bestimmtheit gesagt werden, ob sie bis in 100 m Tiefe hinabreichen. Es soll somit nur mitgeteilt werden, bis in welche Tiefe sicher noch Quartär vorhanden ist. Im Gebiet des Stadlertales liegen die minimalen Quartärmächtigkeiten zwischen 55 und 70 m. Als Liegendes wird hier überall eine Grundmoräne (20—40 Ω m) festgestellt. Ihr ähnlicher spez. Wid. mit dem der unterliegenden Molassegesteine ergibt dazwischen geoelektrisch keine Unstetigkeitsfläche bzw. keine Schichtgrenze. Geoelektrisch ähnliche Verhältnisse liegen im Birrfeld und im Reußtal vor. Ausgedehnte Lehmschichten reichen stellenweise bis in eine Tiefe von 85 m. Die spez. Wid. kontrastieren zu wenig, um das Liegende der Lehme festzustellen. Es können somit Effinger- oder Molassemergel sein. Dichte Malmkalke würden sich in den Widerstandsprofilen abzeichnen.

Die NW-Grenze der Molassegesteine erscheint in dieser Tiefenkarte sehr deutlich. Sie zieht von Brugg über Lengnau nach Siglisdorf und erreicht bei Kaiserstuhl den Rhein. In dieser Grenzzone ließen sich Molassemächtigkeiten bestimmen, von denen im folgenden einige aufgeführt sind.

Punkt 1: 2 km SSE von Würenlingen am «Homrig» bei dem Weiler Steinenbüel (262980/662520/540): 90 m Molasse, im Liegenden dichte Kalke

Punkt 2: 1,5 km NW von Lengnau bei «Unterwiesen» (264720/666140/417): 80 m Molasse, im Liegenden dichte Kalke

Punkt 3: 1 km E von Böbikon (267380/668180/515): 65 m Molasse, im Liegenden Kalke

Punkt 4: 2,5 km E von Rümikon (268650/672250/442): 23 m Molasse, dichte Kalke im Liegenden

Die nordwestlich an die Molasse anschließenden Kalke bilden eine große zusammenhängende Tafel, die im NW bis zur Linie Tegerfelden-Reckingen vorstößt. Im Ruckfeld und im angrenzenden Gebiet bis zur Aare tritt überall als Liegendes der Kiesablagerungen der Opalinuston hervor (siehe Skizze in Abschnitt C dieses Kapitels).

B. Bemerkungen zu der Lägernantiklinale

Im Dielsdorfer Ried konnte man an verschiedenen Stellen Kalk als Liegendes der Sondierprofile ermitteln. Diese Kalke gehören der nach Osten unter die Molasse eintauchenden Lägernantiklinale. Fig. 21 stellt ein west-östlich, von Dielsdorf bis zum Eschenberg, verlaufendes Profil dar, wie es sich aus unseren geoelektrischen Sondierprofilen ergibt. Sondierprofil Nr. 3 (SP 3) liegt 500 m NW des Bahnhofs

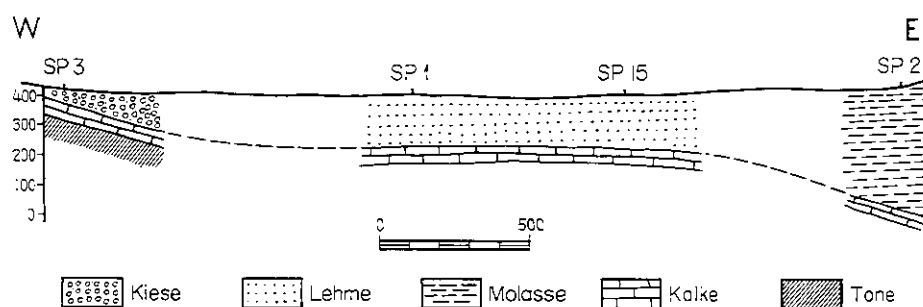


Fig. 21. Geologisches Profil zwischen Dielsdorf (W) und Eschenberg (E), gezeichnet nach geoelektrischen Sondierprofilen

von Dielsdorf und zeigt eine Schichtfolge von Kies-Kalk-Ton. SP 1 und SP 15 sind sehr ähnlich. In beiden wurde in 180 m Tiefe Kalk angetroffen. Das Hangende hat jeweils einen sehr niedrigen spez. Wid. (30 Ω m bzw. 20 Ω m). Diese Werte entsprechen einem Lehm. Es ist nun sehr gut möglich, daß der

untere Teil der Lehmschichten von einer mergelreichen Molasse gebildet wird, die sich jedoch wegen angenähert gleicher Leitfähigkeit im Widerstandsprofil nicht anzeigt. SP 2 liegt am Eschenberg, 3 km E von Dielsdorf. Die Auswertung ermittelt Meeresmolasse und Untere Süßwassermolasse und in 400 m Tiefe dichte Kalk. In unserem Profil (Fig. 21) ist die Kalkoberfläche z. T. gestrichelt gezeichnet. An diesen Stellen könnten Brüche durchziehen. Diese Vermutung müssen jedoch erst eingehende Detailuntersuchungen (auch mit anderen geophysikalischen Methoden, vor allem Seismik) erhärten.

C. Bemerkungen zum Liegenden des Ruckfeldes

Das Liegende des Ruckfeldes und des westlich von ihm gelegenen Unterwaldes ist Opalinuston. Fig. 22 ist ein Isohypsenkärtchen der Opalinustonoberfläche. Im Mittel ist der spez. Wid. der Kiese 1500 Ω m, derjenige der Tone 19 Ω m. Beim Betrachten des Kärtchens fällt sofort auf, daß die Oberfläche des Tones ein der Topographie sehr ähnliches Relief besitzt. Beiderorts ist die Stufe vom Ruckfeld zum Unterwald deutlich erkennbar.

Die Tiefenbestimmungen des Opalinustonhorizontes waren wegen der großen Leitfähigkeitsunterschiede mit einer Genauigkeit von weniger als 10% möglich (vgl. Kapitel VI, Abschnitt A).

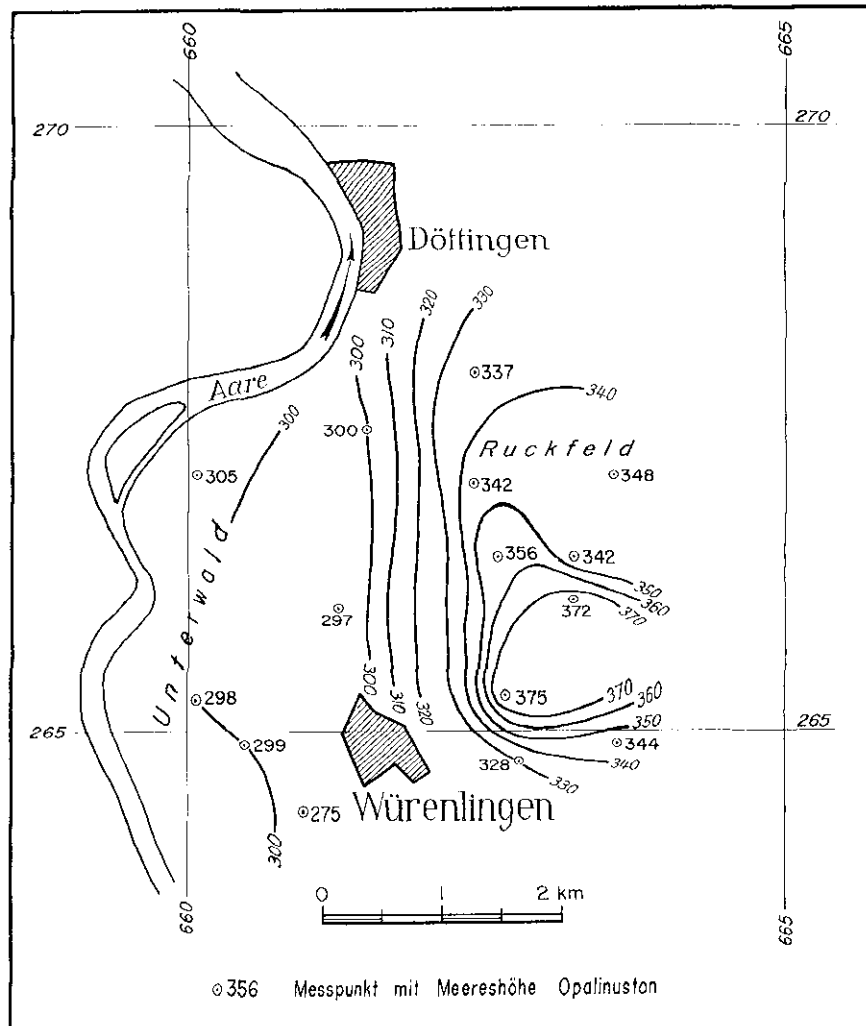


Fig. 22. Isohypsenkärtchen der Opalinustonoberfläche unter den Kiesen des Ruckfeldes und des Unterwaldes

Zusammenfassung

In einem Gebiet von 525 km² nordwestlich von Zürich wurde in den Herbstmonaten der Jahre 1955 und 1956 eine weitmaschige Widerstandskartierung nach der WENNER-LEE-Methode durchgeführt. Auf 417 Meßstationen wurden die scheinbaren spezifischen Widerstände für die Grundabstände 4 m, 12 m, 36 m, 108 m und 324 m bestimmt. Diese Werte dienten einerseits der Erstellung von fünf Widerstandskarten, anderseits der Tiefen Sondierung in jedem Meßpunkt. Die zusammenfassenden Ergebnisse der Tiefen Sondierungen sind in vier geologischen Tiefenkarten wiedergegeben. Diese Karten vermitteln eine Übersicht der geologischen Verhältnisse in 10 m, 20 m, 50 m und 100 m Tiefe. Für die vorkommenden Boden- und Gesteinsarten wurden Diagramme gezeichnet, aus welchen die Häufigkeit ihres Vorkommens und der Bereich ihrer spezifischen Widerstände ersichtlich ist.

Eine Widerstandskartierung in diesem Ausmaß wurde in der Schweiz erstmals durchgeführt und zeigt, wie sich großräumige geoelektrische Untersuchungen ausführen und interpretieren lassen.

Abstract

During the autumn months of 1955 and 1956 resistivity mapping was carried out over an area of about 200 square miles to the northwest of Zurich. The apparent resistivities were measured in a widely spaced net of 417 stations. The WENNER-LEE method was used with electrode spacings of 4, 12, 36, 108 and 324 meters respectively. The data were used for compiling five equiresistivity maps and also for depth-determinations at each station. The results of the latter are contained in four maps showing the geological structures at depths of 10, 20, 50 and 100 meters. Diagrams were drawn, in which the range of the resistivity and the abundances of each soil and rock type are indicated.

This is the first time that resistivity mapping of this extent has been carried out in Switzerland and the results show, how geoelectrical investigations in a large area can be carried out and interpreted.

Literaturverzeichnis

a) Geophysik

- BIRCH, F., SCHAIRER, J., und SPICER, C. (1942): Handbook of physical constants. Geol. Soc. America, Special Papers, No. 36.
- BUBNOFF, S. VON (1952): Hydrologie, Geologische Struktur und Elektrische Leitfähigkeit des Bodens in Nordwestdeutschland. Akademie-Verlag, Berlin.
- FRITSCH, V. (1949): Grundzüge der angewandten Geophysik. Manzsche Verlags- und Universitätsbuchhandlung, Wien.
- GASSMANN, F. (1948): Auswertung geophysikalischer Sondierungen mit Hilfe von Potentialfeldern. Schweiz. Min.-Petr. Mitt. 28 (Festschrift P. NIGGLI).
- , und WEBER, M. (1953 ff.): Grundzüge der angewandten Geophysik. IV. Teil: Geoelektrik. Techn. Rundschau, Bern (im Druck).
- , und WEBER, M. (1956): Über geoelektrische Messungen in den Schweizeralpen. Bull. Ver. Schweiz. Petrol.-Geol. u. Ing., Vol. 23, Nr. 64.
- DE GERY, J. C., und KUNETZ, G. (1956): Potential and apparent resistivity over dipping beds. Geophysics, Vol. 21.
- GRETENER, P. (1954): Schweremessungen nordwestlich von Zürich und ihre geologische Interpretation. Ecl. geol. Helv., Vol. 47.
- HAALCK, H. (1958): Lehrbuch der angewandten Geophysik, Teil II. Gebr. Bornträger, Berlin-Nicolasssee.
- HUMMEL, J. N. (1929): Der scheinbare spezifische Widerstand. Z. Geophysik 5.
- (1929a): Der scheinbare spezifische Widerstand bei vier planparallelen Schichten. Z. Geophysik 5.
- (1935): Unterlagen der geoelektrischen Aufschliessungsmethoden. Akad. Verlagsgesell. m. b. H., Leipzig.
- KOENIGSBERGER, J. (1930): Über geoelektrische Methoden mit direkter Stromzuleitung. Erg.-Hefte. Beitr. angew. Geophysik I.
- (1933): Aufsuchung von Wasser mit geophysikalischen Methoden. Beitr. angew. Geophysik 3, Heft 4.
- LEE, F. W. (1939): The possibility of electrical stratification in the earth as disclosed by surface-measurements of currents and potentials. Trans. Amer. Geophys. Union, Part III.
- MAEDA, K. (1955): Apparent resistivity for dipping beds. Geophysics, Vol. 20.
- MIGAUX, L. (1946): Une méthode nouvelle de géophysique appliquée: La prospection par courants telluriques. Ann. Géophys. 2.
- MOONEY, H. M., und WETZEL, W. W. (1956): The potentials about a point electrode and apparent resistivity curves for a two-, three- and four-layer earth. University of Minnesota Press, Minneapolis.
- PIRSON, S. J. (1939): Interpretation of three-layer resistivity curves. Trans. Amer. Inst. Min. Eng. 110.
- POLDINI, E. (1944): Quelques considérations sur l'interprétation géophysique. Bull. No. 49 des Labor. Géol. Minéral. Géophys., Musée Géol. de l'Univ. Lausanne, Lausanne.
- (1947): La prospection du sous-sol. F. Rouge & Cie. S.A., Lausanne.
- (1957): Etude géophysique électrique de la région de Montfleury (Canton de Genève). Arch. Sci. Soc. Phys. et Hist. Nat. Genève. Vol. 10, Fasc. 3, Genève.

- ROTHÉ, E. und J. P. (1952): Prospection géophysique. 2. Gauthier-Villars, Paris.
- SCHLUMBERGER, C. und M. (1930): La méthode de la carte des résistivités. Ann. Min. Tome XVIII.
- (1930a): Depth of investigation attainable by potential methods of electrical exploration. Trans. Am. Inst. Min. Met. Eng., Geophysical Prospecting.
- SCHNEIDER, H., TRUELSEN, CH., und THIELE, H. (1952): Die Wassererschließung. Teil II: Die Geoelektrik in der Wassererschließung. Vulkan-Verlag Dr. W. Classen, Essen.
- SLICHTER, L. B. (1933): The interpretation of resistivity prospecting method for horizontal structures. Physics 4, Sept. 1933.
- STERN, W. (1933): Die Bestimmung des Verlaufs geneigter Diskontinuitätsflächen (einfallende Schichtgrenzen und Verwerfungen) durch das Widerstandsverfahren. Z. Geophysik 9.
- TARASS, N. (1954): Geoelektrische Bestimmung von Schichtgrenzen eines tertiären Plateaus mit Quartärbedeckung. Ecl. geol. Helv., Vol. 47.
- WATSON, R. J., und JOHNSON, F. J. (1938): On the extension of two-layer methods of interpretation of earth resistivity data to three and more layers. Geophysics 3, No. 1.
- WENNER, F. (1915): A method of measuring earth resistivity. US Bureau Stand. Ser. Paper 258, Bull. 12 (4).
- (1916): A method of measuring earth resistivity. US Bureau Stand. Bull. 12, No. 1.
- WETZEL, W. W., und McMURRY, H. V. (1937): A set of curves to assist in the interpretation of the three layer resistivity problem. Geophysics, Vol. 2.

b) Geologie

- BADER, F. (1925): Beitrag zur Geologie des nordöstlichen Tafeljuras zwischen Aare und Rhein. Diss. Univ. Zürich.
- BRANDENBERGER, E. (1926): Zur Stratigraphie und Tektonik des östlichen Aargaus. Ecl. geol. Helv. 19, 3.
- BRAUN, E. VON (1953): Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Hochrheingebiet zwischen Zurzach und Eglisau. Ecl. geol. Helv. 46, 2.
- BÜCHI, U. P. (1958): Zur Geologie der Oberen Süßwassermolasse (OSM) zwischen Töftal und Glattal. Ecl. geol. Helv. 51, 1.
- BUXTORF, A., und NABHOLZ, W. (1957): Erläuterungen zur Geol. Generalkarte der Schweiz 1:200000. Blatt Nr. 3 Zürich-Glarus, Kümmerly & Frey, Bern.
- FREI, R. (1912): Monographie des schweizerischen Deckenschotters. Beitr. geol. Karte Schweiz, (N. F.), 37. Lfg.
- Geologische Exkursionen in der Umgebung von Zürich (1946). Herausgegeben von der Geologischen Gesellschaft in Zürich.
- HEIM, ALB. (1919): Geologie der Schweiz, Bd. I.
- HOFMANN, F. (1957): Untersuchungen in der subalpinen und mittelländischen Molasse der Ostschweiz. Ecl. geol. Helv. 50, 2.
- HUG, J., und BEILICK, A. (1934): Die Grundwasserverhältnisse des Kantons Zürich. Beitr. z. Geol. der Schweiz. Geotechn. Serie, Hydrologie, Nr. 1.
- MÜHLBERG, F. (1901): Erläuterungen zur Geologischen Karte der Lägernkette, 1:25000. Ecl. geol. Helv. 7, 4.
- (1905): Erläuterungen zur Geol. Karte des unteren Aare-, Reuß- und Limmattales. Ecl. geol. Helv. 8, 5.
- NOTZ, R. (1924): Geologische Untersuchungen an der östlichen Lägern. Diss. Univ. Zürich.
- DE QUERVAIN, F., und GSCHWIND, M. (1949): Die nutzbaren Gesteine der Schweiz. 2. Auflage, Kümmerly & Frey, Bern.
- SCHUPPLI, H. (1952): Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz. IV. Teil. Beitr. z. Geol. der Schweiz. Geotechn. Serie, Lfg. 26, Teil 4.
- SENFLEBEN, G. (1923): Beiträge zur geologischen Erkenntnis der Westlägern und ihrer Umgebung. Mit geol. Karte 1:10000. Diss. Univ. Zürich.
- STEIN, M. (1948): Morphologie des Glattals. Diss. Univ. Zürich.
- SUTER, H. (1939): Geologie von Zürich einschließlich seines Exkursionsgebietes. Mit geol. Karte 1:150000. AG Gebr. Leemann, Zürich.
- (1944): Glazialgeologische Studien im Gebiete zwischen Limmat, Glatt und Rhein. Ecl. geol. Helv. 37, 1.
- WEBER, A. (1930): Die Glazialgeologie des Töftales und ihre Beziehung zur Diluvialgeschichte der Nordostschweiz. Mitt. Naturw. Ges. Winterthur, H. 17/18.
- (1934): Zur Glazialgeologie des Glattals. Ecl. geol. Helv. 27, 1.

c) Geologische Karten

- BADER, F. (1925): Geologische Karte des Tafeljura zwischen Aare und Rhein. 1:25000. Diss. Univ. Zürich.
- BUXTORF, A., CHRIST, P., und NABHOLZ, W. (1950): Geologische Generalkarte der Schweiz. 1:200000, Blatt 3 Zürich-Glarus.
- Geotechnische Karte der Schweiz. 1:200000. Blatt 2, 1935.
- HUG, J. (1905): Geologische Karte, Blatt Kaiserstuhl, 1:25000. Beitr. z. Geol. Karte Schweiz, Nr. 36.
- KAUFMANN, J., und MOESCH, C. (1913): Dufour Bl. VIII, Aarau, Luzern, Zug, Zürich. 1:100000. 2. Auflage.
- MÜHLBERG, F. (1901): Geologische Karte der Lägernkette. 1:25000. Beitr. z. Geol. Karte Schweiz, Nr. 25.
- (1904): Geologische Karte des unteren Aare-, Reuß- und Limmattaes. 1:25000. Beitr. z. Geol. Karte Schweiz, Nr. 31.
- NOTZ, R. (1924): Geologische Karte der Ost-Lägern. 1:25000. Diss. Univ. Zürich.
- SENFTLEBEN, G. (1923): Geologische Karte der West-Lägern. 1:10000. Diss. Univ. Zürich.
- STEIN, M. (1948): Geologische Karte vom Glattal. Diss. Univ. Zürich.
- SUTER, H. (1939): Geologische Karte des Kantons Zürich und der Nachbargebiete. 1:150000. Beil. Geol. Zürich, einschl. seines Exkursionsgebietes.
- (1944): Glaziale Schotter zwischen Limmat, Glatt und Rhein. 1:75000. Ecl. geol. Helv. 37, 1.
- WEBER, A. (1930): Geologische Karte des unteren Töbtales und unteren Glattalles. 1:25000. Beil. H. 17/18, Mitt. Naturw. Ges. Winterthur.

Tabellarische Zusammenstellung der Meßresultate

Die Kolonnen der untenstehenden Tabellen bedeuten folgendes:

X und Y: Koordinaten der Auslagemitte in Metern

H: Meereshöhe der Auslagemitte in Metern

A: Azimut der Auslagerichtung (Norden 0°; Osten 90°)

4...324: Scheinbarer spezifischer Widerstand für 4 m, 12 m, 36 m, 108 m und 324 m Grundabstand in Ohmmetern

655 000 - 660 000

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
249 330	658 380	408	167	96	70	62	85	56
250 080	657 140	423	170	290	480	657	700	152
250 430	656 160	409	149	210	336	508	428	70
250 500	656 690	412	119	460	580	703	585	100
251 120	656 290	400	110	160	324	615	530	110
251 290	656 900	392	117	117	264	480	550	97
251 490	658 220	431	28	560	830	857	741	386
251 570	657 390	415	93	473	760	772	615	184
251 740	657 700	420	82	306	625	640	525	136
251 950	657 120	410	100	108	228	300	145	63
251 990	658 015	425	78	180	87	45	47	65
251 990	659 760	414	58	137	187	283	265	52
252 020	657 570	418	96	116	147	343	157	73
252 110	657 000	412	99	54	100	79	67	64
252 150	658 950	417	9	215	435	597	367	135
252 320	659 760	413	99	340	405	435	104	63
252 640	659 070	410	170	67	153	193	230	80
252 660	659 690	423	93	42	34	44	64	97
252 850	656 440	530	103	29	46	92	160	54
252 900	658 060	505	102	30	37	41	34	41
253 060	657 480	530	110	27	27	45	41	40
253 140	659 740	410	50	113	280	403	250	116
253 370	658 090	416	114	50	34	52	79	75
253 400	658 770	406	168	225	450	540	119	58
253 530	659 490	405	45	270	219	102	90	87
253 980	658 770	401	168	222	416	270	110	50
254 300	658 270	394	165	224	240	275	124	50

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
254 310	657 120	475	160	32	36	46	42	58
254 380	659 420	399	94	194	400	520	200	86
254 920	659 400	393	136	430	730	805	267	58
255 050	658 210	389	168	106	160	127	67	44
255 130	659 810	394	144	163	280	653	318	61
255 210	657 050	400	139	64	76	66	50	44
255 400	657 760	388	70	98	159	136	67	65
255 800	657 620	388	78	53	100	132	90	88
256 000	659 310	388	95	366	712	370	84	93
256 030	656 560	423	114	116	210	410	642	220
256 130	659 160	400	102	90	187	171	89	74
256 190	657 530	401	59	66	112	94	43	70
256 430	655 800	436	3	72	160	360	525	224
256 550	655 210	365	11	178	358	332	243	44
256 670	659 100	435	117	23	25	32	33	49
256 800	656 860	448	30	130	200	360	600	380
257 560	657 920	379	11	150	162	185	102	31
257 590	656 290	375	80	85	138	195	67	42
257 730	657 750	418	15	180	203	422	619	210
257 950	658 400	375	6	81	175	147	80	52
258 230	659 360	364	147	133	280	194	58	42
259 880	659 800	332	51	240	300	124	63	40
264 520	659 750	345	157	1850	1565	1330	240	93
272 500	659 830	351	53	510	950	1210	750	680

660 000 - 665 000

251 350	664 170	375	151	740	307	99	210	150
251 410	662 800	357	83	232	107	45	40	47
252 180	661 060	394	18	103	183	66	36	42
252 190	662 220	349	163	230	106	43	56	66
252 210	663 780	382	137	138	102	64	134	520
252 300	661 640	390	15	94	118	85	58	48
252 420	660 320	424	7	58	56	56	82	58
252 780	664 730	432	85	72	118	245	280	600
253 170	663 520	415	100	240	330	346	350	112
253 420	664 400	425	170	463	460	640	460	138
254 180	662 640	407	100	85	66	50	66	82
254 410	664 920	445	157	81	105	122	64	70
254 420	660 160	399	144	300	520	640	410	75
254 480	661 460	375	18	355	280	120	126	169
254 550	663 680	412	35	142	192	218	91	54
255 160	664 560	444	157	194	268	196	54	50
255 180	660 360	395	144	260	520	640	334	134
255 210	662 760	410	58	530	410	535	350	130
255 650	662 570	402	95	256	278	420	328	106

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
255 700	660 260	396	64	410	810	765	290	64
255 790	664 480	439	140	75	120	83	40	55
255 840	661 060	385	162	132	270	325	147	90
256 090	662 560	396	132	140	365	560	248	75
256 720	663 130	445	80	90	35	36	51	80
256 890	664 560	515	12	136	207	420	535	101
257 080	662 120	483	114	44	60	63	183	125
257 900	662 910	565	69	51	58	98	95	66
257 960	661 050	475	74	36	41	44	80	105
258 080	662 000	510	97	38	22	22	45	255
258 110	663 860	560	81	48	61	63	58	48
258 320	662 870	557	78	58	44	48	41	27
258 730	662 380	549	113	90	100	79	102	176
259 420	661 480	525	142	242	127	87	127	190
259 940	663 350	376	57	350	623	680	333	335
260 460	663 040	374	118	385	620	587	295	154
261 000	664 100	470	113	64	36	41	55	58
261 370	661 130	367	115	447	634	488	98	63
261 640	663 160	500	95	25	35	59	68	99
261 710	664 390	604	100	73	70	142	36	42
262 330	663 460	584	5	106	69	131	312	187
262 790	660 440	353	7	706	1110	727	85	
262 980	662 520	540	17	43	47	31	39	88
263 060	662 000	522	26	90	88	38	76	109
263 550	663 820	560	117	467	507	452	235	148
263 690	661 490	495	20	133	92	113	210	175
263 710	664 790	500	36	112	93	72	60	103
264 150	664 240	520	1	68	98	140	158	123
264 280	660 930	360	27	573	805	830	473	40
264 530	663 500	448	50	60	75	100	152	166
264 750	662 750	428	85	66	144	266	502	420
264 880	663 580	404	40	118	213	435	507	90
264 930	660 450	354	8	1270	1780	1420	446	39
265 270	660 000	353	87	1040	1950	1950	510	48
265 320	662 610	427	126	46	67	147	307	175
266 020	661 220	357	171	100	107	248	1350	80
266 070	663 195	414	69	61	135	296	319	110
266 140	660 680	356	7	408	1010	1150	325	104
266 470	662 545	416	59	67	125	304	600	308
266 480	663 200	406	145	68	145	363	615	298
266 570	660 070	342	133	1180	2080	1430	200	205
267 000	662 360	412	42	69	105	250	557	380
267 070	663 510	408	53	59	90	230	536	290
267 100	660 040	340	48	1015	1980	1580	127	300
267 520	661 480	370	151	1160	1640	1355	590	29
268 020	662 380	402	128	104	188	480	750	220
268 100	664 900	532	38	22	24	34	50	55

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
268 590	662 930	375	111	30	28	36	36	22
269 710	664 260	516	78	88	65	63	50	42
269 870	662 670	486	49	32	43	60	55	33
270 420	664 890	348	141	19	38	66	35	24
270 790	661 590	420	127	18	26	20	15	34
271 410	662 260	503	179	66	31	32	44	39
271 580	661 420	433	45	32	29	26	27	44
271 680	663 570	356	131	23	21	24	31	33
271 760	660 700	404	148	225	260	476	162	169
271 800	660 080	326	116	117	346	495	210	177
272 350	664 240	324	6	634	426	177	40	95
272 570	664 090	324	7	550	260	24	42	108
272 720	661 920	378	92	22	33	70	153	170
272 740	660 730	356	173	93	190	444	410	300
272 780	663 920	322	96	236	187	28	21	54
273 210	663 370	320	56	84	118	93	103	162
273 660	661 080	344	65	400	570	940	1300	580

665 000 - 670 000

251 950	667 950	666	154	55	83	158	234	117
252 030	665 480	412	132	46	72	122	134	78
252 040	666 700	540	150	56	114	198	100	66
252 240	668 450	645	66	48	80	86	79	71
253 110	667 050	660	131	43	43	81	193	148
253 130	666 440	575	144	60	37	48	53	83
253 220	669 360	415	151	42	103	168	88	48
253 250	665 540	475	139	163	230	302	146	38
253 250	669 720	398	136	60	123	113	74	30
253 380	667 120	699	139	35	53	82	141	190
254 300	666 400	671	134	300	161	124	175	140
254 370	667 950	423	132	314	315	287	197	53
254 670	667 960	406	135	72	135	131	184	220
254 980	669 030	422	123	39	64	112	213	184
255 040	668 130	390	141	200	332	495	252	54
255 480	665 330	565	156	50	52	49	46	62
255 750	666 760	404	153	24	30	40	33	36
255 990	668 290	412	117	350	446	533	400	54
256 150	668 840	420	141	116	217	308	205	118
258 130	668 830	448	82	42	38	31	30	47
258 210	669 610	480	84	20	20	22	30	47
259 020	667 400	595	78	16	16	24	30	47
259 020	669 530	675	85	33	40	49	73	
259 530	667 960	570	67	17	20	25	30	45
259 930	667 860	508	50	39	27	27	33	34
260 705	666 650	484	33	49	52	68	58	38

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
260 750	667 530	510	41	130	103	95	69	33
260 880	668 770	500	80	42	40	57	52	42
261 100	665 610	620	139	47	75	132	278	600
261 150	669 970	531	75	85	69	62	49	56
261 450	666 290	540	172	67	64	53	45	65
261 830	669 760	528	164	212	206	130	70	35
261 850	667 420	463	160	50	47	62	73	49
262 420	668 850	458	55	55	99	136	96	43
262 430	665 020	605	170	47	56	101	267	350
262 730	667 370	425	159	57	52	38	36	49
263 050	666 450	510	15	44	44	74	87	58
263 140	669 220	471	21	40	41	51	73	45
263 420	667 950	460	150	67	65	114	152	47
263 480	665 940	485	32	60	51	42	58	78
263 630	668 470	502	94	60	64	64	75	57
264 400	667 770	502	27	48	57	42	49	52
264 560	665 370	430	112	64	106	197	230	133
264 720	666 140	714	115	43	57	47	52	80
265 110	666 610	470	95	45	48	40	54	81
265 210	668 030	590	125	370	457	166	78	95
265 280	669 260	590	10	400	335	434	220	92
265 680	665 640	500	63	130	150	157	102	103
266 000	669 660	584	26	464	513	860	726	110
266 220	667 560	569	60	120	75	129	147	112
266 690	666 000	577	73	200	222	234	166	115
266 950	667 980	530	93	58	103	140	130	97
267 380	668 180	515	117	113	100	80	124	88
267 380	669 910	545	129	46	50	62	62	87
267 530	667 460	460	112	45	37	31	60	83
267 780	665 370	530	46	15	15	22	45	56
267 950	669 920	430	159	39	25	24	38	99
268 470	669 850	437	108	195	253	235	324	210
269 000	667 560	344	100	154	275	260	144	87
269 810	665 680	342	131	200	180	65	21	16

670 000 - 675 000

249 700	674 570	403	79	93	216	203	92	60
251 230	671 440	400	140	45	60	72	62	50
251 470	671 000	409	134	49	70	86	79	58
251 690	674 860	404	70	92	158	193	111	51
251 975	672 060	385	138	43	88	100	71	60
252 105	671 340	391	122	112	206	172	85	57
252 230	674 140	404	103	110	235	250	78	56
252 420	672 990	382	146	108	98	47	57	55
252 440	673 210	383	143	116	58	40	70	62

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
252 530	672 340	382	163	45	56	43	61	38
252 880	670 800	396	137	120	163	216	89	63
252 910	671 610	391	130	584	391	119	60	45
253 510	670 580	393	129	354	585	288	100	115
253 720	673 810	497	117	27	39	52	68	57
253 860	671 190	400	116	183	127	98	58	43
255 250	672 180	451	97	48	65	63	55	42
255 290	674 830	424	106	43	55	82	85	52
255 350	673 830	437	110	42	56	77	74	56
255 380	670 710	423	87	46	87	163	212	84
255 730	672 060	440	93	58	142	290	285	115
256 020	673 090	419	96	43	50	40	64	71
256 050	674 520	420	80	74	78	59	38	49
256 110	671 090	426	72	45	94	192	283	108
256 190	672 270	419	97	29	30	52	105	87
256 260	673 300	419	98	30	39	36	41	48
256 390	670 480	435	15	43	80	156	168	52
256 670	672 860	419	94	28	27	36	57	46
256 670	674 290	436	85	59	63	66	50	47
256 950	670 070	445	90	46	80	104	77	42
257 090	670 770	447	79	54	79	81	64	80
257 290	673 480	492	120	59	57	55	65	52
257 440	670 530	465	93	22	47	70	76	56
258 150	673 520	595	90	20	20	29	48	49
258 250	671 830	485	90	25	31	34	39	39
258 990	674 890	576	33	42	58	54	45	
259 450	673 270	817	90	41	67	80	220	
259 480	674 410	710	79	48	55	97	218	203
259 590	673 350	740	98	32	41	41	50	54
259 830	672 400	700	98	24	21	20	26	45
260 020	672 210	650	96	64	67	64	66	
260 420	674 570	485	114	180	256	156	79	48
260 480	673 820	498	107	42	57	50	36	40
260 790	670 850	580	166	55	54	61	55	136
260 810	673 530	468	105	120	207	184	72	46
261 460	672 530	460	106	38	62	63	51	49
261 730	671 510	452	110	30	38	36	37	38
261 770	671 370	452	110	25	35	37	39	43
261 770	673 830	522	92	21	26	31	40	45
262 190	671 560	478	96	50	68	41	42	32
262 450	674 720	575	117	50	31	45	64	43
262 790	672 060	627	84	180	182	252	155	127
263 000	673 870	634	161	160	121	223	440	260
263 330	670 530	514	157	31	31	40	56	57
263 560	672 245	568	166	284	155	105	72	54
263 760	671 340	605	41	208	164	205	184	96
263 860	673 940	605	151	215	472	920	976	465

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
263 950	670 020	475	30	60	93	64	79	51
264 230	672 960	562	121	210	212	104	78	71
264 515	672 040	507	129	103	164	112	56	54
264 850	673 150	622	139	170	64	108	366	532
264 850	674 710	450	133	80	68	61	68	52
264 890	670 025	545	30	77	43	75	88	64
264 940	670 500	530	14	46	55	70	68	65
265 570	671 340	505	154	89	100	152	123	39
266 230	674 110	562	106	329	300	600	1030	455
266 250	671 350	498	152	38	43	36	43	52
266 370	672 600	498	161	102	79	139	173	70
266 660	670 540	475	6	93	64	67	50	74
267 130	671 950	528	138	260	320	584	590	109
267 300	673 030	405	4	62	69	39	40	55
267 380	674 610	420	12	22	27	31	31	71
267 760	670 760	515	112	96	194	440	665	105
268 190	674 280	380	100	260	620	512	227	129
268 260	670 870	424	103	50	53	73	113	120
268 650	672 250	442	24	85	84	162	382	385

675 000 - 680 000

251 040	675 830	391	45	77	110	92	73	55
252 260	677 430	498	83	30	30	25	40	52
252 290	675 810	420	120	42	92	92	65	39
252 350	678 820	524	175	29	29	24	10	21
253 170	676 310	537	92	39	49	46	35	43
253 200	678 700	457	108	65	101	63	29	36
253 610	679 250	442	130	77	81	68	93	112
254 440	676 360	437	115	56	66	58	60	53
254 630	679 090	442	105	93	90	113	91	63
254 810	676 680	433	117	184	168	92	92	59
254 910	679 840	454	112	53	47	32	35	53
255 000	677 840	435	139	150	173	203	134	50
255 370	676 120	429	171	101	87	60	64	61
255 450	678 000	437	109	87	103	67	62	67
255 500	675 400	425	175	71	98	137	33	62
255 640	676 910	432	134	258	164	151	98	54
255 980	678 280	478	109	30	30	36	44	54
256 330	676 340	432	97	61	74	58	62	66
256 450	677 730	470	8	48	55	51	48	
256 480	679 120	510	19	32	40	52	43	54
256 670	679 880	466	160	44	42	37	41	44
257 270	676 700	528	32	46	81	81	50	
257 280	677 340	485	170	44	37	39	51	63
257 660	678 860	465	4	38	48	47	52	51

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
257 850	676 080	538	155	32	37	40	50	
258 000	677 300	467	135	51	62	56	73	
258 330	679 860	437	146	81	96	112	76	42
258 730	677 500	442	157	60	65	82	51	44
258 760	675 740	560	162	77	64	64	65	53
258 800	678 780	423	179	75	90	85	52	
259 290	676 020	515	54	136	88	65	62	
259 440	675 470	545	77	61	71	56	42	68
259 470	677 530	418	105	43	49	42	36	40
259 640	678 160	414	108	40	46	64	47	45
259 720	677 710	414	80	25	30	48	65	59
259 930	677 730	413	59	40	37	40	47	50
260 000	678 450	411	172	26	17	17	17	41
260 100	676 920	423	144	76	69	47	70	87
260 150	677 650	413	40	25	28	33	42	52
260 210	676 500	425	139	55	60	70	120	60
260 240	679 350	428	167	90	78	50	38	39
260 510	676 730	420	90	35	40	44	46	53
260 800	677 040	420	90	39	70	72	37	43
260 870	678 840	410	62	24	27	30	36	38
261 000	677 920	413	27	29	27	34	29	32
261 200	675 500	464	155	34	53	69	47	35
261 520	675 280	485	85	61	89	109	74	42
261 890	677 330	474	44	72	89	88	60	33
262 020	678 840	414	141	12	13	14	60	30
262 170	677 050	495	27	64	69	93	96	38
262 240	678 110	438	6	60	74	64	37	31
262 700	675 660	508	130	65	74	72	62	42
262 900	679 060	420	174	80	64	70	46	33
262 920	678 540	415	171	32	50	82	65	24
263 000	676 870	517	41	83	116	180	190	48
263 480	675 090	509	37	167	320	490	193	36
263 580	678 640	420	53	130	179	267	163	42
263 710	677 690	429	165	278	274	130	47	30
263 900	676 010	488	152	78	83	83	54	34
264 570	678 390	417	75	141	138	187	305	108
264 730	676 000	562	136	232	144	133	308	313
264 940	675 360	515	146	121	201	353	241	80
265 340	678 080	424	30	85	205	411	641	86
265 590	675 960	620	112	296	463	765	575	260
265 920	678 570	414	2	130	246	232	124	47
266 000	679 820	446	154	170	182	397	612	210
266 030	676 050	622	123	107	124	267	410	477
266 560	677 550	420	169	37	36	41	47	92
266 860	677 900	405	166	103	271	450	113	43
266 900	678 500	409	28	230	480	840	570	97
267 090	676 390	460	127	43	33	48	65	54

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
267 160	678 020	403	166	310	590	1065	605	320
267 320	679 310	455	135	517	804	1358	1715	688
267 370	678 710	405	127	184	427	616	214	49
268 450	675 950	370	74	420	780	1000	500	49
268 740	678 760	347	125	510	270	125	48	46
268 860	676 860	370	77	850	1400	1480	580	600
268 880	675 840	367	47	480	950	1115	300	122
270 140	679 410	359	79	200	211	219	51	48

680 000 - 685 000

254 090	680 900	438	115	23	40	46	35	57
254 150	682 070	457	109	35	36	36	30	61
254 960	682 280	480	175	27	20	28	26	34
255 100	680 530	495	92	34	37	42	40	
255 240	682 800	438	150	45	39	27	29	41
255 370	681 080	501	44	39	46	47	42	28
256 040	681 590	460	144	37	39	38	32	37
256 750	680 340	450	166	62	70	44	35	47
257 000	680 960	454	164	60	48	36	63	42
257 480	684 330	421	100	71	59	58	70	54
257 840	681 800	419	173	25	30	49	67	67
257 900	682 340	418	161	30	50	57	56	53
257 970	684 790	424	136	50	56	76	78	64
258 000	684 150	421	32	56	45	75	67	32
258 100	680 580	462	156	39	35	42	56	59
258 210	681 510	418	166	21	26	41	62	58
258 580	682 660	418	145	37	35	40	62	54
258 700	684 450	437	148	42	63	102	90	63
259 050	683 290	418	113	29	33	37	53	54
259 100	683 700	420	147	38	29	40	47	53
259 460	682 600	427	21	44	67	98	82	49
259 470	682 910	420	23	23	30	47	59	46
259 510	682 380	438	22	68	82	115	93	58
259 630	683 820	440	148	83	77	53	84	62
259 840	684 750	521	127	38	26	34	38	44
260 370	682 520	435	17	54	53	75	84	43
260 450	680 890	430	17	325	222	195	128	44
260 480	681 630	442	150	128	190	323	121	48
261 260	683 910	480	119	44	61	73	54	47
261 450	682 400	429	85	176	288	342	100	45
261 600	680 180	420	12	74	194	273	120	33
261 600	680 690	422	22	216	340	335	121	27
261 610	684 210	477	140	58	55	72	55	37
261 950	682 480	423	140	420	410	303	90	38
262 040	681 660	435	26	215	320	415	275	67

X	Y	H	A	4	12	36	108	324
262 430	682 630	418	137	100	60	50	44	35
262 750	683 380	420	165	43	44	45	47	42
262 830	684 420	510	37	36	28	37	49	42
262 860	680 960	411	65	144	190	215	80	44
262 900	682 320	415	50	35	35	50	67	34
263 290	680 040	418	156	129	188	164	52	29
263 560	680 420	414	160	38	57	105	78	38
264 210	684 480	525	119	93	93	56	52	54
264 510	682 020	428	131	600	706	580	885	177
264 810	680 500	433	30	155	242	282	337	43
264 930	683 160	438	178	360	400	350	86	30
265 310	682 940	436	178	94	224	332	283	135
265 430	684 460	525	146	23	42	65	82	47
265 580	682 420	432	169	660	320	195	72	240
265 700	680 710	439	37	680	540	600	751	188
265 990	683 350	447	147	40	82	116	96	35
266 120	682 080	434	10	735	1950	685	650	185
266 410	680 430	433	68	180	194	396	615	660
266 540	684 390	412	142	41	103	196	86	36
266 850	682 880	429	133	250	460	430	78	42
266 930	682 150	425	170	322	615	755	1130	108
267 710	681 140	411	115	253	544	807	355	46
267 930	682 140	425	164	55	140	236	85	38
268 090	680 860	410	115	36	86	167	168	32
268 740	681 440	400	177	70	64	86	52	32
268 830	683 060	381	144	47	75	87	40	37
269 140	682 140	395	73	287	581	687	99	43
269 230	680 480	520	117	225	204	197	155	135

685 000 - 690 000

260 800	685 760	574	37	32	32	35	34	45
261 340	685 540	574	67	24	26	36	45	48
262 210	686 650	429	156	30	50	66	50	36
262 330	685 390	579	118	20	30	49	67	48
263 270	687 400	429	20	166	320	221	77	39
264 410	686 540	420	112	304	425	175	55	32

PUBLIKATION N°2

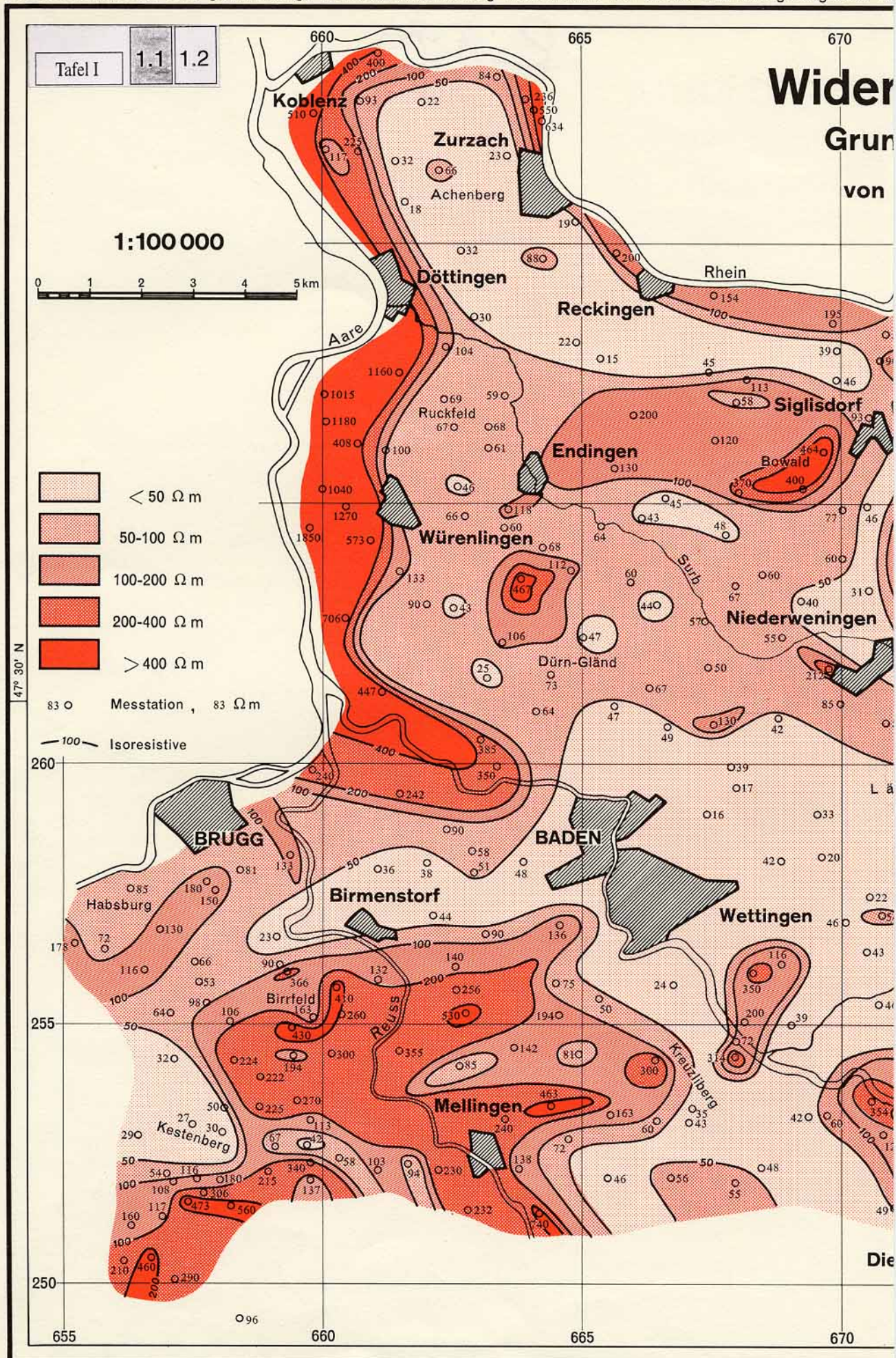
EINE GROSSRÄUMIGE WIDERSTANDSKARTIERUNG
NORDWESTLICH VON ZÜRICH
UND IHRE GEOLOGISCHE DEUTUNG

Von Otto Friedenreich

TAFELN

9 TAFELN :

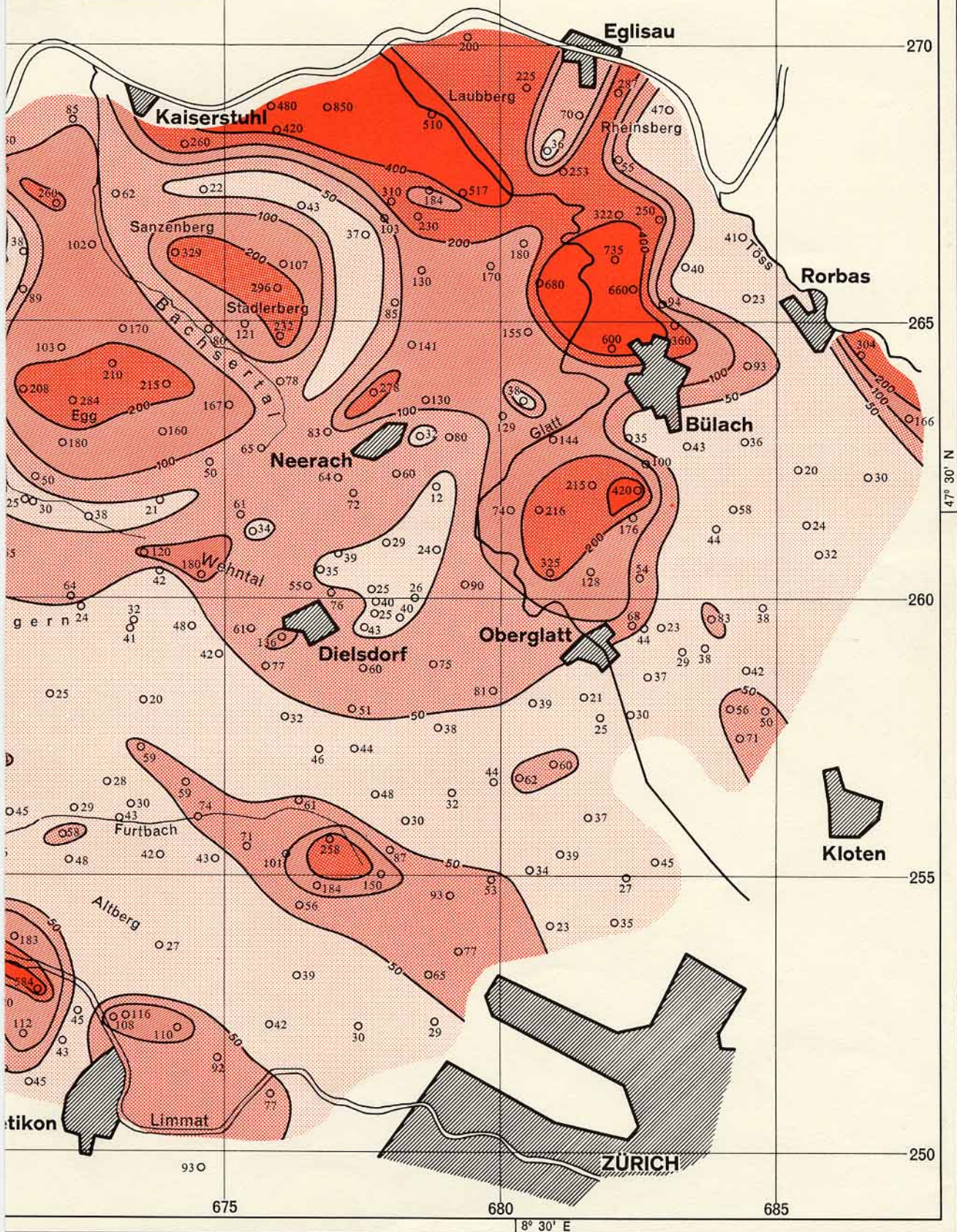
TAFEL I :	2 BLÄTTER
TAFEL II :	2 BLÄTTER
TAFEL III :	2 BLÄTTER
TAFEL IV :	2 BLÄTTER
TAFEL V :	2 BLÄTTER
TAFEL VI :	2 BLÄTTER
TAFEL VII :	2 BLÄTTER
TAFEL VIII :	2 BLÄTTER
TAFEL IX :	2 BLÄTTER

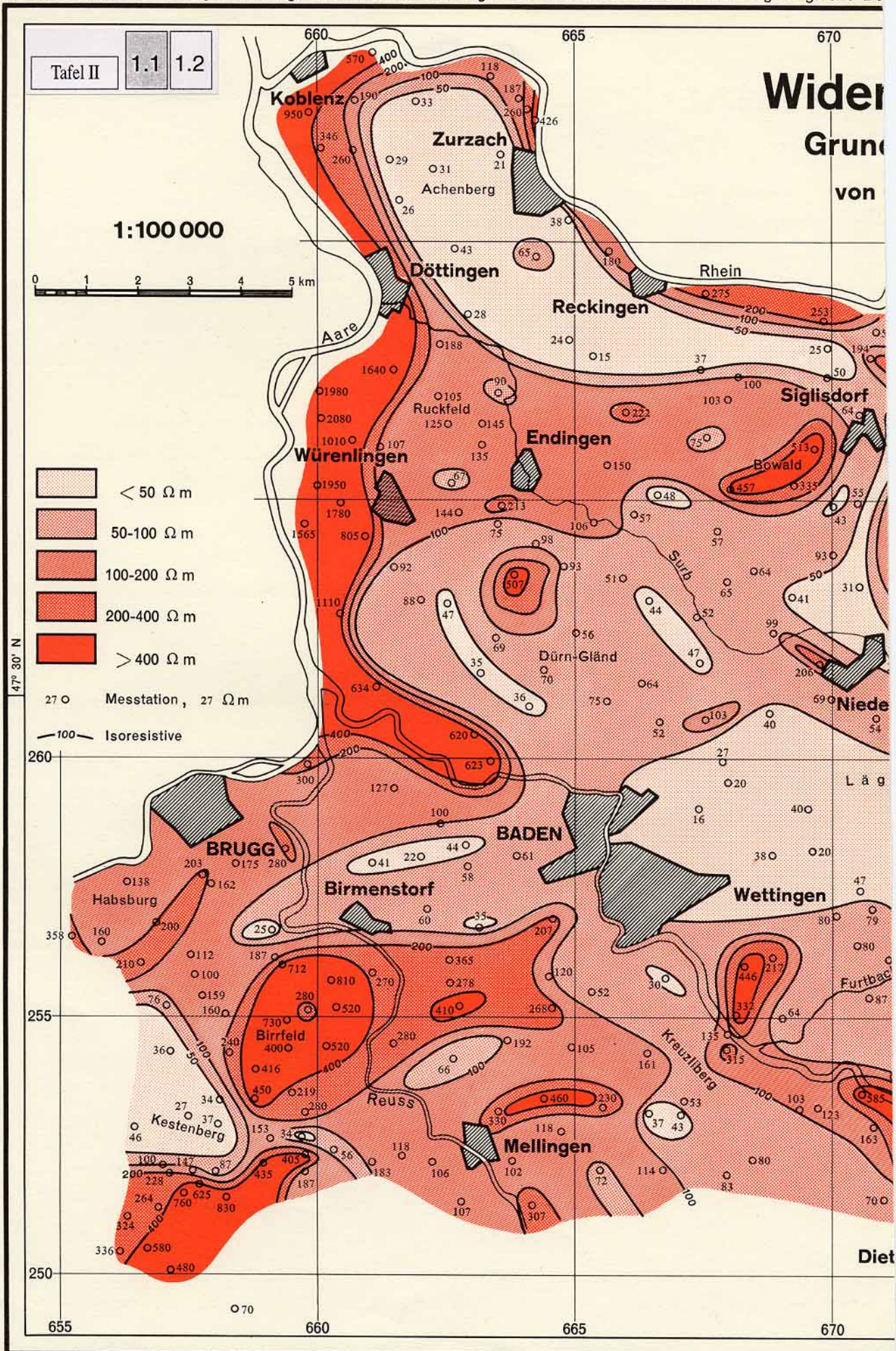


Standkarte

Abstand 4m

Otto Friedenreich

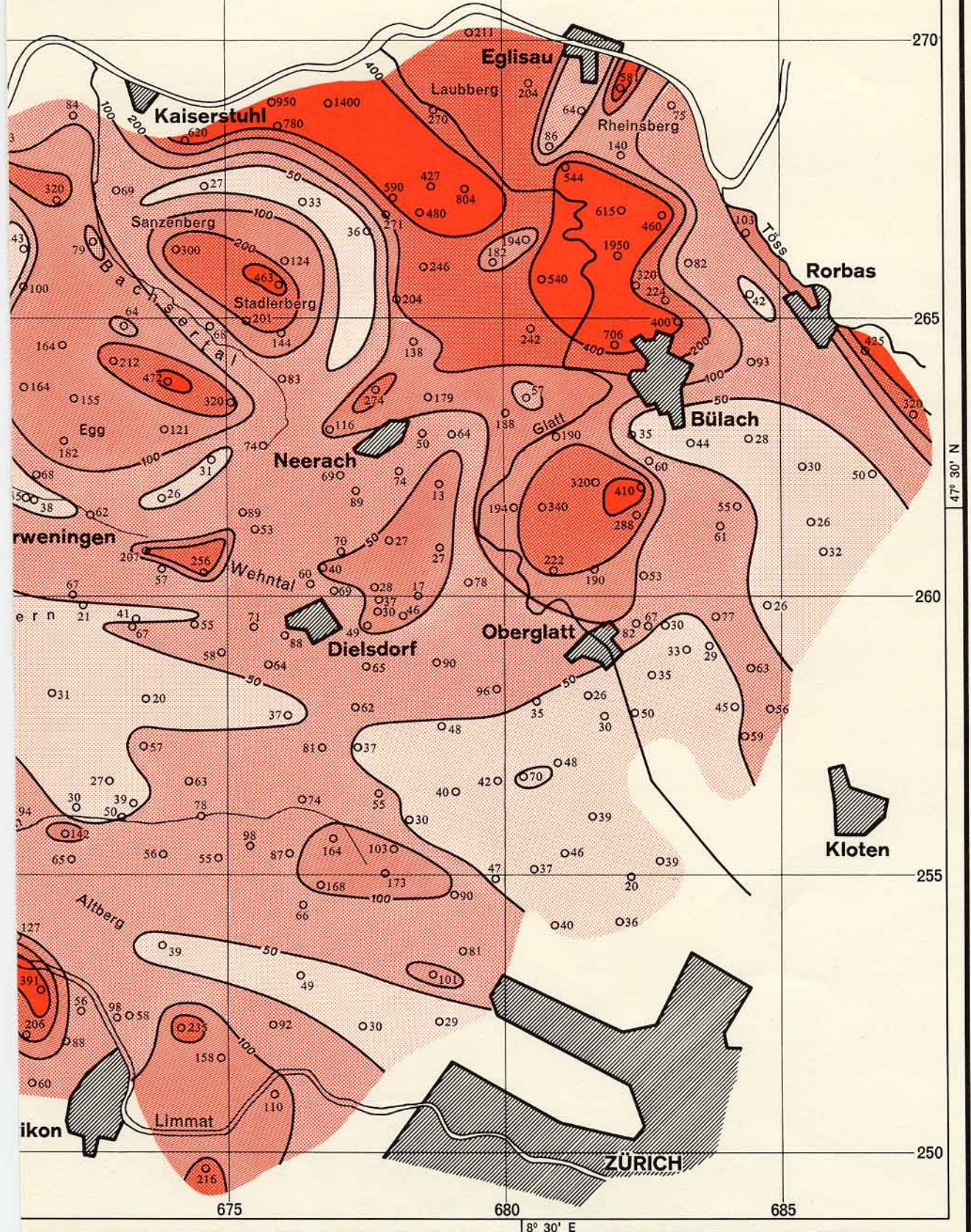


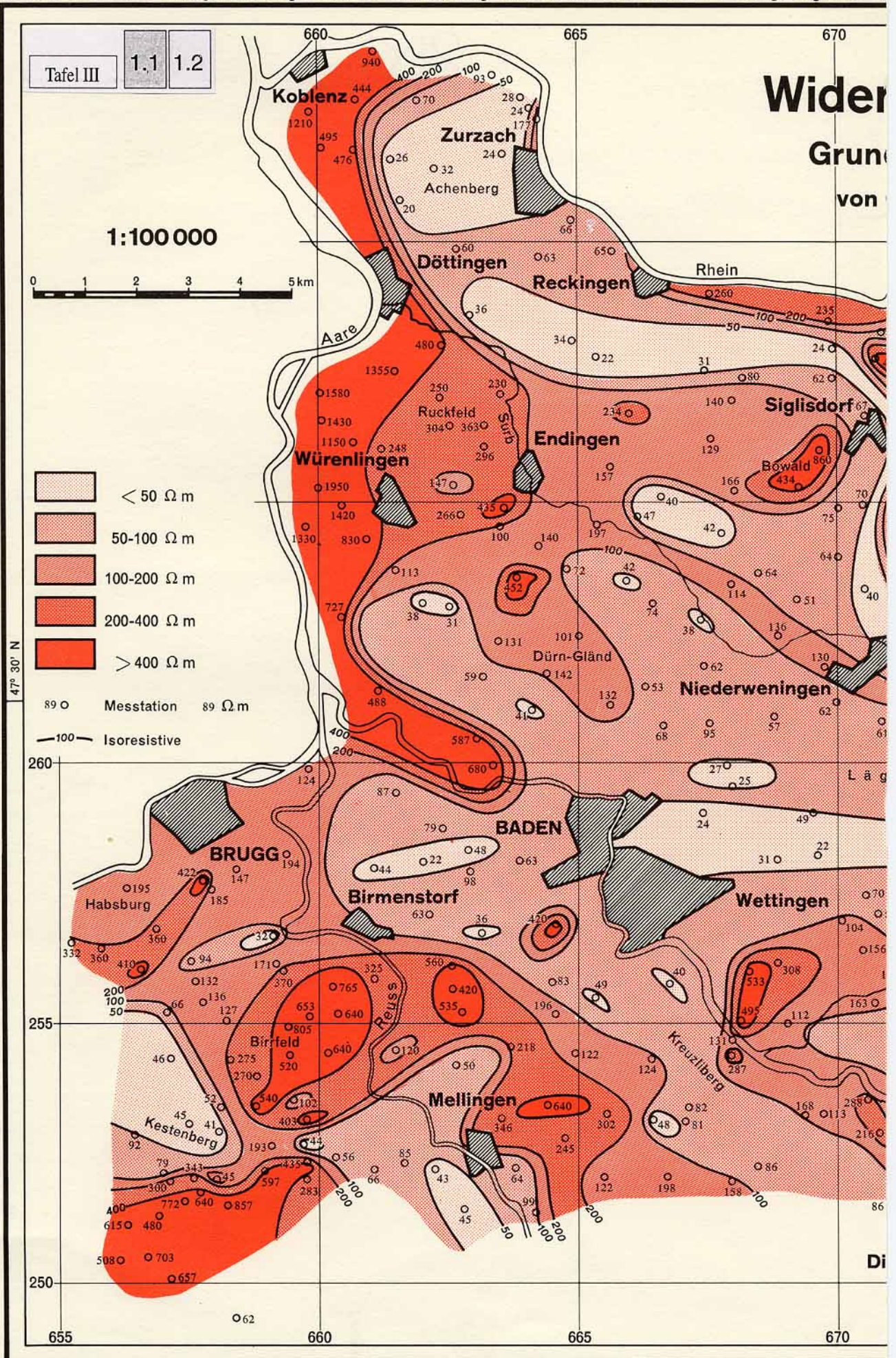


Standkarte

abstand 12 m

Otto Friedenreich

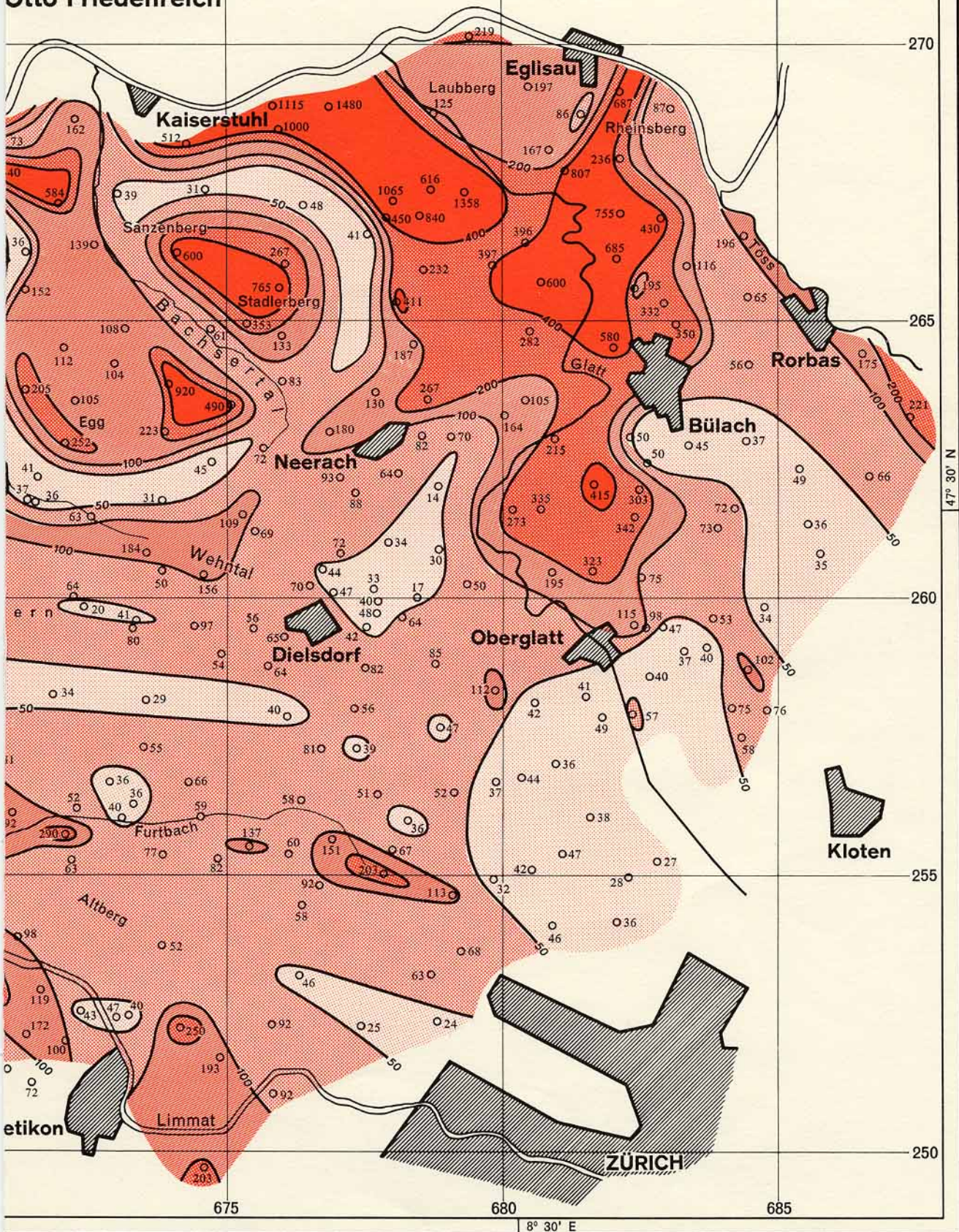


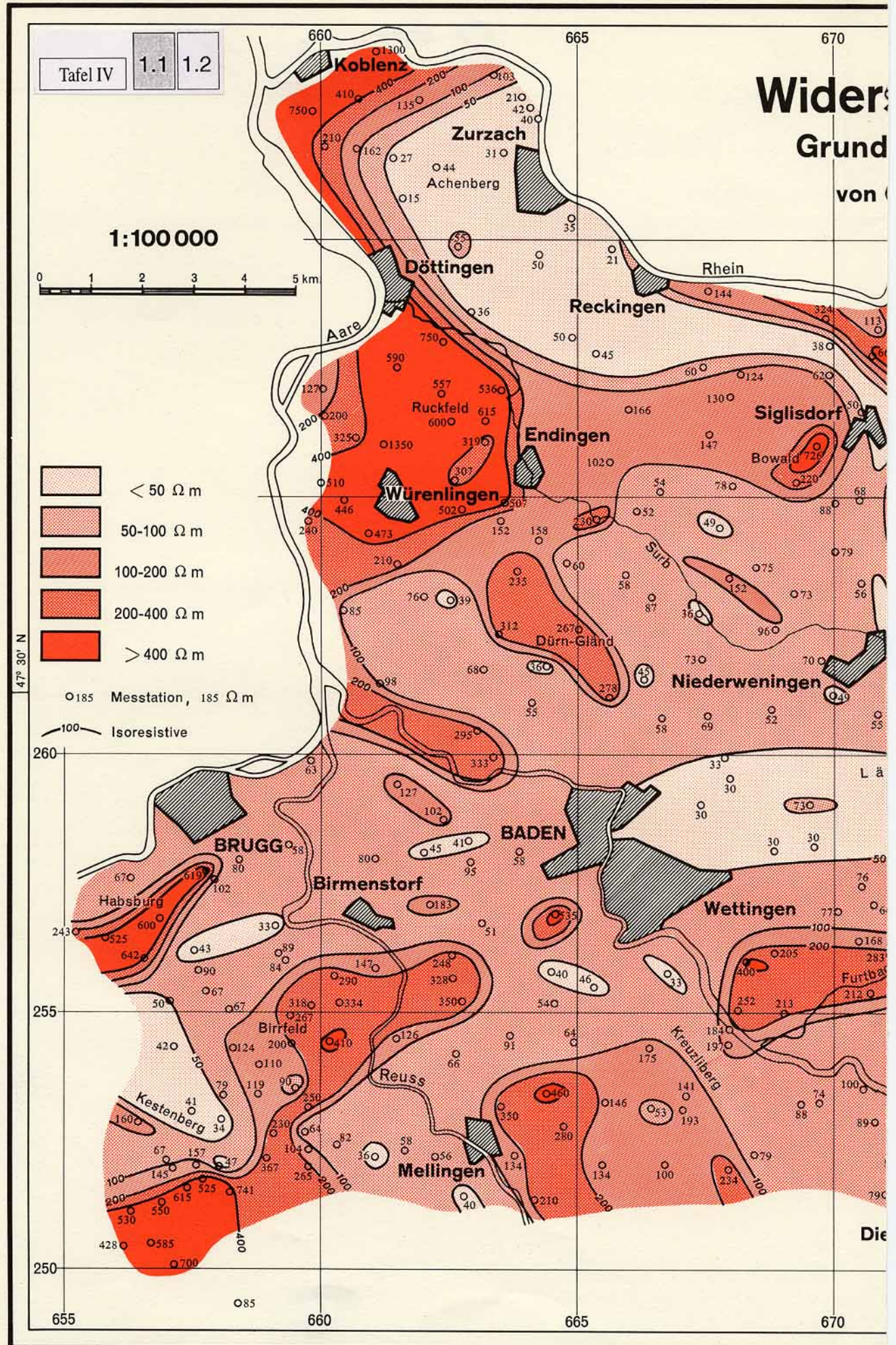


standskarte

abstand 36 m

Otto Friedenreich

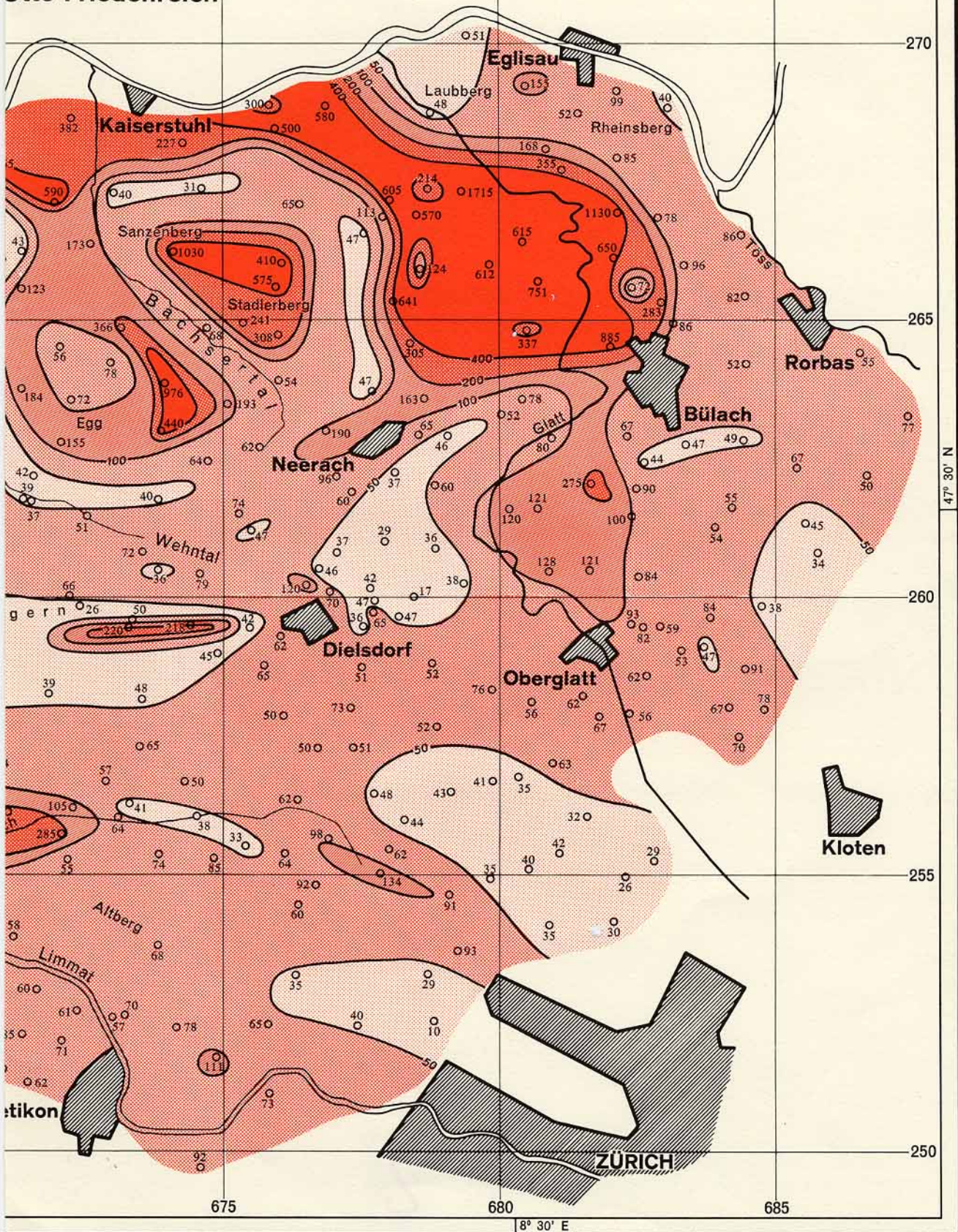


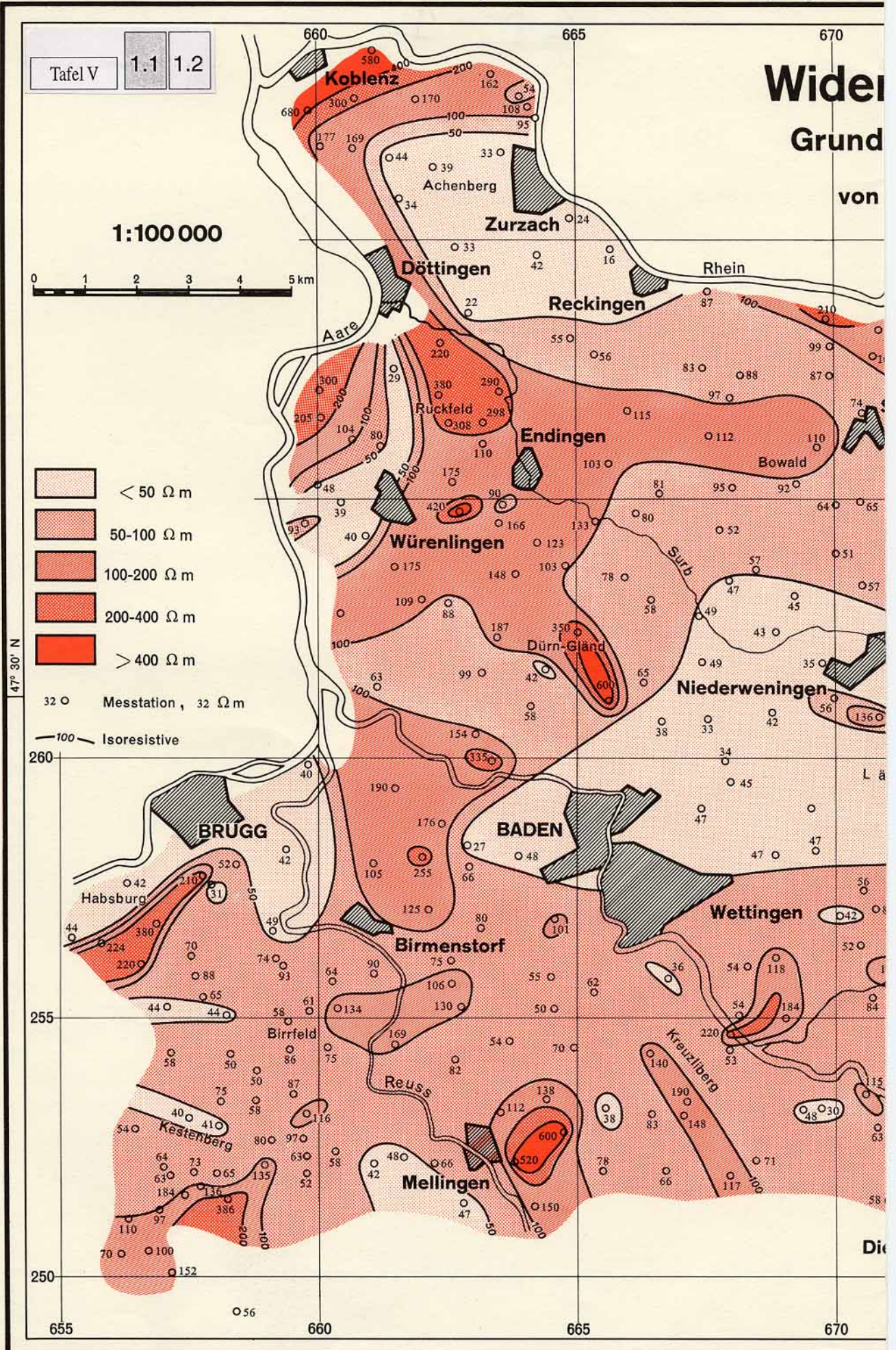


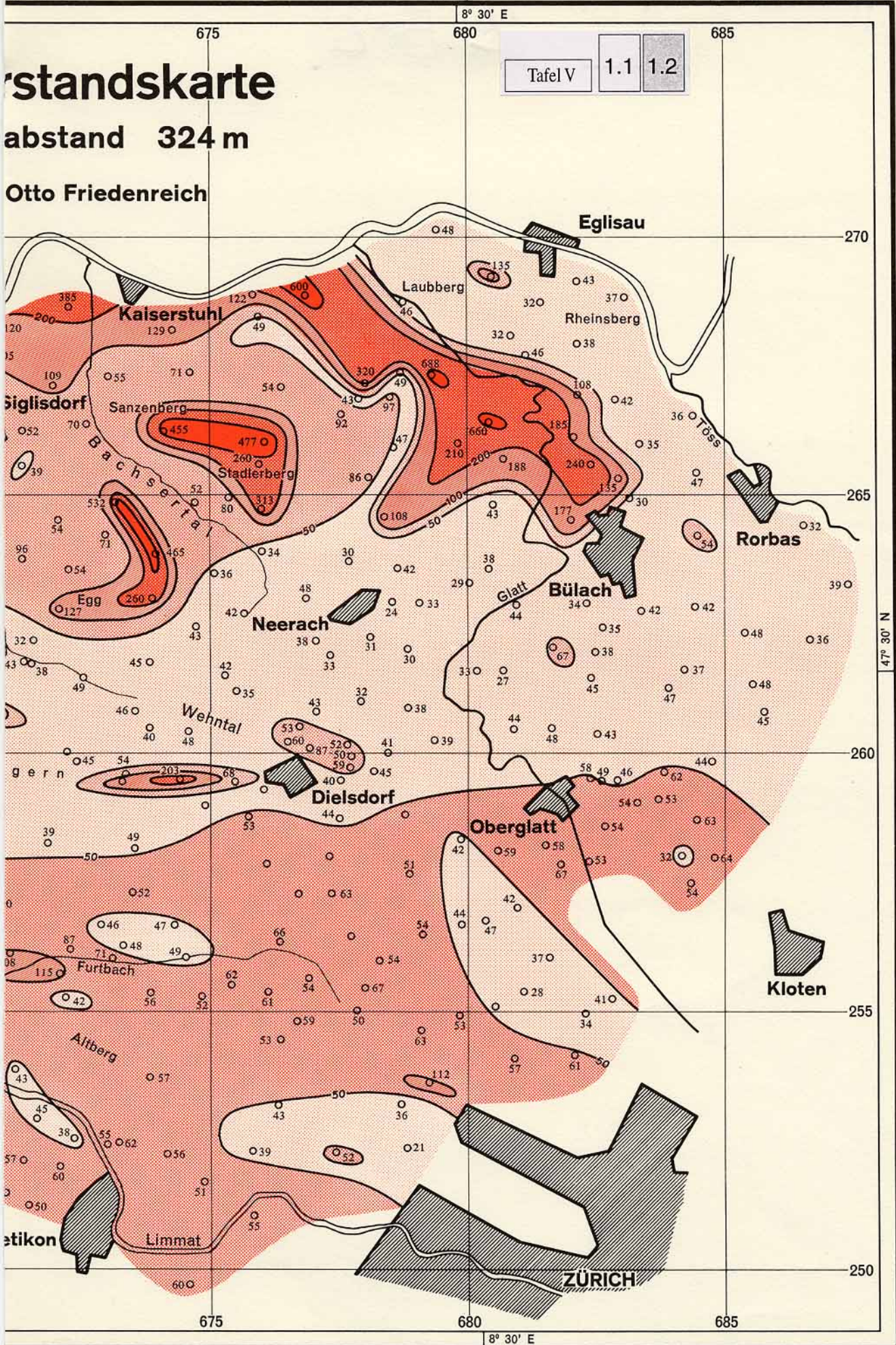
standskarte

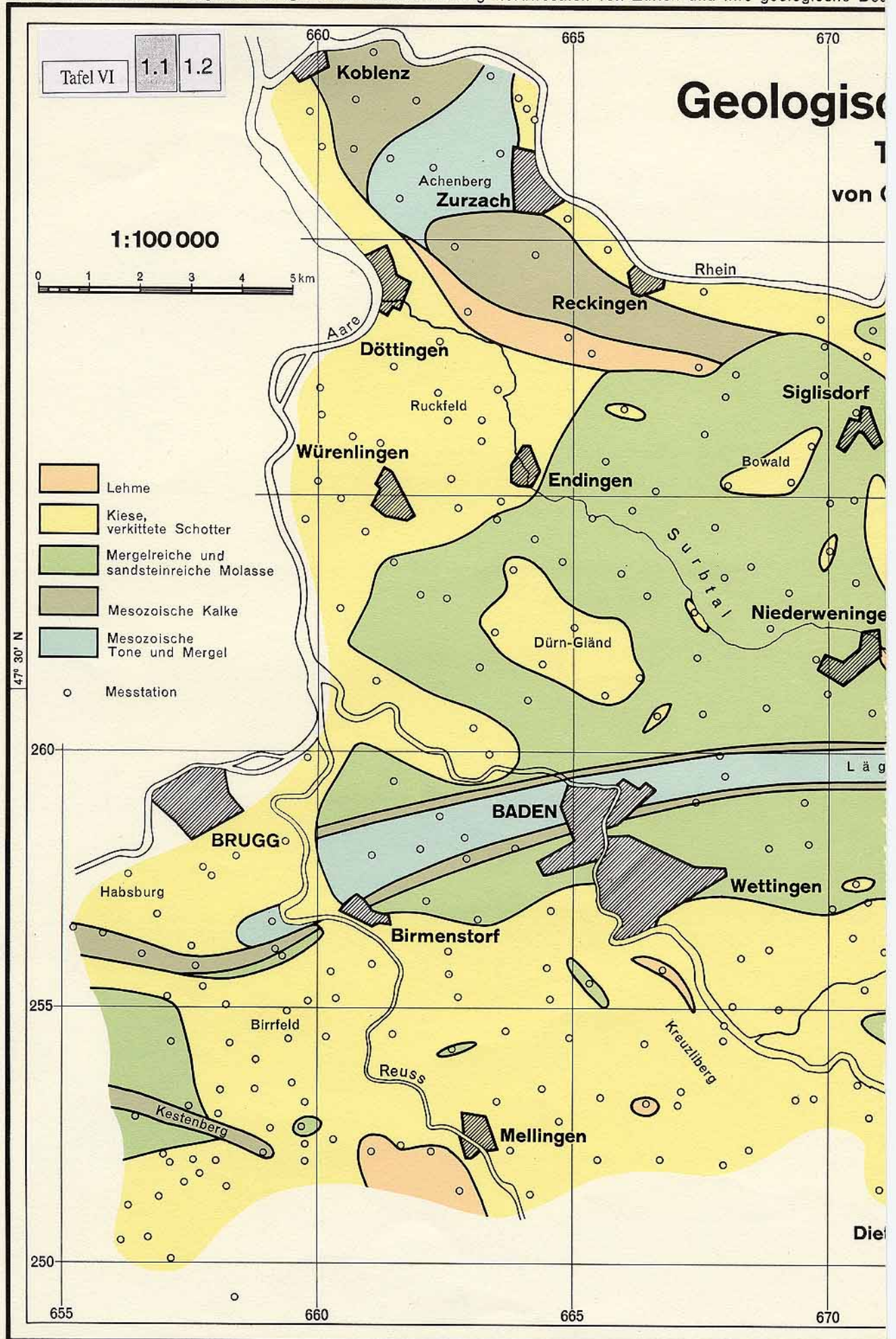
abstand 108 m

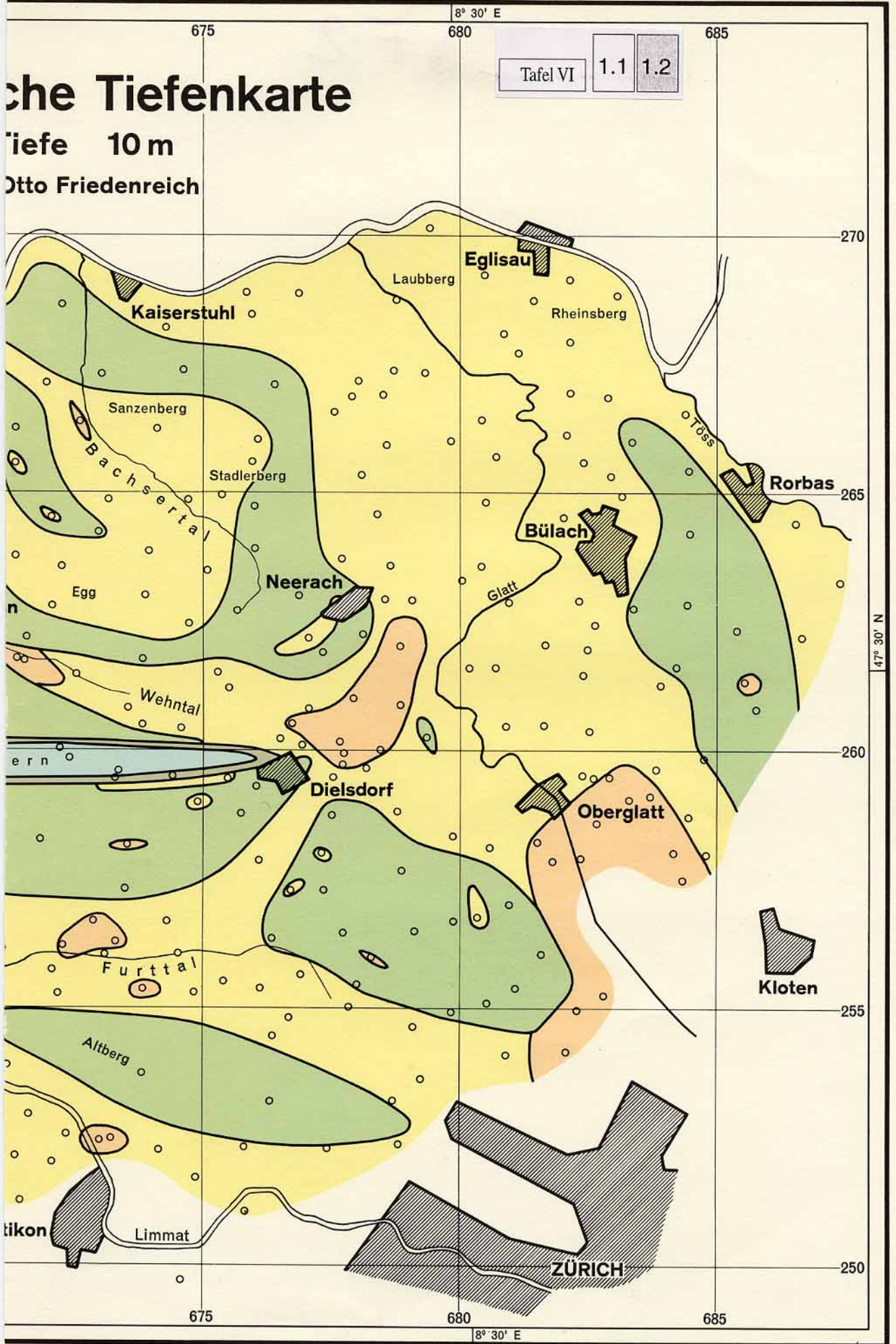
Otto Friedenreich

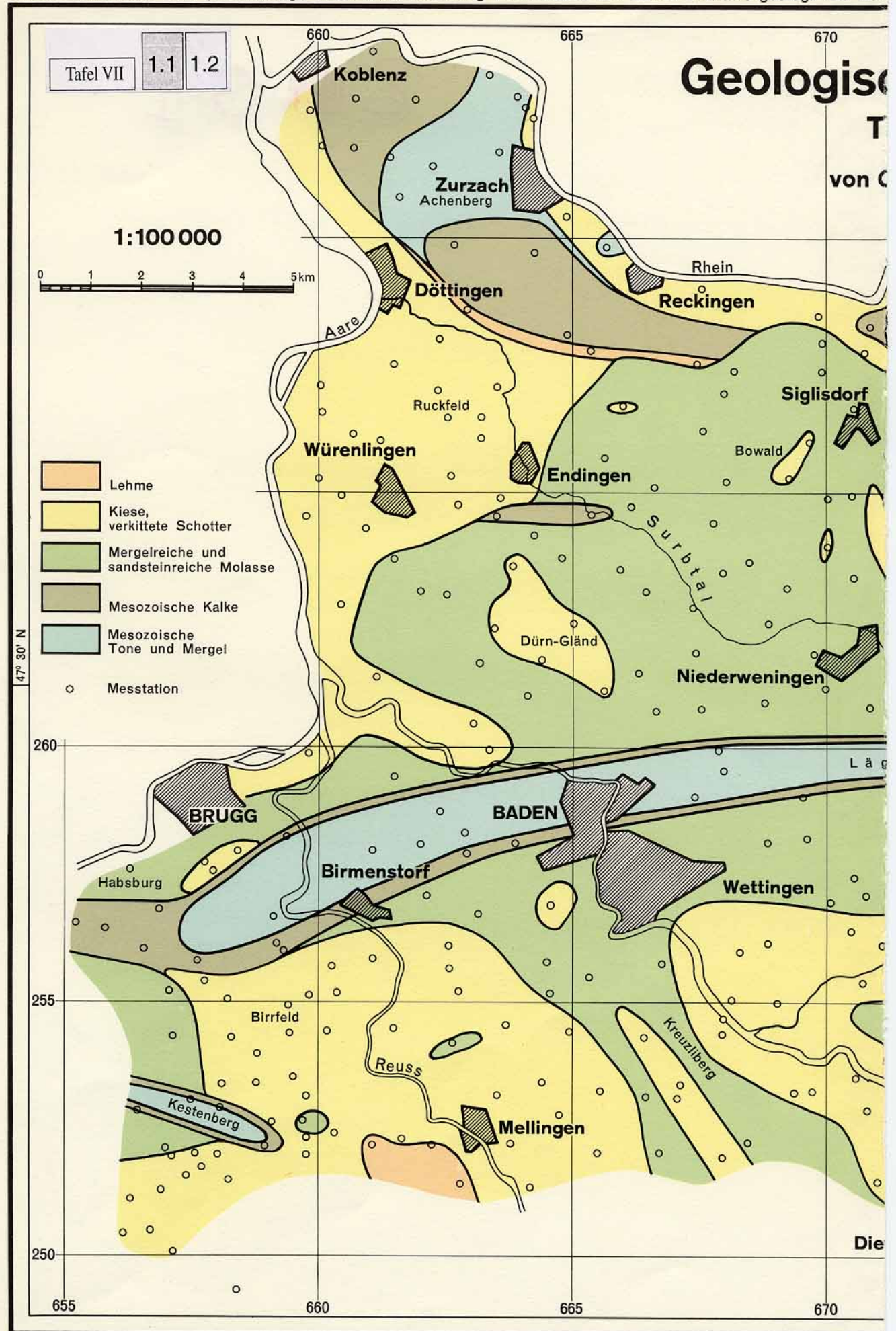








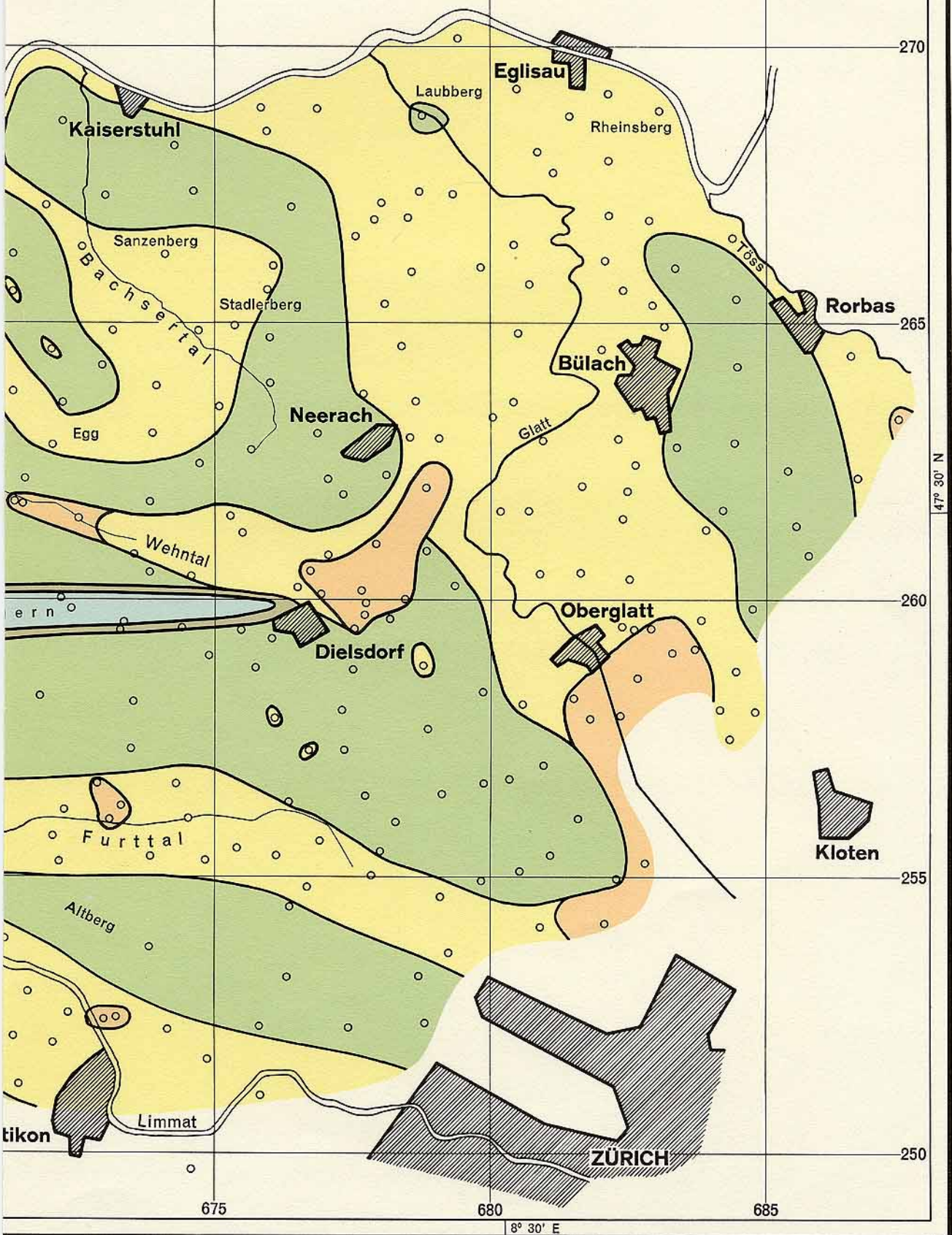


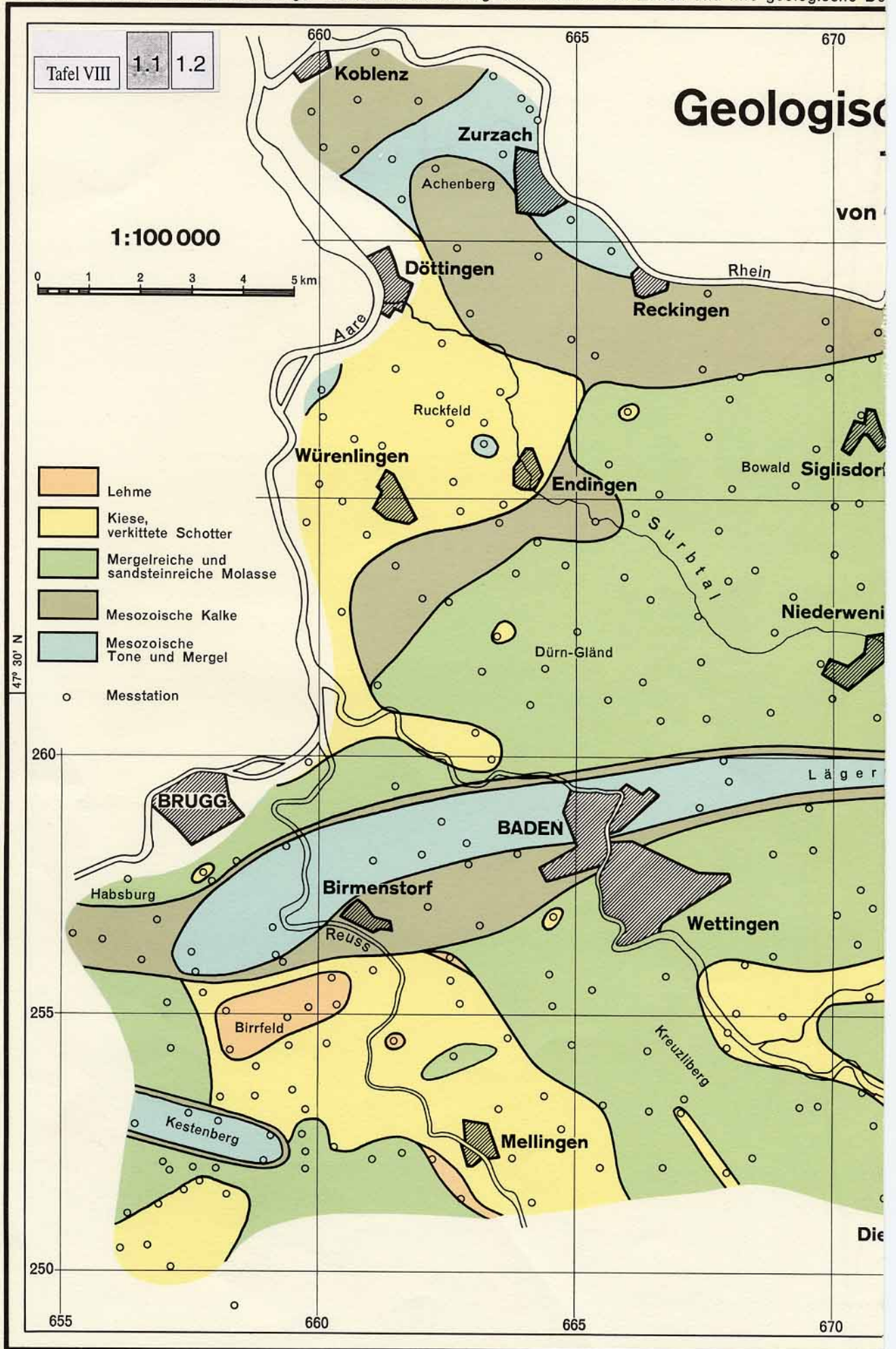


che Tiefenkarte

iefe 20 m

Otto Friedenreich





8° 30' E

675

680

685

Tafel VIII

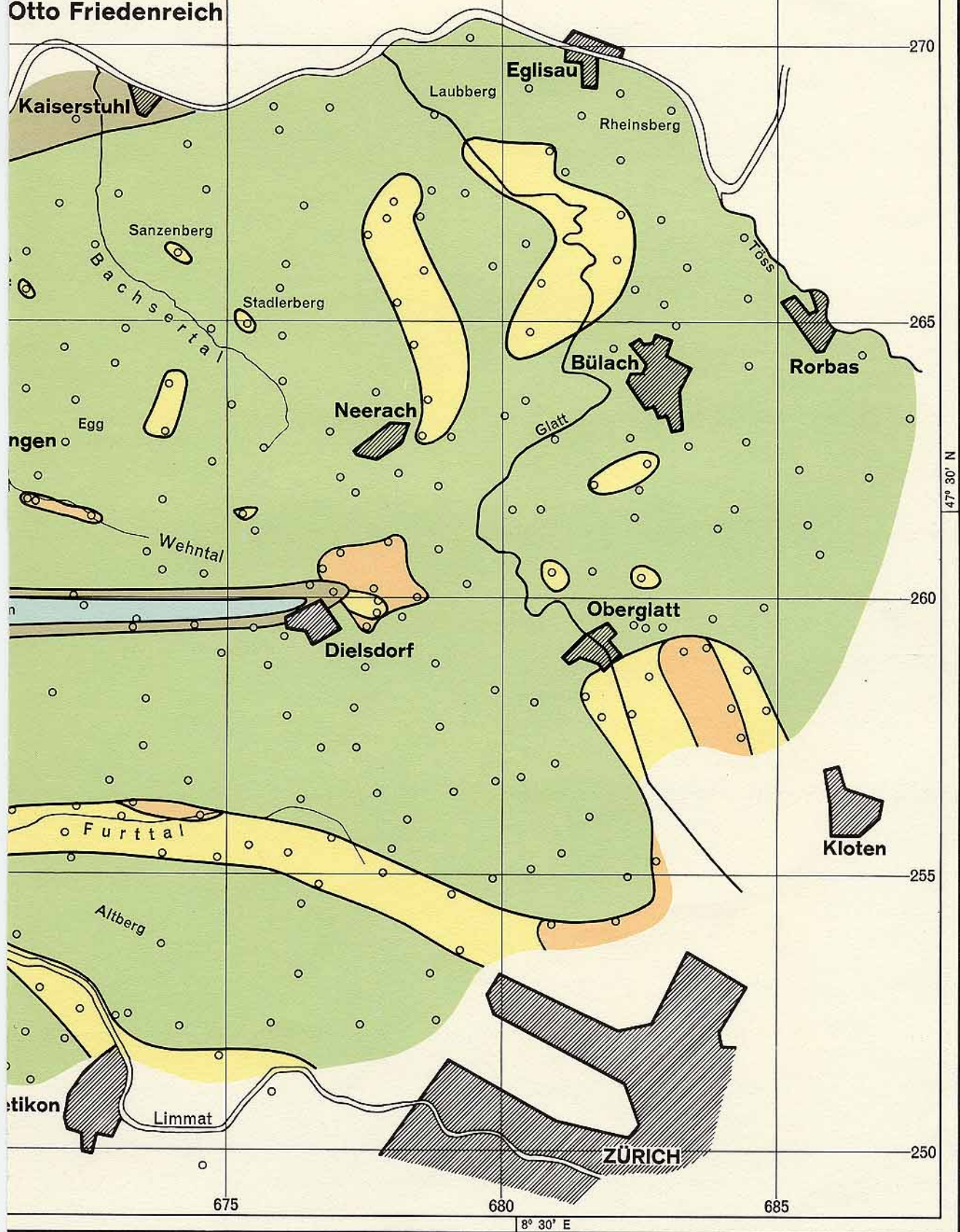
1.1

1.2

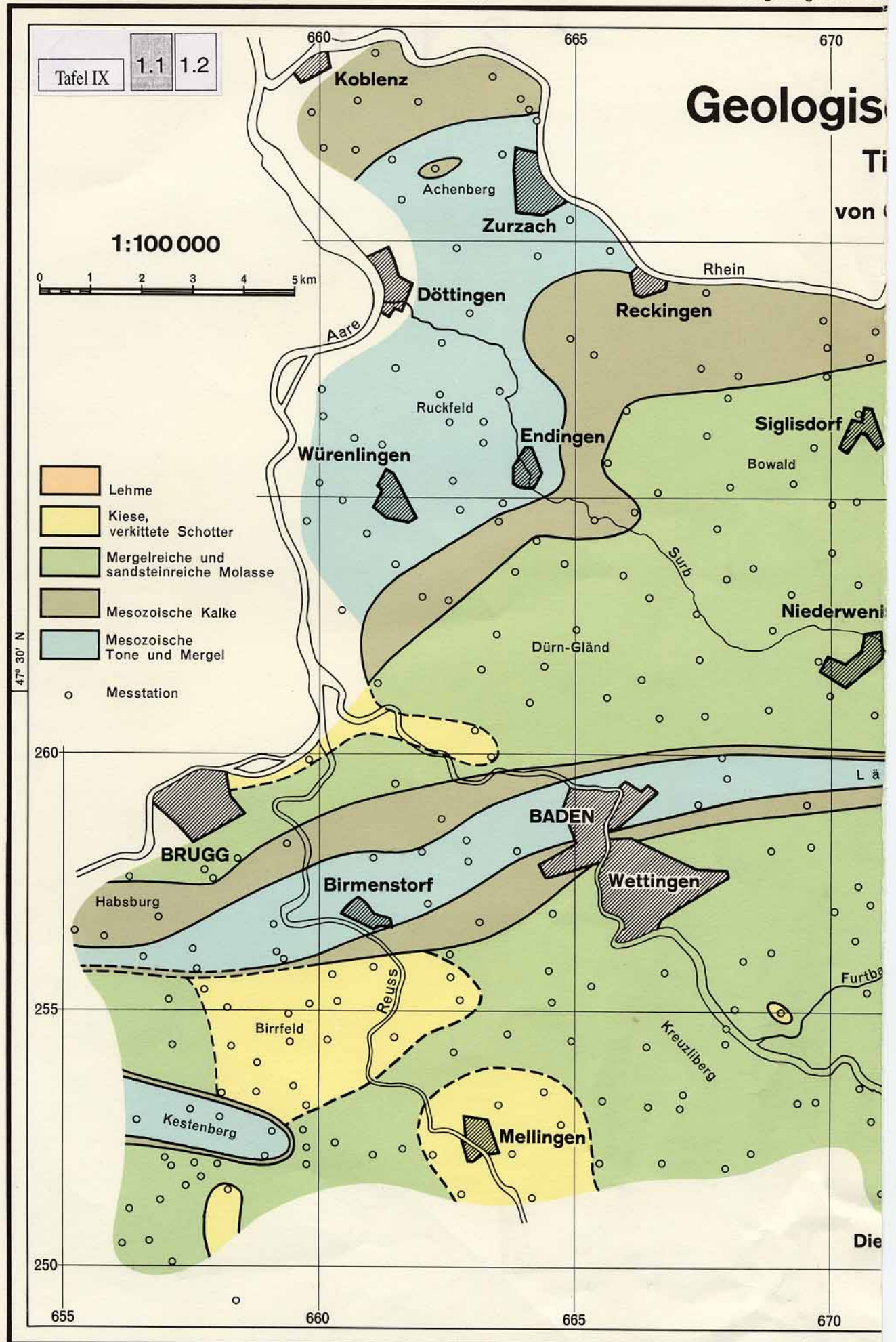
che Tiefenkarte

Tiefe 50 m

Otto Friedenreich



Gezeichnet von W. Schneibel



che Tiefenkarte

efe 100 m

Otto Friedenreich

