

UNTERSUCHUNGSBERICHT



Fallstudie / Pernersdorf (NÖ) Geowissenschaftliche Bewertung (Geologie, Geophysik & Tonmineralogie)

2. Februar 2007

MAG^a BIRGIT JOCHUM (GBA), DR. REINHARD ROETZEL (GBA)
Prof. Dr. FRANZ OTTNER (BOKU), *cand. Dipl. Ing.* DIETMAR KEUSCH (BOKU)
Prof. Dr. FRANZ KOHLBECK (TUW)

Auftragsdatenblatt

Auftraggeber:	
Adresse:	Dr. Joachim Schweigl Amt der NÖ Landesregierung Gruppe Baudirektion, Abt Allg. Baudienst Geologischer Dienst 3109 St. Pölten, Landhausplatz 1
Telefon/Fax:	(+43 2742) 9005 - 14282 / (+43 2742) 9005 - 15150
Adresse:	VLG 2005 - Interministerielles Beamtenkomitee für den Vollzug des Lagerstättengesetzes, Beschluss vom 03. Mai 2005 (57. Sitzung) BMW A Sekt IV, Montanbehörde 1200 Wien, Denisgasse 31
Telefon/Fax:	+43 71100-8520

Projektgebiet:	Pernersdorf (NÖ)
Geogr. Lage:	ÖK, Blatt 22
Adresse/Lage:	SE Retz
Besitzer:	diverse
Ansprechpartner:	Dr. Joachim Schweigl

Projektnummer:	NC-62/ÜLG-35
Sachbearbeiter GBA:	Jochum
Messteam	Jochum, Arndt ⁽¹⁾ , Kohlbeck, Arndt, Schiller ⁽²⁾ , Roetzel ⁽³⁾
Sachbearbeiter BOKU	Ottner
Messteam	Ottner, Keusch ⁽³⁾

Projektbeschreibung	Baugrunduntersuchung Wohngebäude
Lithologischer/ Geologischer Rahmen:	Löss, Laaer Schichten: Ton, Silt

Methodik⁽¹⁾:	Geophysik - Multielektrodengeoelektrik (1 Profil)		
Elektrodenabstand:	1 m		
Auslagenlänge:	83 m		
Max. Auflösungstiefe:	15 m		
Elektrodenanordnung:	Wenner- Schlumberger		
Methodik⁽²⁾:	Geophysik - GeoRadar (13 Profile)		
Frequenz:	200 MHz, 500 MHz		
Gesamtmesslänge:	770 m		
Erkundungstiefe:	1.7 m; 7.5 m		
Methodik⁽³⁾:	Geologie/Tonmineralogie		
Anzahl:	2 Schürfe		
Probenanzahl:	11		
Erkundungstiefe:	4.20m, 3m		

Projekttablauf:			
Auftragserteilung:	2005		
Beginn Messung:	27. 04.2006 ⁽¹⁾	19. 11.2005 ⁽²⁾	14. 06.2006 ⁽³⁾
Ende Messung:	27. 04.2006 ⁽¹⁾	19. 11.2005 ⁽²⁾	08. 11.2006 ⁽³⁾
Abgabe Bericht:	2. Februar 2007		

Kurzfassung

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde nach den Ursachen für die aufgetretenen Bauschäden an einem Wohnhaus am westlichen Ortsende von Pernersdorf gesucht. Dazu wurden geophysikalische Messungen durchgeführt, zwei Schürfe geöffnet sowie mit einigen Nut- und Rammsondierungen das Untersuchungsprogramm ergänzt. An ausgewählten Sedimentproben wurden umfangreiche mineralogische und geotechnische Untersuchungen vorgenommen.

Im Untersuchungsgebiet sind an der Oberfläche quartäre Sedimente wie Löss und Terrassenschotter der Pulkau vorhanden, welche die tertiären tonig siltigen Laaer Schichten überlagern. Die Untersuchungen zeigten, dass sowohl in den feinkörnigen quartären Sedimenten als auch in den Laaer Schichten sehr hohe Anteile des stark quellbaren Tonminerals Smektit enthalten sind. Im geoelektrischen Profil sind diese Bereiche als besonders niederohmig ausgewiesen. Davon abzuleiten sind die sehr niedrigen Werte für die Scherfestigkeit und die sehr hohe Wasseraufnahmefähigkeit und die hohe Plastizität. In den Schürfen sind Hinweise auf alte Gleitbewegungen in den Laaer Schichten vorhanden. Diese inaktiven Massenbewegungen dürften durch anthropogene Maßnahmen reaktiviert worden sein, wobei insbesondere ein unsachgemäß ausgeführter Drainagegraben eher für eine Wasserzufuhr als eine Wasserableitung dient.

Aufgrund der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen (Geoelektrik und Bodenradar) sowie der sedimentologischen Befunde zeigt sich im gesamten Messbereich ein einheitlicher Untergrundaufbau. Der Grund, warum bei den Nachbarhäusern keine Risse auftreten und bei dem untersuchten Objekt schon, ist daher höchstwahrscheinlich nicht in einer Änderung der geologischen Situation gegeben.

Um langfristig das Risiko für neue Rutschungen zu verringern, ist für eine äußerst gründliche und sorgfältige Ableitung des Oberflächenwassers zu sorgen. Dadurch kann das Eindringen von Wasser in die tonreichen Schichten verhindert, und ein weiteres Quellen der Tonminerale unterbunden werden. Dadurch sollte es zu einer Stabilisierung der Böschung kommen und weitere Bauschäden dürften in Zukunft nicht mehr auftreten.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung und Aufgabenstellung	3
2	Geologie	5
2.1	Geologischer Rahmen	5
2.2	Aerogeophysik	7
2.3	Geländeaufnahmen	10
3	Untersuchungsmethoden	17
3.1	Geophysik	17
3.1.1	Geoelektrik	17
3.1.2	Georadar	19
3.2	Tonmineralogie	20
3.2.1	Korngrößenverteilung	20
3.2.2	Gesamtmineralbestand	20
3.2.3	Karbonatbestimmung nach SCHEIBLER	20
3.2.4	Tonmineralanalyse	21
3.2.5	Simultane Thermoanalyse (STA)	21
3.3	Geotechnik	22
3.3.1	Wassergehalt	22
3.3.2	Atterberggrenzen	22
3.3.3	Scherversuche	22
3.3.4	Nutsondierung und Rammsondierung	22
4	Untersuchungsergebnisse	23
4.1	Geophysik	23
4.1.1	Geoelektrik	23
4.1.2	GeoRadar	27
4.2	Tonmineralogie	33
4.2.1	Korngrößenanalysen	33
4.2.2	Gesamtmineralanalysen	38
4.2.3	Tonmineralanalyse	41
4.3	Geotechnik	45
4.3.1	Wassergehalte	45
4.3.2	Konsistenzgrenzen	45
4.3.3	Scherversuche	48
4.3.4	Nutsondierung und Rammsondierung	48
4.4	Zusammenfassung Geologie, Tonmineralogie und Geotechnik	50
5	Resumée	51
6	Literatur	52

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Die Messungen wurden im Rahmen des Forschungsprogrammes NC 62-2005 - *Zur Bewertung von Methoden der Baugrunduntersuchung* - durchgeführt.

Das zu untersuchende Objekt mit der Einlagezahl EZ 297 liegt am westlichen Ortsende von Pernersdorf, südlich der Hauptstrasse (Abbildung 1-1). Abbildung 2-5 (unten) zeigt die Straßenseite des Gebäudes. An der Fassade erkennt man annähernd vertikale, vom Dach über die Fenster bis in das Fundament reichende Risse, welche auf eine Öffnung des Gebäudes gegen Westen (rechter Bildrand) hinweisen. Abbildung 2-5 (oben) zeigt die Westseite des Gebäudes mit einer gartenseitigen Bepflasterung. Deutlich ist ein horizontaler Riss in der Gebäudemitte erkennbar. Weiters ist das Pflaster (Abmessungen der Steine 40x40cm) entlang einer etwa parallel zum Gebäude verlaufenden Linie angehoben, ohne dass auch der darunter liegende Boden mitgehoben wurde. Die Anhebung des Pflasters konnte nur durch einen Schub parallel zur Pflasteroberfläche und senkrecht zum Gebäude erfolgt sein. Im Gegensatz dazu zeigen eine Mauer im Hof und noch deutlicher der Gartenzaun Senkungen, welche ihr Maximum im Nahbereich der durch die Anhebung des Pflasters gekennzeichneten Linie haben. Die nahe liegende Erklärung ist, dass unterhalb des Pflasters eine Auflockerung, bzw. ein Hohlraum entstanden ist. Diese Auflockerungszone bewirkte eine Absenkung der Gartenmauern und einen Schub des Gebäudefundamentes in Richtung Auflockerungszone. Dadurch entstanden die Dehnungsrisse an der Gebäude Vorderseite. Der horizontale Längsriss an der Westseite ist vermutlich durch die Rückhaltekraft des Dachstuhls entstanden. Wegen der Einengung des Untergrundes wurde die Gartenpflasterung angehoben, da sie wegen ihrer Steifigkeit die Verformung nicht mitmachen konnte und der Widerstand gegen Knickung zu gering war. Das Grundstück konnte betreten werden, das Gebäude selbst war jedoch nicht zugänglich.

Im Auftrag der NÖ Landesregierung sollte gezeigt werden, inwieweit eine Methodenkombination aus Geophysik und Tonmineralogie zur baugelogischen Untersuchungen bzw. Bewertung in konkreten Schadensfällen beitragen können.

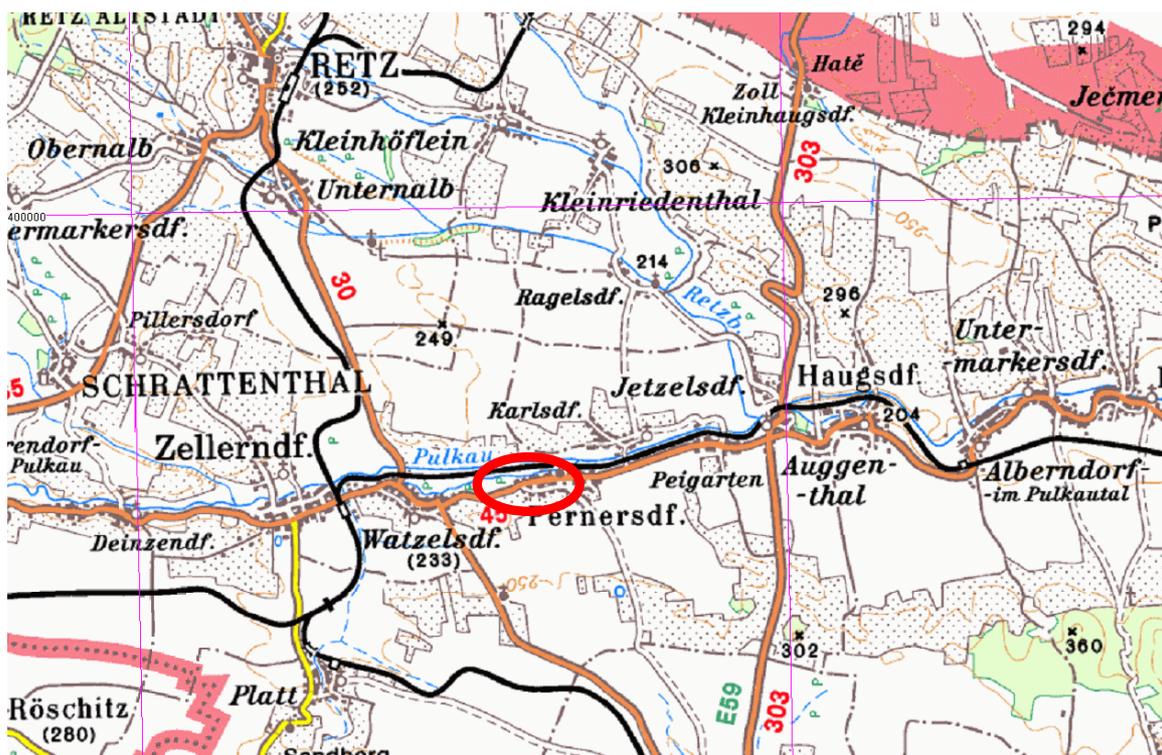


Abbildung 1-1: Lage des Messgebietes

2 Geologie

2.1 Geologischer Rahmen

Der untersuchte Bereich in Pernersdorf liegt in der autochthonen Molasse, östlich der Ausläufer des Kristallins der Böhmisches Masse (Abbildung 2-1).

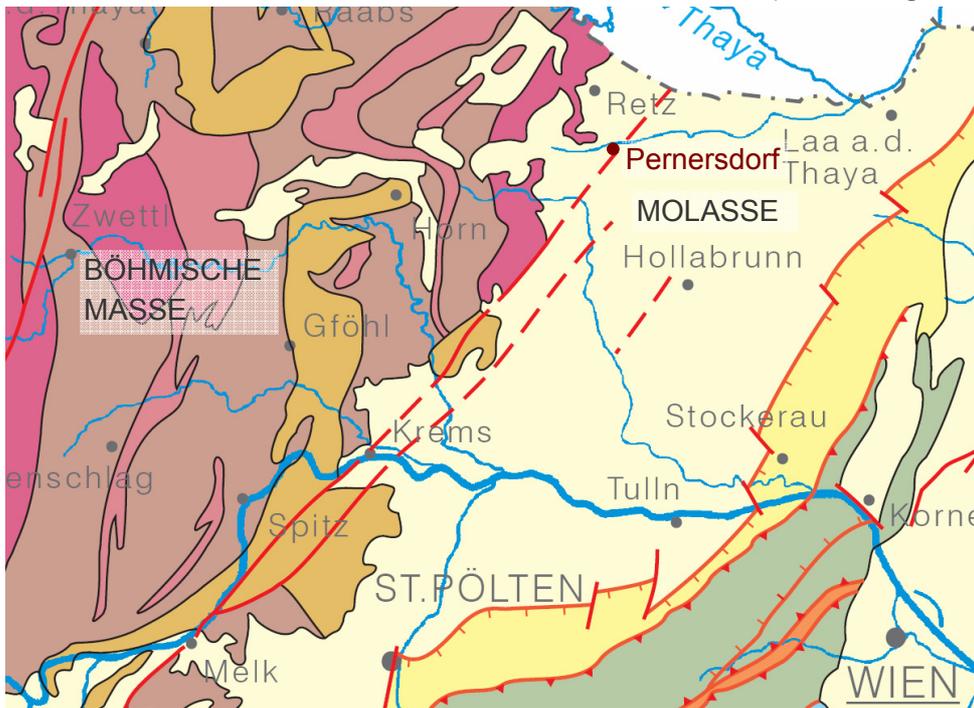


Abbildung 2-1: Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich, 1:2.000.000, GBA Wien 1999

In der unmittelbaren Umgebung von Pernersdorf sind vor allem die untermiozänen Meeresablagerungen der Laa-Formation (Laaer Schichten) aus der Stufe des Karpatium verbreitet. Diese werden von pleistozänen Ablagerungen, vor allem Löss, überlagert. Im Bereich des Hangfußes im Pulkautal findet man über den tertiären Meeresablagerungen auch noch deluviale, solifluidale Sedimente, die aus umgelagerten tertiären Ablagerungen bestehen, sowie reliktsch auch kiesige Terrassensedimente.

Der Bereich Pernersdorf wird von der Diendorfer Störungszone in Richtung Nordost-Südwest gequert (vgl. Geologische Karte 1:50.000, Blatt 22 Hollabrunn, Abbildung 2-2).

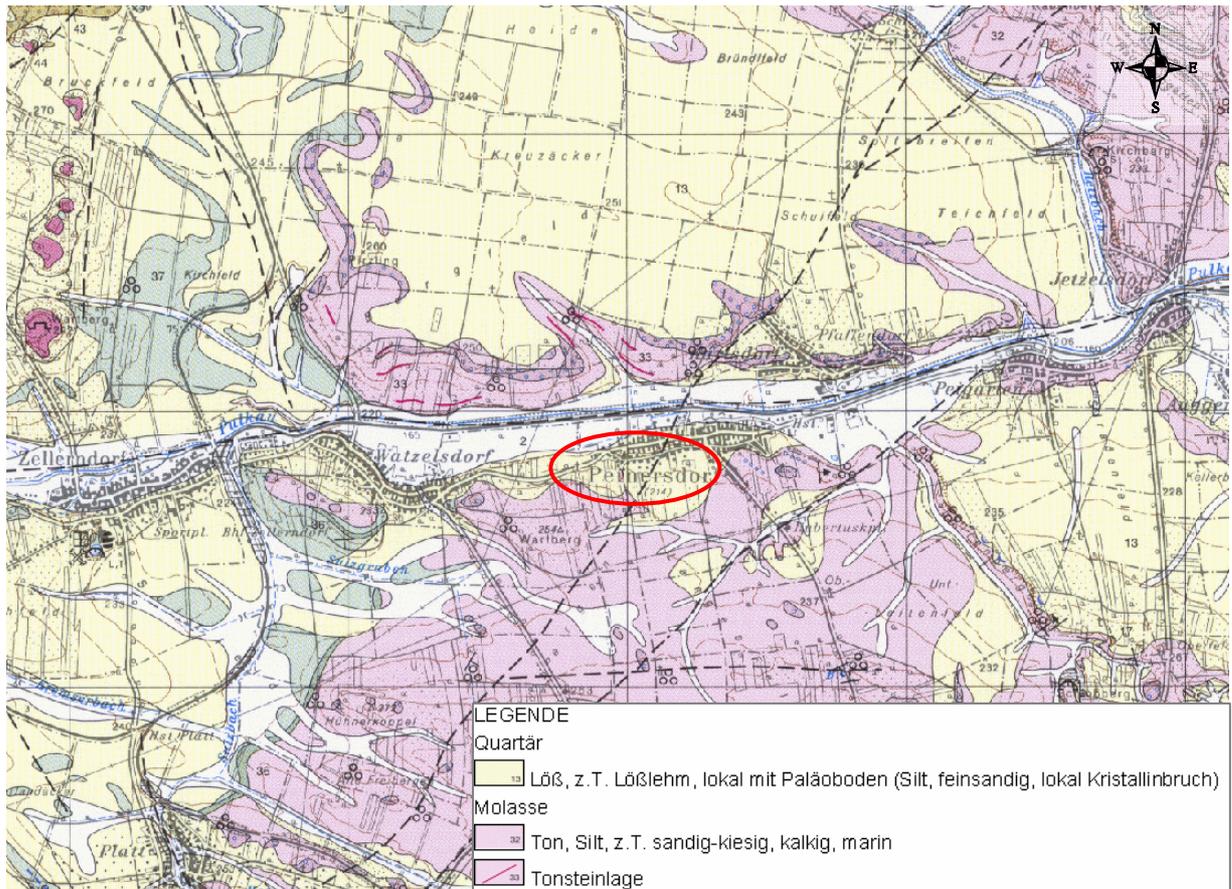


Abbildung 2-2: Geologische Karte 1:50.000, Blatt 22 Hollabrunn (GBA, Wien 1998)

2.2 Aero-geophysik

In den Jahren 1994-1996 wurde die Region mittels Aero-geophysik kartiert. Die Hubschraubermessungen bestätigen sowohl in den Magnetik- als auch in den Widerstandswerten die geologische Situation, wobei sich die großräumigen Strukturen deutlich in den aero-geophysikalischen Messungen widerspiegeln. Zum einen ist deutlich der Verlauf der Diendorfer Störung in der Magnetik ersichtlich, zum anderen das Relief der Kristallinoberkante in der EM.

Magnetik

Dem globalen Erdfeld sind lokale Anomalien überlagert, die die Information über den geologischen Aufbau des Messgebietes beinhalten, wobei sich die Magnetisierbarkeitskontraste der unterschiedlichen Gesteine bzw. Minerale bemerkbar macht

Starke Magnetisierungen in Gesteinen entstehen durch ferrimagnetische Minerale mit hoher magnetischer Suszeptibilität, zumeist Magnetit, Titanomagnetit, Maghemit und Pyrrhotin. Gesteine mit hoher Suszeptibilität sind vorwiegend mafische bis ultramafische Magmatite und aus diesen hervorgegangene Metamorphite, sowie Mineralisierungen oder Erze der oben genannten Minerale.

Die Ergebnisse der Magnetik sind in Form einer Isanomalienkarte der magnetischen Totalintensität dargestellt (Abbildung 2-3), wobei Abweichungen der Totalintensität des Erdmagnetfeldes vom globalen Internationalen Geomagnetischen Referenzfeld (IGRF), welche durch die magnetischen Eigenschaften der oberen bis obersten Erdkruste bedingt sind, als Anomalien erkennbar werden.

Elektromagnetik

Bei der elektromagnetischen Messmethode werden auf induktivem Weg Wirbelstromsysteme im vermessenen Untergrund erzeugt. Diese sind eine Funktion der Verteilung der elektrischen Leitfähigkeit. Man kann daher umgekehrt aus den, den Wirbelströmen entsprechenden magnetischen Sekundärfeldern und über bestimmte Modellannahmen auf die elektrischen Verhältnisse im Messgebiet schließen.

In Abbildung 2-4 ist die großflächige Widerstandsverteilung unter der Betrachtung eines homogenen Halbraumes (dabei wird von einem lithologisch-geologisch einheitlichem Körper ausgegangen) dargestellt.

Im Detail bestätigen die bodengeoelektrischen Messungen die großräumigen Ergebnisse aus der Airborne-Elektromagnetik.

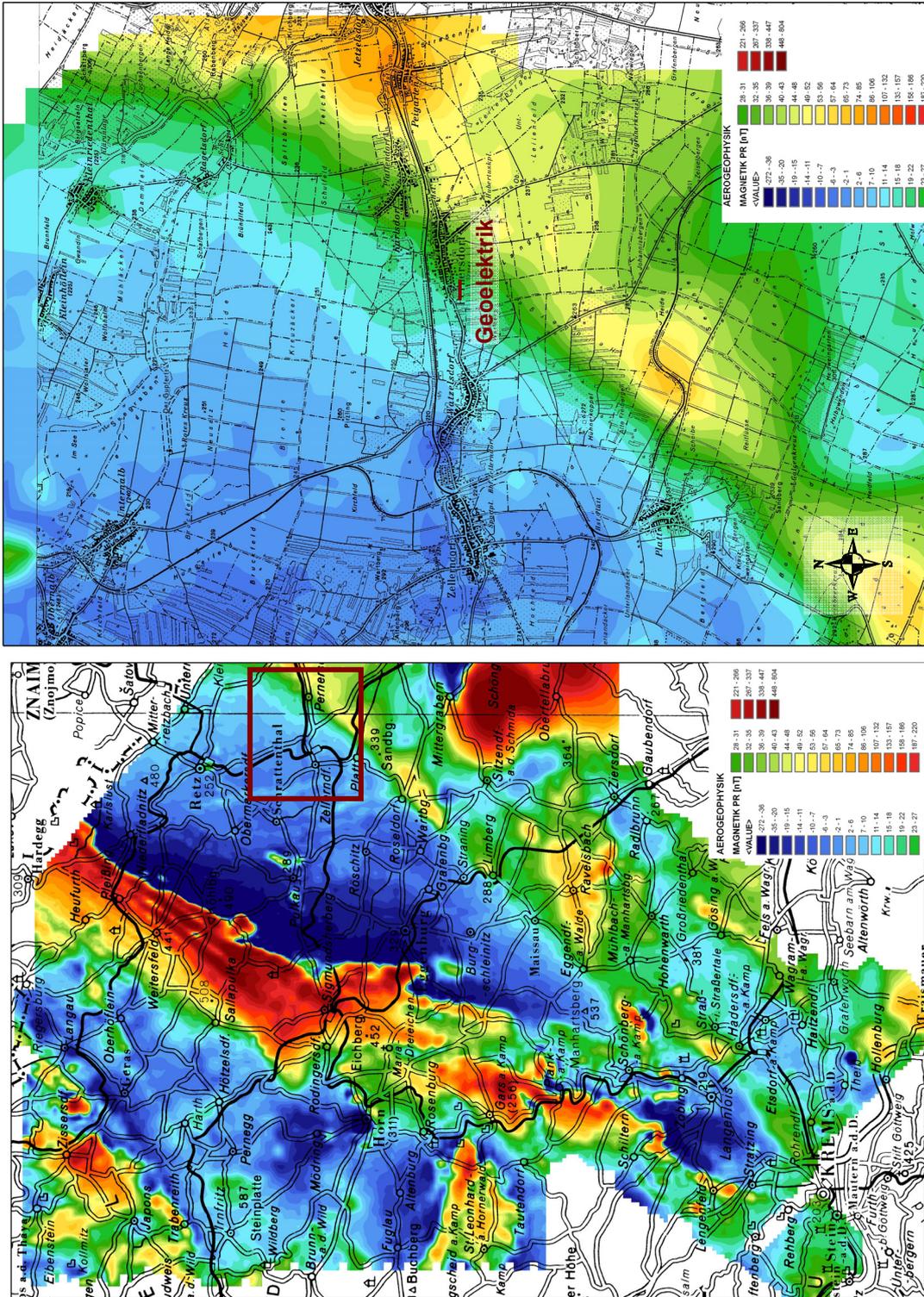


Abbildung 2-3: Unten: Magnetische Totalintensität ermittelt aus der Aerogeophysik; Oben: Detailausschnitt

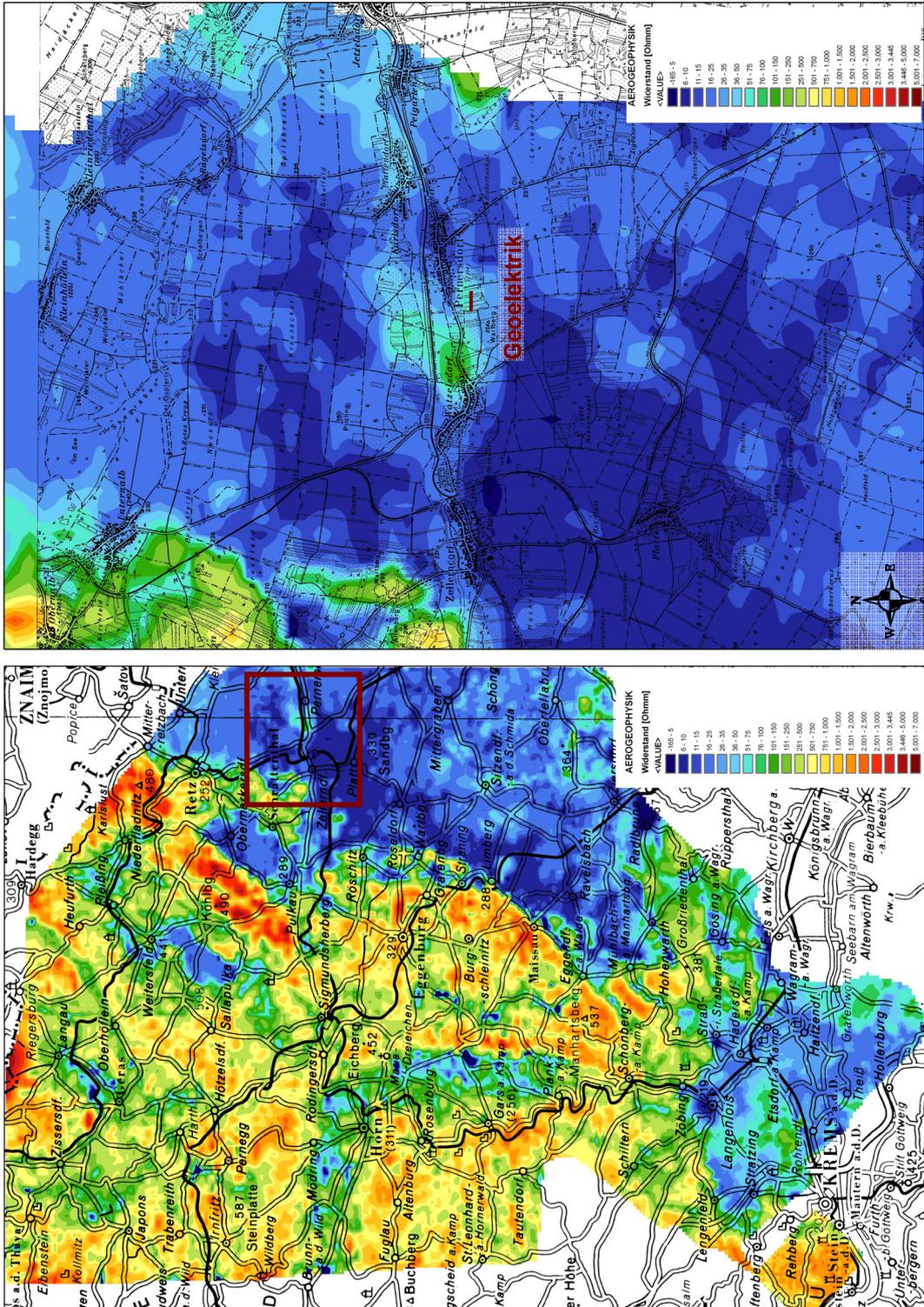


Abbildung 2-4: Unten: Widerstandsverteilung ermittelt aus der Aerogeophysik; Oben: Detailausschnitt

2.3 Geländeaufnahmen



Abbildung 2-5: Schadensbilder an dem Untersuchungsobjekt

Lithologische Beschreibung der Schichtfolge in den Profilen von Schurf 1 und Schurf 2

In dem ca. 4 m tiefen **Schurf 1** (Abbildung 2-6, Abbildung 2-7) werden die obersten 90 cm von siltig-tonigem, rotbraun-mittelbraunem Boden gebildet.

Darunter folgen 25 – 40 cm sehr gut bis gut gerundete Grob- bis Mittelkiese (Durchmesser 2 – 10 cm) in siltig-tonig-sandiger Matrix, die dem Pleistozän zuzuordnen sind (? reliktsche, ev. solifluidal umgelagerte Terrassensedimente).

Das Liegende bilden Sedimente der Laa-Formation (Laaer Schichten) aus dem Untermiozän (Karpatium). Diese bestehen in den obersten 40 cm aus grüngrauen, relativ massigen, kalkigen Silt-Tonen, die häufig mit nahezu senkrechten, leicht konkaven Harnischflächen durchsetzt sind. Darunter sind die Laaer Schichten zwar typisch als gut geschichtete, grüngraue, kalkige, tonige Silte bis siltige Tone ausgebildet, wobei jedoch die Sedimente auffallend bröckelig sind und die Schichtung bis unten hin gestört erscheint.

In dem ungefähr 3,4 m tiefen **Schurf 2** (Abbildung 2-8, Abbildung 2-9) ist der obere Bodenbereich ca. 110 cm mächtig und in Gegensatz zu Schurf 1 etwas stärker feinsandig und schwarzbraun. Die darunter folgenden Kiese sind hier linsenartig ausgebildet und haben eine Mächtigkeit zwischen 10 und 30 cm.

Die Abfolge in den Laaer Schichten ist in Mächtigkeit und Lithologie mit jener im Schurf 1 ident und zeigt wiederum auffallende Harnischflächen im oberen, massigen Teil und gestörte, bröckelige Struktur im Liegenden.

Eine gleiche lithologische Ausbildung der Laaer Schichten konnte ebenso in einer östlich vom Schadensobjekt offenen Baugrube beobachtet werden. In einem Nord-Süd-Schnitt werden die im Süden anstehenden, gestörten und bröckeligen Laaer Schichten talwärts, gegen Norden, diskordant von Grob- bis Mittelkiesen in siltig-toniger Matrix reliktsch überlagert. Bei den Kiesen handelt es sich offenbar um ein Relikt einer Terrasse der Pulkau, die eventuell später noch mal solifluidal umgelagert wurden. Die gesamte Schichtfolge von Laaer Schichten und Kiesen wird wiederum talseitig diskordant von gelbbraunen, feinsandigen Silten (?Löss) und deluvialen Sedimenten aus grüngrauen, Kies führenden Silt-Tonen überlagert.

Aus der untypischen lithologischen Ausbildung der Laaer Schichten im gesamten beobachteten Bereich (also nicht nur im Nahbereich des Hausschadens) mit Harnischflächen, gestörter Schichtung und bröckeliger Struktur kann geschlossen werden, dass es sich im gegenständlichen Fall um eine bereits primär bewegte Sedimentmasse handelt.

Als Ursache kommen eine alte (?pleistozäne) Rutschung, aber auch Hangkriechen durch Solifluktion in Frage. Möglich erscheint aber auch ein

Zusammenhang mit der Diendorfer Störungszone, die den Bereich Pernersdorf in Richtung Nordost-Südwest quert.

Beim Hausschaden in Pernersdorf erscheint es daher möglich, dass eine bereits alte, bewegte Masse durch verschiedene anthropogene Einflüsse (z.B. ungenügende Ableitung von Dachwasser, ungenügende Drainage von Hangwasser, etc.) wieder reaktiviert wurde.

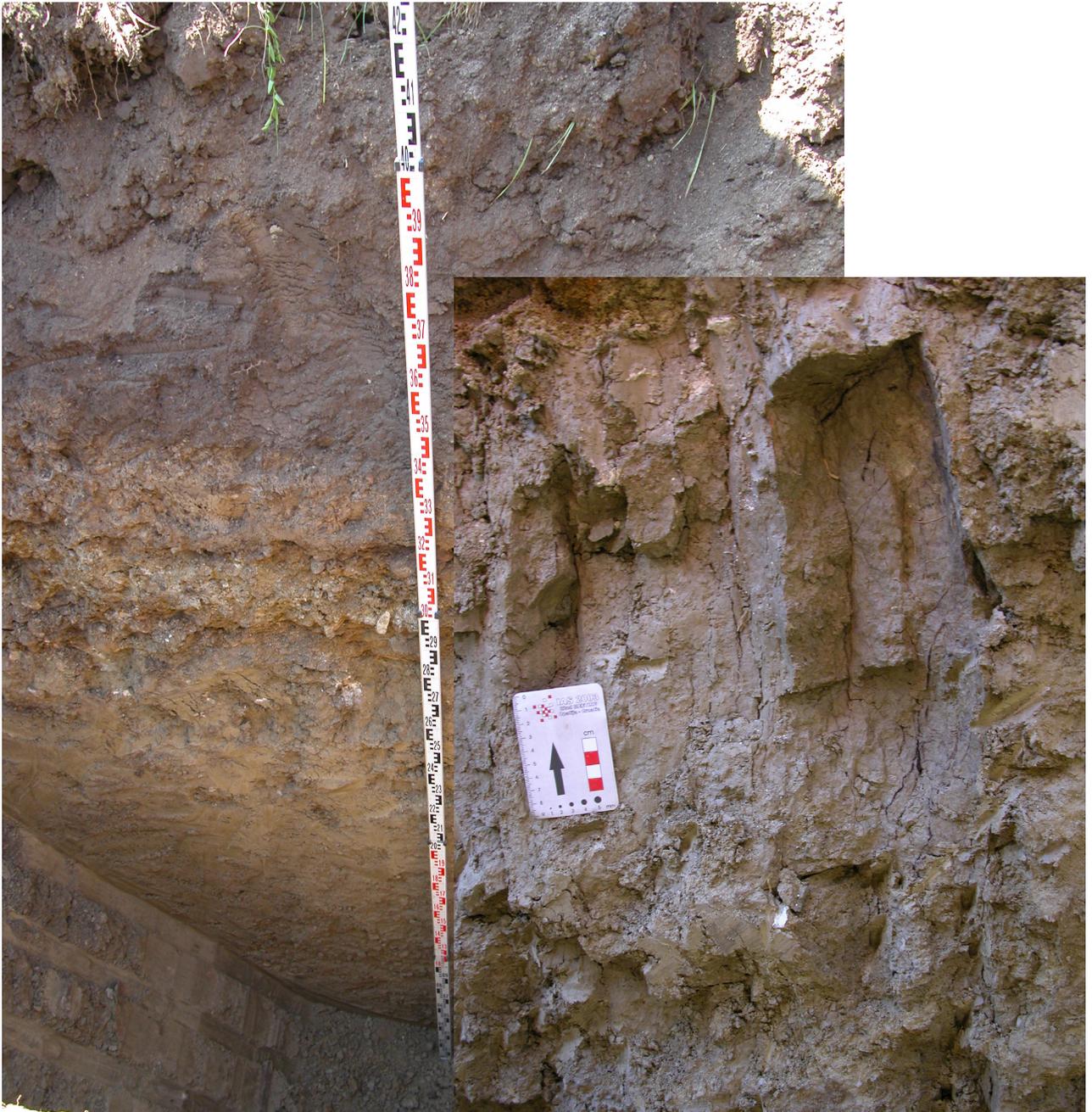


Abbildung 2-6: Schurf 1

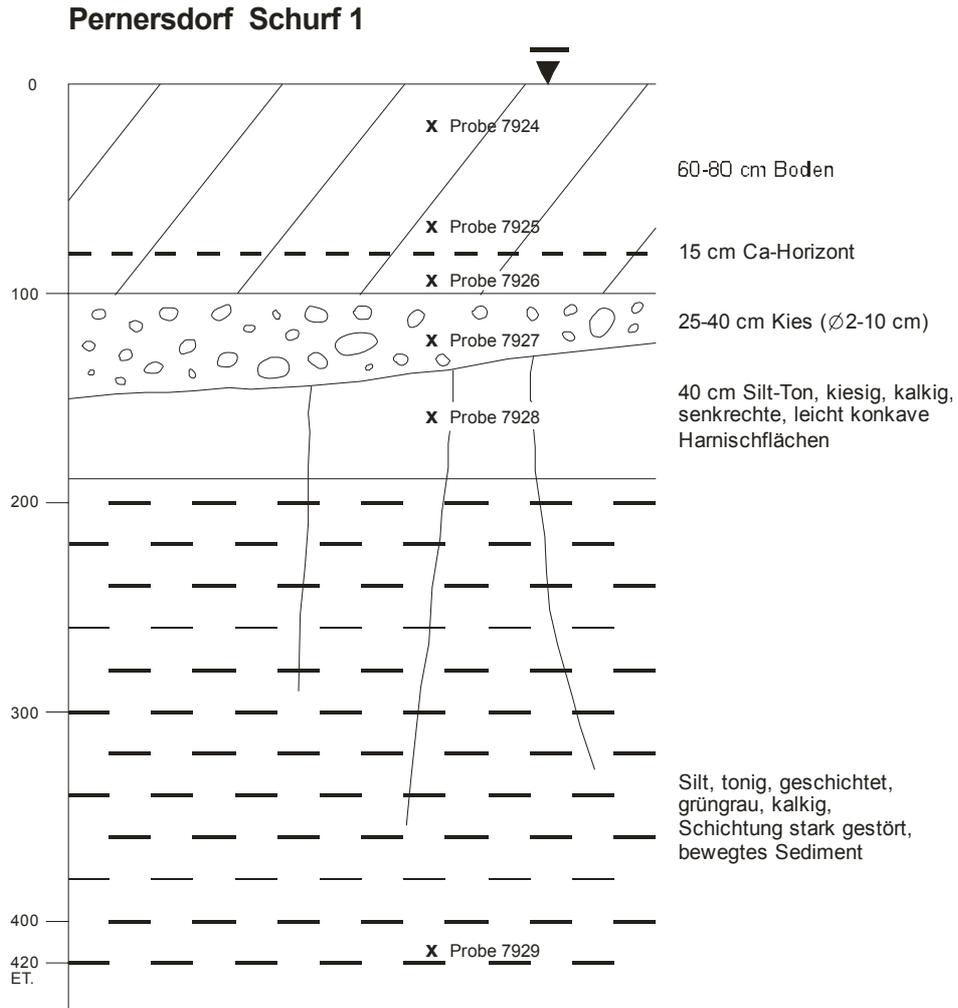


Abbildung 2-7: Beschreibung von Schurf 1



Abbildung 2-8: Schurf 2

Pernersdorf Schurf 2

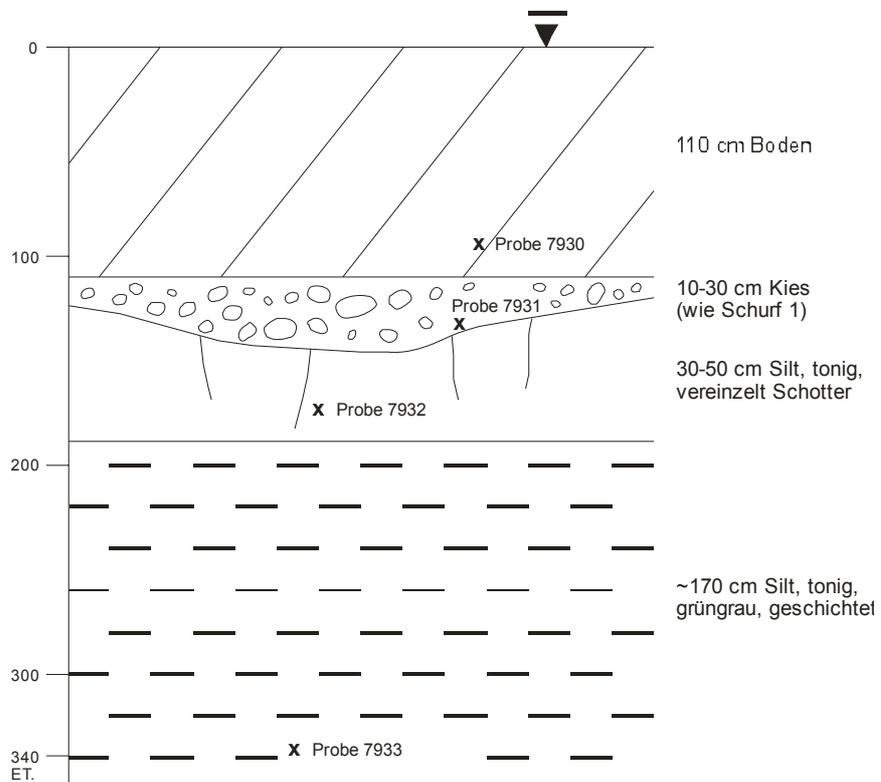


Abbildung 2-9: Beschreibung von Schurf 2

Die Proben für die tonmineralogischen Untersuchungen wurden aus den Schürfen 1 und 2 entnommen. Die Entnahme der Proben aus den beiden Schürfen erfolgte am 14. Juni 2006. Die bearbeiteten Proben sind in **Tabelle T-01** aufgelistet. Im Rahmen dieser Studie wurden einige Untersuchungsmethoden an allen Proben durchgeführt, für spezielle Methoden wurden einzelne Proben nach Bedarf ausgewählt. In **Tabelle T-02** sind die an den Proben jeweils durchgeführten Untersuchungen aufgelistet.

Tabelle 01: Zusammenstellung der untersuchten Proben

Bezeichnung	IAG Lab.Nr.	Kurzbeschreibung
S c h u r f 1		
0 – 30 cm	7924	Quartär
30 – 70 cm	7925	Quartär
70 – 90 cm	7926	Quartär
90 – 150 cm	7927	Quartär
170 cm	7928	Übergang Schotter/Laaer Schichten
420 cm	7929	Laaer Schichten
S c h u r f 2		
100 cm	7930	Übergang Sand zu Schotter
140 cm	7931	Übergang Schotter/Laaer Schichten
190 cm	7932	Laaer Schichten
300 cm	7933	Laaer Schichten
W e i n k e l l e r		
Löss	7934	Löss aus Keller

Tabelle 02: Auflistung der Untersuchungsmethoden

Bezeichnung	IAG Lab.Nr.	Scher- versuch	WG	Atterberg	KG	GMA	TMA
Schurf 1							
0 – 30 cm	7924		x	x		x	x
30 – 70 cm	7925		x	x	x	x	x
70 – 90 cm	7926		x	x		x	x
90 – 150 cm	7927		x	x		x	x
170 cm	7928		x	x	x	x	x
420 cm	7929		x	x	x	x	x
Schurf 2							
100 cm	7930		x	x		x	x
140 cm	7931		x	x		x	x
190 cm	7932		x	x	x	x	x
300 cm	7933	x	x	x	x	x	x
Weinkeller							
Löss	7934		x	x	x	x	x

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Geophysik

3.1.1 Geoelektrik

Bei der geoelektrischen Messmethode wird die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund gemessen. Die gängigsten geoelektrischen Feldmessungen bedienen sich meist einer linearen, symmetrischen Elektrodenkonfiguration in sog. 4 Punktanordnung, wobei die Außenelektroden den Strom einspeisen und die Innenelektroden die Potentialdifferenz messen. Das Prinzip einer herkömmlichen geoelektrischen Tiefensondierung besteht darin, durch Variation des Außenelektrodenabstandes verschiedene Tiefen zu erfassen.

Um die zweidimensionale Aufnahme des Untergrundes zu ermöglichen, wurden Mitte der 90-er Jahre Multielektrodenanordnungen entwickelt, die aus einer Messeinheit und bis zu 256 automatisch steuerbaren Elektroden bestehen. In der Folge werden von einer Steuereinheit automatisch durch Zusammenschalten der entsprechenden Tiefensondierungen bis zum maximal möglichen Außenelektrodenabstand gemessen (Skizze siehe Abbildung 3-1)

C_1, C_2 Stromeinspeisepunkte,
 V_1, V_2 Potentialmesselektroden

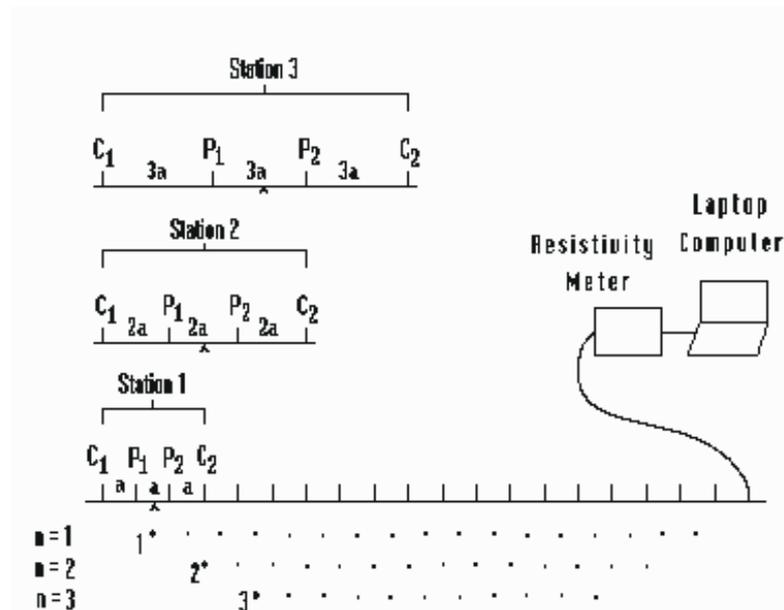


Abbildung 3-1: Messprinzip der Multielektroden Geoelektrik

Die Messergebnisse selbst werden zur Qualitätskontrolle in Form einer sog. „Pseudosektion“ dargestellt, wobei die gemessenen scheinbaren Widerstände gegen den jeweiligen Elektrodenabstand („Pseudotiefe“) aufgetragen werden. Als Auswertung wird eine zweidimensionale Inversion nach der Methoden der finiten Differenzen durchgeführt, wobei der Untergrund in rechteckige Blöcke aufgeteilt wird, welchen durch einen Algorithmus die zu den Messwerten bestmöglich passenden Widerstandswerte zugewiesen werden. Aus den Pseudowiderständen wird mit einem Inversionsverfahren ein Modell der Widerstands- Tiefenverteilung berechnet. So erhält man den Widerstandsaufbau des Untergrundes (Skizze siehe Abbildung 3-2). Das Ergebnis sind Profilschnitte, wobei die Darstellung der Topographie entlang der Profile berücksichtigt werden kann. (siehe auch LOKE, 2004)

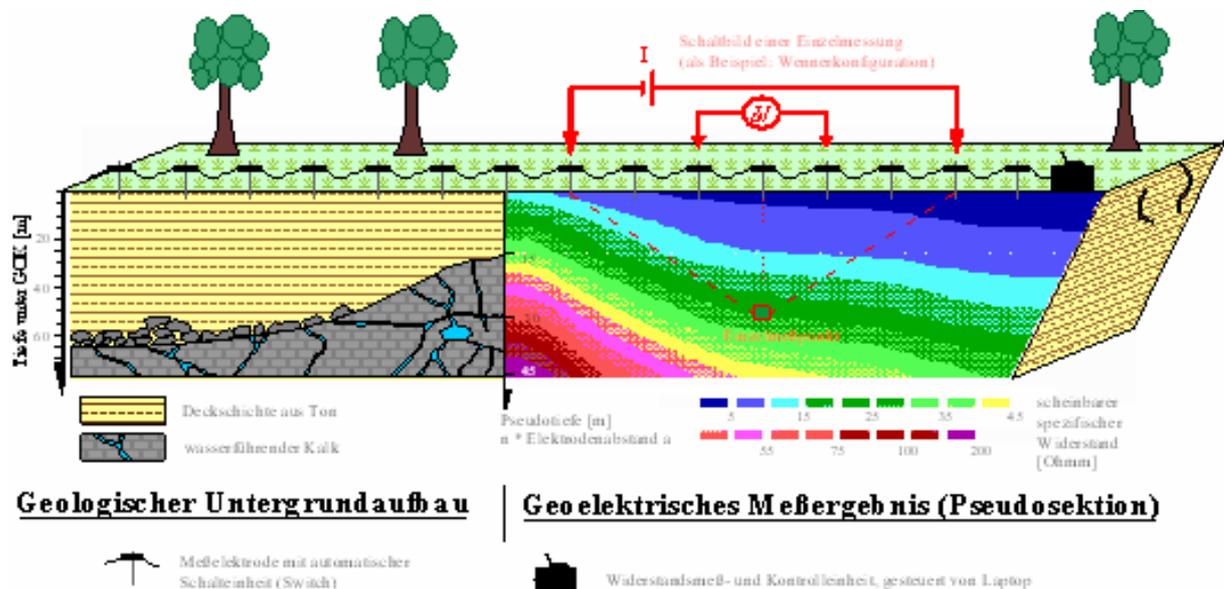


Abbildung 3-2: Prinzip einer zweidimensionalen Aufnahme mit einem Multielektrodensystem

Bei den hier verwendeten Gerät handelt es sich um eine AGI SuperSting R1 Apparatur (Gerätespezifikation siehe Tabelle).

Super Sting R 1	Hersteller	Advanced Geosciences Inc. Austin, Texas / USA
	Messbereich	400 kΩ bis 0.1 mΩ
	Messgenauigkeit	relativer Fehler ± 1 %
	Signal / Rausch Verhältnis	100 dB bei > 20 Hz
	Auflösung Empfänger Sender	± 3μV nach Stacking ± 10 μA

Technische Daten des gleichstromgeoelektrischen Instruments SuperSTING R1

3.1.2 Georadar

Das Georadar arbeitet nach dem Prinzip des elektromagnetischen Reflexionsverfahrens. Die Registrierapparatur triggert eine Sendeantenne, die daraufhin einen schmalbandigen elektromagnetischen Impuls in den Untergrund abstrahlt. Die Arbeitsfrequenzen liegen bei geologischen und ingenieurtechnischen Aufgaben im Bereich von 10 - 1000 MHz.

Die elektromagnetische Welle wird bei ihrem Weg durch den Untergrund an Objekten oder Grenzflächen unterschiedlicher elektrischer Materialeigenschaften teilweise reflektiert. Dabei dominieren Änderungen der Dielektrizitätskonstante ϵ und der Leitfähigkeit σ . Die wieder zur Empfangsantenne gelangten Signale werden verstärkt und über Kabel zur Registrierapparatur geleitet. Somit werden die Laufzeiten und Amplituden der elektrischen Feldstärke der Impulse aufgezeichnet. Der Vorteil des Verfahrens liegt bei geeigneten Untergrundverhältnissen in der extrem hohen horizontalen und vertikalen Auflösung sowie der Möglichkeit, die Messergebnisse in Echtzeit auf einem Monitor als Radargramm darzustellen.

(Quelle: <http://www.ifg.uni-kiel.de/Ingenieurgeophysik/users/Methoden/>)

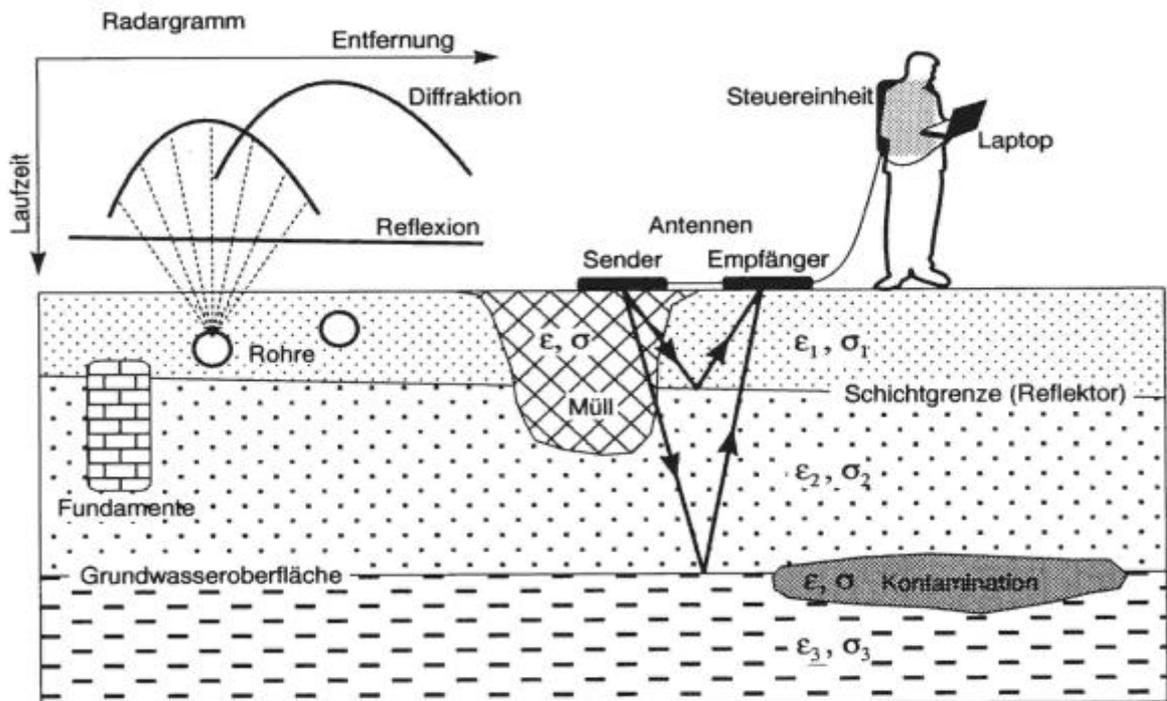


Abbildung 3-3: Messprinzip GeoRadar

3.2 Tonmineralogie

Prinzipiell findet die Tonmineralogie kaum Eingang in die klassische Baugrunduntersuchung. Bei komplexen Problemen jedoch – wie z.B. in der gegenständlichen Fallstudie – die zudem in einer Ton dominierten Geologie gelegen ist, stellen die Grundlagenerkenntnisse der Tonmineralogie den wichtigsten Schlüssel für das Gesamtverständnis dar.

3.2.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung wurde durch Kombination von Nasssiebung der Fraktion >40µm und automatischer Sedimentationsanalyse mittels SEDIGRAPH 5000 ET der Firma Micromeritics ermittelt. 50 g der luftgetrockneten Probe wurden in einem Becherglas mit 200 ml 10%igem H₂O₂ behandelt. Ziel ist die Oxidation organischer Bestandteile und eine gute Dispergierung der Probe. Nach ungefähr 24 Stunden Reaktionszeit wurde das unverbrauchte Peroxid im Wasserbad abgeraucht, die Probe anschließend mit Ultraschall behandelt und mit einem Siebsatz von 2 mm, 630 µm, 200 µm, 63 µm und 40 µm Maschenweite gesiebt. Die Grobfractionen wurden bei 105 Grad C getrocknet und in Massenprozent der Einwaage angegeben. Der Anteil <40 µm wurde im Wasserbad eingedickt, ein repräsentativer Teil davon entnommen, mit 0,5 %oigem Calgon versetzt, im Ultraschallbad dispergiert und im Sedigraph mittels Röntgenstrahl nach dem STOKES'schen Gesetz analysiert. Aus der Kornsummenkurve des Sedigraphen und den Siebdaten wurde die Korngrößenverteilung der Gesamtprobe ermittelt.

3.2.2 Gesamtmineralbestand

Die getrockneten und in einer Scheibenschwingmühle analysenfein vermahlene Proben wurden nach dem backloading Verfahren präpariert und in einem Philips Röntgendiffraktometer PW 1710 mit BRAGG BRENTANO Geometrie mittels Cu K α Strahlung (45kV, 40mA) von 2° bis 70° 2 Θ geröntgt. Aus diesen Aufnahmen wurde der qualitative Mineralbestand ermittelt.

3.2.3 Karbonatbestimmung nach SCHEIBLER

Zur Absicherung der röntgendiffraktometrischen Gesamtmineralanalysen wurden karbonathältige Proben zusätzlich einer Karbonatbestimmung nach SCHEIBLER unterzogen. Bei dieser Methode werden die Karbonate mit Salzsäure zerstört und das dabei entstehende Kohlendioxid gasvolumetrisch nach SCHEIBLER bestimmt. In Verbindung mit der Röntgendiffraktometrie können daraus die Karbonate Kalzit, Dolomit und gegebenenfalls Ankerit, Magnesit sowie Siderit quantitativ berechnet werden. Die Proben wurden bei 105°C getrocknet,

analysenfein vermahlen und für die Bestimmung jeweils 3 x 1g Probe eingewogen und analysiert. Für die Berechnung des Ergebnisses aus den 3 Einzelversuchen wurde der Mittelwert verwendet.

3.2.4 Tonmineralanalyse

Die Proben wurden mit 10 %-igem Wasserstoffperoxid dispergiert. Nach Abklingen der Reaktion und Entfernung des überschüssigen H_2O_2 erfolgte eine 15-minütige Beschallung im Ultraschallbad. Mittels Naßsiegung wurde die 63 μm Fraktion und aus dieser durch Zentrifugieren die 2 μm Fraktion gewonnen. Anschließend erfolgte die Kationenbelegung. Jeweils 40 ml der Tonsuspension wurden mit 10 ml 4 N KCl Lösung bzw. 4 N $MgCl_2$ Lösung vermischt und 12 Stunden geschüttelt. Als Unterlage für die Texturpräparate dienten Keramikplättchen, auf die durch Unterdruck die Tonsuspension aufgesaugt wurde. Nach erfolgter Aufnahme im Diffraktometer kamen die Mg-belegten Proben in Ethylenglykol-Atmosphäre (zur Unterscheidung von Smektit von Vermikulit) und die K-belegten Proben in DMSO (Dimethylsulfoxid)-Atmosphäre (Unterscheidung Chlorit/Kaolinit). Nach einer weiteren Aufnahme im Diffraktometer wurden die kaliumbelegten Präparate 2 Stunden bei 550°C getempert (Unterscheidung primärer/sekundärer Chlorit). Anschließend erfolgte die Auswertung der einzelnen Tonmineralphasen nach dem gleichen Prinzip wie bei der Gesamtmineral-Bestimmung. Die Identifizierung der Minerale und Tonminerale erfolgte generell nach BRINDLEY & BROWN, 1980, und MOORE & REYNOLDS, 1997.

3.2.5 Simultane Thermoanalyse (STA)

Thermische Analyseverfahren geben zusätzliche Informationen über die Tonminerale in einer Tonprobe. Die zu untersuchenden Substanzen werden kontinuierlich erhitzt und simultan die Gewichtsänderung (Thermogravimetrie TG) und der Wärmefluss (Differenzialkalorimetrie DSC) gemessen. Tone enthalten unterschiedliche Mengen an Hydroxylgruppen, die sich unter Temperatureinwirkung zersetzen. Es können auch beträchtliche Masseverluste auftreten, die spezifisch für verschiedene Tonminerale sind (Mackenzie, 1964). Während der Aufheizung kommt es sowohl zu endothermen als auch zu exothermen Reaktionen. Endotherme Reaktionen können bei der Abgabe von z. B. Wasser, CO_2 , SO_2 etc. sowie auch bei Dehydroxilierung auftreten. Exotherme Effekte treten bei verschiedenen Umkristallisationen auf (Wilson, M.J., 1987). Die entstehenden Reaktionsprodukte können zusätzlich mittels Massenspektrometrie oder Infrarotspektroskopie gemessen und zur Interpretation herangezogen werden. Die STA-Analysen wurden mit einem Netzsch Gerät - STA 409 PC Luxx® – durchgeführt. Für die Analyse wurden 50 mg der Probe in einen Pt-Tiegel

eingewogen und in einer kontrollierten Atmosphäre mit 50 ml/min Luft und 15 ml/min N₂ bis 1000°C erhitzt. Die Erhitzungsgeschwindigkeit betrug 10°C/min.

3.3 Geotechnik

3.3.1 Wassergehalt

Die Bestimmung der Wassergehaltsgrenzen erfolgte gemäß Ö-Norm B 4410.

3.3.2 Atterberggrenzen

Die Bestimmung der Konsistenzgrenzen erfolgte gemäß Ö-Norm B 4411.

3.3.3 Scherversuche

Der Scherversuche erfolgte gemäß Ö-Norm B 4416.

3.3.4 Nutsondierung und Rammsondierung

Die Bestimmung der Lagerungsverhältnisse von nichtbindigen Böden erfolgte nach Ö-Norm 4405 und 4419.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Geophysik

4.1.1 Geoelektrik

Im April 2006 wurde 1 geoelektrisches Profil gelegt. Die Details zu dem Profil sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Spezifikation des Geoelektrikprofils			
Geoelektrikprofil	Profillänge[m]	Elektrodenabstand	Messrichtung
Profil1	83	1	E-W

Die Position der Profile ist Abbildung 4-1 ersichtlich.



Abbildung 4-1: Orthophoto (© NÖ Landesregierung) und Lage des geoelektrischen Profils



Abbildung 4-2: Panoramablicke (im linken Bild zeigt die Mitte des Bildes nach Süden; im rechten Bild zeigt die Mitte nach Norden). Gestrichelte Linie: Profilverlauf der Geoelektrik

Die geoelektrischen Daten wurden mit dem geoelektrischen Inversionsprogramm „AGI Earthimager 2D“ ausgewertet. Die Diskussion der Inversionsergebnisse ergibt sich aus Abbildung 4-3.

Das Inversionsergebnis zeigt einen klaren Widerstandsaufbau: hochohmige Strukturen, mit einem Widerstand >40 Ohmm, die sich bis 3 m unter der Oberfläche befinden, liegen auf niederohmigen Schichten (5-30 Ohmm).

Die höheren Widerstände sind aufgrund der Erkenntnisse der Sondierungen der OÖ Bodenprüfstelle (**Abbildung 4-20**) als Kieslinsen in einer siltig-tonigen Matrix anzusprechen.

Die geringen Widerstände ab ca. 3 m unter GOK werden mit dem in der geologischen Karte eingezeichneten Laaer Schichten, die aus Ton und Silt bestehen, in Verbindung gebracht.

Bei Profilmeter 16 ist der von der Strasse aufgrund eines Häuserabrisses ersichtliche Keller als hochohmige Zone erkennbar. Die etwas höherohmigen Zonen weiter westlich, aber auf selber Höhe, könnten eventuell ebenfalls durch Hohlräume (alte Keller, etc.) verursacht sein.

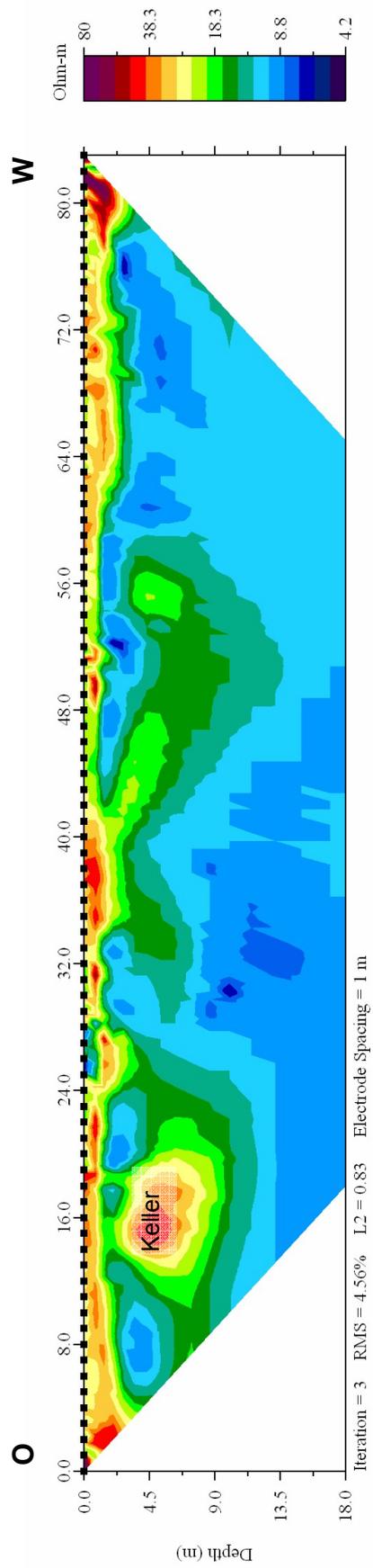


Abbildung 4-3: Messergebnisse vom Geoelektrikprofil

4.1.2 GeoRadar

Als Instrument wurde ein SIR-2 mit einer 500 bzw 200 MHz Antenne eingesetzt um möglichst hohe Eindringtiefen zu erreichen, da aus den Bohrungen bekannt war, dass der stark an elektromagnetischen Wellen dämpfende Untergrund überwiegend aus tonig-siltiges Material mit hohem Wassergehalt besteht. Sender & Empfänger wurden normal zur Profilrichtung geführt. Folgende Akquisitionsparameter wurden eingehalten

- 32 scans/sec;
- Sender und Empfänger am selben Ort = Offset 0 = Reflexionsmessung;
- Laterale Messpunktentfernung jeweils 5 cm;
- Streckenmessung über Maßband, keine Kontrollpunkte, absoluter Lagefehler wird mit ± 0.5 m angesetzt;
- 1024 Stapelungen pro Messpunkt.

Die Lage der Profile kann dem Lageplan, Abbildung 4-4, entnommen werden.

Zur Untersuchung der eventuell vorhandenen Bodenauflockerungen bzw. Hohlräume wurden straßenseitig (im Norden), südlich und westlich des Gebäudes Radarmessungen durchgeführt. Im Osten konnten keine Messungen durchgeführt werden, da hier direkt ein Gebäude angrenzt. An diesem Gebäude waren keine Risse zu erkennen.

Mit den Radarmessungen können Auflockerungszonen und Hohlräume gefunden werden. Am vielversprechendsten waren daher die Messungen westlich des schadhafte Gebäudes. Die Profile P221,P207,P209 und P212 wurden einander gegenübergestellt. P221 verläuft über das Pflaster im Garten und hat nur eine Länge von ca 3 m. Bei Markierung 1 ist ein Hohlraum erkennbar, rechts daneben eine Auflockerung. P207 verläuft straßenseitig entlang des Zaunes. Deutlich sind bei Ziffer 1 und 2 zwei oberflächennahe Hohlräume zu erkennen. Parallel dazu verläuft Profil P209 auf der Strasse. Auch hier sind bei Ziffer 1 und 2 zwei oberflächennahe Hohlräume zu sehen. Auf der Strasse konnten diese Hohlräume als Schächte identifiziert werden. Entsprechend wird angenommen, dass die Objekte 1, bzw.2 bei den Profilen P221 und P207 Zuleitungen zu den Schächten anzeigen. Profil P212 befindet sich auf der gegenüberliegenden Straßenseite. Auch bei diesem Profil ist nahe dem Profilanfang bei ca. 1. 5 m ein Schacht zu erkennen. Keine Leitung nahe dem Haus ist bei den Profilen P213 und P216 im Radarbild ersichtlich. Deutliche Signale zwischen 0 m und 3 m Entfernung bei P213 und etwas schwächere bei P216 sind auf eine im Boden eingesenkte etwa 1 m lange Metallwanne zurückzuführen.

Die Rückseite des Gebäudes grenzt unmittelbar an Felder an, welche um etwa 3 m höher liegen als die Gebäudesohle und mit einer Böschung zum Ort abschließen. Die Radarprofile P223 (200MHz) und P222 (500MHz) wurden entlang der Böschung geführt. Zum Vergleich mit der 200MHz Antenne wurde das Radarprofil P222 im gleichen Tiefenmaßstab dargestellt und für die bessere Detailerkennung nochmals in einem gedehnten Tiefenmaßstab. Die Gebäudemitte befindet sich bei 27 m Profillänge. Bei ca 37 m zeigt die 500MHz Antenne ein oberflächennahes Objekt. Diese Objekt ist bei der 200MHz Antenne nicht erkennbar, da es zu nahe an der Oberfläche liegt. Ein weiteres Objekt ist am Profilanfang zu sehen. Wegen der großen Entfernung zum untersuchten Gebäude ist es jedoch nicht von Interesse.

Bei den Profilen P207, P209 und P212 sind die ersten 20 cm ausgeblendet, da diese die Reflexionen durch den Straßenbelag zeigen.

Trotz der geringen Eindringtiefe war die 500MHz Antenne von Vorteil gegenüber der 200MHz Antenne, da sich die wesentlichen Informationen nahe der Oberfläche befinden. Das von der Erdoberfläche reflektierte Signal steht in Wechselwirkung mit der Antenne und überdeckt die obersten Signale des Bodens. Dadurch steht die Information über den Untergrund erst ab einer gewissen Tiefe zur Verfügung. Diese Mindesttiefe ist bei der 500MHz Antenne geringer als bei der 200MHz Antenne.

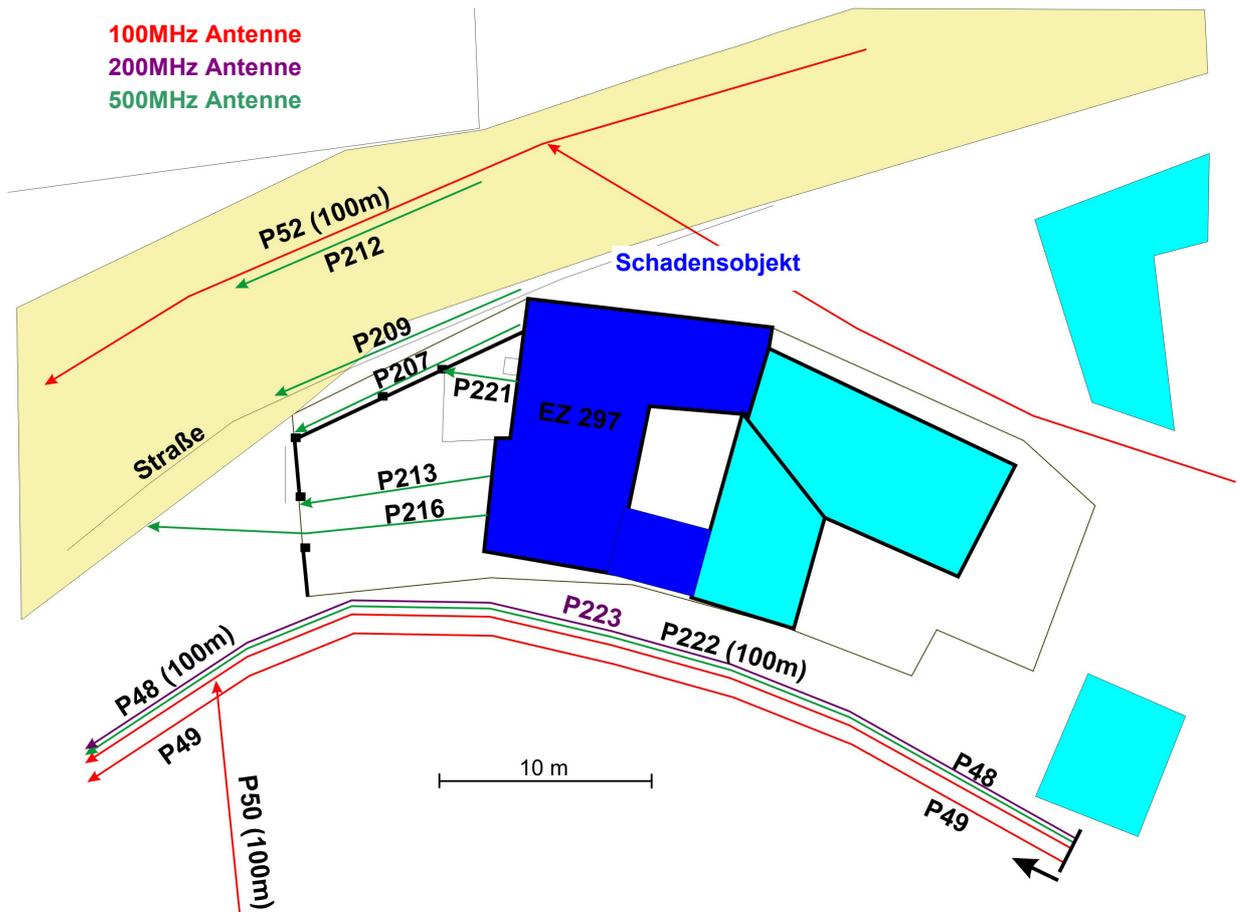
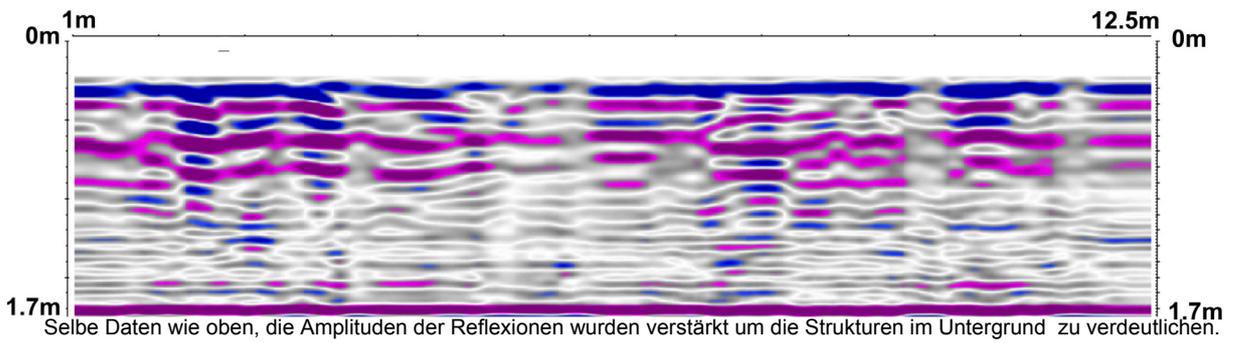
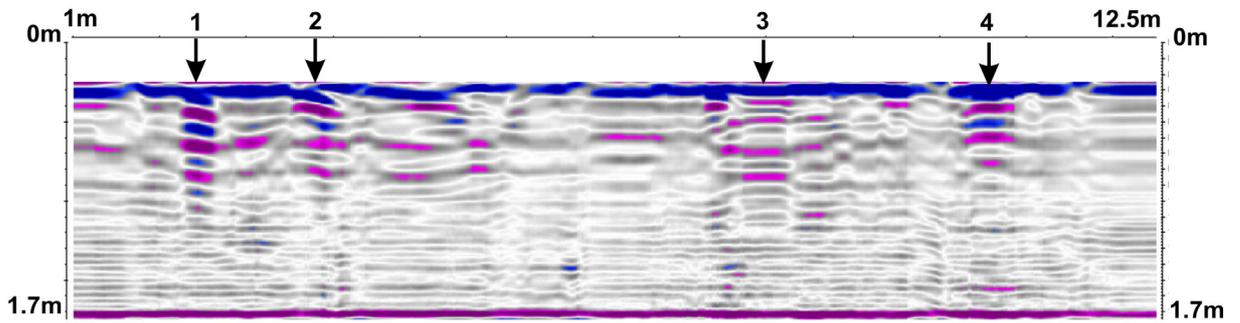


Abbildung 4-4: Lage der GPR Profile (Skizze Kohlbeck)

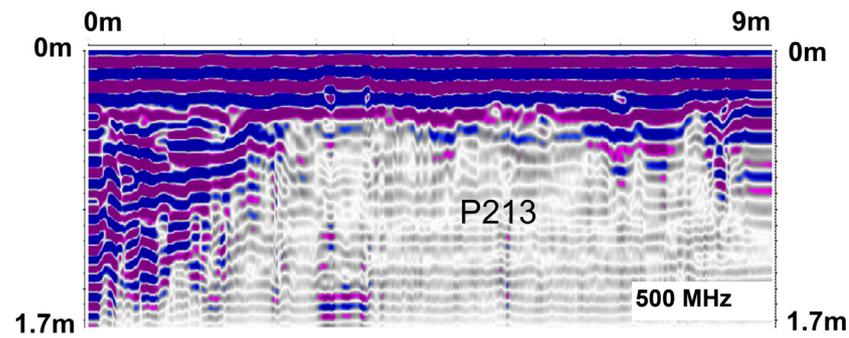
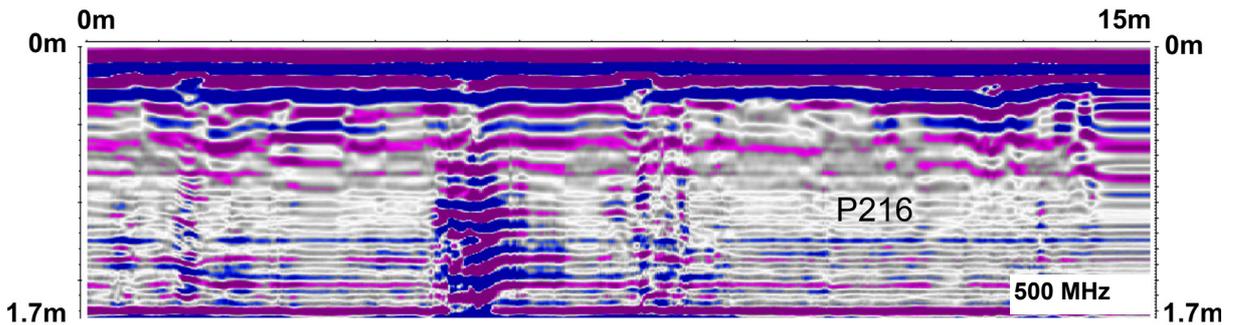


Abbildung 4-5: Blick auf die Radarmessungen auf der Anhöhe hinter dem Schadensobjekt

P207, 500MHz Antenne



Selbe Daten wie oben, die Amplituden der Reflexionen wurden verstärkt um die Strukturen im Untergrund zu verdeutlichen.



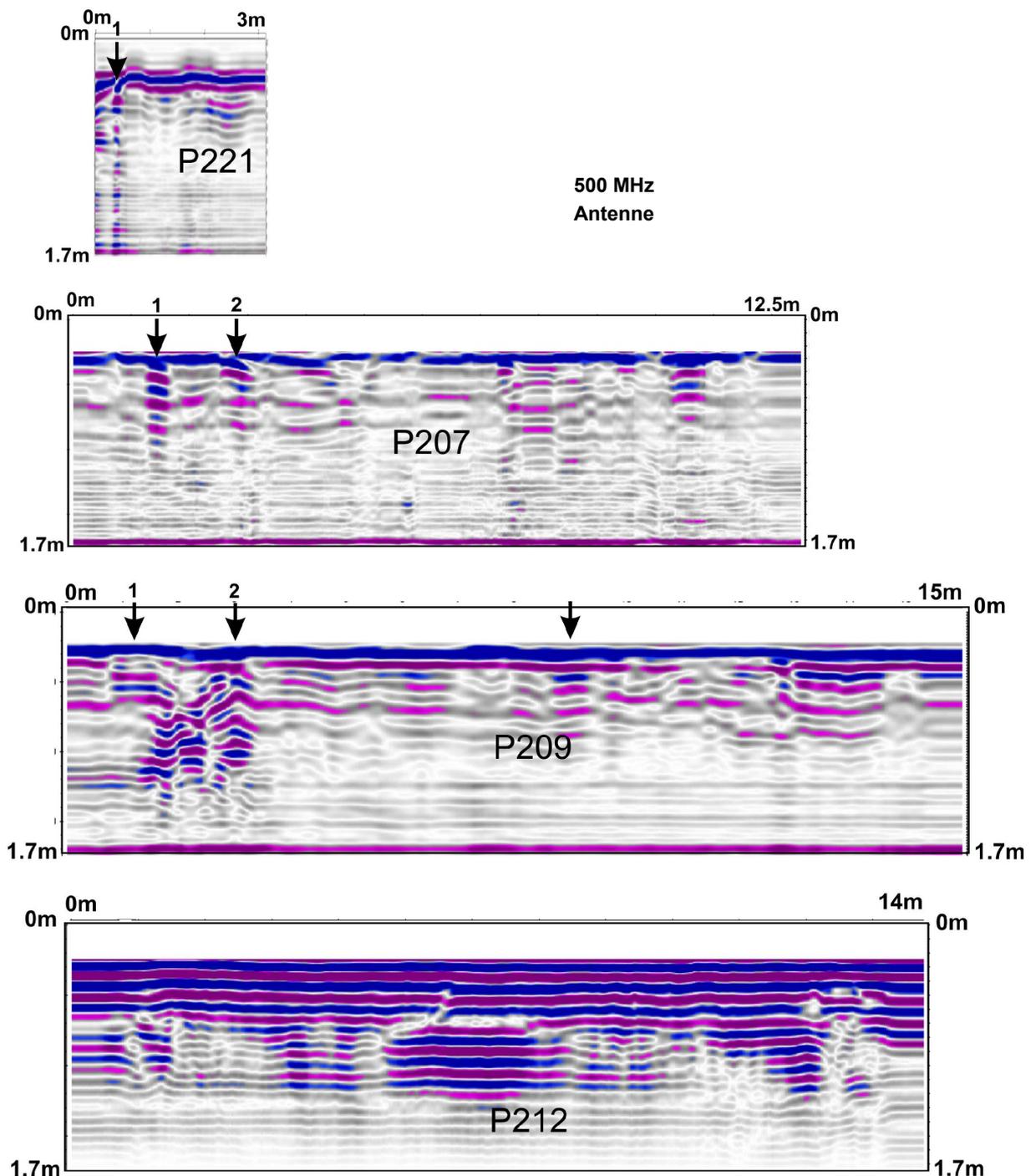


Abbildung 4-6: Ergebnisse der verschiedenen Radarmessungen im Bereich des schadhaften Gebäudes

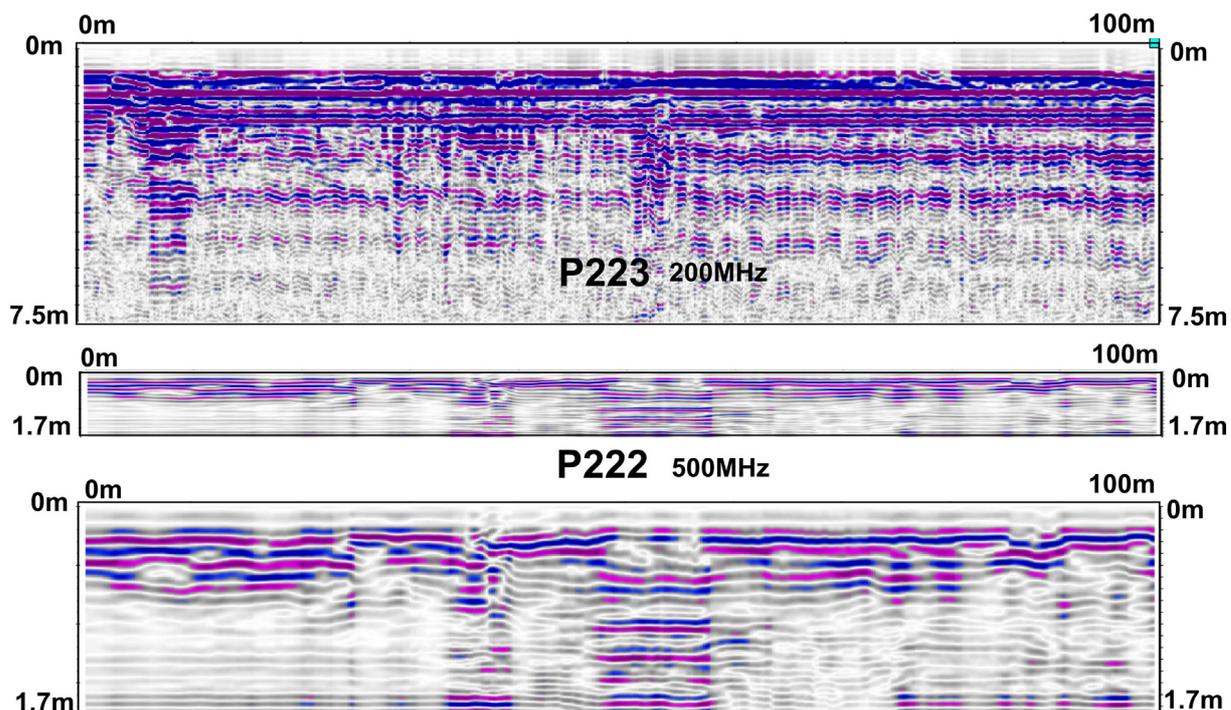


Abbildung 4-7: Ergebnisse der Radarmessungen südlich des schadhaften Gebäudes

An den Profilen P221, P207 und P209 sind Leitungen, bzw. Auflockerungen erkennbar. Eine davon dient offensichtlich als Abwasserleitung für Regenwasser. Es ist naheliegend darin einen ursächlichen Zusammenhang mit dem Gebäudeschaden zu sehen. Es sind unter anderem folgende beide Möglichkeiten denkbar:

- Ein neuer Abwasserkanal wurde gegraben und das Gebäudefundament nicht ausreichend abgepölst.
- Die Leitung ist undicht und Erdreich wurde ausgeschwemmt.

4.2 Tonmineralogie

4.2.1 Korngrößenanalysen

Die Ergebnisse der Korngrößenanalysen sind in der **Tabelle T-03** zusammengefasst und in den **Abbildungen 4-8 bis 4-13** graphisch dargestellt.

Anhand der Korngrößenanalyse erfolgte eine Einteilung in:

1. Bereich bis etwa 150 cm: Quartäre Umlagerungen mit den rezenten Bodenhorizonten
2. Bereich ab etwa 150 cm: Laaer Schichten

1. Bereich bis etwa 150 cm: Quartäre Umlagerung mit den rezenten Bodenhorizonten

Die obersten Horizonte sind granulometrisch sehr unterschiedlich zusammengesetzt: Es treten sowohl feinkörnige Bereiche als auch deutlich gröber ausgebildete Schichten auf.

In Schurf 1 konnte festgestellt werden, dass die obersten drei Proben bis 90 cm (7924 – 7926) relativ einheitlich zusammengesetzt sind. Sie enthalten geringe Kiesanteile, etwa 20 Masse % Sand, 30 Masse % Silt und 50 Masse % Ton. Darunter folgt bis 150 cm eine ausgeprägte Kieslinse.

In Schurf 2 zeigen die gröberen Bereiche von 100 – 140 cm folgende Zusammensetzung: Der Kiesanteil bewegt sich zwischen 24,4 und 51,5 Masse %, der Sandgehalt liegt zwischen 18,6 und 19,7 Masse %. Silt ist zwischen 8,3 und 21,3 Masse % vertreten. Die Tonfraktion bewegt sich zwischen 20,5 und 35,7 Masse %.

Zum Vergleich wurde aus einem unmittelbar nahe gelegenen aufgelassenen Weinkeller eine Lössprobe entnommen und ebenfalls analysiert. Der Löss zeigt Spuren von Kies, 18,3 Masse % Sand, 44,6 Masse % Silt und 36,9 Masse % Ton.

Die Proben aus dem Bereich der **quartären Umlagerung** sind in der Zusammensetzung der untersuchten Lössprobe bezüglich Kies und Sandgehalt sehr ähnlich. Die niedrigeren Silt- und höheren Tongehalte dürften auf eine Beeinflussung durch die darunterliegenden sehr feinkörnigen **Laaer Schichten** zu erklären sein (cf. **Abbildung 4-8 und 4-9** sowie **Abbildung 4-10 und 4-11**).

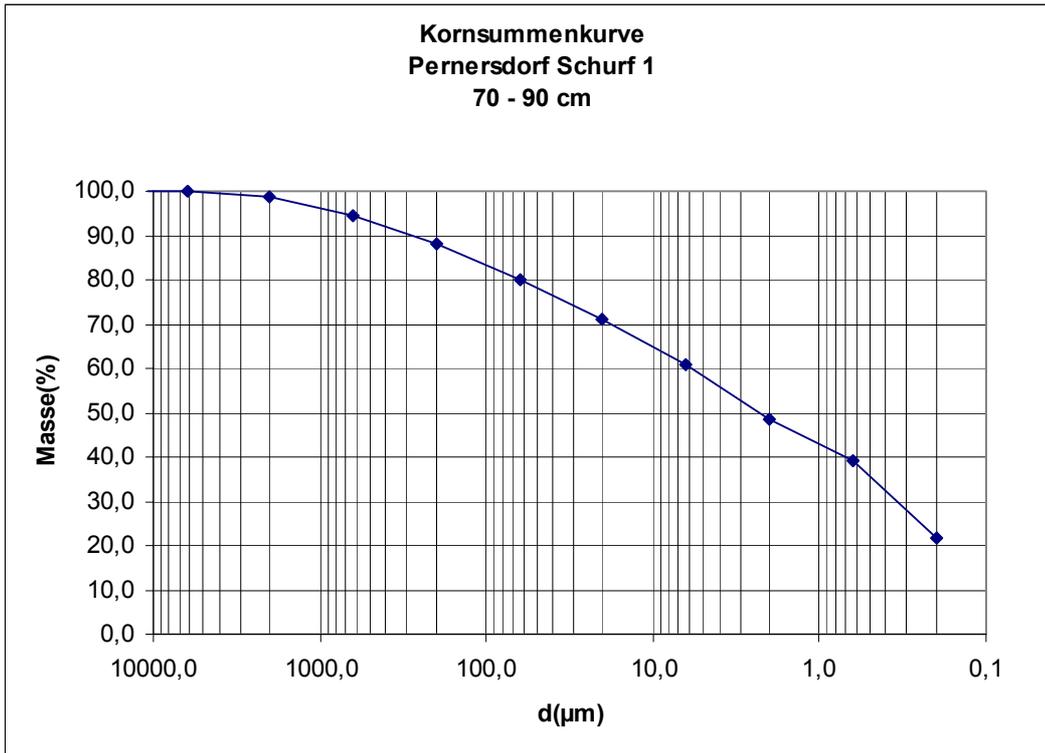


Abbildung 4-8:
Probe 7926

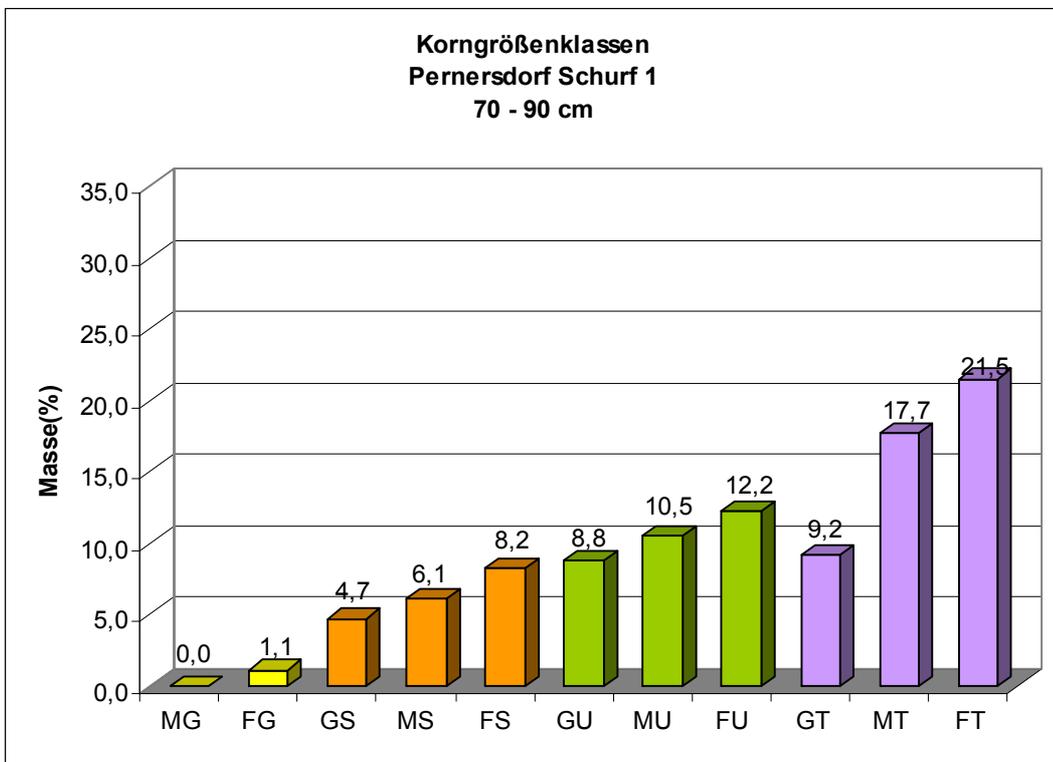


Abbildung 4-9:
Probe 7926

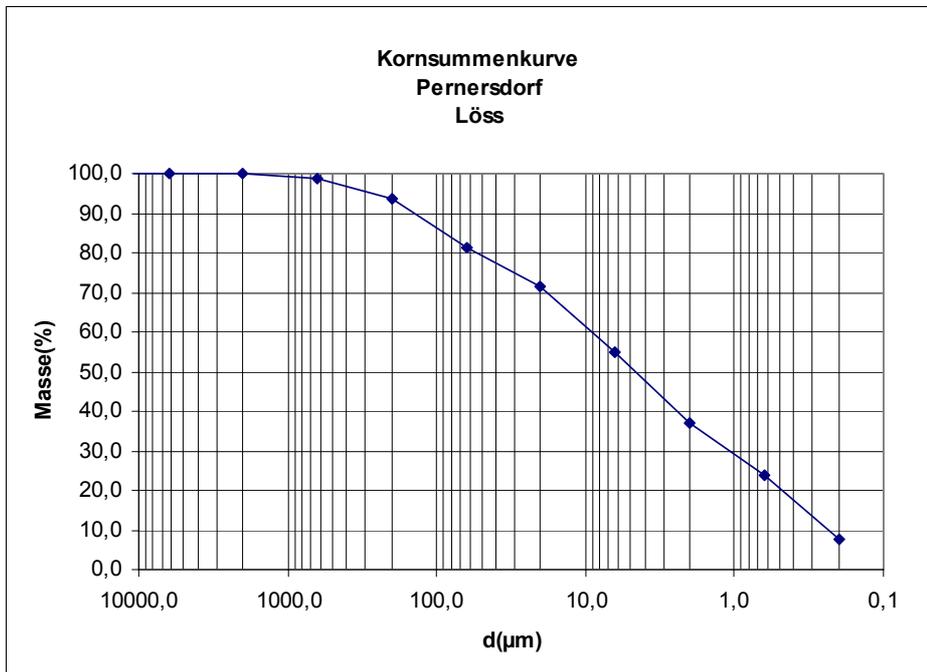


Abbildung 4-10:
Probe 7934

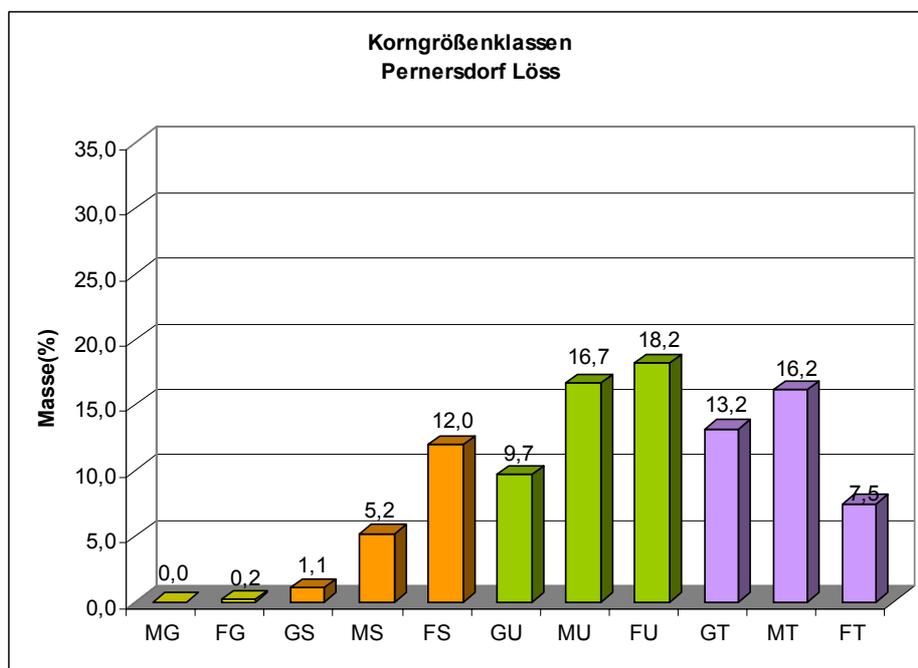


Abbildung 4-11:
Probe 7934

2. Bereich ab etwa 150 cm: Laerschichten

Aus den **Laerschichten** wurden von den Schürfen 1 und 2 vier Proben (7928, 7929, 7932, 7933) entnommen und analysiert.

Die granulometrische Zusammensetzung ist ausgeprägt feinkörnig. Kies ist unbedeutend, Sand ist nur in Spuren anzutreffen (0,3 – 1,9 Masse %). Der Gehalt an Silt ist deutlich höher und liegt zwischen 33,9 und 43,3 Masse %. Die dominierende Korngrößenfraktion der **Laerschichten** ist Ton, der zwischen 56,4 und 64 Masse % in der Korngrößenverteilung ausmacht. (cf. **Tabelle T-03** und **Abbildung 4-12 und 4-13**).

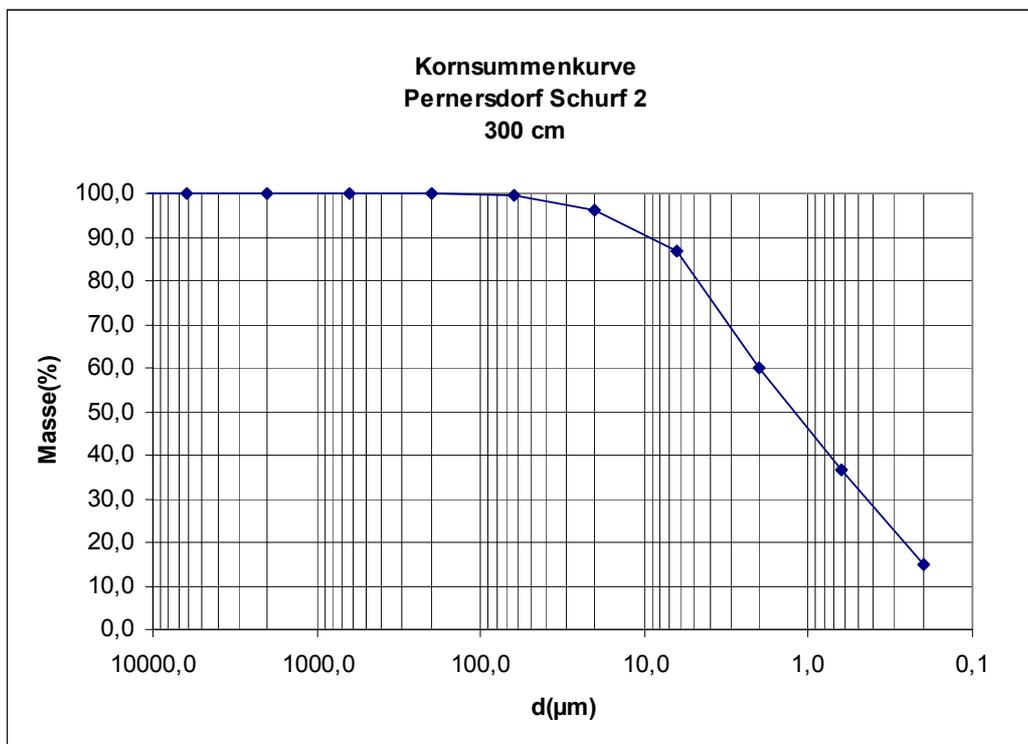


Abbildung 4-12:
Probe 7933

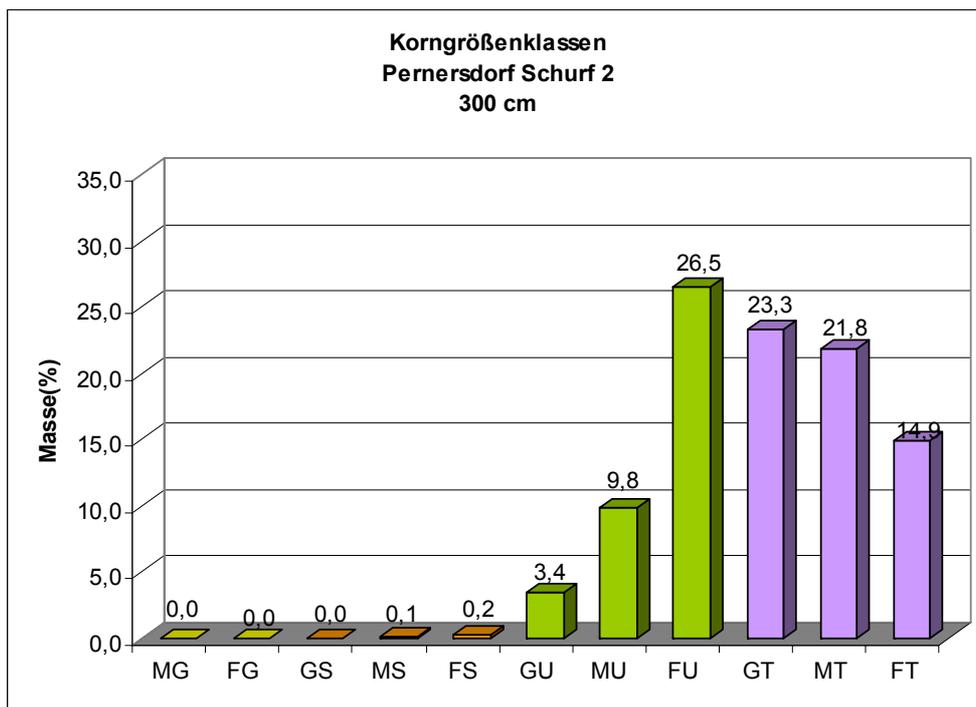


Abbildung 4-13:
Probe 7933

Tabelle 03: Ergebnisse der Korngrößenanalysen in Masse %

Bezeichnung	IAG Lab.Nr.	Kies	Sand	Silt	Ton
Schurf 1					
0 – 30 cm	7924	0,7	20,3	30,5	48,5
30 – 70 cm	7925	0,4	18,1	29,8	51,7
70 – 90 cm	7926	1,1	19	31,5	48,8
170 cm	7928		0,4	38,1	61,5
420 cm	7929		0,3	43,3	56,4
Schurf 2					
100 cm	7930	51,5	19,7	8,3	20,5
140 cm	7931	24,4	18,6	21,3	35,7
190 cm	7932	0,2	1,9	33,9	64
300 cm	7933		0,3	39,7	60
Weinkeller					
Löss	7934	0,2	18,3	44,6	36,9

4.2.2 Gesamtmineralanalysen

Die Minerale werden wieder wie bei der Korngrößenanalyse in den zwei stratigraphischen Gruppen besprochen (cf. **Tabelle T-04**).

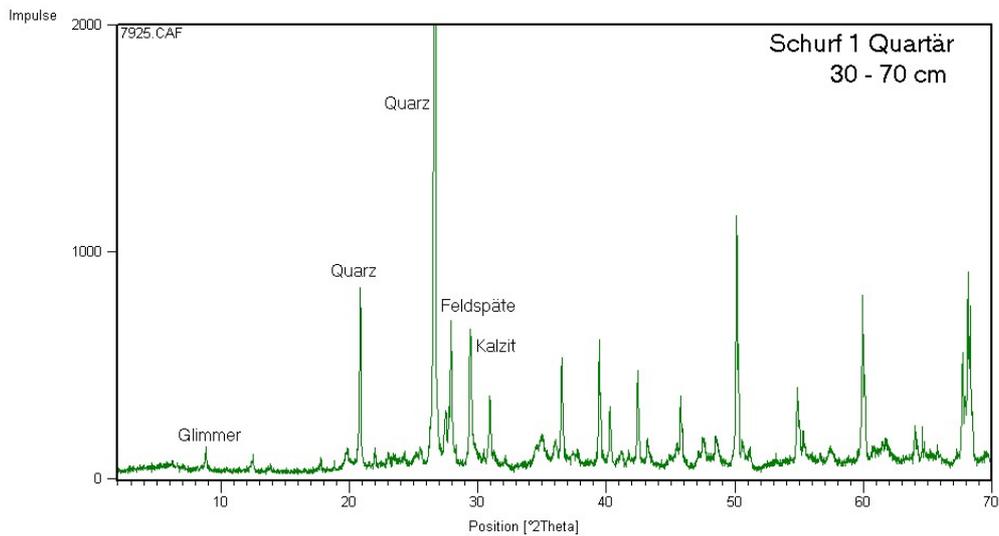


Abbildung 4-14:
Diffraktogramm Gesamtmineralverteilung einer Probe Bereich 30 – 70 cm

1 Bereich bis etwa 150 cm: Quartäre Umlagerung mit den rezenten Bodenhorizonten

Die gesamtmineralogische Zusammensetzung der beiden Schürfe im **quartären Bereich** zeigt ein ähnliches Bild. Generell sind geringe Mengen an Glimmer vorhanden. Die Schichtsilikate sind in diesem Bereich nur in Spuren vorhanden, ausgenommen die oberflächennahe Probe 7924. Quarz ist nahezu in allen Proben in mittleren Mengen vertreten, während die Kalifeldspäte in unterschiedlichen Mengen verteilt sind, besonders auffallend ist der hohe Anteil bei der Probe 7931. Unauffällig demgegenüber ist die Mineralverteilung von Plagioklas, ausgenommen die Probe 7927, welche einen höheren Mineralmengenanteil aufweist. Kalzit dominiert über Dolomit, da Dolomit meist nur in Spuren vorhanden ist (cf. **Abbildung 4-14**).

Tabelle 04: Ergebnisse der Gesamtmineralanalyse

Lab.Nr.	Bezeichnung	14Å	Glimmer	Amphibole	Kaolinit/ Chlorit	Σ Schicht- silikate	Quarz	Kalifeld- spat	Plagioklas	Kalzit	Dolomit	Σ Karbonat in %
Schurf 1												
7924	0 – 30 cm		.		.	*	**	*	**	*	*	15
7925	30 – 70 cm		.		.	.	**	.	*	*	.	16
7926	70 – 90 cm		.		.	.	**	.	**	*	*	23
7927	90 – 150 cm		.	.	.		***	**	***	.		8
7928	170 cm	***	.		.	**	*		.	.	.	15
7929	420 cm	***	.		*	**	*		.	.	.	14
Schurf 2												
7930	100 cm		.		.		**	**	**	.		5
7931	140 cm		.		.		**	***	**	*	.	19
7932	190 cm	***	.		.	*	.	.	.	**		22
7933	300 cm	***	.		*	**	10
Weinkeller												
7934	Löss	**	.	.	*	*	*	*	**	.	.	3

Zeichenerklärung: . in Spuren vorhanden; * geringe Mengen; ** mittlere Mengen; *** große Mengen

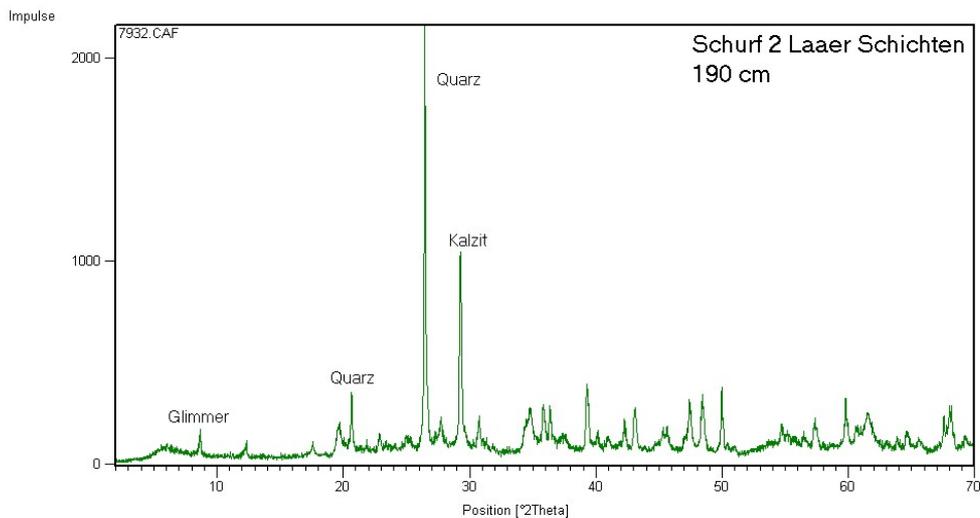


Abbildung 4-15:
Diffraktogramm Gesamtmineralverteilung einer Probe aus dem Bereich 190 m

2. Bereich ab 150 cm: Laaer Schichten

In dieser Formation sind gegenüber dem quartären Bereich deutlich höhere Schichtsilikatmengen vorhanden. Glimmer ist genauso nur in Spuren vertreten wie im darüberliegenden Bereich. Besonders auffällig ist in beiden Schürfen der hohe Anteil an 14 Angströmmineralen, der schon in der Gesamtmineralanalyse auf hohe Smektitmengen schließen lässt. Kaolinit und Chlorit treten in beiden Schürfen erst in tieferen Schichten auf. Quarz scheint in den **Laaer Schichten** in signifikant geringeren Mengen als in den darüberliegenden quartären Ablagerungen auf. Kalifeldspäte sind in den **Laaer Schichten** nicht nachweisbar, und Plagioklas ist nur in Spuren auffindbar. Kalzit und Dolomit sind nur in geringen Mengen vorhanden, ausgenommen Probe 7932, welche einen deutlich höheren Anteil aufweist (cf. **Abbildung 4-15**).

Eine erwähnenswerte Zusammensetzung weist die ebenfalls analysierte Lössprobe (7934) aus dem Weinkeller auf. Der Karbonatgehalt mit 3 Masse % lässt auf eine weitfortgeschrittene Entkalkung schließen. Die in den anderen Proben besprochenen Minerale treten in geringen bis mittleren Mengen auf. Hervorzuheben sind Spuren von Amphibol sowie starke Hinweise auf Smektit (cf. **Abbildung 4-16**).

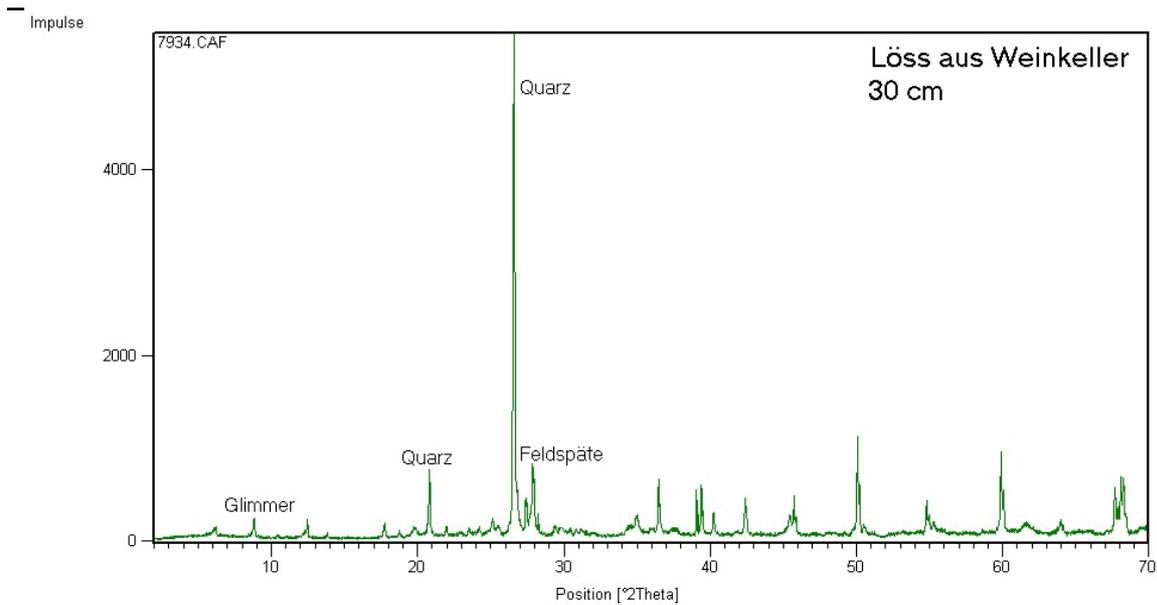


Abbildung 4-16:
Diffraktogramm der Gesamtmineralverteilung einer Probe aus dem Löss

Die mineralogischen Ergebnisse zeigen, dass etwa 150 cm über den **Laaer Schichten** Umlagerungsvorgänge, Ablagerung von Kies- und Sand-, sowie Lössakkumulation stattgefunden haben. Im Grenzbereich zu den **Laaer Schichten** kam es zu einer gegenseitigen Beeinflussung in der Mineralzusammensetzung.

4.2.3 Tonmineralanalyse

Die Ergebnisse der Tonmineralanalysen sind in der **Tabelle T-05** zusammengefasst und in den **Abbildungen 4-17 – 4-19** auszugsweise graphisch dargestellt.

Tabelle 05: Ergebnisse der Tonmineralanalyse, Angaben in Masse %; semiquantitativ

Bezeichnung	IAG Lab.Nr.	Vermikulit	Smektit	Illit	Kaolinit	Chlorit
Schurf 1						
0 – 30 cm	7924	Spuren	37	33	30	Spuren
30 – 70 cm	7925	Spuren	36	32	32	Spuren
70 – 90 cm	7926	Spuren	46	26	28	Spuren
90 – 150 cm	7927	-	66	20	15	Spuren
170 cm	7928	-	63	25	11	Spuren
420 cm	7929	-	66	27	7	Spuren
Schurf 2						
100 cm	7930	-	65	21	14	Spuren
140 cm	7931	Spuren	46	31	23	Spuren
190 cm	7932	-	77	15	8	Spuren
300 cm	7933	-	65	25	10	Spuren
Weinkeller						
Löss	7934	Spuren	55	16	29	Spuren

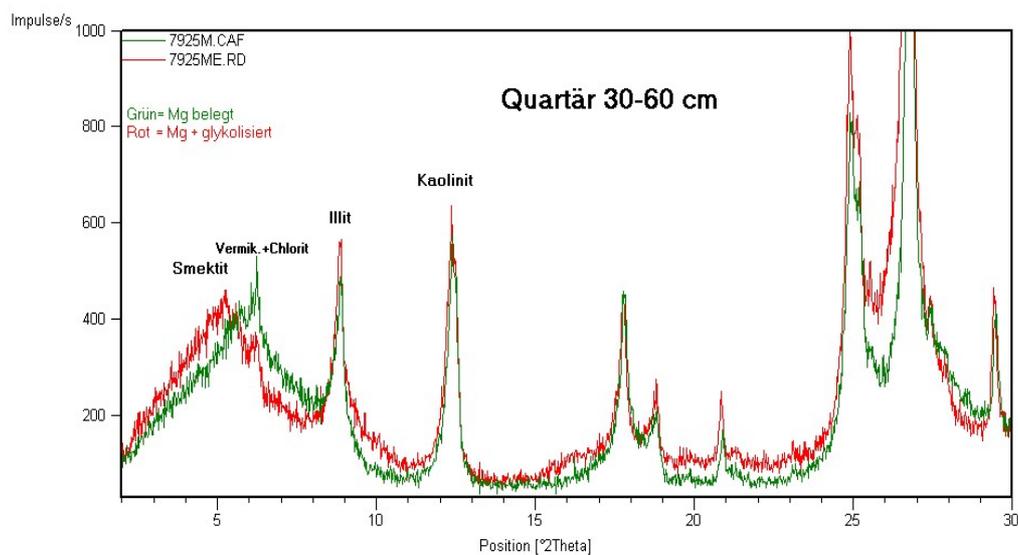


Abbildung 4-17:

Diffraktogramm der Tonfraktion $<2\ \mu\text{m}$ einer Probe aus dem Bereich 30 – 70 cm

1. Bereich bis etwa 150 cm: Quartäre Umlagerung mit den rezenten Bodenhorizonten

Dieser Bereich ist durch eine eher regelmäßige vertikale Verteilung von Illit und Kaolinit mit etwa jeweils 30 Masse % charakterisiert. Smektit ist mit 36 bis 46 Masse % vertreten. Chlorit tritt in allen Proben in Spuren auf. Er ist sowohl in primärer Form als auch als sekundärer Chlorit vertreten. Vermikulit ist ebenfalls in Spuren nachweisbar. (cf: **Abbildung 4-17**).

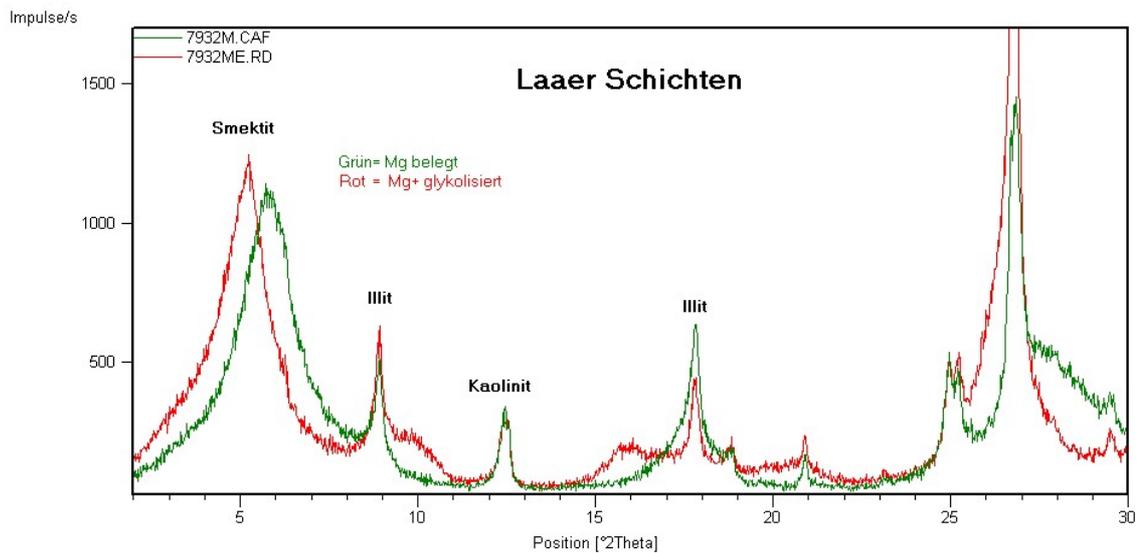


Abbildung 4-18:

Diffraktogramm der Tonfraktion < 2 μm einer Probe aus dem Bereich 190

2. Bereich ab 150 cm: Laaer Schichten

Die tonmineralogische Zusammensetzung der **Laaer Schichten** unterscheidet sich grundsätzlich von den quartären Schichten. In diesen Proben ist Smektit das weitaus dominierende Mineral. Sein Anteil beträgt bis zu 77 Masse %. Weiters kommt Illit zwischen 15 und 31 Masse % vor; Kaolinit mit 8 - 15 Masse % weist in den Laaer Schichten deutlich geringere Anteile als in der Überlagerung auf. Chlorit konnte nur in Spuren nachgewiesen werden. Vermikulit konnte nicht nachgewiesen werden (cf: **Abbildung 4-18**).

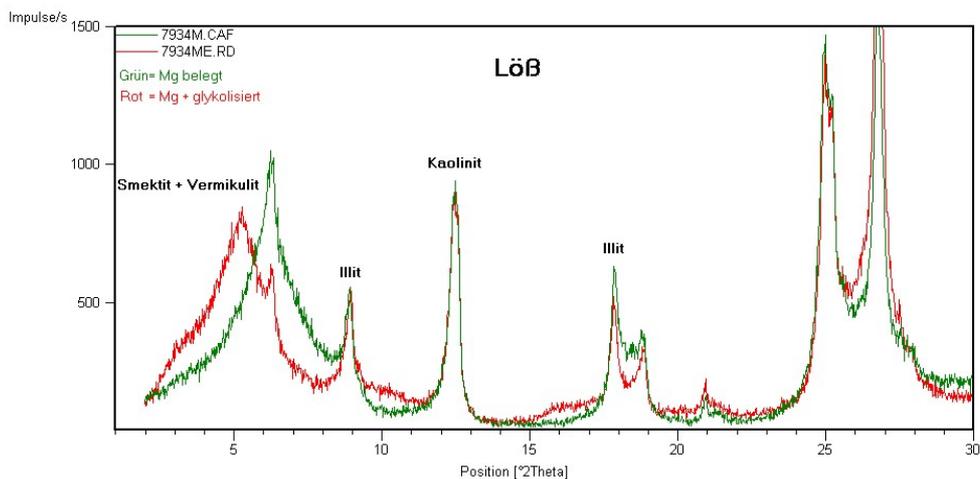


Abbildung 4-19:

Diffraktogramm der Tonfraktion $< 2\mu\text{m}$ einer Probe aus dem Löss

Der Löss aus dem Weinkeller weist mit 55 Masse % auch einen sehr hohen Smektitanteil in der Tonfraktion auf. Weiters sind Illit und Kaolinit in für Löss typischen Mengen von 16 bzw. 29 Masse % vertreten. Die Tonminerale Chlorit und Vermikulit treten auch im Löss nur in Spuren auf (cf. **Abbildung 4-19**).

4.3 Geotechnik

4.3.1 Wassergehalte

Die Wassergehaltsbestimmung wurde an den Proben der zwei Schürfe 1, 2 und an dem Löss aus dem Weinkeller vorgenommen. Zur Vermeidung von Wasserverlusten zwischen Gelände und Labor wurden die entnommenen Proben sofort luftdicht verpackt und noch am selben Tag im Labor zur Wassergehaltsbestimmung weiterverarbeitet. Die Ergebnisse sind in der **Tabelle T-06** zusammengefasst.

Die Wassergehalte in den **quartären Schichten** sind natürlich Korngrößenabhängig und weisen in den Kies- und Sandlinsen die geringsten Werte um 7 Masse % auf. Deutlich höher liegen die Wassergehalte in feinkörnigeren Bereichen des **Quartärs** und bewegen sich in einem Bereich von 16,2 bis 18,3 Masse %. Die höchsten Werte wurden erwartungsgemäß in den **Laaer Schichten** ermittelt, wobei der höchste Wassergehalt bei 29,2 Masse % liegt. Im Löss beträgt der Wassergehalt 22 Masse %.

4.3.2 Konsistenzgrenzen

Die Kenntnis der Konsistenzgrenzen und Konsistenzzahl ist für die Beurteilung von Massenbewegungen von eminenter Bedeutung. Diese Werte wurden an ausgewählten Proben ermittelt. Die Ergebnisse sind in der **Tabelle T-07** ersichtlich. Wie aufgrund der vorhergehenden Untersuchungen zu erwarten ist, sind die Ergebnisse eine Folge der mineralogischen Zusammensetzung und der Korngrößenverteilung.

Die feinkörnigen Sedimente aus dem **Quartär** sowie der Löss weisen relativ geringe Werte für Fließ- und Ausrollgrenze sowie Plastizität auf. Deutlich höhere Werte für die Fließgrenze (w_l) konnten in den Proben der **Laaer Schichten** gemessen werden. Der Maximalwert lag bei 71,1 %. Die Plastizitätszahl (I_p) erreicht Werte bis 43,8 %.

Die Konsistenzzahlen (I_c) der untersuchten Proben weisen eine relativ geringe Streuung auf und liegen zwischen 0,71/weich und 1,1/halbfest. Das deklariert die Tone der **Laaer Schichten** als ausgeprägt plastische Tone, während Löss und die übrigen **quartären Sedimente** als leicht plastische Tone zu bezeichnen sind.

Tabelle 06: Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmungen, Angaben in Masse %

Bezeichnung	IAG Lab.Nr.	Wassergehalt
Schurf 1		
0 – 30 cm	7924	16,2
30 – 70 cm	7925	17,5
70 – 90 cm	7926	18,3
90 – 150 cm	7927	6,7
170 cm	7928	21,1
420 cm	7929	22,2
Schurf 2		
100 cm	7930	7,6
140 cm	7931	17,1
190 cm	7932	29,2
300 cm	7933	28,2
Weinkeller		
Löss	7934	22

Tabelle 07: Ergebnisse der Bestimmung der Konsistenzgrenzen und Konsistenzzahl

Pernersdorf Konsistenzgrenzen							
Zustandsgrenzen bindiger Böden (ÖNORM B 4411)							
ProbenNr.	Bodentiefe in cm	natürlicher Wassergehalt w in %	Fließgrenze w_L in %	Ausrollgrenze w_P in %	Plastizitätszahl I_P IP	Konsistenzzahl I_c	Auswertung nach Kennzahlen
Schurf 1							
7925	30 - 70 cm	17.5	31.9	18.1	15.8	1/steif	leicht plastische Tone
7928	170 cm	21.1	69.9	25.4	44.5	1,1/halbfest	ausgeprägt plastische Tone
7929	420 cm	22.2	69.4	27.0	42.9	1,1/halbfest	ausgeprägt plastische Tone
Schurf 2							
7932	190 cm	29.2	70.2	26.5	43.7	0,9/steif	ausgeprägt plastische Tone
7933	300 cm	28.2	71.1	27.3	43.8	0,98/steif	ausgeprägt plastische Tone
Weinkeller							
7934	Löss	22.0	34.3	17.1	17.1	0,71/weich	leicht plastische bis mittelplastische Tone

4.3.3 Scherversuche

Aus dem Schurf 2 wurde aus dem Bereich um 3 Meter eine Großprobe entnommen, an der auch Scherversuche durchgeführt wurden. Die Scherparameter dieses Tones aus den **Laaer Schichten** wurden methodisch auf zwei unterschiedliche Arten ermittelt. Es wurden einerseits ein Kreisringscherversuch und andererseits ein Rahmenscherversuch mit mehrmaligem Abscheren durchgeführt.

Der Scherwinkel Φ wurde durch beide Methoden mit 17° bestimmt. Der Restscherwinkel Φ_r zeigt leicht unterschiedliche Ergebnisse. Beim Kreisringversuch wurde ein Wert von 9° ermittelt, während beim Rahmenscherversuch mit mehrmaligem Abscheren ein Wert von $8,4^\circ$ gemessen wurde. Insbesondere der extrem niedrige Wert für die Restscherfestigkeit verweist auf ein hohes Potential für Gleitungen, Rutschungen und Setzungserscheinungen.

4.3.4 Nutsondierung und Rammsondierung

Von der Oö. Baustoffprüfstelle GmbH wurden im Bereich der Schürfe auch zwei Nutsondierungen und drei Rammsondierungen durchgeführt. Zwei Rammsondierungen erreichten eine Tiefe von 10 Metern, die Rammsondierung 1 erreichte ca. 15 Meter Endtiefe. Die Anzahl der Schläge je 10 cm Eindringung liegt meist bei 10 Schlägen. Bei der Rammsondierung 1 treten im Bereich bis 6 Meter deutlich weniger Schläge je 10 cm Eindringung auf. Die allgemein niedrige Schlaganzahl lässt auf geringe Eindringwiderstände schließen, die ebenfalls auf das Vorhandensein von sehr feinkörnigen Sedimenten hinweisen.

Die detaillierten Ergebnisse der Nut- und Rammsondierung sind in **Abbildung 4-20** (Prüfbericht Untergrunderkundung – Sondierungen der Oö. der Baustoffprüfstelle GmbH) ersichtlich.

Die Beilage zeigt den Prüfbericht der OÖ Boden- und Bauprüfstelle.

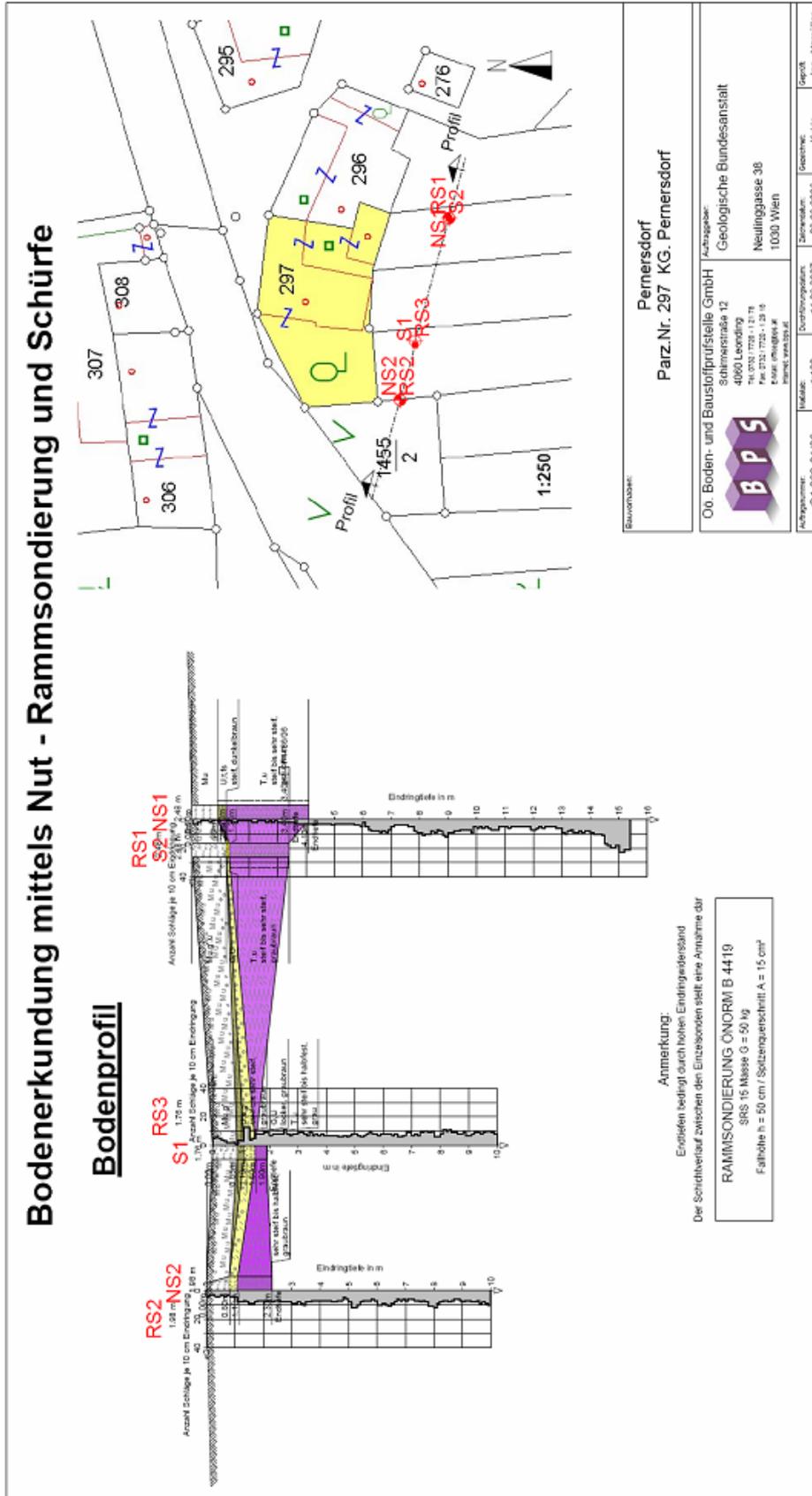


Abbildung 4-20: Bodenerkundung durchgeführt von der OÖ Bodenprüfstelle im Bereich des schadhaften Objektes

4.4 Zusammenfassung Geologie, Tonmineralogie und Geotechnik

Aufgrund der vorliegenden Analysen können die Proben des Untersuchungsgebietes gemäß der stratigraphischen Abfolge zusammengefasst und diskutiert werden.

Im Bereich der durchgeführten Untersuchungen sind die oberen 1,5 Meter mineralogisch und granulometrisch relativ uneinheitlich zusammengesetzt. Dies kann durch Umlagerungs- und Ablagerungsereignisse während des **Quartärs** verursacht worden sein. Löss ist in diesem Bereich ebenfalls beteiligt.

Die darunterliegenden sehr feinkörnigen **Laaer Schichten** weisen sehr hohe Anteile an Silt und Ton - bis zu 98 Masse % - auf. In der Tonfraktion können bis zu 77 Masse % Smektit auftreten. Diese hohen Smektitanteile können zu starken Quellerscheinungen führen und die Untergrundfestigkeit stark herabsetzen. Die Rammsondierungen weisen bis zu einer Endtiefe von über 15 Meter geringe Eindringwiderstände auf, wodurch die **Laaer Schichten** bis in diese Tiefe sicher nachgewiesen werden können.

Die durchgeführten Scherversuche zur Ermittlung der Scherfestigkeit erbrachten, mit unterschiedlichen Methoden ausgeführt, einen Scherwinkel Φ von nur 17° und einen extrem niedrigen Restscherwinkel Φ_r von etwa $8,4^\circ$. Dieser geringe Reibungswiderstand ist durch die hohen Anteile des Tonminerals Smektit erklärbar.

Die gemessenen Werte der Atterberg'schen Zustandsgrenzen zeigen ebenfalls sehr hohe Bereiche an und weisen Fließgrenzen bis 71,1 Masse % auf. Die hohen Werte für die Plastizität - bis 43,8 Masse % - lassen ebenfalls auf ein hohes Potential an Beweglichkeit und Rutschanfälligkeit schließen.

Um in Zukunft Bauschäden so gering als möglich zu halten, muss peinlichst darauf geachtet werden, jede Wasserzufuhr in den Untergrund zu unterbinden. Dadurch können Quellvorgänge mit starken Entfestigungen der **Laaer Schichten** weitgehend verhindert werden.

Im vorliegenden Fall wurde durch eine unsachgemäß ausgeführte Oberflächendränage die Wasserzufuhr nicht verhindert, sondern sogar begünstigt. Durch bauliche Maßnahmen soll für eine gründliche Wasserabfuhr gesorgt werden, um die Wasserdotierung in den Untergrund zu beenden.

5 Resumée

Das Resumée muss unter zwei Blickwinkeln gezogen werden, zum Einem in Hinblick auf die Bewertung der Untergrundverhältnisse bzw. der Schadensursache, und zum Anderen, als einen Beitrag zur Methodenoptimierung zur Untersuchung von Rutschhängen und Massenbewegungen.

Bezüglich der Bewertung der Untergrundverhältnisse muss festgestellt werden: Aus der Kombination von mineralogischen, geotechnischen und geophysikalischen Methoden konnte gezeigt werden, dass sehr quellfähige Tonminerale (Smektit) in großen Mengen in den unmittelbar anstehenden **Laaer Schichten** vorhanden sind. Durch die geophysikalischen Messungen konnte eine sehr weite Verbreitung dieser **Laaer Schichten** - die geoelektrisch durch ausgesprochen niederohmige Werte charakterisiert sind - nachgewiesen werden.

Die wichtigste Maßnahme zur Verhinderung von Bauschäden ist bei derart feinkörnigen und rutschanfälligen Sedimenten eine ordnungsgemäße Wasserabführung an der Oberfläche, um ein Quellen der Tonminerale durch eindringende Wässer zu verhindern. Bei unsachgemäßer Wasserableitung kann es dagegen zu einer starken Veränderung der Stabilitätsverhältnisse im Hang durch Wasseraufnahme und Quellung der Smektite kommen. Im vorliegenden Fall wurden in der Vergangenheit im Zuge von Maßnahmen zur Hangwasserableitung offene Wassergräben angelegt, die jedoch nur im alleruntersten Hangbereich undurchlässig ausgeführt wurden. Dadurch kann es im obersten Bereich des Hanges infolge des offenen Grabens zu einer verstärkten Wasserzufuhr in den Rutschhang kommen, wodurch Gleitbewegungen aktiviert werden können.

Bezüglich der Methodenoptimierung im gegensächlichen Projekt gilt:

Die Kombination einer tonmineralogischen Ansprache mit einer geophysikalischen Kampagne stellt den richtigen Lösungsansatz dar. Eine detaillierte und umfassende Materialansprache ist für die Klärung der vorliegenden komplexen geologischen Situation notwendig. Die Ausführung von sehr kostengünstigen Schürfen anstatt von kostenintensiven Bohrungen war in diesem Projekt zielführend. In einem solchen Verfahren bildet die Geophysik eine Brücke zwischen den punktförmigen Detailaufnahmen und den notwendigen flächigen Interpretationen. Die Auswahl der Geoelektrik erfolgte in diesem Beispiel unter methodischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Für problematische Bauuntergründe und Massenbewegungen, deren Ursache in quellfähigen Tonen zu suchen ist, wird eine Kombination von tonmineralogischen und geophysikalischen Untersuchungen strengstens empfohlen.

6 Literatur

- ADVANCED GEOSCIENCES, INC, 2006: Earthimager 2D
- BRINDLEY, G.W. & BROWN, G., 1980: Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification. - Mineralogical Society, 495, London.
- EGGER, H., KRENMAYR, H.G., MANDL, G.W., MATURA, A., NOWOTNY, A., PASCHER, G., PESTAL, G., PISTOTNIK, J., ROCKENSCHAUB, M., SCHNABEL, W., 1999: Geologische Übersichtskarte der Republik Österreich 1: 2.000.000. GBA, Wien
- KOHLBECK, F., 2006: Bericht über Radarmessungen an zwei Gebäuden in Pernersdorf und Reinprechtspölla, sowie an einem Rutschhang nördlich von Schwertberg – Geophysikalisches Gutachten, Technische Universität Wien, 4 Seiten, Wien;
- LOKE, M.H 2004: Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys
- MACKENZIE, R. C., 1964. The thermal investigation of soil clays. In: Rich, C. I. & Kunze, G. W. (eds.). Soil clay mineralogy – A symposium. The University of North Carolina Press, Raleigh, North Carolina, 200 – 244;
- MOORE, D.M. & REYNOLDS, R. C., JR., 1997: X – Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. - Oxford Univ. Press, 378, New York
- OBERÖSTERREICHISCHE BODEN- UND BAUSTOFFPRÜFFSTELLE GMBH, 2006: Prüfbericht Untergrunderkundung – Sondierungen Pernersdorf
- ÖNORM B 4402: Erd- und Grundbau – geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke, [Ausgabe vom] 01.12.2003;
- ÖNORM B 4405: Baugrunderkundung mit Kleingeräten, Sondierbohrgeräte mit genuteter Sondiernadel
- ÖNORM B 4410: Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung [Ausgabe vom] April 1960
- ÖNORM B 4411: Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze [Ausgabe vom] 01.12.1974
- ÖNORM B 4416: Erd- und Grundbau – Untersuchung von Bodenproben – Grundsätze für die Durchführung und Auswertung von Scherversuchen [Ausgabe vom] 01.06.1978
- ÖNORM B 4419: Untergrunderkundung durch Sondierungen - Rammsondierungen
- ÖNORM L 1084: Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von Carbonat [Ausgabe vom] 1. Jänner 1989

SCHNABEL, W., FUCHS, G., MATURA, A., ROETZEL, R., SCHARBERT, S., KRENMAYR, H.G., EGGER, H., BRYDA, G., MANDL, G.W., NOWOTNY, A., WESSELY, G., 2002: Geologische Karte von Niederösterreich 1: 200000 Nord und Süd. GBA, Wien

WILSON, M.J., 1987: A handbook of determinative methods in clay mineralogy. – Verlag Blackie, 308, Glasgow and London

Beilage