

Interdisziplinäre Altlastenuntersuchung (das EU-Projekt NORISC)

Autoren: M. Perk[°], B. Tezkan[°], A. Hördt[^]

Email: perk@geo.uni-koeln.de

[°] Institut f. Geophysik & Meteorologie, Universität zu Köln

[^] Geologisches Institut, Fachrichtung Angewandte Geophysik, Universität Bonn

Zusammenfassung:

In dem Projekt NORISC (Network-Oriented Risk-assessment by In-Situ screening of Contaminated sites), das Teil des 5. Europäischen Rahmenprogramms für Energie, Umwelt and erhaltenswerte Entwicklung ist, wurde ein Werkzeug für Städteplaner, Ingenieurbüros, Umweltämter und Grundstückbesitzer entwickelt, um Altstandorte effektiver, kostengünstiger und schneller zu untersuchen, als bisherige Standarduntersuchungen.

In diesem Projekt wurden verschiedene Disziplinen (Geophysik, Hydro-Geologie, Geochemie und Biologie) vereinigt und innovative in-situ und on-site Techniken kombiniert. NORISC geht weg von einer starren Untersuchungsstrategie hin zu einer flexiblen Strategie, die auf mögliche eintretenden Umstände schnell reagieren kann, da alle Verantwortlichen der unterschiedlichen Fachrichtungen im Feld sind. So sind Untersuchungen und Bewertungen innerhalb von ein paar Wochen möglich. Insbesondere soll der Geophysik mit diesem Projekt ermöglicht werden, bei Altstandort-Untersuchungen stärker in Anspruch genommen zu werden.

Eine im Projekt entwickeltes Software-Matrix (DSS: Decision Support System) enthält Methoden und Einschränkungen der Untersuchungsmethoden. Mit Hilfe eines Algorithmus sollen nach Eingabe der entsprechenden Messparameter ein optimaler Mix aus den Methoden erzeugt werden, um so einen drastischen Zeit- und Kostenvorteil gegenüber Standarduntersuchungen zu gewinnen.

Weiterhin wurde eine Visualisierungs-Software entwickelt, die die im Feld gewonnenen Ergebnisse direkt und unkompliziert implementieren kann und so schnell einen visuellen Überblick aller Daten aus den Ergebnissen ermöglicht. So können z.B.

Widerstandsmessungen mit im Feld gewonnenen geologischen oder chemischen Ergebnissen verglichen werden, um so mögliche Korrelationen zwischen Geophysik und Geologie / Geochemie zu gewinnen.

Der Vorteil der Geophysik liegt der Möglichkeit, Flächen großräumig und flächenhaft, schnell und nicht-invasiv zu untersuchen. Dies ist besonders für mögliche Aussagen über Schadstoffausbreitungen und Aussagen über die generelle Untergrundbeschaffung von Wichtigkeit. Zusätzlich zu den reinen Strukturaussagen können lokalisierte Anomalien auf Schadstoffe hinweisen oder aber auch z.B. bei der Detektion eines nicht bekannter Objekte (z.B. einer Pipeline) mögliche Schäden am Bohrgerät verhindern. Dadurch soll die benötigte Anzahl von Bohrungen für geochemische Untersuchungen auf ein Minimum reduziert werden, was wiederum Zeit und Kosten einspart.

In dem folgenden Artikel soll das Projekt anhand einer Testfläche in Balassagyarmat / Ungarn erläutert werden.

Das NORISC Projekt will nicht innovative oder Standard-Technologien verifizieren sondern die interdisziplinäre Arbeit hervorheben. Auf diese Weise können Entscheidungen schnell und flexibel getroffen werden.

Einführung

Die Geophysik wird selten für Altlastuntersuchungen eingesetzt, da nach nationalen Gesetzen nur Bohrungen und Bodenproben von Relevanz für die Untersuchung und Begutachtung von Altlastflächen sind.

Da weiterhin die Geophysik aber keine Kontamination direkt quantifizieren kann, wird sie von den Investoren nicht eingesetzt. Zur Bewertung eines Geländes bedeuten zunächst zusätzliche Untersuchungen mit Geophysik erhöhte Kosten für die Auftraggeber, Städteplaner und Grundstückbesitzer. Dabei wird jedoch übersehen, dass die Geophysik die geochemischen Untersuchungen unterstützen kann, indem anomalen Bereichen lokalisiert werden, in denen möglicherweise Kontaminanten gefunden werden können. Im Gegensatz zu Standarduntersuchungen mit einem starren Beprobungsraster können auf diese Weise die Anzahl der Bohrungen und der Bodenproben auf ein Minimum reduziert werden.

Weiterhin können unbekannte Objekte im Untergrund existieren, welche von der Geophysik lokalisiert werden können. Diese Objekte könnten, wenn sie nicht bekannt sind, im Extremfall das Bohrgerät beschädigen, bzw. das Objekt selbst könnte beschädigt werden.

Die Intention von NORISC besteht darin, dass man schnellere und kostengünstigere Antworten für nachfolgende Sanierungen und das Recycling erhält.

Dabei ist die Idee von Wichtigkeit, dass alle relevanten Personen (d.h. Gutachter / Flächen-Manager, Führer der Untersuchungs-Teams) gleichzeitig im Feld sind, so dass gewonnene Ergebnisse schnell mit den verschiedenen Fachrichtungen diskutiert werden können und so eventuelle notwendige Änderungen im Arbeitsplan durchgeführt werden können.

Besonders im hier dargestellten Fall einer ungarischen Testfläche hat sich dieses Konzept hervorragend bewährt und konnte so eine Fehl-Untersuchung der Fläche verhindern.

Das Software-Modul DSS und die Visualisierungssoftware GSI3D

NORISC will die interdisziplinäre Arbeit auf Altlasten und Altlastverdachtsflächen erhöhen. Zu diesem Zweck wurde eine Software-Matrix namens DSS (Decision Support Software) entwickelt. Diese Software enthält alle für NORISC in Frage kommenden Methoden aus den Bereichen Biologie (Toxikologie), Geochemie, (Hydro-)Geologie und Geophysik. Dabei wurden Methoden ausgeschlossen, die nicht NORISC-tauglich sind und auf deren Ergebnisse man Wochen (z.B. chemische Labor-Messungen) warten muss.

Die Methoden wurden mit einem Ranking-System bzgl. der zu messenden Untersuchungsparameter versehen (s. Abb. 1). „A“ bedeutet, dass eine Methode den Parameter sehr gut messen kann; „D“ bedeutet, dass die Methode den Parameter nicht messen kann. Da es auch einschränkende Bedingungen für die unterschiedlichen Messmethoden gibt, wurde ebenfalls eine Ranking-Tabelle erstellt, die den Grad von Einflüssen auf die Messmethoden wiedergibt. Abb. 2 zeigt dies anhand eines Beispiels.

Targets/Methods	Geophysical methods					Hydrogeological methods				
	Magnetics	DC resistivity	Metal detectors	Spectral IP	EnviroMT	Drillings	Soil sample	Field permeameters	Tracer Tests	Pumping tests
Groundwater level	D	A	D	B	B	A	A	D	D	A
Water content	D	C	D	B	B	D	A	D	D	C
Hydraulic conductivity	D	C	D	C	D	D	C	B	B	A
Fractures and discontinuities	C	C	C	B	D	D	C	C	A	C
Effective porosity	D	C	D	B	C	D	A	D	D	C
Pore water pressure	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
Hydraulic transmissivity	D	D	D	C	D	D	C	B	B	A
Foundations	A	B	B	C	C	A	D	D	D	D
pits	B	C	B	D	D	D	D	D	D	D
Pipes, cables	D	D	A	D	D	D	D	D	D	D
Tanks and drums	D	B	A	D	D	D	D	D	D	D

Abb. 1 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt aus dem Bewertungsschema von geophysikalischen und hydrogeologischen Methoden bzgl. der Untersuchungsparameter (linke Spalte). „A“ bedeutet, dass eine Methode einen Parameter sehr gut detektieren kann. „D“ bedeutet, dass die Methode den Parameter nicht detektieren kann.

Method/obstacle	Metal pipelines, unused cable (ferrous)	Wells in neighbourhood	Buildings	Concrete/ Asphalt cover	Bushes/ trees	Topography	Electric power lines or railroads	Roads/ Traffic (acoustic noise)	Operating industry
Magnetics	B	B	B	A	B	A	C	A	B
DC geoelectrics	B	A	B	B	B	A	B	A	B
Metal detectors (EM61...)	C	A	C	A	B	A	B	A	C
Spectral IP	B	A	B	B	B	A	C	A	B
EnviroMT	C	A	C	B	B	A	B	A	C
Drillings	B	A	B	A	B	B	A	A	A
Penetrometric Test	A	D	B	B	B	B	A	A	A
Soil Analysis	A	A	B	A	B	B	A	A	A
Infiltrometric Test	A	A	B	B	B	B	A	A	A
Pumping Test	A	A	B	A	B	B	A	A	A

Abb. 2 zeigt einen beispielhaften Ausschnitt der Störungseinflüsse auf Messmethoden. „A“ bedeutet, dass der Einfluss gar keine Auswirkung auf die Methode hat. „D“ bedeutet, dass der Einfluss zu groß für die Messmethode ist, um vernünftige Ergebnisse zu produzieren.

Um die Kosten der einzelnen Methoden und damit der Gesamtuntersuchung abzuschätzen, wird eine Kostenberechnung der einzelnen Methoden vorgenommen. Da die Kosten sehr vielen Faktoren unterliegen (u.a. Preisniveau in den unterschiedlichen Ländern, unterschiedliche Gerätekosten, etc.) werden die Kosten nur als Leitfaden und nicht als Absolutwerte angesehen.

Der Algorithmus versucht nun, nach Eingabe der Untersuchungsparameter (s. Abb. 3; entspricht der linken Spalte von Abb. 1) eine Kombination für die chemisch-biologischen und hydro-geologisch / geophysikalischen Methoden zu erzeugen, welche die Untersuchungsparameter vollständig abdeckt. Dabei werden maximal 3 solcher Kombinationen in einer separaten Tabelle erzeugt, die nur aus Methoden bestehen, die ein „A“ oder „B“ in der Ranking-Tabelle haben.

DSS - Other site characteristics

Main parameters to be measured

Groundwater level
 Hydraulic conductivity
 Effective porosity
 Vertical extent of stratigraphy
 Lateral extent of stratigraphy

Secondary parameters to be measured

Water content
 Pore water pressure
 Hydraulic transmissivity
 Average groundwater velocity
 Groundwater direction:
 Aquifers
 Aquicludes
 Fractures and discontinuities (occurrence)
 Crystalline rock (occurrence)
 Karst (occurrence)
 Sedimentary rock (occurrence)
 Clay (occurrence)
 Silt (occurrence)
 Sand (occurrence)
 Gravel (occurrence)
 Till (occurrence)
 Concentrations
 Density
 Shear strength
 Elasticity
 Temperature
 Thermal conductivity

Look for underground objects/constructions:

Select

Caves	Other
Cellars	Sub-horizontal
Explosives	Metallic ferrous
Explosives	Metallic non-ferrous
Explosives	Non metallic
Foundations	Sub-horizontal
Pipes, cables	Metallic ferrous
Pipes, cables	Non-metallic
Pipes, cables	Metallic non-ferrous
Pits	Sub-vertical

Abb. 3 zeigt die Eingabemaske für die hydro-geologischen / geophysikalischen Untersuchungsparameter. Durch Anklicken, bzw. Auswählen werden die Parameter (vergleiche Abb. 1, linke Spalte) in den Algorithmus eingegeben. Der Algorithmus versucht nun eine Überdeckung der gewählten Untersuchungsparameter zu erzielen und gibt das Ergebnis in einer Tabelle aus.

Sollten Störungen, bzw. Hindernisse auf der Untersuchungsfläche vorhanden sein, werden ggfs. Methoden aus dem Such-Algorithmus ausgeschlossen. Dabei wurden diese Größen in 3 Stufen eingeteilt (kleiner, mittlere und großer Einfluss, s. Abb. 4).

DSS - Site restrictions

Restrictions for site investigation

Select restrictions

Metal pipelines, unused cable (ferrous)	> 10 m/ 100 sqm
Metal pipelines, unused cable (ferrous)	< 10 m/100 sqm
Metal pipelines, unused cable (ferrous)	< 1m / 100 sqm ²
Metal pipelines, unused cable (non-ferrous)	> 10 m/ 100 sqm
Metal pipelines, unused cable (non-ferrous)	< 10 m/100 sqm
Metal pipelines, unused cable (non-ferrous)	< 1m / 100 sqm ²
Buried pipelines (cathodic protection)	Through the area
Buried pipelines (cathodic protection)	Close (< 50m distance)
Buried pipelines (cathodic protection)	Far (> 50 m distance)
Wells in neighbourhood/area	In the area (> 1 / 100 sqm)
Wells in neighbourhood/area	In the area (< 1 / 100 sqm)
Wells in neighbourhood/area	No wells in neighbourhood
Buildings	> 50 % of total area
Buildings	< 50 % of total area
Buildings	< 20 % of total area

Abb. 4 zeigt die Eingabemaske für mögliche Einflüsse auf Messmethoden. Dabei wurde für die unterschiedlichen Einflüsse eine dreigeteilte Einstufung beibehalten.

Die Ergebnisse werden in einer eigenen Tabelle zusammengefasst. Es werden aber auch übersichtshalber alle Methoden der unterschiedlichen Disziplinen in einer separaten Tabelle aufgeführt, um so einen Vergleich zwischen den einzelnen Methoden zu ermöglichen.

Ein weiterer Entwicklungsschwerpunkt innerhalb dieses Projektes war die Visualisierung der Daten im Feld. Um die im Feld gewonnenen Daten richtig beurteilen zu können, müssen die Daten evtl. in einem großen Kontext mit den anderen vorhandenen Daten gesehen werden können. Durch die Möglichkeit der Darstellung im ein-, zwei- und drei-dimensionalen Raum, ergeben sich so neuen Perspektiven, die zu einer Änderung im Arbeitsablauf führen können. Das hier gezeigte Beispiel der ungarischen Testfläche ist hier ein hervorragendes Beispiel. Abb. 5 zeigt exemplarisch ein Bildschirmfoto der verschiedenen Darstellungsebenen der Software. Die einzelnen dargestellten Elemente werden später genauer erläutert. Man sieht oben links die flächenhafte Verteilung des spezifischen Widerstandes in 3.5 m Tiefe als Ergebnis einer 3D Inversionsrechnung (farbige Fläche) mit darauf projizierten chemischen Werten (farbige Kreise); unten: Ausschnitt einer vertikalen Sektion eines 2D invertierten Profils mit davor eingeblendeten geologischen und chemischen Informationen (Tiefe, Geologie, Kohlenwasserstoffkonzentration); oben rechts: eine räumliche Darstellung von Inversionsergebnissen einiger Profile inkl. eingeblendeter Bohrungen.

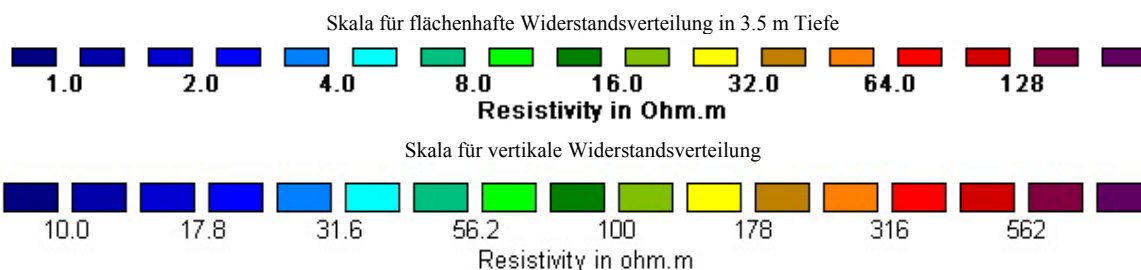
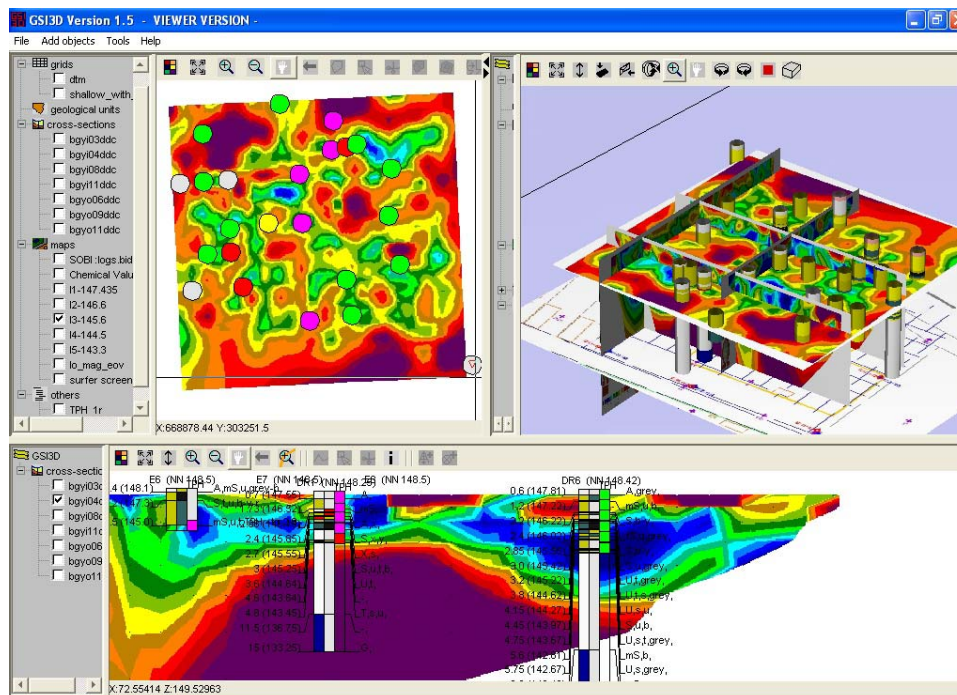


Abb. 5 zeigt ein Bildschirmfoto der Visualisierungssoftware GSI3D. Oben links: flächenhafte Verteilung der spezifischen Widerstände (farbige Fläche) mit darauf projizierten chemischen Werten (farbige Kreise); unten: vertikale Widerstandsverteilung einer 2D invertierten Sektion mit eingeblendeten geologischen und chemischen Informationen; oben rechts: räumliche Darstellung von Inversionsergebnisse einiger Profile inkl. eingeblendeter Bohrungen.

Testfläche, Geologie und DSS-Ergebnis

Im September 2003 wurde die DSS auf einem ehemaligen Treibstoff-Lager (Fläche ca. 10000 m²) in Balassagyarmat / Ungarn angewandt (Abb. 6).



Abb. 6 zeigt das ehemalige Treibstoff-Lager in Balassagyarmat / Ungarn. Das Lager liegt zwischen einer Straße (nördlich) und Bahnschienen (südlich).

Die Firma AGRUNIVER Ltd. (Projekt-Partner) ist damit beauftragt, diese Fläche zu sanieren. In Beobachtungsbrunnen, die zur Überwachung der Trinkwasserversorgung dienen, wurde eine Kohlenwasserstoff-Kontamination im 2. Aquifer bei ca. 15 m festgestellt. Im 1. Aquifer bei ca. 6 m wurde keine Kontamination gefunden. Die Kontamination wurde abgepumpt, doch nach ein paar Monaten wurde sie wiederum in den Brunnen vorgefunden. Die Frage war nun, wo der genaue Ursprung der Kontamination zu finden ist.

Um sich einen genaueren Überblick über das Gebiet und die Geologie zu verschaffen, wurden mehrere Bohrungen abgeteuft. Abb. 7 gibt exemplarisch zwei Bohrungen wieder.

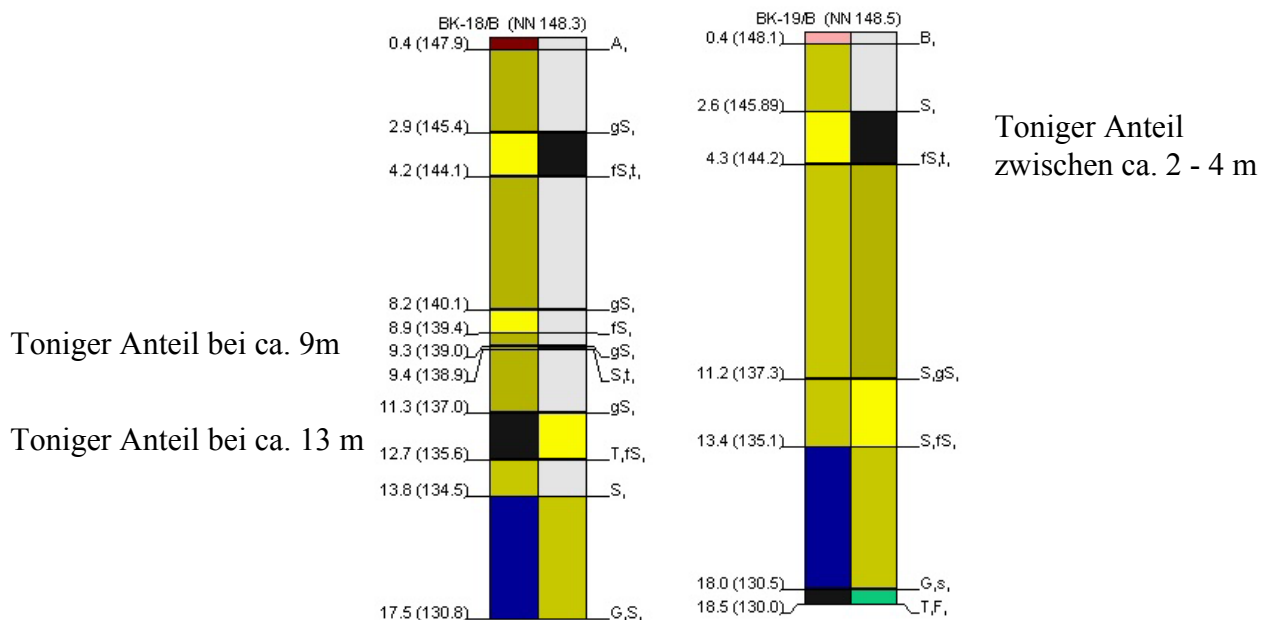


Abb. 7 zeigt zwei Bohrungen, die von der Firma AGRUNIVER Ltd. im Rahmen einer ersten Sanierung der Testfläche durchgeführt wurden. Links sind die Tiefenangaben der Bohrabschnitte relativ zur Oberfläche und als absolute Höhe in Klammern dargestellt. Die Säulen zeigen von links nach rechts den prozentualen Hauptanteil und den 1. Nebenanteil. Die Kennzeichnung der Anteile erfolgt einmal als Farb-Code und als Beschreibung (rechts neben der Säule). A (braun): Auffüllung; B (pink): Boden; S (beige): Sand; gS (dunkles beige): grober Sand; T (schwarz): Ton; G (blau): Kies; F (hell-grün): Sandstein; grau/weiß: keine Angaben;

Die Kennzeichnung der Anteile erfolgt sowohl als Farb-Code und als Kurzbeschreibung rechts neben der Säule. Diese steht rechts von der Säule und markiert die jeweilige Unterkante.

Aufgrund dieser existierenden Bohrinformationen von AGRUNIVER wurde ein Untergrundmodell erstellt, das von zwei Aquiferen in ca. 4 und 14 m ausgeht, welche durch eine dünne Tonschicht in ca. 9 m Tiefe getrennt werden.

Der Aufbau der Schichten wäre somit:

- Auffüllungen (0 bis ca. 2 m)
- Sande (fast durchgängig vorhanden)
- tonige Anteile (ca. 2-4 m Tiefe)
- 1. Aquifer bei rund 6m
- mögliche dünne Tonschicht (bei ca. 9 m)
- Tonschicht / 2. Aquifer (bei ca. 14 m)
- Kiese (ab ca. 13 m)
- Sandstein (ab ca. 18 m)

Die Testfläche liegt auf einer Terrasse, die sich ca. 600 m südlich von einem Fluss befindet. Die Firma AGRUNIVER ging auf Grund dieses Untergrundmodells davon aus, dass die Ursache der Kontamination im Grundwasser zu vermuten sei, daher wurde der Schwerpunkt auf eine Wasser-Untersuchung gelegt.

Es wurden mehrere Ergebnisse mit der DSS produziert. Es sollten optimale Methodenkombinationen für folgende Fragestellungen gesucht werden:

Bestimmung:

- 1) der vertikalen und lateralen Ausdehnung der Stratigraphie
- 2) des Grundwasserspiegels
- 3) der effektiven Porosität
- 4) der hydraulischen Konduktivität
- 5) des Wassergehalts
- 6) der hydraulischen Transmittivität
- 7) von Brüchen und Diskontinuitäten
- 8) der mittleren Grundwassergeschwindigkeit
- 9) der Grundwasserfließrichtung
- 10) von Aquiferen
- 11) von Aquikluden
- 12) von Tone, Kiese, Sande und Schluffe

Zusätzlich sollten die anthropogenen Objekte wie Kabel, Rohre und Behälter lokalisiert werden.

Für die nicht-chemischen Untersuchungen waren die Ergebnisse ohne Untergrundobjekte RMT, Slug Tests und Bohrloch-Strömungsmesser, mit Untergrundobjekten RMT, Slug Test und GPR (metallisch, nicht eisenhaltig), bzw. RMT, Magnetometer-Messungen und Slug-Tests (metallisch und eisenhaltig).

Obwohl die DSS keine Geoelektrik als Ergebnis ausgab (Kostengründe), wurde trotzdem eine solche Messung vom Konsortium vorgeschlagen, um die Struktur bis 15 m, also bis zum 2. Aquifer, abzulesen. Eine Magnetik-Messung sollte eine Bodenradar-Messung unterstützen, jedoch waren die Bodenradar-Daten zu sehr verrauscht und konnten nicht verwertet werden.

Geophysikalische Untersuchung der Testfläche

Folgende Fragestellungen waren für die geophysikalische Untersuchung vorgegeben:

- 1) Lokalisierung möglicher Untergrundobjekte (Kabel, Rohre, Behälter) (Magnetik, GPR)
- 2) Kartierung der Morphologie und Kontinuität der undurchlässigen Tonschicht bei ca. 15m (2. Aquifer) (Goelektrik)
- 3) Kartierung der Morphologie des Sand-Kies Übergangs mit einer möglicherweise dünnen Tonschicht bei 9m (Goelektrik, GPR)
- 4) Kartierung der Untergrundstruktur (Goelektrik, GPR)

Dabei sollten die Ergebnisse vor den geochemischen und geologischen Untersuchungen erbracht werden, um so die Untergrundstruktur des oben erwähnten Schichtmodells zu bestätigen. Weiterhin sollten Widerstandsanomalien Hinweise auf eine mögliche Kontaminationsfahne geben und Untergrundobjekte lokalisiert werden, um Schäden am Bohrgerät zu verhindern.

Für die Magnetik wurde ein Raster von 1 m Profilabstand gewählt. Gewisse Bereiche konnten aufgrund der Nähe von Eisenteilen (Zaun) nicht gemessen werden.

Für die Goelektrik (Schlumberger- und Dipol-Dipol-Konfiguration) wurde ein Elektrodenabstand von 3m und einer Profillänge von über 100 m gewählt, um so eine Eindringtiefe von rund 20 m zu gewährleisten.

Magnetik

Für die Magnetik wurde ein GEM Systems GSM-19FG Overhauser Gradiometer als mitgeführtes Instrument und ein GEOMETRICS G-856 Protonen Magnetometer als Basisstation gewählt.

Abb. 8 und 9 zeigen die Ergebnisse der Magnetik mit 2 unterschiedlichen Wertebereichen, aber mit gleicher Datenbasis, als Bildschirmfoto der Visualisierungssoftware GSI3D mit darüber gelegten Goelektrik-Profilen (schwarze Linien).

Außerhalb des eigentlichen Testgebietes (rechter und unterer Bildbereich) wurden auch Messungen durchgeführt, um zu schauen, ob Objekte/Behälter auch außerhalb der eigentlichen Testfläche gefunden werden. Abb. 8 zeigt einen Bereich von ± 100 nT, Abb. 9 zeigt einen Wertebereich von ± 800 nT. Die schwarzen Linien kennzeichnen die Lage der Widerstands-Profile.

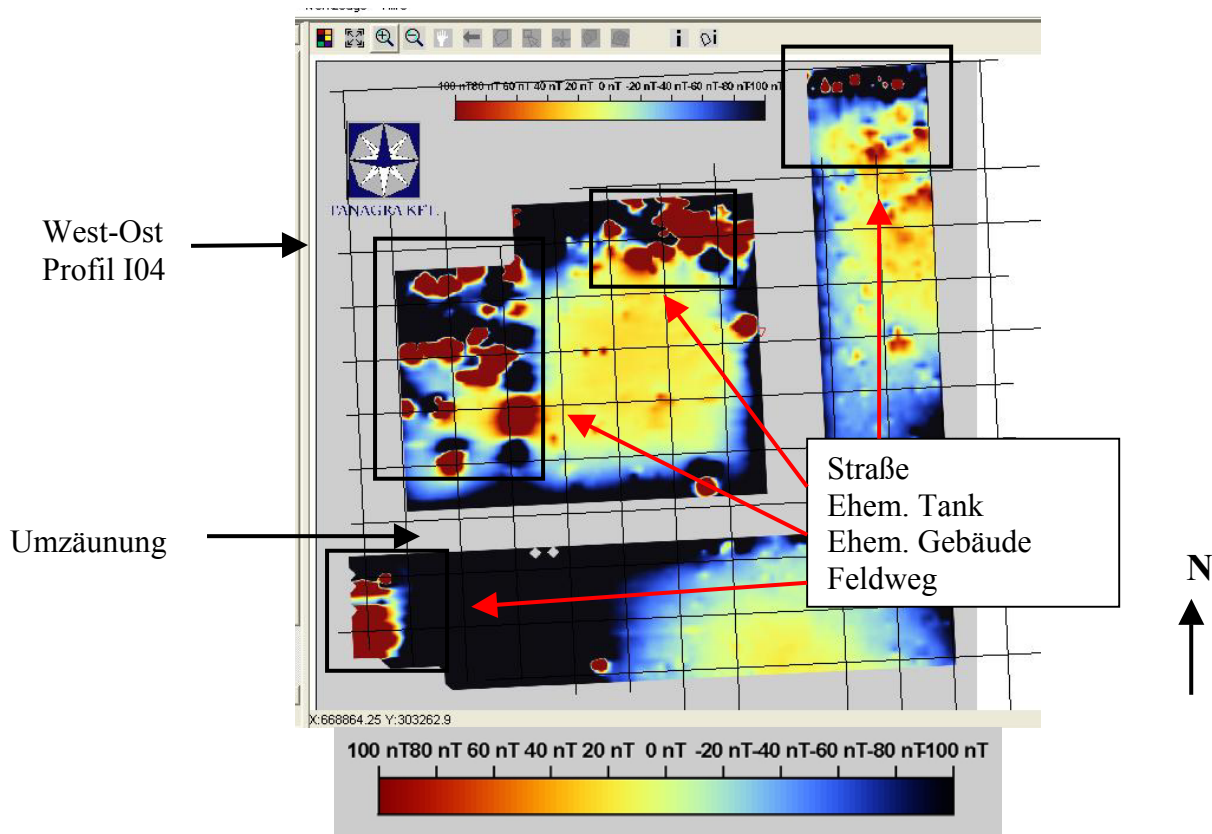


Abb. 8 zeigt die Ergebnisse der Magnetik mit einem Wertebereich von ± 100 nT. 4 Bereiche sind von Interesse: oben rechts und unten links: Einfluss einer nahegelegenen Straße bzw. eines Feldweges; mitte links: Fundamentreste eines ehemaligen Gebäudes auf der Testfläche; mitte oben: ehemalige Position eines Tanks. Die schwarzen Linien kennzeichnen die Lage der Geoelektrik-Profile.

In Abb. 8 wurden vier auffällige Bereiche lokalisiert (schwarze Rechtecke): zwei Bereiche (oben rechts und unten links) konnten den Einflüssen einer Straße, bzw. eines Feldweges zugeordnet werden. Der Bereich in der linken Bildhälfte zeigt die Fundamentreste eines Gebäudes, das mittlerweile abgerissen wurde. Der obere mittlere Bereich wurde den Resten eines ehemaligen Lagerbehälters zugewiesen, der in Rahmen einer Sanierung ausgebaggert wurde.

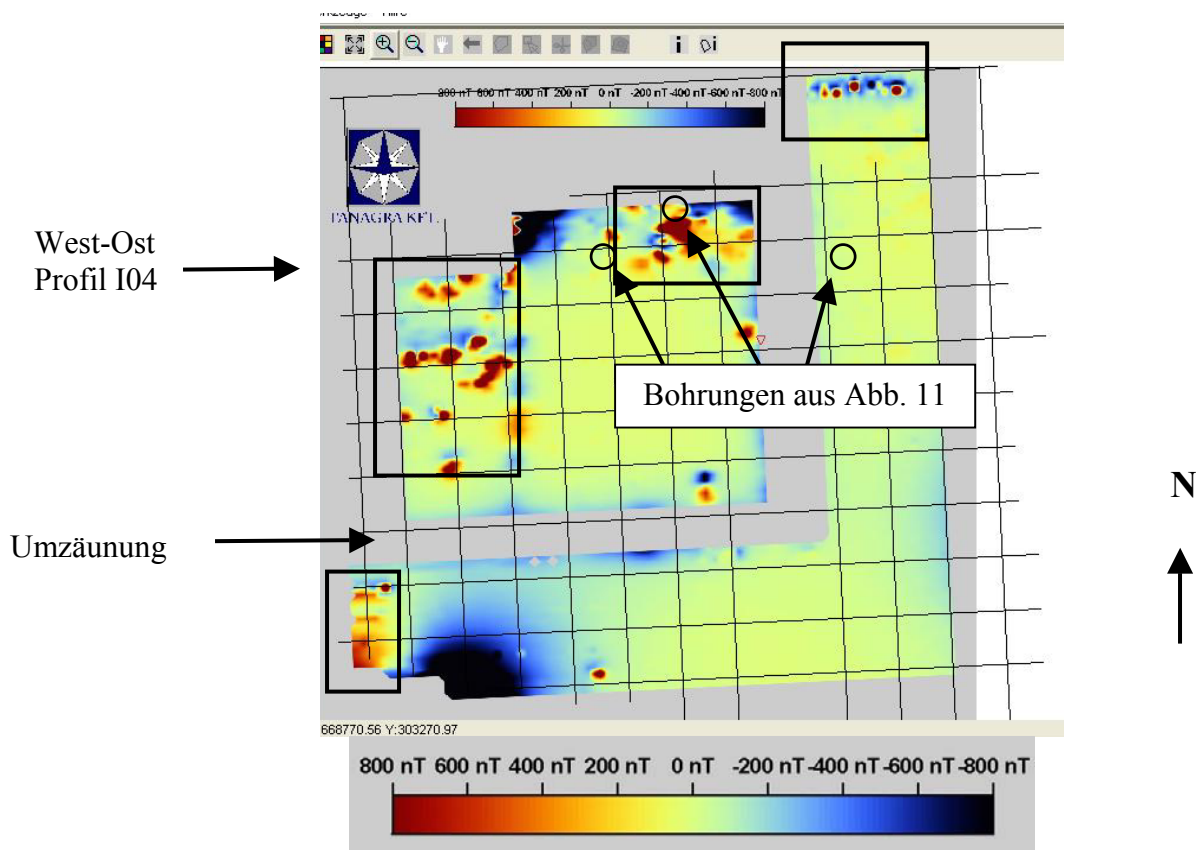


Abb. 9 zeigt die Ergebnisse der Magnetik mit einem Wertebereich von ± 800 nT. Die schwarzen Linien kennzeichnen die Lage der Geoelektrik-Profile.

Wie auch in Abb. 8 sind auch in Abb. 9 die magnetischen Anomalien, diesmal mit einem größeren Wertebereich von ± 800 nT, deutlich erkennbar. Andere einzelne lokale Anomalien werden auf Eisenteile auf dem Gelände zurückgeführt.

Geoelektrik

Die geoelektrischen Messungen wurden sowohl in einer Schlumberger als auch in einer Dipol-Dipol Anordnung ausgeführt. Dazu wurden insgesamt 11 West-Ost und 12 Nord-Süd Profile mit einer maximalen Auslagenlänge über 100 m und 3 m Elektrodenabstand gemessen. Die Aufgabe der Geoelektrik bestand darin, die generelle Untergrundstruktur und die 2 Aquifere (s. Abb. 7) zu detektieren. Dies sollte ermöglichen, die möglichen Kohlenwasserstoff-Kontaminationswege in den unteren Aquifer abzuleiten.

Abb. 10 zeigt exemplarisch eine 2D invertierte vertikale Sektion einer Dipol-Dipol Messung des West-Ost Profils I04 (Lage s. Abb. 9)

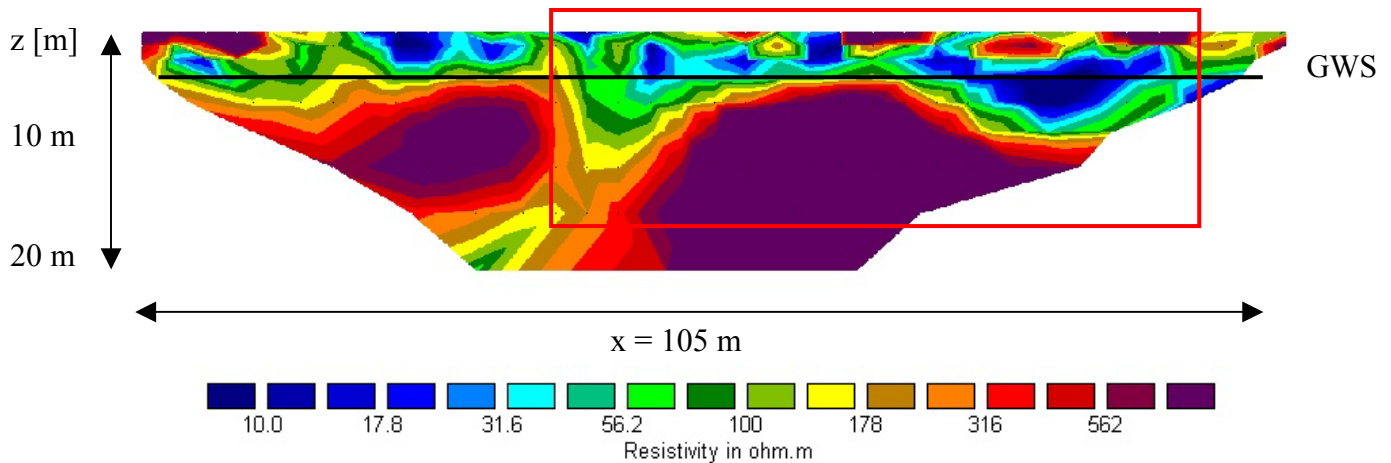


Abb. 10 zeigt das West-Ost Profil I04 (Dipol-Dipol-Konfiguration). Das rote Rechteck ist Abb. 11, welches einen vergrößerten Ausschnitt aus diesem Bereich zeigt. Der Grundwasserspiegel (GWS) liegt bei ca. 4 m Tiefe.

Deutlich zu erkennen sind gut leitenden Strukturen in ca. 1-10 m Tiefe (3 – 30 Ohm m; blau). Diese lassen sich aber auf Grund ihrer Form und Tiefe nicht mit der a-priori Aussage einer kontinuierlichen Schicht in 9m Tiefe in Einklang bringen.

Stattdessen existieren in den ersten 10 m sowohl oberflächennahe gutleitende (blau) als auch schlecht-leitende Bereiche. Bei den guten Leitern um ca. 4 m Tiefe handelt es sich augenscheinlich um Schluff- und Ton-Linsen, die mehr oder weniger horizontal um den Grundwasserspiegel verteilt sind.

Die direkt an der Oberfläche auftretenden guten Leiter sind nicht geologisch erklärbar, aber ein Zusammenhang mit der Kohlenwasserstoff-Kontamination könnte denkbar sein. Abb. 11 versucht dies zu erklären. Im unteren Teil von Abb. 10 erkennt man eine sehr ausgeprägte schlecht leitende Schicht mit einer Mächtigkeit von mehr als 10 m, welche mit Kiesen in Zusammenhang gebracht werden kann. Laut Bohrinformationen beginnen die Kiese aber erst ab ca. 13 m Tiefe.

Den a-priori Daten zufolge müssten aber zwei Tonschichten bei ca. 9 m und 15 m erkennbar sein. Diese sind aber nicht aus dem Ergebnis der 2D Inversion ersichtlich.

Laut ausführendem Geophysiker war das Signal-Rausch-Verhältnis nicht gut, so dass davon auszugehen ist, dass der Bereich ab ca. 10 m keine sinnvollen Daten mehr enthält und nicht in die Bewertung für die tiefere Untergrundstruktur einzubeziehen ist.

Wie oben erwähnt, reichen einige gut leitende Bereiche bis an die Oberfläche heran, obwohl in den Bohrungen generell erst ab ca. 2 m tonige Anteile zu finden sind. Woher kommen nun diese guten Leiter? Wie in Abb. 9 gut zu erkennen ist, geht das Profil sehr nahe an der Position eines ehemaligen Tanks vorbei. Dieser war zwar ausgegraben, aber kein Bodenaustausch vorgenommen worden.

Abb. 11 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt von Abb. 10, in welchem zusätzlich die geologischen und chemischen Informationen angegeben sind.

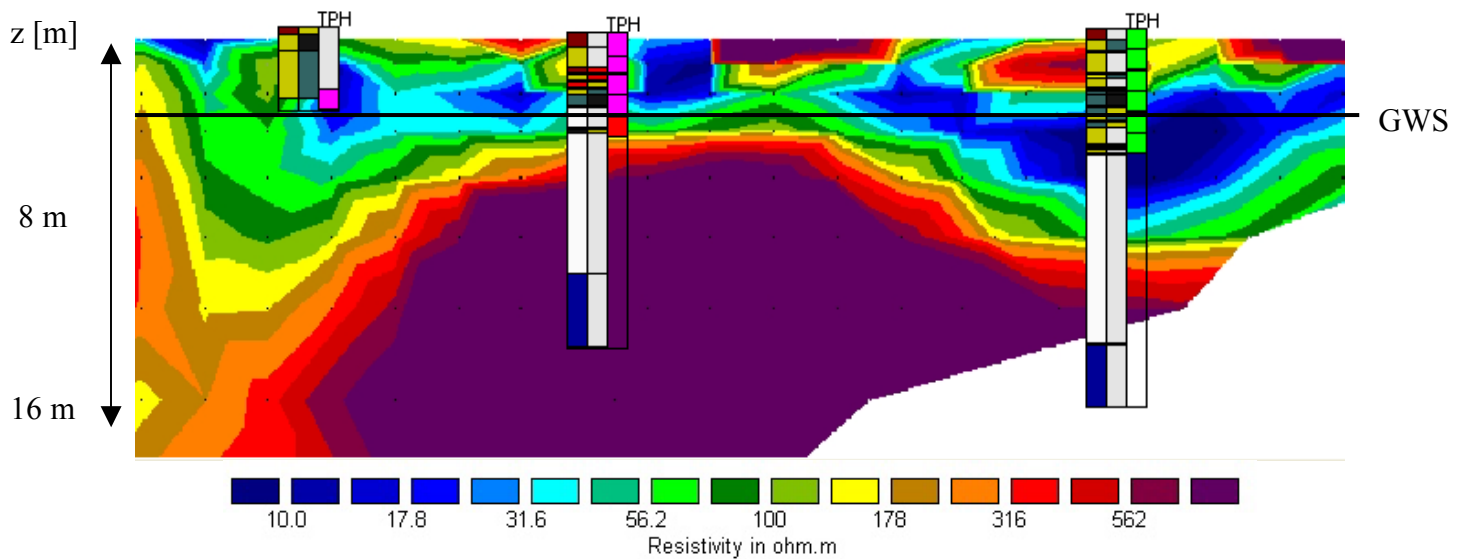


Abb. 11 zeigt einen Ausschnitt aus dem Profil I04. Die Beschreibung der auf das Profil projizierten Bohrprofile entspricht der Anordnung in Abb. 7. Braun: Auffüllung; Beige: Sande; blau: Kiese; dunkel-grün: Schluff; schwarz: Ton; Rot: Steine; Grau/weiß: keine Angaben; Kohlenwasserstoffe (TPH; rechte Spalte): 0-50 mg/kg: grün; 100-300 mg/kg: rot; 300+ mg/kg: lila; horizontale schwarze Linie: Grundwasserspiegel (GWS)

Anhand der rechten, nicht kontaminierten Bohrung lässt sich sehr gut zeigen, wie die Stratigraphie mit der Geoelektrik in den ersten paar Metern, trotz eines schlechten Signal-Rausch-Verhältnisses sehr gut korreliert. Der oberflächennahe schlechte Leiter (rot) entspricht der Auffüllung (braun) und den trockenen Sanden (beige). Die Oberkante des gut leitenden Bereiches (Tone, Schluffe) korreliert gut mit der Geoelektrik (blau). Aufgrund einiger tieferer abgeteufter Bohrungen kann man jedoch sagen, dass die Unterkante des guten Leiters in den Widerstandsverteilungen immer zu tief erscheint.

Betrachtet man die mittlere Bohrung, die nahe des ehemaligen Tanks positioniert ist (s. Abb. 9), erkennt man, dass diese auf der von der Geochemie beprobten Länge (bis 5 m) stark kontaminiert ist. Vergleicht man die geologische Situation mit den Ergebnissen der Widerstands-Geoelektrik sieht man, dass trotz der vorhandenen Sande die Leitfähigkeiten sehr hoch sind. Der Grund dafür ist in der sogenannten „Biodegradation“ zu suchen. Kohlenwasserstoffe haben an sich einen sehr hohen elektrischen Widerstand. Unter Langzeit-Einwirkung von Mikroben entstehen bei deren Wechselwirkung mit den Kohlenwasserstoffen Ionen, die zu einer anomalen Erhöhung der Leitfähigkeit führen (Sauck, 2002; Atekwana, 2002). Daher ist in der Nähe der bekannten Oberflächen-Kontaminationsquellen (Verladestation, Tank; s. Abb. 13) bei guten oberflächennahen Leitfähigkeiten mit einer Kontamination der über dem Grundwasser befindlichen Schichten zu rechnen.

Auf Grund des engen Zeitplans wurde die linke Bohrung nicht in allen Tiefenbereichen auf Kohlenwasserstoffe untersucht, sondern nur dort, wo schon der Geruch einer Probe auf eine Kontamination hingedeutet hat. Wie auch bei der mittleren Bohrung sind nahe der Oberfläche gutleitende Bereiche zu erkennen. Obwohl ein toniger Anteil im Bohrprofil enthalten ist, beginnt dieser deutlich über dem Grundwasser und kann daher alleine nicht diese gute Leitfähigkeit nahe der Oberfläche erklären. Dies deutet darauf hin, dass trotz der negativen Geruchsprobe in den ersten 4 Metern, eine Kontamination vorhanden ist, welche die Leitfähigkeiten erhöht. Die Herkunft des stark kontaminierten Bereiches nahe des Grundwasserspiegels wird in Abb. 13 erklärt.

Wie wichtig nun eine räumliche Visualisierung des Untersuchungsgebietes ist, zeigt Abb. 12. Mittels der neuen Visualisierungssoftware GSI3D, lassen sich die Profile in beliebigen Kombinationen positionieren und man erkennt besser die Geometrie der oberen gutleitenden Schichten. Zu diesem Zweck sind einige senkrecht zueinander positionierte Profile dargestellt.

Anstatt einer horizontalen Schichtung ist eine nicht-kontinuierliche gutleitende Struktur in der oberen Hälfte (bis 10 m Tiefe) erkennbar. Daraus lässt sich schließen, dass anstatt einer kontinuierlichen Schluff-, bzw. Tonschicht ein Rinnensystem existiert.

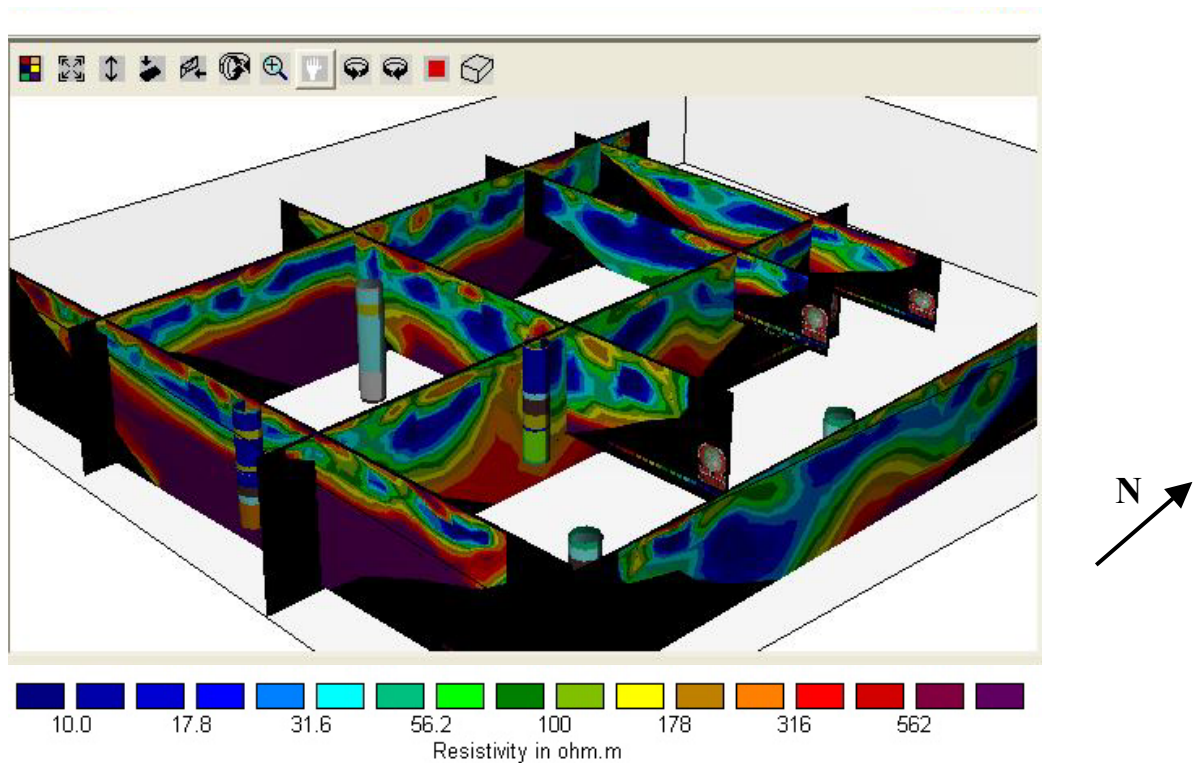


Abb. 12 zeigt einen Ausschnitt von querverlaufenden Widerstandsprofilen. Anhand dieser Anordnung erkennt man, dass der Untergrund von einer gutleitenden Rinnenstruktur durchzogen ist. Diese Erkenntnis führte dazu, dass die Untersuchungsstrategie geändert wurde.

Dieses Rinnensystem kam zu Stande, als sich während einer Erosionsphase Tone und Schluffe im mitgeführten Wasser ablagerten und später mit Sanden und Kiesen bedeckt wurden, während der nahegelegene Fluss weiter das Tal ausgehöhlt hat.

Somit ist erklärbar, warum im 2. Aquifer eine Kontamination in den Beobachtungsbrunnen gefunden wurde, da es eine Verbindung zwischen den beiden Aquiferen gibt, entgegen der Annahme einer kontinuierlichen Tonschicht um 9 m Tiefe, die zwei getrennte Aquifere bedeuten würde.

Weiterhin sind Tone und Schluffe auf Grund ihrer Struktur als Speichermedien bekannt. Je nach Wasserstand, meist in Abhängigkeit von der Jahreszeit, können mehr oder weniger Kohlenwasserstoffe ausgewaschen und im Grundwasser mitgeführt werden. Daher war es von Interesse, sich ein Bild über die horizontale Verteilung der oberflächennahen Tone und Schluffe zu machen. Dazu wurden alle horizontalen Schnitte übereinander gelegt und eine Projektion der horizontalen Gesamtverteilung der Schluffe und Tone gemacht. Anhand dieser Verteilung geprüft werden, ob die Kontamination vorwiegend in den Schluffen und Tonen und nicht in den Sanden und Kiesen vorgefunden wird. Daher wurde die ursprünglich geplante Wasseruntersuchung in eine Bodenuntersuchung umgewandelt.

Abb. 13 zeigt die spezifische Widerstandsverteilung in ca. 3.5 m Tiefe, abgebildet als Ergebnis einer 3D Inversion der 2D-Profile. Die vermutete Rinnenstruktur der Tone und Schluffe (grün-blau-gelb) wird hier verifiziert. Darauf projiziert sind die Ergebnisse der chemischen Analyse (farbige Kreise) für die entsprechende Tiefe.

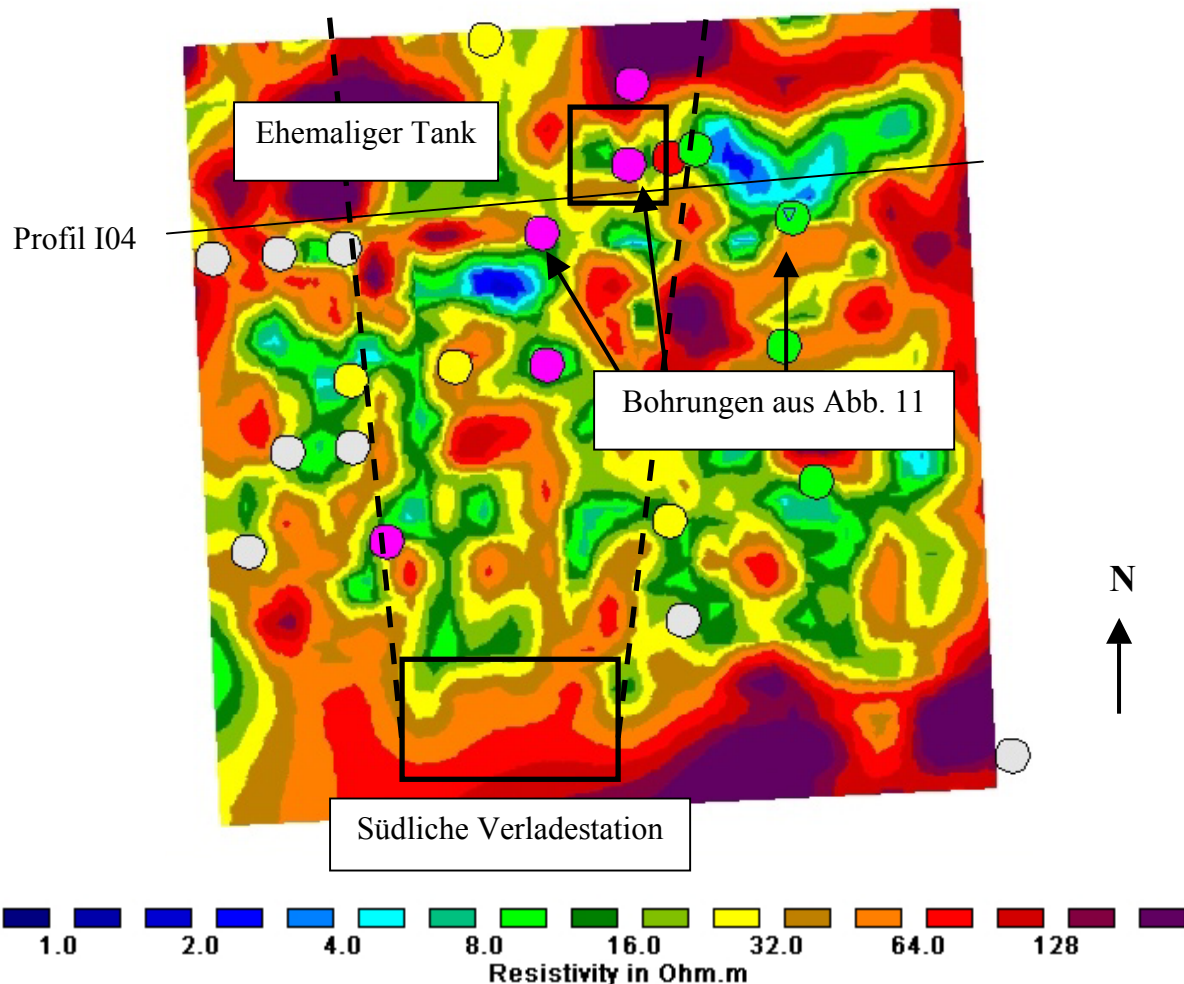


Abb. 13 zeigt einen horizontalen Tiefenschnitt bei ca. 3.5 m Tiefe. Die gutleitenden Strukturen sind blau-grün-gelb; die schlechtleitenden Strukturen haben eine rote Farbe. Klar erkennbar ist die Rinnenstruktur der Schluffe/Tone, die sich in den vertikalen Sektionen angedeutet hat. Die farbigen Kreise sind die gemessenen Kohlenwasserstoff-Konzentrationen. Grau: keine Messung; grün: 0-50 mg/kg; gelb: 50-100 mg/kg; rot: 100-300 mg/kg; lila: 300+ mg/kg. Das obere schwarze Rechteck kennzeichnet einen ehemaligen Tank, das untere Rechteck eine Verladestation, von der das Benzin von der Bahn in die Station verladen wurde. Die gestrichelten Linien zeigen den möglichen Ausbreitungsbereich der Kontamination von der südlichen Verladestation in Richtung des Grundwasserstromes.

Es ist zu erkennen, dass die Kontamination generell 1) an gutleitende Strukturen (d. h. Tone, Schluffe) gebunden ist und 2) sich von den markierten Oberflächen-Kontaminationsquellen (schwarze Rechtecke) in die Grundwasserfließrichtung nach Norden hin ausbreitet. Die gestrichelten Linien zeigen die mögliche räumliche Ausbreitung von Kohlenwasserstoffen von der südlichen Verladestation aus. Außerhalb dieses Bereiches finden sich keine weiteren Kontaminanten.

Weiterhin ist für die Sanierungsmaßnahmen, wie schon oben erwähnt, zu beachten, dass die Schluff-Schicht nicht als Grundwasserstauer wirkt, da sie 1) nicht kontinuierlich ist und 2) das Grundwasser über, bzw. unter diese Struktur hinweg fließen kann. Das bedeutet, dass das bisherige Abpumpen der Kohlenwasserstoffe in den Beobachtungsbrunnen als Sanierungsmaßnahme ausscheidet und stattdessen die Schluff-Ton-Schicht ausgebaggert werden muss. Nur so kann gewährleistet werden, dass keine weitere Kontamination in den Beobachtungsbrunnen auftritt.

Laut Aussage des Site-Managers konnten mit Hilfe der Geoelektrik 10-15 Bohrungen eingespart werden, da mit ihrer Hilfe die Untergrundstruktur ermittelt werden konnte und die Tone und Schluffe als Kontaminationsträger ausgemacht wurden.

Fazit

Die Untersuchung einer Testfläche in Ungarn im Jahr 2003 im Rahmen des EU-Projektes NORISC hat gezeigt, wie eine interdisziplinäre Zusammenarbeit eine Altlastuntersuchung schneller und kostengünstiger gestalten kann. Kernpunkte dieses Projektes sind die Entwicklung eines Decision Support System (DSS), mit dessen Hilfe eine optimale Kombination von Untersuchungsmethoden ausgegeben werden soll und einer Visualisierungssoftware, mit deren Hilfe die im Feld gesammelten Daten noch im Feld dargestellt werden können.

Die Testfläche war früher ein Tanklager und es wurde eine Kohlenwasserstoff-Kontamination in Trinkwasserbeobachtungsbrunnen festgestellt. Durch den Einsatz der Geoelektrik im Zusammenspiel mit der Visualisierungssoftware konnten die Annahmen über die Untergrundstruktur korrigiert werden und ein schluff- und tonhaltiges Rinnensystem als Quelle der Kontamination unterhalb der Fläche bestätigt werden. Durch die Erkenntnisse der Geoelektrik wurde die anfänglich geplante Wasser-Untersuchung vor Ort verworfen und eine Boden-Untersuchung durchgeführt, nachdem klar geworden war, dass die Kohlenwasserstoffe in den Schluffen und Tonen gespeichert sind.

Die Ergebnisse der Magnetik zeigen auf der Testfläche die Reste eines ehemaligen Tanks und das Fundament eines ehemaligen Gebäudes. Somit wurde gewährleistet, dass keine Beschädigung am Bohrer durch nicht bekannte Untergrundobjekte auftritt.

Durch diese interdisziplinäre Zusammenarbeit konnten rund 10-15 Bohrungen eingespart werden, da man gezielt nach den Kontaminanten bohren konnte.

Die gesamte Untersuchung inklusive Auswertung dauerte 2 Wochen.

Literatur

Sauck, W.A. 2002. A model for the resistivity structure of LNAPL plumes and their environs in sandy sediments. *Journal of Applied Geophysics* **44**, p. 151-165.

Atekwana, E.A. et al., 2002. Geophysical investigation of vadose zone conductivity anomalies at a hydrocarbon contaminated site: implications for the assessment of intrinsic bioremediation. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, Vol.7, No. 3, p.103-110.