

**Ingenieurgeologische & geophysikalische Kartierung
einer Instabilitätszone an der II Wiener Hochquellenleitung**

Mag. Alexander RÖMER*, Mag. Gerhard BIEBER*, Dr. Norbert HEIM*

Geologische Bundesanstalt/FA Geophysik, Rasumofskygasse 23, Postfach 127, A 1031

Im Rahmen eines Bund – Bundesländerkooperationsprojektes (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur / Magistrat der Stadt Wien –MA29, Brückenbau und Grundbau & MA31, Wasserwerke) wurde in den Jahren 2000 bis 2003 seitens der Geologischen Bundesanstalt (TRF / WA0) das Projekt mit dem Langtitel

„Ingenieurgeologisch-geotechnische Aufnahme an ausgewählten Abschnitten der II. Wiener Hochquellenleitung (HQL) zur Lokalisierung, Abgrenzung und Beobachtung von Instabilitätszonen und Hangbewegungen in der Flysch-/ Molassezone unter Zuhilfenahme geophysikalischer, respektive geoelektrischer Untersuchungsmethoden (geoelektrische Detailkartierung)“, durchgeführt.

Ab dem Eintritt der II. HQL in den Bereich der Flysch/Molassezone (Scheibbser Halbfenster) verläuft die Trasse sowohl als Hangleitungskanal als auch in Stollen in allgemein als \pm stark rutschungsanfälligen Gesteinen entlang von nordexponierten Hängen. Dieser Abschnitt ist schon seit langem durch zahlreiche Massenbewegungen verschiedener Charakteristik gekennzeichnet, welche das Bauwerk der II. HQL auf weite Strecken in verschiedenem Ausmaß gefährden. Grundsätzlich herrschen sowohl in der Molasse als auch im

Flysch (Altlenzbacher-Schichten, Eozän-Flysch) Tonmergel sowie \pm stark aufgelockerte und verwitterte Sandsteine bis hin zu Mürbsandsteinen vor. Diese Gesteinstypen sind stark wasserempfindlich und reagieren je nach Typus plastisch bis tixotrop, woraus sich die Anfälligkeit für Kriech- und Rutschbewegungen erklärt. Abb. 1A zeigt die Inklinometermessung mit einem ausgeprägten Rutschereignis 1994 im Untersuchungsgebiet. Abb. 1B zeigt das Untersuchungsgebiet von Blickrichtung Süden.

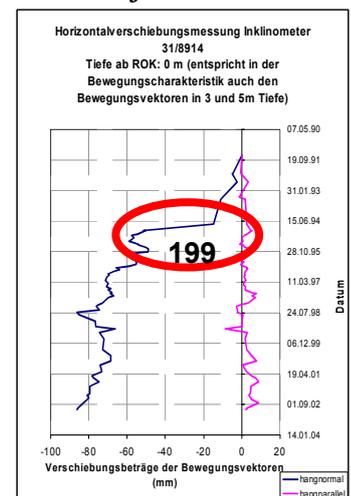


Abb. 1A: Verformungslinie Inklinometer 31/8914 (1A)

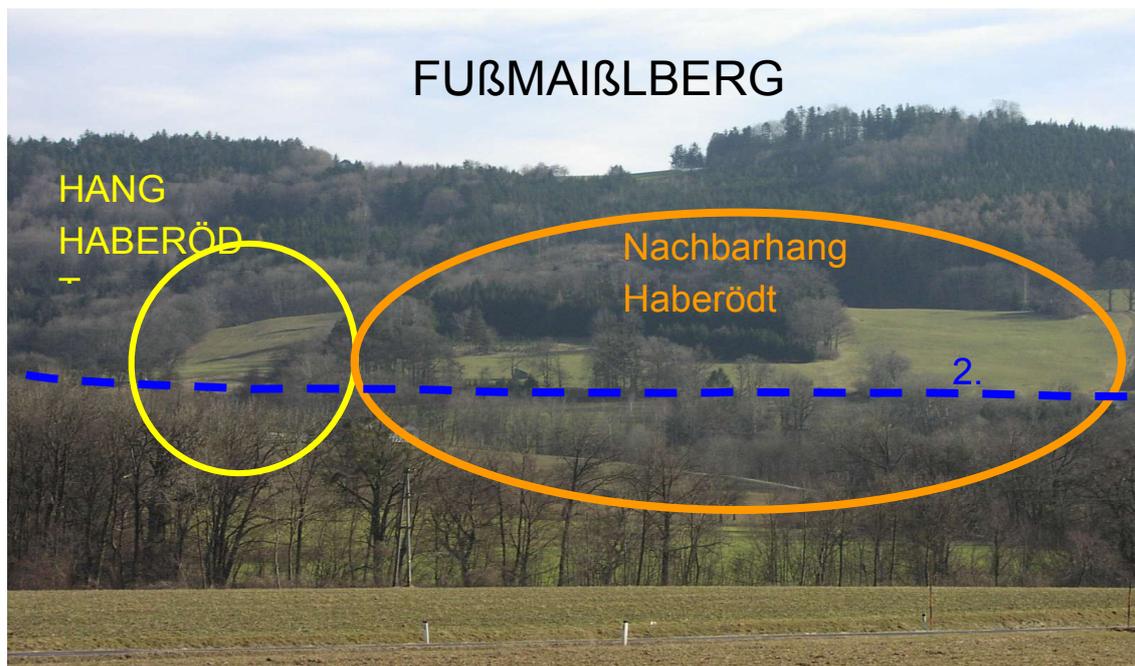


Abb. 1B: Blick Richtung Süden zum Untersuchungsgebiet Hang Haberödt und Referenzhang

Als methodischer Ansatz wurde eine Kombination von:

A) Ingenieurgeologie

Sichtung, Zusammenführung und Interpretation bestehender Daten
 Neu- bzw. Detailkartierung (ingenieurgeologisch, geomorphologisch) und Ermittlung von geotechnischen, bodenmechanischen Parametern
 Herstellung künstlicher Aufschlüsse (Bohrungen, Röschen) und Ermittlung von geotechnischen, bodenmechanischen Parametern

B) Hydrogeologie

Ermittlung von hydrogeologisch / hydrologisch relevanten Parameter für die Ermittlung des Hangwasserhaushaltes

B) Geophysik

Elektromagnetische Kartierung zur flächenmäßigen Erfassung der Rutschkörper bzw. zur lateralen Kartierung der Widerstandsverteilung
 Zwei- und dreidimensionale Gleichstromverfahren zur Erfassung der Widerstandsverteilung im Untergrund. Seismik, Bohrlochgeophysik mit Einbeziehung von früheren Untersuchungen gewählt (z.B. Nowy, 1995).

Aufbauend auf die umfangreichen, vielversprechenden Einzelergebnisse des komplexen, interdisziplinären methodischen Ansatzes lag das vorrangige Ziel in der Entwicklung eines Verfahrens für die Erstellung eines massenbewegungsrelevanten geohydrologisch-geologisch-geomechanischen Modells, welches im Besonderen in den geologischen Rahmenbedingungen von Flysch-/Molassegesteinen anwendbar sein soll. Als Untersuchungsgebiet wurde ein Abschnitt der 2. Wr. Hochquellwasserleitung (HQL) im Bereich Oberndorf, im speziellen der Hang Haberödt (Leitungskilometer 72.3 – 72.7) gewählt (Abb. 2).



Abb. 2: Lage des Messgebietes

Betrachtet man die Einzelergebnisse des interdisziplinären Methoden-ansatzes, so sind diese in sich nachvollziehbar und reproduzierbar, und korrelieren, mit arbeitstechnisch bedingter Unschärfe, für massen-bewegungsrelevante Fragestellungen miteinander.

Die durch unterschiedliche geophysikalische Messserien lateral und vertikal ausgeschiedenen Homogenbereiche zeigen einerseits eine deutliche Wechselwirkung mit geologischen Gegebenheiten (Lithologie, Mineralogie, Kornfraktion, etc.), andererseits ist auch eine Übereinstimmung mit geotechnisch-geomechanischen Parametern gegeben. Bestätigt wird dieses Bild durch hydrogeologische Aufnahmen (Drainagenabflussmessungen, Abstichmessungen, hydrochemische Untersuchungen).

Vom Kamm Fußmaißberg bis in die Talniederung der Melk reichende Multieltrodengeoelektrikprofile zeigen, dass deutlich zwei geophysikalisch unterscheidbare Großeinheiten am Oberhang von Haberöd (hangaufwärts der Hochquellwasserleitung) aneinander stoßen (Abb. 3).

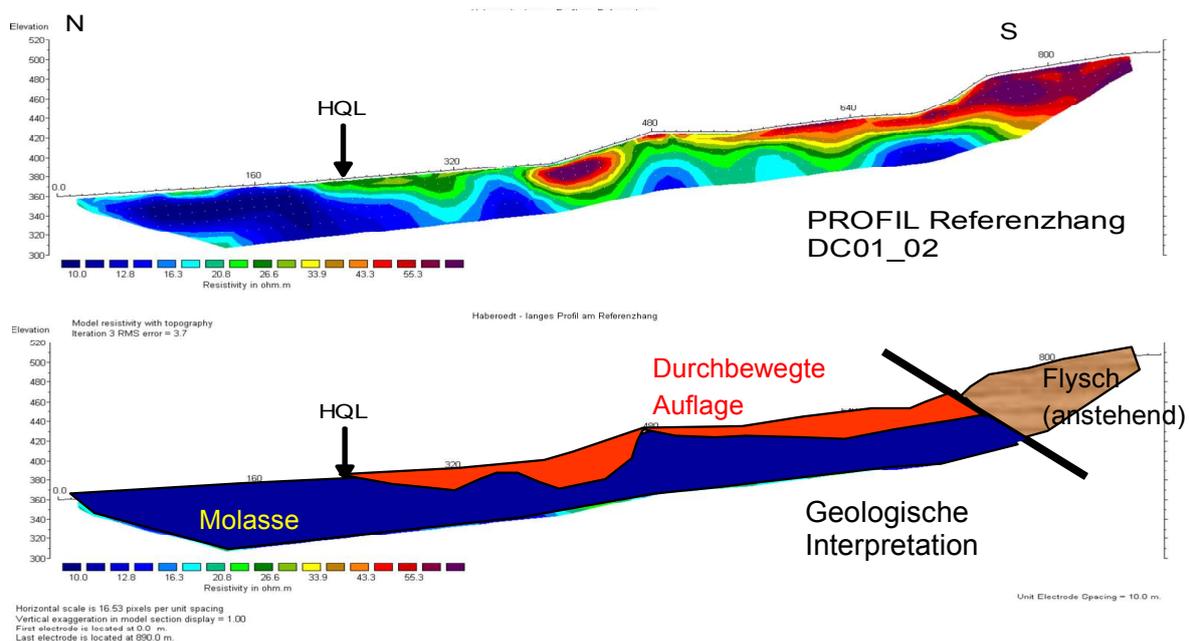


Abb. 3: Geoelektrisches Profil Hang Haberöd, Verteilung der elektrischen Widerstände (oben), geologische Interpretation (unten)

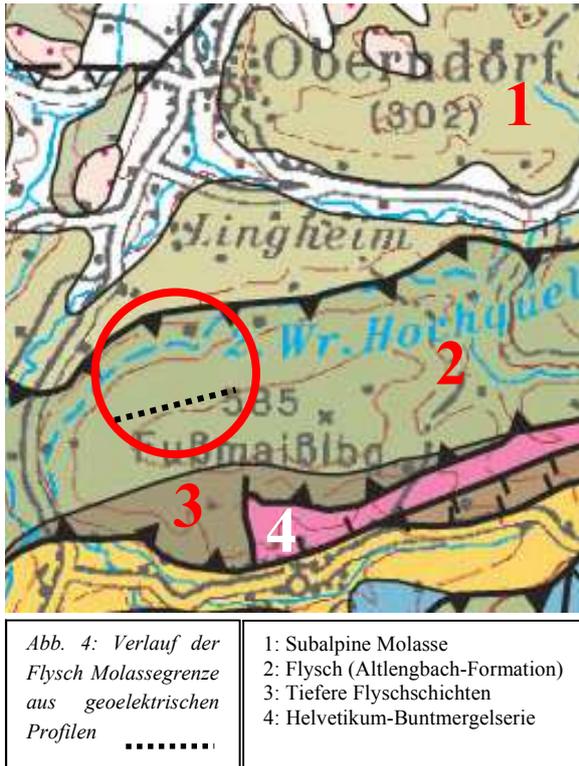
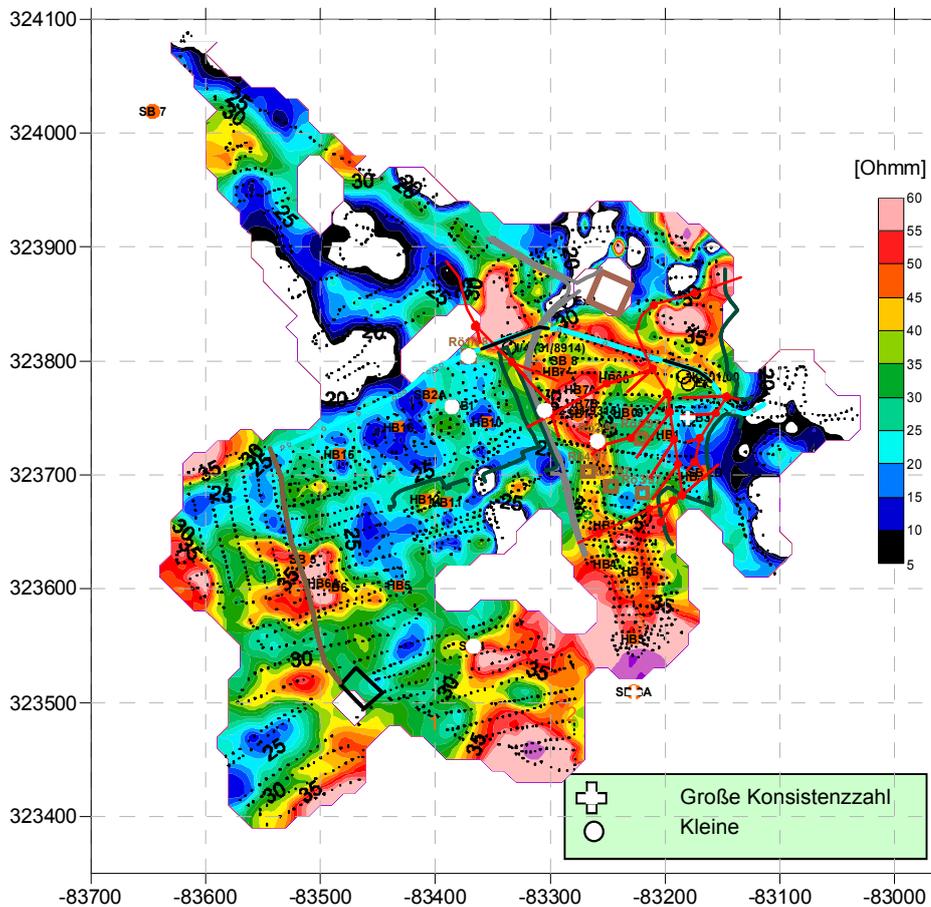


Abb. 4 zeigt die Grenze der Flysch/Molassezone wie sie aus den geoelektrischen Profilen abgeleitet werden kann. Die flächenhafte Verteilung des elektrischen Widerstandes (Abb. 5) zeigt eine sehr heterogene Verteilung von hoch bzw. niedrigohmigen Anomalien. Diese konnten mittels verschiedener geologischer Untersuchungsmethoden einerseits als flysch-, andererseits als molassebetonte Sedimente identifiziert werden.

Aus Bohrungen wurden insgesamt 28 Proben aus dem Untersuchungsgebiet und 3 Referenzproben aus anstehenden Flysch bzw. Molassebereichen mittels Röntgenfluoreszenzanalyse untersucht. Um eine Unterscheidungsmöglichkeit hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung zu kalibrieren, wurden definierte Referenzproben

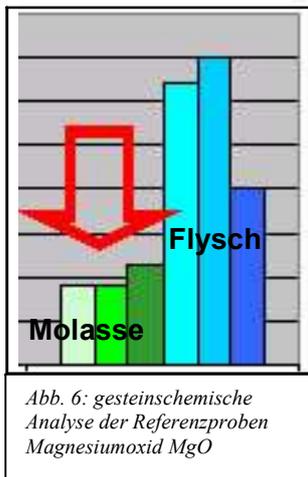
aus anstehendem Flysch bzw. anstehender Molasse genommen.



Bei den Ergebnissen der Hauptelemente zeigen v.a. die Elemente Calcium (in Form von CaO - Calciumoxid) und Magnesium (Mg) in Form von Magnesiumoxid (MgO) eine eindeutige Differenzierung in Flysch und Molasse. Während das Element Calcium im Flysch und hier im besonderen in den Sandsteinfolgen deutlich höhere Werte als in der Molasse aufweist, verhält sich die Verteilung bei

Abb. 5: Widerstandsverteilung aus EM Messungen mit einer Aussagetiefe (integral bis ca. 5-7m)
 Rot: höhere elektr. Widerstände korrelieren mit flyschbetonten, d.h. sandigen Lage
 Grün bis blau: niedrige elektr. Widerstände korrelieren mit molassebetonten, d.h. eher schluffigen, feinkornreichen Anteilen

Magnesium genau umgekehrt. Dieser Trend wurde auch durch in der Literatur gefundene Analysen bestätigt (siehe Abb. 6). Vor allem beim Element Magnesium (in Form von MgO - Magnesiumoxid) ist ein sehr ausgeprägtes Minimum am Oberhang Haberöd ausgebildet. (Abb. 7). Deutlich sind auch Maxima im Süden (-83400/323550) und in der Nähe der 2. HQL, am Nachbarhang zu erkennen. Auffallend ist auch der von dem südlich gelegenen Minimum ausgehende Bereich geringer MgO Konzentrationen, der den Hang Haberöd überstreicht.



Konzentration in Gew % aus Literatur :	CaO	MgO
Flysch	1-19	1-2
Molasse	15	4

Relevante Proben wurden auch hinsichtlich ihrer Kornfraktion und ihrer Gesamt- und

tonmineralogischen Zusammensetzung untersucht. Auch hier zeigt sich ein dem bereits diskutierten Verteilungsmuster folgendes Bild der Anomaliebereiche. Während die sandsteindominierten Abschnitte von erhöhten Quarzanteilen gekennzeichnet sind, liegt bei der Verteilung der Schichtsilikate ein gegenteiliger Trend vor. Hier zeigen sich die Maximalwerte in den molassedominierten Bereichen.

Um die Grundwassersituation in Beziehung zum Niederschlag und zur Massenbewegung zu charakterisieren, wurden an Drainagen (52 Messstellen) und Pegeln (8 Messstellen) Reihenuntersuchungen durchgeführt. Die monatlich ermittelten Feldparameter (Q, LF, Temp., pH) wurden in Form von Ganglinien in Bezug zum Niederschlag dargestellt. Dadurch werden komplexe hydrogeologische Vorgänge, denen infolge der Triggerfunktion für Massenbewegungen eine kausale Bedeutung zukommt, erkenn- und interpretierbar.

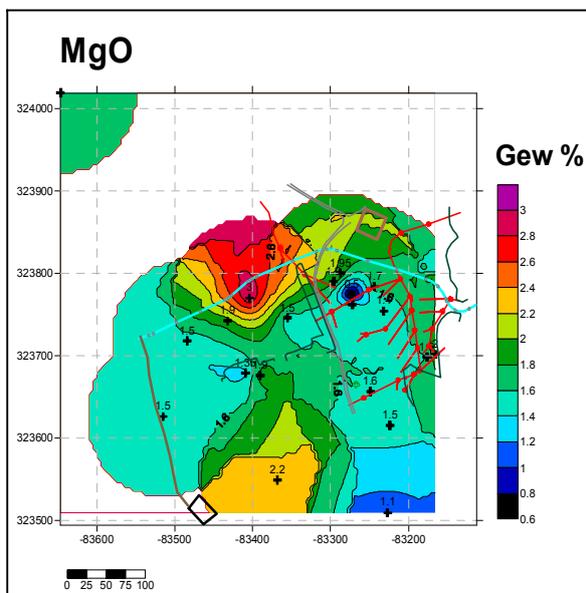


Abb. 7: Verteilung des Hauptelements Magnesium (MgO)

Durch die Zuordnung der Abflussmessungen der einzelnen Drainagenstränge zum Mittelpunkt des jeweiligen Drainagenstranges wurde als Ergebnis eine flächenhafte Darstellung der Abflussregimes in Abhängigkeit zum Niederschlag gegeben. Abb. 8 zeigt die flächenhafte Darstellung des Abflussverhaltens zu einem bestimmten Zeitpunkt (Sept. 2001). Blaue Flächen entsprechen einem hohen Drainagenabfluss, braune hingegen einem niedrigen. Betrachtet man die monatlich erhobenen Abflussdaten, so ist ersichtlich, dass ein erhöhtes Abflussverhalten vor allem in den Herbst-

und Frühjahrsmonaten vorliegt. Verglichen mit den Niederschlagsdaten zeigt sich, dass Starkregenereignisse in den Sommermonaten eine nur geringfügige Erhöhung des Drainagenabflusses bewirken, außer es kommt bei bereits hohem Monatsniederschlag ein extremes Starkregenereignis dazu. Das konnte auch in der Beziehung von Hangbewegung und Niederschlag beobachtet werden. Nämlich, dass trotz großer Gesamtjahresniederschlags-

summe keine entsprechende Reaktion der Hangverformungs-messstellen eintritt, sondern dass Hangbewegungen dann auftreten, wenn große Gesamtjahresniederschlagssumme mit maximalen monatlichen Niederschlagsspitzen zusammentreffen. Im Winterhalbjahr hingegen reagieren die Drainagen bereits bei geringsten Niederschlagsmengen. Die detaillierte Auswertung der hydrogeologischen Reihenuntersuchungen an den einzelnen Drainagesträngen zeigt, dass lateral unterschiedliche Abflussverhältnisse vorliegen. So ist in Bereichen mit einem höheren Anteil der Sandfraktion eine bessere Wasserwegigkeit gegeben, die speziell in den Wintermonaten und bei Starkregenereignissen zu einer optimalen Drainageleistung führt. Diese Bereiche erhöhten Drainageabflusses, bzw. geringen Drainageabflusses korrelieren auch sehr gut mit den geophysikalischen Ergebnissen, wobei hochohmige Bereiche mit erhöhten Drainagenabfluss, niederohmige Bereiche mit geringem Schüttungsverhalten korrelieren, da Bereiche mit einer höheren Widerstandsverteilung auch eine höhere Sandkornfraktion aufweisen und durch eine bessere Wasserwegigkeit gekennzeichnet sind. Hingegen liegen niederohmige Widerstandsbereiche in Gebieten feinstklastischer Kornfraktionen (Ton, Schluff), zwar in gesättigten Bereichen, wobei aber auf Grund des hohen feinklastischen Anteils ein Ableiten des Hangwassers nicht möglich ist.

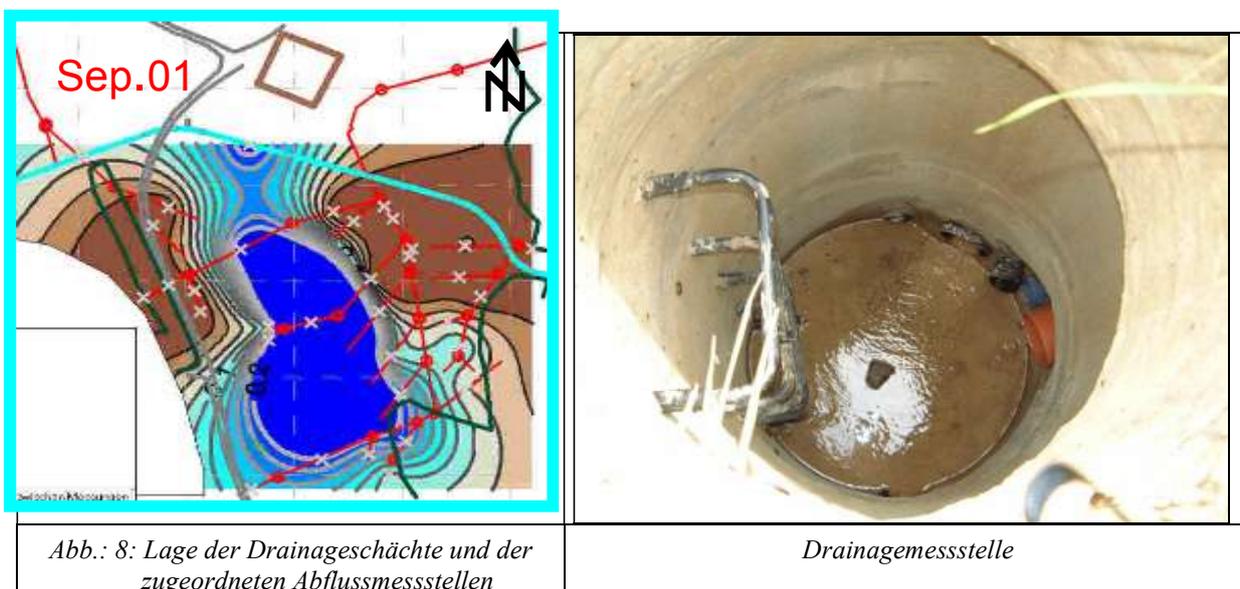


Abb.: 8: Lage der Drainageschächte und der zugeordneten Abflussmessstellen

Drainagemessstelle

Der Status quo der Mineralisierung des Grundwassers wurde durch eine hydrochemische Gesamtbeprobung aller beprobbaren Messstellen erhoben. Auf Grund der lateral sowie vertikal unterschiedlich positionierten Messstellen (Drainagen, Sonden) werden vermutlich unterschiedliche Sedimente durchflossen. Durch eine detaillierte hydrochemische Auswertung waren zusätzliche Hinweise hinsichtlich der geologischen Verhältnisse zu erwarten.

Deutlich zu sehen ist die unterschiedliche hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers bestimmter Probenahmestellen. Es handelt sich dabei aber nicht um eine laterale Inhomogenität, sondern vielmehr tritt die höhere Natrium- und Chloridkonzentration in den tiefer situierten Pegeln und Grundwassersonden, im Vergleich zu den oberflächennahen Drainagesträngen, auf (Abb. 9), d.h. dass sich die hydrochemische Zusammensetzung des Wassers in den tiefer situierten Pegeln und Grundwassersonden von den oberflächennahen Probenahmepunkten unterscheidet.

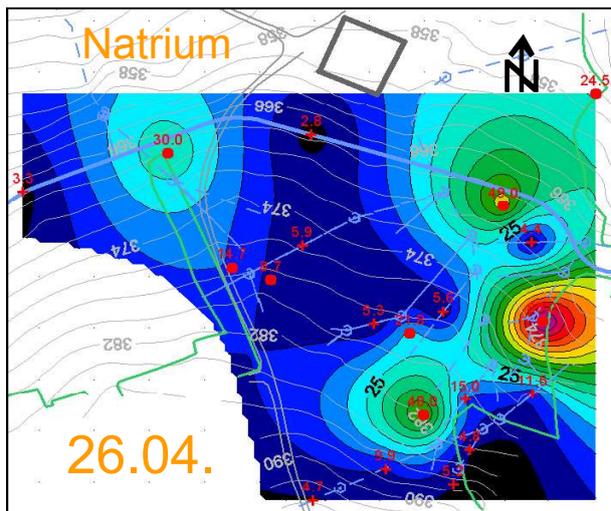


Abb.: 9: Calciumkonzentration am 26.04.2001 in den Pegeln, Sohl drainagen und oberflächennahen Drainagessträngen

So zeigen tiefer situierte Sonden und Pegeln eine vom oberflächennahen Hangwassersystem unterschiedliche hydrochemische Zusammensetzung. Dies ist als Hinweis auf grundsätzlich andere geologische Rahmenbedingungen zurückzuführen. Größenordnungsmäßig deckt sich die Tiefe des Übergangs dieser unterscheidbaren hydrogeologischen

Grundwassersysteme mit den mittels geophysikalischen Methoden ermittelten, geologisch unterscheidbaren Körpern in einem variablen Tiefenbereich von etwa 5-15 m.

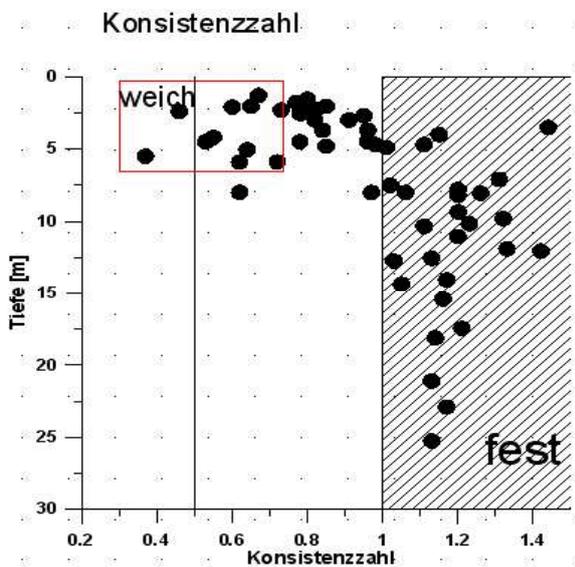


Abb. 10: Diagramm Konsistenzzahl zu Tiefe

Abb. 10 zeigt die Verteilung des Parameters Konsistenzzahl mit der Tiefe. Konsistenzzahlen größer 1 charakterisieren festes, Werte um 0.5 weiches Material. Man erkennt eine sehr große Streuung in den oberflächennahen Bereichen (bis ca. 8m), was wiederum sehr gut mit dem bereits erwähnten heterogenen Aufbau des Untersuchungsgebietes korreliert. Auffallend ist ferner, dass ab einer Tiefe von 10m ausschließlich Konsistenzzahlen > 1 zu beobachten sind. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass ab dieser Tiefe, wie auch die Wassergehalte zeigen, weitestgehend trockenes Material vorliegt, welches in seinem jetzigen Zustand als nicht rutschanfällig bezeichnet werden kann, jedoch aufgrund seiner zahlreichen Spiegelharnischflächen ein Indiz

für allfällige ältere, zur Ruhe gekommene Bewegungen darstellt.

Betrachtet man nun die Lageposition der Proben mit sehr geringer Konsistenzzahl im Bezug zur elektr. Widerstandsverteilung aus den elektromagnetischen Messungen (siehe Abb. 5.), so ist auffällig, dass die meisten Punkte am Übergangsbereich von hochohmigen zu niedrigohmigen Abschnitten liegen.

Zusammenfassung

Die nunmehr im Rahmen des Projektes erkundete und lokalisierte Massenbewegung stellt eine seichtgründige Folgeerscheinung dar, die hinsichtlich ihres Bewegungsmechanismus als intern eingebettet in die großräumigeren und tieferreichenderen älteren Bewegungsvorgänge zu sehen ist.

Anhand der umfangreichen Untersuchungen konnte ein zungenförmiger Bereich mit einem Tiefgang von etwa 5-8 m herausgearbeitet werden, der in seiner Zusammensetzung wesentlich grobkörniger als die umgebenden Bereiche aufgebaut ist. Dieser zungenförmige Körper, der großteils aus Verwitterungsmaterial des Flysches besteht, weist deutlich höhere Durchlässigkeitsbeiwerte, also Wasserwegigkeiten auf, als die umgebenden siltig tonigen Sedimente, die hauptsächlich der Molasse zuzuordnen sind.

Durch die erhöhten Wasserwegigkeiten kommt es am Kontaktbereich der beiden unterschiedlichen Sedimentkörper zu einer Erhöhung des Porenwasserdruckes, einer maßgeblichen Bewässerung der tonig siltigen unterlagernden Sedimente und damit zur Ausbildung einer Schmierfläche. Der Ausdruck Gleitfläche wird absichtlich vermieden, da er terminologisch für diesen speziellen Bewegungsmechanismus unrichtig ist.

Entlang dieser Schmierfläche kommt es zum Kriechen der überlagernden etwas grobkörnigeren Sedimente in Form eines Kriechkörpers, obwohl die entsprechenden internen Reibungswinkel grundsätzlich weniger rutschungsförderlich wären. Die unterlagernden dichteren Sedimente, die grundsätzlich geringere Reibungswinkel aufweisen, können dagegen aufgrund ihrer Durchlässigkeitsbeiwerte nicht entsprechend bewässert werden (dafür sprechen auch die detaillierten Messungen der Drainageäste sowie die geotechnischen Kennwerte, v.a. der Wassergehalt) und sind somit wesentlich weniger rutschungsanfällig.

Ausschlaggebend für Bewegungen ist also eine als wasserstauend anzusehende Diskontinuitätsfläche zwischen verschiedenen lithologischen Einheiten, v.a. in Hinblick auf ihre Korngrößenverteilung und Wasserwegigkeiten.

Bezogen auf die Auswertung sämtlicher Daten aus Inklinometer-,

Extensometer- und oberflächennahen GPS (geodätisch vermessen) Messungen im Verschnitt mit den geophysikalischen und geologischen Ergebnissen konnte ein engerer Bereich im Hang „Haberöd“ selbst als aktuelle Bewegungszone ausgewiesen werden. Dieser Bereich entspricht der weißpunktierten Umrandung in der Abbildung 11.

Als konkretes Ziel wird eine möglichst detaillierte Beschreibung der lateralen bzw. vertikalen Abgrenzung der Kriechmasse angestrebt, wobei insbesondere die Grundwasserverhältnisse einen sehr wichtigen Faktor darstellen. Diese dem Auftraggeber bzw. Bauingenieuren vermittelten Grundlagen können im weiteren zu etwaigen Sanierungsmaßnahmen führen, wobei das Ergebnis vor allem hinsichtlich einer

➤ **Optimierung von Entwässerungsmaßnahmen, v.a. Lage und Tiefe von Drainagen**

als sehr gut anzusehen ist.

Literatur

NOWY, W, 1995: II. Wiener Hochquellenleitung / Geologisch-geotechnische Überlegungen Abschnitt Haberöd - Bericht November 1995, datiert 19. Dezember 1995 - 1-7, Klosterneuburg

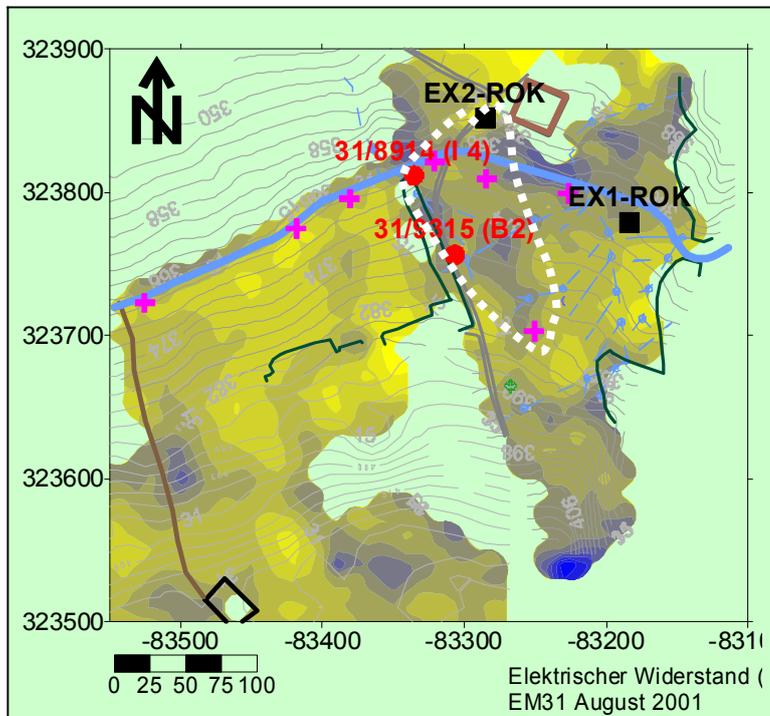


Abb. 11: Abgrenzung der Hangbewegung

- ✦ GPS Messpunkt
- Inklinometer
- Extensometer