



DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK  
MINISTERIUM FÜR WISSENSCHAFT UND KUNST  
INSTITUT FÜR ANATOMIE UND ANATOMISCHES MUSEUM  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE

VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE

VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE  
VERGLEICHENDE ANATOMIE UND ZOOLOGIE

## Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung
2. Einleitung und Problemstellung
3. Geologischer Rahmen der untersuchten Gebiete
4. Durchführung der Messungen
  - 4.1. Zeitlicher Rahmen und fachliche Mitarbeiter
  - 4.2. Angewandte Meßverfahren
    - 4.2.1. Widerstandskartierung
    - 4.2.2. Geoelektrische Tiefensondierung
    - 4.2.3. Induzierte Polarisation (IP)
  - 4.3. Auswertung
5. Ergebnisse
  - 5.1. Bürgerwald/Tregistsattel
    - 5.1.1. Lage und geologische Situation
    - 5.1.2. IP-Messungen
    - 5.1.3. Widerstandskartierungen
    - 5.1.4. Geoelektrische Tiefensondierungen
  - 5.2. Holzbaueregg
    - 5.2.1. Lage und geologische Situation
    - 5.2.2. Widerstandskartierungen
    - 5.2.3. IP-Messungen
    - 5.2.4. Geoelektrische Tiefensondierungen
  - 5.3. Rutzendorf
    - 5.3.1. Lage und geologische Situation
    - 5.3.2. Widerstandskartierungen
    - 5.3.3. IP-Messungen
    - 5.3.4. Geoelektrische Tiefensondierungen
6. Zusammenfassende Beurteilung
7. Literaturverzeichnis
8. Beilagen: Bürgerwald/Tregistsattel (Lichtenegg) L  
Holzbaueregg H  
Rutzendorf R

## 1. Zusammenfassung:

An drei geologisch und morphologisch unterschiedlichen Gebieten in der Steiermark wurde die Prospektion auf Bentonit und Glastuff mittels geophysikalischer Methoden erprobt. Die ausgewählten Bentonit- und Glastuffvorkommen im Bürgerwald/Lichtenegg (NE Voitsberg), Holzbaueregg (S Groß St. Florian) und Rutzendorf (NE Stainz) (Übersicht siehe Beilagen L1, M1 und R1) variieren sowohl in Morphologie, Bentonit- Glastuffmächtigkeit, Überlagerung wie auch im Montmorin-Gehalt. Es ergab sich, daß die Bentonit-Glastuff-Horizonte geoelektrisch nachweisbar sind, falls das Verhältnis von Tiefe zur Mächtigkeit des Horizontes kleiner als 7:1 ist. Andere geophysikalische Prospektionsmethoden führen nicht zum Ziel.

### Skizzierung der Ergebnisse:

#### a) Bürgerwald/Tregistsattel

Auf Grund der großen bis zu 50 m mächtigen Überlagerung (Sande, Kiese), dem steilen Gelände und zu kleinen Widerstandskontrasten wurde der Glastuff geophysikalisch nicht direkt nachgewiesen, jedoch konnten Leithorizonte verfolgt und mit den Bohrprofilen zweier vorhandener Bohrungen korreliert werden. Auf Grund der geologischen Kartierung kann hier ein Glastuffvorrat von ca.  $630.000 \text{ m}^3$  bei einer bis zu 50 m mächtigen Überlagerung abgeschätzt werden.

#### b) Holzbaueregg

Hier konnten zwei Bentonit-Horizonte unterschiedlicher Mächtigkeit und Ausdehnung nachgewiesen werden. Der Vorrat wird auf  $10.000$  bis  $14.000 \text{ m}^3$  bei einer mittleren Schichtmächtigkeit von 0,5 m und 3 m Überlagerung geschätzt.

c) Putzendorf

Die geophysikalischen Ergebnisse brachten eine gute Übereinstimmung mit den bereits aus dem Jahre 1942 vorhandenen Bohrdaten, ergaben jedoch im Durchschnitt eine um 20 % kleinere Bentonit-Mächtigkeit im Vergleich mit den Bohrungen. Der abbauwürdige Vorrat beträgt 50.000 bis 70.000 m<sup>3</sup> bei einer mittleren Schicht-Mächtigkeit von 1,2 m und 1,5 m Überlagerung.

Auf Grund der Morphologie, den relativ billigen Abbaumöglichkeiten und der geringen Sebauung ist dieses Vorkommen als das wirtschaftlichste zu bezeichnen.

## 2. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen der Erfassung heimischer Rohstoffe durch F. EBNER und W. GRÄF in den Jahren 1977 bis 1980 (Literatur siehe EBNER & GRÄF 1982) wurden einzelne Bentonit- und Glastuffvorkommen in der Steiermark montangeologisch untersucht. Aufbauend auf diese Arbeiten war geplant, ausgewählte Bentonitvorkommen mit geophysikalischen Methoden weiter zu untersuchen. In den Vorprojekten hatte sich gezeigt, daß von den über 100 steirischen Bentonit- und Glastuffvorkommen auf Grund der Feldgeologie 6 eventuell wirtschaftlich verwertbar sein könnten. In dieser Zeit war auch ausgewähltes Probenmaterial im Labor gesteinsphysikalisch untersucht worden. Messungen an einzelnen Bentonit-/Glastuffproben hatten ergeben, daß diese sehr gute elektrische Leitfähigkeiten bzw. niedrige elektrische Widerstände aufweisen. Es sollte daher die Anwendbarkeit geophysikalischer Methoden, die auf Grund der Laborergebnisse ausgewählt worden waren, unter Feldbedingungen überprüft werden. Dabei daran gedacht war, diese Untersuchungsmethoden so durchzuführen, daß einerseits der geophysikalische Nachweis von Bentonit/Glastuff bzw. seine Abgrenzung gegen das Hangende und Liegende möglich sei, andererseits sollten diese Methoden auch bei einer positiven Anwendbarkeit zu einer Substanzabschätzung der ausgewählten Vorkommen führen.

Nachdem die Voruntersuchungen die prinzipielle Möglichkeit eines Einsatzes der geoelektrischen Kartierung für Bentonit- und Glastuffvorkommen ergeben hatte, sollte nun die Anwendbarkeit dieser Methode sowie einiger anderer Methoden, wie z.B. die geoelektrische Tiefensondierung oder auch IP-Messungen an einigen geologisch gut bekannten Vorkommen getestet werden. Wenn möglich, sollten diese Vorkommen bereits durch Bohrungen erschlossen sein bzw. sollte es auf Grund von Obertagsaufschlüssen möglich sein, auch mit geologischen Feldmethoden zu einer ungefähren Substanzabschätzung zu kommen.

Von den geophysikalischen Methoden war, wie bereits erwähnt, vor allen Dingen an die geoelektrische Widerstandskartierung gedacht. Mit Hilfe dieser Widerstandskartierung sollte geprüft werden, ob es möglich sei, die Ausbittlinie von Bentonit/Glastuff geophysikalisch nachzuweisen. Außerdem sollte hiermit auch Hangendes und Liegendes von der Bentonit/Glastufflagerstätte getrennt werden können. Die Aufgabe der geoelektrischen Tiefensondierung, die ebenfalls zum Einsatz kommen sollte, lag darin, einerseits die tatsächlichen Widerstandsverhältnisse zwischen Hangendem und Lagerstätte zu erhalten und, wenn möglich, auch das Liegende des Vorkommens abzugrenzen. Diese Methode sollte vor allem in jenen Bereichen zum Einsatz kommen, wo keine Aufschlüsse vorzufinden sind. Über den ermittelten spezifischen elektrischen Widerstand sollten auch qualitative Aussagen (Montmorillonitgehalt) über die Bentonit/Glastuffe möglich sein. Messungen an einzelnen Bentonit-/Glastuffproben hatten ergeben, daß sich diese gut in ihrer elektrischen Leitfähigkeit gegenüber den normalerweise Hangend- und Liegendtonen abgrenzen lassen. Es ist also zu erwarten, daß sowohl zu den tonig sandigen Tertiärgesteinen als auch zum Überlagernden Quartär ein ausreichender Widerstandskontrast vorhanden ist. Grundsätzliche Schwierigkeiten sind dort zu erwarten, wo ein ungünstiges Verhältnis der Bentonitmächtigkeit zur Mächtigkeit der Hangendschichten herrscht.

Weiters war geplant, in diesen Untersuchungsgebieten, vor allen Dingen in jenen Teilen, wo größere Mächtigkeiten des Hangenden auftreten, unterstützende IP-Messungen (Induzierte Polarisation) durchzuführen. Labormessungen hatten ergeben, daß die Bentonite/Glastuffe IP-Effekte aufweisen. Da diesbezüglich aus der Literatur keine Hinweise zu erhalten waren, wird mit diesen Untersuchungen vollkommen geophysikalisches Neuland betreten.

Ziel der geophysikalischen Untersuchungen sollte es dann sein, diese geologisch berechneten Reserven oder diese sich aus den Bohrungen ergebenden Bentonitmächtigkeiten geophysikalisch nachzuweisen. Im Laufe dieses Projektes sollte also überhaupt über Sinn und Zweck geophysikalischer Methoden entschieden werden, letzten Endes auch noch kalkulatorische Gesichtspunkte den Einsatz der Geophysik gegenüber einfachem Abbohren eines Vorkommens bzw. Errichtung von Schurfgräben beurteilt werden.

Nach eingehenden Beratungen mit den Herren Doz.F.Ebner und Doz.W.Gräf vom Landesmuseum Joanneum in Graz sowie mit Herrn Univ.Prof.Dr.F.Weber von der Universität Leoben wurden von diesen, bereits erwähnten, 6 eventuell wirtschaftlich verwertbaren Vorkommen 3 für derartige geophysikalische Testmessungen ausgewählt. Dabei handelt es sich im Speziellen um das Vorkommen Bürgerwald/Treglatsattel (Lichtenegg) im Raum von Voitsberg (Beilage L1), das Vorkommen Rutzendorf in der näheren Umgebung von Stainz (Beilage R1) und letzten Endes das Vorkommen Holzbaueregg, welches in der Nähe von Groß St. Florian liegt (Beilage H1).

Die Kriterien, nach denen diese 3 Untersuchungsgebiete ausgewählt worden wären, sind sehr unterschiedlich. Erstens unterscheiden sich diese 3 Vorkommen sowohl in der Bentonit-/Glastuffmächtigkeit wie auch in der Überlagerung, weiters in der Qualität des dort anstehenden vulkanischen Tuffes sowie in der Morphologie des Geländes. Die Vorkommen Bürgerwald/Treglatsattel und Holzbaueregg sind relativ stark verbaut, das Vorkommen Rutzendorf hingegen kaum. Vom wirtschaftlichen Interesse her scheint nur das Vorkommen Rutzendorf sinnvoll genutzt werden zu können.

Auf Grund dieser Untersuchungen sollten nun einzelne Vorkommen aus dem Status wissenschaftlicher Bearbeitung in firmenmäßige Nutzung übergeführt werden, bzw. es sollte eine wirtschaftlich nutzbare Untersuchungsmethodik erarbeitet werden.

Für die Auswahl der drei geoelektrisch kartierten Testgebiete waren neben ihrer ausreichenden Kenntnis aus den geologischen Kartierungsarbeiten unterschiedliche Verhältnisse in

- Montmoriningehalt (Bentonit - Glastuff)
- Mächtigkeit der Überlagerung
- Materialbeschaffenheit der Überlagerung
- Geländemorphologie

maßgeblich. Diesbezüglich können die drei Testgebiete wie folgt charakterisiert werden:

Testgebiet	Materialansprache (% Montmoriningehalt)	Überlagerung		Geländemorphologie
		Mächtigkeit	Material	
Holzbäueregg	Bentonit (85-90 %)	m-Bereich	toniger Sand	flach
Rutzendorf	Bentonit (40-60 %)	m-Bereich	toniger Sand	flach
Bürgerwald/ Tregatsattel	Glastuff (10-20 %)	bis ca. 60 m	Kies, Sand	steil

Die geophysikalisch untersuchten Vorkommen vulkanischer Tuffe (Bentonit, Glastuff) liegen im Weststeirischen Tertiärbecken. Die sedimentäre Füllung dieses Beckens setzt in seinen südwestlichsten Bereichen über Rotlehmen mit den Raß-Wildbachschottern ein, die durch die über 2.000 m mächtigen teilweise Kohle führenden Eibiswalder-Schichten überlagert werden, deren hangende Anteile stratigraphisch dem Karpat zugeordnet werden. Äquivalente der mittleren und oberen Eibiswalder Schichten sind auch die kohleführenden Gesteine des Raums Voitsberg-Köflach.

### 3. Geologischer Rahmen der untersuchten Gebiete

Nach dem ersten Hinweis auf Walkerde (=Bentonit) im steirischen Miozän durch BATLE 1885 deutet PETRASCHEK 1922-24, 1940, 1955 erstmals die große regionale Verbreitung dieser aus vulkanischen Tuffen hergeleiteten Tonvorkommen an.

Beginnend mit den 50er Jahren setzten vor ca. 30 Jahren gezielte Detailstudien ein. Neben petrographischen und technisch-mineralogischen Untersuchungen durch NEUWIRTH, HAUSER, HÖLLER und PAULITSCH wurden durch FLÜGEL, MAURIN und KOPETEKY (Literaturzitate siehe EBNER & GRÄF, 1980, 1982 a) auch die regionalgeologischen und stratigraphischen Aspekte dieser Tuffschichten immer wieder beleuchtet.

1976 beginnt die vorläufig letzte Phase in der Erforschung der steirischen miozänen Tuffvorkommen. Dabei werden einerseits mineralogisch die Bedingungen untersucht, die für die Umwandlung von vulkanischem Glas zu Montmorillonit (Bentonit) verantwortlich sind (HÖLLER, KOLMER & WIRSCHING 1976, WIRSCHING 1976, 1977), andererseits wird durch EBNER 1981 eine regionalgeologisch/stratigraphische und in einer Reihe von Rohstoffprojekten eine lagerstättenkundlich/materialtechnische Gesamtdokumentation angestrebt (EBNER & GRÄF 1977, 1979 a, 1980, 1982 a, 1983, AMT der STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 1982).

Zum Abschluß dieser Untersuchungen wurden nun von den an die 100 bekannten Fund-Lokalitäten drei eventuell wirtschaftlich interessante Einzelvorkommen für geophysikalische Untersuchungen ausgewählt. Dadurch sollte einerseits die Eignung geoelektrischer Meßmethoden für die Prospektion von Bentoniten und Glastuffen getestet und andererseits aber auch versucht werden, zusätzliche Detailinformationen (Ausdehnung, Mächtigkeit) über diese Vorkommen zu erlangen.

Wesentlich für die Faziesdifferenzierung im Tertiär des Steirischen Beckens ist der Paläozökumsaufbruch der Sausal-schwelle (mittelsteirische Schwelle), der im Karpat zwischen dem Marin des Oststeirischen Beckens und dem Nichtmarin des Weststeirischen Beckens Barrierefunktion zukommt.

Im Gefolge der jungsteirischen Phase wird im unteren Badenien die Mittelsteirische Schwelle durch marine Ingressionen durchbrochen. Dies führt im Raum der Florianer Bucht zu vollmarinen Schichtfolgen (Florianer Schichten), die zum Grundgebirge hin ausfließen. An eine Regression in der oberen Lagenidenzone des unteren Badenien schließt eine neuerliche Ingression an, auf die dann im mittleren Badenien die endgültige Verlandung des Weststeirischen Beckens folgte.

Gegen Westen verzahnen sich die im Detail gut gliederbaren Florianer Schichten (KOPETZKY 1957) mit dem Schwanberger Blockschutt bzw. gehen nach N und NW entlang der Linie Stainz-Lannach-Tobelbad-Pirka in eine limnisch-fluviatile Entwicklung über, die im Raum Köflach-Voitsberg mit Winkeldiskordanz die Kohlen führenden Schichten (Oberkarpat) überlagert. Teilweise kommt es in geschützten Grundgebirgsbuchten auch nun zu Kohlenbildungen und zur Sedimentation von Süßwasserkalken (z.B. Reiner Becken vgl. EBNER & GRXP 1979 b).

Die Zeit des oberen Karpat bis unteren Badenien war durch ausgeprägte vulkanische Ereignisse gekennzeichnet. Die im Raum um Gleichenberg auftretenden Schildvulkane förderten nicht nur trachytisch-trachyandesitisches Lavematerial, sondern bliesen bei ihren Eruptionen auch vulkanische Aschen hoch in die Luft, die dann gesteuert durch klimatologische Faktoren über weite Areale der Steiermark kolisch verfrachtet und als vulkanische Tuffe bzw. Tuffite wiederum abgelagert wurden (vgl. EBNER 1981: Abb. 1). Vulkanische Tuffe sind daher in allen oben beschriebenen Faziesbereichen dieses Zeitraums anzutreffen (EBNER 1981, EBNER & GRXP 1982). Der Mineralbestand dieser, bis zu einigen

Metern mächtigen, ehemaligen vulkanischen Aschenlagen, ist einerseits vulkanisches Glas (Glastuffe) und andererseits durch unterschiedlich stark erfolgte sekundäre Umwandlungen Glas=Montmorillonit montmorinreicher Ton (=Bentonit) (HÖLLER, KOLMER & WIRSCHING 1976, WIRSCHING 1976, 1977).

Von der Vielzahl der Tuffvorkommen in den oberkarpatisch bis unterbadensischen Schichten des Weststeirischen Beckens (vgl. EBNER & GRÄP 1982) wurden nun in drei unterschiedlichen Faziesbereichen (mariner, marin-brackischer, limnisch-fluviatiler Bereich) Tuffvorkommen mit divergierendem Montmorin Gehalt und unterschiedlichsten Geländebeziehungen der Fundgebiete geophysikalisch untersucht.

#### 4. Durchführung der Messungen

##### 4.1. Zeitlicher Rahmen und fachliche Mitarbeiter

Nach einzelnen Vorbesprechungen im Frühjahr 1982 kam es zu letzten Besprechungen Ende Juli 1982 in Graz. Bei diesen Besprechungen wurden neben einer neuerlichen Erörterung der Problemstellung die einzelnen Meßgebiete abgegrenzt, bzw. dahingehend besichtigt, inwieweit bei diesen Meßgebieten überhaupt geophysikalische Methoden feldmäßig durchgeführt werden können.

Mit den eigentlichen geophysikalischen Testmessungen wurde am 2. August 1982 begonnen. Dabei wurde so vorgegangen, daß in der Anfangsphase dieser Untersuchungen reine geophysikalische Testmessungen in den 3 Untersuchungsgebieten mit sämtlichen anzuwendenden Methoden durchgeführt wurden. Diese ersten feldmäßigen Testmessungen dauerten in etwa 14 Tage.

Nach einer ersten Sichtung der hier gewonnenen Daten und Diskussionen am Institut für Angewandte Geophysik über Sinn und Zweck des Einsatzes der unterschiedlichen Methoden wurde mit einer routinemäßigen Untersuchung am 14. August 1982 begonnen. Während dieser Phase wurden nur mehr in dieser speziellen Problematik sinnvoll erscheinende Methoden mit den jeweils bereits festgelegten Elektrodenkonfigurationen an den 3 unterschiedlichen Meßgebieten routinemäßig durchgeführt. Die eigentlichen Feldmessungen wurden Mitte September 1982 beendet. Allerdings waren im Laufe der Auswertung einzelne Ergänzungsmessungen bzw. Kontrollmessungen auch im Herbst 1982 noch vereinzelt notwendig geworden.

Da die Ausbisslinie, die vor allen Dingen, wie bereits mehrfach erwähnt, mit der Widerstandskartierung nachgewiesen hätte werden sollen, nicht immer klar im Gelände ersichtlich war, wurde mit Doz. F. Ebner vereinbart, daß dieser entlang der gemessenen Profile die Ausbisslinie der Bentonite, sofern tatsächlich vorhanden, verifiziert. Dies schien unbedingt notwendig, um die

Zweckmäßigkeit dieser Methode endgültig beurteilen zu können.

Mit den Auswertearbeiten wurde bereits mit Beginn der Feldmessungen begonnen, da diese unbedingt zur Abschätzung des Sinnes einzelner Meßmethoden notwendig waren. Außerdem sollte auf diese Weise eine Optimierung des Meßprogrammes erreicht werden. Die eigentlichen Auswertearbeiten begannen dann mit Ende der Meßkampagne etwa ab Mitte September, die ersten diskussionswürdigen geophysikalischen Ergebnisse lagen Ende Dezember 1982 vor.

Von geologischer Seite wurden die geophysikalischen Messungen von Doz. Ebner vom Landesmuseum Joanneum in Graz betreut. Die geophysikalischen Feldmessungen leiteten während der Testphase Dr. Ch. Schmid und Dipl. Ing. H. Aigner. Während der Routinemessungen zeichnete Dipl. Ing. H. Aigner als verantwortlicher Truppleiter. Die Auswertung und Interpretation erfolgte durch Dipl. Ing. H. Aigner und Dr. Ch. Schmid, sowie Doz. F. Ebner.

#### 4.2. Angewandte Meßverfahren

##### 4.2.1. Widerstandskartierung

Während der Phase der Testmessungen wurden 3 unterschiedliche geophysikalische Methoden getestet. Für die geoelektrische Widerstandskartierung kam ein Norma-Erdungsmeßgerät mit der Typenbezeichnung 1805 GB 2 D/E zum Einsatz. Bei diesem Instrument handelt es sich um ein niederfrequentes Wechselstrommeßgerät, welches vorwiegend für Erdungsmessungen konstruiert worden war. Sein Meßbereich geht von 0 bis 3000 Ohm, wobei eine Meßspannung von 60 Volt erzeugt wird. Die Meßleistung dieses Gerätes liegt bei maximal 1 Watt. Wie diese bzw. schon in früheren Zeiten getätigten Messungen gezeigt hatten, ist die Leistungsfähigkeit

dieses Gerätes vor allen Dingen bei sehr niederohmigen Horizonten nicht immer voll befriedigend. Bei Widerständen unter 5 Ohm.m ist das Auflösungsvermögen dieses Gerätes nur mehr bedingt tauglich.

Die geoelektrische Widerstandskartierung beruht darauf, daß die mittleren Formationswiderstände bis zu einer im Vorhinein festgestellten Eindringtiefe erfaßt werden. Da die Elektrodenabstände, die ein Maß für die Eindringtiefe dieses Verfahrens darstellen, während der gesamten Messung gleichbleiben, werden auf diese Weise laterale Änderungen im Widerstand des untersuchten Gesteinspaketes auskartiert. Voraussetzung für diese Methode ist, daß die Überdeckung oder die Oberflächenbedingungen, wie etwa Bodendurchfeuchtung etc., entlang eines gesamten Profiles, bzw. wenn möglich, im gesamten Untersuchungsgebiet gleichbleiben. Auf diese Weise wird gewährleistet, daß Widerstandsänderungen ausschließlich dem untersuchten Gestein zugeordnet werden können. Da in den hier untersuchten Meßgebieten mit unterschiedlicher Hangendmächtigkeit gerechnet werden mußte, welche wiederum als Störeinfluß gewertet werden kann, wurde auf die Wenner-Elektrodenanordnung zurückgegriffen. Im Gegensatz zur Schlumberger-Anordnung oder zu fokussierten Elektrodenanordnungen, wie sie vor allen Dingen bei Bohrtauerkundungen angewandt werden, bringt die Wenner-Anordnung den Vorteil mit, daß kleine Störeinflüsse infolge Inhomogenitäten oder eine Änderung der Mächtigkeit der Hangendschichten leichter erkannt werden können. Da in allen 3 Meßgebieten die ungefähren Mächtigkeiten der Hangendschichten bekannt waren, wurden entsprechend dieser Erkenntnis die Elektrodenabstände für jedes Meßgebiet festgelegt. Bei den Meßgebieten Holzbaueregg und Rutzendorf, wo die Hangendmächtigkeit nur wenige Meter betrug, wurde mit 3 unterschiedlichen Elektrodenabständen gearbeitet. Im Speziellen betragen die Elektrodenabstände 2, 5 und 10 m. Auf diese Weise sollte gewährleistet sein, daß über eine derartige Widerstandsmittelung laterale Inhomogenitäten, wie sie in den Hangend-

schichten auftreten können bzw. schwankende Mächtigkeiten besser erkannt werden können.

Insgesamt wurden im Untersuchungsgebiet Rutzendorf entlang von 4 Meßprofilen 900 m Widerstandskartierung durchgeführt. Dabei wurde in etwa eine Fläche von  $0,25 \text{ km}^2$  mit Profilen bedeckt. Generell wurde dabei mit 3 verschiedenen Elektrodenabständen, was 3 unterschiedlichen Eindringtiefen entspricht, gearbeitet. Im Untersuchungsgebiet Holzbauaregg, welches mit einer Fläche von  $0,12 \text{ km}^2$  das kleinste Arbeitsgebiet darstellt, wurden entlang von 8 Meßprofilen mit einer Gesamtlänge von 850 m 170 Meßpunkte aufgenommen.

Die Widerstandskartierung im Meßgebiet Bürgerwald/Tregistraattel hatte auf Grund der ungünstigen Lagerungsverhältnisse des vermuteten Glastuffvorkommens eine andere Problemstellung. Da die maximalen Mächtigkeiten der Hangendschichten hier bis zu 60 m sein können, konzentrierte sich die geoelektrische Widerstandskartierung einzig und allein darauf, die Ausbisslinien nachzuweisen, bzw. in situ die elektrischen Eigenschaften der in einem Teil des Meßgebietes anstehenden Glastuffe zu ermitteln. Dabei wurden insgesamt 950 Profilmeter registriert, die sich auf 6 Meßprofile verteilen.

#### 4.2.2. Geoelektrische Tiefensondierung

Mit der zweiten Methode, der geoelektrischen Tiefensondierung, wurde in allen 3 Untersuchungsgebieten gearbeitet. Außerdem hatten die Voruntersuchungen ergeben, daß diese Methode für den Nachweis von Bentonit-/Glastuffvorkommen die größten Erfolgsaussichten aufweist. Es wurden daher etwa 70 % der durchgeführten Arbeiten auf diese Methode konzentriert.

Gearbeitet wurde dabei mit einer geoelektrischen Gleichstrom-  
apparatur mit der Typenbezeichnung GGA 30 des Bodenseewerkes  
in Überlingen, BRD. Diese Meßinstrumente bestehen aus einem  
sogenannten Leistungsteil und einem Meßteil. Der Leistungsteil  
beinhaltet im wesentlichen einen Zerkhacker, welcher aus 12 Volt  
Gleichspannung eine Wechselspannung von 60, 120 oder 300 Volt  
erzeugt. Die abgegebene Leistung ist an diesem Gerät auf maximal  
50 Watt begrenzt. Die Spannungen werden an den Außenelektroden  
angelegt und stehen nur während des automatischen Meßablaufes,  
der ca. 7 Sekunden für einen Meßpunkt (Elektrodenabstand) beträgt,  
an den Außenelektroden an. Dieser Meßablauf wird vom Meßteil  
gesteuert. Ohne angeschlossenen Meßteil kann am Ausgang des  
Leistungsteiles keine Spannung erzeugt werden. Der Leistungsteil  
enthält weiterhin eine sogenannte Erdungskontrolleinrichtung.  
Diese erlaubt eine ungefährliche Kontrolle darüber, ob der Elektro-  
denkreis offen oder durch die gesteckten Elektroden bereits ge-  
schlossen ist. Diese Einrichtung dient der Sicherheit des Be-  
dienungspersonales.

Der Meßteil enthält die Steuerelektronik für den automatischen  
Meßablauf und die Elektronik für die Verarbeitung und Anzeige  
der Meßergebnisse. Die außerordentlich hohe Meßempfindlichkeit  
verlangt eine galvanische Trennung von Meß- und Leistungsteil.  
Die eingebaute Batterien erlauben einen Betrieb von ca. 8 Stunden.

Wie bereits erwähnt, wurden die geoelektrischen Tiefensondierungen  
in allen 3 Meßgebieten durchgeführt. Als Elektrodenanordnung kam  
einheitlich die Schlumbergerkonfiguration zur Anwendung. Einzig  
und allein die maximalen Elektrodenabstände, die ein Maß für die  
Eindringtiefe dieses Verfahrens sind, wurde je nach Meßgebiet  
geändert.

In den Meßgebieten Holzbaueregg und Rutzendorf wurde mit maximalen  
Elektrodenabständen von  $AB = 300$  m gearbeitet. Dies würde im  
Idealfall einer Eindringtiefe von etwa 100 m entsprechen. Sind  
jedoch die oberflächennahen Widerstände sehr gering, so reduziert

sich diese Eindringtiefe bis auf etwa 1/10 der maximalen Elektrodenabstände, was in unserem Fall einer Eindringtiefe von etwa 30 m gleichkommt. Die einzelnen Untersuchungspunkte wurden in allen 3 Meßgebieten so gelegt, daß aus den Einzelpunkten Profile konstruiert werden konnten. So wurden im Meßgebiet Rutzendorf 51 Tiefensondierungspunkte, die entlang von 6 Profilen mit einer Gesamtprofillänge von 1600 m liegen, gemessen. Im Meßgebiet Holzbaueregg wurden 30 Sondierungspunkte registriert, die entlang von 4 Profilen mit einer Gesamtlänge von 960 m liegen.

Im Untersuchungsgebiet von Bürgerwald/Tregistsattel wurde mit maximalen Elektrodenabständen von 700 m gearbeitet. Dies würde unter ungünstigsten Verhältnissen einer Eindringtiefe von 60 bis 70 m entsprechen. Da von der Geologie her bekannt ist, daß hier die Hangendmächtigkeiten bis etwa 50 m ausmachen können, dürfte die hier angewandte Elektrodenkonfiguration ein eindeutiges Erfassen der Liegendschichten ermöglichen. Allerdings sind bei derartig großen Hangendmächtigkeiten Zonen von wenigen Metern nicht mehr zu erfassen. Als Faustregel gilt, daß bei geoelektrischen Tiefensondierungen die Mindestschichtmächtigkeit 10 % der Hangendmächtigkeit ausmachen muß. Liegt allerdings unter der gesuchten Formation, wie hier dem Glastuff, wiederum eine niederohmige Schicht, so ist das Auflösungsvermögen noch etwas geringer. Es konnte also mittels Geoelektrik im Gebiet von Bürgerwald/Tregistsattel nur gewährleistet werden, daß die Liegendpartien von den Hangendschottern geoelektrisch abgegrenzt werden können. Inwieweit ein direkter Nachweis der Glastufflagen mittels Geoelektrik möglich ist, konnte auf Grund der Geologie allein nicht im Voraus gesagt werden. In diesem Untersuchungsgebiet wurden 51 geoelektrische Tiefensondierungspunkte entlang von 4 Einzelprofilen mit einer Gesamtlänge von 3,1 km registriert.

### 4.2.3. Induzierte Polarisation

IP (Induzierte Polarisation) ist eine relativ neue Meßtechnik in der Geophysik und wird hauptsächlich in der Erzprospektion zum Aufsuchen feinverteilter Mineralien und zur Grundwasserprospektion angewandt. Bei geophysikalischen Messungen entstehen IP-Effekte hauptsächlich auf Grund verschiedener Widerstandsverhältnisse und elektrischer Polarisationen im mikroskopischen Bereich des untersuchten Bodens. Die elektrische Polarisation tritt hauptsächlich in Flüssigkeitsgefüllten Poren nahe metallischer Minerale auf und ist daher am stärksten in Gebieten disseminierter Metalle zu beobachten. Das Verhältnis zwischen IP-Meßdaten und dem mineralischen Bodenanteil ist jedoch sehr komplex.

Eine Vorstellung über die IP-Funktion kann man erhalten, indem man eine standardmäßige 4-Elektrodenaufstellung zur Widerstandsmessung betrachtet und den hineingesandten Strom plötzlich unterbricht. Beim Abschalten des Stromes geht die Spannung nicht sofort auf Null zurück, sondern fällt langsam nach einem anfänglichen Sprung auf ihren eigentlichen Sollwert Null ab. Die Zeit bis zum völligen Spannungsausgleich liegt in der Größenordnung von Sekunden und ist sehr stark von Art und Form der Untergrundstruktur abhängig. Beim Einschalten ist derselbe Vorgang natürlich in entsprechend umgekehrter Form zu beobachten. Die Geschwindigkeit, mit der die Spannung abfällt bzw. ansteigt, wird gemessen und ist ein Maß für das IP-Verhalten des untersuchten Bodens.

Eine Form des IP-Detektors besteht nun darin, daß die Abfallzeit der Spannung gemessen wird (time-domain IP). Dies wurde hauptsächlich in den Pinnierzeiten der IP gemacht. Bei neueren IP-Meßmethoden wird mit periodischen Ein- und Ausschaltvorgängen gearbeitet und beruht auf folgendem Prinzip: Da die Aufbauzeit der Spannung ebenfalls endlich ist, variiert der gemessene Schein-

Widerstand  $\rho_a = U/I$  mit der Ein- und Ausschaltfrequenz und wird umso kleiner, je höher diese Frequenz liegt. Aus diesem Grunde wird oft eine zweite Art der IP-Messung angewandt, wobei 2 verschiedene Frequenzen, die generell unter 10 Hz liegen, 2 Scheinwiderstände gemessen und verglichen werden (frequency domain IP). Je mehr diese 2 Scheinwiderstände bei den 2 Frequenzen voneinander abweichen, desto größer ist der sogenannte IP-Effekt.

Bei den hier verwendeten IP-Meßverfahren handelt es sich um die frequency domain IP-Methode, wobei der Widerstand bei 5 Hz ( $\rho_{ac}$ ) und 0,31 Hz ( $\rho_{dc}$ ) gemessen wird. Bei 0,31 Hz Einschaltfrequenz wird hauptsächlich der Widerstand unter Gleichstrombedingungen gemessen, bei 5 Hz drückt sich der IP-Effekt sehr stark im Widerstand aus. Als Maß für den IP-Effekt bezeichnet man den sogenannten Frequenzeffekt (FE), definiert durch  $FE = (\rho_{dc} - \rho_{ac}) / \rho_{ac}$ . Da der Frequenzeffekt in der Prozentgegend liegt, definiert man noch den Prozentfrequenzeffekt (PFE), mit  $PFE = 100 FE$ . Ein zusätzliches Maß für die Größe von Polarisierungseffekten ist der sogenannte Metallfaktor (MF), der eine Beziehung zwischen dem Dipolmoment pro Einheitsvolumen und induzierter elektrischer Feldstärke darstellt. Diese Größe wird auch deshalb Metallfaktor genannt, weil sie besonders bei disseminierten Metallen prägnant in Erscheinung tritt:  $MF = 2000 * PFE / \rho_{dc}$ .

Die gesamte Ausrüstung, um IP-Messungen durchführen zu können, ist relativ umfangreich und unbeweglich, sodaß der Personalaufwand (etwa 4 bis 5 Mann) groß und entsprechend dem Meßverfahren der Meßfortschritt sehr gering ist. Aus diesen Gründen ist die IP-Exploration (die Seismik ausgenommen) die teuerste geophysikalische Oberflächenmeßmethode und wird deshalb nur dann eingesetzt, wenn komplexe Untersuchungen angestellt werden oder kein anderes Verfahren zum gewünschten Erfolg führt.

Die notwendige Leistung wird von einem AC-Motorgenerator der Firma Briggs&Stratton erzeugt und beträgt maximal 2 kW. Im IP-Transmitter der Firma Phönix (Modell IPT-1) wird die gelieferte AC-Spannung gleichgerichtet, auf einen eingestellten Spannungswerte (zwischen 0 und 1200 Volt) transformiert und entsprechend der eingestellten Frequenz an den beiden Stromelektroden angelegt. Der dabei fließende Strom wird am IP-Transmitter angezeigt, wobei die maximal zur Verfügung stehende Leistung 1 kW beträgt.

Mit dem IP-Receiver der Firma Phönix (Modell IPV-1BS) kann die Spannung an den beiden Potentialelektroden bei den verwendeten Frequenzen gemessen werden. Damit alle anderen Frequenzen, die bei dieser Messung nur als Störkomponenten auftreten, eliminiert werden können, befinden sich im IP-Receiver sehr scharfe Bandpaßfilter, die nur die jeweils eingestellten Frequenzen durchlassen. Angezeigt wird zuerst die Spannung bei der höheren Frequenz und anschließend sofort der Prozentfrequenzeffekt bei der niederen Frequenz.

Auf Grund der gewählten Mesgeometrie und der Feldmeßdaten kann nun auf den Widerstand des Bodens und dessen Frequenzverhalten rückgeschlossen werden.

#### 4.3. Auswertung

Der Auswertung der geophysikalischen Untersuchungen kam je Messmethode eine unterschiedliche Bedeutung bzw. unterschiedlicher Arbeitsaufwand zu. Die geoelektrische Widerstandskartierung wurde als erstes bearbeitet. Da bei diesen Messungen ein scheinbarer elektrischer Widerstand anfällt, dessen Abhängigkeit von der Elektrodenkonfiguration gegeben ist, müssen die einzelnen Meßwerte als erstes mit einer Konstante, die sich aus dieser Elektrodenkonfiguration ergibt, multipliziert werden. Da nach dem Wenner-Verfahren gearbeitet wurde, errechnet sich diese Konstante sehr einfach nach der Formel  $2\pi a$ , wobei  $a$  der Elektrodenabstand in m ist. Nach dieser Rechenarbeit wurden die Meßwerte profilmäßig dargestellt. Dabei wurde so vorgegangen, daß für jedes Meßprofil alle 3 verschiedenen Elektrodenkonfigurationen und damit auch alle 3 Meßergebnisse übereinander dargestellt wurden. Größere Unruhen oder Schwankungen der Meßwerte wurden durch ein einfaches Glättungsverfahren eliminiert. Zur Anwendung kam dabei das auch in der Magnetik verwendete gewichtete Mittel (weighted moving average).

Eine Interpretation der geoelektrischen Widerstandskartierung kann dementsprechend nur qualitativ vorgenommen werden. Es können also Zonen höherer Widerstände von Zonen niedrigerer Widerstände in etwa abgegrenzt werden, wobei natürlich einzelne Schichtgrenzen zum Teil schleifend hervortreten. Neben der Auskartierung der Ausbisslinie sollte auf Grund dieser Widerstandskartierung auch ein eventuelles Abtauchen der Bentonit-/Glastuffhorizonte bzw. ein allmähliches Einfallen nachgewiesen werden können. Es sei jedoch nochmals darauf hingewiesen, daß es für diese Auswertung keine mathematischen Möglichkeiten gibt. Hier ist einzig und allein mit der Erfahrung der mit der Interpretation betrauten Fachleute zu rechnen, wobei eine gute geologische Detailkenntnis von größtem Vorteil ist.

Eine ähnliche Auswertemethodik, wie sie bei der geoelektrischen Widerstandskartierung angewandt wurde, kam auch bei der Auswertung der induzierten Polarisation zum Tragen. Hierbei wurde zusätzlich zum elektrischen Widerstand das frequenzabhängige Widerstandsverhalten des Bodens anskartiert. Dementsprechend wurden bei der Profilerstellung sowohl die elektrischen Widerstände als auch das Frequenzverhalten zeichnerisch dargestellt. Da gerade dieses Frequenzverhalten nur sehr kleine Meßwerte erbrachte, wurde darauf verzichtet, die Ergebnisse der induzierten Polarisation in Form eines Metallfaktors umzurechnen. Die Profile wurden dann ebenfalls wie bei der Widerstandskartierung geglättet. Die Auswertung bzw. die Interpretation erfolgt auch bei dieser Methode rein qualitativ.

Ein wesentlich größerer Zeitaufwand war bei der Auswertung der geoelektrischen Tiefensondierung von Nöten. Für die Interpretation der geoelektrischen Tiefensondierungen bieten sich mehrere Verfahren an. Erstens kann bei einzelnen Sondierungskurven, sofern es sich dabei nicht um Mehreckschichtfälle (mehr als 3 Horizonte) handelt, auf Kurvenkataloge zurückgegriffen werden. Mehreckschichtfälle können auch direkt mit dem sogenannten Hilfspunktverfahren interpretiert werden. Das Auflösungsvermögen dieser beiden relativ alten Auswerteverfahren ist jedoch gering. Dementsprechend wurden Computerprogramme entwickelt, die ein wesentlich größeres Auflösungsvermögen gewährleisten. Gerade dieses Auflösungsvermögen ist jedoch für die hier gegebene Problemstellung von geringen Widerstandskontrasten und auch unterschiedlichen bzw. sehr kleinen Schichtmächtigkeiten von größter Bedeutung.

Das zur Interpretation verwendete Rechenprogramm stammt von A.R.Zody und wurde 1973 am US Geological Survey in Denver, Colorado, entwickelt. Die Theorie und die detaillierte Be-

Schreibung dieses Programmes wird von D.D.GOSCH sowie von A.R.ZODY gegeben. Adaptiert wurde dieses Programm 1977 von E.STRÖBL in BC-Fortran für die Universitätsrechenanlage vom Typ Scanips 8000. In der Zwischenzeit wurden diese Programme noch etwas verbessert und vor allen Dingen der Output klarer erarbeitet. Jede einzelne Sondierungskurve wird vorerst auf doppelt-logarithmischem Papier dargestellt. Zu diesem Zweck muß jeder Meßwert, pro Sondierungskurve etwa 25, mit einer Konstante, die sich aus den jeweiligen Elektrodenabständen errechnen läßt, multipliziert werden.

Nach Eingabe der digitalisierten Sondierungskurven werden je nach vorgegebener Schichtanzahl die Tiefen und wahren Widerstände der einzelnen Horizonte berechnet. Während dieses Vorganges werden ständig die gemessenen mit den berechneten Widerständen verglichen und die Abweichung ausgeschrieben. Daneben sind noch Programmsicherungen eingebaut, die laterale Einflüsse und Fehler in der Digitalisierung ausschließen. Nachdem nun auf diese Weise sämtliche Tiefensondierungspunkte gerechnet worden waren, wurden je nach Meßgebiet die einzelnen Widerstandsgruppen zusammengefaßt. Wie bereits erwähnt, schwanken die Widerstandswerte der einzelnen Schichten relativ stark, außerdem sind die Widerstandskontraste zwischen den einzelnen Horizonten sehr gering. Es war daher unbedingt notwendig, vor der eigentlichen profilmäßigen Darstellung der Tiefensondierungen eine Widerstandsstatistik bzw. eine Widerstandsanalyse vorzunehmen. Erst diese Widerstandsanalyse sollte dann eine direkte Zuordnung der einzelnen Widerstandspakete zu den entsprechenden geologischen Formationen ermöglichen.

Im Anschluß daran wurden die einzelnen Tiefensondierungspunkte profilmäßig dargestellt. Nach dieser Profildarstellung wurde außerdem noch versucht, auf Grund der sich daraus ergebenden Mächtigkeiten des Bentonites eine Isopachenkarte (Mächtigkeits-

Karte] des Bentonites/der Glastuffe zu zeichnen. Analog dazu wurde die Mächtigkeit der Hangendschichten ebenfalls kartenmäßig dargestellt. Wenn man nun diese beiden Karten korreliert, so ist eine wirtschaftliche Abschätzung der Substanz bzw. der Arbeiten, die notwendig sind, um diese Substanz bergmännisch hereinzugewinnen, leicht möglich. Außerdem wurde auf Grund dieser Iso-pachenkarte versucht, eine Abschätzung des Bentonit-/Glastuffvorrates in den einzelnen Untersuchungsgebieten in Kubikmetern zu errechnen.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Bürgerwald/Tregistsattel

Das Meßgebiet Bürgerwald/Tregistsattel (Lichtenegg) ist in der Beilage L1 umgrenzt dargestellt. In der Beilage L3 sind die einzelnen Meßprofile eingezeichnet. Dabei ist zu beachten, daß die durchgezogenen Linien Tiefensondierungsprofile darstellen, die strichliert gezeichneten Profile zeigen jene Teile des Meßgebietes auf, wo nur Widerstandskartierung bzw. IP-Profilmessungen vorgenommen worden waren.

### 5.1.1. Lage und geologische Situation

Die fluviatilen Äquivalente der marinen Florianer Schichten bzw. deren brackischen Übergangsbildungen besitzen NW der Linie Stainz-Lannach-Pirka in grundgebirgsnaher Position in der Stallhofener und Voitsberg-Köflacher Bucht des Weststeirischen Beckens große Verbreitung. Sie überlagern mit Winkeldiskordanz die karpatische kohlenführende Formation von Voitsberg/Köflach bzw. direkt oberkretazisches oder paläozoisches Grundgebirge. Lithologisch setzen sich diese fluviatilen Schichtfolgen (örtlich auch als Eckwirtschotter benannt) aus Quarzkiesen mit reichlich zersetzten Kristallinkomponenten und Zwischenschaltung sandiger und toniger Lagen zusammen. Örtlich finden sich in diesen Kiesen auch Kalkgerölllagen mit Paläozoikum-, Mesozoikum- und Eozängeröll. In geschützten Grundgebirgsbuchten werden die fluviatilen Kiese besonders in östlichen Bereichen (Rein, St.Bartholomä) durch kohlenführende Tone und Süßwasserkalke faziell vertreten, die wiederum selbst in terrestrische Bildungen (Rotschutt, Ergenberger Brekzien) überleiten.

In allen Faziesbereichen treten Glastuffe und Bentonite auf (vgl. EBNER 1981, EBNER & GRÄF 1979 a,b, 1980, 1982). Das größte Vorkommen liegt im Bürgerwald am Tregistsattel NE von Voitsberg (Abb. L1).

Die Geländekartierung (Abb. L2a) erbrachte hier unter Sanden und Kiesen eine  $\pm$  mit  $3-4^{\circ}$  nach SE einfallende Lage vulkanischer Tuffe mit Mächtigkeiten zwischen 1,2 und 4,8 m. Unterlagert werden die Tuffe von  $\pm$  siltig-sandigen Tonen bzw. sandigen Kiesen (Abb. L2b). Ausbisse der Tuffe konnten in vier Aufschlußbereichen beiderseits des Lobmingberggrückens festgestellt werden. Mineralogisch stellen die Tuffe zum überwiegenden Teil Glastuffe (10-20 % Montmorillingehalt) dar. Örtlich treten an der Basis der Tuffe ca mächtige montmorinreiche (um ca. 40 % Montmorillingehalt) Partien auf.

Diese gesamte Abfolge des unteren Badenien wird, wie GKB-Kohlebohrungen zeigen, einerseits von der kohlenführenden Formation von Voitsberg/Köflach des Karpats unterlagert, andererseits liegt sie in den grundgebirgenahen nördlichen Anteilen direkt dem oberkretazischen Grundgebirge (Sandsteine der Hauptbecken-Folge der Kainacher Gosau) auf (Abb. L2c).

Zur weiteren Kenntnis der Schichtfolge können Kohle-Bohrungen der GKB herangezogen werden. Dabei kommen die Bohrpunkte 1057, 587 und 1049 am Lobmingberggrücken über dem Tuffniveau und die westlich davon gelegenen Bohrungen 1059 und 586 unter dem Tuffniveau zu liegen. Indikationen auf Tuffe lassen sich aus den drei erstgenannten Bohrungen nicht ableiten. Die Bohrprofile der GKB ergeben zusammengefaßt folgende Verhältnisse:

a) Bohrungen am Lobmingberggrücken über dem Tuffniveau

Bohrung Nr. 1057 Seehöhe 612,30 m

Bohrteufe in m	Lithologie	Stratigraphie
0 - 39	Kiese, sandige Tegel	
39 - 50	Schotter	unt. Badenien
50 - 58	gelber Sandstein, Sand	-----
58 - 89	Tegel, z.T. sandig	? Karpät
89 - 93	Sandstein mit Tonschichten	? Oberkreide

Bohrung Nr. 587 Seehöhe 591,30 m

Bohrteufe in m	Lithologie	Stratigraphie
0 - 122	sandige Kiese mit vereinzelten Tegellagen u. Sandsteinbänken	unt. Badenien
122 - 125	Tegel mit Kohle	-----
125 - 183	Tegel	Karpät
183 - 187	Tonschiefer, Kalk	? Paläozoikum

Bohrung Nr. 1049

Seehöhe 583,46 m

Bohrteufe in m	Lithologie	Stratigraphie
0 - 100	sandige Kiese mit vereinzelt Tegellagen	unt. Badenien
100 - 204	graue, sandige Tegel	? Karpät
204 - 206	Schotter vermengte Sand- steingerölle	? aufgearbeitete Oberkreide
206 - 312	Sandsteine, verfestigte Tone	? Oberkreide

b) Bohrungen westlich des Lohmingerückens unter dem Tuff-  
niveau

Bohrung Nr. 1059

Seehöhe 578,83 m

Bohrteufe in m	Lithologie	Stratigraphie
0 - 60	Kiese mit sandigen Tegeln	
60 - 69	grobe Kiese	? unt. Baden -
69 - 75	grobe Sande	Karpät
75 - 100	Tegel und Sande Sandstein mit Tegel	? Oberkreide

Bohrung Nr. 586

Seehöhe 510,10 m

Bohrteufe in m	Lithologie	Stratigraphie
0 - 20	Kiese mit vereinzelt Tegeleinschlüssen	? unt. Badenien - Karpät
20 - 25	Kohle mit Tegel	
25 - 66	Tegel Kalke	Karpät ? Paläozoikum

Die über dem Tuffniveau angesetzten Bohrungen müßten die Tuffe etwa zwischen Sh 560 und Sh 500 m durchhörtern. Aus den Bohrprofilen gehen sie jedoch nicht hervor. Sie können sich jedoch eventuell in den tegeligen Anteilen des Bohrprofils verbergen. In Bohrung 587 wird um Sh 470 m bereits kohleführendes Karpát angetroffen, das Grundgebirge ist in Form ? oberkretazischer Sandsteine und ? paläozoischer Kalke ausgebildet.

In den westlich gelegenen, bereits unter dem Tuffniveau angesetzten Bohrungen (1059, 586) kann Karpát nur in Bohrung 586 durch die dort auftretende Kohleführung abgeleitet werden. Die hangenden überwiegend kiesigen Profilanteile sind ? dem unteren Badenien zuzuordnen. Möglicherweise vorhandene tiefere Tuff-Horizonte konnten aus dem Bohrprofil nicht ausgemacht werden, können sich jedoch in den tegeligen Partien des Profiles verbergen. Das Grundgebirge wird ebenfalls durch ? oberkretazische Sandsteine, bzw. ? paläozoische Kalke gebildet.

Die Interpretation dieser Bohrprofile ist jedoch mit großen Unsicherheitsfaktoren belastet, da die Qualität der GKB-Bohrprofile derart ist, daß weder Detailinformationen über die lithologische Abfolge, noch die Tiefenlage und Ausbildung des Grundgebirges eindeutig angesprochen werden kann.

### 5.1.2. IP-Messungen

Da in der Literatur keine gültigen Hinweise auf Frequenzeffekte innerhalb von Bentoniten (Glastuffen) bzw. in reinen Tonen gefunden werden konnte, wurden zuerst die IP-Profile dahingehend untersucht, inwieweit ihre Ergebnisse Aufschlüsse über die Frequenzeffektverteilung in den einzelnen Schichtpaketen zulassen. Dabei ergaben sich für die Hangendschichten, die meist aus Sanden und Kiesen bestehen, ein Frequenzeffekt von 3 bis 5 %. Die Liegendschichten, die in diesem Meßgebiet meist Tonen und Schluffen zuzuordnen sind, ergaben einen Frequenzeffekt, der zwischen -1 und -4 schwankt. Die eigentlichen Glastuffhorizonte zeigten einen Frequenzeffekt mit einer relativ geringen Schwankung zwischen 0 und -1 %. Da jedoch diese Wertgruppe genau zwischen den Frequenzeffekten, wie sie im Hangenden und im Liegenden ermittelt wurden, liegt, muß auch darauf hingewiesen werden, daß es sich bei den hier angegebenen Werten zwischen 0 und -1 um einen allmählichen Übergang von Hangend- und Liegendschichten handelt und daß eventuell die reinen Glastuffhorizonte nicht nachgewiesen wurden. Dies müßte jedoch an mächtigeren Glastufflagen im Detail noch erörtert werden.

Allerdings wurde an anderer Stelle ebenfalls im Meßgebiet Bürgerwald/Tregistsattel, wo direkt über Glastufflagen IP-Messungen durchgeführt worden waren, festgestellt, daß auch dort der Frequenzeffekt in etwa zwischen 0 und -1 % liegt. Dieser Umstand würde darauf hinweisen, daß die im gesamten Schichtpaket ermittelten Frequenzeffekte doch reell sind. Um diese Frage jedoch im Detail klären zu können, müßten noch weitere Untersuchungen, wie gesagt an wesentlich mächtigeren Glastufflagen, vorgenommen werden. Außerdem müßte in diesem Zusammenhang noch geklärt werden, inwieweit unterschiedlicher Durchfeuchtungsgrad, wie er vor allen Dingen bei der Verfolgung einer Ausbisslinie auftritt, wo sicher oberflächennah der Glastuff geringer durchfeuchtet ist als weiter gegen das Berginnere, einen Einfluß auf den Frequenzeffekt ergibt.

Im Gebiet von Bürgerwald/Treeristsattel (Lichtenegg) wurde nun eine IP-Kartierung, wobei mit einer Elektrodenkonfiguration Pol-Dipol gearbeitet wurde, an den Profilen 1 bis 4 gemessen (Beilagen L10 - L12). Da zur besseren Korrelation der Ergebnisse bei dieser Profildarstellung auch die Widerstandskartierung eingezeichnet wurde, fällt als erstes auf, daß abweichende Frequenzeffekte mit einem Widerstandsminimum einhergehen. Da während der Feldmessungen festgestellt wurde, daß genau dort, wo diese Widerstandsminima auftreten, auch die Glastuffausbisse liegen, kann geschlossen werden, daß diese hier abweichenden Frequenzeffekte ebenfalls dem Glastuffhorizont zuzuordnen sind. Bei der Profildarstellung wurden die ungefähren Bereiche des anstehenden Glastuffs eingezeichnet.

### 5.1.3. Widerstandskartierungen

Generell muß bei der Widerstandskartierung festgestellt werden, daß im Untersuchungsgebiet Bürgerwald/Treglitzsattel die Hangendschichten aus Sanden und Kiesen aufgebaut sind. Aus diesem Grund war zu erwarten, daß vor allen Dingen die Widerstandsprofile, die mit sehr kleinen Elektrodenabständen gemessen wurden, größere Schwankungen aufweisen werden. Denn gerade Inhomogenitäten innerhalb dieser Kies- und Sandpartien drücken oder haben den jeweiligen scheinbaren Widerstand sehr stark.

Die Ergebnisse der geoelektrischen Widerstandskartierung sind in den Heilagen L10 bis L12 dargestellt. Die hochohmigen Zonen im Westen des Profils Nr. 7, dargestellt in Beilage L12, dürften auf einen allmählichen Übergang zur hier anstehenden Gosau zurückzuführen sein. Bei den beiden Profilen 5 und 6 scheinen jedoch die hochohmigen Zonen, wie sie hier registriert worden waren, einzig und allein auf unterschiedliche Durchfeuchtung bzw. auch auf unterschiedlichen Verfestigungsgrad der Lockersedimente zurückzuführen sein. Bei einer im Anschluß an diese Auswertung durchgeführten Geländebegehung mit Doz. Ebner wurden jene Bereiche des Untersuchungsgebietes, wo an vermuteten Ausbisslinien Widerstandskartierungen durchgeführt worden waren und scheinbare Widerstandsminima auftraten, nochmals geologisch untersucht. Dabei konnten jedoch entlang der Profile 5 und 6 keine Glastuffe nachgewiesen werden. Allerdings wurde hier ein feinklastischeres Material, was ebenfalls niedrige Widerstände aufweist, vorgefunden.

#### 5.1.4. Geoelektrische Tiefensondierungen

Die Auswertung der geoelektrischen Tiefensondierung im Untersuchungsgebiet Bürgerwald/Tregistsattel ergab generell einen geoelektrischen Fünfschichtfall, wobei allerdings einzelne Teile des Untersuchungsgebietes auch eine höhere Schichtanzahl ergaben bzw. im Norden auch nur eine Schichtanzahl bis 4 Horizonte nachzuweisen war. Die Widerstandsunterschiede der einzelnen Horizonte waren bis auf zwei sehr gering. Interessanterweise zeigen sich auch in den Hangendschichten, die laut Geologie aus Sanden und Kiesen bestehen, nur relativ niedrige Widerstände. In der Diskussion mit Doz. V. Ebner ergab sich jedoch, daß die hier anstehenden Kiese einen hohen Kristallinanteil mit reichlich "morschen" Komponenten besitzen. Diese Kiese mit zahlreichen Verwitterungsprodukten zeigen daher wesentlich niedrigere Widerstände als z.B. Schotter auf Kalk- und Dolomitbasis.

Da die einzelnen Horizonte gegen Norden hin auskeilen (siehe Beilage L5), kann man auch nicht von einer oberflächennahen Verwitterungsschicht bzw. von darunterliegenden Horizonten sprechen. Denn gerade an der Oberfläche keilen beinahe sämtliche Schichten gegen Norden hin allmählich aus. Es wird daher besser sein, bei der Besprechung der einzelnen Horizonte diesen einfach Nummern zuzuordnen.

So schwanken die oberflächennahen Schichten zwischen 30 und 60 Ohm.m je nach ihrer Position. Die Horizonte 2 bis 4 schwanken zwischen 9 und 64 Ohm.m. Es kann hier nur ein erhöhter Tongehalt infolge fortgeschrittener Verwitterung der Kristallinschotter die an und für sich höheren Widerstände nach unten drücken. Da auch im Randbereich dieser Hügelkette einzelne Quellaustritte festzustellen sind, könnte es sein, daß die Schotter teilweise wasserführend sind, was ebenfalls die Widerstände vermindert. Eine Klärung dieser Frage könnte nur durch eine Kernbohrung in Verbindung mit geophysikalischen Bohrlochmessungen sowie sedimentpetrographischer Untersuchungen herbeigeführt werden.

Die eigentliche Glastufflage ergab im Mittel einen Widerstand von  $20 \pm 3$  Ohm.m. Diese Glastufflage, die im Untersuchungsgebiet Bürgerwald/Treglatsattel auf Grund der ungünstigen Lagerungsverhältnisse nicht überall exakt erfaßt werden konnte, wurde auch am Profil A (Beilage L4) mittels geoelektrischer Tiefensondierung untersucht. Dieses Profil A hat den Vorteil, daß dort direkt unterhalb einer geringmächtigen Humusschicht Glastuff ansteht. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, daß die Widerstände der Glastufflagen in situ exakt erfaßt werden können. Dabei ergab sich, wie in Beilage L4 dargestellt ist, eine oberflächennahe Schicht mit einem mittleren Widerstand von  $176 \pm 70$  Ohm.m; darunter folgt dann der vermutliche Glastuff mit mittleren Widerständen von  $20 \pm 3$  Ohm.m. Im Liegenden des Glastuffs ergaben sich für die hier anstehenden dunklen Tone und sandigen Tegel Widerstände von  $72 \pm 43$  Ohm.m. Obwohl von der Geologie her bekannt ist, daß der Glastuff im Bereich dieses Profiles direkt unterhalb von einer vielleicht 20 cm mächtigen Oberflächenbedeckung ansteht, ergaben die Untersuchungen eine etwa 2 m mächtige Schicht mit ziemlich hohen Widerständen. Es kann sein, daß hier durchaus Glastuffe geoelektrisch erfaßt wurden und daß im Bereich der Forststraße die oberflächennahe Schicht durch das Befahren mit Schwer-Lkw's stark verfestigt wurde. Eine derartige Verfestigung ergibt erfahrungsgemäß ebenfalls erhöhte Widerstandswerte. Ähnliche Erfahrungen wurden bei einem Forschungsprojekt im Raum Oberösterreich im Tertiär gemacht (CHRISCHMID, F. WEHER).

Im Liegenden der Glastuffe stehen im Untersuchungsgebiet vor allen Dingen im Nordteil die Sandsteine der Kainacher Gosau an (Beilagen L2a, L5). Diese Gosausandsteine zeigten im Mittel Widerstände von  $244 \pm 85$  Ohm.m. Weiter gegen Süden hin, etwa ab dem Meßpunkt 25, konnte die Gosau nur mehr teilweise erfaßt werden. Hier ist es auf Grund der geoelektrischen Tiefensondierung auch nicht klar, ob im Liegenden der Glastuffe tatsächlich Gosau ansteht, oder ob hier, wie an einzelnen Aufschlüssen gesehen wurde, im Liegenden dunkle Tone und Tegel den Glastuff unterlagern. Da jedoch in diesem Gebiet von der GKB

2 Bohrungen abgeteuft wurden, konnten die unteren Schichten eindeutig als Gosau, Überlagert von Tonen ( $116 \pm 64 \text{ Ohm.m}$ ) und Tegel ( $12 \pm 4 \text{ Ohm.m}$ ) identifiziert werden. Die oberen Lagen bestehen nur aus Fieseln und Sanden, wodurch sich relativ einheitliche niedrige Widerstandswerte ergeben.

Das Profil B (Beilage L5), welches im Norden bei Meßpunkt Nr. 38 beginnt und entlang einer Straße im Bereich des Untersuchungspunktes 10 endet, hat eine Gesamtlänge von 1500 m. Vom Ergebnis her ist dieses Profil sehr klar aufgebaut. Der Grund dafür sind die hier anstehenden Gosauschichten mit den Überlagernden Ton-schichten, die einen signifikanten Leithorizont ergaben. Die eigentlichen Glastufflagen konnten entlang dieses Profiles nur im Mittelteil etwa in der Position 600 m geolektrisch nachgewiesen werden. Inwieweit in den nördlichen und südlichen Profiltellen Glastuff noch vorhanden ist, aber auf Grund seiner ungünstigen Mächtigkeitsverhältnisse zum Hangenden geolektrisch nicht nachgewiesen werden kann, konnte mit diesen Untersuchungen nicht geklärt werden. Hier müßten einzelne Bohrungen darüber Aufschluß geben. Generell zeigt das gesamte Profil ein Einfallen von  $4,6^\circ$  gegen Süden hin. Dieser Einfallswinkel paßt exakt mit den aus der Geologie ermittelten Daten zusammen.

Im Bereich des Untersuchungspunktes 25 mündet das Profil C (Beilage L6) von Westen kommend in das Längsprofil ein. Auf Grund der rauhen Morphologie war es nicht möglich, dieses Meßprofil gegen Osten hin fortzusetzen. Vom Aufbau her zeigen auch hier die ermittelten Widerstandshorizonte eine ähnliche Tendenz wie entlang des Längsprofiles. Auch hier ergab sich für die hangenden Sand- und Schotterpartien nur ein sehr niedriger Widerstand. Als positives Ergebnis ist bei diesem Profil zu erwähnen, daß es hier anscheinend möglich war, die Glastufflagen geophysikalisch nachzuweisen. Allerdings ist dabei zu bedenken, daß die hier ausgewiesenen Mächtigkeiten größer sind, als sie von der Geologie her an den Aufschlüssen nachgewiesen wurden. Es kann durchaus sein, daß im Inneren dieser Hügelkette auf Grund der

Paläomorphologie eine Muldenstruktur im Liegenden vorlag, wodurch im Muldenzentrum größere Mächtigkeiten der Tuffablagerungen möglich wären. Eine andere Vermutung ist jedoch auch, daß hier die Glastufflagen noch von einem Hof im Hangenden und Liegenden, der ebenfalls sehr niederohmig zu sein scheint, begleitet werden und auf diese Weise größere Mächtigkeiten vorgetäuscht werden. Auch hier kann nur eine Bohrung eindeutig darüber Aufschluß geben. Im Liegenden der vermuteten Glastufflagen stehen laut Geologie nicht sofort die Sandsteine der Gosau an. Diese ergaben relativ hohe Widerstände von im Mittel  $244 \pm 85$  Ohm.m. Diese werden überlagert von einer ebenfalls hochohmigen Schicht von  $85 \pm 47$  Ohm.m, vermutlich bestehend aus stärker verfestigten Tonen, welche wiederum das Liegende des Glastuff-Horizontes bilden. Die geophysikalischen Untersuchungen entlang dieses Profiles ergaben ein generelles Einfallen von  $2,3^\circ$  nach Osten hin. Auch hier stimmt der aus der Geophysik ermittelte Wert mit den geologischen Daten sehr gut überein.

Das Profil D (Beilage L7) beginnt beim Messpunkt 20 und geht von dort Richtung SE. In diesem Untersuchungsteil war es nicht möglich, das Profil Richtung Westen hin zu verlängern, da hier bewaldete Steilhänge ein Messen unmöglich machten. Die Gesamtlänge dieses Profiles liegt bei 700 m. Da dieses Profil von der Position her im Süden des Untersuchungsgebietes liegt und hier bereits mit wesentlich größeren Tertiärmächtigkeiten gerechnet werden muß, ist dementsprechend auch das Auflösungsvermögen der geoelektrischen Untersuchung geringer. Wie ein Blick auf die Beilage L7 zeigt, sind hier die Mächtigkeiten der einzelnen Widerstandshorizonte wesentlich größer.

Auch von der Widerstandsverteilung her unterscheidet sich dieses Profil etwas von den beiden übrigen. Vor allen Dingen eine wahrscheinlich über der Gosau anstehende mächtige Schotterlage zeigt hier etwas höhere Widerstände, diese ergeben einen Mittelwert von  $88 \pm 43$  Ohm.m. Die Gesamtmächtigkeit dieses Horizontes schwankt zwischen 60 und 100 m. Die darunter anstehenden Tone zeigen in diesem Profilbereich Widerstände von  $117 \pm 32$  Ohm.m, was sehr gut mit dem Längsprofil B übereinstimmt. Allerdings weisen Widerstände um 117 Ohm.m schon auf stärkere Sandbeimengungen und stärkere Verfestigung hin. So beträgt am Messpunkt 41 die Tiefe der anstehenden Tone in etwa 140 m. Daher ist auch klar, daß bei derartigen Mächtigkeiten der Hangendpartien ein Nachweis von im Maximum 5 m mächtigen Glastufflagen kaum mehr geoelektrisch möglich ist. Hier beschränkt sich die geophysikalische Untersuchung einzig und allein auf eine lithologische Zuordnung einzelner Horizonte bzw. auf das Auskartieren einzelner Leithorizonte wie etwa der Gosau bzw. die darüberliegende mächtige etwas niederschmiegere Schicht.

Innerhalb der tertiären Schichtglieder ergab sich ein Einfallen von  $3,4^\circ$  Richtung SE. Die Tone scheinen entlang dieses Profiles einen stärkeren Einfallswinkel gegen SE hin aufzuweisen. Dies kann jedoch auf Grund der hier geringen Punktzahl bzw. infolge der großen Tiefenlage und dem damit verbundenen ungenauen Erfassen der Tonschichten nicht eindeutig geklärt werden. Inwieweit hier die Morphologie einen Einfluß auf die Messergebnisse bzw. auf die Profildarstellung hat, kann nur vermutet werden. Es sieht jedoch so aus, als würde sich die Oberfläche auch im Untergrund bei einzelnen Horizonten durchpausen.

Auf Grund der geoelektrischen Untersuchungen war es also im Untersuchungsgebiet Bürgerwald/Treglitzsattel nur im Bereich der Messpunkte 49 bis 25 am Profil C sowie im Bereich der Untersuchungspunkte 24 und 25 am Profil B möglich, die Glastufflagen auszukartieren. Dabei fällt auf, daß sich all diese Untersuchungs-

punkte im Zentralbereich des Maßgebietes befinden. Dabei bemerkt man, daß in diesem Zentralbereich die von Doz. F. Ebner festgestellten Glastuffausbisse liegen. Setzt man diese Überlegung noch weiter fort, so sieht man bei genauerer Betrachtung des Lageplanes (Beilage L3), daß die Bentonitaufschlüsse, wie sie am Profil A bearbeitet wurden, entlang einer geraden Linie liegen. Hiermit hat es den Anschein, als würden die Glastuffablagerungen des Lichtenegger Berges in einer prätertiären Mulde, die anscheinend NW-SE streicht, liegen.

Das Auskeilen der Glastuffe nach S der Grenze des Maßgebietes im N kann faziell interpretiert werden. In vorkarpatischer Zeit wurde im Grundgebirge (Oberkreide, Paläozoikum) ein Erosionsrelief geschaffen, das dann im Karpat und Badenien zum Teil wieder verfüllt wurde. Zur Zeit des Tuffabsatzes war in der Grundgebirgsbucht des Tregistattals ein Süßwassersesee vorhanden, dessen Uferlinie etwa dort zum Liegen kam, wo nun geoelektrisch die nördlichsten Glastuffindikationen festgestellt wurden. Der vulkanische Tuff setzte sich im See wie auch über dem nördlich anschließenden Uferstreifen ab. Da er nur im aquatischen Bereich erhaltungsfähig war, ist er heute nur bis zur ehemaligen Uferlinie vorhanden. Bei der weiteren Auffüllung des Beckens griffen die tertiären Lockersedimente weiter nach N auf das Grundgebirge über und verschleierten so die ursprüngliche Situation, die für die Glastuffverbreitung maßgeblich ist.

Aber auch im aquatischen Bereich ist die Erhaltungsmöglichkeit der Glastuffe faziell gesteuert. Beste Möglichkeiten waren in niederenergetischen Bereichen gegeben, wo feinklastische Sedimente zum Absatz gelangten. In höherenergetischen Bereichen mit vorwiegender Kiessedimentation war eine Anreicherung und Erhaltung der Tuffe nicht gegeben. Darauf kann auch das Auskeilen der Tuffe W und S des Maßgebietes zurückgeführt werden, wo tonige Sedimenttypen zugunsten höherenergetischer Bildungen zurücktreten.

### 3.2. Holzbaueregg

Bei diesem Untersuchungsgebiet südlich von Groß St. Florian (Beilage Nr. H1) handelt es sich um eine relativ kleine Fläche von etwa  $0,12 \text{ km}^2$  Größe. Dieses Gebiet wurde bereits von DILLER 1957 und zum zweiten Mal von EBNER & GRÄF 1980 geologisch erkundet. Da es sich hier um sehr stark montmorillonisierte Tuffe handelt, die qualitativ hochwertig sind, war diesem Untersuchungsgebiet eine relativ große Bedeutung zuzumessen. Da Teile von Ausbisslinien geologisch bekannt waren, wurde zuerst versucht, mit Hilfe von Widerstandskartierungen diese Ausbisslinien zu verifizieren. Auf der Beilage H3 ist das Untersuchungsgebiet samt den gemessenen Profilen eingezeichnet, wobei sich die strichpunktierten Linien auf IP und Widerstandskartierungen beziehen, die durchgezogenen Linien auf Profile, an denen geoelektrische Tiefensondierung durchgeführt wurde.

### 5.2.1. Lage und geologische Situation

Diese bereits von DILLER 1957 erwähnte und in den 50er Jahren von der Firma Brandner beschürfte Bentonit-Vorkommen ist das bedeutendste innerhalb der Florianer Schichten im Bereich südlich von Groß St. Florian (Abb. H1). Mineralogisch handelt es sich dabei um stark montmorillonitisierte Tuffe (Montmorillingehalt 85-90 % nach KOLMER in EBNER & GRÄP 1980).

Die Schichtfolge setzt sich aus wechselnd tonigen gelben Sanden zusammen, die auf ca. 350 m SH von dunkelgrauen glimmerigen sandigen Tonen unterteuft werden. Innerhalb dieses Schichtpaketes treten nach der Kartierung von DILLER 1957 zumindest in zwei Niveaus vulkanische Tuffe bzw. Bentonite auf. Das Vorkommen von Holzbaueregg gehört dem höheren Horizont an, während der tiefere im Bereich von Lichtenegg und Otternitz festgestellt wurde.

Das obere nun geoelektrisch kartierte Niveau wurde durch Geländeaufnahmen im Frühjahr 1980 (EBNER & GRÄP 1980) und Revisionsbegehungen im Herbst 1982 etwa wie folgt umrissen. Ausbisse des Vorkommens liegen zum größten Teil ca. 30-50 m NE der Straße (SH ca. 380 m), die von Lichtenegg nach Holzbaueregg führt. An Hand von Lesestückfunden konnte das Vorkommen auf einer Länge von ca. 400 m weiter in südöstliche Richtung verfolgt werden. Die nordwestlichsten Lesestücke wurden dabei ca. 100 m NW des Gehöftes A (Abb. R3) gefunden. Die Ausbisslinie quert die Straße im Bereich der Straßenkurve. Beim Aushub für den Bau einer Jauchengrube beim Gehöft A (Punkt Nr. 4 in Abb. R3) wurde der weißgraue bis hellrosa farbene Bentonit in einer Mächtigkeit um 50 cm in ca. 1 bis 1,5 m Tiefe angetroffen. Von hier aus sind Lesestücke ziemlich niveaubeständig etwa 60 m NE der Straße über die Felder bis zum Gehöft D zu verfolgen.

Nach Auskunft der Einheimischen liegt unter und über dem reinen Bentonit noch je ca. 20 cm rotes toniges Material. Auch DILLER 1957 erwähnt, daß die Mächtigkeit der "unverwitterten Lage" ca. 0,5 m beträgt. Gemeinsam mit der nach DILLER 1957 abbauwürdigen Verwitterungsschicht beträgt die Mächtigkeit der Bentonitlage ebenfalls ca. 1 m.

Westlich der Straße konnten keine Tuff/Bentonit-Losestücke mehr beobachtet werden. Nach Auskunft von Einheimischen wurde er jedoch in einer Tiefe von ca. 1 m und ca. 50 cm mächtig beim Aushub eines Brunnens im Bereich des Gehöftes C beobachtet.

### 5.2.2. Widerstandskartierungen

Auf Grund der Ausbisslinien und der Topographie dieses Untersuchungsgebietes ließ sich auf Überlagerungen im Meterbereich schließen. Die vermuteten Bentonitmächtigkeiten liegen maximal bei 1 m. Wie bereits erwähnt, wurde zuerst versucht, Ausbisslinien widerstandsmäßig nachzuweisen. Auf dem Profil Nr. 1, dargestellt in der Beilage H7, war bekannt, daß in etwa in Mitte des Profiles der Bentonit an die Oberfläche ausbiss. Bei den Messungen ergab sich auch in etwa in Mitte dieses Profiles ein Absinken des Widerstandes von etwa 50 Ohm.m auf 15 bis 20 Ohm.m. Daraus konnte geschlossen werden, daß auch hier die Widerstände des Tuff- bzw. Bentonithorizontes sehr niederohmig sind, und da die Ausbisslinie mit der gefundenen Widerstandserniedrigung zusammenfällt, konnte auf ein einwandfreies Meßergebnis geschlossen werden. Es wurde nun versucht, die gesamten vermuteten Ausbisslinien mit Widerstandskartierungen zu erfassen.

So wurde im Profil 2 in der Höhe des Punktes 8 wiederum ein Ausbiss des Bentonithorizontes festgestellt, genauso wie in Profil 3 (Beilage H10) im Punkt 6. Das Ausbissen im Punkt 6 wurde von dem dort ansässigen Grundbesitzer bestätigt, der mitteilte, daß in etwa 1 m Tiefe der Bentonithorizont ansteht. Im Profil Nr. 4 im NW des Untersuchungsgebietes ist kurz nach dem Punkt 49, etwa bei 25 m, wiederum eine Widerstandserniedrigung in der 2 m Spacing-Kurve zu erkennen. Analog im Profil Nr. 5 (Beilage Nr. H11) ist auf der Höhe des Punktes 40 ein sehr scharfes Minimum zu erkennen, was bei der 5 m Spacing-Kurve im Punkt 47 bestätigt wird, sodaß angenommen werden kann, daß auch hier der Bentonithorizont ausbiss. Das Absinken der Widerstände im Profil Nr. 5 auf etwa 15 bis 20 Ohm.m im Bereich zwischen den Punkten 38 und 48 kann dadurch erklärt werden, daß hier die niederohmigen Basis Horizonte höher an die Oberfläche reichen.

Im Profil Nr. 6, das die gesamte Geländekuppe von SW nach NE überquert, kann bei der Widerstandskurve im 2 m Spacing ein relativ unruhiges Verhalten im Vergleich zum 5 m Spacing festgestellt werden. Dies wird darauf zurückgeführt, daß die 2 m Widerstandskurve mit wesentlich geringeren Auslagen arbeitet und daher kleinräumigere Anomalien wesentlich stärker zur Geltung kommen. Die 5 m Spacing-Kurve geht aber in den größeren Widerstandserhöhungen bzw. -erniedrigungen mit der 2 m Kurve konform. Etwa im Punkt 6 bei -80 m ist ein Minimum in der 2 m und in der 5 m Spacing-Kurve zu bemerken, wo die Widerstände auf 10 bis 15 Ohm.m absinken. Hier kann angenommen werden, daß der Bentonithorizont an die Oberfläche herankommt. Das zweite Ausbeissen etwa auf der Höhe des Punktes 25 kann nicht mehr so signifikant mit den gemessenen Ergebnissen korreliert werden. Hier kann wiederum angenommen werden, daß der Bentonithorizont an dieser Stelle auskeilt.

Das zweite Profil Nr. C, das ebenfalls von SW nach NE verläuft, zeigt ebenfalls 2 Ausbiegungen auf, und zwar bei -70 m und bei +40 m.

Die letzte Widerstandskartierung wurde entlang des Profiles A durchgeführt und in Beilage Nr. H9 aufgezeigt. Dieses Profil verläuft von SE nach NW entlang einer langsam ansteigenden Geländekuppe. Laut geoelektrischer Tiefensondierung, die später noch genau besprochen wird, keilt hier der Bentonithorizont etwa im Punkt 23 aus, verläuft dann parallel zur Oberfläche und taucht etwa ab dem Punkt 26 leicht unter der Geländekuppe auf eine Tiefe von 2 bis maximal 3 m ab. Dies drückt sich im Profil A folgendermaßen aus, daß hier die 2 m Spacing-Kurve von etwa 20 Ohm.m auf maximal 70 Ohm.m ansteigt, die 5 m Spacing-Kurve aber nur um den Wert von etwa 20 Ohm.m pendelt. Ab dem Punkt 28 keilt eine überlagernde zweite Bentonitschicht aus, was sich in der 2 m Spacing-Kurve in der Widerstandserniedrigung ausdrückt.

Die gesamten Widerstandskartierungsergebnisse sind sehr ermutigend, da sie alle Aushöhlungen nachweisen lassen. Über die Mächtigkeit des Bentonithorizontes kann hier nur in etwa ein Bereich von 0 bis 1 m angegeben werden, genauere Daten ergibt im weiteren die geoelektrische Tiefensondierung.

### 5.2.3. IP-Messungen

Nach dem Untersuchungsgebiet Bürgerwald/Registsattel müßte ein vorhandener Bentonit- bzw. Tuffhorizont einen IP-Frequenzeffekt von etwa 0 bis -1 % aufweisen. Da hier keine in situ-Messungen durchgeführt werden konnten, wurde eine erste Test-IP-Messung auf dem Profil Nr. 1 (Beilage Nr. H7) durchgeführt, wo sich auf der Höhe von etwa 50 m eine Ausbisslinie in der Widerstandskartierung ergeben hat. Auch hier zeigt sich beim Prozentfrequenzeffekt (PFE) ein Übergang von positiv auf negativ. Bei der 2,5 m Spacing-Kurve ist sogar in diesem Bereich ein Unterschwingen bis zu -6 zu erkennen. Dies würde bedeuten, daß in diesem Meßgebiet der Prozentfrequenzeffekt des Bentonithorizontes negativ ist und zwischen -1 und -5 beträgt. Der Frequenzeffekt der Hangendschichten würde in etwa +2 betragen, der der Liegendschichten um -2. Es müßte sich also auch mit Hilfe des IP-Meßverfahrens eine Ausbisslinie kartieren lassen.

Der nächste Test wurde auf dem Profil C (Beilage H8) durchgeführt. Hier sollte ja der Bentonit etwa bei -70 m und +40 m ausbeissen. Bei -40 m steigen die Widerstandswerte bei der 2,5 m Spacing-Kurve rapide von 20 auf etwa 80 Ohm.m. Der Frequenzeffekt bleibt aber weiterhin bei etwa -1. Dies könnte bedeuten, daß noch eine zweite Schicht den Basisbentonithorizont überlagert, diese jedoch so geringmächtig ist, daß sie widerstandsmäßig nicht mehr erfaßt wird, jedoch vom Frequenzverhalten noch zu identifizieren ist. Etwa bei -40 m geht auch bei der 5 m Spacing-Kurve der Frequenzeffekt von negativ auf positiv. Spätestens hier müßte also auch der Zwischenhorizont aufhören. Die Basis horizonte scheinen hier auf unter 5 m abzutauchen und erst etwa bei +10 m wieder an die Oberfläche heranzukommen. Genau dieses Verhalten wurde bei der geoelektrischen Tiefensondierung, die auf demselben Profil durchgeführt wurde, festgestellt. Der Ausbiss des Bentonithorizontes dürfte etwa bei +40 m sein, der Frequenzeffekt ist aber schon bei etwa +10 m im negativen Bereich.

Dies könnte bedeuten, daß der Bentonithorizont langsam an die Oberfläche herankommt. Für die Hangendschichten läßt sich also auch hier ein positiver Frequenzeffekt von +1 bis +2 nachweisen.

Da in diesem Profil C die IP-Messungen nicht mehr so leicht zu interpretieren sind wie die Widerstandskartierungen, wurde mit den IP-Messungen in diesem Gebiet abgebrochen und die Ausbildlinien nur mehr mit Hilfe der Widerstandskartierung eruiert. In Kombination mit der geoelektrischen Tiefensondierung ergibt sich in diesem Meßgebiet ein vollständiges abgerundetes Bild, weswegen auf die kostspieligen und zeitaufwendigen IP-Messungen verzichtet wurde.

#### 5.2.4. Geoelektrische Tiefensondierungen

Im Untersuchungsgebiet Holzbaueregg wurden ein Längsprofil (Profil A), zwei Querprofile (B und C) und ein kleines Testprofil (D) gemessen. Diese Profile werden in der Beilage Nr. H3 dargestellt. Auf Grund der geringen Überlagerung und relativ stetigen Morphologie des Geländes war zu erwarten, daß die geoelektrische Tiefensondierung gute Ergebnisse bringt. Insbesondere deswegen, da die Widerstandskartierungen die Ausbäulines relativ gut verifiziert haben.

Im Längsprofil A, dargestellt in der Beilage Nr. H4, das von NW nach SE verläuft, können insgesamt 3 Horizonte mit verschiedenen Widerstandswerten aufgelöst werden. Es handelt sich hierum um einen hochohmigen Hangendhorizont ( $37 \pm 14$  Ohm.m), dem eigentlich gesuchten Bentonithorizont mit einem sehr geringen Widerstand von 5 Ohm.m und dem Basishorizont von etwa 24 Ohm.m. Die Widerstandskontraste sind also groß genug, um geoelektrische Tiefensondierungen vernünftig anzuwenden; außerdem ist das Verhältnis von Hangendschichten zu Bentonitmächtigkeiten nie größer als 5:1.

Insgesamt können 2 Bentonithorizonte unterschieden werden. Der untere Horizont geht von Punkt 29 bis zum Punkt 23 durch und ist relativ einheitlich in seiner Mächtigkeit. Der obere Horizont ist zweigeteilt, relativ geringmächtig (etwa 0,3 m) und kann nur unter den Punkten 28, 29 und 23, 24 nachgewiesen werden. Diese 2 Horizonte werden im Testprofil D, das annähernd parallel zum Profil A verläuft, bestätigt. Auch hier können unter den Punkten 1 und 2 zwei Bentonithorizonte nachgewiesen werden. Die Bentonithorizonte verlaufen in etwa parallel zur Oberfläche und fallen von NW nach SE mit  $1,1^\circ$  ab.

Bei den beiden Querprofilen B und C, dargestellt in den Beilagen Nr. H5 und H6, kann ein mittleres Abfallen des Bentonithorizontes von etwa 1° von SW nach NE festgestellt werden. Genauso wie in den vorher besprochenen Längsprofilen lassen sich auch hier 2 Bentonithorizonte nachweisen. Die hochohmige Hangendschicht weist 70 Ohm.m auf, der niederohmige Liegendhorizont etwa 28 Ohm.m, die Bentonitschichten einen Widerstand von etwa 7 Ohm.m. Es können auch hier somit die 3 Schichten einwandfrei erkannt werden. Der untere Bentonithorizont weist eine Mächtigkeit bis zu 1 m auf, der obere maximal 0,5 m. Die Überlagerung der unteren Bentonitschicht beträgt 3 bis 6 m. Die Ausbisslinien sind identisch mit den in der Widerstandskartierung gefundenen Widerstandsniedrigungen. Überraschend ist beim Profil B, daß bei den tiefer liegenden Punkten 43 und 42 in etwa 1 1/2 m Tiefe wiederum ein niederohmiger Horizont auftaucht, der etwa dieselbe Widerstandscharakteristik wie der eigentliche, aber wesentlich höher liegende Bentonithorizont aufweist. Ob diese gefundene Schicht wiederum aus Bentonit besteht, müßte erst durch eine geologische Kartierung oder Bohrung bestätigt werden.

Die aus der geoelektrischen Tiefensondierung gewonnenen Daten wurden verwendet, um eine Karte der Bentonitisopachen, dargestellt in Beilage Nr. H13, und eine Überlagerungsisopachenkarte (Beilage H14) zu erstellen. Bei den Tuffisopachen wurden die 2 Horizonte mit unterschiedlicher Signatur gezeichnet. Der obere Tuffhorizont wird strichliert dargestellt, der untere mit durchgezogenen Linien. Daraus ist zu ersehen, daß der obere Bentonithorizont nur im NW und SE des Untersuchungsgebietes vorhanden und wesentlich kleiner in seiner Ausdehnung und Mächtigkeit als der untere Horizont ist. Bei der unteren Schicht handelt es sich um einen etwa ellipsenförmigen Körper, der am Rande eine Mächtigkeit von 0,2 m und im Zentrum des Untersuchungsgebietes von höchstens 1 m aufweist. Aus dieser Abbildung kann eine Substanzschätzung durchgeführt werden, und es ergibt sich ein Vorrat an Bentoniten von 14.000 m<sup>3</sup>. Wenn man nun nur die Bereiche innerhalb der 0,5 m Tuffisopache berücksichtigt, kommt man auf einen Vorrat von 10.000 m<sup>3</sup>.

Da die Mächtigkeit des unteren Bentonithorizontes wesentlich größer als die des oberen ist, wird auf der Beilage II 14 nur die Überlagerung des Basishorizontes aufgetragen. Dabei ist zu ersehen, daß Überlagerungen im Mittel von etwa 3 m bestehen, die jedoch im Westen des Untersuchungsgebietes bis auf 5 m ansteigen können. Das mittlere Verhältnis von Überlagerung zu Bentonitmächtigkeit beträgt etwa 3:1. Da das Gebiet bebaut ist und eine Straße über die mächtigsten Bentonitzonen führt, wird eine genaue Kostenrechnung über die Wirtschaftlichkeit des Abbaus des vorhandenen Bentonites vonnöten sein.

### 5.3. Rutzendorf

Das Meßgebiet Rutzendorf, lagemäßig in Abb. R1 dargestellt, ist jenes Meßgebiet, welches sowohl wirtschaftlich am interessantesten erscheint, als auch jenes, worüber bereits die meisten Details vor Beginn der geophysikalischen Messungen zur Verfügung standen. Insgesamt waren in den Jahren 1941-1942 17 Bohrungen abgeteuft worden (Abb. Nr. R2a und R2b). Auf Grund dieser Bohrungen war bereits eine etwaige Substanzabschätzung der Lagerstätte Rutzendorf möglich gewesen; somit war hier der Einsatz der Geophysik am effizientesten zu erproben. Auch eine Gegenüberstellung der Aufschlußkosten mittels Bohrung bzw. reiner Geophysik eventuell in Kombination mit einer Kontrollbohrung kann hier am einfachsten errechnet werden.

### 5.3.1. Lage und geologische Situation

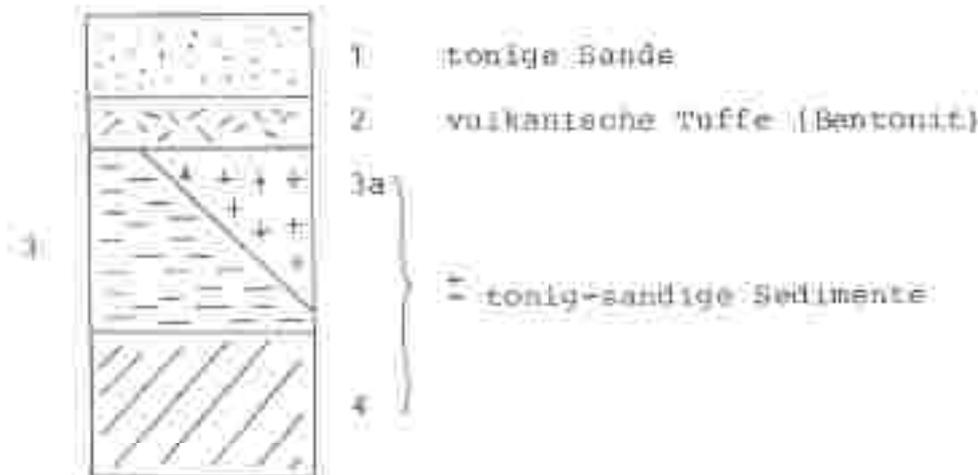
In einem breiten Streifen gehen entlang der Linie Steing-Lannach-Pirka die unterbadischen marinen Florianer Schichten in zeitgleiche brackische und anschließend limnisch-fluviatile klastische Abfolgen über. Im Bereich der brackischen Sedimente wurden durch EBNER & CSXZ 1979a, 1980, 1982 eine Reihe von Bentonit/Glastuff-Vorkommen bekanntgemacht.

Im Raum Steing treten diese vulkanischen Tuffe an zwei, möglicherweise auch drei Niveaus gebunden auf. Das bedeutendste ist wohl das Vorkommen Rutzendorf, das zwischen 350 und 360 m SH unter geringer Lockersedimentbedeckung N und NW des Anwesens Reinbacher (vormals Bösele) zu liegen kommt (Abb. 21). Im Krieg wurde dieses Vorkommen durch die DMG durch Bohrungen erkundet (Abb. 22a). Dabei wurden die Tuffe linsenförmig in Lehm, Tegel und Sand eingelagert in einer Mächtigkeit zwischen 10 und 325 cm nachgewiesen (Abb. 2b). Die Maximalmächtigkeit kommt dabei unter 1 m Überlagerung am Acker NW des Anwesens Reinbacher zu liegen.

Aus der Lage der Bohrprofile und den in den Bohrungen angegebenen Mächtigkeitsverhältnissen läßt sich ein schwaches Nordfallen der Tufflager ableiten. Abb. 22a spiegelt den linsenförmigen Tuffkörper wider, der im Süden ausbäumäßig bedingt WSW streichend im Bereich der Straße S des Gehöftes Reinbacher verläuft. Die größte Verbreitung liegt etwa im Bereich der Gehöfte östlich der Straße, während nach N die Linse bis in das Niveau des von N kommenden Bächleins absinkt, wo sie endet. Nach W erstreckt sich das Vorkommen in Form eines SSW verlaufenden Lappens bis etwa 400 m WSP des Gehöftes Reinbacher, wo faktuell bedingt die geringsten Tuffmächtigkeiten und geländebedingt die größten Überlagerungsmächtigkeiten (6 m sandig-lehmige Sedimente) auftreten.

Mineralogisch handelt es sich bei den Tuffen um Bentonite (40-60 % Montmorillingehalt) mit wechselndem Glasanteil.

Aus den geoelektrischen Profilen ist etwa folgendes Säulenprofil (ohne Mächtigkeitsangabe) zu ermitteln:



Zugeordnet kann die Überlagerung 1 etwa tonigen Sanden, 2 den Tuffen und die Bereiche 3, 3a und 4 stärker tonigen und örtlich sandigen Sedimenten werden. Dies stimmt auch gut mit den Bohrprofilen (EBNER & GRÖP 1979 a, 1982) überein. Auch das Aushubmaterial in der Baugrube des Neubaus beim Gehöft Reinhäcker und des dort befindlichen Brunnens zeigte, daß derartige Sedimenttypen vorhanden sind. Im Brunnenschacht treten weiters neben den Tuffen auch noch Kohlentone mit Kohlenschmitzen auf. Der wasserführende Horizont in diesem Brunnen dürfte mit der tuffführenden Lage bzw. ihrer tonigen Unterlagerung im Zusammenhang stehen.

### 5.3.2. Widerstandskartierungen

Im Gebiet von Rutzendorf hatte die Widerstandskartierung zwei unterschiedliche Aufgaben. Erstens sollte auch in diesem Untersuchungsgebiet eine eventuelle Ausbisslinie mittels Widerstandskartierung verifiziert werden. Nebenbei sollten aber im Gebiet von Rutzendorf auch auf Grund der Widerstandskartierung Aussagen gemacht werden, inwieweit sich die Lithologie der Bentonite ändert bzw. überhaupt verfolgen läßt.

Profil 1, dargestellt in Beilage 29, verläuft annähernd in EW-Richtung. Betrachtet man den Isopachenplan der Tuffe, dargestellt in Beilage 112, so sieht man, daß dieses Profil im Osten die Tufflagerstätte quert, jedoch gegen Westen hin keine Tuffe mehr auftreten. Die Widerstandskartierung vermittelt nun den Eindruck, daß Profil 1 zweigeteilt ist. Auf der einen Seite im Osten, wo die Tuffe auf Grund der Bohrergebnisse anzustehen scheinen, zeigt sich ein verhältnismäßig einheitliches Widerstandsbild.

Gegen Westen zu schwanken die Widerstände stärker und steigen außerdem beträchtlich an. Jene Kurve, die mit dem größten Elektrodenabstand, nämlich mit  $a = 10$  m, gemessen wurde, zeigt erwartungsgemäß ein sehr ruhiges Bild. Der Widerstandsanstieg in jener Zone, wo kein Tuff vorhanden ist, ist jedoch auch hier sehr signifikant. Entsprechend kleinere Elektrodenabstände, also 5 bzw. 2 m, geben dieselbe Tendenz, allerdings wird das Bild wesentlich unruhiger. Dies dürfte wiederum, wie bereits mehrfach erwähnt, auf unterschiedliche Bodendurchfeuchtung und auf unterschiedlichen Bewuchs oder auch auf Änderungen der Lithologie in den oberflächennahen Schichten zurückzuführen sein.

In jenen Bereichen, wo der Tuff anzustehen scheint, schwankt der Widerstand zwischen 10 und 25 Ohm.m, wo hingegen auf Grund der geologischen Aufnahme keine Tuffhorizonte vorhanden sein dürften, steigen die Widerstände an und erreichen bei der 10 m Spacing-

Kurve" einen Maximalwert von etwa 45 Ohm.m; die "2 m Spacing-Kurve" ergab Maximalwerte, die knapp unter 100 Ohm.m liegen. Es zeigt sich also, daß auf Grund der Widerstandskartierung sehr wohl eine Unterscheidung zwischen Tuffhorizonten bzw. besser Gebieten, in denen im Untergrund Tuff ansteht, und jenen Gebieten, wo keine Tuffhorizonte vorhanden sind, getroffen werden kann. Außerdem ergaben diese Messungen, daß es sinnvoller erscheint, mit einem größeren Spacing zu arbeiten. Einzelne Details jedoch können nur mit kleinerem Spacing nachgewiesen werden. Als Beispiel sei hier nur die Zone zwischen den Positionen 18 und 20 erwähnt, wo die Widerstandskurve, und zwar nur jene mit einem Spacing von 2 m, eine Widerstandserhöhung zeigt.

Betrachtet man die Isopachenkarte der Hangendschichten und die Isopachenkarte der Bentonite, so sieht man, daß genau in diesem Bereich die Mächtigkeit der Hangendschichten zunimmt, um dann etwa bei Punkt 18 wieder auf das ursprüngliche Maß zurückzugehen. Dieses Detail zeigt, daß eine Widerstandskartierung mit kleinerem Spacing derartige Änderungen in der Mächtigkeit der Hangendschicht sehr wohl auskartieren kann. Voraussetzung ist allerdings die, daß die Eindringtiefe nur geringfügig größer ist als die Mächtigkeit der Hangendschicht.

Bei Profil 2 in Abb. R10 handelt es sich um ein NS-Profil, welches die vermutete Bentonitlagerstätte quert. Obwohl es bei einem flüchtigen Blick den Anschein hat, als würde dieses Profil eine vollkommen andere Widerstandsverteilung ergeben, so zeigt doch ein genaueres Betrachten dieser Abbildung, daß jene Bereiche, wo entsprechend dem Bohrprofil die Bentonitlager vorhanden sein sollen, auch niedrige Widerstände registriert wurden. Sowohl im Nordteil als auch im Südteil des Untersuchungsgebietes schwanken die Widerstände wiederum beträchtlich, wobei die Beträge der Schwankungen entsprechend den Eindringtiefen sehr unterschiedlich sind. Ein interessantes Detail ist vielleicht noch

jenes, daß in der Position von -50 m, etwa im Zentralbereich der Bentonitlagerstätte bei der Meßkurve mit dem Spacing von 2 m, auch eine Widerstandserhöhung auftritt. Analog zu dem, was bereits bei der Besprechung von Profil 1 gesagt wurde, geht auch hier die Widerstandserhöhung mit einer Zunahme der Hangendmächtigkeit konform.

Als letztes wurden dann noch zwei kurze Widerstandskartierungsprofile über vermutete Ausbisslinien der Bentonite gemessen. Betrachtet man Beilage Nr. III, so ist als erstes dazu zu bemerken, daß bei der Durchführung dieser Widerstandskartierung nur ein Profil tatsächlich über einen Bentonitabbiß gemessen wurde; das andere Profil Nr. 3 liegt über keiner Ausbisslinie. Zum Zeitpunkt der Messungen war dies jedoch auf Grund der Geologie allein nicht klar gewesen. Betrachtet man dieses Profil Nr. 3, so sieht man allein aus der Widerstandscharakteristik, daß hier zu hohe Widerstände gemessen wurden, sodaß auf Grund dieser Widerstandsverteilung daraus geschlossen werden kann, daß hier kein anstehender Bentonit erfaßt wurde.

Lediglich Profil 4, welches ebenfalls in der selben Beilage dargestellt ist, verläuft über einen Bentonitabbiß. Dabei sieht man als erstes, daß die Meßkurve, die mit einem 2 m Spacing gemessen wurde, bei Widerständen um etwa 15 Ohm.m beginnt und über die Ausbisslinie bis auf Widerstände von etwa 60 Ohm.m ansteigt. Die Auswertungen des Gebietes Holzbauregg haben nun ergeben, daß genau dort, wo die Widerstände auf diesem Profil zu steigen beginnen, der Bentonit tatsächlich auskeilt, und daher der Widerstandsanstieg einzig und allein den höherohmigen Liegendschichten zuzuordnen ist. Da jedoch auf diese höherohmige Liegendschicht wieder eine niederohmige Schicht folgt, zeigt jene Meßkurve, die mit einem Spacing von 5 m registriert wurde, ein vollkommen anderes Bild und würde bei einem oberflächlichen Betrachten darauf schließen lassen, daß hier keine Bentonitlagen mehr vorhanden sind. Bei diesem 5 m Spacing wurden also Mischwiderstände gemessen, wobei die Bentonitlagen selbst so gering-

mächtig sind, daß sie hier eine Widerstandsverminderung in dem erwarteten Ausmaß nicht hervorrufen. Einzig und allein am Beginn der Meßkurve, etwa in der Position O, sieht man, daß die Widerstände auch bei diesem Profil zu steigen beginnen. Erreicht jedoch diese Meßkonfiguration dann die im Liegenden anstehenden niederohmigen Schichten, so fallen die Widerstände relativ rasch, allerdings außerhalb der vermutlichen Bentonitzone, weiter ab.

Generell muß nun zur Widerstandskartierung Rutzendorf zusammenfassend festgestellt werden, daß diese Methode zur Erfassung von Gebieten mit Tufflagen und deren Begrenzung gut geeignet ist. Voraussetzung ist allerdings eine genaue Kenntnis der geologischen Situation sowie Testmessungen, durch die in situ Widerstände des Bentonites sowie der Hangend- und Liegendschichten genau erfaßt werden können. Im Anschluß an die Erstauswertung sollte dann unbedingt eine neuerliche geologische Aufnahme die Ergebnisse zu verifizierten versuchen.

### 5.3.3. IP-Messungen

In der Beilage R9 und R10 sind neben den beiden Widerstandsprofilen auch die IP-Messungen entlang der Profile 1 und 2 dargestellt. Betrachtet man nun diese beiden IP-Profile, so sieht man, daß in jenen Bereichen, wo anstehender Bentonit vermutet wird, die IP-Effekte im negativen Bereich liegen. Ab jener Grenze, wo keine Bentonite mehr anstehen und nur mehr die Liegendschichten allmählich auskeilen, erhöht sich der IP-Effekt auf +1 bis 2 V. Es ist somit auf Grund dieser IP-Untersuchungen am Profil 1 ziemlich eindeutig möglich, Bentonitlagen von nicht anstehendem Bentonit abzutrennen. Eine ähnliche Tendenz zeigt auch die IP-Messung entlang von Profil 2, dargestellt in Beilage R10. Auch hier ist im Bereich des anstehenden bzw. auskeilenden Bentonites ein negativer Frequenzeffekt festgestellt worden, während außerhalb der Bentonitbereiche dieser Frequenzeffekt, wenn auch geringfügig, so doch deutlich ins Positive hinaufwandert.

Generell ist jedoch zu den IP-Messungen im Gebiet von Rutzendorf zu sagen, daß hier womöglich mit einem zu großen Spacing gearbeitet wurde, sodaß einzelne Details auf Grund von Mischeffekten, wie sie nun einmal bei größeren Elektrodenabständen erfaßt werden, untergehen. Es könnte also durchaus sein, daß bei einem Spacing von 2 m einzelne Details noch wesentlich besser zu erfassen wären.

Auf den ersten Blick hat es zwar den Anschein, als wären die Unterschiede in den IP-Effekten über Bentonit und in jenem Teil, wo kein Bentonit ansteht, sehr gering. Rechnet man jedoch die Mittelwerte über längere Strecken, so sieht man doch eine eindeutige zonale Zuordnung. Vor allen Dingen das Umwechseln der negativen Frequenzeffekte zu positiven ist ein deutliches Merkmal. Abschließend ist jedoch bei diesen IP-Messungen noch zu bemerken, daß man sicherlich in Zukunft prüfen müßte, inwieweit gerortige Änderungen im Frequenzeffekt durch Bentonitlagen hervorgerufen werden. Es könnte durchaus sein, daß auch andere niederohmige Tonhorizonte einen ähnlichen Effekt gegenüber Liegend- oder Hangendschichten bewirken.

### 3.3.4. Geoelektrische Tiefensondierungen

Bei Profil A, dargestellt in Beilage 94, handelt es sich um ein Längsprofil, das im Osten beginnt und Richtung Westen verläuft. Dabei fällt auf, daß dieses Profil im Ostteil einen geoelektrischen Fünfschichtfall beinhaltet, während gegen Westen zu einzelne Schichten auszukeilen scheinen, und ab Punkt Nr. 17 nur mehr ein geoelektrischer Zweischichtfall bis zum Profilende hin vorliegt. Die Gesamtprofillänge beträgt annähernd 600 m. Im Ostteil, also in jenem Teil, wo ein geoelektrischer Fünfschichtfall vorliegt, zeigt die oberflächennahe Verwitterungsschicht einen mittleren Widerstand von  $40 \pm 23$  Ohm.m. Darunter folgt dann der vermutete Bentonithorizont mit den hierfür signifikanten Widerständen von  $13 \pm 9$  Ohm.m. Störend für die Interpretation war eine unterhalb des Bentonites, vor allen Dingen zwischen den Meßpunkten 21 und 24, folgende ebenfalls niederohmige Schicht mit Widerständen, die im Mittel annähernd den selben Wert ergaben. Bei der Einzelinterpretation der Widerstandswerte war es jedoch möglich, dieses Schichtpaket von den darüberliegenden Bentoniten abzugrenzen.

Unterhalb dieser niederohmigen Schicht bzw. ab dem Meßpunkt 20 unterhalb des Bentonites folgt dann eine höherohmige Formation mit mittleren Widerständen von  $84 \pm 41$  Ohm.m. Auf Grund dieser Widerstandsverteilung dürfte es sich dabei um kompakte sandige Lehme handeln. Unterhalb dieses Horizontes ergab sich dann als letztes Schichtglied wiederum ein etwas niederohmiger Horizont von  $23 \pm 8$  Ohm.m. Hier dürfte es sich eher um reinere Tone handeln. Allerdings ist es auch möglich, daß die darüber liegende, sandige, tonige Formation einen Grundwasserspiegel beinhaltet und daß die Verminderung der Widerstände auf etwa 20 Ohm.m nur durch das hier vorhandene Grundwasser zustandekommt. Die Bentonitmächtigkeit schwankt entlang dieses Profiles beträchtlich. So zeigen sich minimale Bentonitwerte, in der Nähe von Untersuchungspunkt 24 mit einer Mächtigkeit von etwa einem halben Meter, während die maximalen Mächtigkeiten in der Nähe von Untersuchungspunkt 20 bei 3 m liegen.

Da das Profil B vollkommen außerhalb der vermutlichen Bentonitlagerstätte liegt und außerdem sich bei der Auswertung dieses Profiles größere Probleme ergeben hatten, die vor allen Dingen in der Registrierung der einzelnen Sondierungskurven lagen, wurde darauf verzichtet, auch dieses Profil darzustellen.

Das westlichste Quarprofil ist das Profil C. Dieses beginnt bei Untersuchungspunkt 28 im Norden und verläuft von dort annähernd gegen Süden, um bei Meßpunkt 31 zu enden. Seine Gesamtlänge beträgt etwa 170 m. Geoelektrisch ergab sich entlang dieses Profiles ein Vierschichtfall (Beilage R5). Es fällt auf, daß die oberflächennahe Verwitterungsschicht einen für dieses Meßgebiet relativ hohen Wert von  $205 \pm 135$  Ohm.m aufweist. Darunter folgen dann mit einer ziemlich konstanten Mächtigkeit die Bentonite mit einem mittleren Widerstand von  $5 \pm 1$  Ohm.m. Die Standardabweichung zeigt hier einen sehr geringen Wert. Dies würde auf eine gute Homogenität innerhalb dieser Bentonitlage schließen lassen. An der Basis dieser Bentonite folgt dann eine höherohmige Formation, wie sie auch bereits im Längsprofil festgestellt wurde. Darunter kommt es zu einer Abnahme der Widerstände auf  $24 \pm 5$  Ohm.m, was entweder auf eine Wassersättigung dieses Horizontes zurückzuführen ist, oder auf eine lithologische Änderung in Form von Abnahme der Sandkomponenten innerhalb dieses tertiären Schichtgliedes.

Bei Profil D, dargestellt in Beilage R6, zeigte sich eine ähnliche Tendenz wie im vorig besprochenen Profil C. Einzig und allein die Bentonitmächtigkeit scheint hier etwas größer zu werden.

Eine Ausnahme bei der Interpretation der Ergebnisse stellt das Profil E in Beilage R7 dar. Dieses Querprofil mit einer Gesamtlänge von annähernd 300 m ergab generell einen geoelektrischen Vier- bis Fünfschichtfall, wobei allerdings ab der Position +100 durch das Fehlen bzw. Auskeilen der vermuteten Bentonitlagen

die Geoelektrik auf einen Zweischichtfall reduziert wird. Bezüglich der oberflächennahen Verwitterungsschicht weicht dieses Profil nicht von der generellen Tendenz einer höherohmigen Formation ab.

Diskrepanzen ergaben sich vor allen Dingen bei der Interpretation der vermuteten Bentonitlagen. Da gerade entlang dieses Profiles eine Reihe von Untersuchungsbohrungen lag und aus diesen Untersuchungsbohrungen hervorgeht, daß hier mit Bentonitmächtigkeiten zwischen 1 und 2 m gerechnet werden muß, wurde auch die Geoelektrik dahingehend ausgewertet. Dabei ergab sich allerdings, daß dort, wo laut Bohrprofil Bentonit anstehen müßte, Widerstandswerte errechnet wurden, die beträchtlich über den normalen Bentonitwiderständen liegen. Außerdem ergab die Geoelektrik eine Zweiteilung der vermuteten Bentonitlage. So zeigte sich im oberflächennäheren Teil ein mittlerer Widerstand von  $35 \pm 32$  Ohm.m. Diese sehr hohe Standardabweichung deutet allerdings bereits darauf hin, daß hier starke Inhomogenitäten, die teilweise auf unterschiedlichen Verfestigungsgrad, andererseits aber auf lithologische Änderungen zurückzuführen sein könnten, ergaben. Die Basis der Bentonitlage zeigt einen für Bentonite nie während dieser Untersuchungen nachgewiesenen Mittelwert von  $135 \pm 22$  Ohm.m. Eine Antwort, warum hier derartig hohe Widerstände registriert wurden, kann mittels Geoelektrik nicht gegeben werden. Andererseits zeigen gerade diese Ergebnisse entlang des Profiles E die Schwierigkeiten bei der Interpretation bzw. der Anwendung von geophysikalischen Verfahren zur Bentoniterkundung recht deutlich auf. Denn wäre hier keine Bohrung vorhanden, so hätte man sicher auf Grund der Geoelektrik allein diesen geoelektrischen Horizont nicht mehr den Bentoniten zugeordnet.

Um diese Frage, die für die endgültige Beurteilung eines Einsatzes der Geophysik bei der Bentonitprospektion von großer Bedeutung ist, klären zu können, wäre es unbedingt notwendig, hier einzelne seichte Bohrungen mittels eines Handbohrgerätes abzutiefen und die gewonnenen Bohrschmante sedimentologisch zu untersuchen.

Das östlich davon gelegene Querprofil P, dargestellt in Beilage R8, ergab zur allgemeinen Verblüffung wieder vollkommen normale Werte. So zeigte eine oberflächennahe Verwitterungs- oder Humusschicht Widerstände von  $94 \pm 74$  Ohm.m. Darunter folgen dann die vermuteten Bentonitlagen mit  $10 \pm 1$  Ohm.m, darunter wiederum die höherohmige Formation mit  $72 \pm 45$  Ohm.m und letzten Endes ein niederohmigerer Horizont von annähernd 20 Ohm.m. Auch bezüglich der Bentonitmächtigkeit weicht dieses Profil nicht mehr von den Ergebnissen der übrigen Profile ab. Sie schwankt hier zwischen 1 und 2 m.

Generell kann zur Auswertung der geoelektrischen Tiefensondierung vom Maßgebiet Rutzendorf festgestellt werden, daß die Interpretation bzw. der Nachweis einer Bentonitlage mittels Tiefensondierung mit zwei Ausnahmen entlang der ganzen Profile sehr gut möglich war. Schwierigkeiten zeigten sich nur entlang jener Profile, wo an der Basis der vermuteten Bentonitlage wiederum ein sehr niederohmiger Horizont mit ähnlichen Widerstandswerten, wie sie innerhalb der Bentonite nachgewiesen wurden, folgt. Die zweite Ausnahme war das soeben besprochene Profil P, wo die Bentonitwiderstände beträchtlich über den normalerweise ermittelten Werten lagen. Hier wäre es ohne Bohrungen kaum möglich gewesen, eine zufriedenstellende Interpretation zu liefern.

Nach Auswertung und Darstellung sämtlicher Ergebnisse der geoelektrischen Tiefensondierung wurde unter Einarbeitung der Bohrdaten eine Isopachenkarte des Bentonitlagers konstruiert. Diese Isopachenkarte sollte es ermöglichen, eine Abschätzung der Bentonitvorräte im Gebiet von Rutzendorf zu machen. Dabei ergab sich das in Beilage R12 dargestellte Bild. Betrachtet man diese Karte, so sieht man, daß im Osten des Untersuchungsgebietes, etwa nördlich des Anwesens Reinbacher, die größten Bentonitmächtigkeiten auftreten. Auch die flächenhafte Ausdehnung des Bentonitvorkommens scheint in diesem Teil des Untersuchungsgebietes am größten zu sein. Die maximale Breite der Bentonitlage

beträgt hier annähernd 220 m, die gesamte Längserstreckung dieses Vorkommens etwa 450 m. Dabei ist allerdings zu bemerken, daß beginnend von Osten nach ca. 280 m die Ausdehnung in ihrer Breite sehr stark abnimmt.

Die Gesamtfläche des Bentonitvorkommens beträgt annähernd 65.000 m<sup>2</sup>. Dabei ist jedoch zu beachten, daß für die Ermittlung dieser Fläche die 0,5 m Isopache herangezogen wurde. Da es aus wirtschaftlichen Überlegungen sicherlich nicht sinnvoll wäre, ein Bentonitvorkommen darzustellen, dessen Mächtigkeiten unter einem halben Meter gehen, wurde diese 0,5 m Isopache als endgültige Abgrenzung herangezogen. Die eigentliche Ausbisslinie ergäbe dementsprechend eine etwas größere Fläche. Multipliziert man nun diese Fläche mit einer mittleren Mächtigkeit des Bentonitlagers von 1,1 m, so ergibt dies einen Bentonitvorrat von annähernd 70.000 Kubikmeter. Läßt man aus wirtschaftlichen Überlegungen die Halbmeter-Isopache weg und beginnt man diese Ermittlung erst ab einer Mächtigkeit von 1 m, so ergibt sich daraus ein Bentonitvorkommen von ca. 50.000 Kubikmeter.

Vergleicht man die vorliegende Isopachenkarte mit einer Karte, wie sie von ASIMUS & LACKENSCHWEIGER 1942 auf Grund von 23 Bohrungen konstruiert wurde (Beilagen 2a, 2b), so sieht man, daß sich die durch die Geoelektrik ermittelten Grenzen des Bentonitvorkommens größtenteils mit jenen der damaligen Arbeit decken. Es muß jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, daß die von uns konstruierte Karte sowohl Geophysik als auch, wenn auch nur am Rande, Bohrerergebnisse beinhaltet. Inwieweit es auf Grund der Geophysik allein möglich gewesen wäre, zu derartigen Ergebnissen zu kommen, kann nicht eindeutig geklärt werden. Hierzu müßte der umgekehrte Weg eingeschlagen werden, daß zuerst mittels Geophysik ein Bentonitvorkommen untersucht wird und im Anschluß daran die Geolder bereit gestellt werden, um die Ergebnisse der reinen Geophysik zu verifizieren. Hiefür würde sich z.B. das Gebiet Holzbauregg anbieten.

Für eine eventuelle Abbauplanung bzw. eine "Feasibility"-Studie über dieses Bentonitvorkommen ist neben der Bentonitmächtigkeit bzw. neben der Bentonitkubatur die Überlagerung von größter Bedeutung. Es wurde daher als letzte Beilage für das Gebiet Rutzendorf eine Isopachenkarte der Überlagerung gezeichnet. Diese Isopachenkarte weist also, wie ihr Name bereits sagt, die Mächtigkeit der Deckschichten aus. Betrachtet man nun Beilage R13, so sieht man, daß die größten Überlagerungsmächtigkeiten dort festgestellt werden konnten, wo auch die größten Bentonitmächtigkeiten nachgewiesen wurden. Dabei ist allerdings festzustellen, daß der Begriff "größte Überlagerung" hier unter Anführungszeichen zu setzen wäre, denn Mächtigkeiten von 2 m der Deckschichten gegenüber einer Bentonitmächtigkeit von 2 m würden immerhin ein Verhältnis von 1:1 ergeben. Nach bergmännischen Erkenntnissen wäre ein derartiges Verhältnis extrem günstig für ein im Tagebau gewonnenes Material. Dies trifft auch dann noch zu, wenn, so wie in diesem Fall, nur ein billiges Massenprodukt bergmännisch hereingewonnen werden muß. Generell kann beim Betrachten dieser Karte festgestellt werden, daß im Großteil des Untersuchungsgebietes die Überlagerungsmächtigkeit kaum mehr als einen Meter ausmacht.

Auf Grund der Isopachenkarte der Bentonite und der Isopachenkarte der Überlagerung kann man feststellen, daß im Gebiet von Rutzendorf der Abbau dieses Bentonitvorkommens sehr günstig wäre. Einerseits ist dieses Bentonitvorkommen nur randlich mit Objekten bestanden und andererseits ist auch die landwirtschaftliche Nutzung der darüber anstehenden Flächen nicht sehr intensiv. Außerdem ergibt gerade die Isopachenkarte der Überdeckung sowie die des Bentonites eine maximale Gesamtabbaumächtigkeit, die unter 5 m liegt. Betrachtet man die Morphologie dieses Gebietes, so könnte man sich gut vorstellen, daß ein Abräumen von 5 m der Umwelt von Rutzendorf keinen nennenswerten Schaden zufügen würde. Eine Rekultivierung würde auf keine besonderen Schwierigkeiten stoßen. Derartige Überlegungen sind jedoch nicht Sinn und Zweck dieser Untersuchungen, weshalb darauf nicht weiter eingegangen wird.

## 6. Zusammenfassende Beurteilung

Generell ergaben die Untersuchungen des vorliegenden Projektes Widerstandswerte für Bentonite und Glastuffe, die zwischen 10 und 20 Ohm.m schwanken. Diese Widerstände wurden entweder direkt an anstehenden Bentoniten ermittelt oder ergaben sich durch die Auswertung der geoelektrischen Tiefensondierung. Die Schwankungen der Widerstände für die einzelnen Meßgebiete dürften auf unterschiedlichen Montmorillonitgehalt zurückzuführen sein (Beilage VII). Betrachtet man diese Beilage, so sieht man, daß eine sehr gute Korrelation zwischen Montmorillonit und Glastuff bestehen, so ist gut zu erklären, warum die Widerstände mit zunehmenden Montmorillonitgehalt abnehmen. Einerseits haben Glastuffe relativ hohe Widerstände, Montmorillonit hingegen zeigt in der Regel sehr niedere Widerstände. Daß jedoch diese Ergebnisse derartig gut korrelieren, verblüfft doch etwas, da in der Literatur dies bis dato nicht erwähnt wird.

Im Frequenzeffekt ergaben sich Werte von -2 bis 0 PFE. Diese Bandbreite ist zwar als Einzelwert sehr schwach ausgeprägt, da jedoch die Hangend- und Liegendsschichten meist einen positiven Frequenzeffekt aufwiesen, konnte auch mittels IP eine Auskartierung einzelner Bentonit-/Glastuff-Horizonte getätigt werden.

Generell ist zu sagen, daß der Nachweis von Bentonit/Glastuff geoelektrisch möglich ist. Dazu sind allerdings einschränkend einige Voraussetzungen notwendig. So soll das Verhältnis der Bentonit/Glastuff-Mächtigkeit zur Hangendmächtigkeit nicht größer als 1:7 sein. Der Widerstandscontrast der Hangend- und Liegendpartien zum eigentlichen Tuffhorizont soll in etwa 1,5:1 betragen. Bei den vorliegenden Untersuchungen war dies nicht immer der Fall. Die Ergebnisse konnten manchmal nur auf Grund einzelner Widerstandsänderungen gegen das Hangende oder Liegende hin erzielt werden.

Die Widerstandskartierung, die mit verschiedenen Spacings durchgeführt worden war, ergab, daß Ausbisslinien relativ erfolgreich kartiert werden können. Wesentlich für den Erfolg dieser Widerstandskartierungen ist jedoch die Auswahl eines günstigen Elektrodenabstandes. Generell ist dazu zu sagen, daß dieser Elektrodenabstand etwas größer sein sollte als die Mächtigkeit der Hangendpartien. Er sollte jedoch nicht mehr einzelne Liegend-schichten erfassen. In diesem Fall würden nicht auflösbare Misch-widerstände ermittelt werden.

Die IP-Kartierung zeigte ähnliche Ergebnisse wie die Widerstandskartierung. Problematisch ist die IP-Kartierung jedoch von der Kostenseite. Da sich das Verhältnis IP- zu Widerstandskartierungskosten wie 20:1 verhält, ist unschwer zu ersehen, daß dasselbe Resultat, welches mit Widerstandskartierung erzielt werden kann, mit dieser Methode wesentlich billiger ist. Ein Vorteil der IP-Kartierung, der diesen Kostennachteil aufwiegen würde, konnte bei diesen Untersuchungen nicht nachgewiesen werden.

Vorliegende Untersuchungen haben nun gezeigt, daß die Methoden der geoelektrischen Tiefensondierung, der geoelektrischen Widerstandskartierung und auch die Induzierte Polarisation befriedigende Ergebnisse hinsichtlich eines Nachweises von Bentonit-/Glastuffhorizonten liefern. Andere geophysikalische Methoden wie etwa die Gravimetrie, die Magnetik, aber auch die Seismik, dürften hier kein befriedigendes Ergebnis bringen. Bei diesen Methoden würden die menspezifischen Parameter im Gegensatz zum Hangenden und Liegenden nicht für einen Nachweis ausreichen.

Auf Grund dieser Erkenntnisse läßt sich nun für die Bentonit-/Glastuffprospektion ein Schema erstellen. Bei der Erstellung dieses Vorschlages wurde natürlich auch die Kostenseite der Geophysik bzw. einzelner geologischer Aufschlußverfahren in Relation gesetzt. So ergab sich für eine Tiefe der Bentonit-/Glastufflagen, die zwischen 0 und 3 m liegt, daß Schürftgräben und

Bohrungen, die mittels Handbohrer abgeteuft werden, von der Kostenseite her und auch vom Ergebnis am günstigsten sind. Ab einer Tiefe von 3 m dürfte die Geoelektrik, falls die Mächtigkeit zum Hangenden ein Verhältnis von 1:7 aufweist, günstige Ergebnisse bringen. Voraussetzung dafür ist allerdings eine genügende geologische Kenntnis der vermutlichen Bentonitlagen sowie eine ungefähre Kenntnis der Hangend- und Liegendpartien. Testmessungen, die diese Erkenntnis verifizieren, sind in diesem Fall unbedingt notwendig. Bei größeren Tiefen scheint die Kombination Geophysik mit Bohrungen sehr zielführend zu sein. Bei den Bohrungen müßte es sich jedoch um Kernbohrungen handeln, die sedimentpetrographisch untersucht werden können, außerdem müßten diese Bohrungen geophysikalisch vorzessen werden. Allerdings bleibt die Frage offen, inwieweit ein Material wie Bentonit/Glaskuff bei größeren Hangendmächtigkeiten überhaupt noch wirtschaftlich interessant ist.

Leoben, 1983-02-24



(Doz. Dr. W. GRÄF)



(Prof. Dr. F. WEBER)

7. Literaturverzeichnis

- AMT der STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG: Bentonit- und Glastuffvorkommen der Steiermark.-Steir.Beitr.Rohstoff-Energieforsch., 1, 15-20, Graz 1982.
- ASIMUS & LACKENSCHWEIGER, H.: Übersicht über die Tätigkeit der Scharf- und Planungsstelle der Österr.Alp.Mont.Ges., Graßvorkommen Steir.- Unveröff.Ber., 1 S., Arch.Geol.B.-A., Wien 1942.
- DILLER, W.: Der Miozäne Sedimentationsraum zwischen Gleinabach und Schwarzer Sulm in Südweststeiermark.- Unveröff.Diss., Univ.Graz, Graz 1957.
- EBNER, F.: Vulkanische Tuffe im Miozän der Steiermark.- Mitt. Naturwiss.Ver.Steiermark, 111, 39-85, Graz 1981.
- EBNER F. & GRÄF, W.: Die Bentonitvorkommen der Nordoststeiermark. - Mitt.Abst.Geol.Paläont.Bergb.Landesmus.Joanneum, 38, 9-30, 5 Abb., 1 Tab., 1 Kte., Graz 1977.
- EBNER, F. & GRÄF, W.: Kartierung von Bentoniten im Tertiär der Ost-, West- und Obersteiermark und Untersuchung der anfallenden Proben.- Unveröff.Ber., 92 S., Graz 1979 (1979a).
- EBNER F. & GRÄF, W.: Bemerkungen zur Faziesverteilung im Badenium des Rainer Beckens.- Mitt.Bl. Abt.Miner.Landesmus.Joanneum, 47, 11-17, 2 Abb., Graz 1979 (1979b).
- EBNER F. & GRÄF, W.: Kartierung von Bentoniten im Tertiär der Ost-, West- und Obersteiermark und Untersuchung der anfallenden Proben (III).-Unveröff.Ber., 141 S., Graz 1980.
- EBNER, F. & GRÄF, W.: Bentonite und Glastuffe der Steiermark.- Arch.Lagerst.forsch.Geol.B.-A., 2, 31-45, Wien 1982.

- EBNER, F. & GRÄP, W.: Neue Aspekte hinsichtlich der geologischen Beurteilung steirischer Bentonitvorkommen. - Berg.hüttenmänn. Mh., Wien 1985 (im Druck).
- GOSCH, D.P.: The Application of Linear Filter Theory to the Direct Interpretation of Geoelectrical Resistivity Sounding Measurements. - Geophys. Prosp. 19, 1971, pg. 192.
- HATLE, E.: Die Minerale des Herzogtums Steiermark. - 212 S., Leuschner & Lubensky, Graz 1885.
- HÖLLER, H., KOLMER, H. & WIRSCHING, U.: Chemische Untersuchungen der Umwandlung glasiger Tuffe in Montmorillonit- und Kaolinit-Minerale. - N.Jb., Miner., Mh., 1976, 456-466, 3 Abb., 4 Tab., Stuttgart 1976.
- KOPEYSKY, G.: Das Miozän zwischen Kainach und Laßnitz in Südweststeiermark. - Mitt. Mus. Bergb. Geol. Techn., 18, 122 S., 1 Kst., 2 Taf., Graz 1951.
- PETRASCHECK, W.: Kohlengeologie der Österreichischen Teilstaaten. - I. Teil, 213-272, Wien 1922-1924.
- PETRASCHECK, W.: Vulkanische Tuffe im Jungtertiär am Alpenostrand. - Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., 149, 145-154, 2 Tab., Wien 1940.
- PETRASCHECK, W.: Vulkanische Tuffe der Ostalpen. - Verh. Geol. B.-A., 1955, 231-239, Wien 1955.
- SCHNID, Ch. & WEBER, F.: Untersuchungen von Schottervorkommen im Gebiet der Oberösterreichischen Molasse. - OA 10, Geophysik der Erdrinde, 1982.
- WIRSCHING, U.: Experiments of hydrothermal alteration process of rhyolitic glass in closed an "open" system. - N.Jb., Miner., Mh. 1976, 203-213; Stuttgart 1976.

- WIRSCHING, U.: Experimental studies on hydrothermal alteration of feldspars to montmorillonite and kaolinite minerals.- M.Hb., Miner.Mh., 1977, 333-343, Stuttgart 1977.
- ZODY, A.R.: Automatic Interpretation of Schlumberger Sounding Curves, Using Modified Dar Zarruk Functions.- Geological Survey Bulletin 1313-E, 1974.



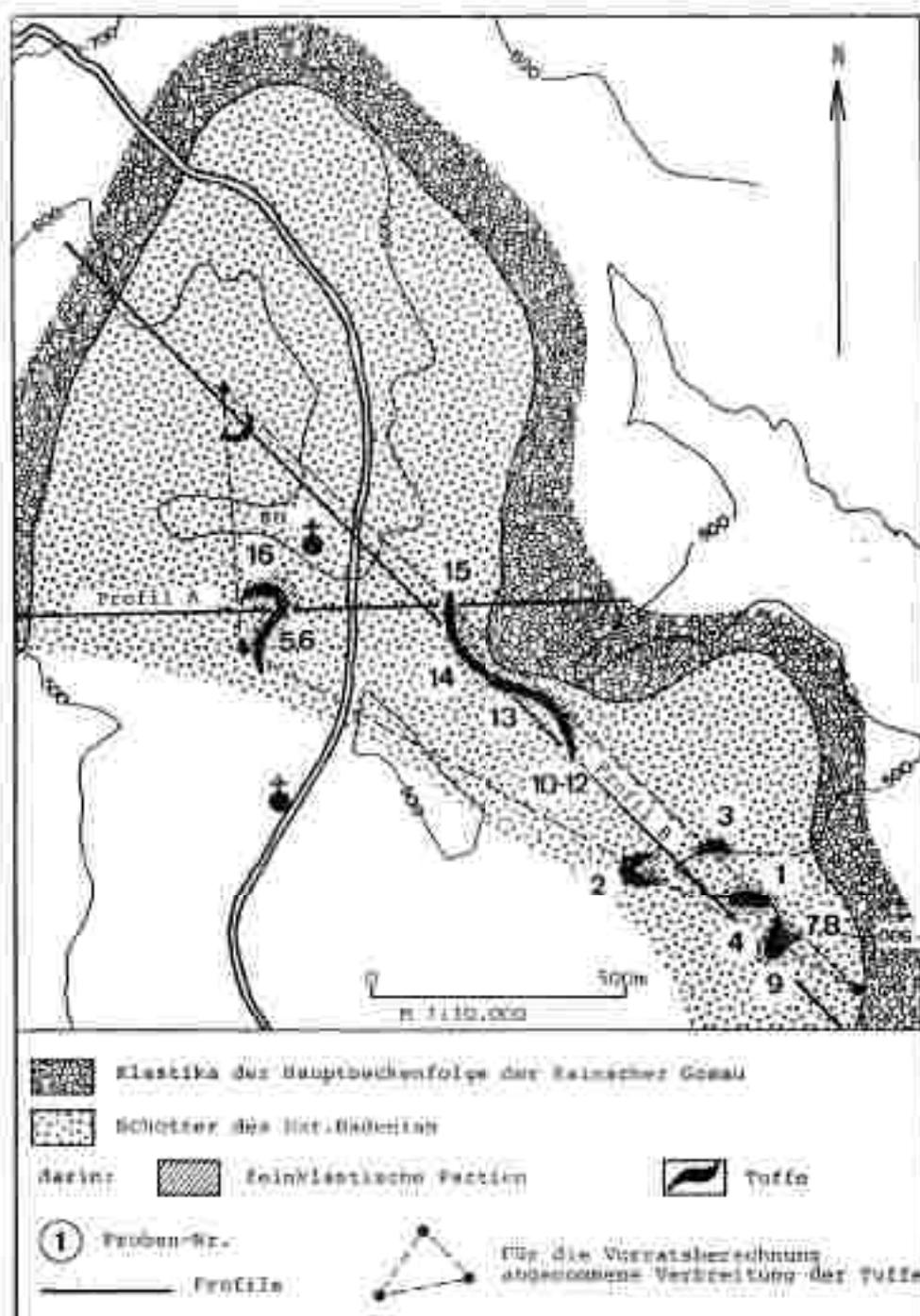
## SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE

Geophysik-Projekt StA 33

Untersuchungsgebiet Lichtenegg

Lageplan

0 2500m



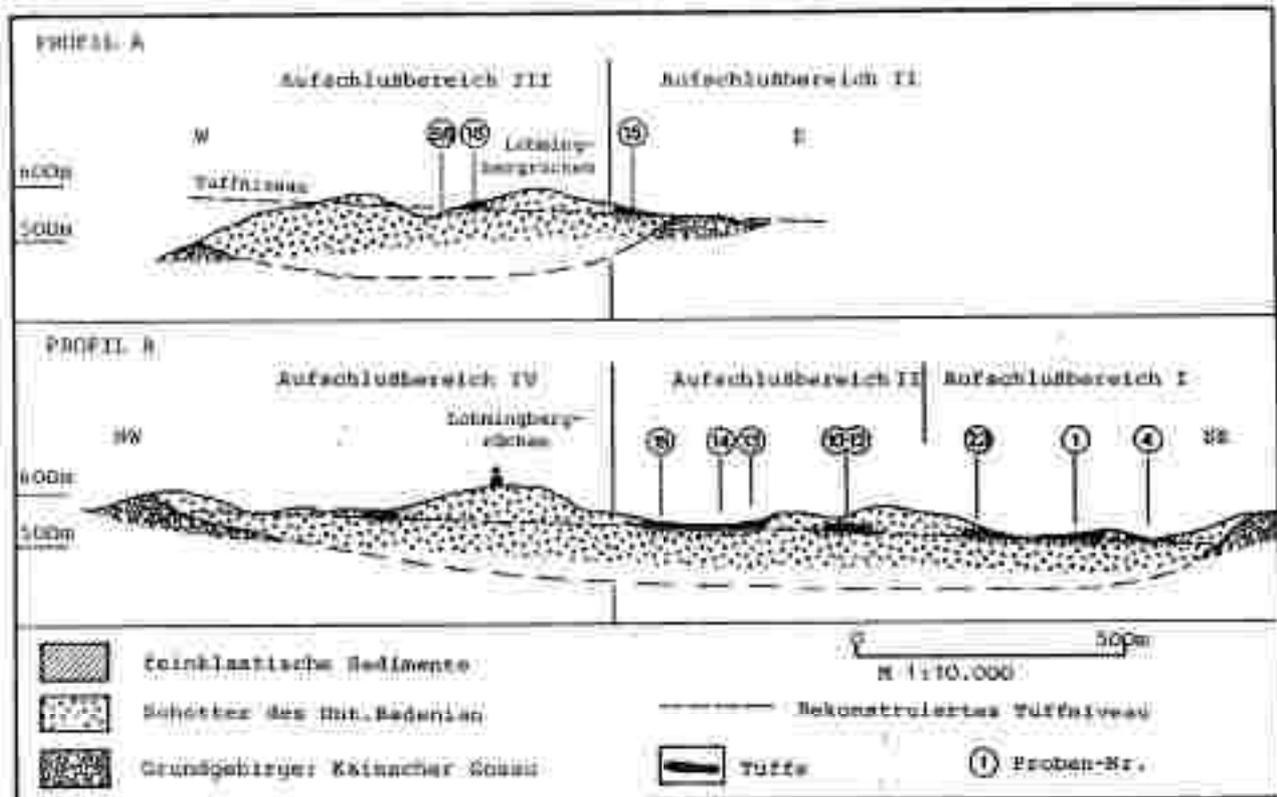
## SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE

Geophysik-Projekt StA 33

Untersuchungsgebiet Lichtenegg

Tuff-Austrisse

Ebner, Graf



**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

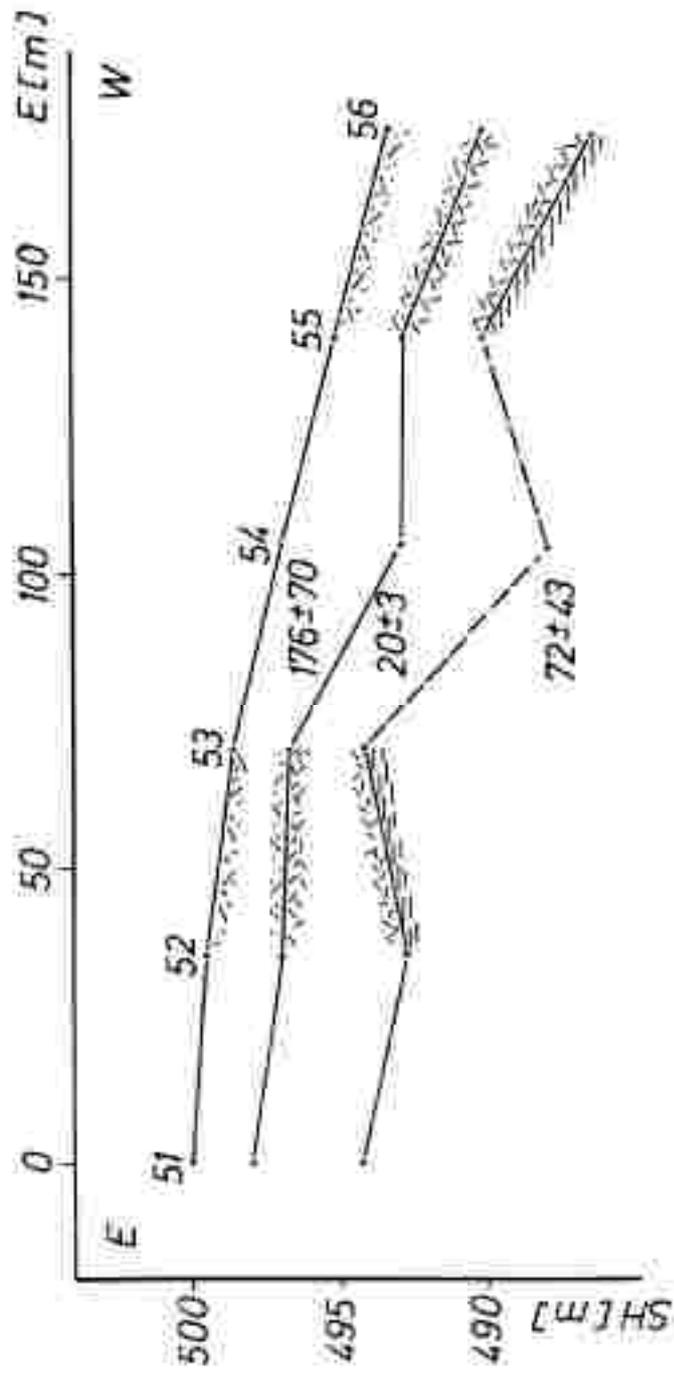
Geophysik-Projekt StA 33

Untersuchungsgebiet Lichtenegg

Geologische Profile

Ebner, Graf





**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

Geophysik-Projekt STA 33

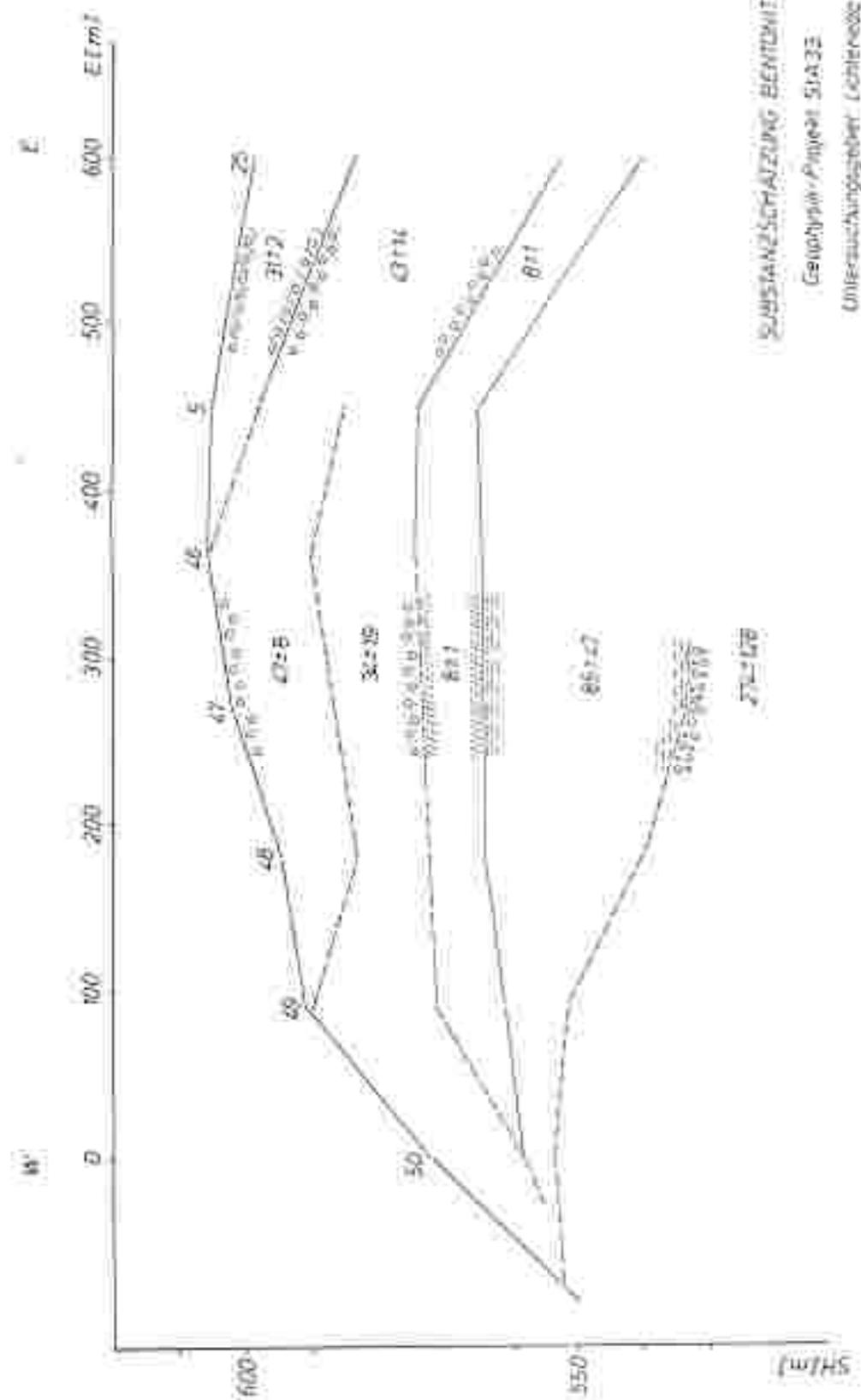
Untersuchungsgebiet Lichtenegg

Tiefensandierung

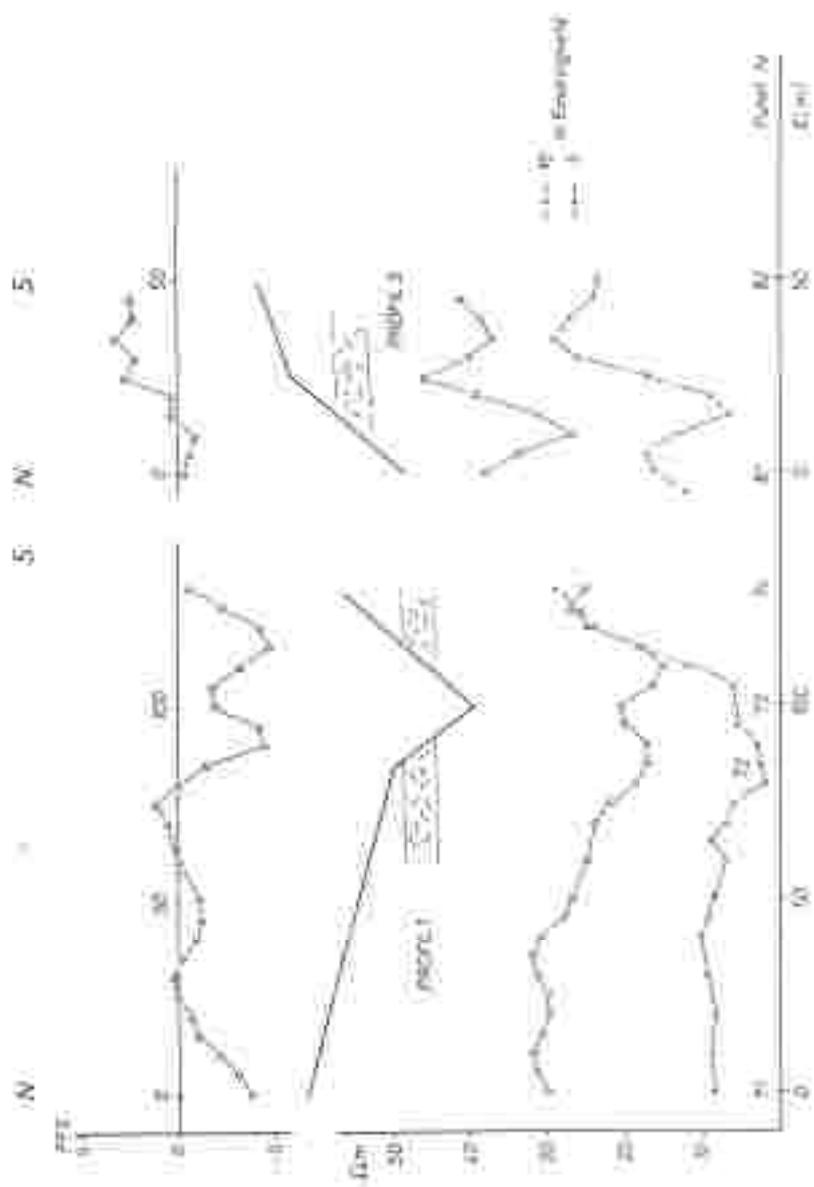
Profil A

Dezember 1982

H. Aigner



SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE  
 Geotypw./Projekt 51A22  
 Untersuchungsgebiet: Löhndorf  
 Tiefenstationierung  
 Fall C  
 Standort: 100/100



SIEBENBRUNNENSCHÄTZUNG-BENKENITZ

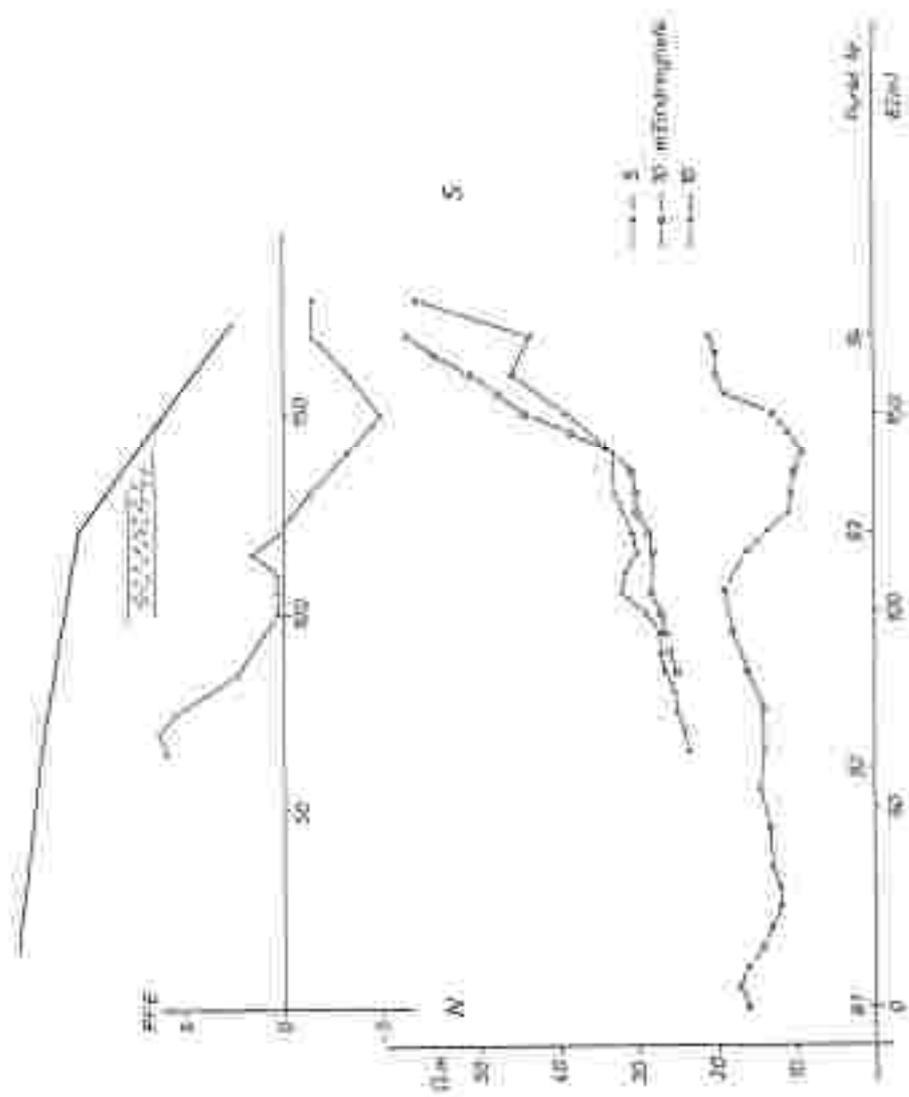
Geologisch-Projekt 514.33

Untersuchungsgebiet Lechnitz

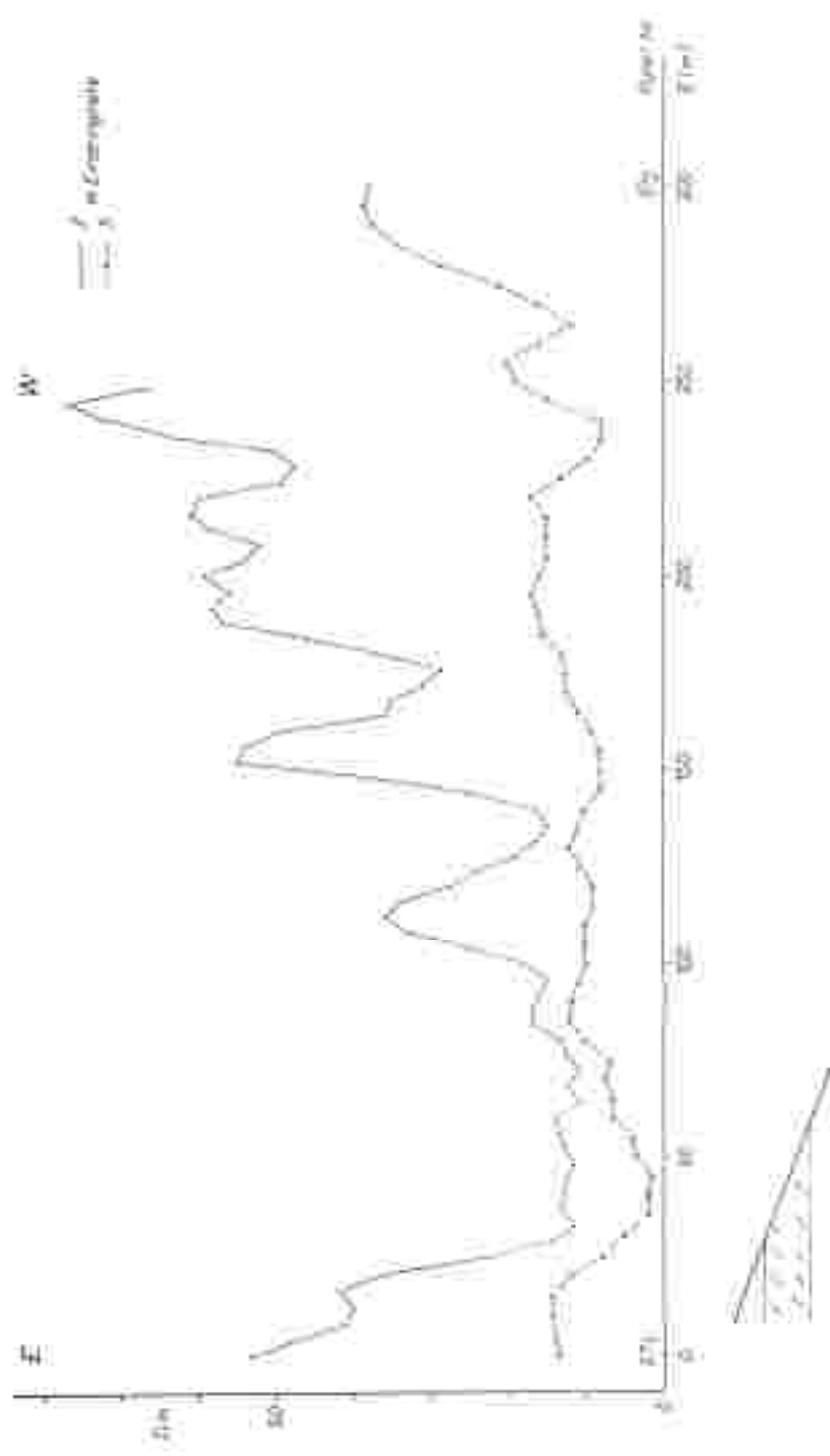
R und F-Kartierung

Profile 1, 2

Dezember 1962 K. Wagner



SUBSTANZSCHÄTZUNG BENITONIE  
 Geophysik-Projekt STA 33  
 Untersuchungsgebiet Lichtenegg  
 R und JP-Normierung  
 Profil 4  
 Dezember 1982 Wagner



SUBSTANTIALZUNG BENTONITE  
 Geophysik-Projekt: Sa. 33  
 Umweltschutzgeol. Lehrstuhl  
 R. Kienast  
 Prof. Dr.  
 Sommer 2005  
 Folie 10



**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENEWITE**

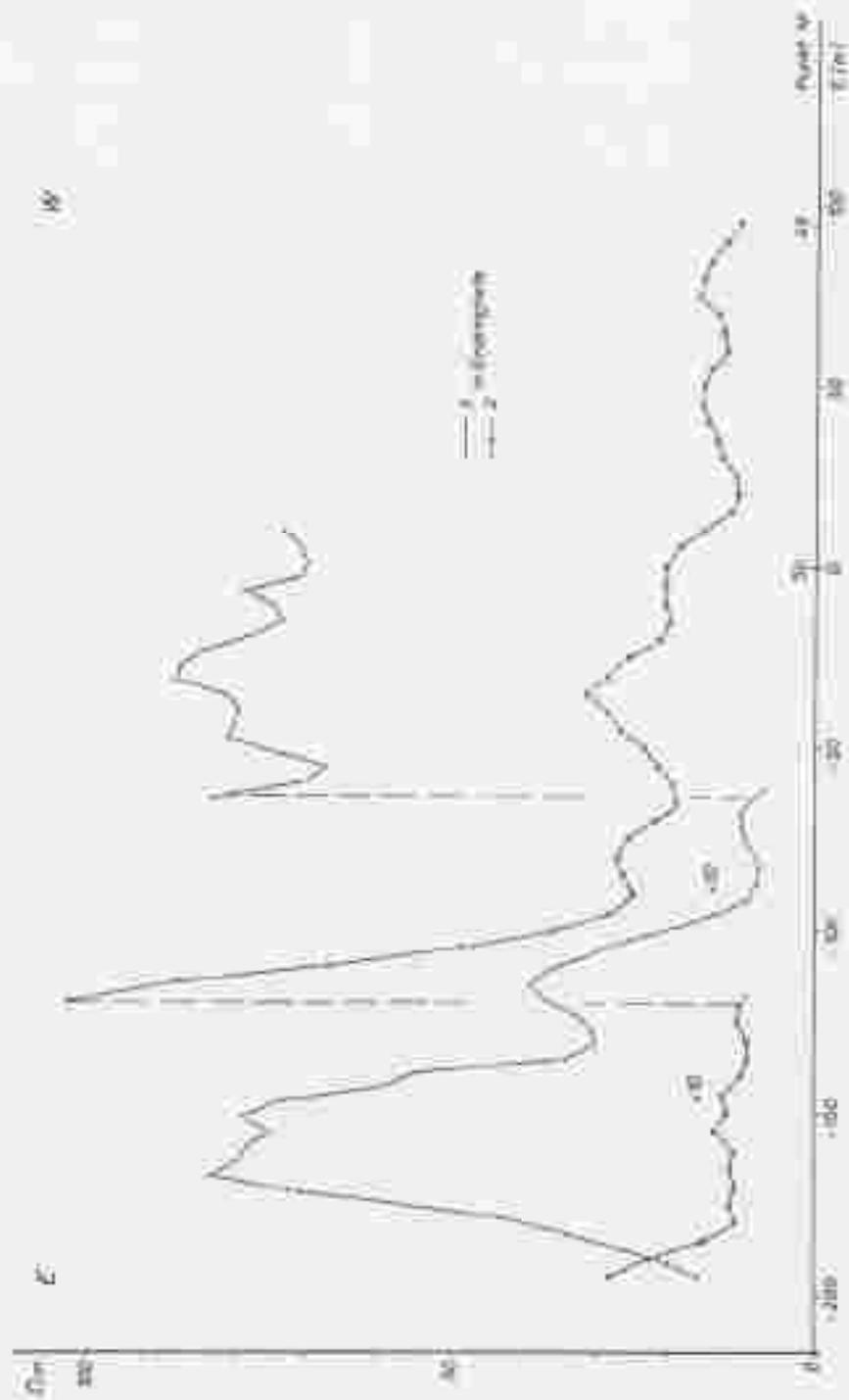
Geophysik-Projekt: SMA-33

Untersuchungsgebiet: Lichtenegg

R-Kartierung

Prüf-Nr. 6

Geometrie: 08/21  
 Datum: 11.12.2008



SUBSTANZSCHÜTZUNG BERGWERKE

Geologisch-Projekt: SIA 33

Überschreibungsbüro Löffelberg

R-Kartierung

Profil 7

Geometrie 852

Häger



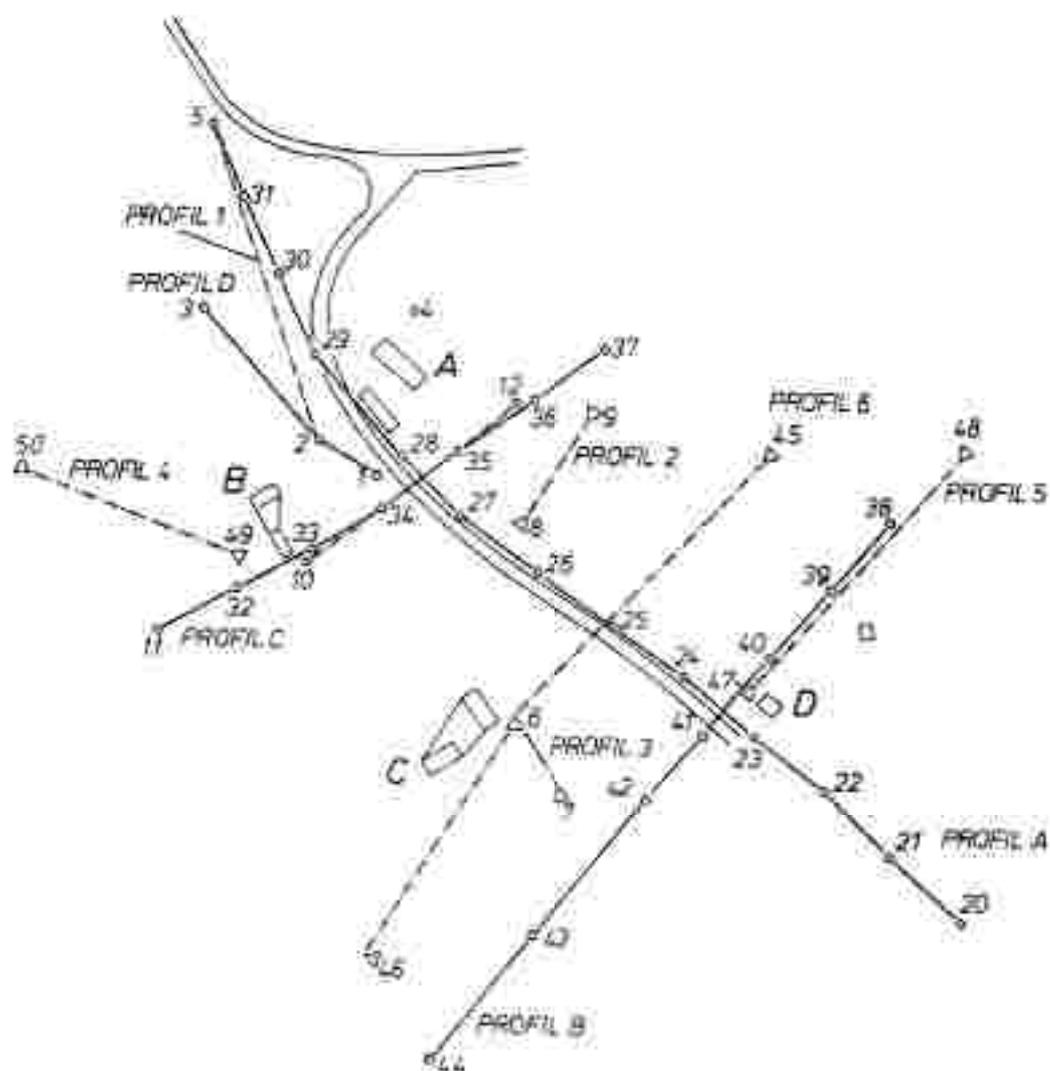
**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

*Geophysik-Projekt StA 33*

*Untersuchungsgebiet Holzbaueregg*

*Lageplan*





**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

Geophysik-Projekt St.A 33

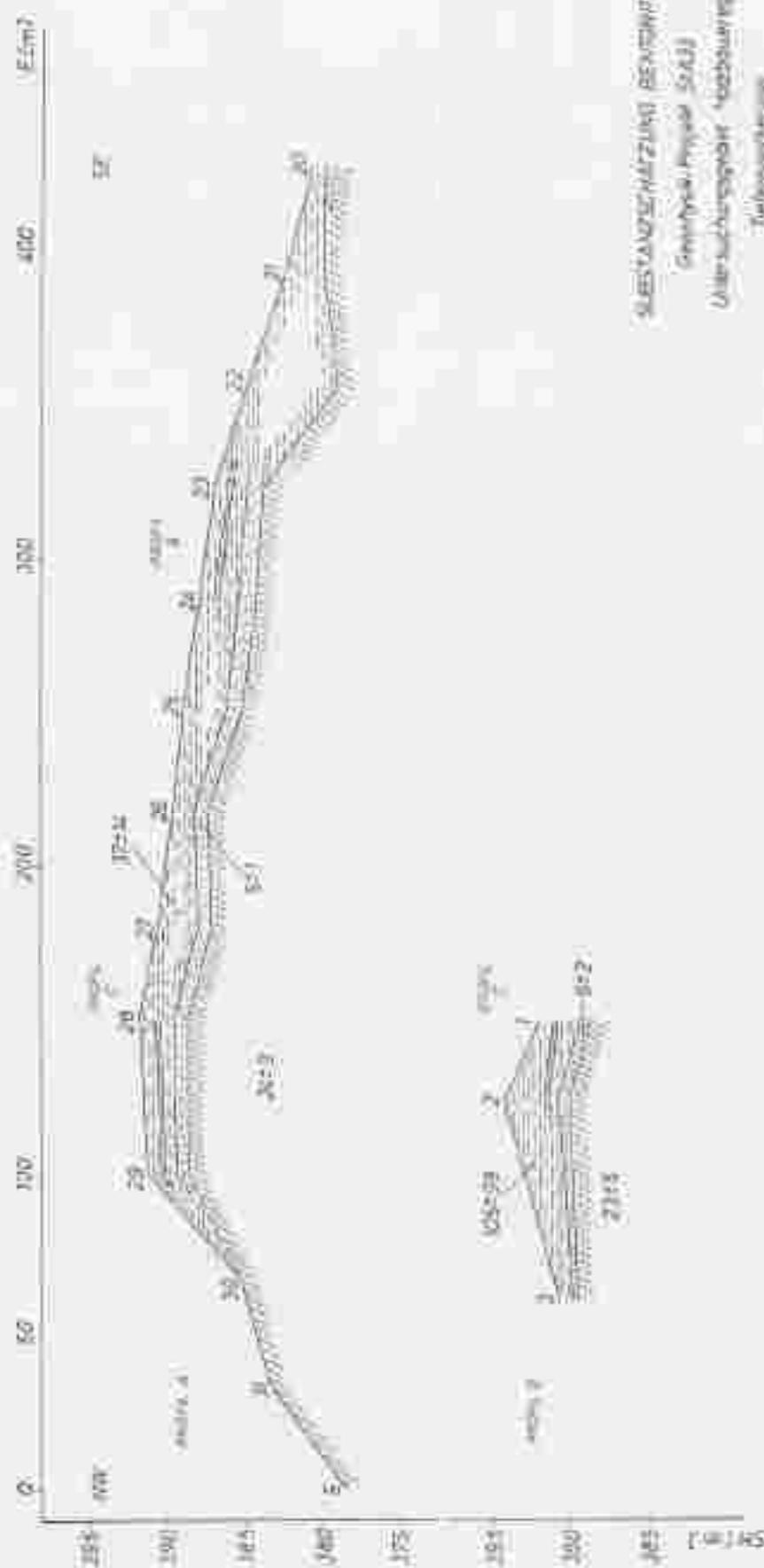
Untersuchungsgebiet Holzbaueregg

Lageplan, Profile

Dezember 1982

H. Aigner

0 20 40 60 80 100m



SLEISKANTZSCHÄTZUNG BEWERTUNGS  
 Geophysikalische S.A.G.  
 Untersuchungsgebiet "Koblenzberg"  
 Tiefenänderung  
 Pflanze 40  
 Zeilen 100 100



SUBSTANZSCHÜTZUNG BENTONITE

Geotechnik-Praxis 1/2023

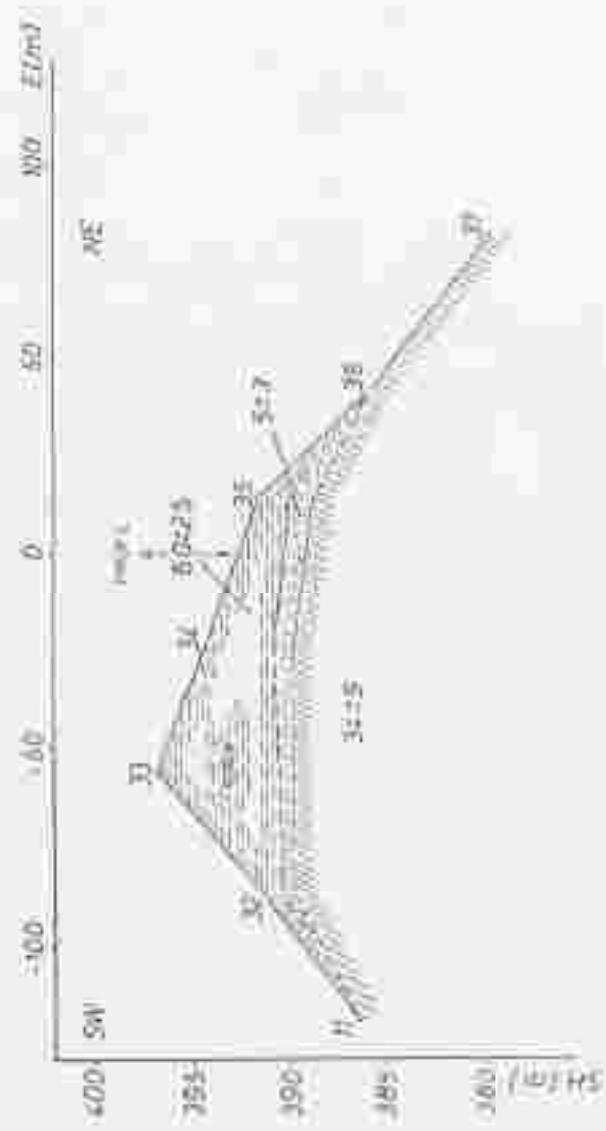
Umwelt- und Wasserbau

Tiefenänderung

Praxis 2

Baujahr 2023

1. April



STÄBTANGSCHÜTZUNG, BECKENKANTE

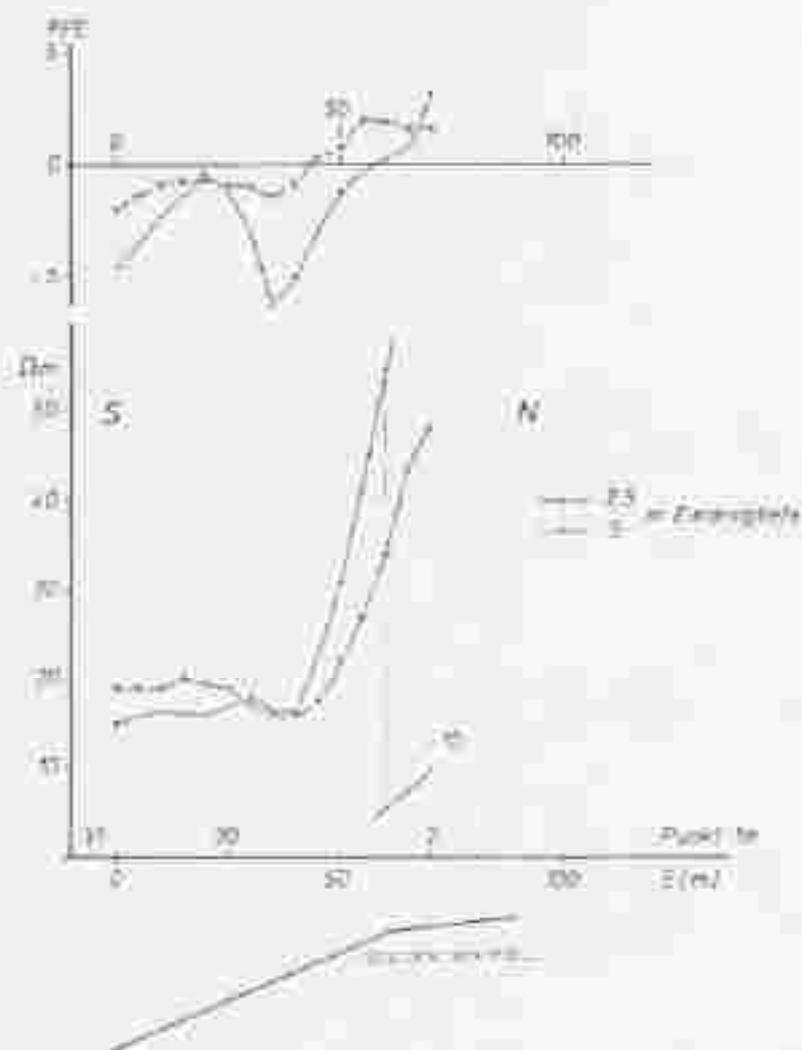
Druckloch-Niveau: S14,33

Umbo-Lagerungsbereich, Nordost-Becken

Tiefenänderung

PROFIL

Geometrie: 100' : 1:100m



**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

Geophysik-Projekt StAZI

Untersuchungsgebiet Holzbovenegg

IR-Kartierung

Profil 1

Dezember 1987

HAiger



**SUBSINKEN/SCHWÄCHUNG: BEISPIELE**

Geophysik - Physik / Seite 22

Gilbertschürungssystem; Hochschneeferner

Wolkenturm  
Friedl C  
Landsberg  
Hofgasse



**SUBSTANZSCHÄTZUNG BEWÄHRTE**

Geologisch-Projekt: St. 3.3  
 Untertageausgebäude / Holzbohlenweg

Planierung  
 P. H. J. A.  
 Januar 1987

U. J. J. J.



SWISS ANSCHAUUNG BEITRÄGE

Geophysikal. Projekt SL433

Unterrichtsstoffgeber / Vorlesung

A. Hartmann

Profil C2

Assessable

reiger



STREIFENSCHÜTTUNG: BENTONITE

Geologisch-Projekt: S14.3D

Untersuchungsgebiet: Heizbillerogg

Fr. Kartierung

Polize 2.1

Datum: 08.11.2018



STOFFANWENDEUNG UND BEZUGSWEISE

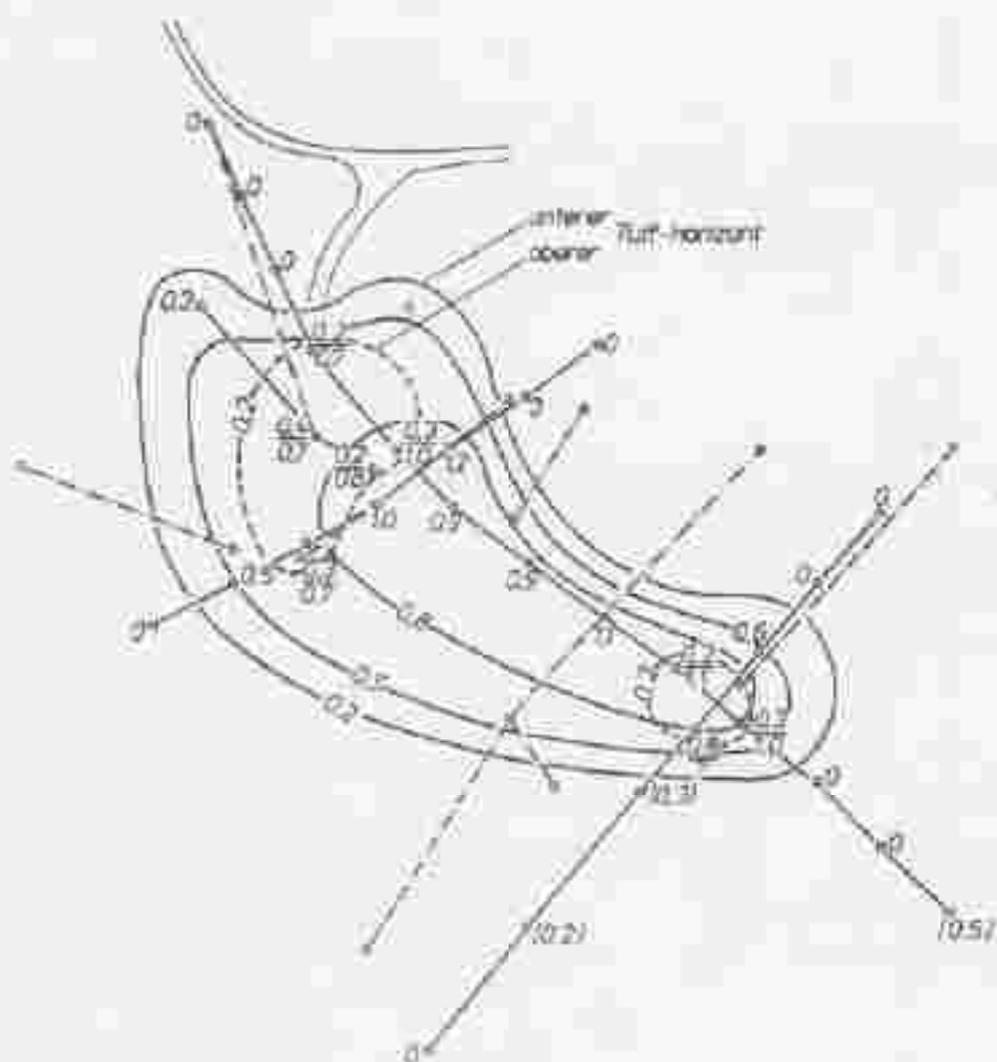
Geschichte/Fabrik (Stoff)

Untersuchungszweck / Auswertung

Anforderung

PROBEN

Sammlung / Name



**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

Geophysik-Projekt STA33

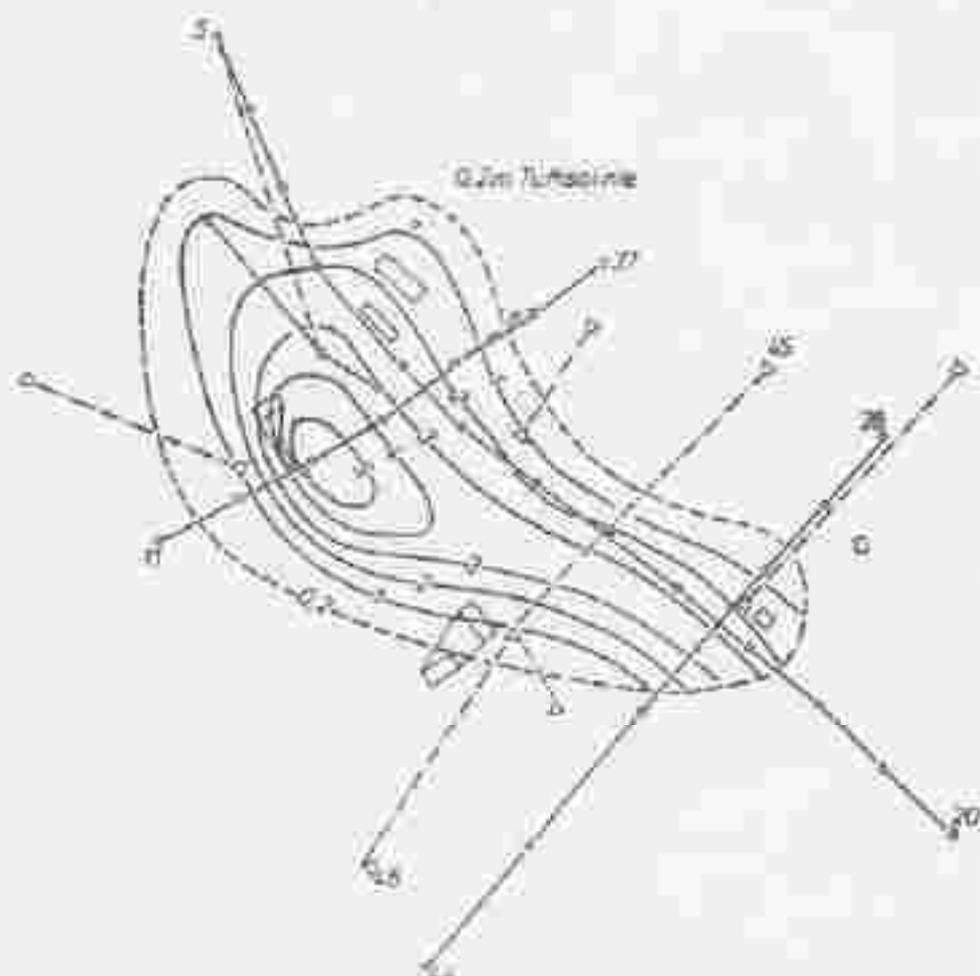
Untersuchungsgebiet Holzbaueregg

Tuff-Isopachen

Dezember 1982

H. Aigner

0 20 40 60 80 100m



SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE

Geophysik-Projekt SIA 33

Untersuchungsgebiet Holzbaueregg

Überlagerungs-isopachen des Basis-Horizontes

Dezember 1982

H. Aigner

0 20 40 60 80 100m



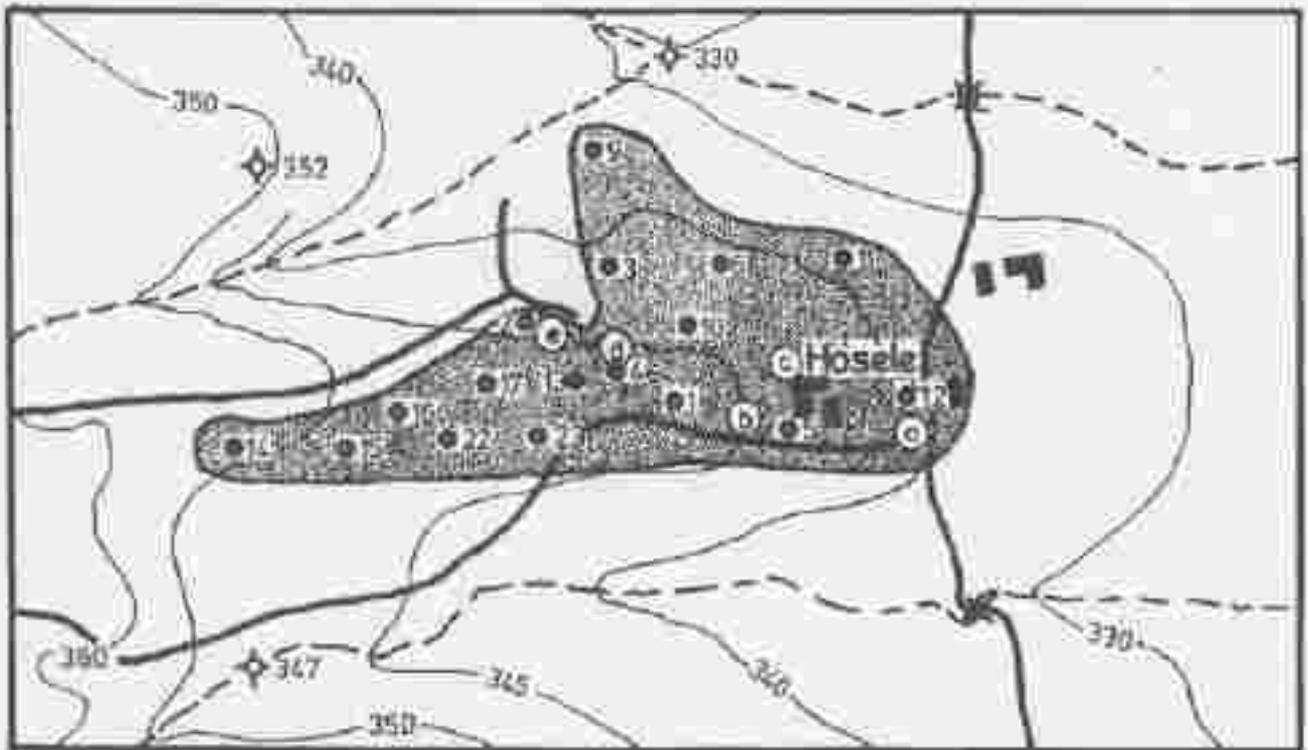
## SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE

Geophysik-Projekt StA 33

Untersuchungsgebiet Ruzendorf

Lageplan





ⓐ - ⓔ Aufschlüsse 1978      ● 1-23 Bohrungen 1942

*SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE*

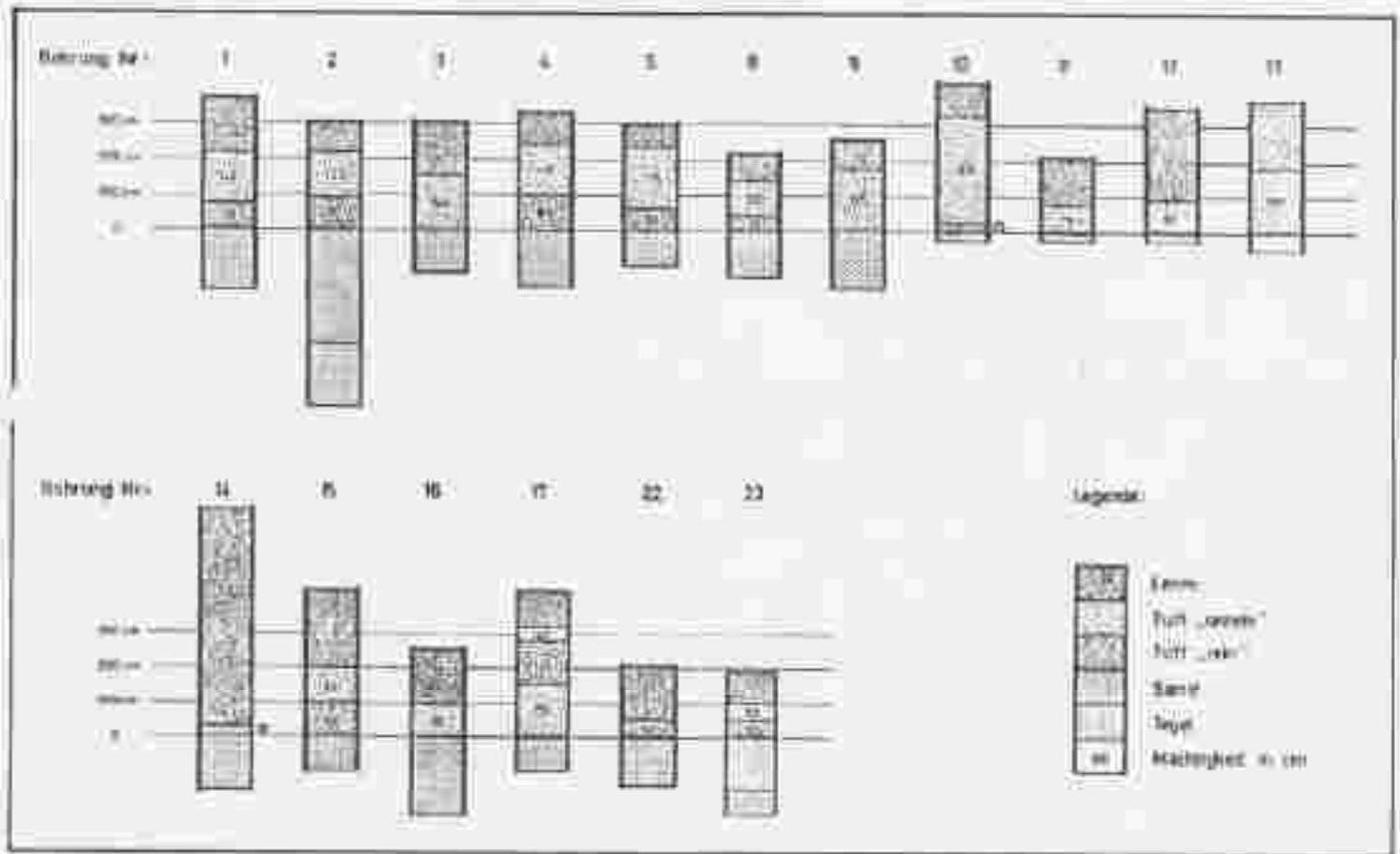
*Geophysik-Projekt St.A 33*

*Untersuchungsgebiet Ruzendorf*

*Tuff-Vorkommen*

*0 50 100 150 200 250 m*



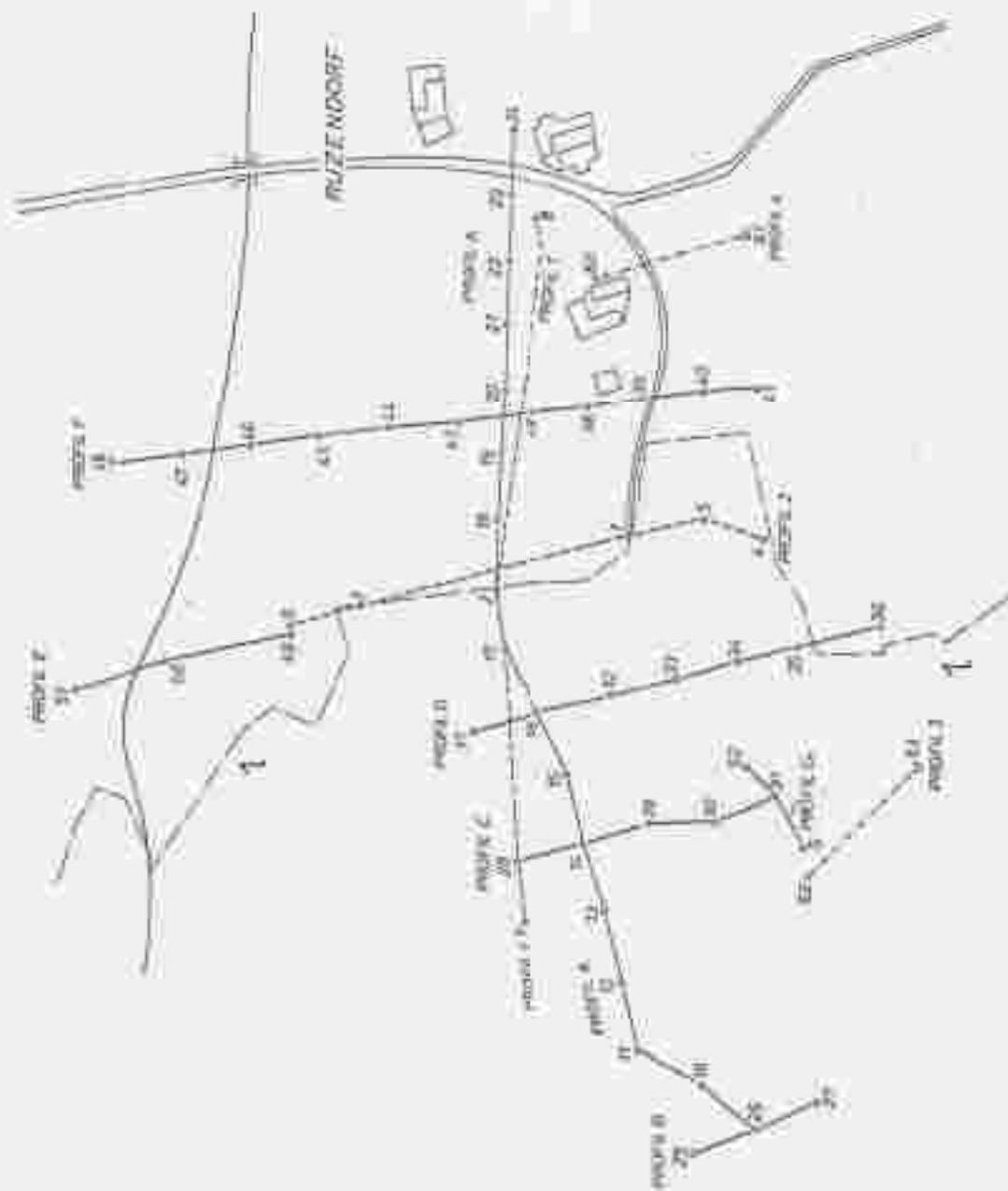


*SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE*

*Geophysik-Projekt StA 33*

*Untersuchungsgebiet Ruzendorf*

*Bohrprofile*



SUBSTANZSCHÄTZUNG BEKONDRITE

Geologisch-Polytech. St. 6.33

Untersuchungsgebiet: Ruzendorf

Legende: Profile

Datum: 1982 H. Mayer

0 20 40 60 80 100m





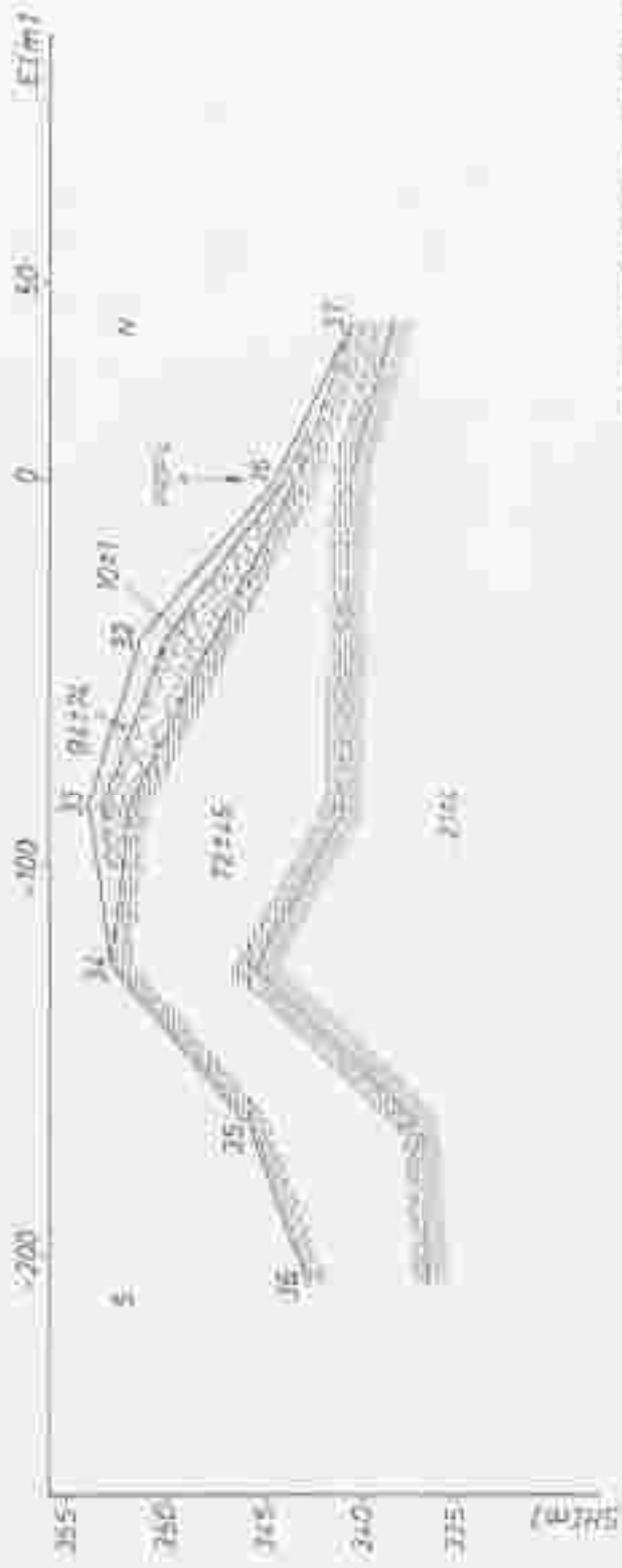
SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE

Geologische Prognose Südring  
 Untersuchungsgebiet: Ruppelshausen

Feldzeichnungen

Plan 1:10.000

Blatt 1:10.000



SUBSTANZSCHÜTTUNG BENTONITE

Geotechn.-Projekt 30432

Umweltungsgeol. Flurwüst

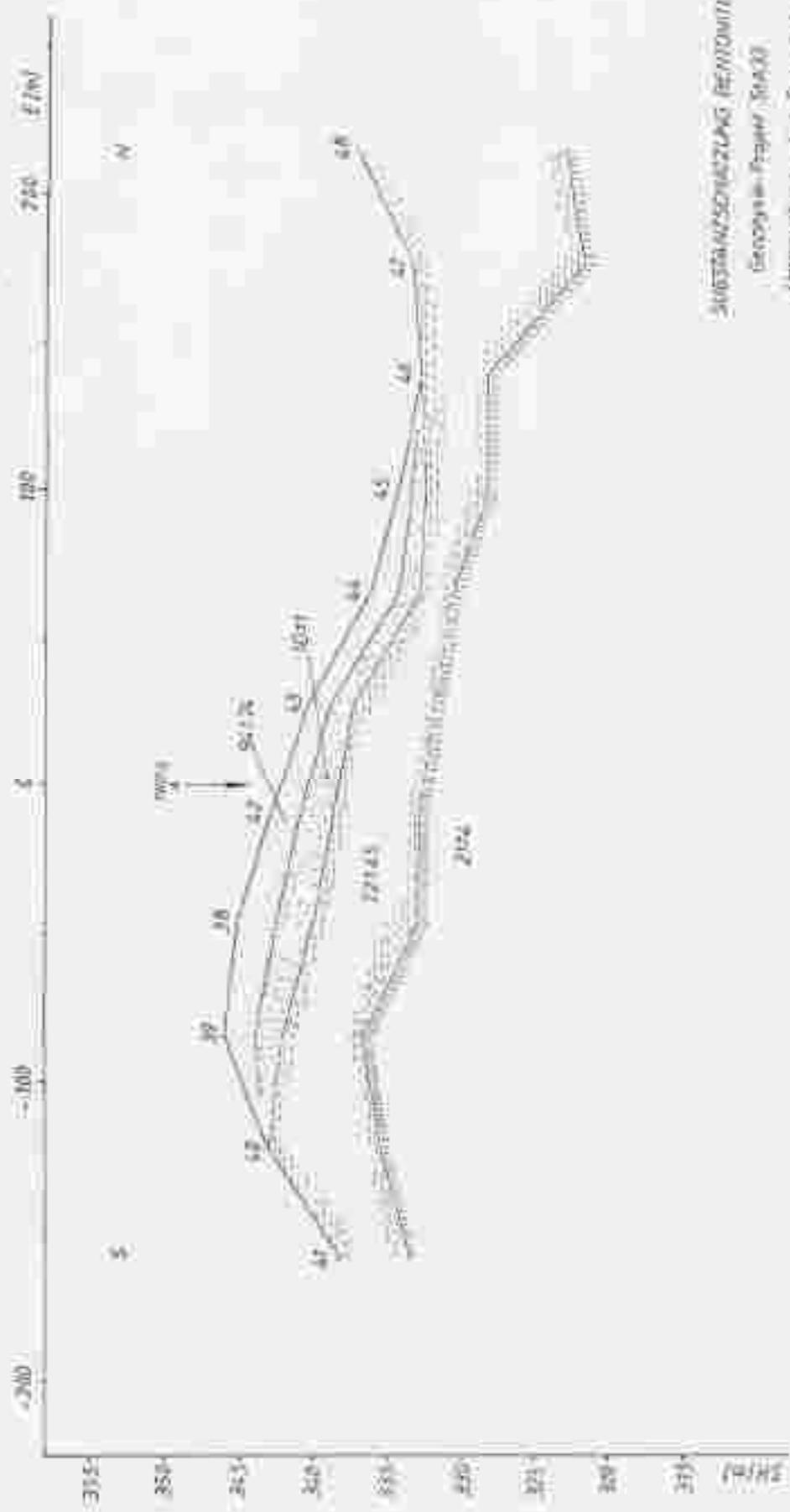
Lehrveranstaltung

Prüfung

Gruppe 100 Seite



SUBSTANZSCHÄTZUNG BEYHONITE  
 Geophys.-Projekt SA4.22  
 Untersuchungsgebiet: Fundort  
 Tiefenbohrung  
 Profil E  
 Nummer 100 1:1000



SUBSTANZSCHÜTZUNG BENTONITE  
 Geosynthes-Papier (SAGG)  
 Umhüllungsgelat. Kunststoff  
 Tiefenabdichtung  
 Profil K  
 Bohrer 307      Kette



UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG

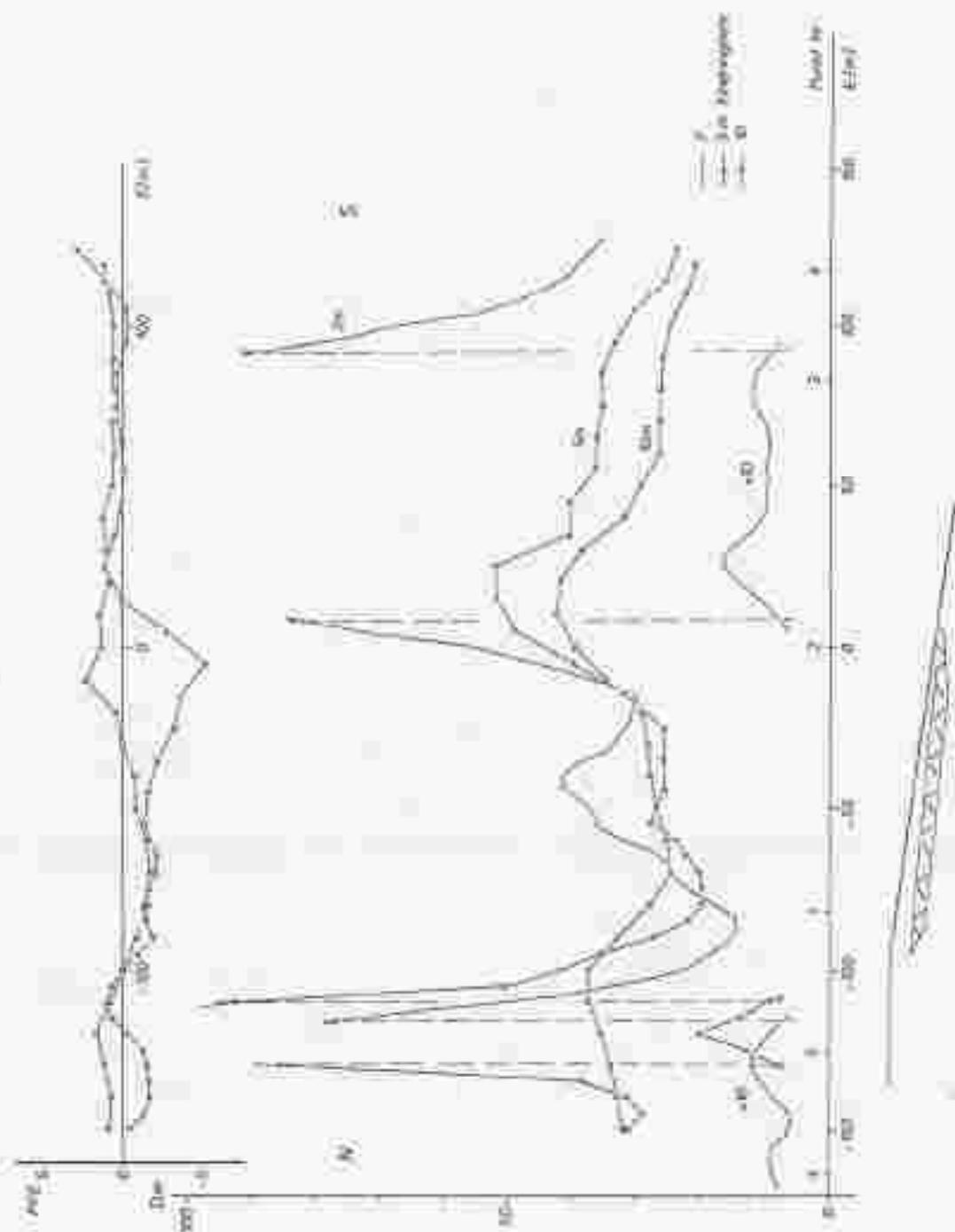
Geophysikalische Str. III

Herrschingplatz München

Komb. P. K. Schreyer

1971/72

Lehrstuhl für Lager



**STREIFENSCHÜTZUNG BENTONITE**  
 Geotechn. Projekt: S14-3D  
 Untersuchungsgebiet: Rürndörf  
 B und W-Kartierung  
 Blatt 2  
 Datum: 2011     N. Kiper



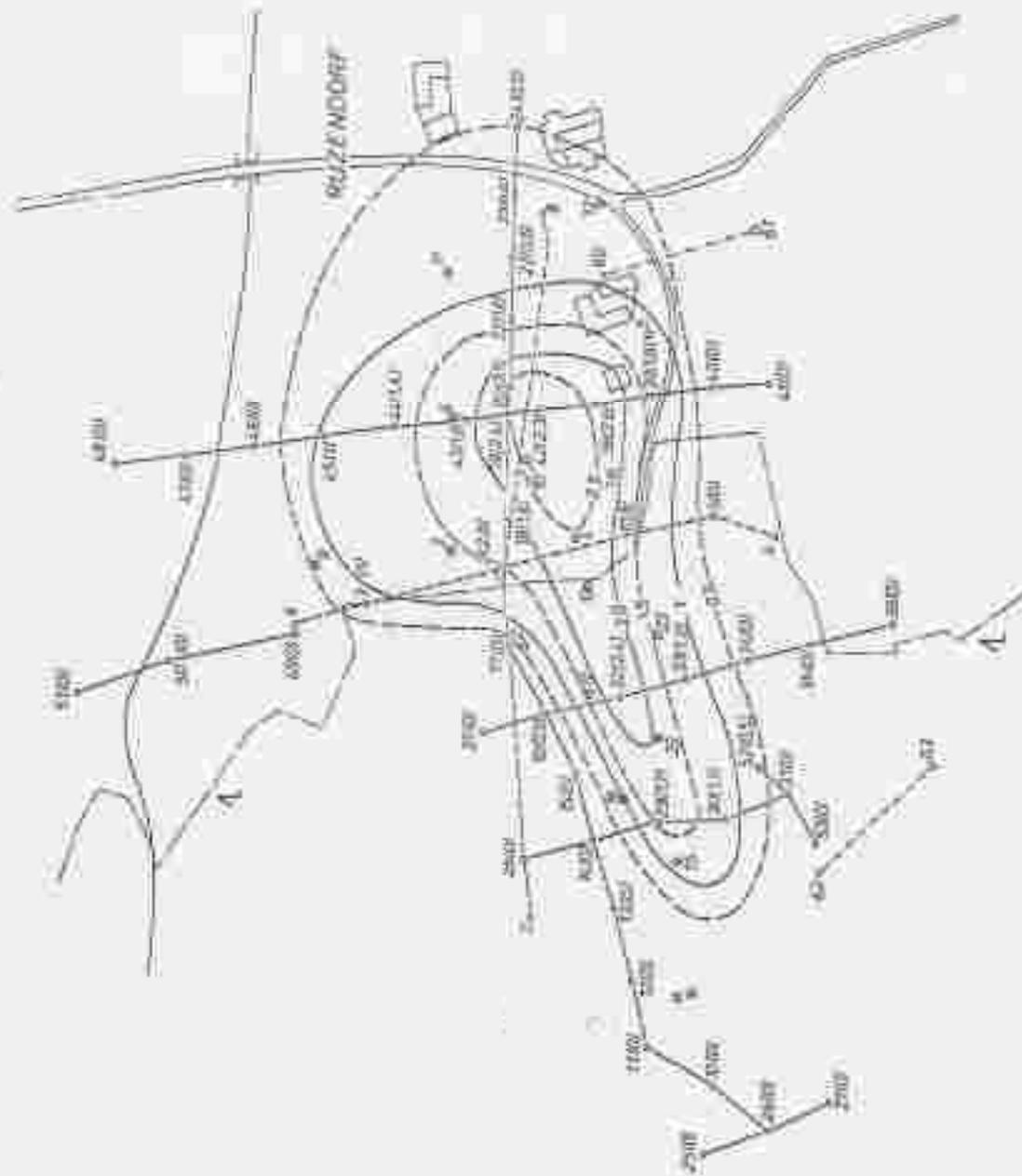
SUBSTANZ-NUTZUNG BENTONITE

Geologisch-Ingenieur STATZ  
 Untersuchungsstelle München

R-Kartusche

Probe Nr. 34

Gelesen von Hagen

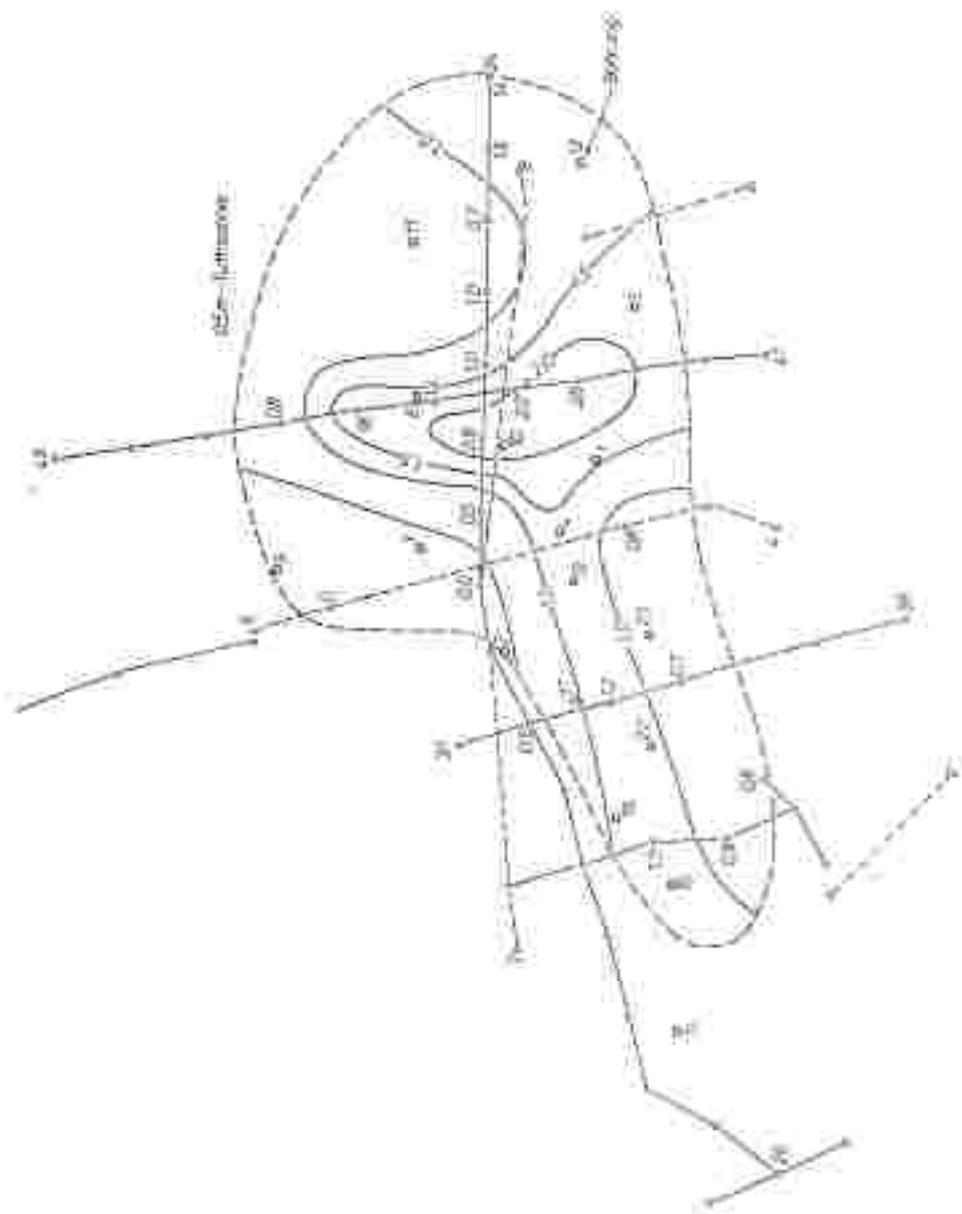


SUBSTANZSCHÜTZUNG BEZIRKSGEMEINSCHAFT  
 Geophysik-Projekt 51433  
 Untermachungsgewölbe Ruzendorf

1:111,500

Querschnitt 111,500

0 25 50 75 100m



**SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE**

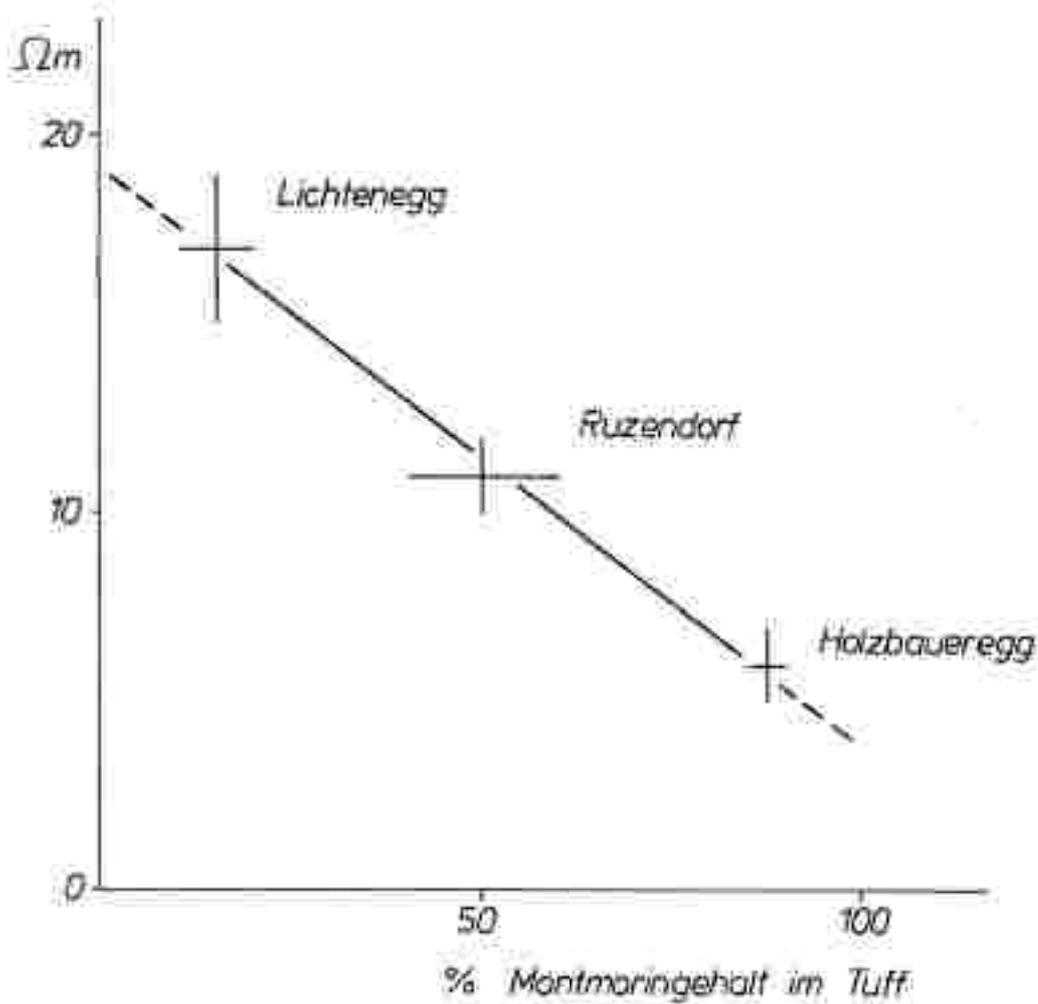
Geologische Projekt SIA 72

Untersuchungsgebiet Ruzendof

Überlagerungsblätter

Blatt 102 / Blatt 103

Blatt 104 / Blatt 105



## SUBSTANZSCHÄTZUNG BENTONITE

Geophysik-Projekt StA 33

Zusammenhang

Widerstand-Montmorillingehalt

Dezember 1982

H. Aigner