



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

## **Einsatzmöglichkeiten von Georadar (GPR) zur Erkundung des Epikarsts in Karstwasser Einzugsgebieten**

angestrebter akademischer Grad

**Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)**

Verfasser: Markus Meissl

Matrikel-Nummer: 9949699

Studienrichtung: Geologie (Studienzweig A - 431)

Betreuer: Univ. Prof. Mag. Dr. Bernhard Grasmann

Wien, am 3. November 2009



Die vorliegende Arbeit wurde mit finanzieller Unterstützung der Wiener Wasserwerke (MA 31) erstellt.



**W I E N E R  
WASSERWERKE**



## VORWORT

Die ausreichende Versorgung von Ballungszentren mit qualitativ hochwertigem Trinkwasser wird weltweit zu einer immer größeren Herausforderung. Deshalb ist es von enormer Bedeutung die vorhandenen Trinkwasserreserven zu schützen.

Einige große Siedlungsräume in Europa wie z.B. auch Wien beziehen das Trinkwasser aus Karstgebieten. Karstwassersysteme reagieren sehr sensibel und schnell auf Umwelteinflüsse und sind deshalb besonders schützenswert.

Wien als Großstadt ist in der glücklichen Lage über ausreichende Trinkwasserreserven zu verfügen, die sich durch eine sehr hohe Wasserqualität auszeichnen. Die langfristige Sicherung dieser hohen Qualität ist eine wesentliche Aufgabe der Wiener Wasserwerke.

Um im Bedarfsfall wirksame Schutzmaßnahmen ergreifen zu können, ist es notwendig, die hydrogeologischen Vorgänge in den Einzugsgebieten zu verstehen.

Meine Arbeit soll dazu einen Beitrag leisten, die Vorgänge in den oberen Horizonten des Karstsystems besser erfassen zu können.



## DANKSAGUNG

Meine Diplomarbeitsbetreuer Univ. Prof. Mag. Dr. Bernhard Grasemann und Dr. Lukas Plan sind mir mit viel persönlichem Einsatz, Geduld und Fachwissen zur Seite gestanden. Sie haben wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Dafür möchte ich mich herzlich bedanken. Bei den Wiener Wasserwerken (MA31), namentlich durch Dr. Gerhard Kuschnig vertreten, möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung bedanken. Die erforderlichen Geräte für die Messungen wurden von der Technischen Universität Wien, Ao.Univ.Prof.iR. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl-Heinz Roch, zur Verfügung gestellt. Bei Martin Andert bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit und die bereitgestellten Unterlagen.

Bei meinen Studienkollegen und Freunden bedanke ich mich besonders, dass sie mich auf diesem Weg begleitet und mir in schwierigen Momenten Mut zugesprochen haben

Meine Freundin Ulli Kloiber hat es geschafft, mir mit schier unermüdlicher Ausdauer in allerlei Fragestellungen vor allem im letzten Abschnitt meines Studiums mit viel Geduld und Ambition weiterzuhelfen. Sie hat daher viel zum guten Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern für das Vertrauen, das sie mir entgegen gebracht haben, bedanken. Sie haben mir durch ihre persönliche und finanzielle Unterstützung eine facettenreiche Ausbildung ermöglicht.

DANKE!



# INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	XI
ABSTRACT	XIV
<b>1 ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 DER EPIKARST</b>	<b>3</b>
<b>3 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET</b>	<b>8</b>
3.1 Geographische Lage	8
3.2 Geologie	9
3.3 Karstmorphologie	13
<b>4 METHODIK</b>	<b>15</b>
4.1 Bodenradar	15
4.1.1 Beschreibung des Verfahrens	15
4.1.2 Beschreibung des Geräts	16
4.2 Auswahl der Profile	17
4.3 Messvorgang	18
<b>5 EPIKARST IM ERKUNDUNGSGEBIET</b>	<b>21</b>
<b>6 ERGEBNISSE</b>	<b>24</b>
6.1 Profil 1	25
6.1.1 Morphologie und Geologie	28
6.1.2 Boden	29
6.1.3 Messergebnisse	30
6.2 Profil 2	43
6.2.1 Morphologie und Geologie	44
6.2.2 Boden	46
6.2.3 Messergebnisse	47
6.3 Profil 3	48

6.3.1	Morphologie und Geologie	49
6.3.2	Boden	50
6.3.3	Messergebnisse	51
6.4	Profil 4	53
6.4.1	Morphologie und Geologie	55
6.4.2	Boden	56
6.4.3	Messergebnisse	57
6.5	Profil 5	59
6.5.1	Morphologie und Geologie	60
6.5.2	Boden	61
6.5.3	Messergebnisse	62
6.6	Profil 6	62
6.6.1	Morphologie und Geologie	63
6.6.2	Boden	64
6.6.3	Messergebnisse	65
6.7	Doline 1 und Doline 2	67
6.7.1	Morphologie und Geologie	67
6.7.2	Boden	69
6.7.3	Messergebnisse	70
<b>7</b>	<b>INTERPRETATION</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>78</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>80</b>
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	XVII
	TABELLENVERZEICHNIS	XX
	ANHANG	XXI
	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>XXIX</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit befasst sich mit der Fragestellung in wie weit Georadar oder Ground Penetrating Radar (GPR) für die Erkundung der oberflächennahen Zone in verkarsteten Gebieten einsetzbar ist. Georadar ist eine wichtige geophysikalische Methode wobei kurze elektromagnetische Impulse in den Untergrund ausgesendet werden. Diese Wellen werden an Inhomogenitäten und Strukturen wie Störungen, Schichtgrenzen oder Hohlräumen reflektiert und an der Oberfläche wieder empfangen.

Im Fokus der Arbeit liegt der Epikarst, wobei getestet werden soll ob mit Hilfe der erhaltenen Georadardaten, Aussagen über die Mächtigkeit bzw. die Beschaffenheit des Epikarst gemacht werden können.

Der Epikarst stellt den obersten Bereich in verkarsteten Gebieten dar und definiert sich als die Zone, die sich zwischen dem Oberboden und der eigentlichen Felszone in Karstsystemen befindet. Die Wasserbewegungen in den Porenräumen und Störungen des Epikarsthorizonts spielen eine wichtige Rolle im hydraulischen Regime eines Karstmassivs und wirken sich daher auch auf die Verletzbarkeit des hydrologischen Systems gegenüber Schadstoffen aus. Darüber hinaus findet eine erhebliche Wasserspeicherung, sowie ein Großteil der Karbonatlösung in diesem Horizont statt.

Als Erkundungsgebiet wurde das Schneebergmassiv in Niederösterreich ausgewählt. Der Schneeberg befindet sich 80 km südlich von Wien und bildet das Einzugsgebiet für mehrere große Quellen. Die Erste Wiener Hochquellwasserleitung wird zum Großteil mit dem Wasser aus diesen Quellen gespeist.

Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt acht Georadarprofile aufgenommen. Sechs dieser Profile unterscheiden sich in ihren

Verkarstungseigenschaften, ihrer Morphologie, sowie an der unterschiedlichen Mächtigkeit des Oberbodens. Für die restlichen zwei Profile wurden Dolinen in die Messkampagne mit einbezogen

.

Die Messungen wurden mit einem GSSI SIR 2 Aufzeichnungsgerät in Kombination mit vier verschiedenen Antennen im Wellenlängenbereich von 40 MHz bis 500 MHz durchgeführt. Die erhaltenen Daten wurden mit der Software REFLEX ausgearbeitet und als Radargramme dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei Messungen mit dem Georadar, Strukturen wie Schichtgrenzen und Störungen in verkarsteten Gebieten erkennbar sind. Messungen unter verschiedenen Wetterbedingungen zeigen, dass die Feuchtigkeitssättigung des Bodens einen wichtigen Einfluss auf die Ergebnisse hat. Messungen unter feuchten, nassen Bedingungen zeigen deutlich mehr Reflexionen in den höheren Horizonten, während Messungen, die nach längerer Trockenheit durchgeführt wurden, mehr Reflexionen in tieferen Bereichen zeigen. Die Radargramme legen weiters dar, dass die Mächtigkeit des Oberbodens einen relativ großen Einfluss auf die mögliche Eindringtiefe der Wellen hat.

Es wurden Messungen an verschiedenen Tagen mit ähnlichen Wetterbedingungen durchgeführt. Die bei diesen Messungen gewonnenen Daten waren sehr ähnlich und sehr gut miteinander vergleichbar. Diese dadurch gewonnenen Ergebnisse mit dem Georadar sind reproduzierbar und ermöglichen, dass zeitabhängige Veränderungen im Untergrund gut beobachtet und untersucht werden können. Auf den Radargrammen, lässt sich sehr gut ein deutlicher Epikarsthorizont erkennen.

Zusammenfassend hat sich das Georadar als sehr gute Methodik bewährt, um im Untergrund verborgene Strukturen, Störungen und Hohlräume nachweisen zu können. Da Georadar zerstörungsfrei arbeitet, ist seine Anwendung vor allem in gefährdeten und empfindlichen Gebieten

geeignet, wie z.B. in Karstlandschaften die zur Wasserversorgung genutzt werden.

## ABSTRACT

Ground penetrating radar (GPR) is an important geophysical method to investigate the subsurface using very short electromagnetic pulses that are radiated into the ground and reflected back to the surface due to inhomogeneities caused by structures and boundaries. The uppermost zone of the karst system – the epikarst - is defined as the interface zone between soil and rock in karst landscapes where water movement and storage in small voids appear to play an important role in the hydrologic regime and vulnerability of karst aquifers. Moreover, a significant amount of water is stored and most of the carbonate dissolution takes place in the epikarst.

Hence, the aim of this feasibility study is to investigate if GPR can be used to derive information of the thickness and storage capability of the epikarst. The study was carried out on the Schneeberg karst plateau (80 km south of Vienna, Austria), which is the catchment area for major springs of the first Viennese water supply pipeline (e.g. the Kaiserbrunn spring). This plateau offers several karst landscapes with different karst features within a narrow bound, e.g. zones with high doline density and karren fields, areas with glacial overprinting versus palaeo-landscaps, as well as compact and fractured karst rocks and made it an ideal study area.

Profiles were measured with a GSSI SIR 2 device in combination with antennas with different main frequencies (Range 40 MHz to 500 MHz) and processed with REFLEX Software. Using different main frequencies gives the possibility to explore different depths, ranging from a few meters down to about 40 meters with different resolutions. Eight profiles with different characteristics, e.g. different karst features or a varying thickness of the topsoil, were selected to be investigated. Field studies and data acquisition were realized at different weather conditions and therefore, different degrees of humidity saturation were to be expected in the investigated area. The measurements were partly done in discrete

stacking mode (point mode) and continuous mode. The results were compared to realize which method gives better results under the different characteristics of the profiles.

The results show that structures like fractures and cavities in the epikarst can be clearly detected by GPR. Field data acquisition under different weather conditions reveal that humidity saturation is an important parameter when subsurface fractures on the karst plateau are imaged. Profiles measured at wet conditions show more significant reflections in the upper part of the record, whereas measurements at dry conditions show more reflections in the bottom part. Furthermore, the amount of topsoil seems to be an important parameter especially under wet conditions.

Repeated measurements on different comparable days show that the method is well suited for obtaining reproducible results. Therefore it is possible to reveal changes with time especially in the epikarst zone. Our results indicate that there is a significant amount of the epikarst in our profiles. But to classify the results we derived by our GPR study it is important to recognize that additional drilling at our profiles would be necessary to correlate the results.

In conclusion, our study clearly demonstrates that GPR is a non destructive method that can be used to produce a crosssectional image of structures and features buried in the ground, especially in sensitive karstic areas.



# 1 ZIELSETZUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Die Bedeutung von Karstgrundwässern als Quelle für die Trinkwasserversorgung von Siedlungsgebieten bekommt immer mehr Bedeutung in vielen Ländern. Aus diesem Grund wird es immer wichtiger die genauen Vorgänge und Abläufe im Karstsystem zu verstehen, um dieses im Bedarfsfall zielführend und besser schützen zu können.

Der Epikarst ist ein entscheidender Faktor bei den hydrogeologischen Vorgängen im Karstsystem. Daher stellt sich seit längerem die Frage wie man diesen Horizont und die Vorgänge darin besser erforschen kann. Zu diesem Thema wurden bereits Studien in verschiedenen Karstlandschaften mit diversen Methoden (u.a. Tracerversuche) durchgeführt.

Diese Arbeit stellt eine Machbarkeitsstudie über die Einsatzmöglichkeit des Georadars in verkarsteten Gebieten für die Wiener Wasserwerke (MA 31) dar, und untersucht, ob mit der geophysikalischen Methode des Georadars wertvolle Aussagen über den Zustand und die Mächtigkeit des Epikarst getroffen werden können.

Zu diesem Zweck wurden Profile am Schneebergplateau mit verschiedenen ausgeprägten hochalpinen Karstlandschaftstypen ausgewählt. An diesen Profilen wurden Messungen unter verschiedenen Witterungsverhältnissen und mit unterschiedlicher Wassersättigung des Bodens durchgeführt und miteinander verglichen. Das Messen mit Antennen unterschiedlicher Wellenlänge ermöglichte darüber hinaus, dass Radargramme mit unterschiedlicher Tiefenausdehnung und unterschiedlicher Auflösung erstellt werden konnten.

Das Projekt wurde in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Wien durchgeführt. Die gewonnenen Rohdaten wurden im Zuge einer zweiten Diplomarbeit prozessiert. Diese Diplomarbeit wird am Institut für

Geodäsie und Geophysik (TU Wien) von Martin Andert erstellt, betreut von Ao.Univ.Prof.iR. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl-Heinz Roch. Die in dieser Arbeit verwendeten Radargramme wurden von Martin Andert zur Verfügung gestellt.

## 2 DER EPIKARST

Ein Karstkörper wird generell in drei Zonen eingeteilt (Abbildung 1), die sich anhand ihrer hydrogeologischen Eigenschaften unterscheiden. Man spricht von der Karstoberfläche, dem Epikarst und dem Endokarst. Die tiefste Zone, der Endokarst, wird weiters in die Vadose Zone, Hochwasser- oder Epiphreatische Zone und Phreatische Zone unterteilt.

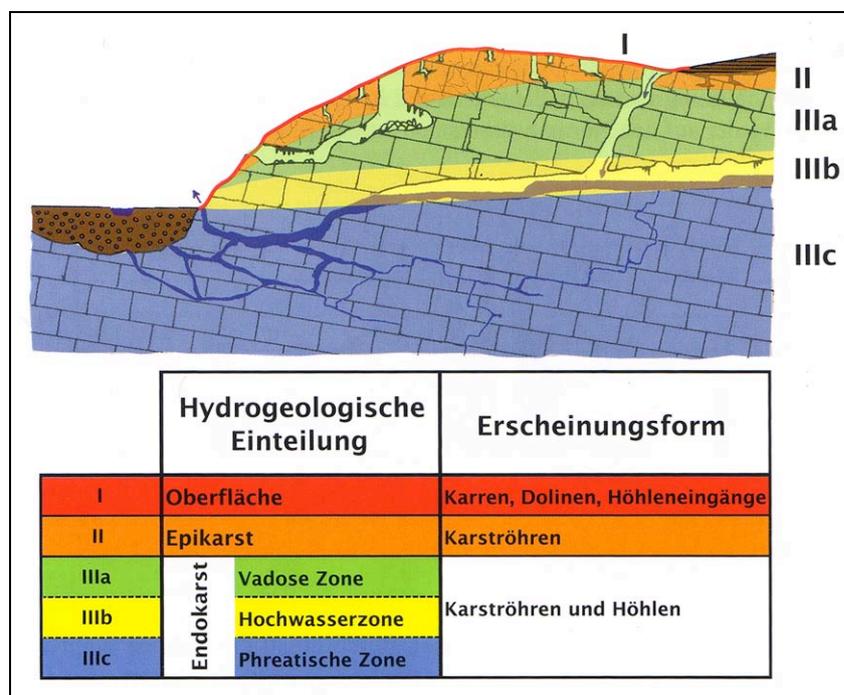


Abbildung 1: Einteilung des Karstkörpers (Quelle: Filipponi, 2006).

Als Epikarst wird die höchste Zone im Karstsystem bezeichnet. Sie ist definiert als interaktive Zone zwischen dem darüber liegenden Oberboden und dem darunter liegenden massiven Felshorizont. Sollte kein Oberboden vorhanden sein spricht man vom Epikarst als jener Zone, die zwischen dem Felshorizont und der Oberfläche liegt (Abbildung 2). In der Literatur wird für den Epikarst auch oft der Begriff „Subkutane Zone“ verwendet.

Nach Klimchouk (2004) ist Epikarst *“the uppermost weathered zone of carbonate rocks with substantially enhanced and more homogenously distributed porosity and permeability, as compared to the bulk rock mass below”*.

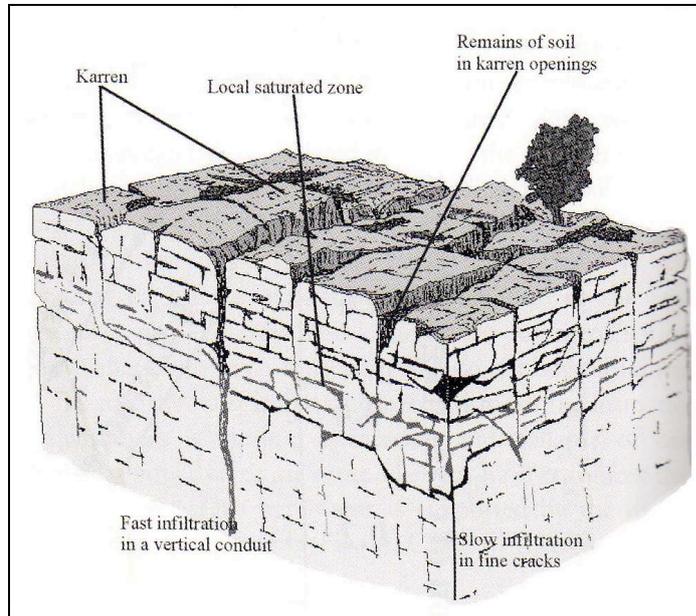


Abbildung 2: Epikarst mit fehlendem Oberboden (Quelle: Culver and White, 2005: 220).

Früher war die gängige Meinung, dass die Entstehung von Epikarst auf eine erhöhte Karbonatlösung in den obersten Karsthorizonten zurückzuführen ist. Heute weiß man, dass für die Bildung von Epikarst weitere, wichtige Faktoren wie (1) Druckentlastung (sheeting joints), (2) Verwitterung und (3) diverse Lösungsvorgänge entscheidend sind.

Diese Faktoren für sich und in Kombination haben einen entscheidenden Einfluss auf die Ausprägung des Epikarsthorizonts. So führt eine Druckentlastung in diesem Horizont zu einer erhöhten Trennflächendichte, und durch einen vermehrten Eintrag von organischem Material aus dem darüber liegenden Oberboden kommt es zu einer vermehrten Anreicherung von Kohlendioxid. Aufgrund der dadurch konzentrierten Kohlensäure findet ein Großteil der Karbonatlösung in dieser Zone des Karstsystems statt und führt wiederum zu einer Erweiterung der Trennflächen, wodurch die Permeabilität und sekundäre Porosität des Epikarst stark erhöht werden.

Die Horizontmächtigkeit des Epikarst variiert sehr stark beträgt aber im Regelfall von wenigen Dezimetern bis zu 10 bis 15 m.

Bei der Entstehung von Epikarst sind folgende Faktoren maßgeblich entscheidend (Vgl. Klimchouk, 2004):

- Beschaffenheit und Mächtigkeit des Oberbodens
- lokale Topographie (Krümmung)
- Zusammensetzung, Struktur und Textur des umgebenden Gesteins, sowie tektonische Strukturen und die Lithostratigraphie speziell in den obersten Schichten
- Entwicklungsgeschichte

Die genannten Faktoren variieren mit der Zeit und stehen zueinander in komplexer Beziehung.

Einer der größten Unterschiede zwischen dem Epikarst und dem darunter liegenden Felshorizont liegt in der Porosität.

Die hohe Porosität im Epikarst, diese kann bis zu 10 % betragen, steht im großen Kontrast zu der geringeren Porosität und Permeabilität des darunter liegenden Felsbereichs. Dieses Ungleichgewicht ist von großer Bedeutung für die hydrologischen Vorgänge im Karstsystem.

Die Infiltration in das Karstsystem kann generell auf zwei Arten erfolgen. Es gibt die Möglichkeit der schnellen und punktuellen Infiltration über Strukturen wie zum Beispiel Dolinen (Sinkholes) und Schwinden (Ponore) oder die Infiltration über das Epikarstsystem. Bei einer Zwischenspeicherung der Oberflächenwässer im Epikarst ist die Infiltration ins Karstsystem deutlich verzögert. Ein Teil dieser Wässer dringt nicht in das Karstsystem ein sondern wird wieder an Pflanzen abgegeben. Teilweise fließen die Wässer durch die feinen Klüfte des Epikarst und werden so erst langsam in das darunterliegende Karstsystem abgegeben. Bei einer Übersättigung des Epikarst (z.B. nach starken Regenfällen)

kommt es auch vor, dass ein Teil der Wässer schneller abgegeben wird und somit deutlich rascher in das Karstsystem infiltriert. (Abbildung 3).

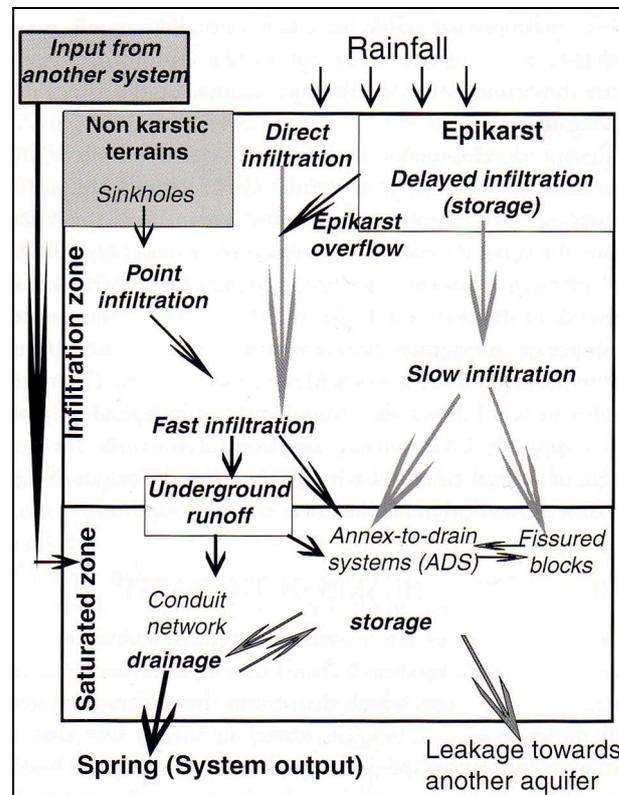


Abbildung 3: Infiltrationsvorgänge im Karst (Quelle: Culver and White, 2005: 221).

Der Epikarsthorizont ist einer der wichtigsten Speichersysteme für Oberflächenwässer im Karstsystem. Dies belegt auch eine Studie von Perrin (2003), in der die Speichereigenschaften von Epikarst in Karstwasserhaushalten untersucht wurden. Das Ergebnis dieser Studie zeigt, dass die Beschaffenheit des Oberbodens und die Mächtigkeit des Epikarst wichtige Parameter für das Verhalten und die Speicherung von Wässern im Karstsystem sind.

Aufgrund der Abnahme der Hohlräumdichte am Übergang vom Epikarst zur Vadosen Zone, kann es in diesem Bereich zur einer Wasseranstauung kommen und es können sich eventuell hängende Wasserspiegel bilden. Diese Erscheinung wird als 'bottleneck effect' bezeichnet (Abbildung 4).

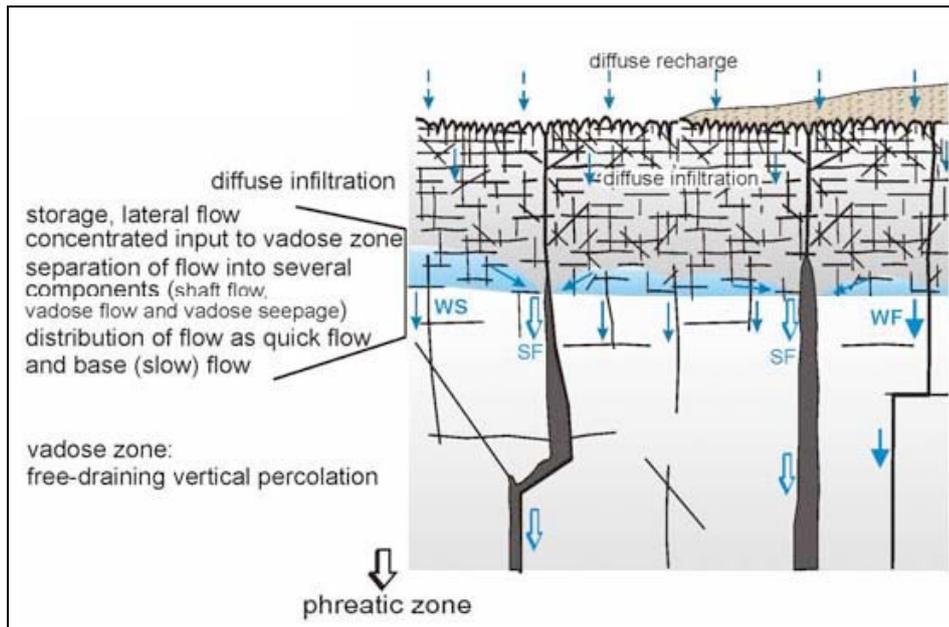


Abbildung 4: Hydrologische Eigenschaften des Epikarst (Quelle: Klimchouk, 2004).

Zusammenfassend kann man festhalten, dass der Epikarst eine entscheidende Rolle für den Wasserhaushalt in Karstsystemen spielt. Infiltrationsvorgänge und die Speicherung von Karstwässern stehen in engem Zusammenhang mit der Ausbildung und den Eigenschaften des Epikarsthorizonts. Der Epikarst ist weiters von großer Bedeutung für die Vulnerabilität von Karstwassereinzugsgebieten.

### 3 DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

#### 3.1 Geographische Lage

Für unsere Aufgabenstellung wurden zwei Erkundungsgebiete in Ostösterreich in Betracht gezogen. Die Rax und der Schneeberg sind zwei große Karstplateaus, die für die Wiener Wasserversorgung von großer Wichtigkeit sind. Aufgrund des Umfangs der eingesetzten Messgeräte und der erschwerten Zugänglichkeit des Rax Gebiets, wurde das Untersuchungsgebiet auf den Schneeberg eingegrenzt. Weiters liegen für dieses Gebiet auch sehr gute Kartierungsunterlagen vor. Die karstmorphologische Kartierung in diesem Gebiet wurde von Plan (2005) durchgeführt.

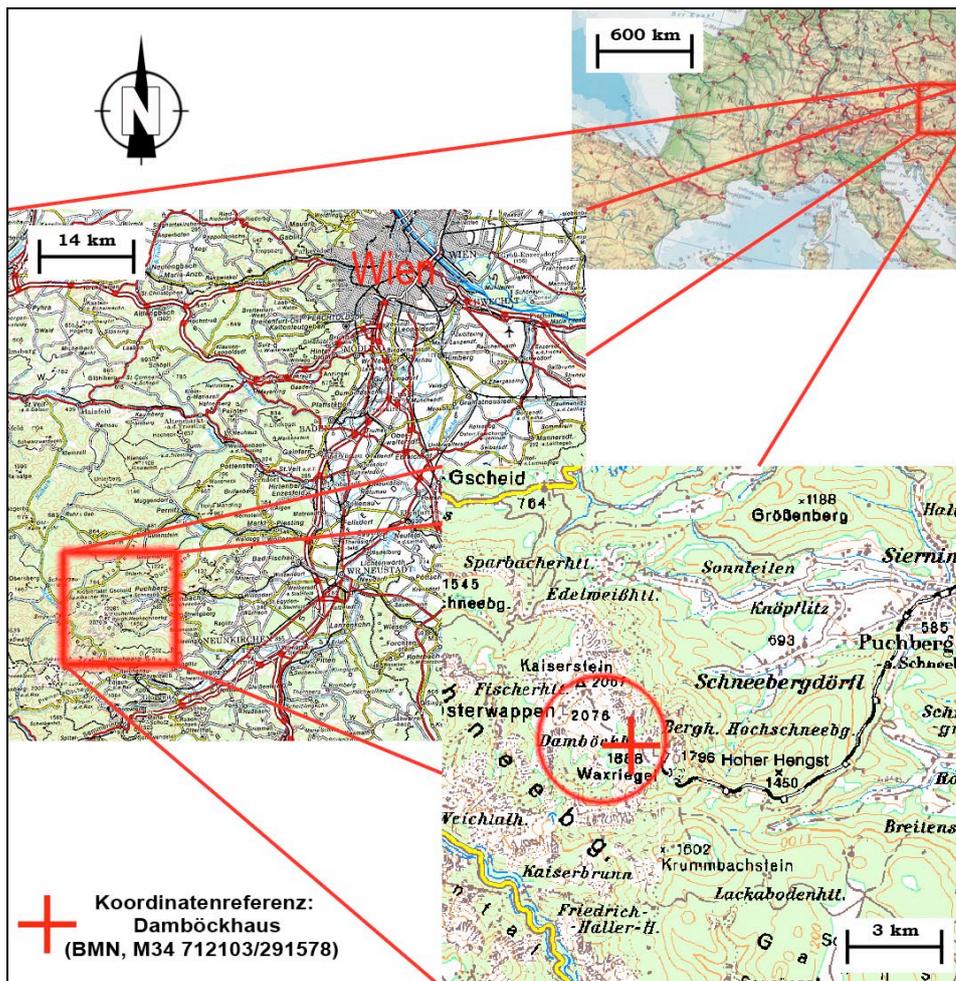


Abbildung 5: Geographische Lage des Untersuchungsgebiets.

Das Karstplateau des Schneebergs liegt ca. 80 km südöstlich von Wien (Abbildung 5) und ist das Einzugsgebiet von mehreren bedeutenden Quellen (z.B. Kaiserbrunn, Fuchspassquelle, Stixensteinquelle), die für die Wasserversorgung der Großstadt Wien genutzt werden. Die Erste Wiener Hochquellwasserleitung bezieht einen Großteil ihres Wassers aus Quellen des Schneebergs. Nicht zuletzt deshalb ist dieses Karstmassiv von hoher Wichtigkeit für die Wiener Wasserwerke, um die Wasserversorgung von Wien sicherstellen zu können.

### 3.2 Geologie

Die folgende, kurze geologische Übersicht wurde aus den Arbeiten von Lein (1977), Gsenger (2002) und Mandl (2006) zusammengefasst. Umfangreiche Zitataufstellungen finden sich in diesen Arbeiten.

Das Schneebergplateau liegt als Teil der Juvavischen Schneebergdecke in den Nördlichen Kalkalpen. Das Plateau ist aus mehr als 1000 m mächtigen Karbonatabfolgen aufgebaut. Die dominierenden Gesteine in den Nördlichen Kalkalpen sind mesozoische Karbonate während siliklastische Sedimente nur in einigen wenigen stratigraphischen Einheiten zu finden sind (Abbildung 6).

Das unterste Schichtglied stellen die Präbichlschichten dar. Ihr Alter wird heute allgemein als permisch angegeben. Sie setzen sich aus Konglomeraten bzw. Breccien, die überwiegend aus eckigen bis gerundeten Quarzkomponenten bestehen, und Sandstein zusammen. In den Präbichlschichten des Grillenbergs sind Eisenerze angereichert. Diese wurden lange Zeit bergbautechnisch abgebaut.

Die frühe Trias ist durch ausgedehnte Ablagerungen von seichten Schelfsilikaten (Werfener Schichten) gekennzeichnet. Sie bestehen hauptsächlich aus Tonschiefer und Sandsteinen mit meist grüner Färbung, auch Kalke kommen in den Werfener Schichten vor. Ab der mittleren Trias setzt sich die Karbonatsedimentation durch. Eine schnelle Vertiefung des

Beckens im mittleren Anis wird mit der Blockfaltung des „Reiflinger Events“ in Verbindung gebracht. Das dadurch entstandene stark ausgeprägte Relief des Meeresbodens ist der Grund für die Entwicklung verschiedener sedimentärer Facies. Es bestehen Seichtwasser Karbonat Plattformen (Wetterstein Formation) neben verschiedenartigen Beckenformen, die sich bezüglich Form, Wassertiefe und Zirkulation unterscheiden. Im Schneeberggebiet treten zwei Typen von Sedimenten auf, der schwarze Grafenstein Kalk im Norden und der hellgraue Hallstatttyp im Süden. Der Grafenstein Kalk ist als Sonderform des Reiflinger Kalks zu betrachten. Die Ablagerung erfolgt in einem riffnahen Becken, mit teilweise entwickelter Becken-Hangfazies.

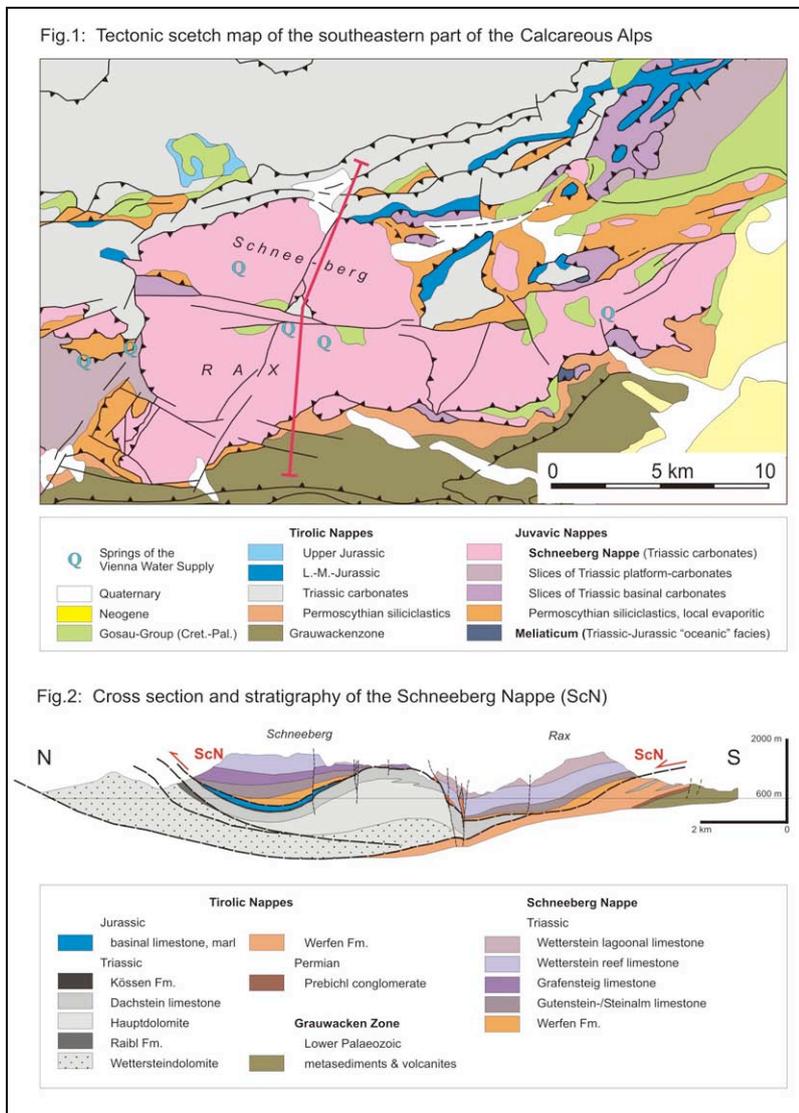


Abbildung 6: Geologie des Schneebergplateaus (Quelle: Mandl 2006).

Der Schneeberg ist hauptsächlich aus Wettersteinkalk aufgebaut. Er zeigt generell eine schnelle Progradation über die angrenzenden Beckensedimente und ist massig oder schlecht geschichtet und hellgrau gefärbt. Er weist einen feinkristallinen Charakter auf, welcher durch die Diagenese bedingt ist, welche auch für die relative Fossilarmut verantwortlich sein dürfte. In der Obertrias nimmt die Karbonatproduktion aufgrund des niederen Meeresspiegels stark ab und es kommt zum Eintrag von Sedimenten aus dem Hinterland. Diese Schichtabfolgen, die der Göllerdecke zugeordnet werden können, beginnen mit Trachycerasschichten. Darauf folgt als nächstes Schichtglied der Reingrabener Schiefer, ein grauschwarzer, feinblättriger Tonschiefer. Beim Fehlen des Reingrabener Schiefer kommt es zu einer direkten Ablagerung von Lunzer Sandsteinen auf den Trachycerasschichten. Das letzte Schichtglied im Karn bildet der Opponitzer Kalk. Aufgrund des Meeresspiegelanstiegs im späten Karn entwickelte sich neuerlich eine Karbonatplattform. Diese Entwicklung ist durch den Dachsteinkalk und Hauptdolomit charakterisiert. Der Hauptdolomit folgt direkt auf den Opponitzer Kalk und ist feinkristallin, dicht und grau-weiß ausgebildet. Direkt im Hangenden des Hauptdolomit tritt der lichtgraue, meist dickbankige Dachsteinkalk auf.

Die späte Trias ist durch den steigenden Eintrag von terrigenen Sedimenten (Kössener Formation) gekennzeichnet und leitet das Ende der Karbonatablagerung ein. Die Kössener Schichten bestehen aus dunklen Mergeln und grauen Mergelkalken, sie weisen weiters eine große Häufigkeit an Fossilien, z.B. Brachiopoden, Muscheln und Korallen auf.

Im Jura kommt es zu einem Absinken des Meeresbodens. Die Ablagerung von Radiolariten kennzeichnet die Periode mit der größten Wassertiefe. Durch plattentektonische Vorgänge kam es zu einer Hebung der südlichen Teile der Nördlichen Kalkalpen. Die gehobenen sedimentären Abfolgen („Juvavic units“) bewegten sich in die Radiolarite der „Tirolic units“. Die

anschließenden Sedimentationsereignisse gehen auf eine tektonische Aktivität zurück, die ihren Höhepunkt in der Cretaceous Nappe Tektonik hat. Auch die darauf in der Oberkreide bis Eozän abgelagerten klastischen Sedimente der Gosauereinheit wurden durch die anhaltende Einengung beeinflusst. Die am Schneeberg vorkommenden Gosauschichten bestehen aus Konglomeraten bzw. Breccien, Kalken, Sandsteinen und Mergel und lagern den wesentlich älteren Trias-Gesteinen diskordant auf.

Die an manchen Stellen auf den Plateauflächen zu findenden Augensteine stellen Überreste einer tertiären Schotterdecke dar. Diese gut gerundeten Gerölle aus Quarz, Phyllit, Gneis und Amphibolit weisen einen Durchmesser von wenigen mm bis 2 cm auf (selten größer).

Der Plateaucharakter des Schneebergs, sowie der anderer Gebiete in den Nördlichen Kalkalpen geht auf Erosionsvorgänge im Oligozän zurück. Die fluviatilen Sedimente, die von den im Süden aufsteigenden Zentralalpen angeschwemmt wurden, bedeckten das Flachland der Nördlichen Kalkalpen. Drucktektonik im Miozän führte zur Bildung von zwei Sets von großen strike-slip Störungen. Diese sprödetektonischen Strukturen sind von entscheidender Bedeutung für die Permeabilität der sedimentären Gesteine in den Nördlichen Kalkalpen, sowie für die Verkarstung der Karbonat Plattformen.

Als wasserstauer Horizont treten am Schneeberg vor allem die Werfener Schichten auf. Viele Karstquellen haben knapp oberhalb dieser Schichten ihre Quellaustritte. Im Höllental liegen die Werfener Schichten allerdings wesentlich tiefer als die Quellaustritte einiger großer Quellen (z.B. Kaiserbrunn). Da sie aber auch in diesem Bereich der Wasserstauung dienen, muss das Kluftsystem zwischen den Werfener Schichten und dem Niveau des Quellaustritts vollständig mit Wasser gefüllt sein.

### 3.3 Karstmorphologie

Das Schneebergplateau wurde als Untersuchungsgebiet ausgewählt, da auf einer relativ begrenzten Fläche eine Vielzahl an unterschiedlichen Karstlandschaften mit verschiedenen Karsterscheinungen anzutreffen sind. Zonen mit einer hohen Dichte an Dolinen und Karrenfeldern, sowie Gebiete mit geringer oder deutlicher glazialer Überprägung liegen hier auf engem Raum beieinander (Abbildung 7).

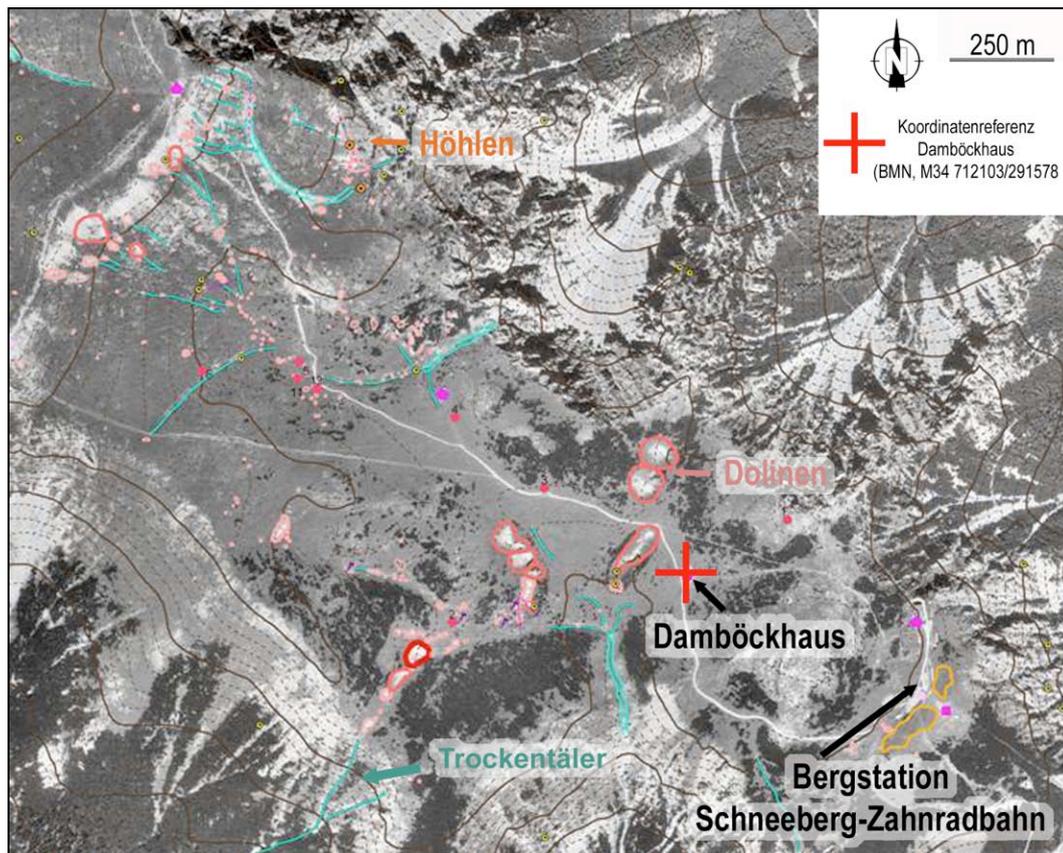


Abbildung 7: Übersicht über die Karstmorphologie am Schneeberg (Kartengrundlage Plan, 2005).

In diesem Gebiet wurde 2004 eine karstmorphologische Kartierung von Lukas Plan durchgeführt. Diese Arbeit diente als Grundlage zur Auswahl der einzelnen Messprofile.

Im Folgenden sind vorherrschende Karsterscheinungen beschrieben die am Schneebergplateau anzutreffen sind. (Beschreibung: Vgl. Plan, 2005)

**Dolinen und Ponordolinen:** Dolinen sind Karsthohlformen, die vorwiegend durch Lösung bzw. Verkarstungsprozesse entstanden sind. Dolinen sowie alle anderen Karsthohlformen werden ausschließlich unterirdisch entwässert und können bei entsprechendem Wasserangebot am tiefsten Punkt oder an mehreren Stellen als Schwinden fungieren. Im Untersuchungsgebiet finden sich vor allem in unmittelbarer Umgebung des Damböckhauses große Dolinen. Einzelne Formen erreichen bis über 100 m Durchmesser und 20 m Tiefe. Dieser Bereich stellt eine glazial nicht überprägte Altlandschaft dar. Der Bereich der Hackermulde kann als glazial überprägte Karstlandschaft interpretiert werden. Hier herrschen kleine Formen mit bis zu 15 m Durchmesser und wenigen Metern Tiefe vor.

**Karren:** Karren sind korrosiv entstandene Kleinformen der Karstlandschaft, wobei genetisch zwischen subkutanen (unter einer Bodenbedeckung) und freiliegend entstandenen Formen unterschieden wird. Am Schneebergplateau sind Karrenbildungen im Allgemeinen wesentlich weniger stark ausgebildet, als auf vielen anderen Karstplateaus der Nördlichen Kalkalpen.

**Trockentäler:** Als Trockentäler werden nicht mehr durchgehend wasseraktive Täler und Gräben kartiert. Bei vielen Formen zeigen Dolinen und Schwinden innerhalb der Täler, dass kein durchgehender oberirdischer Wasserweg erfolgen kann. Durchgehende Gerinne können in solchen Tälern nur temporär bei Eis- oder Schneefüllung der Schwinden auftreten. Die Talbildung erfolgte teilweise unter Permafrostbedingungen, die die Verkarstung verhinderten. Größere Formen können als Reste eines tertiären Entwässerungssystems gedeutet werden. Oft sind diese Talungen an Störungen gebunden. Im Untersuchungsgebiet ziehen einzelne Trockentäler vom Gipfelbereich herab. Eine besonders deutliche Form zieht vom Bockgrubenriegel zum Ochsenboden hinunter.

## 4 METHODIK

### 4.1 Bodenradar

#### 4.1.1 Beschreibung des Verfahrens

Das Georadar ist ein elektromagnetisches Impulsreflexionsverfahren. Es werden elektromagnetische Impulse von der Sendeantenne des Geräts in den Untergrund abgestrahlt. Diese werden an Anomalien reflektiert und wieder an die Oberfläche zurückgestrahlt (Abbildung 8). An der Oberfläche werden diese reflektierten und refraktierten Wellen von der Empfängerantenne wieder aufgenommen und an die Steuereinheit zurückgeleitet. Diese zeichnet die Laufzeit sowie die Amplitude der elektrischen Feldstärke dieses Impulses auf (Vgl. Knödel et al., 1997).

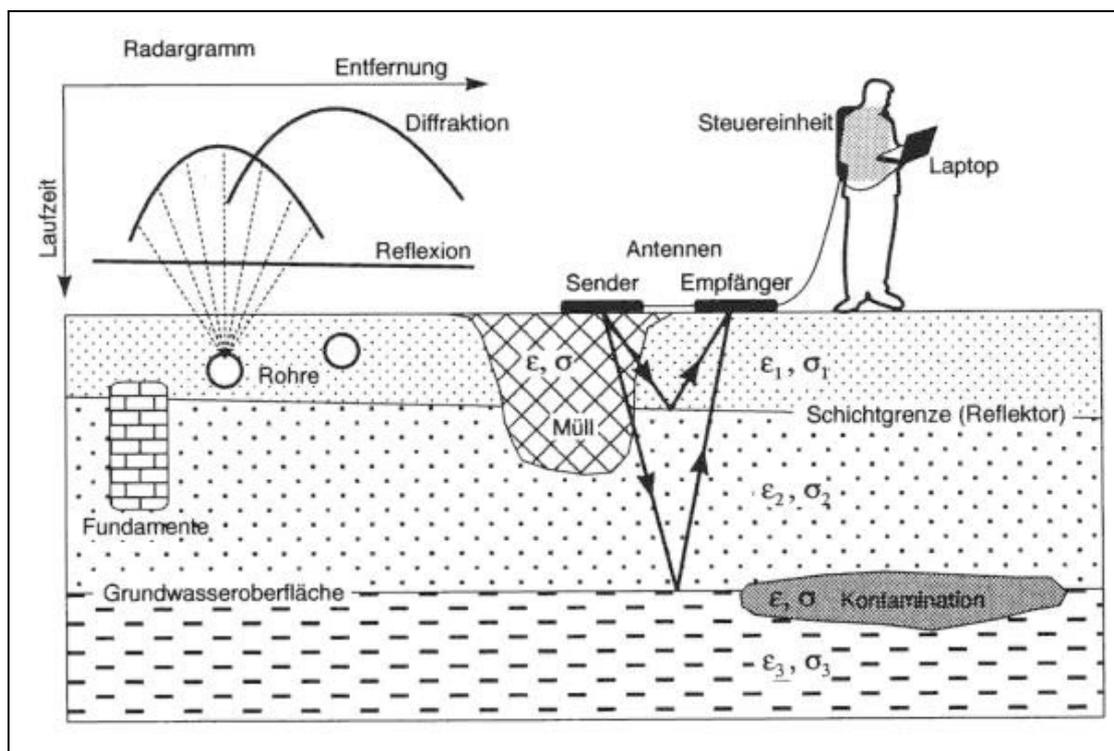


Abbildung 8: Prinzipien der Methode (Quelle: Knödel et al., 1997).

Reflexionen entstehen an Schichtgrenzen oder Objekten durch Kontraste der elektrischen Materialeigenschaften, dabei kommt es zur Veränderung

der Dielektrizitätskonstante. Diese Kontrastunterschiede entstehen unter anderem an Luft-Fels Grenzen, Luft-Wasser Grenzen, Wasser – Fels Grenzen oder auch an metallischen Objekten. Die Arbeitsfrequenz liegt bei geologischen oder hydrogeologischen Aufgaben im Bereich zwischen 10 bis 1000 MHz. Es gibt geschirmte und ungeschirmte Antennen. Geschirmte Antennen sind vor allem in bewaldetem Gebiet erforderlich, da man sonst nicht nur Reflexionen aus dem Untergrund sondern auch aus der Umgebung abbildet. Die Arbeitsfrequenz ist abhängig von der gewünschten Erkundungstiefe. Aufgrund der kürzeren Wellenlänge besitzen höherfrequente Messungen zwar ein höheres Auflösungsvermögen, haben aber aufgrund der stärkeren Beeinträchtigung durch Absorption und Streuung eine geringere Erkundungstiefe. Die Erkundungstiefe ist weiters auch sehr stark von der Leitfähigkeit des Untergrunds abhängig. In niederohmigem Untergrund (z.B. feuchte Tone und Schluffe) verringert sich die Eindringtiefe und es kann im Extremfall auch zum Versagen der Methode kommen.

Da ein direkter Zusammenhang zwischen Auflösung und Erkundungstiefe in Abhängigkeit von der verwendeten Antenne besteht, ermöglicht die Verwendung von Antennen mit unterschiedlichen Frequenzen die Darstellung von Abbildungen bei verschieden hoher Auflösung. So erreicht man mit einer 500 MHz Antenne eine hohe Auflösung bei geringer Erkundungstiefe, während man mit einer 40 MHz Antenne eine hohe Erkundungstiefe allerdings bei sehr geringer Auflösung erzielt.

#### 4.1.2 Beschreibung des Geräts

Die Messungen wurden mit einem Georadar des Typs: GSSI SIR 2 durchgeführt (Abbildung 9). Die verwendeten Antennen waren zwei multiple-low-frequency Antennen (GSSI Model 3200) mit einer Grundfrequenz von 40 MHz und 80 MHz. Diese Antennen sind für größtmögliche Tiefen ausgelegt. Zusätzlich wurden noch eine 500 MHz Antenne (GSSI Model 3102A) sowie eine 100 MHz Antenne (GSSI Model

3207) für die Messungen herangezogen. Die 500 MHz Antenne sowie die 100 MHz Antenne waren geschirmt, während die 40 MHz Antenne sowie die 80 MHz Antenne ungeschirmt waren. Da unsere Messungen aber in waldfreien Gebieten durchgeführt wurden war dieser Umstand nicht von wesentlicher Bedeutung. Zur Auswertung der gemessenen Daten wurde das Programm Reflex45 herangezogen.



Abbildung 9: Georadar mit Antennen.

## 4.2 Auswahl der Profile

Das Ziel bei der Auswahl der Profile war es, Zonen im Erkundungsgebiet zu finden, die sich in möglichst vielen Facetten unterscheiden. Abbildung 10 zeigt die genaue Lage der gemessenen Profile, eingetragen in einer Luftbildaufnahme des Untersuchungsgebietes.

Es wurden Zonen ausgewählt, die in der Vergangenheit unterschiedlichen Faktoren ausgesetzt waren. Zum Beispiel Zonen mit unterschiedlicher glazialer Überprägung. Es wurden auch Profile ausgewählt, die eine unterschiedliche Mächtigkeit des Oberbodens aufweisen. Das Profil 3 wurde ausgewählt, da man an einem Aufschluss im nahen Umfeld den Übergang von Kalk zu Rauhwacke und Dolomit beobachten konnte. Die Fragestellung bei diesem Profil war es, inwiefern sich dieser Übergang

auch bei unseren Messungen aufzeichnen lässt. Die Fragestellung dabei war, ob es möglich ist die markanten Unterschiede in der Porosität zwischen Kalk und Rauhwacke mit dem Georadar zu messen. Weiters wurden Zonen mit schwach ausgeprägter Karstmorphologie sowie Zonen mit deutlichen Karsterscheinungen ausgewählt. Auch Karststrukturen wie Dolinen und Karrenfelder wurden aufgenommen

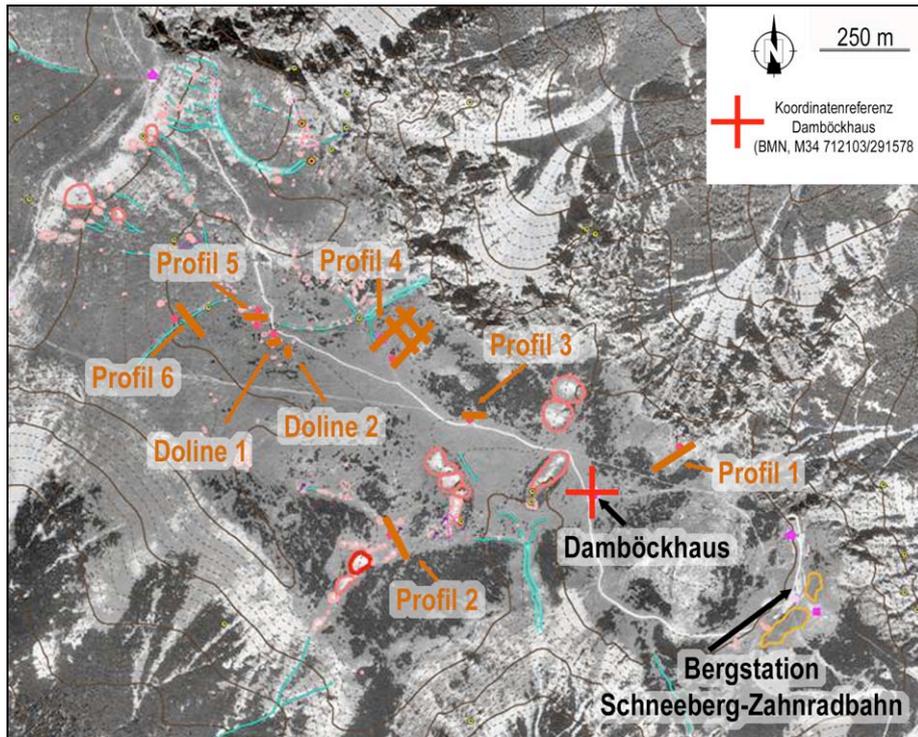


Abbildung 10: Lageplan der gemessenen Profile (Kartengrundlage Plan, 2005).

### 4.3 Messvorgang

Für die Messungen wurden Anfangs- und Endpunkte der Profile mit einem Pflock im Gelände markiert und deren Koordinaten mit Hilfe eines GPS-Handgeräts (Grain eTrex Summit mit barometrischem Höhenmesser) eingemessen. Zu Beginn des Messvorganges wurde das Profil mit einem Maßband abgesteckt. Danach wurde das Gerät möglichst gleichmäßig und mit dem geringst möglichen Abstand zum Untergrund über das Profil bewegt. Für den eigentlichen Messvorgang standen zwei Methoden zur Auswahl. Die kontinuierliche Messung und die Punktmessung. Bei der Punktmessung wurde das Gerät entlang des Profils um einen

vordefinierten Abstand weiterbewegt. Bei jeder Messung wurde das Gerät auf den Boden gestellt und eine Messung per Hand ausgelöst.

Bei der kontinuierlichen Messung wurde vor der Messung die gewünschte Aufnahmehäufigkeit im Gerät definiert (z.B. 16 Messungen pro Sekunde). Danach wurde die Aufnahme gestartet und das Gerät möglichst gleichmäßig und in einem konstanten Abstand zum Untergrund über das Profil bewegt. Bei dieser Messmethode war es wichtig, dass die Geschwindigkeit, mit der das Gerät über das Profil gezogen wurde, möglichst konstant gehalten wurde. Zusätzlich ist es ratsam während der Messung, in vorher definierten Abständen, Markerpunkte zu setzen. Mit Hilfe dieser Markerpunkte war es bei der Auswertung möglich, die Messungen mit der Profillänge zu korrelieren. Die unterschiedlichen Geländebeziehungen führten oft zu einer nicht konstanten Geschwindigkeit. Generell ist die erhaltene Datendichte bei der kontinuierlichen Methode sehr viel höher.

Die Einstellungen am Aufnahmegerät waren wie folgt: time range: 1000 ns bei 40 MHz, 500 ns bei 80 MHz, 500 ns bei 100 MHz, 150 ns bei 500MHz; 1024 samples/scan; 16 bits/sample; stat stack: 32; 16 scans/s oder 32 scans/s.

Das Prozessieren der Rohdaten wurde von Martin Andert an der Technischen Universität Wien durchgeführt.

Die wesentlichsten Schritte der Auswertung sind nachfolgend beschrieben:

1. Normierung, Marker
2. Stapelzusammenfassung: Aufgrund der großen Datenmengen bei der kontinuierlichen Messung ist es möglich, diese ohne Verluste bei der Qualität zusammenzufassen
3. Die im Feld eingesetzte Verstärkung wird gelöscht, diese ist nur notwendig damit man bei der Erstbetrachtung im Gelände ein aussagekräftiges Bild bekommt

4. Die neue Verstärkung wird unterschiedlich gewichtet und angewandt
5. Der Bandpassfilter wird eingesetzt, dieser filtert das vorhandene Rauschen heraus

Die größte Schwierigkeit bei der Auswertung ist es ein Processing Verfahren zu finden, das bei allen Messungen eines Profils ein aussagekräftiges Ergebnis bringt und somit auf alle Messungen angewandt werden kann. Beim Processing Verfahren werden verschiedene Parameter eingestellt, wie zum Beispiel Verstärkung und Bassfilter. Die verschiedenen Messungen sind nur vergleichbar, wenn sie das selbe Processing Verfahren durchlaufen.

Für die Bestimmung der Höhenunterschiede in den einzelnen Profilen, wurde eine relative Höhenmessung durchgeführt. Bei diesen Messungen handelt es sich um Lokalmessungen ohne Anschluss an das Österreichische Festpunktnetz.

Zur Bestimmung der Mächtigkeit des Oberbodens wurden entlang der einzelnen Profile in regelmäßigen Abständen Bodenproben mit einem Bodenbohrer genommen und diese vermessen und dokumentiert (Abbildung 11).



Abbildung 11: Entnahme einer Bodenprobe

## 5 EPIKARST IM ERKUNDUNGSGEBIET

Am Schneebergplateau lässt sich die Ausprägung des Epikarst an einem künstlichen Aufschluss betrachten. Dieser Aufschluss befindet sich am Wegrand des Wanderwegs zwischen Damböckhaus und Fischerhütte. (Koordinaten im BMN, M34; Rechtswert: 710930, Hochwert: 292699).

Der Epikarst ist in diesem Profil nicht sehr deutlich ausgebildet. Die Mächtigkeit beträgt zwischen 0,5 m bis 1 m (Abbildung 12). Sehr deutlich zu erkennen ist die abnehmende Hohlraumdichte von oben nach unten. Weiters sind im oberen Bereich deutlich mehr Trennflächen zu beobachten. Die Trennflächendichte nimmt sehr markant im unteren Bereich ab. Es wurden Trenn- und Harnischflächen sowohl im oberen Bereich des Epikarst als auch im darunter liegenden massiveren Felshorizont gemessen. Die Darstellung der gemessenen Flächen in einer stereographischen Projektion zeigt eine sehr hohe Übereinstimmung. Abbildung 13 zeigt die Messungen an Trennflächen, an denen keine Schersinnkriterien gefunden werden konnten. Abbildung 14 zeigt die gemessenen Harnischflächen.



Abbildung 12: Epikarsthorizont am Schneebergplateau (Blickrichtung Nordost)  
(BMN, M34 710930/292699)

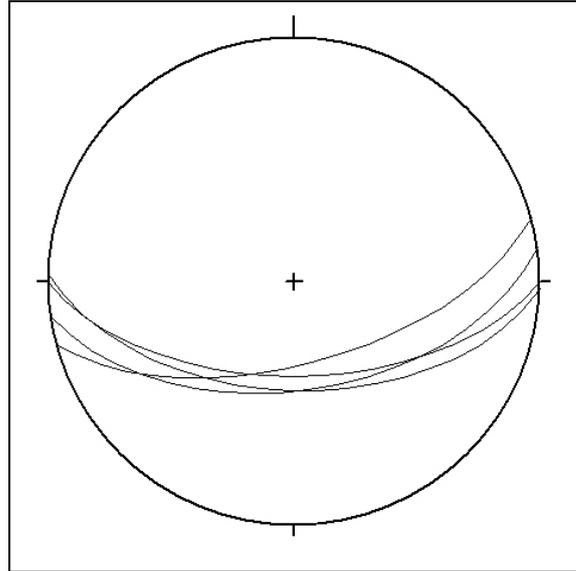


Abbildung 13: Stereographische Projektion der Trennflächen.

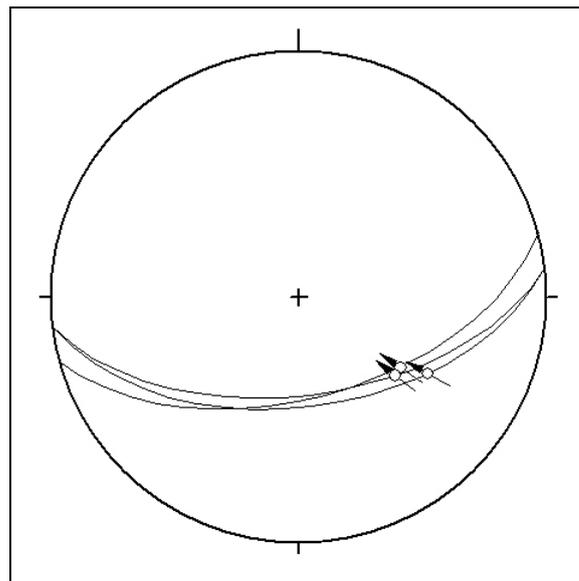


Abbildung 14: Stereographische Projektion der Harnischflächen.

Als Vergleich ein zweites Beispiel von Epikarst in österreichischen Karstlandschaften. Abbildung 15 zeigt einen ca. 2 m mächtigen Epikarsthorizont in einem Steinbruch nahe Mannersdorf im nördlichen Burgenland. An diesem Beispiel erkennt man sehr deutlich die Grenze zwischen dem Epikarsthorizont und dem darunter liegenden massigen Felshorizont. Die Klufflächendichte sowie die Porosität nehmen deutlich an der Schichtgrenze ab.



Abbildung 15: Epikarsthorizont im Steinbruch Mannersdorf (Quelle: Lukas Plan).

## 6 ERGEBNISSE

Die Georadarmessungen wurden auf folgende vier Messkampagnen aufgeteilt: (I) 4- 6. Juli (II) 21.-22 Juli, (III) 19-21. August 2005 und (IV) 27. Juli 2006.

Aufgrund der sensiblen Gerätekonfiguration des Georadars, mussten alle Messungen bei niederschlagsfreiem Wetter durchgeführt werden. Um den für unsere Fragestellung relevanten Einfluss der Wassersättigung auf die Aussagekraft der gewonnenen Radargramme testen zu können, fanden die Messungen bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen statt. Diese können grob in 'Sonnenschein', 'Nebel', 'unmittelbar nach leichtem Niederschlag', sowie 'unmittelbar nach leichtem Schneefall', kategorisiert werden. Leider war es nicht bei allen Profilen möglich, Messungen unter 'sehr trockenen' Bedingungen (mehr als zwei Wochen kein Niederschlag) durchzuführen, da der Großteil der Messkampagnen in eine sehr niederschlagsreiche Wetterperiode fielen. Die Bodentemperaturen betrugen zwischen knapp über 0° und 20° Celsius.

Alle Profile wurden mit unterschiedlichen Antennen gemessen. Es wurden Antennen mit einer Grundfrequenz von 40 MHz, 80 MHz, 100 MHz und 500 MHz eingesetzt. Die durchschnittlich erreichten Erkundungstiefen in unserem Untersuchungsgebiet reichten von ca. 40 m mit der 40 MHz Antenne bis zu ca. 6 m mit der 500 MHz Antenne. Hierbei ist zu erwähnen, dass bei unseren Messungen Faktoren wie Mächtigkeit des Oberbodens und Feuchtigkeitsgehalt in den obersten Bodenschichten die maximal erzielte Erkundungstiefe stark beeinflussten. Umso mächtiger der vorhandene Oberboden und umso höher der Feuchtigkeitsgehalt im Boden umso geringer war die erreichte Erkundungstiefe.

Bei der ersten Messkampagne wurden zwei Aufnahmemodi getestet, die Punktmessung und die kontinuierliche Messung. Ein Rohdatenvergleich dieser beiden Messmethoden hat deutlich gezeigt, dass in unserem Fall die kontinuierliche Messung, trotz auftretender Schwierigkeiten der

gleichmäßigen Antennenführung im unebenen Gelände, bessere Ergebnisse liefert als die Punktmessung. Dies ist auf die viel höhere Datenmenge zurückzuführen, die bei der kontinuierlichen Messmethode gewonnen wird. Diese Datenmenge ermöglicht eine wesentlich bessere Auflösung in den Radargrammen.

Wie im Kapitel Methodik angesprochen, wurde die Bearbeitung und Auswertung der Georadardaten als Thema einer zweiten Diplomarbeit an die Technische Universität Wien vergeben. Da diese Rohdaten zum gegenwärtigen Zeitpunkt der Arbeit nicht vollständig ausgewertet vorliegen, beschränkt sich die Darstellung der Ergebnisse in den folgenden Kapiteln auf die aussagekräftigsten Radargramme.

## 6.1 Profil 1

Dieses Profil liegt östlich des Damböckhauses am Fuße des südlich davon gelegenen Waxriegels (Abbildung 16). Das Profil verläuft hangabwärts von Markierungspunkt SM1 zu Punkt SM2 in Richtung Südwest mit  $230^\circ$  und hat eine Länge von 135 m.

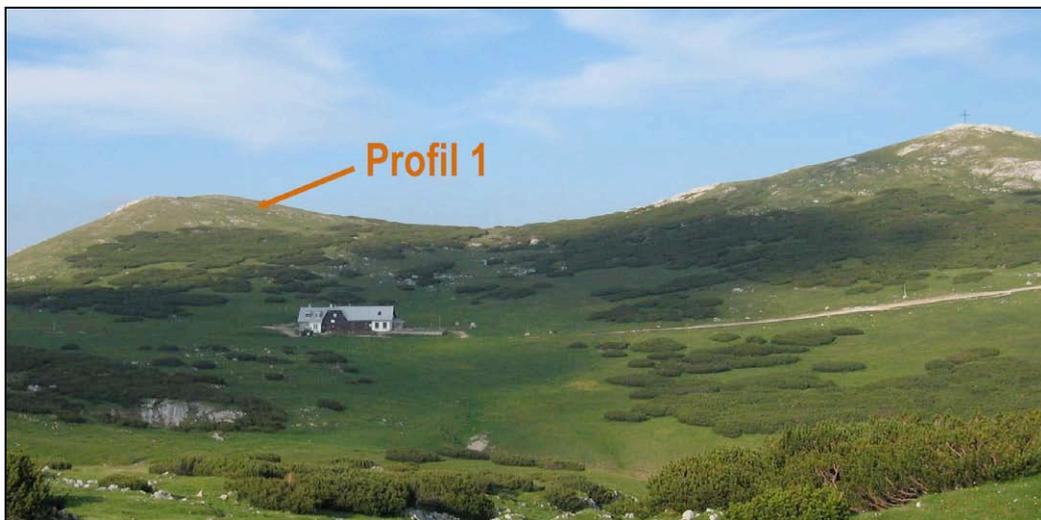


Abbildung 16: Lageübersicht Profil 1, genaue Position siehe Abbildung 10 (Blickrichtung Nordost).

Dieses Profil wurde in alle vier Messkampagnen einbezogen. Radargramme wurden mit einer 40 MHz, 80 MHz, 100 MHz und 500 MHz Antenne erstellt. Abbildung 17 zeigt die Messung entlang des Profils mit

der 40 MHz Antenne. Während im Sommer 2005 weitgehend bei feuchten Bedingungen gemessen wurde, konnte im Juli 2006 eine Messung nach einer zweiwöchigen Trockenperiode durchgeführt werden.



Abbildung 17: Messung mit der 40 MHz Antenne, Profil 1 (Blickrichtung Ost).

Da die ersten Ergebnisse vom Sommer 2005 einige deutliche Reflexionen zeigten (Abbildung 24), wurden im Juli 2006 mehrere, parallel laufende Profile gemessen. Ziel war es, die Reflexionen des Hauptprofils auch in diesen parallelen Profilen wieder darstellen zu können. Diese Parallelprofile wurden jeweils im Abstand von 3 m zueinander links und rechts an das Hauptprofil angegliedert (Abbildung 18). Drei Profile wurden nördlich an das Hauptprofil angeschlossen und vier Profile südlich davon. Die insgesamt acht Profile erstrecken sich über eine Breite von 21 m (Abbildung 19). Weiters wurde ein Profil im Winkel von  $90^\circ$  zum Profil 1 gemessen und mit Profil 1X gekennzeichnet. Dieses Profil läuft von Markierungspunkt SM01X in Richtung  $140^\circ$  zu Punkt SM02X und hat eine Länge von 60 m. Das Profil 1X schneidet das Profil 1 bei Profillaufmeter 67 gemessen von Punkt SM1 und bei Profillaufmeter 25 von Punkt SM1X

aus gemessen. Dieses Profil wurde im Sommer 2005 mit der 40 MHz Antenne und der 500 MHz Antenne gemessen.



Abbildung 18: Parallel laufende Messstrecken, Profil 1 (Blickrichtung Nordost).

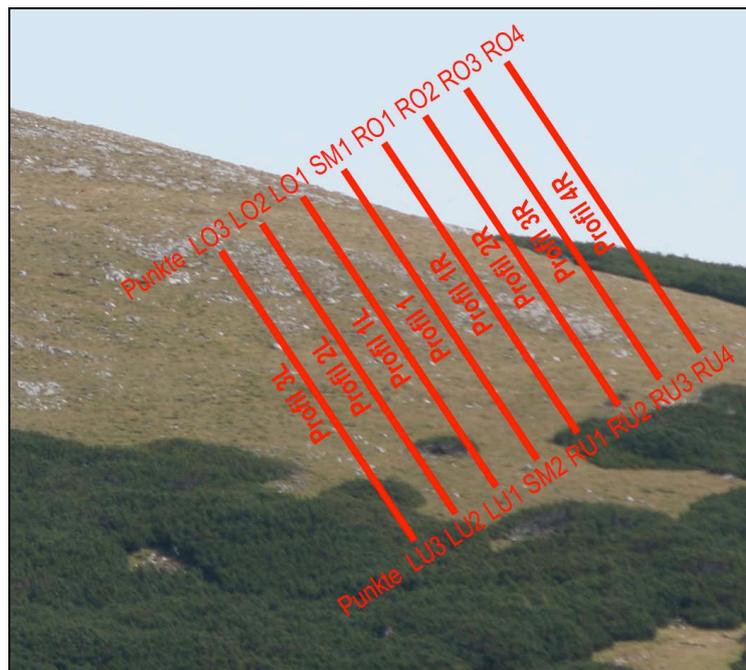


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Lage der Zusatzprofile bei Profil 1, für die genaue Position des Profil 1 siehe Abbildung 10.

Die Koordinaten der Punkte des Profil 1 und 1X sind in Tabelle 1 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
SM1	712370	291721	1865
SM2	712294	291663	1841
LO1	712369	291724	1863
LU1	712292	291665	1841
LO2	712368	291726	1864
LU2	712290	291667	1843
LO3	712365	291727	1864
LU3	712288	291670	1842
RO1	712373	291718	1859
RU1	712296	291661	1843
RO2	712376	291717	1858
RU2	712297	291659	1843
RO3	712378	291715	1857
RU3	712300	291556	1842
RO4	712380	291714	1857
RU4	712302	291654	1841
SM1X	712300	291711	1853
SM2X	712337	291665	1849

Tabelle 1: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 1.

### 6.1.1 Morphologie und Geologie

Das Profil 1 liegt in einer Zone mit einem sehr gering überprägten Karstrelief. Die typische Karstmorphologie ist sehr schwach ausgeprägt. Es gibt keine Karren oder andere für Karstlandschaften typische morphologische Ausprägungen. Diese Zone des Schneebergs war auch während der Eiszeit nicht vom Eis bedeckt. Ein verstärktes Auftreten von Frostsprengung ist zu erkennen.

Das Profil 1 fällt von Punkt SM1 zu Punkt SM2 kontinuierlich ab. Der gesamte Höhenunterschied beträgt 24 m (Abbildung 20).

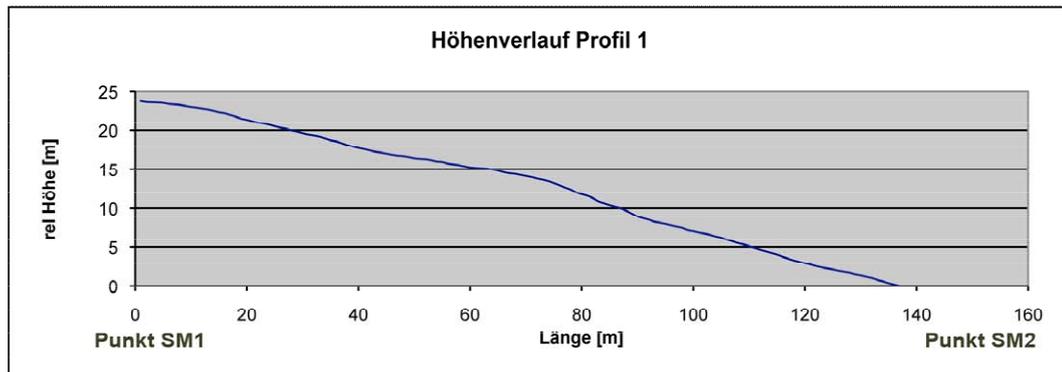


Abbildung 20: Diagramm, Höhenverlauf Profil 1 (Quelle: Martin Andert).

Der Höhenverlauf von Profil 1X ist in Abbildung 21 dargestellt. Der gesamte Höhenunterschied zwischen Punkt SM1X und SM2X beträgt 4 m.

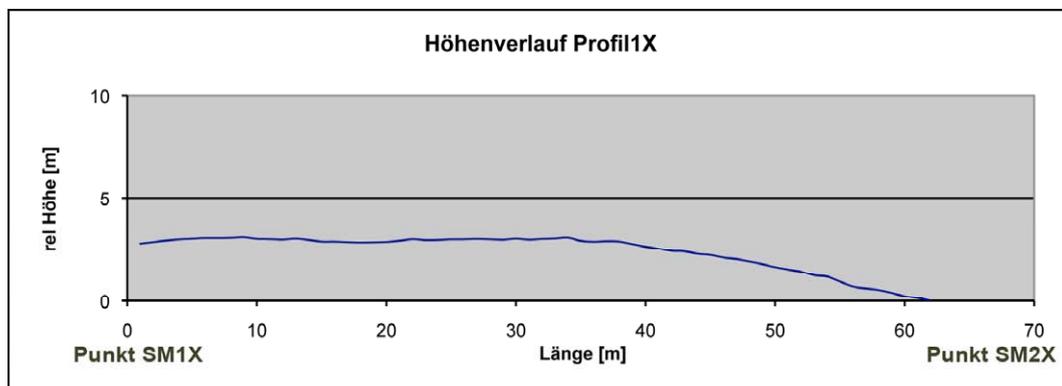


Abbildung 21: Diagramm, Höhenverlauf Profil 1X (Quelle: Martin Andert).

### 6.1.2 Boden

Annähernd das gesamte Profil ist flächendeckend mit Oberboden und Bewuchs abgedeckt. Ausnahmen bilden sich zwischen den Profillaufmetern 10 bis 21 sowie zwischen Laufmeter 70 und 80 von Punkt SM1 gemessen, in welchen der Oberboden Zonen erkennen lässt, die eine deutlich geringere Überdeckung aufweisen und der Felsuntergrund deutlich an der Oberfläche frei liegt.

Der Verlauf der Mächtigkeit des Oberbodens ist in Abbildung 22 dargestellt. Abbildung 23 zeigt ein Bodenprofil bei der Profillänge 91 m

von SM1. Deutlich zu sehen ist die durchgehend schwarze Färbung des Bodens.

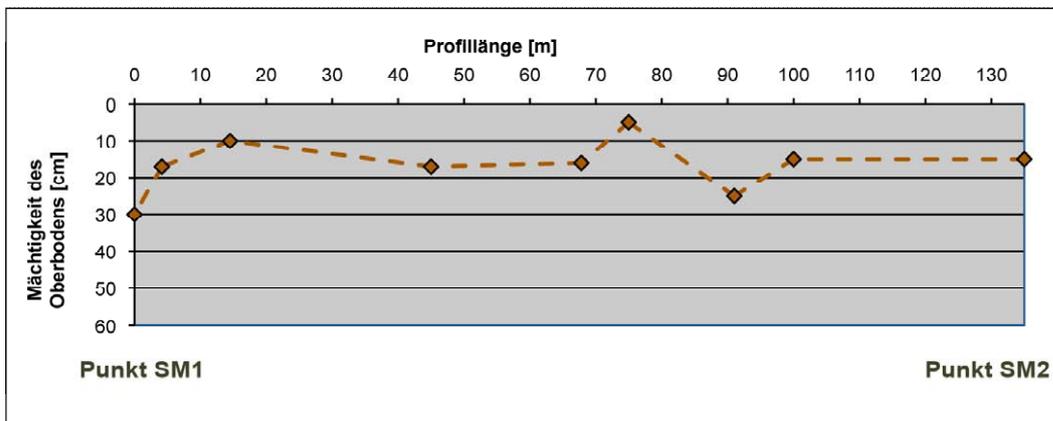


Abbildung 22: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 1.



Abbildung 23: Bodenhorizont Profil 1, bei 92 m gemessen von SM1.

### 6.1.3 Messergebnisse

Bei der Auswertung der Resultate hat sich gezeigt, dass sich die Ergebnisse der Messungen mit der 80 MHz Antenne nicht von denen die mit der 40 MHz Antenne erzeugt wurden wesentlich unterscheiden (Abbildung 27). Aus diesem Grund werden nur die Radargramme der 40 MHz Antenne dargestellt.

Abbildung 24 zeigt ein Radargramm, welches aus der Rohdatendatei „FILE84.DZT“ erstellt wurde. Diese Datei wurde mit der 40 MHz Antenne am 22. Juni 2005 bei relativ feuchten Bedingungen (leichter Niederschlag

in der Nacht davor) aufgezeichnet. In einer Entfernung von ca. 80 m von Punkt SM1 zeigt sich in 20 m Tiefe eine Reflexion. Mit der 40 MHz Antenne ergibt sich bei diesen Bedingungen eine Erkundungstiefe von 30 bis 40 m.

Aufgrund der gut erkennbaren Reflektion in allen Tiefenbereichen, eignet sich dieses Profil sehr gut, um Ergebnisunterschiede bei Verwendung verschiedener Antennen aufzuzeigen. Zum Vergleich wurden die obersten sieben Meter herangezogen, jene Erkundungstiefe, die mit einer 500 MHz Antenne erreicht werden konnte. Abbildung 25 zeigt die dazugehörigen Radargramme bis zu einer Tiefe von 7 m. Die großen Unterschiede in der Auflösung sind dabei sehr gut zu erkennen. Während bei Messungen mit einer 500 MHz Antenne auch noch Strukturen sichtbar werden, die eine Größe von weniger als einen Meter haben, sind selbige Strukturen bereits bei Messungen mit einer 100 MHz Antenne nicht mehr zu unterscheiden. Ein weiterer Vergleich wurde in Abbildung 26 dargestellt und zeigt die Radargramme in jenen Tiefenabschnitten, in welchen die jeweilige Antenne (40 MHz, 100 MHz und 500 MHz) die besten Ergebnisse zeigt. Diese Radargrammabschnitte wurden entsprechend der Tiefe aneinander gefügt. Ebenfalls gut zu erkennen ist hier, dass sich die Reflexionen, die in den seichten Horizonten mit der 500 MHz Antenne abgebildet worden sind, in die Tiefe fortsetzen lassen. Die Darstellung der Radargramme verdeutlicht, dass sich Reflexionen sehr gut mit einer Kombination aus allen drei Antennen abbilden lassen, und somit sehr gut über das gesamte kombinierte Radargramm erkennbar sind. In der verwendeten Darstellung der Radargramme ist das Längen- zu Tiefenverhältnis nicht proportional.

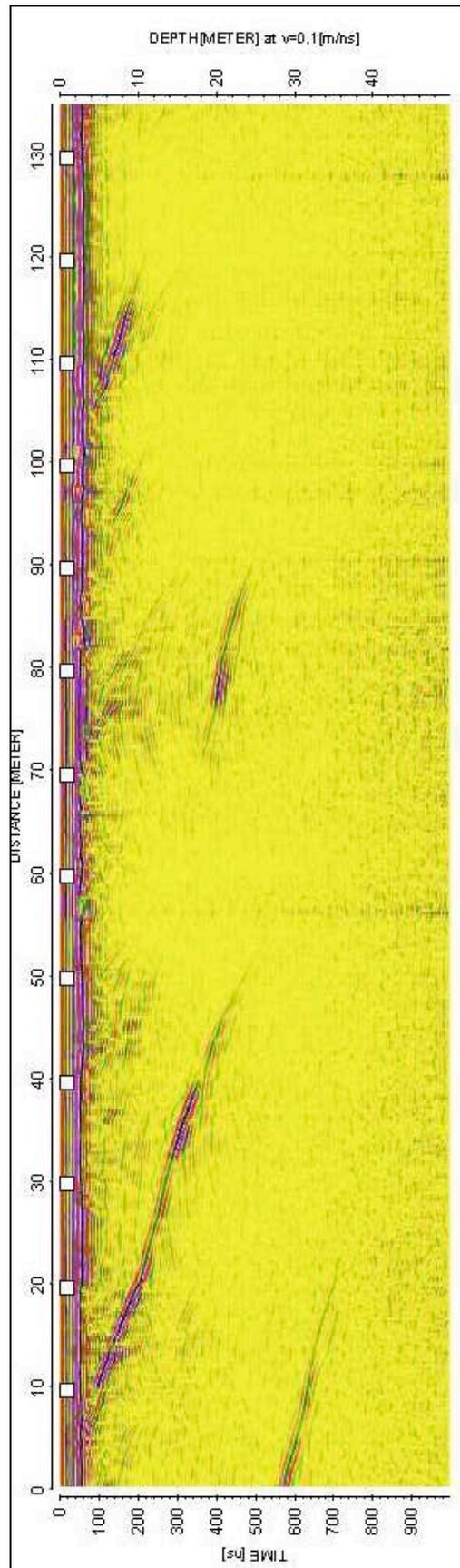


Abbildung 24: Radargramm Profil 1 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

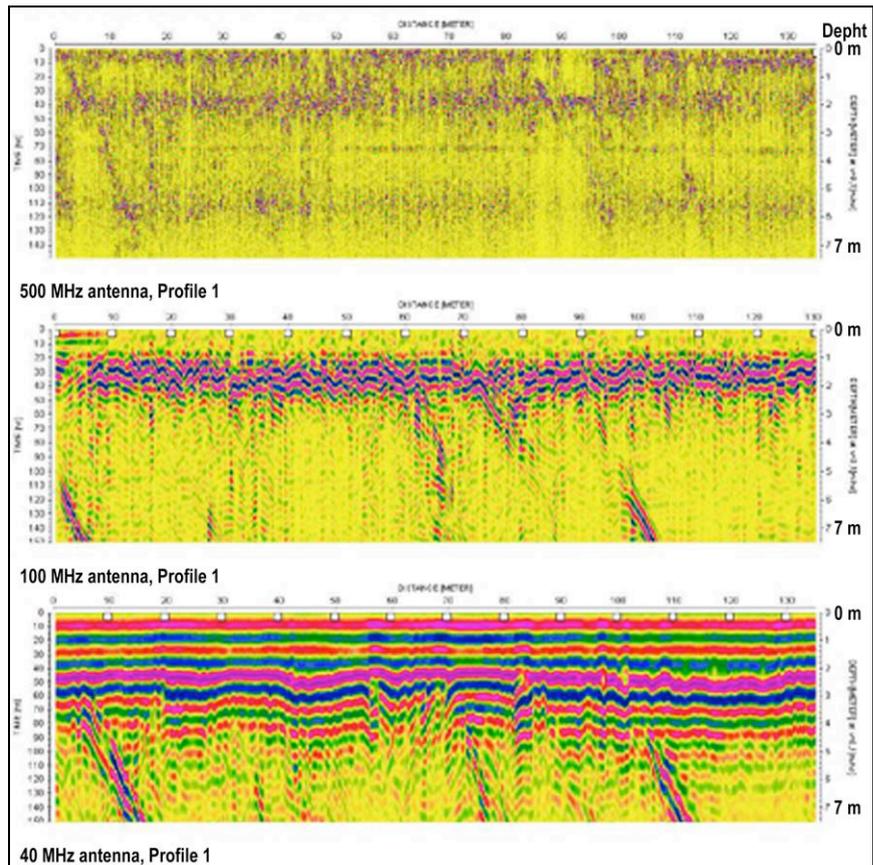


Abbildung 25: Vergleich der verschiedenen Antennen, Profil 1 erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

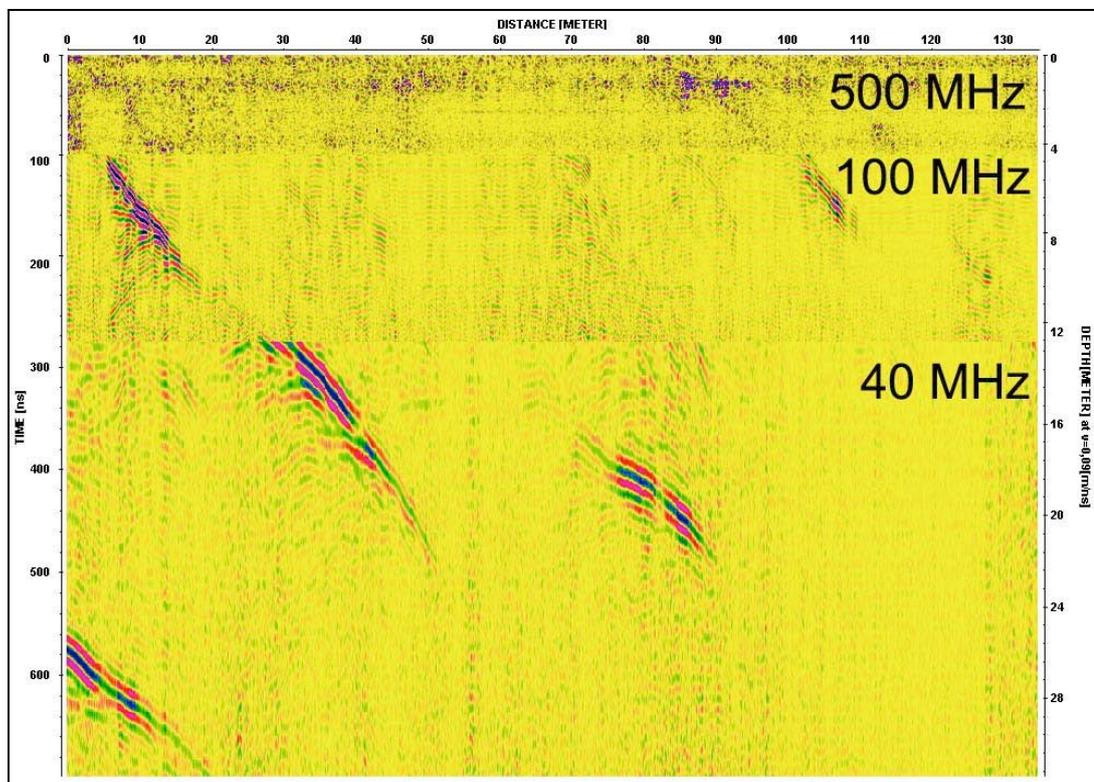


Abbildung 26: Vergleich der unterschiedlichen Auflösung der Antennen, Profil 1 erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

Aufgrund der deutlich erkennbaren Reflexion, die in allen Radargrammen nachgewiesen werden konnte, wurde dieses Profil auch flächig untersucht. Ziel der Fragestellung war ein Auffinden dieser Inhomogenitäten in Profilen, die parallel an das Hauptprofil angelegt wurden (Abbildung 19). Zu diesem Zweck wurden Messungen am 27. Juli 2006 unter sehr trockenen, warmen Bedingungen durchgeführt. Die Rohdatendateien zu diesen Messungen haben die Bezeichnung „FILE235.DZT“ - „FILE242.DZT“ und sind in Abbildung 28 bis Abbildung 35 ausgewertet dargestellt. Die Reihenfolge der Abbildungen beginnt mit dem Profil 3L und endet mit dem Profil 4R.

Zusammenfassend lassen die Ergebnisse den Schluss zu, dass sowohl die große Reflexion bei Profillaufmeter 0 bis 40 als auch die zweite Reflexion bei Profillaufmeter 80 sehr gut über die gesamte Breite der Profilschnitte verfolgbar sind. Während bei Profil 3L und 2L die Reflexion bei 80 m Profillänge noch nicht sichtbar ist, scheint sie ab dem Profil 1L im Radargramm auf und ist dann bis zum Profil 4R sehr gut zu verfolgen.



Abbildung 27: 40 MHz Antenne bei Profil 1.

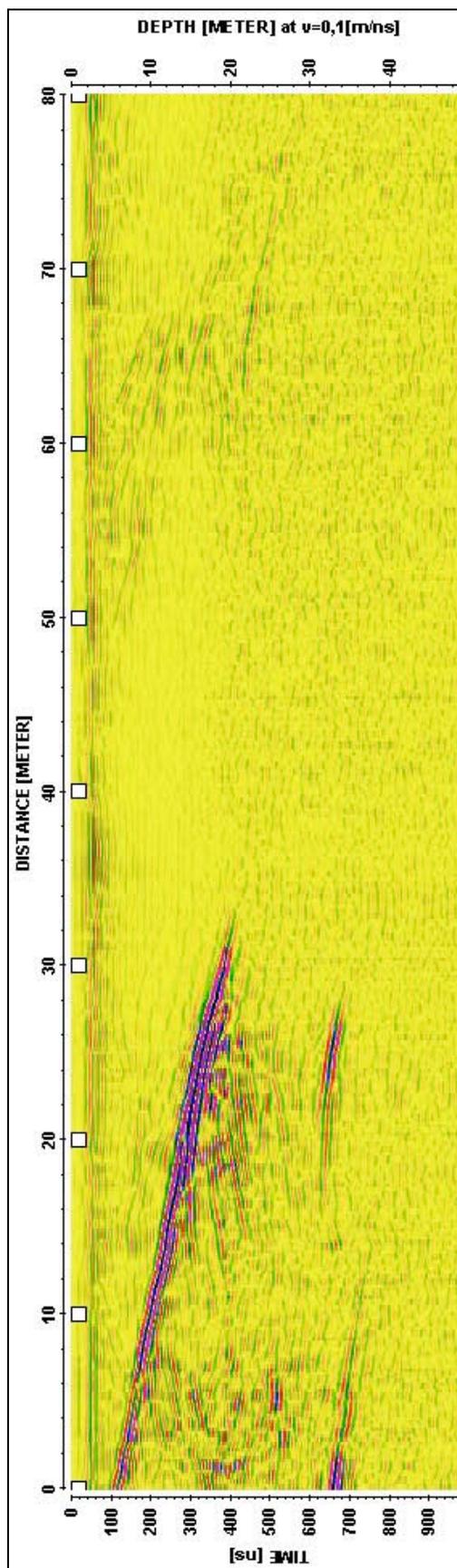


Abbildung 28: Radargramm Profil 3L (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt LO3 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

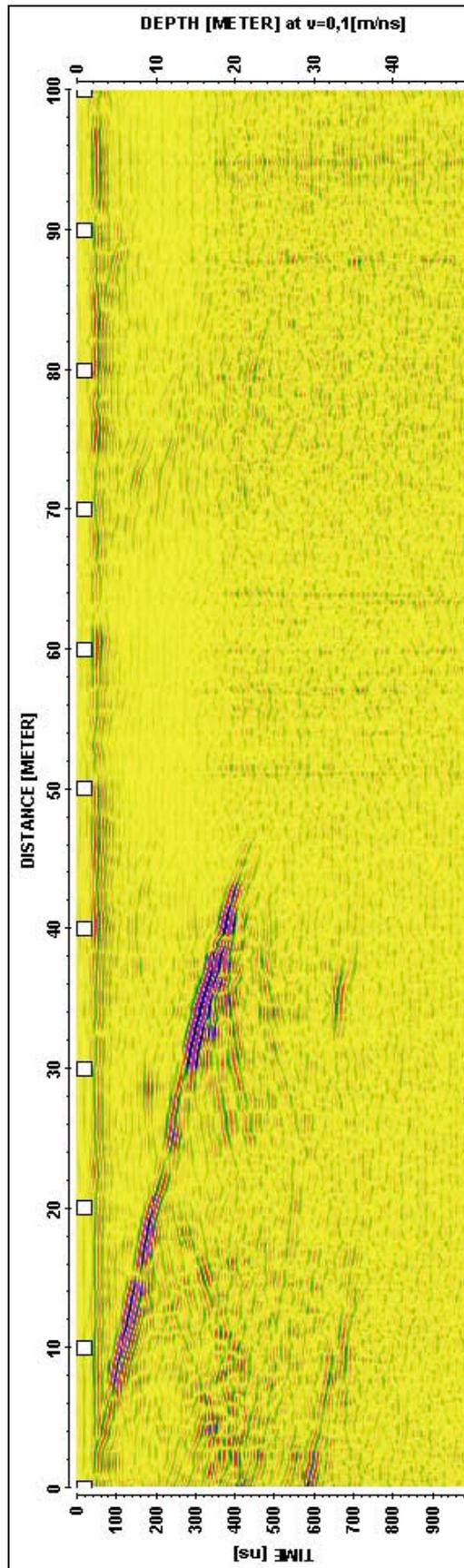


Abbildung 29: Radargramm Profil 2L (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt LO2 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

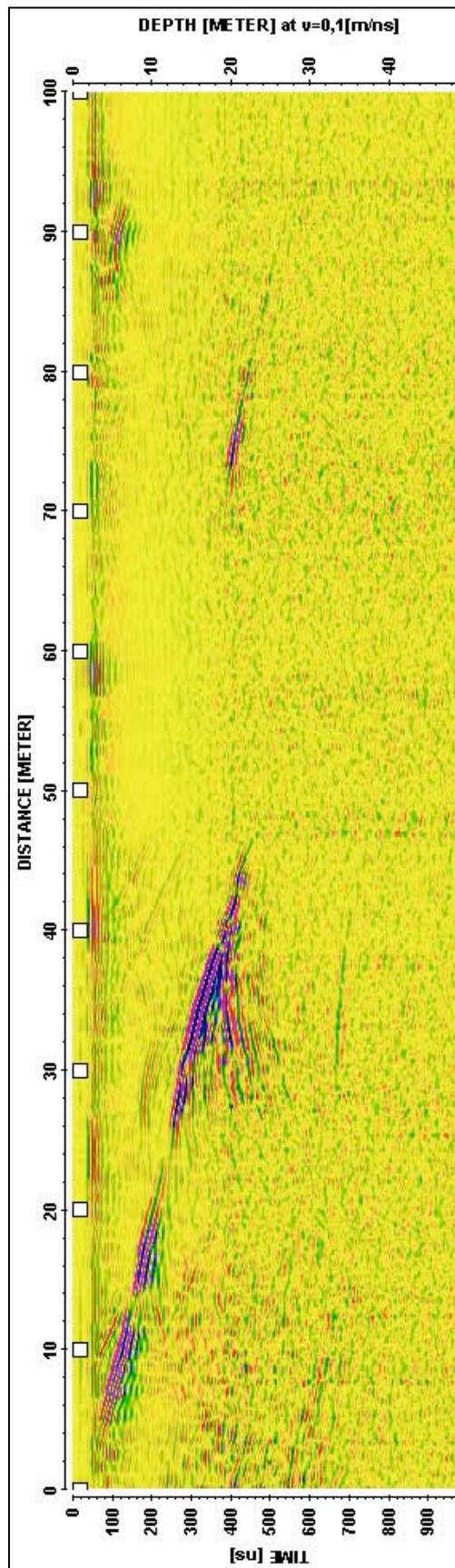


Abbildung 30: Radargramm Profil 1L (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt LO1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

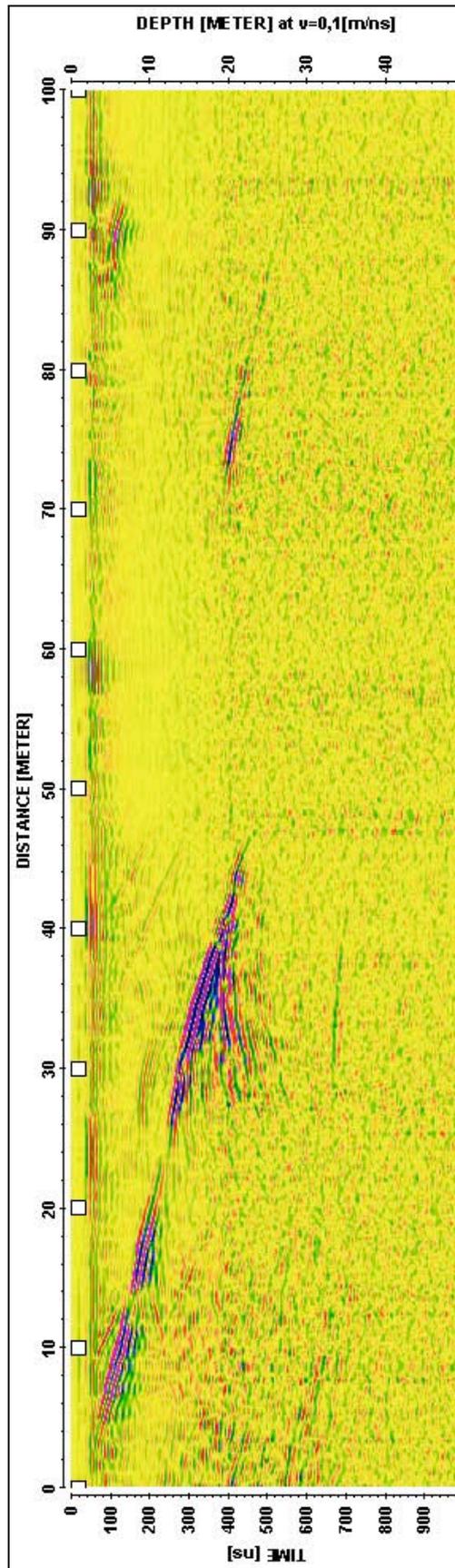


Abbildung 31: Radargramm Profil 1 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

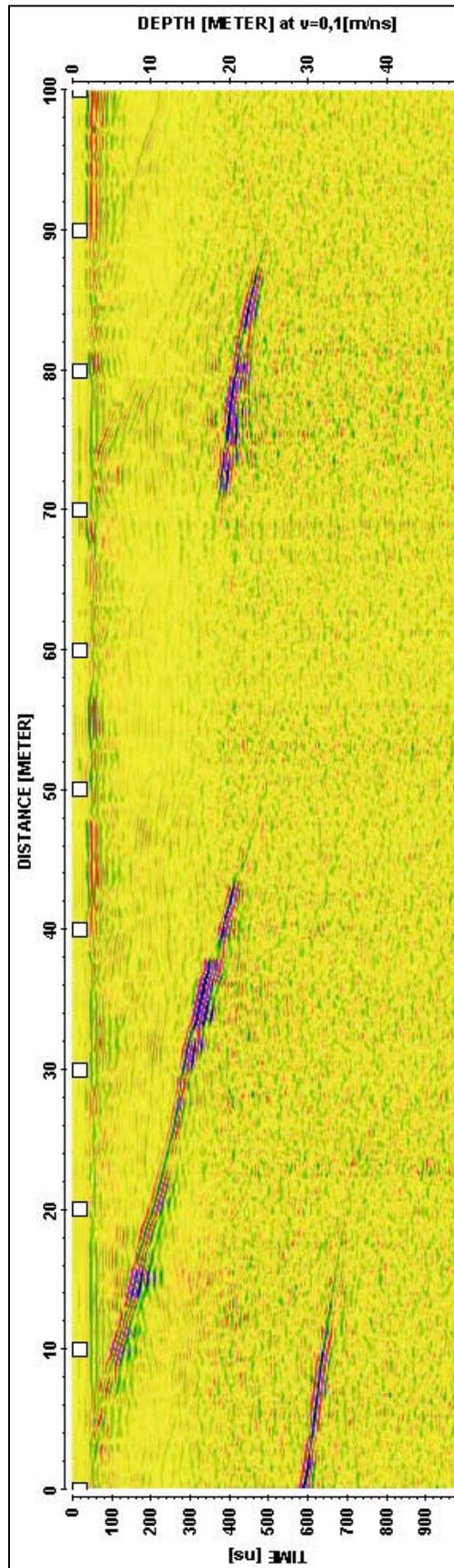


Abbildung 32: Radargramm Profil 1R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

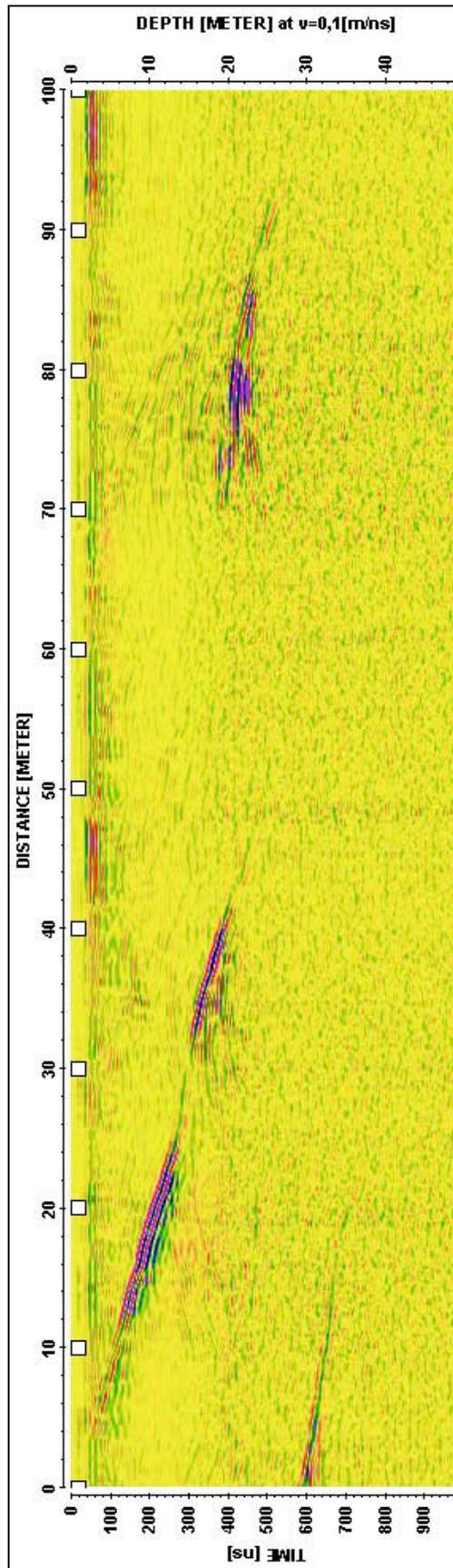


Abbildung 33: Radargramm Profil 2R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO2 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

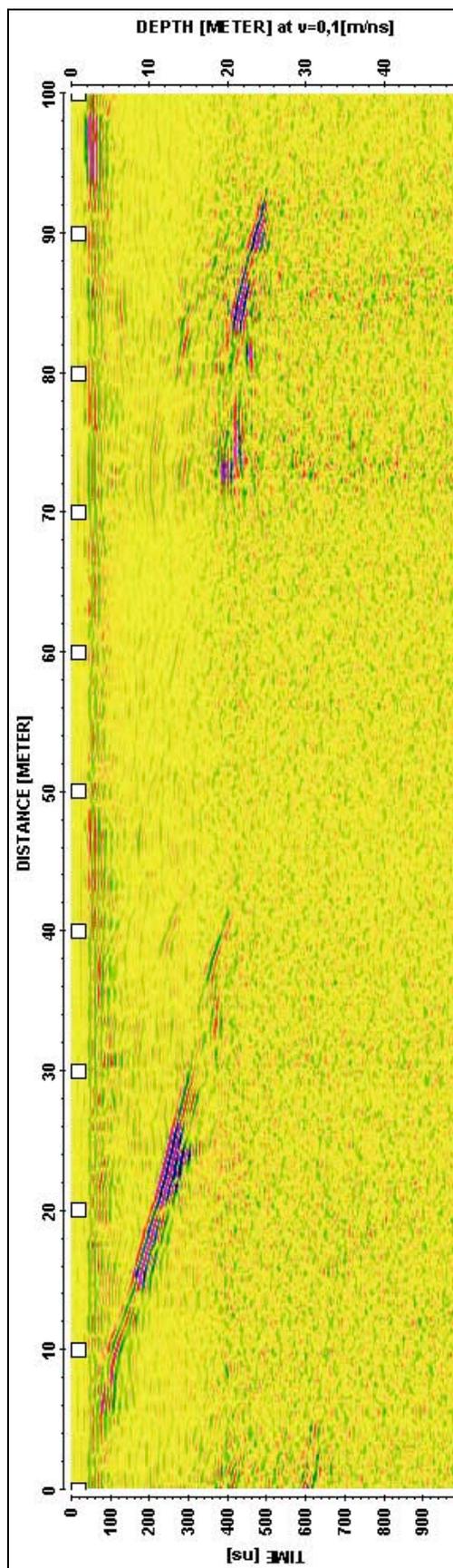


Abbildung 34: Radargramm Profil 3R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO3 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

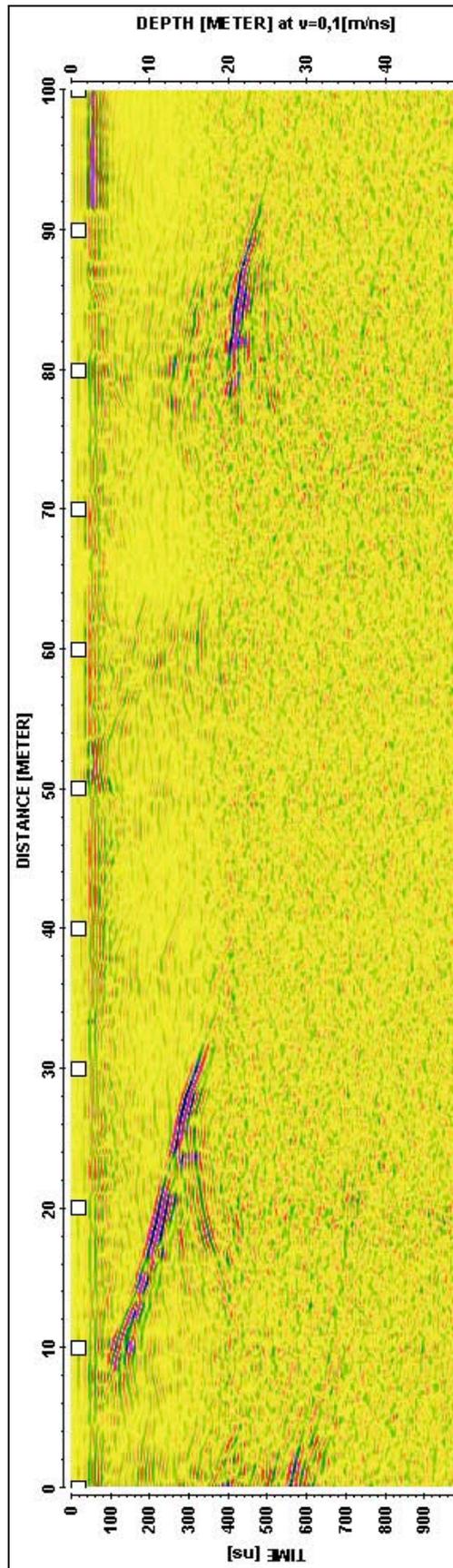


Abbildung 35: Radargramm Profil 4R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO4 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

## 6.2 Profil 2

Für das Profil 2 (Abbildung 36) wurde eine Fläche südlich des Damböckhauses ausgewählt. Das Profil läuft die ersten 50 m vom Markierungspunkt SM3 über eine Wiese, die von einem kleinen Graben durchzogen ist. Nach ca. 40 m beginnt das Gelände leicht anzusteigen. Die Steigung nimmt stetig zu bis zum Endpunkt SM4. Das Profil verläuft von Punkt SM3 in die Richtung  $345^\circ$  zu Punkt SM4 und hat eine Gesamtlänge von 135 m.



Abbildung 36: Profilverlauf Profil 2, (Blickrichtung Nord).

Die Koordinaten der Punkte des Profil 4 sind in Tabelle 2 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
SM3	711576	291412	1815
SM4	711499	291527	1830

Tabelle 2: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 2.

Dieses Profil wurde nur bei der ersten Messkampagne am 4. Juli 2005 miteinbezogen. Für die Messungen wurden die 40 MHz Antenne sowie die 500 MHz Antenne eingesetzt.

### 6.2.1 Morphologie und Geologie

Diese Zone zeigt wesentliche Merkmale einer mäßigen glazialen Überprägung. Die Dolinen in diesem Gebiet sind wahrscheinlich voreiszeitlich entstanden. Im nahen Umfeld des Profils gibt es deutliche Karrenbildung. Die älteren Karrenfelder sind stark von der Frostsprengung bearbeitet während die jüngeren noch deutlich besser erhalten sind. Die Felsen im mittleren Abschnitt des Profils sind von vielen Störungen durchlaufen. Da sie aber nicht als anstehend betrachtet werden, wurden keine Messungen vorgenommen. Im Anfangs- und Endabschnitt des Profils befinden sich Bereiche mit Periglazialschutt, dieser hat eine relativ gute Wasserspeicherfähigkeit. Im Nahbereich des Profils konnten tektonische Breccien kartiert werden (Abbildung 37).



Abbildung 37: Tektonische Breccie nahe Profil 2.

In einigen großen Dolinen im unmittelbaren Nahbereich wurden markante Trennflächen gemessen (Abbildung 38).

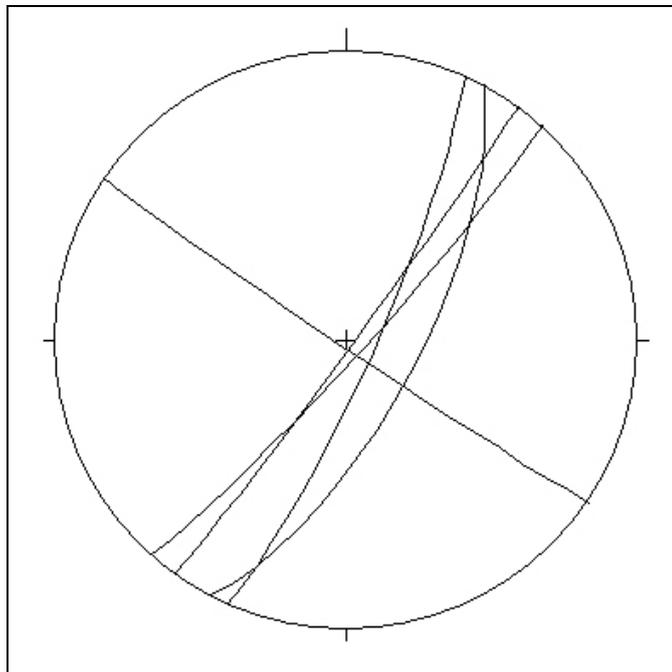


Abbildung 38: Stereographische Projektion der Trennflächen, Nahbereich Profil 2.

Wie aus Abbildung 39 ersichtlich ist steigt das Profil von Punkt SM3 zu SM4 an. Der gesamte Höhenunterschied beträgt 21 m (Abbildung 39).

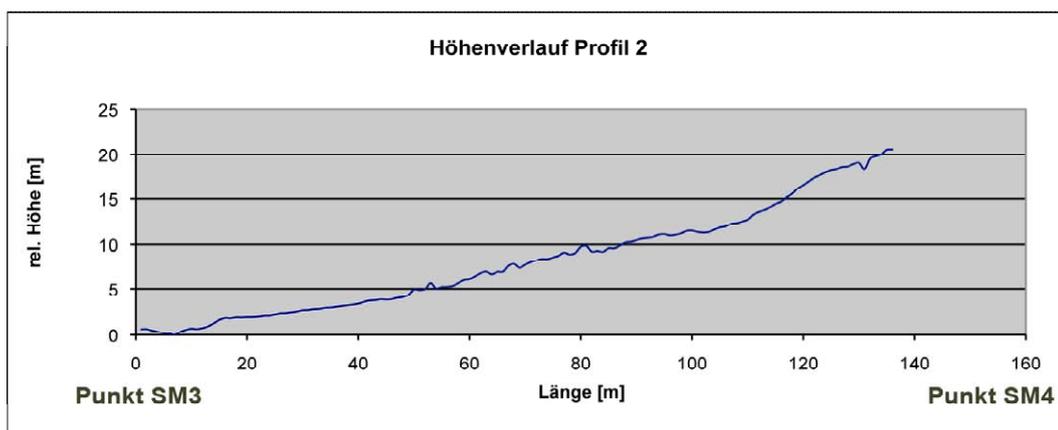


Abbildung 39: Diagramm, Höhenverlauf Profil 2 (Quelle: Martin Andert).

6.2.2 Boden

Der Anfangs- (bis ca. 40 m von SM3 gemessen) und Endbereich (ab ca. 110 m von SM3 gemessen) des Profils sind durch eine relativ mächtige Oberbodenüberdeckung gekennzeichnet (Abbildung 40). Das Bodenprofil in Abbildung 41 lässt einen wenige Zentimeter mächtigen schwarzen Horizont mit einem darunter liegenden, deutlich ausgebildeten, rötlichen, stark lehmigen Horizont erkennen. Dieser Horizont erreicht am Beginn des Profils eine Mächtigkeit von stellenweise mehr als 40 cm. Im Endbereich des Profils steigt die Mächtigkeit wieder auf bis zu 50 cm an, allerdings ist der rötliche Horizont nicht mehr sehr deutlich ausgebildet. Der Abschnitt im Mittelbereich des Profils (zwischen ca. 40 m bis 110 m) ist deutlich felsiger und eine Oberbodenbedeckung ist über längere Strecken kaum bis gar nicht gegeben.

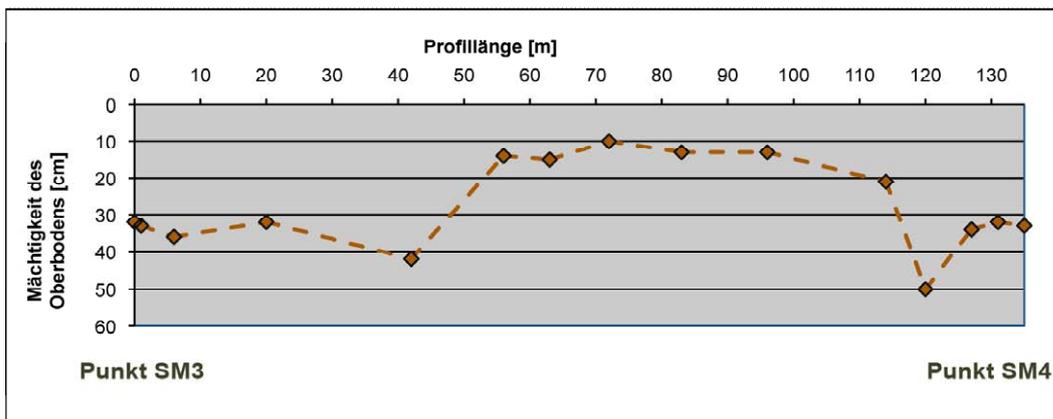


Abbildung 40: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 2.



Abbildung 41: Bodenhorizont Profil 2, bei 36 m gemessen von SM3.

6.2.3 Messergebnisse

Die Messungen mit der 40 MHz Antenne haben an diesem Profil sehr gute Ergebnisse geliefert (Abbildung 42). Das Radargramm in der Abbildung wurde mit den gemessenen relativen Höhen korrigiert. In der verwendeten Darstellung der Radargramme ist das Längen- zu Tiefenverhältnis nicht proportional.

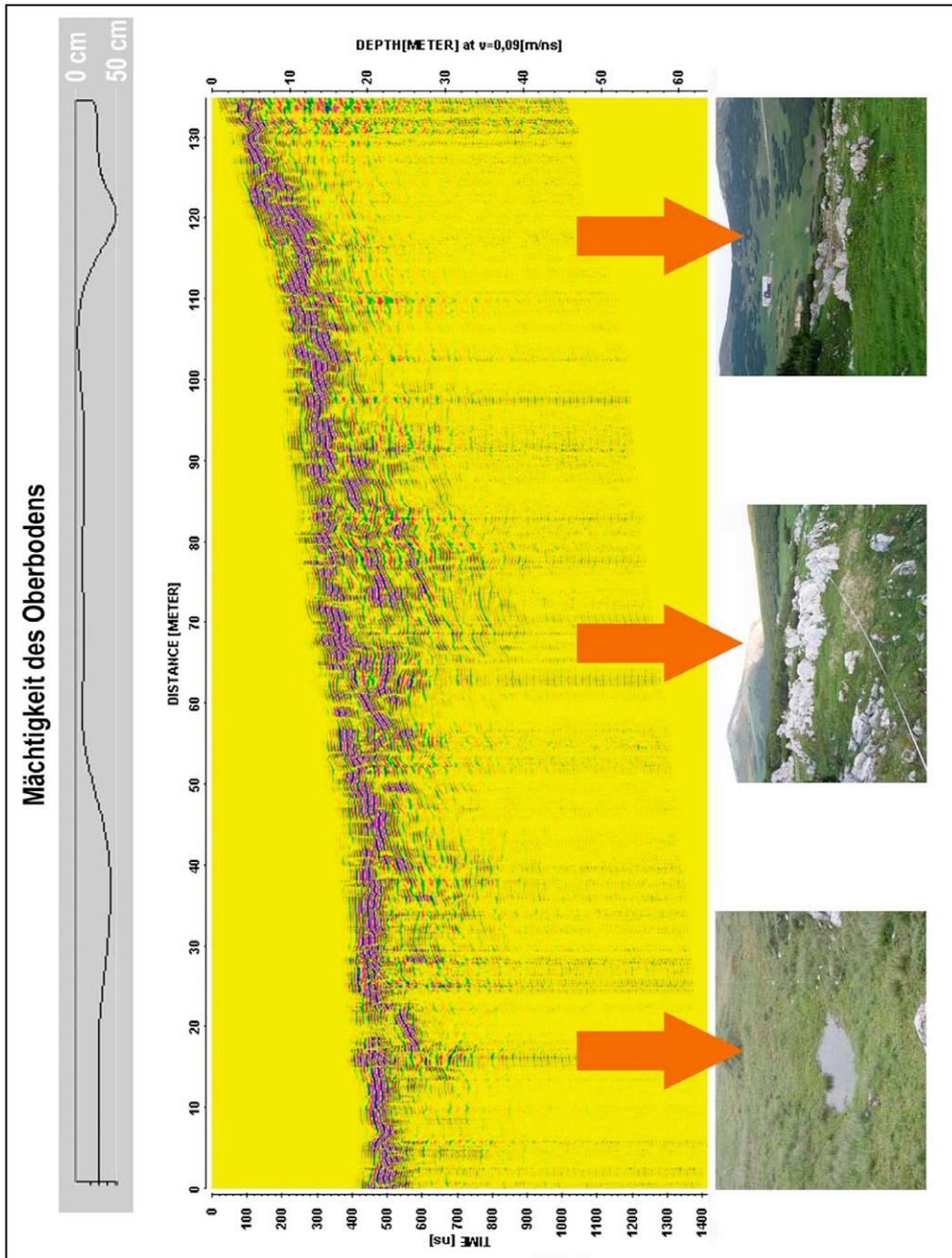


Abbildung 42: Radargramm Profil 2 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM3 (entspricht Laufmeter 0) in nordwestlicher Richtung, Korrelation mit der Oberbodenmächtigkeit.

### 6.3 Profil 3

Das Profil 3 liegt nördlich des Wanderwegs, der vom Damböckhaus zur Fischerhütte führt. Es liegt in unmittelbarer Nähe des Weges und wurde über eine augenscheinlich homogene Fläche gelegt, die nur sehr gering von Punkt SM5 zu Punkt SM6 ansteigt (Abbildung 43). Das Profil läuft von Punkt SM5 in Richtung 74° zu Punkt SM6 und hat eine Gesamtlänge von 60 m.

Die Koordinaten der Punkte des Profils 3 sind in Tabelle 3 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
SM5	711713	291802	1836
SM6	711774	291818	1840

Tabelle 3: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 3.

Dieses Profil wurde in zwei Messkampagnen miteinbezogen. Am 6. Juli 2005 wurden die Messungen mit der 40 und 500 MHz Antenne durchgeführt und am 19. August 2005 wurden noch Messungen mit der 100 MHz Antenne durchgeführt



Abbildung 43: Überblick Profil 3 (Blickrichtung West).

### 6.3.1 Morphologie und Geologie

Entlang des fast parallel zum Profil verlaufenden Weges wurde folgender Wechsel der Lithologie festgehalten: vorherrschende Lithologie im Nahbereich des Punktes SM5 ist Kalk. In Richtung Osten kommt es sehr schnell zum Übergang zur Rauhwacke, die am Ende des Profils zu einer Dolomitbreccie wechselt. Letztere ist stark verwittert und sehr sandig. Aufgrund der großen Unterschiede in der Porosität der vorherrschenden Lithologie sollte getestet werden, ob jener Wechsel mittels Georadarmessungen aufgezeigt werden kann.

Morphologisch zeigt diese Zone ein sehr einheitliches Bild. Die Fläche ist gleichmäßig mit Oberboden und Bewuchs bedeckt. Bei Profillaufmeter 10 bis 15 und bei 35 m bis 41 m gemessen von Punkt SM5 quer das Messprofil zwei Geländemulden mit einer Tiefe bis zu ca. 40 cm.

Das Profil steigt von Punkt SM5 zu Punkt SM6 kontinuierlich leicht an. Der gesamte Höhenunterschied beträgt 4 m (Abbildung 44).

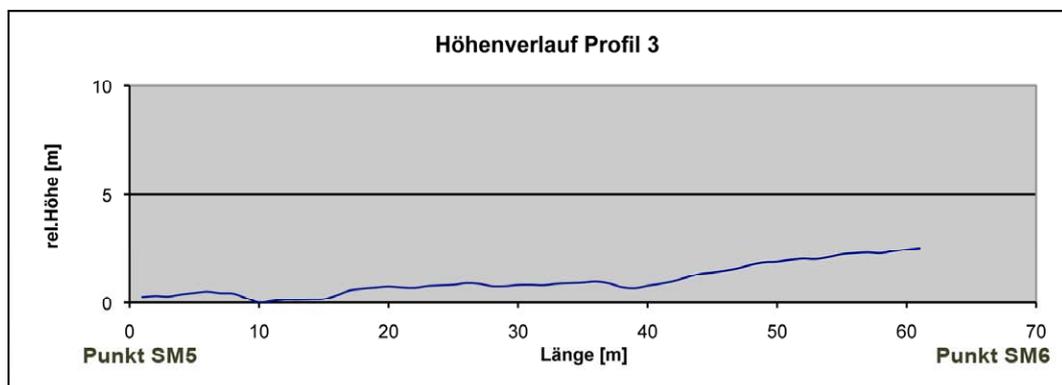


Abbildung 44: Diagramm, Höhenverlauf Profil 3 (Quelle: Martin Andert).

6.3.2 Boden

In diesem Profil weist der Oberbodenhorizont keine wesentlichen Unterschiede auf. Alle genommenen Bodenproben zeigen die gleiche Charakteristik auf (Abbildung 45): 3 bis 4 cm mächtiger schwarzer Horizont, der in einen hellbraunen, bis zu über 20 cm mächtigen, lehmigen Horizont übergeht.

Die Mächtigkeit des Oberbodens liegt über die gesamte Profillänge zwischen 10 bis 15 cm (Abbildung 46).



Abbildung 45: Bodenhorizont Profil 3, bei 28 m gemessen von SM5.

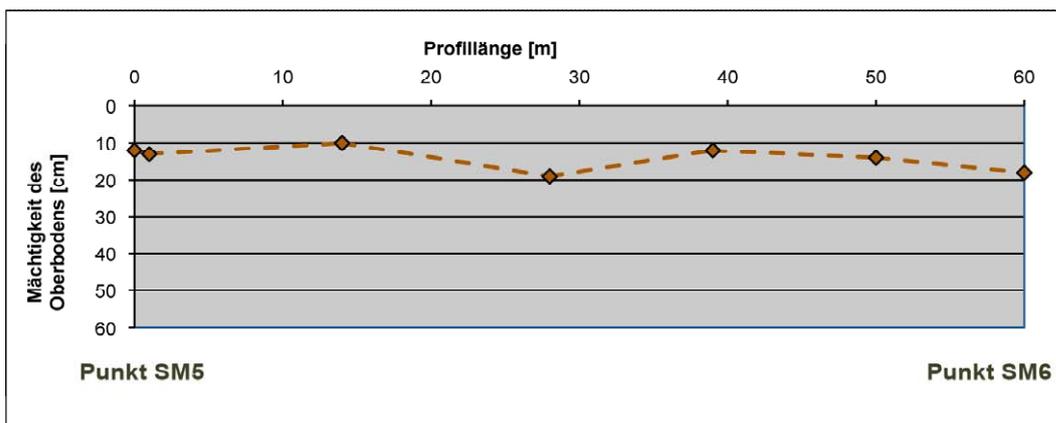


Abbildung 46: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 3.

### 6.3.3 Messergebnisse

Alle Messungen zeigen ein einheitliches Bild des Untergrunds über die ganze Profillänge. Es konnten keine Veränderungen herausgearbeitet werden.

Da die gemessenen Rohdaten nach dem Standard Processing keine Unterschiede in diesem Profil aufwiesen, wurde das Radargramm mit der „envelope“ Funktion bearbeitet um die Reflektivität des Untergrundes darzustellen. Aber auch diese Darstellung zeigt ein sehr einheitliches Bild über die gesamte Profillänge. Das in Abbildung 47 dargestellte Profil wurde mit der 100 MHz Antenne gemessen (Bezeichnung der Rohdatei „FILE102.DZT“). In der verwendeten Darstellung der Radargramme ist das Längen- zu Tiefenverhältnis nicht proportional.

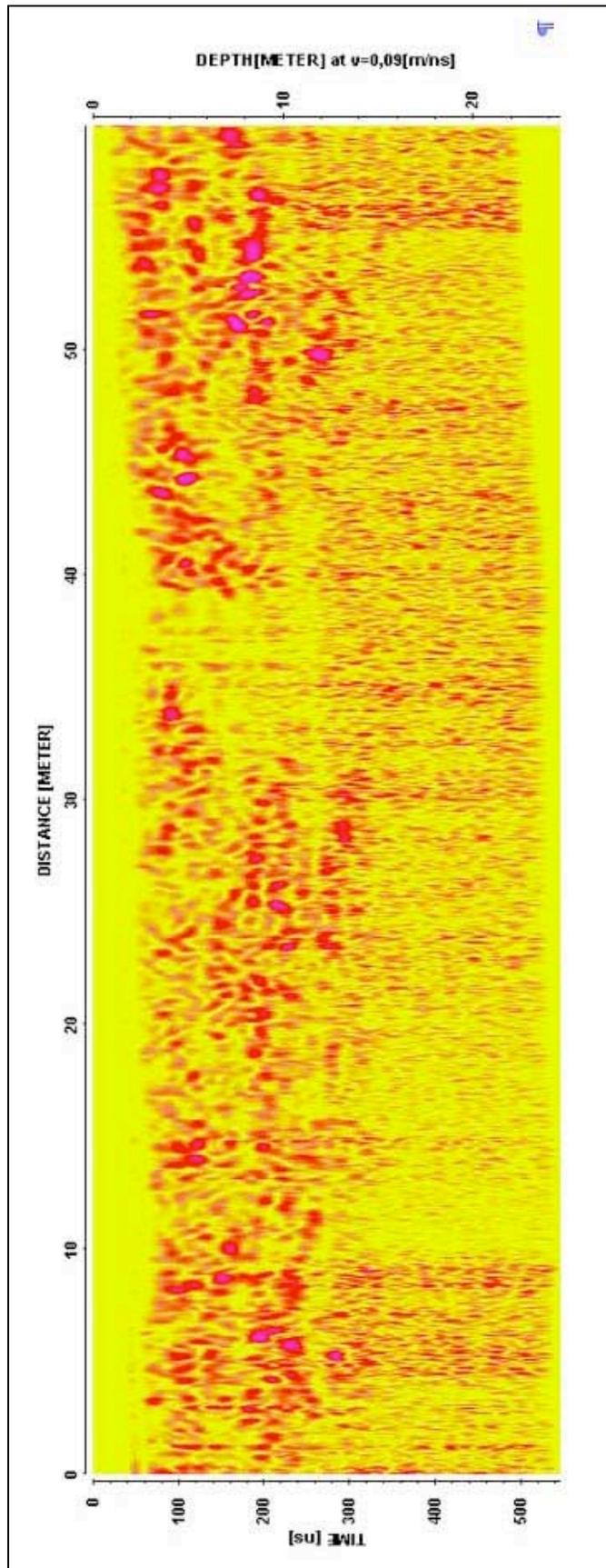


Abbildung 47: Radargramm Profil 3 (100 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM5 (entspricht Laufmeter 0) in östlicher Richtung.

## 6.4 Profil 4

Das Profil 4 liegt im Bereich des Ochsenbodens nordwestlich des Damböckhauses. Das Profil verläuft vom Markierungspunkt SM7 hangaufwärts in die Richtung  $48^\circ$  zum Punkt SM8. Die Gesamtlänge des Profils beträgt 130 m (Abbildung 48).

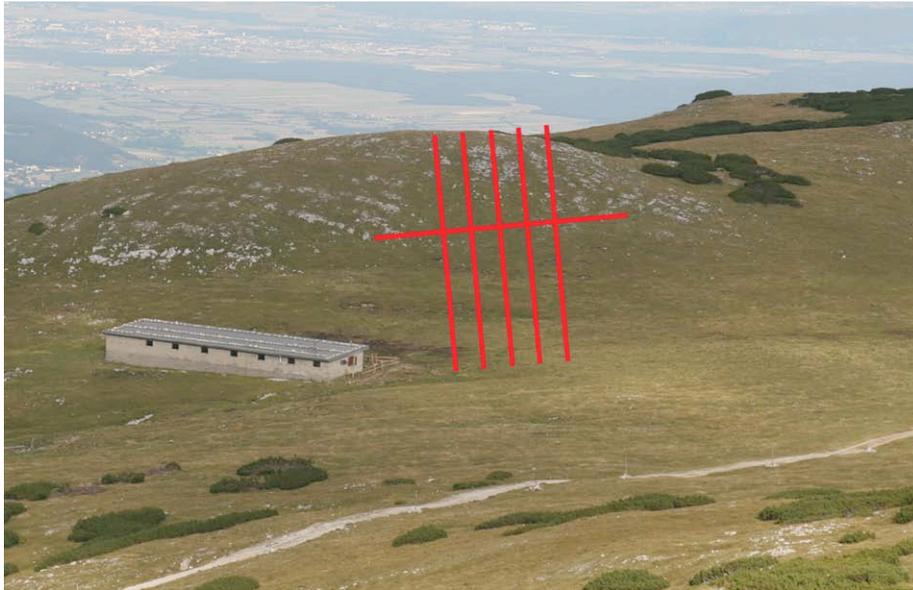


Abbildung 48: Schematische Darstellung der gemessenen Fläche, Profil 4 (Blickrichtung Nord).

Bei Profillaufmeter 78 gemessen von Punkt SM7 und bei Profillaufmeter 40 gemessen von Punkt SM7X kreuzt das Profil 4 das Profil 4X im Winkel von  $90^\circ$ . Das Profil 4X läuft von SM7X in Richtung  $318^\circ$  und hat eine Gesamtlänge von 80 m.

Das Profil 4 wurde ebenfalls wie das Profil 1 flächig gemessen. Dazu wurden 24 weitere Profile an das Hauptprofil 4 parallel angegliedert. Die Anordnung dieser Profile wird in Abbildung 49 dargestellt, wobei das Profil 4 als rote Linie ausgewiesen wird. Der Abstand zum jeweilig ersten Parallel-Profil beträgt 0,5 m. Danach beträgt der Abstand zwischen den Parallel-Profilen, ausgewiesen in violett, immer 1 m. Die grünen Linien stellen das Maßband dar, welches zur Orientierung verwendet wurde. Die Gesamtbreite der Fläche beträgt 23 m.

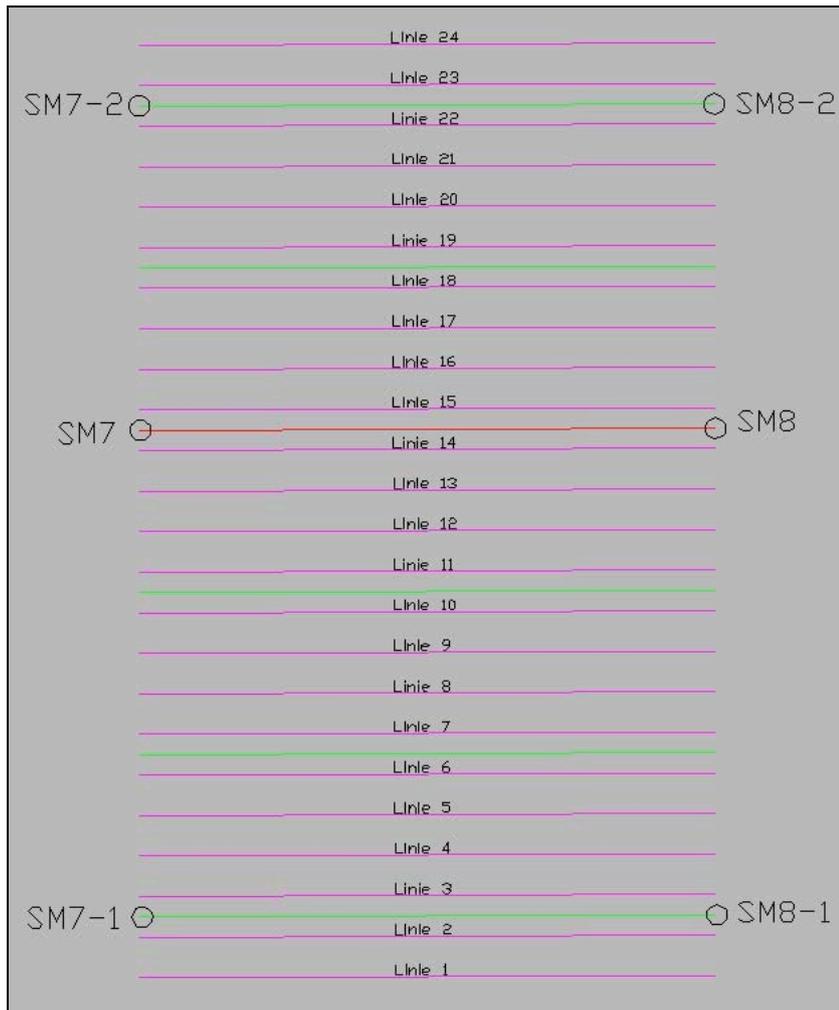


Abbildung 49: Lageüberblick der Messlinien des Profil 4.

Alle Messungen wurden im Sommer 2005 abgeschlossen. Gemessen wurde mit allen Antennen wobei die genauen Messreihen im Anhang angeführt sind.

Die Koordinaten der Punkte des Profil 4 sind in Tabelle 4 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
SM7	711508	291952	1845
SM8	711614	292026	1861
SM7-1	711500	291959	1845
SM7-2	711511	291943	1845
SM8-1	711622	292014	1852
SM8-2	711601	292032	1858
SM7X	711591	291960	1860
SM8X	711549	292025	1855

Tabelle 4: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 4.

6.4.1 Morphologie und Geologie

Die Morphologie und Geologie sind dem Profil 1 sehr ähnlich. Es gibt im nahen Umfeld keine ausgeprägte Karstlandschaft. Das Profil 4 verläuft die ersten 20 m vom Punkt SM7 flach und steigt danach zu Punkt SM8 kontinuierlich an. Der gesamte Höhenunterschied beträgt 16 m (Abbildung 50).

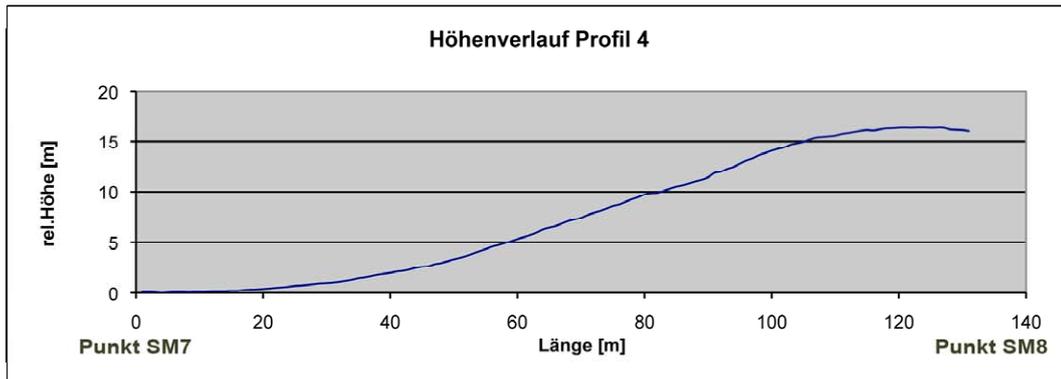


Abbildung 50: Diagramm, Höhenverlauf Profil 4 (Quelle: Martin Andert).

Das Profil 4X läuft von Punkt SM7X die ersten 30 m fast eben und fällt dann kontinuierlich zu Punkt SM8X ab. Der gesamte Höhenunterschied beträgt 4 m (Abbildung 51).

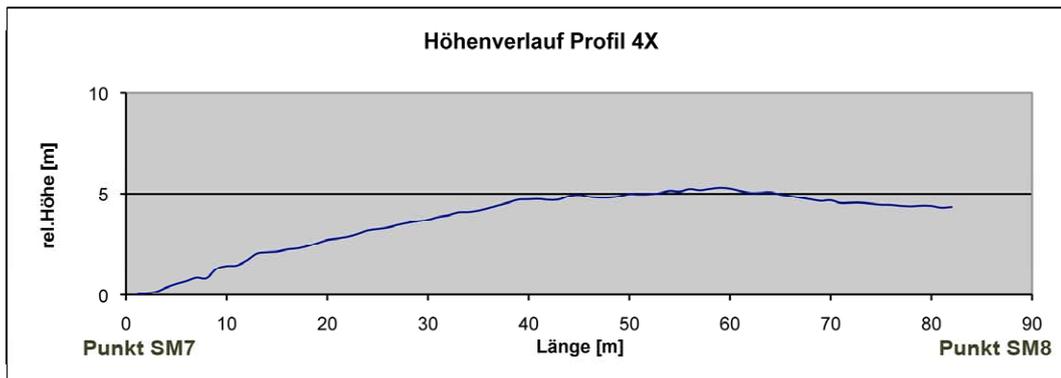


Abbildung 51: Diagramm, Höhenverlauf Profil 4X (Quelle: Martin Andert).

#### 6.4.2 Boden

Dieses Profil weist bei Profillaufmeter 30 eine starke Veränderung in der Mächtigkeit des Oberbodens auf. Bis zu dieser Marke führt das Profil über einen mächtigen, lehmigen Oberbodenhorizont. Vernässungszonen sind an vielen Stellen zu beobachten (Abbildung 52). Die Bodenprofile lassen im Bereich der ersten 30 m erneut zwei Horizonte erkennen (Abbildung 54), einen sehr dunklen, wenige cm mächtigen Horizont an der Oberfläche und einen mächtigen, stark lehmigen, rotbraunen Horizont darunter. Der rotbraune Horizont lässt sich ab Profillaufmeter 30 nicht mehr weiter verfolgen. Die Mächtigkeit des Oberbodens reicht von unter 10 cm bis über 60 cm (Abbildung 53).



Abbildung 52: Vernässungszonen bei Profil 4 (Blickrichtung Ost).

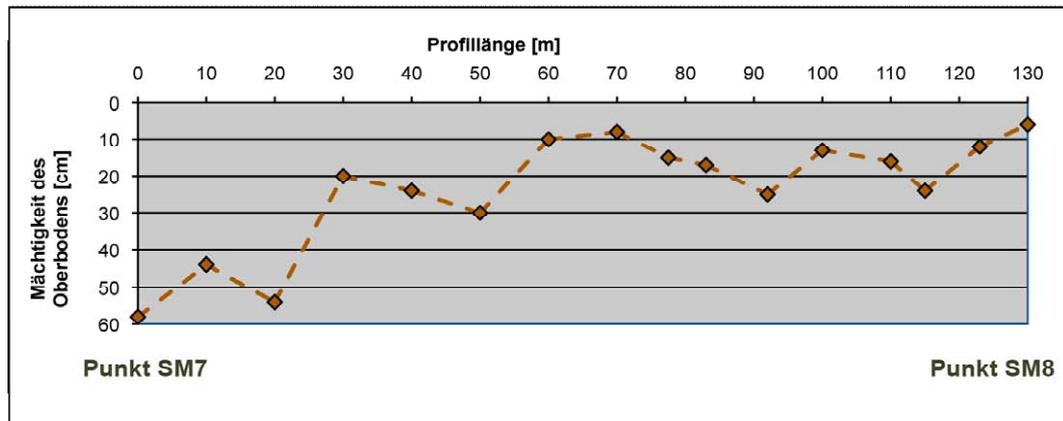


Abbildung 53: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 4.



Abbildung 54: Bodenhorizont Profil 4, bei 10 m gemessen von SM7.

### 6.4.3 Messergebnisse

Die Auswertung der Messdaten von diesem Profil sind noch nicht abgeschlossen. Zum momentanen Zeitpunkt zeigt sich, dass die Ergebnisse denen von Profil 1 sehr ähnlich sind. Das in Abbildung 55 gezeigte Radargramm wurde bei sehr feuchten Bedingungen mit der 40 MHz Antenne aufgenommen (Rohdatendatei „FILE62.DZT“). Im unteren Profilbereich erscheint die Reflektivität deutlich geringer aufgrund des mächtigen, sehr feuchten Oberbodenhorizonts. Ab Profillaufmeter 50 kann man in den Radargrammen einige deutliche Reflexionen erkennen. Das Radargramm in der Abbildung wurde mit den gemessenen relativen Höhen korrigiert. In der verwendeten Darstellung der Radargramme ist das Längen- zu Tiefenverhältnis nicht proportional.

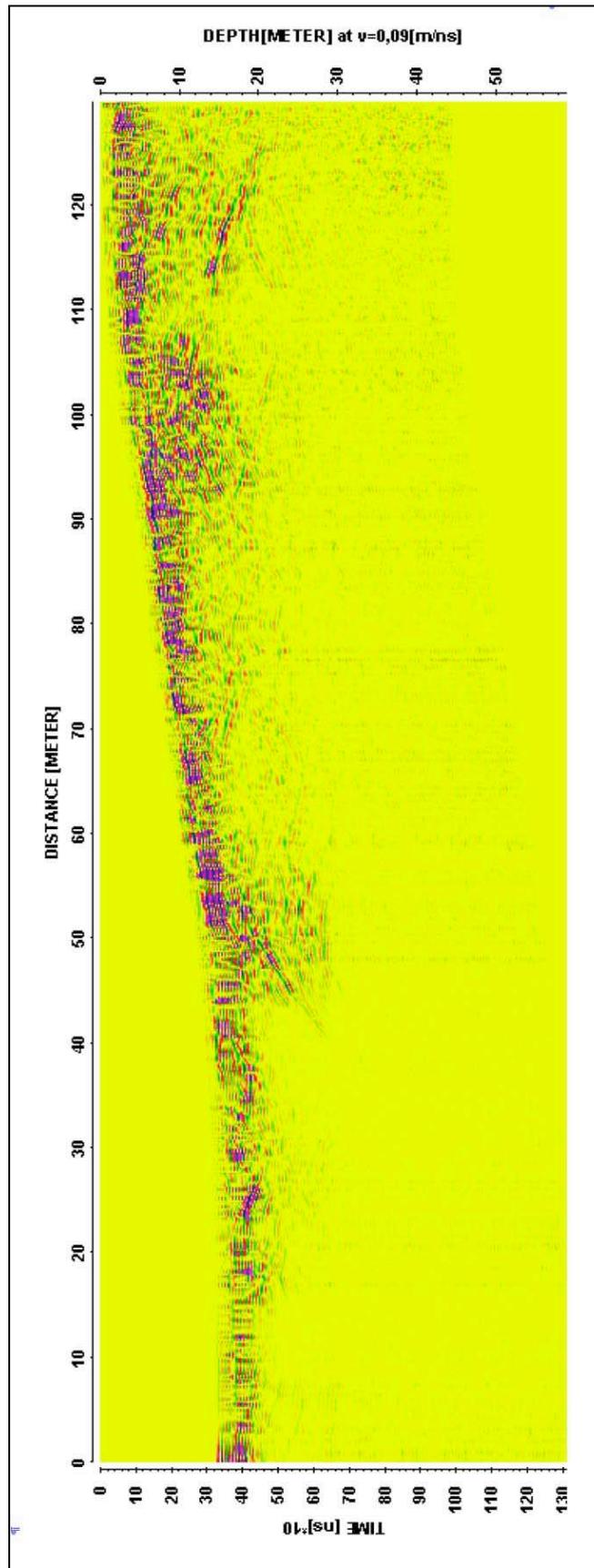


Abbildung 55: Radargramm Profil 4 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM7 (entspricht Laufmeter 0) in nordöstlicher Richtung.

## 6.5 Profil 5

Westlich des Wanderwegs zur Fischerhütte am Ochsenboden liegt Profil 5. Es verläuft von Punkt SM9 in Richtung  $40^\circ$  quer durch ein Kar zu Punkt SM10 und hat eine Länge von 63 m (Abbildung 56).



Abbildung 56: Überblick Profil 5 (Blickrichtung Nordost).

Bei Profillaufmeter 42,5 wurde ein zweites Profil im Winkel von  $90^\circ$  zu Profil 5 gemessen. Dieses Profil läuft von Punkt SM9X in Richtung  $130^\circ$  zu Punkt SM10X und schneidet das Profil 5 bei Profillaufmeter 35.

Beide Profile wurden im Sommer 2005 mit den Antennen 40 MHz, 100 MHz und 500 MHz gemessen.

Die Koordinaten der Punkte des Profil 5 sind in Tabelle 5 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
SM9	711107	292070	1848
SM10	711152	292117	1853
SM9X	711163	292080	1840
SM10X	711119	292114	1836

Tabelle 5: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 5.

### 6.5.1 Morphologie und Geologie

Profil 5 zeichnet sich durch ein glazial mäßig bis stark überprägtes, etwas undeutlich ausgeprägtes Kar aus. Im nahen Umfeld dieses Profiles gibt es eine Vielzahl an Karsterscheinungen, wie kleine Dolinen und Karrenfelder. Sowohl Profil 5 als auch Profil 5X weisen keine markanten Steigungen auf (Abbildung 58 und Abbildung 59).

In einigen mittelgroßen Dolinen im nahen Umfeld der Profile konnten Klufflächen gemessen werden. Abbildung 57 zeigt die stereographische Projektion der Messdaten.

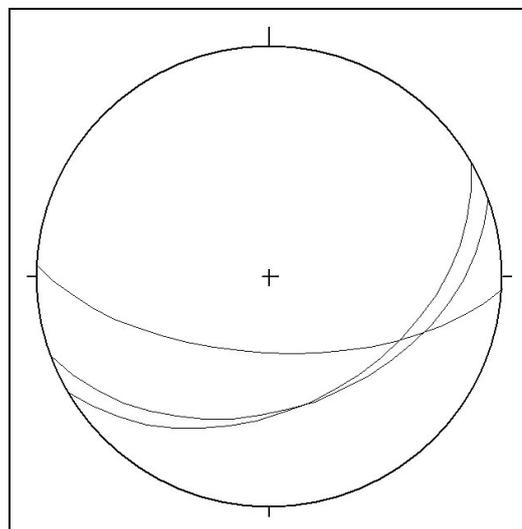


Abbildung 57: Stereographische Projektion der Trennflächen nahe Profil 5.

Bei Profil 5 beträgt der gesamte Höhenunterschied zwischen den Endpunkten 5 m (Abbildung 58).

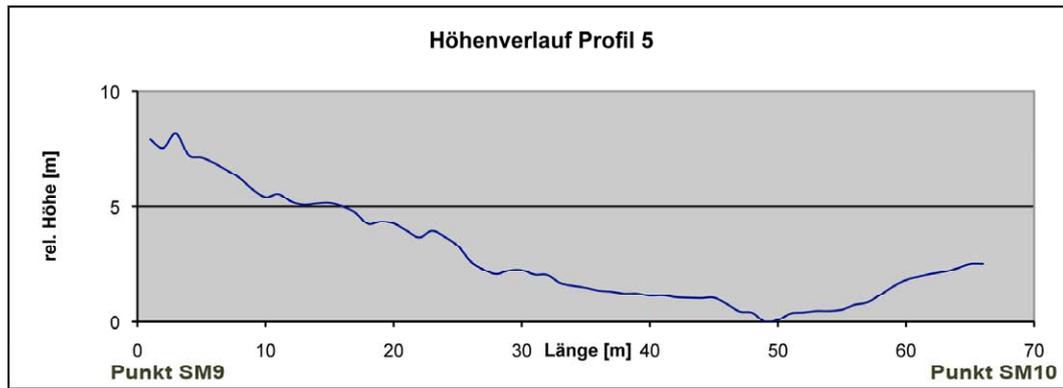


Abbildung 58: Diagramm, Höhenverlauf Profil 5 (Quelle: Martin Andert)

Profil 5X steigt von Punkt SM9X zu Punkt SM10X kontinuierlich an. Der gesamte Höhenunterschied beträgt 4 m (Abbildung 59).

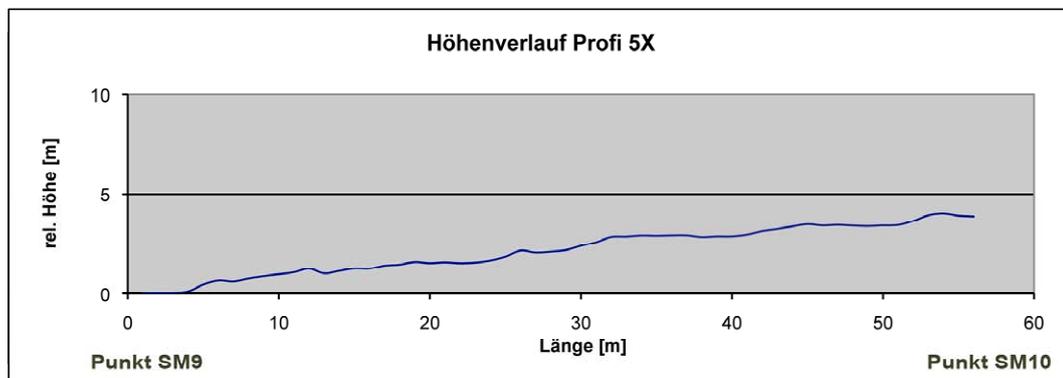


Abbildung 59: Diagramm, Höhenverlauf Profil 5X (Quelle: Martin Andert).

### 6.5.2 Boden

Die Oberbodenmächtigkeit liegt in den ersten 25 m bis 30 m des Profils konstant bei unter 10 cm. Dieser Horizont besteht aus einem sehr dunklen Oberboden mit Bewuchs. Zwischen ca. 30 m und 45 m nimmt die Mächtigkeit der Überlagerung plötzlich sehr stark zu und erreicht bei zwei Probenahmen eine Tiefe von weit über 30 cm. Bei diesen zwei Proben sind erneut zwei Horizonte zu erkennen. Ein sehr geringer schwarzer Horizont und ein mächtiger, rotbrauner sehr lehmiger Horizont. Der tiefere rotbraune Horizont war bei den weiteren Proben, die wieder deutlicher seichter verliefen, nicht mehr sichtbar (Abbildung 60).

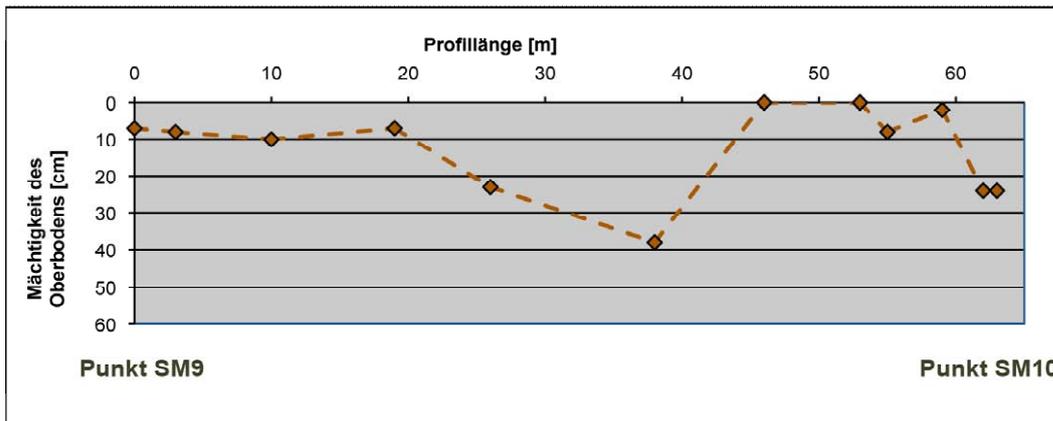


Abbildung 60: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 5.

### 6.5.3 Messergebnisse

Bei diesem Profil war die Qualität der erzeugten Daten schlecht. Die erste Betrachtung der Datensätze hat gezeigt, dass diese einer genaueren und komplexeren Aufbereitung unterzogen werden müssen, um die gewonnenen Radargramme interpretieren zu können. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen noch keine aussagekräftigen Radargramme vor.

## 6.6 Profil 6

Das Profil 6 liegt hangaufwärts südwestlich von Profil 5. Es verläuft quer zu einem Trockental, welches vom Bockgrubenriegel zum Ochsenboden hinunter zieht. Die Richtung der Messstrecke ist 148° (von Punkt SM11 in Richtung SM 12) und hat eine Länge von 47 m (Abbildung 61).



Abbildung 61: Überblick über Profil 6 (Blickrichtung West).

Das Profil wurde im Juli 2005 mit den Antennen 40 MHz, 100 MHz und 500 MHz gemessen.

Die Koordinaten der Punkte des Profil 6 sind in Tabelle 6 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
SM11	710973	292136	1873
SM12	710994	292092	1874

Tabelle 6: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 6.

### 6.6.1 Morphologie und Geologie

Das Profil 6 liegt quer über einem deutlich ausgeprägten Trockental. Der Bereich auf der westlichen Seite des Profils ist von Periglazialschutt bedeckt. Es gibt keine großen Dolinen in der Umgebung. Allerdings konnten sehr viele kleinere Karststrukturen nachgewiesen werden. In diesem Bereich gibt es wenig bis keine glaziale Überprägung. In der Nähe des Profils konnten mehrere Trennflächen kartiert werden (Abbildung 62).

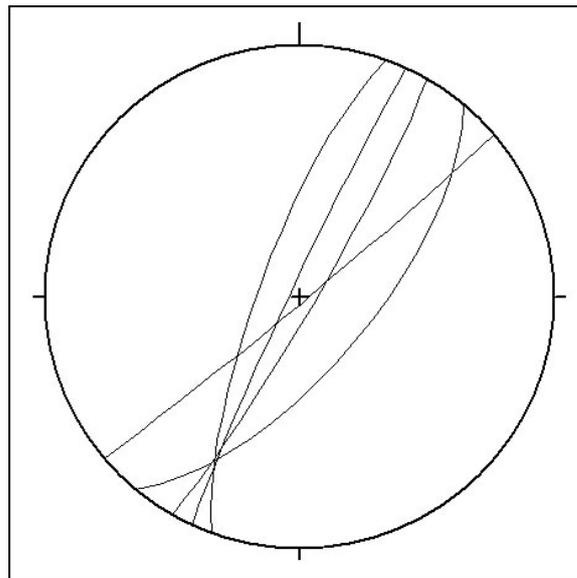


Abbildung 62: Stereographische Projektion der Trennflächen bei Profil 6.

Die Profileckpunkte weisen nur einen Höhenunterschied von 1 m auf. Allerdings liegt der tiefste Punkt im Graben 4 m unter dem Punkt SM11 (Abbildung 63).

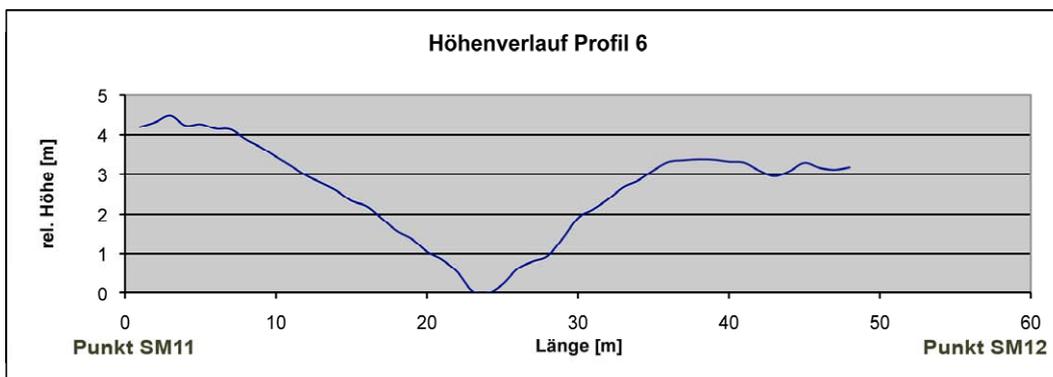


Abbildung 63: Diagramm, Höhenverlauf Profil 6 (Quelle: Martin Andert).

### 6.6.2 Boden

In diesem Profil gibt es sehr große Schwankungen bei der Mächtigkeit des Oberbodens. Dies lässt sich wahrscheinlich auf verfüllte Karststrukturen zurückführen. Sobald die Mächtigkeit des Oberbodens mehr als 10 cm beträgt kommt es zur Ausbildung von einem rotbraunen, stark lehmigen Horizont im Bodenprofil (Abbildung 64).

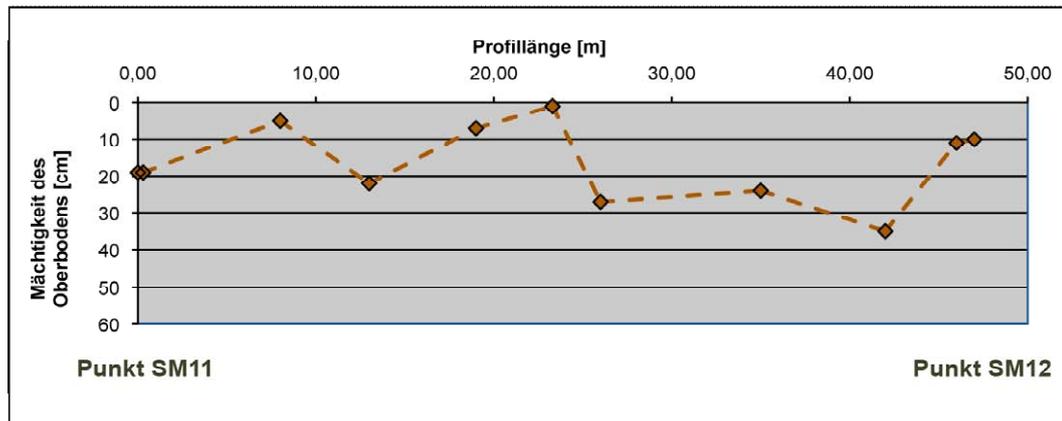


Abbildung 64: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 6.

### 6.6.3 Messergebnisse

Das in Abbildung 65 gezeigte Radargramm wurde mit der 40 MHz Antenne gemessen (Rohdatendatei „FILE39.DZT“). Es unterscheidet sich jedoch stark von allen anderen Radargrammen, die bei den anderen Profilen gewonnen wurden. Im Gegensatz zu den anderen Abbildungen zeigt das Reflexionsbild des Profils 6 deutlich flacher liegende Horizonte. Das Radargramm in der Abbildung 65 wurde mit den gemessenen relativen Höhen korrigiert. In der verwendeten Darstellung der Radargramme ist das Längen- zu Tiefenverhältnis nicht proportional.

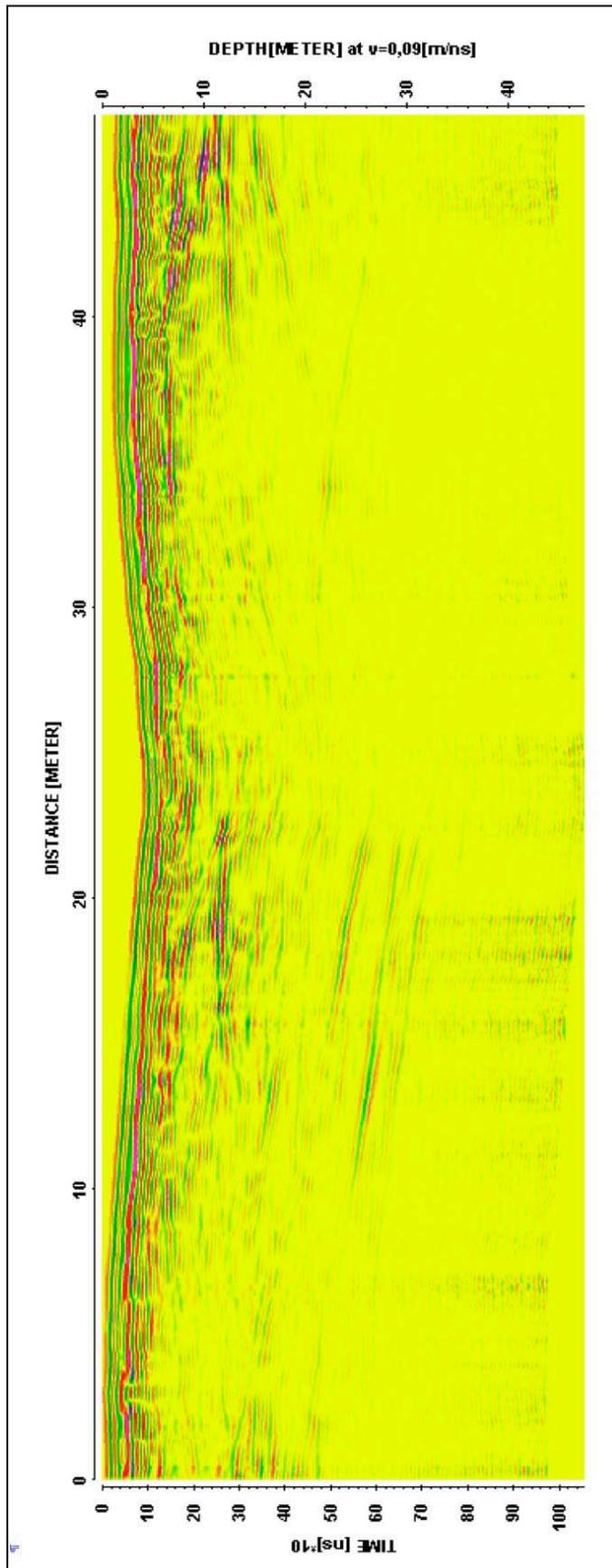


Abbildung 65: Radargramm Profil 6 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM11 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.

## 6.7 Doline 1 und Doline 2

Am Ochsenboden in der Nähe etwas südöstlich des Profils 5 wurden zwei Dolinen ausgewählt an denen ebenfalls Profilmessungen durchgeführt wurden.

Die Koordinaten der Mittelpunkte der Dolinen sind in Tabelle 7 aufgelistet:

Koordinatensystem: BMN, M34			
Punktbezeichnung	RW	HW	SH
D01	711182	292028	1850
D02	711103	292079	1855

Tabelle 7: Koordinaten der Dolinenmittelpunkte der Dolinen 1 und 2.

Bei jeder Doline wurden zwei Profile festgelegt, die sich im Mittelpunkt der Dolinen im rechten Winkel schneiden.

Bei Doline 1 wurde ein Profil in die Richtung 30° bis 210° und ein zweites Profil in die Richtung 120° bis 300° gemessen (Abbildung 66). Bei Doline 2 wurde ein Profil in die Richtung 10° bis 190° und das zweite Profil wurde in die Richtung 100° bis 280° gemessen. Jedes der vier Profile ist 20 m lang und schneidet den Dolinenmittelpunkt immer bei Profillaufmeter 10.

Die beiden Dolinen wurden im Sommer 2005 mehrmals mit der 500 MHz Antenne gemessen. Messungen mit einer anderen Antenne waren aufgrund der engen Morphologie und notwendigen ausladenden Geräteanordnung nicht möglich.

### 6.7.1 Morphologie und Geologie

Diese beiden Dolinen wurden aufgrund ihrer unterschiedlichen Morphologie ausgewählt. Doline 1 (Abbildung 66) wird von sehr steilen Böschungen begrenzt, während Doline 2 (Abbildung 67) viel seichter und durch wesentlich flachere Böschungen gekennzeichnet ist. Meist sind Dolinen in der Mitte durch eine verstärkte Wasserwegigkeit gekennzeichnet.



Abbildung 66: Doline 1 mit den Messprofilen (Blickrichtung Nordwest).



Abbildung 67: Doline 2 mit den Messprofilen (Blickrichtung Nordost).

In Abbildung 68 bis Abbildung 71 sind die Höhenverläufe aller vier Messprofile dargestellt.

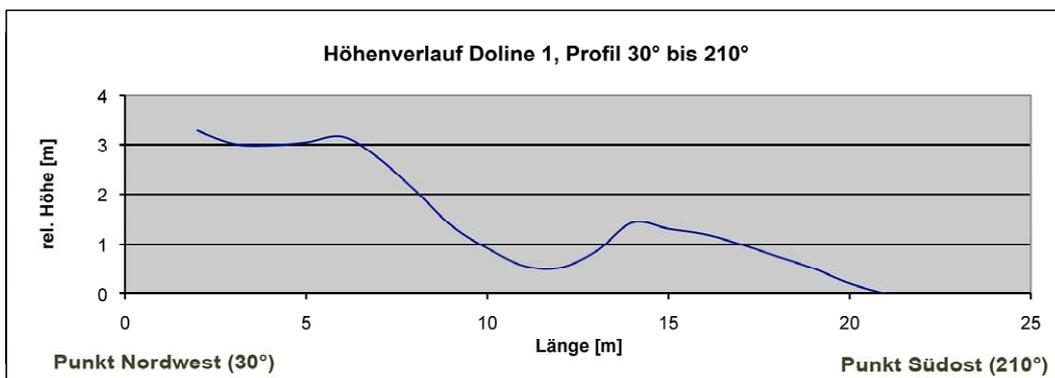


Abbildung 68: Diagramm, Höhenverlauf Doline 1, Profilrichtung 30° bis 210° (Quelle: Martin Andert).

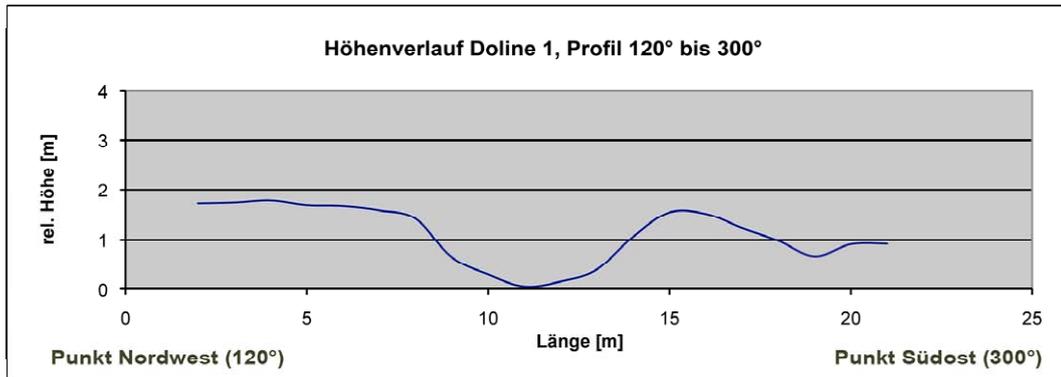


Abbildung 69: Diagramm, Höhenverlauf Doline 1, Profilrichtung 120° bis 300° (Quelle: Martin Andert).

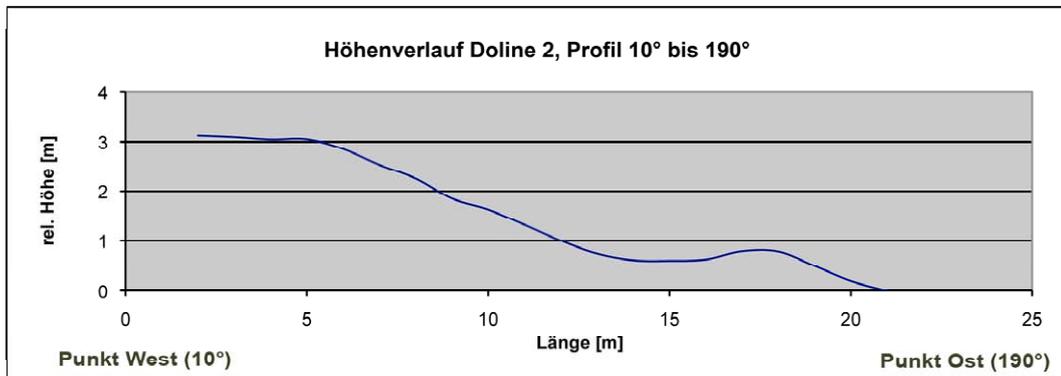


Abbildung 70: Diagramm, Höhenverlauf Doline 2, Profilrichtung 10° bis 190° (Quelle: Martin Andert).

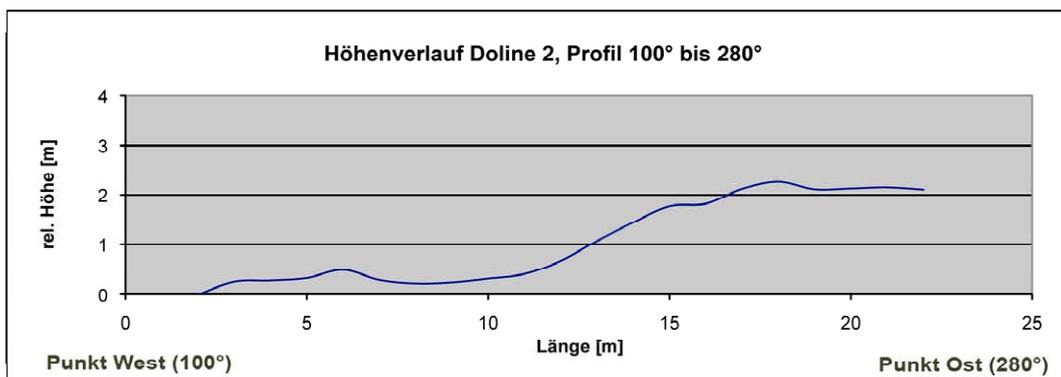


Abbildung 71: Diagramm, Höhenverlauf Doline 2, Profilrichtung 100° bis 280° (Quelle: Martin Andert).

### 6.7.2 Boden

Wie aus Abbildung 72 und Abbildung 73 ersichtlich ist variiert die Mächtigkeit des Oberbodens sehr stark bei beiden Dolinen. In den

weniger mächtigen Bereichen (ca. 10 cm) ist immer nur ein schwarzer Horizont zu erkennen, während in allen andern Bereichen, in welchen die Bodentiefe deutlich mächtiger ist, immer zwei Horizonte ausgebildet sind, ein schwarzer Horizont im oberen Bereich sowie ein rotbrauner Horizont in den tieferen Bereichen.

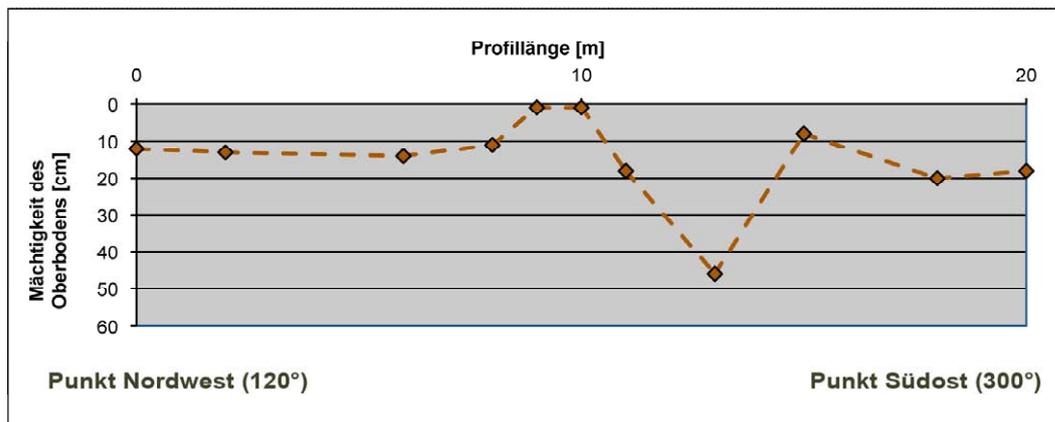


Abbildung 72: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil Doline 1.

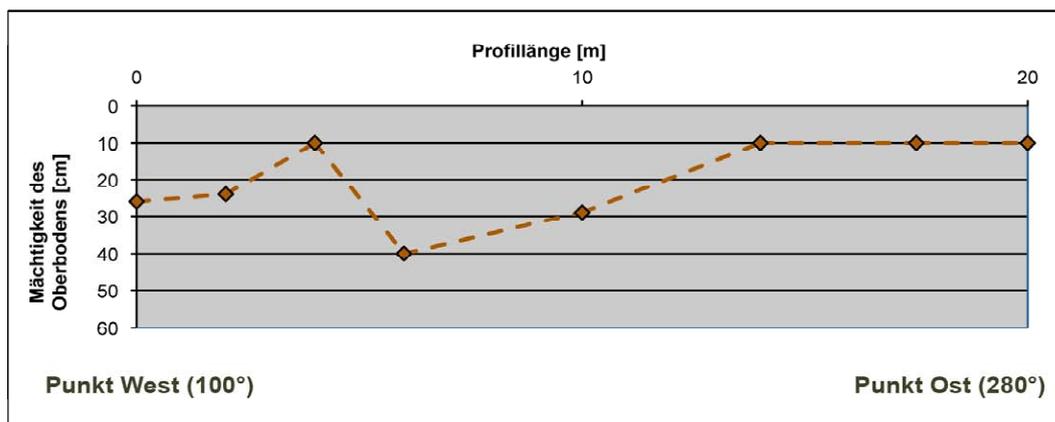


Abbildung 73: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil Doline 2.

### 6.7.3 Messergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen bei den Profilen der Doline 1 ergaben keine darstellbaren Resultate. Deshalb werden hier nur die Ergebnisse der Messungen der Doline 2 in Radagrammen präsentiert. Das in Abbildung 74 dargestellte Radagramm wurde aus dem Rohdatenfile „FILE28.DZT“ erstellt. Der Abbildung 75 liegen die Rohdaten aus der Datei „FILE59.DZT“

zugrunde. Bei beiden Radargrammen wurde das Profil mit der Richtung 10 bis 190° gemessen.

Beide Messungen wurden bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen gemessen. Bei Abbildung 74 gab es am Tag vor der Messung ein starkes Niederschlagsereignis, während es bei der Messung, die in Abbildung 75 dargestellt wird, einige Tage davor nicht geregnet hatte. Eine Messung bei komplett trockenen Bedingungen war im Sommer 2005 leider nicht möglich.

Abbildung 74, direkt gemessen nach einem Niederschlagsereignis, zeigt eindeutig mehr Reflexionen im oberen Bereich der Aufnahme. Die zweite Messung wurde unter trockeneren Bedingungen durchgeführt (einige Tage kein Niederschlag). In Abbildung 75 kann man am Radargramm erkennen, dass deutlich mehr Reflexionen in tieferen Zonen abgebildet wurden.

Die nachfolgend abgebildeten Radargramme wurden mit den gemessenen relativen Höhen korrigiert. In der verwendeten Darstellung der Radargramme ist das Längen- zu Tiefenverhältnis nicht proportional.

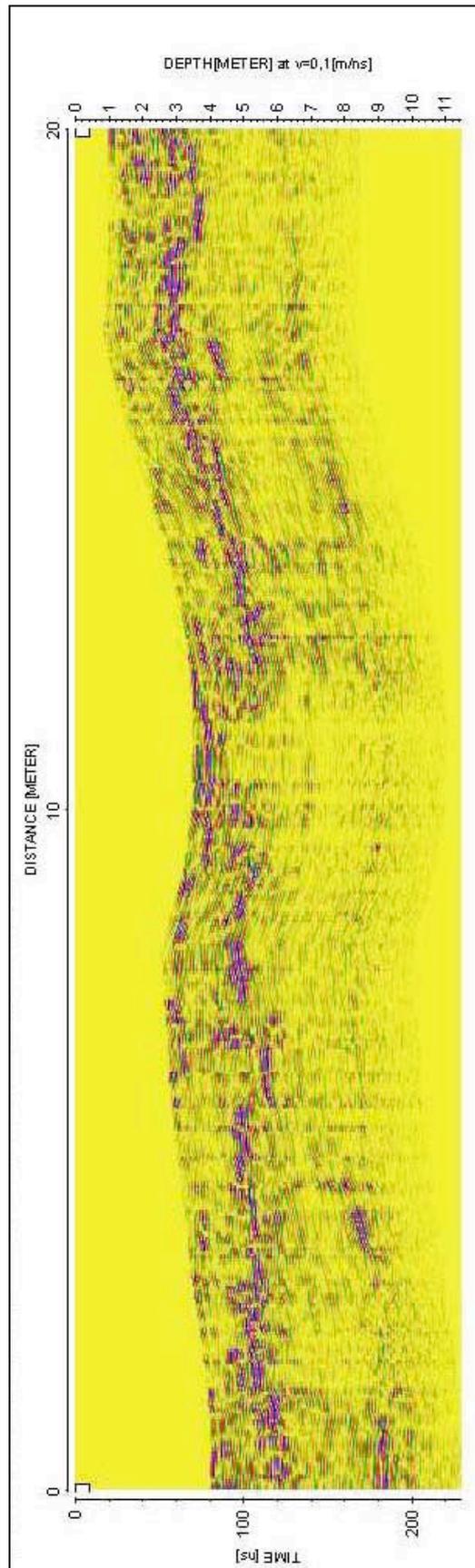


Abbildung 74: Radargramm Profil Doline 2 (500 MHz Antenne) erstreckt sich von Norden (10°, bei Laufmeter 0) in südlicher Richtung, Messung bei nassen Bedingungen.

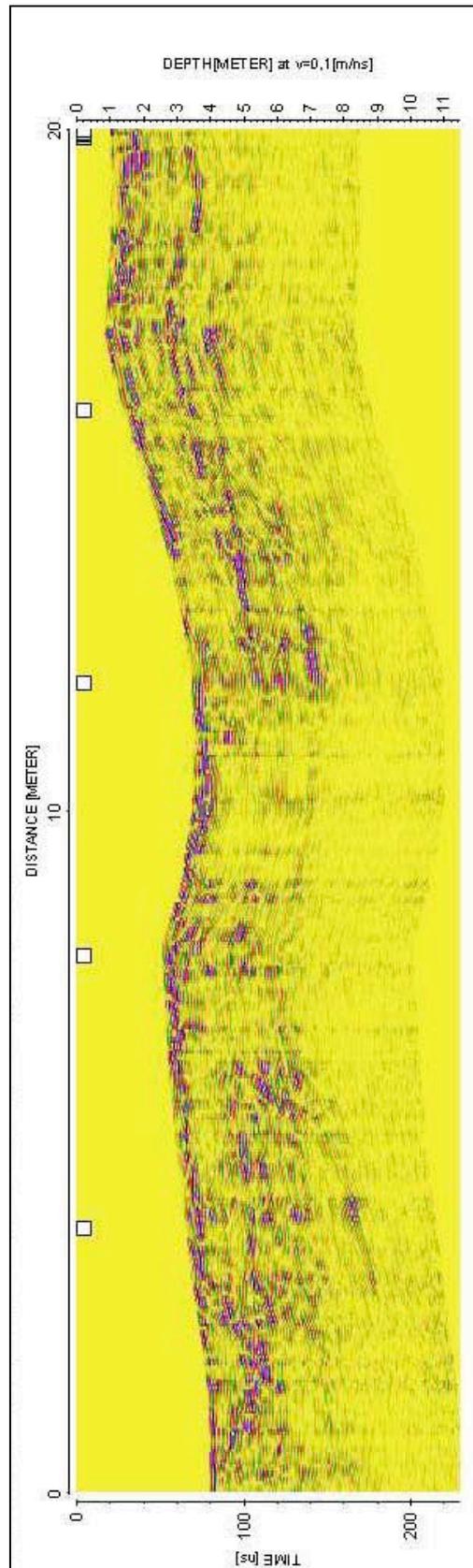


Abbildung 75: Radargramm Profil Doline 2 (500 MHz Antenne) erstreckt sich von Norden (10°, bei Laufmeter 0) in südlicher Richtung, Messung bei trockenen Bedingungen.

## 7 INTERPRETATION

Die in Profilmessung 1 auftretenden Reflexionen konnten mit allen vier verwendeten Antennen sichtbar gemacht werden. Die dadurch nachgewiesene Reproduzierbarkeit der Daten ist ein entscheidender Faktor für die Interpretation der durchgeführten Georadarmessungen.

So lässt die in Profil 1 gemessene Geschwindigkeit der Wellen darauf schließen, dass die erkannte Reflexion zwischen Profillaufmeter 10 bis 45 eine mit Sediment verfüllte Kluft darstellt. Hingegen stellt die zweite Reflexion, die bei Profillaufmeter 80 sichtbar ist und sich von Profil 1L bis Profil 4R verfolgen lässt, einen luftgefüllten Bereich dar. Aufgrund der Wellengeschwindigkeit und der Form der Reflexion handelt es sich hier mit großer Wahrscheinlichkeit um einen Hohlraum in ca. 20 m Tiefe.

Diese markanten Inhomogenitäten sind über eine Breite von mehr als 20 m eindeutig verfolgbar. Es wurde untersucht ob diese Inhomogenitäten mit markanten Störungen in der Felswand direkt unterhalb des Hügels nordwestlich des Profils vergleichbar sind. In der Felswand war es nicht möglich große Störungen zu kartieren, die mit den in Radargrammen abgebildeten Störungen korrelierbar sind.

Basierend auf diesen Ergebnissen wäre für eine weitere Abklärung dieser Reflexionen eine Referenzbohrung bei Profillaufmeter 30 und 80 von großem Interesse.

Ein Vergleich der Abbildung 24 mit der Abbildung 31 zeigt sehr gut, dass der Feuchtigkeitsgrad des Oberbodens einen großen Einfluss auf die Messergebnisse hat. Während das Radargramm von Profil 1 in Abbildung 24 unter feuchten Bedingungen gemessen wurde (in der Nacht vor der Messung gab es leichten Niederschlag), wurden die Daten für das Radargramm in Abbildung 31 unter sehr trockenen Bedingungen erstellt.

Im Juli 2006 gab es vor der Messung eine zweiwöchige Periode ohne Niederschlag. In Abbildung 24 sind deutliche Reflexionen aufgrund der Wassersättigung in den obersten Schichten gut zu erkennen. Bei der Messung 2006 kam es aufgrund der Trockenheit zu keinen markanten Reflexionen in den obersten Horizonten. Weiters zeigt das Profil der Abbildung 31 in den tieferen Bereichen vergleichbar mehr Reflexionen als in den seichten. Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass das Signal bei trockenen Verhältnissen vom überlagerten Oberboden deutlich weniger stark gedämpft wird, was auch mit Hilfe des Radargramms in Abbildung 42 bestätigt werden konnte.

Die Messergebnisse und erhobenen Radargramme (Abbildung 42) des Profils 2 veranschaulichen sehr gut, dass die Oberflächenbeschaffenheit einen starken Einfluss auf die Reflektivität der tieferen Bereiche hat. Aufgrund der feuchten Bedingungen in den Tagen vor der Messung war der Oberboden sehr stark mit Wasser gesättigt. Dies führte zu einer starken Dämpfung des Signals und somit zur einer geringeren Erkundungstiefe. Die Abhängigkeit der Erkundungstiefe von der Mächtigkeit und Zusammensetzung des Oberbodens zeigt das Radargramm in Abbildung 42 sehr deutlich. Im mittleren Bereich des Profils, wo der Untergrund deutlich felsiger ausgeprägt ist und kaum eine Überdeckung mit Oberboden erkennen ließ, war die beobachtete Erkundungstiefe wesentlich größer und führte dazu, dass Reflexionen auch noch in Tiefen von über 30 m aufgezeichnet werden konnten. Im Gegensatz dazu konnten an den Randbereichen des Profils, dort wo die Oberbodenmächtigkeit mehr als 30 cm betrug, nur jene Reflexionen gemessen werden, die unter 20 m lagen.

Das Radargramm in Abbildung 42 zeigt keine großen Störungen. Die gemessenen Trennflächen aus den Dolinen im Nahbereich (Abbildung 38) konnten daher nicht mit dem Radargramm korreliert werden.

Gemäß unserer Fragestellung sollten sich Porositätsunterschiede auch in Radargrammen darstellen lassen. Da die Porosität der Rauhacke deutlich höher ist als die des Kalks wurde erwartet, dass sich dieser Unterschied auch in den Georadarmessungen des Profils 3 widerspiegelt. Abbildung 47 zeigt jedoch ein homogenes Bild. Eine Darstellung des beobachteten Lithologiewechsels im Untergrund war mittels Radargramm nicht möglich. Möglicherweise ist die Veränderung der physikalischen Parameter, welche die Dielektrizitätskonstante beeinflussen zu gering und konnte daher mit der Auflösung unserer Antennen nicht nachgewiesen werden. Ebenfalls konnten an den zwei Geländemulden, die vom Profil gequert werden, keine damit verbundenen Störungen abgebildet werden.

Die Messergebnisse und dargestellten Radargramme von Profil 4 (Abbildung 55) bestätigen ebenfalls die Erkenntnisse, die aus Profil 1 und Profil 2 gewonnen werden konnten. Im oberen Bereich von Profil 4 (ca. ab Profillaufmeter 40) sind deutliche Reflexionen bis über 20 m Tiefe erkennbar. In diesem Bereich ist die Oberbodenmächtigkeit sehr gering ausgeprägt (meist um 10 cm) und der rotbraune, lehmige Bodenhorizont fehlt zur Gänze. Durch den stark wassergesättigten lehmigen Oberbodenhorizont, der im unteren Profilmessbereich (Profillaufmeter 0 bis 40) eine Mächtigkeit bis zu 60 cm aufweist, wurde das Signal in diesem Abschnitt sehr stark gedämpft und nur sehr wenige, schwache Reflexionen aus den obersten 10 bis 15 m des Untergrunds aufgezeichnet. Dadurch konnte auch anhand dieser Profilmessung gezeigt werden, dass die Oberbodenbeschaffenheit einen großen Einfluss auf die Qualität der gewonnenen Ergebnisse hat.

Im Bereich mit geringer Oberbodenaufgabe zeigt das Radargramm zwei deutliche Reflexionen bei Profillaufmeter 50 und 110. Hierbei handelt es sich analog zu Profil 1 um Störungszonen. Auch in diesem Profil wäre eine Referenzbohrung zur weiteren Abklärung an den beiden oben genannten Laufmetern von großem Interesse.

Die Ergebnisse von Profil 6 (Abbildung 65) zeigen keine deutlichen subvertikalen Reflexionen. Die Vermutung, dass das relativ geradlinig verlaufende Trockental an eine Störung gebunden ist, konnte somit nicht bestätigt werden. Aufgrund der sehr schwachen Ausbildung des Oberbodens wurde in diesem Profil bei der Verwendung der 40 MHz Antenne eine Eindringtiefe von über 40 m erreicht.

Die Profilmessung an Doline 1 zeigt die Grenzen der Einsatzfähigkeit des Georadars auf, die sich in dieser Untersuchung aufgrund der angetroffenen Geländemorphologie ergaben. Doline 1 wird von Böschungen begrenzt, die teilweise senkrechte Stufen aufweisen, und ein gleichmäßiges Führen der Messgeräte fast unmöglich machten. Die erhaltenen Daten konnten aufgrund der daraus resultierenden geringen Qualität nicht weiter ausgewertet werden.

Im Gegensatz dazu lieferten die Profilmessungen an Doline 2, die durch wesentlich flachere Böschungen gekennzeichnet ist, aussagekräftige Radargramme (Abbildung 74 und Abbildung 75). In Abhängigkeit von den vorherrschenden Witterungsverhältnissen zeigen sich bei feuchten Bodenbedingungen mehr Reflexionen in seichteren Bereichen, während bei trockenen Bodenbedingungen mehr Reflexionen in tieferen Bereichen zu sehen sind. Da das Georadar daher auch zur Darstellung von temporären Veränderungen, die z.B. durch Wasserbewegungen im Epikarst entstehen, eingesetzt werden kann, erlauben diese Ergebnisse wichtige Einblicke in zukünftige Anwendungsgebiete des Georadars.

## 8 SCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassend liefert die Analyse der in dieser Studie aufbereiteten Radargramme, folgende Erkenntnisse.

- Strukturen wie Hohlräume und Störungen sind bis in eine Tiefe von 30 bis 40 m gut erkennbar. Das Georadar stellt daher eine geeignete Methode dar, um derartige Inhomogenitäten in Karstgebieten zu erkunden.
- Die maximale Erkundungstiefe, die im Untersuchungsgebiet erreicht wurde, war stark von der Mächtigkeit und Zusammensetzung des Oberbodens abhängig.
- Bei einer großen Mächtigkeit des Oberbodens zeigen sich deutlich weniger Reflexionen der tieferen Bereiche, da der Boden das Radarsignal stärker dämpft.
- Mehrmalige Messungen an vergleichbaren Tagen, unter den selben Witterungsverhältnissen zeigen vergleichbare Ergebnisse. Das bedeutet, dass die Aufnahmen sehr gut reproduzierbar sind und somit die Möglichkeit zur Darstellung zeitlicher Veränderungen besteht.
- Messungen bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen und Feuchtigkeitsgraden im Boden, ermöglichen die Abbildung von Bewegungen (wie in diesem Fall z.B. von Wasser). Dadurch können Einblicke in die Wasserdynamik im Epikarst gewonnen und Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit der Bewegung gezogen werden.
- Unsere Messungen zeigen, dass auch in hochalpinen Karstlandschaften ein Epikarst ausgeprägt ist. In unserer Untersuchung kann die Mächtigkeit des Epikarst mit wenigen Zehnermetern angegeben werden. Eine klare Abgrenzung der Epikarstbasis von der darunter liegenden vadosen Zone ist im

untersuchten Gebiet mit Bodenradarmessungen jedoch nicht möglich.

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

Al-fares, W., Bakalowicz, M., Guérin, R. & Dukhan, M. (2002): Analysis of the karst aquifer structure of the lamalou area (Hérault, France) with ground penetrating radar. – Journal of Applied Geophysics 51: 97-106.

Behm, M., Plan, L. & Roch, K.-H. (2005): Erfolgreicher Versuch einer Höhlendetektion mit Georadar (GPR). - Die Höhle, 56 (1-4): 20-23.

Culver, D.C. & White, W.D. (2005): Encyclopedia of Caves. – Elsevier, London.

Custodio, E. & Llaamas, M.R. (1983): Hidrologia subterránea 2ª Edición. – Omega, Madrid.

Duran Valsero, J.J., Andreo, B. & Carrasco, F. (2006): Karst, Cambio Climatico y aguas subterranas. – Primera, Madrid.

Faupl, P. (2000): Historische Geologie: eine Einführung. – Facultas, Wien.

Ford, D. & Williams, D. (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology. – John Wiley and Sons, United Kingdom.

Garcia Rodriguez, M. & Fernandez Escalante, A. (2007): Hidrogeologia basica. – Primera, Madrid.

Gsenger, G. (2002): Geologischer Exkursionsführer Rax, Schneeberg und Hohe Wand für AHS-Lehrer mit einer Zusammenstellung relevanter Basisinformation sowie fachdidaktischen Anleitungen. - Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Wien - Fakultät für Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, Wien.

Höltling, B. (1996): Hydrogeologie: Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. – 5., überarb. und erw. Aufl. – Enke, Stuttgart.

Ingebritsen, S.E. & Sanford, W.E. (1998): Groundwater in geologic processes. – Cambridge University Press, Cambridge.

Klimchouk, A. (1995): Karst Morphogenesis in the epikarstic zone. – Cave and Karst Science, 21 (1995): 45-50.

Klimchouk, A. (2004): Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution – Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers. – The Virtual Scientific Journal, 2, (1): 1-13.

Knödel, K., Krummel, H. & Lange, G. (1997): Bodenphysik: Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 3 – Springer Verlag, Berlin.

Krenmayr, H.G., Hofmann, T., Mandl, G.W., Peresson, H., Pestal, G., Pistotnik, J., Reitner, J., Scharbert, S., Schnabel, W. & Schönlaub, H.P. (1999): Rocky Austria – Eine bunte Erdgeschichte von Österreich. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

Lein, R. & Hohenegger, J. (1977): Die Reiflinger Schichten des Schneeberg-Nordostabfalles und ihre Foraminiferenfauna. – Mitteilung der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich, 24: 203-261

Mandl, G.W. (2006): KATER II (KARst waTER research program) Geology of the Rax-Schneeberg-Region - Explanatory notes to the digital geological map of the Rax-Schneeberg-Region. - Unveröffentlicher Forschungsbericht, Geologische Bundesanstalt, Wien.

Öhreneder A. (2001): Erprobung des Bodenradars zur Erkundung der Hydrogeologischen Eigenschaften des Untergrundes. – Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur - Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau, Wien.

Perrin, J., Jeannin, P.Y. & Zwahlen, F. (2003): Epikarst storage in a karst aquifer: a conceptual model based on isotopic data, Milandre test site, Switzerland. – *Journal of Hydrology*, 279 (1-4): 106-124.

Plan, L. (2005): Karstwasserschutz und andere umweltrelevante Fragestellungen im Bereich Rax, Schneeberg und Hochschwab. - Unveröffentlicher Forschungsbericht im Auftrag der MA 31, Umweltdachverband, Wien.

Powell, D. (1992): Interpretation geologischer Strukturen durch Karten – Eine praktische Anleitung mit Aufgaben und Lösungen – Übersetzt von Th. Reimer. – Springer, London.

Prinz, H. & Strauß, R. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie – 4., bearbeitete und erweiterte Auflage. – Elsevier, München.

Schmidt, F. (2003): Vulnerabilitätskartierung für den Trinkwasserschutz im Karst – Anwendungsbeispiel Veldensteiner Mulde. – *Grundwasser*, 2003 (2): 103-112.

Trček, B. (2003): Epikarst zone and the karst aquifer: a case study of the Hubelj catchment. - Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

Vinx, R. (2005): Gesteinbestimmung im Gelände. – Elsevier, München.

Wessely, G. (2006): Geologie der österreichischen Bundesländer – Niederösterreich. - Geologische Bundesanstalt, Wien.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Einteilung des Karstkörpers (Quelle: Filipponi, 2006). .....	3
Abbildung 2: Epikarst mit fehlendem Oberboden (Quelle: Culver and White, 2005: 220). .....	4
Abbildung 3: Infiltrationsvorgänge im Karst (Quelle: Culver and White, 2005: 221). .....	6
Abbildung 4: Hydrologische Eigenschaften des Epikarst (Quelle: Klimchouk, 2004). .....	7
Abbildung 5: Geographische Lage des Untersuchungsgebiets. ....	8
Abbildung 6: Geologie des Schneebergplateaus (Quelle: Mandl 2006)...	10
Abbildung 7: Übersicht über die Karstmorphologie am Schneeberg (Kartengrundlage Plan, 2005). .....	13
Abbildung 8: Prinzipien der Methode (Quelle: Knödel et al., 1997). .....	15
Abbildung 9: Georadar mit Antennen. ....	17
Abbildung 10: Lageplan der gemessenen Profile (Kartengrundlage Plan, 2005). .....	18
Abbildung 11: Entnahme einer Bodenprobe .....	20
Abbildung 12: Epikarsthorizont am Schneebergplateau (Blickrichtung Nordost) .....	21
Abbildung 13: Stereographische Projektion der Trennflächen. ....	22
Abbildung 14: Stereographische Projektion der Harnischflächen. ....	22
Abbildung 15: Epikarsthorizont im Steinbruch Mannersdorf (Quelle: Lukas Plan). .....	23
Abbildung 16: Lageübersicht Profil 1, genaue Position siehe Abbildung 10 (Blickrichtung Nordost). .....	25
Abbildung 17: Messung mit der 40 MHz Antenne, Profil 1 (Blickrichtung Ost). ....	26
Abbildung 18: Parallel laufende Messstrecken, Profil 1 (Blickrichtung Nordost). ....	27
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Lage der Zusatzprofile bei Profil 1, für die genaue Position des Profil 1 siehe Abbildung 10. ....	27
Abbildung 20: Diagramm, Höhenverlauf Profil 1 (Quelle: Martin Andert). ....	29
Abbildung 21: Diagramm, Höhenverlauf Profil 1X (Quelle: Martin Andert). .....	29
Abbildung 22: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 1. ....	30
Abbildung 23: Bodenhorizont Profil 1, bei 92 m gemessen von SM1. ....	30
Abbildung 24: Radargramm Profil 1 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	32
Abbildung 25: Vergleich der verschiedenen Antennen, Profil 1 erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	33
Abbildung 26: Vergleich der unterschiedlichen Auflösung der Antennen, Profil 1 erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	33
Abbildung 27: 40 MHz Antenne bei Profil 1. ....	34
Abbildung 28: Radargramm Profil 3L (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt LO3 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	35

Abbildung 29: Radargramm Profil 2L (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt LO2 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	36
Abbildung 30: Radargramm Profil 1L (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt LO1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	37
Abbildung 31: Radargramm Profil 1 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung.....	38
Abbildung 32: Radargramm Profil 1R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO1 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung....	39
Abbildung 33: Radargramm Profil 2R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO2 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung....	40
Abbildung 34: Radargramm Profil 3R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO3 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung....	41
Abbildung 35: Radargramm Profil 4R (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt RO4 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung....	42
Abbildung 36: Profilverlauf Profil 2, (Blickrichtung Nord). ....	43
Abbildung 37: Tektonische Breccie nahe Profil 2. ....	44
Abbildung 38: Stereographische Projektion der Trennflächen, Nahbereich Profil 2. ....	45
Abbildung 39: Diagramm, Höhenverlauf Profil 2 (Quelle: Martin Andert). ....	45
Abbildung 40: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 2. ....	46
Abbildung 41: Bodenhorizont Profil 2, bei 36 m gemessen von SM3.....	46
Abbildung 42: Radargramm Profil 2 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM3 (entspricht Laufmeter 0) in nordwestlicher Richtung, Korrelation mit der Oberbodenmächtigkeit. ....	47
Abbildung 43: Überblick Profil 3 (Blickrichtung West).....	48
Abbildung 44: Diagramm, Höhenverlauf Profil 3 (Quelle: Martin Andert). ....	49
Abbildung 45: Bodenhorizont Profil 3, bei 28 m gemessen von SM5.....	50
Abbildung 46: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 3. ....	50
Abbildung 47: Radargramm Profil 3 (100 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM5 (entspricht Laufmeter 0) in östlicher Richtung. ....	52
Abbildung 48: Schematische Darstellung der gemessenen Fläche, Profil 4 (Blickrichtung Nord). ....	53
Abbildung 49: Lageüberblick der Messlinien des Profil 4. ....	54
Abbildung 50: Diagramm, Höhenverlauf Profil 4 (Quelle: Martin Andert). ....	55
Abbildung 51: Diagramm, Höhenverlauf Profil 4X (Quelle: Martin Andert). ....	55
Abbildung 52: Vernässungszonen bei Profil 4 (Blickrichtung Ost).....	56
Abbildung 53: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 4. ....	57
Abbildung 54: Bodenhorizont Profil 4, bei 10 m gemessen von SM7.....	57
Abbildung 55: Radargramm Profil 4 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM7 (entspricht Laufmeter 0) in nordöstlicher Richtung. ....	58
Abbildung 56: Überblick Profil 5 (Blickrichtung Nordost). ....	59
Abbildung 57: Stereographische Projektion der Trennflächen nahe Profil 5. ....	60
Abbildung 58: Diagramm, Höhenverlauf Profil 5 (Quelle: Martin Andert). ....	61
Abbildung 59: Diagramm, Höhenverlauf Profil 5X (Quelle: Martin Andert). ....	61
Abbildung 60: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 5. ....	62
Abbildung 61: Überblick über Profil 6 (Blickrichtung West). ....	63

Abbildung 62: Stereographische Projektion der Trennflächen bei Profil 6. .....	64
Abbildung 63: Diagramm, Höhenverlauf Profil 6 (Quelle: Martin Andert). 64	64
Abbildung 64: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil 6.....	65
Abbildung 65: Radargramm Profil 6 (40 MHz Antenne), erstreckt sich von Punkt SM11 (entspricht Laufmeter 0) in südöstlicher Richtung. ....	66
Abbildung 66: Doline 1 mit den Messprofilen (Blickrichtung Nordwest)... 68	68
Abbildung 67: Doline 2 mit den Messprofilen (Blickrichtung Nordost).....	68
Abbildung 68: Diagramm, Höhenverlauf Doline 1, Profilrichtung 30° bis 210° (Quelle: Martin Andert). ....	68
Abbildung 69: Diagramm, Höhenverlauf Doline 1, Profilrichtung 120° bis 300° (Quelle: Martin Andert). ....	69
Abbildung 70: Diagramm, Höhenverlauf Doline 2, Profilrichtung 10° bis 190° (Quelle: Martin Andert). ....	69
Abbildung 71: Diagramm, Höhenverlauf Doline 2, Profilrichtung 100° bis 280° (Quelle: Martin Andert). ....	69
Abbildung 72: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil Doline 1... 70	70
Abbildung 73: Diagramm, Mächtigkeit des Oberbodens Profil Doline 2... 70	70
Abbildung 74: Radargramm Profil Doline 2 (500 MHz Antenne) erstreckt sich von Norden (10°, bei Laufmeter 0) in südlicher Richtung, Messung bei nassen Bedingungen. ....	72
Abbildung 75: Radargramm Profil Doline 2 (500 MHz Antenne) erstreckt sich von Norden (10°, bei Laufmeter 0) in südlicher Richtung, Messung bei trockenen Bedingungen.....	73

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 1. ....	28
Tabelle 2: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 2. ....	44
Tabelle 3: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 3. ....	48
Tabelle 4: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 4. ....	54
Tabelle 5: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 5. ....	60
Tabelle 6: Koordinaten der Profilendpunkte Profil 6. ....	63
Tabelle 7: Koordinaten der Dolinenmittelpunkte der Dolinen 1 und 2. ....	67

# ANHANG

Messungen zu Profil 1									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 01	1	SM01 > SM02	40	punkt	1 m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 02	1	SM02 > SM01	40	cont	- m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 03	1	SM01 > SM02	40	cont	- m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 05	1	SM02 > SM01	500	punkt	1 m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 06	1	SM01 > SM02	500	cont	- m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 76	1	SM01 > SM02	80	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 77	1	SM02 > SM01	80	punkt	1 m	- m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 79	1	SM01 > SM02	80	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 84	1	SM01 > SM02	40	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 164	1	SM02 > SM01	100	cont	- m	10 m	2009-08-21	neblig, kein Wind, zuvor leichter Regen	
file 235	1	SM01 > SM02	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 236	1L	LU1>LO1	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 237	2L	LO2>LU2	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 238	3L	LU3>LO3	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 239	1R	RO1>RU1	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 240	2R	RU2>RO2	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 241	3R	RO3>RU3	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	
file 242	4R	RU4>RO4	40	cont	- m	10 m	2010-07-28	trocken, warm über mehrere Wochen,	

Messungen zu Profil 1X									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 80	1X	M02X > SM01	500	punkt	1 m	- m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 81	1X	M01X > SM02	500	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 82	1X	M02X > SM01	40	punkt	1 m	- m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 83	1X	M01X > SM02	40	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht	
file 165	1X	M02X > SM01	40	cont	- m	10 m	2009-08-21	neblig, kein Wind, leichter Regen	

Messungen zu Profil 2									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 07	2	SM03 > SM04	40	punkt	1 m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 08	2	SM04 > SM03	40	cont	- m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 10	2	SM03 > SM04	500	punkt	1 m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	
file 11	2	SM04 > SM03	500	cont	- m	- m	2009-07-05	sonnig, Wind, OF trocken	

Messungen zu Profil 3									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 12	3	SM05 > SM06	40	punkt	1 m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 13	3	SM06 > SM05	40	cont	- m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 14	3	SM05 > SM06	500	punkt	1 m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 15	3	SM06 > SM05	500	cont	- m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 101	3	SM5 > SM6	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	sonnig, warm, keinWind, Vorwoche st. NS	
file 102	3	SM6 > SM7	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	sonnig, warm, keinWind, Vorwoche st. NS	

Messungen zu Profil 4									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 16	4	SM07 > SM08	40	punkt	1 m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 19	4	SM08 > SM07	40	cont	- m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 21	4	SM07 > SM08	500	punkt	1 m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 22	4	SM08 > SM07	500	cont	- m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF feucht	
file 62	4	SM07 > SM08	40	cont	- m	5 m	2009-07-22	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 63	4	SM08 > SM07	40	cont	- m	- m	2009-07-22	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 64	4	SM07 > SM08	40	cont	- m	10 m	2009-07-22	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 71	4	SM07 > SM08	80	punkt	1 m	- m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht, Tau	
file 72	4	SM08 > SM07	80	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht, Tau	

Messungen zu Profil 4 flächig - 1. Teil

File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit
file 113	4flächig	Linie 14, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 114	4flächig	Linie 15, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 115	4flächig	Linie 16, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 117	4flächig	Linie 13, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 118	4flächig	Linie 11, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 119	4flächig	Linie 10, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 120	4flächig	Linie 12, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 121	4flächig	Linie 9, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 122	4flächig	Linie 15, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 123	4flächig	Linie 14, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 124	4flächig	Linie 16, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 125	4flächig	Linie 13, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 127	4flächig	Linie 11, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 128	4flächig	Linie 10, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 129	4flächig	Linie 12, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 130	4flächig	Linie 9, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS
file 131	4flächig	Linie 7, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 132	4flächig	Linie 6, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 133	4flächig	Linie 8, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 134	4flächig	Linie 5, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 135	4flächig	Linie 3, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 136	4flächig	Linie 2, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 137	4flächig	Linie 4, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 138	4flächig	Linie 1, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind

Messungen zu Profil 4 flächig - 2. Teil

File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit
file 139	4flächig	Linie 7, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 140	4flächig	Linie 6, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 141	4flächig	Linie 8, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 142	4flächig	Linie 5, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 143	4flächig	Linie 3, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 144	4flächig	Linie 2, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 145	4flächig	Linie 4, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 146	4flächig	Linie 1, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 147	4flächig	Linie 19, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 148	4flächig	Linie 18, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 149	4flächig	Linie 20, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 150	4flächig	Linie 17, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 151	4flächig	Linie 23, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 152	4flächig	Linie 22, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 153	4flächig	Linie 24, >048°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 154	4flächig	Linie 21, >228°	100	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 155	4flächig	Linie 19, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 156	4flächig	Linie 18, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 157	4flächig	Linie 20, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 158	4flächig	Linie 17, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 159	4flächig	Linie 23, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	trocken,neblig, keinWind
file 160	4flächig	Linie 22, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	neblig, keinWind, leichter Nieselregen
file 161	4flächig	Linie 24, >048°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	neblig, keinWind, leichter Nieselregen
file 163	4flächig	Linie 21, >228°	40	cont	- m	10 m	2005-08-20	neblig, keinWind, leichter Nieselregen

Messungen zu Profil 4X									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 23	4X	M07X > SM08	500	punkt	1 m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 24	4X	M08X > SM07	500	cont	- m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 25	4X	M08X > SM07	40	punkt	1 m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 26	4X	M07X > SM08	40	cont	- m	- m	2009-07-07	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 66	4X	M07X > SM08	40	cont	- m	10 m	2009-07-22	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 68	4X	M08X > SM07	40	cont	- m	10 m	2009-07-22	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 69	4X	M07X > SM08	40	cont	- m	10 m	2009-07-22	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 73	4X	M08X > SM07	80	punkt	1 m	- m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht, Tau	
file 74	4X	M07X > SM08	80	cont	- m	10 m	2009-07-23	sonnig, Wind, wenig NS in der Nacht, Tau	
file 112	4X	SM8X > SM7X	100	cont	- m	10 m	2009-08-20	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS	

Messungen zu Profil 5									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 42	5	SM09 > SM10	40	punkt	1 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 43	5	SM10 > SM09	40	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 44	5	SM09 > SM10	40	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 45	5	SM09 > SM10	500	punkt	1 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 46	5	SM10 > SM09	500	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 105	5	SM9 > SM10	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	sonnig, warm, keinWind, Vorwoche st. NS	
file 106	5	SM10 > SM09	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	sonnig, warm, keinWind, Vorwoche st. NS	

Messungen zu Profil 5X									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 52	5X	SM09X > SM10X	40	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 53	5X	SM10X > SM09X	40	punkt	1 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 54	5X	SM09X > SM10X	500	punkt	1 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 55	5X	SM10X > SM09X	500	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 103	5X	SM9X > SM10X	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	sonnig, warm, keinWind, Vorwoche st. NS	
file 104	5X	SM10X > SM09X	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	sonnig, warm, keinWind, Vorwoche st. NS	

Messungen zu Profil 6									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 36	6	SM11 > SM12	40	punkt	1 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 39	6	SM12 > SM11	40	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 40	6	SM11 > SM12	500	punkt	1 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 41	6	SM12 > SM11	500	cont	- m	5 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 110	6	SM11 > SM12	100	cont	- m	5 m	2005-08-19	warm, Wind, bewölkt, Vorwoche st. NS	

Messungen zu Profil Doline 1									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 29	D01	Profil D1, > 210°	500	punkt	1 m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 30	D01	Profil D1, > 300°	500	punkt	1 m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 31	D01	Profil D1, > 300°	500	cont	- m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 56	D01	Profil D1, > 210°	500	punkt	0,25 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 60	D01	Profil D1, > 300°	500	cont	- m	4 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 61	D01	Profil D1, > 120°	500	punkt	0,25 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	

Messungen zu Profil Doline 2									
File Nummer	Profil	Messrichtung	Antenne (MHz)	Art d. Messung	Punktabstand	Markerabstand	Messdatum	Wetter, Bodenbeschaffenheit	
file 28	D01	Profil D2, > 190°	500	cont	- m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 32	D02	Profil D2, > 190 °	500	cont	- m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 33	D02	Profil D2, > 190 °	500	punkt	1 m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 34	D02	Profil D2, > 280°	500	punkt	1 m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 35	D02	Profil D2, > 280°	500	cont	- m	- m	2005-07-06	sonnig, st. Wind, Vortag NS; OF trocken	
file 48	D02	Profil D2, > 280°	500	punkt	0,25 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 49	D02	Profil D2, > 100°	500	cont	- m	4 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 50	D02	Profil D2, > 190°	500	cont	- m	4 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 51	D02	Profil D2, > 10°	500	punkt	0,25 m	- m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	
file 59	D01	Profil D2, > 10°	500	cont	- m	4 m	2005-07-21	sonnig, sehr st. Winde, OF trocken	



## LEBENS LAUF

Markus Meissl

---

*www.markus-meissl.at*

Geboren am 27. Dezember 1978 in Wien

Matura an der Höheren Bundeslehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau,  
Wien Schönbrunn (1999)

Präsenzdienst beendet – Ausbildung zum Kraftfahrer (2000)

Beginn des Studiums der Erdwissenschaften (2000)

Vertiefung im Studienzweig Geologie (2003)

ERASMUS Studienaufenthalt, Oviedo – Spanien (Studienjahr 2005/06)

Abschluss des Studium (2009)

### BERUF SERFAHRUNG:

#### seit 1996

Praktika im Gartenbau in Österreich, Island, Schweiz, England; Mitarbeit  
an radiologischen Kongressen in verschiedenen europäischen Ländern

#### 2004 bis 2005

Tätig auf Werksvertragsbasis für

BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT-GmbH, Mariahilfer Straße 20, A-1070  
Wien

#### 2006 bis 2008

Teilzeitbeschäftigt bei

BGG Consult Dr. Peter Waibel ZT-GmbH, Mariahilfer Straße 20, A-1070  
Wien

#### ab 2006

Aufbau einer selbständigen Tätigkeit als Fotograf

## ZUSATZQUALIFIKATIONEN:

Englisch	fließend in Wort und Schrift
Spanisch	fließend in Wort und Schrift
EDV	MS-Office, ACAD, Photoshop
Führerschein	A,B,C,E,F,G

## PUBLIKATIONEN:

- **Meissl, M.**, Andert, M., Plan, L., Grasmann, B., Roch, K.-H., (2006): Investigation of the upper most zone in karst water catchment areas using Ground Penetrating Radar (GPR) – a feasibility study. EGU, General Assembly, Vienna, Austria.