

Geologisch-Paläontologisches
Institut der Universität Basel

Abteilung Angewandte
und Umweltgeologie

Bernoullistrasse 32
CH-4056 Basel

Telefon 061 267 34 45
Fax 061 267 29 98

www.unibas.ch/earth/pract

Vorgezogene Massnahmen Voruntersuchung Deponien Maienbühl und Mönden

Geophysikalische-hydrologische Abklärungen zur Festlegung zusätzlicher
Grundwassermessstellen im Zu- und Abstrom der Deponien



Inhaltsverzeichnis

1	Auftrag und Ziel	2
2	Geologie und Hydrologie des Untersuchungsgebiets	3
3	Geoelektrische Messungen	4
3.1	Grundlagen	4
3.2	Durchführung der Geoelektrikmessungen	4
3.3	Auswertung	5
4	GIS-gestützte Oberflächenmodellierung der Hydrologie	8
4.1	Grundlagen	8
4.2	Auswertung	8
5	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	10
6	Weiteres Vorgehen und Empfehlung	10

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vorgehensweise	2
Abb. 2: Ausschnitt aus geologischer Karte Blatt Basel mit Untersuchungsgebiet	3
Abb. 3: Geoelektrik-Profile (im Anhang)	12-14
Abb. 4a&b: Hydrologic Modelling	9
Abb. 5: Vorschläge für „direct push“ Messungen	10

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Profilabmessungen und Fehlerstatistik	5
Tab. 2: Begründung der Standortwahl für „direct push“ Messungen (im Anhang)	15

Literaturverzeichnis

11

Titelphoto: Geoelektrik-Profil B mit Blick nach Westen Richtung Basel

1 Auftrag und Ziel

Im Rahmen von Voruntersuchungen soll die Grundwasserqualität im Abstrom der Deponien Maienbühl und Münden beurteilt werden. Eine Überprüfung des schon bestehenden Messstellennetzes hat ergeben, dass dieses den Anforderungen nur teilweise entspricht und auf deutscher Seite Probeentnahmestellen vollständig fehlen.

Die Komplexität des geologischen Aufbaus, welche die Wasserwegsamkeit im Zu- und Abstrom der Deponien beeinflusst, ist nur wenig bekannt. Ein digitales geologisches 3D Modell der Struktur des Buntsandsteins stützt die Hypothese, dass die Kluftwässer in die Richtung des Autals drainieren. Die Wasserwege sind jedoch unbekannt.

Bei der üblichen Vorgehensweise werden Bohrungen zum Auffinden geeigneter Standorte für Grundwassermessstellen abgeteuft. In Gebieten mit Kluftwasserzirkulation und unbekannter Wasserwegsamkeit ist dieses Vorgehen wenig erfolgsversprechend und Kosten entsprechend unabsehbar.

Aus einer Kombination von nicht-invasiven, geoelektrischen Messungen (Multielektroden-Geoelektrik), GIS-gestützter Oberflächenmodellierung der Hydrologie und preisgünstigen, wenig Zerstörung anrichtenden kleinkalibrigen Rammsondierungen („direct push“), sollten mögliche Sondierstandorte für Grundwassermessstellen festgelegt werden. Dieses schrittweise Vorgehen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Geoelektrischen Messungen ergeben eine Verteilung der elektrischen Eigenschaften des Untergrundes. Aufgrund des Musters dieser Verteilungen und den Ergebnissen der hydrologischen Oberflächenmodellierung werden Standorte für kombinierte hydrogeologisch-geophysikalische Rammsondierungen („direct push“) vorgeschlagen. Die Ergebnisse der Rammsondierungen erlauben gleichzeitig eine Kalibrierung und Interpretation der Anomalien der Multielektroden-Geoelektrik sowie eine Probenahme von Boden und Sickerwasser für weiterführende Interpretationen der geophysikalischen Messungen.

Mit dem erweiterten Kenntnisstand sollen die Standorte für zusätzliche Bohrungen von Grundwassermessstellen im Zu- und Abstrom der Deponien festgelegt werden.

Der Bericht beinhaltet eine vorläufige Interpretation der Multielektroden-Geoelektrik sowie eine Erläuterung der GIS-gestützten Oberflächenmodellierung. Basierend auf diesen beiden Methoden werden Standorte für „direct push“-Sondierungen vorgeschlagen (Abb. 5).

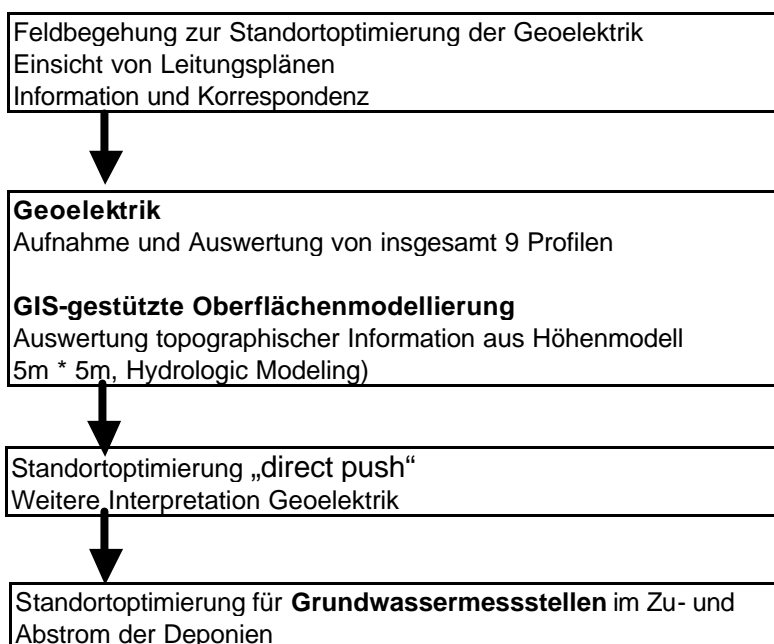


Abb. 1: Vorgehensweise

2 Geologie und Hydrologie des Untersuchungsgebiets

Die Deponien Maienbühl und Münden entsprechen vorwiegend den Auffüllungen der ehemaligen Buntsandstein-Steinbrüche dieses Gebietes (Abb. 2). Über die hydrogeologischen Eigenschaften des Buntsandsteins gibt es nur wenige Angaben. Der Buntsandstein liegt in zwei Ausbildungen vor. Die eine Ausbildung ist eher tonig-siltig die andere eher sandig. Erstere würde eine ausgeprägte Anisotropie der hydraulischen Eigenschaften bewirken mit kleineren Durchlässigkeiten in vertikaler Richtung (d.h. vertikal geringleitend); die sandige Ausbildung wäre dagegen erfahrungsgemäss eher wasserdurchlässig. Angaben über Kluffverteilungen fehlen. Man muss jedoch davon ausgehen, dass auch in den weniger durchlässigen, tonig-siltigen Abfolgen, bedingt durch Klüftung, eine Wasserzirkulation existieren kann. Weitere präferentielle Fliesswege werden allenfalls durch die Schichtgrenze dieser beiden Buntsandstein-Ausbildungen gebildet.

Das Untersuchungsgebiet war ursprünglich weitgehend von einer bis zu mehreren Metern mächtigen Lössschicht bedeckt. Diese eher schlecht durchlässige Deckschicht wurde im Laufe der Zeit durch verschiedene anthropogene Eingriffe verändert oder abgetragen.

Im Bericht „Bestimmung der Zuströmbereiche der Grundwasser-Fassungen Lange Erlen unter Einbezug der Aquifersysteme Lange Erlen und Dinkelberg“ [1] wurde mittels einer Multikriterien-Methode die Verletzlichkeit des Grundwassers (Vulnerabilität) in Einzugsgebieten von Trinkwasserbrunnen erfasst. Unter den Bereichen, für welche eine hohe Vulnerabilität ausgewiesen wurde, gehören die Flanken des mittleren Teils des Autals um die Hintere Auquelle sowie Bereiche des Maienbühls. Eine mögliche Gefährdung des Grundwassers sind Sickerwässer, welche von pharmazeutischen Substanzen dieser Deponien ausgehen und sich im Kluftaquifer des Buntsandsteins ansammeln. Darauf deuten Analyseresultate der Hintere Auquelle hin, wonach pharmazeutische Substanzen in Wasserproben nachgewiesen wurden (schriftliche Mitteilung AUE BS).

Ein digitales geologisches 3D Modell der Struktur des Buntsandsteins stützt die Hypothese, dass die Kluftwässer in die Richtung des Autals drainieren. Die Hintere Auquelle entwässert mit einer konstanten Schüttung von ca. 30 bis 60 l/min zu grosser Wahrscheinlichkeit aus dem Buntsandstein [2].

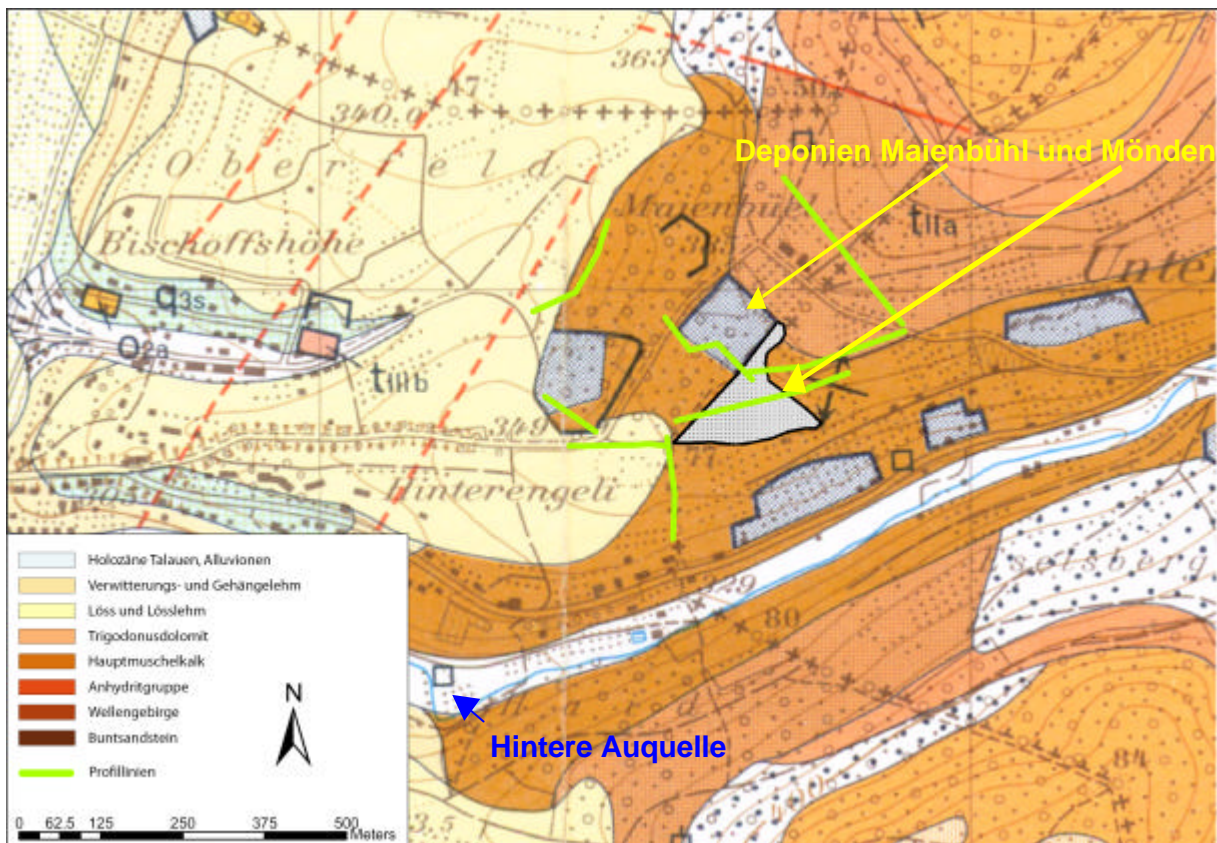


Abb. 2: Ausschnitt aus geologischer Karte Blatt Basel mit Untersuchungsgebiet

3 Geoelektrische Messungen

3.1 Grundlagen

Mit geoelektrischen Messungen können unterschiedliche spezifische Widerstände im Untergrund abgeschätzt werden. Der Widerstand des Untergrundes ist abhängig vom Poren- und Kluftvolumen, vom Sättigungsgrad mit Wasser und dessen Inhaltsstoffen (Elektrolyte). Der Widerstand des Untergrundes wird in Form einer lateralen Widerstandsverteilung bis in eine Tiefe von 30m kartiert.

Dazu wird durch Elektroden elektrischer Strom in den Untergrund eingespeist. Das dadurch aufgesetzte Potentialfeld wird anhand der Potentialdifferenz zwischen den verschiedenen Elektroden ermittelt. Der Charakter dieses Feldes ist abhängig von der Verteilung des elektrischen Widerstandes im Untergrund. Mögliche Verteilungen der elektrischen Widerstände werden durch Inversion der Potentialmessungen ermittelt (zur Theorie und Auswertung geoelektrischer Messungen wird auf weiterführende Literatur verwiesen [3-6]).

3.2 Durchführung der Geoelektrikmessungen

Zur Durchführung der geoelektrischer Feldmessungen waren eine Reihe von Vorabklärungen nötig:

- Diverse Feldbegehungen zur Festlegung von Standorten für Multielektroden-Geoelektrik
- Beantragung von Leitungsplänen (Gas, Wasser, Strom und Telefon) für das Schweizer und deutsche Gebiet. Störkörper dieser Art in unmittelbarer Umgebung zu den Geoelektrik-Profilen würden die Messergebnisse beeinflussen.
- Terminabsprache mit dem Bauern des Maienbühlhofs (Weidegang des Viehs und Ernte), Unterbruch der Elektrozaune.
- Freilegung von zwei Schneisen für Geoelektrik-Profile im Wald (Absprache Forstamt).
- Information der Schrebergartenbesitzer über in die in ihren Gärten stattfindenden Messungen (Herr Hildebrand Bürgermeister Gemeinde Inzlingen).
- Organisation von Fahrbewilligungen (Gemeindepolizei Riehen)

Die Geoelektrikmessungen fanden zwischen dem 01.06.04 und dem 15.06.04 statt. Weitere Messungen mussten bis zur Ernte eines Getreidefeldes auf den 05.08.04 und den 10.08.04 verschoben werden. Insgesamt wurden neun Geoelektrik-Profile aufgenommen (Abb. 2). Dabei wurden auf Wunsch der Projektleitung ein zusätzliches geoelektrisches Profil im Zustrom der Deponien aufgenommen.

Meteorologische Randbedingungen:

Am 01.06.04, an dem das Profil A aufgenommen wurde, regnete es kontinuierlich mit unterschiedlicher Intensität, am 10.08.04, an dem das Profil H aufgenommen wurde, regnete es stark gegen Ende der Messung, wobei die Messung nach Beendigung des Regens wiederholt wurde. Die übrigen Tage waren trocken und grösstenteils sonnig.

Messanordnung:

Alle Aufnahmen wurden mit der Wenner-Anordnung durchgeführt. Das verwendete Messsystem besteht aus 42 Elektroden die entlang unterschiedlich langer Profilsuren in gleichen Abständen angeordnet wurden. Mit dieser Anordnung ist es möglich, vertikale Veränderungen, also horizontale Strukturen (horizontale Schichtflächen), gut aufzulösen [4].

Aufnahme der Topographie:

Reliefbetonte und schlecht zugängliche Profile wurden nivelliert. Parallel hierzu wurden an markanten Punkten Koordinaten mit einem GPS Gerät aufgezeichnet.

3.3 Auswertung

Der gemessene scheinbare Widerstand wird mit Hilfe eines Inversionprogrammes in den wahren Widerstand umgerechnet. Ergebnis ist eine Widerstandsverteilung über die Tiefe. Einzelne auffällige Datenpunkt-Ausreisser können eingangs gelöscht werden. Durch eine Optimierungsmethode wird die Differenz zwischen dem berechneten und dem gemessenen scheinbaren Widerstand minimiert. Diese Differenz gibt Auskunft über die Qualität der Daten. Die Ergebnisse können in unterschiedlichen, selbst definierten Widerstandsskalen dargestellt werden, wobei zum Vergleich der einzelnen Geoelektrik-Profile untereinander eine geringauflösende Skala und für die Darstellung von kleinräumigen Inhomogenitäten im Untergrund eine hochauflösende Skala verwendet wurde. Tiefe elektrische Widerstände werden blau, hohe elektrische Widerstände rot dargestellt. Durch Integration der Topographie wurde eine Höhenkorrektur mit relativen Höhen durchgeführt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die einzelnen Profile und die Qualität der Datensätze. Der RMS-Fehler entspricht der Berechnung der Standardabweichung zwischen gemessenen und berechneten Widerstand und gibt somit einen mittleren Fehler an. Standardabweichungen um 2 % lassen auf eine gute Qualität der Daten schliessen. Dieser Wert wird durch die meisten Datensätze erreicht, abgesehen von den Datensätzen der Profile A und H2.

Tab. 1: Profilabmessungen und Fehlerstatistik

Profil	Elektrodenabstand	Gesamtlänge (m)	RMS-Fehler
A	5	230	8.4
B	5	180	1.3
C	2	58	0.54
D	2	82	0.83
E	4	164	2.1
F	5	205	2.2
G	5	285	1.8
H	4	164	0.99
H 2	4	164	8.4
I	4	164	1.1

Im folgendem werden die einzelnen Geoelektrik-Profile (Abb. 3 A – I im Anhang) diskutiert sowie bevorzugte Standorte für „direct push“ begründet und zusammenfassend in Tabelle 2 im Anhang dargestellt. Die Profile sind von Westen nach Osten zu lesen (Profil H von oben nach unten, vergleiche Abb. 2).

Abbildung 5 gibt einen Überblick über die bevorzugten Standorte für „direct push“ Messungen abgeleitet aus den Ergebnissen der Geoelektrik und der später noch beschriebenen Methode der GIS-gestützten Oberflächenmodellierung. Dabei wurden die ausgesuchten Standorte nach Priorität von 1 (wichtig) bis 3 (wünschenswert) sortiert.

Profil A (Abb. 3A):

Die Widerstandsverteilung im Profil A ist sehr heterogen. Da sich das Profil direkt auf der Deponie Münden befindet, ist diese Heterogenität durch anthropogene Aufschüttungen zu erklären. Vor allem am Deponierand ist diese Heterogenität sehr ausgeprägt. In der Mitte des Profils kann in einer Tiefe von ca. 5m eine Struktur mit verhältnismässig grossen Widerstandswerten ausgemacht werden, welche sich in die Tiefe fortsetzt (eventuell anstehender Buntsandstein). Für die Standortwahl für „direct push“ steht die Frage nach der Bedeutung der geoelektrischen Anomalien, bedingt durch die anthropogene Auffüllungen und die Geologie des Untergrundes, im Vordergrund.

Profil B (Abb. 3B):

In Profil B sind horizontale Strukturen erkennbar, die durch die noch durchzuführenden „direct push“ Messungen interpretiert werden könnten. Auffallend ist ein Versatz der horizontalen Strukturen bei ca. 110m, der durch eine Verwerfung erklärt werden kann. Weiter sind noch zwei Bereiche mit geringen Widerstandswerten im Untergrund auszumachen, die als potentielle bevorzugte Wasserwege in Frage kämen und deshalb durch ergänzende „direct push“ Messungen näher untersucht werden sollen.

Profil C (Abb. 3C):

Profil C schliesst östlich an Profil B an. Dabei ist zu berücksichtigen, dass wegen der kurzen Profillänge und einem geringen Elektrodenabstand die Eindringtiefe geringer ist. Deutlich können aber auch hier horizontalen Strukturen beobachtet werden. Hier werden zwei Standorte für „direct push“ vorgeschlagen, welche in Zonen mit einer heterogenen Widerstandsverteilungen liegen.

Profil D (Abb. 3D):

Profil D liegt im Wald. Oberflächennahe hohe Widerstandswerte, verbunden mit einer hohen Heterogenität, können mit einem durchwurzelteten Oberboden erklärt werden. Bei ca. 48m ist eine vertikale Struktur erkennbar (Bruch). Beidseits dieser Struktur soll jeweils eine „direct push“ Messung stattfinden, um die geoelektrischen Messungen besser interpretieren zu können.

Profil E (Abb. 3E):

Das Profil E wurde unmittelbar unterhalb der Deponie Maienbühl angesetzt. Deutlich werden hier die Einbauten der Piezometer und Sickerschächte abgebildet. Vorschläge für „direct push“ Messungen sollen weitere Informationen über zu erkennende vertikale Strukturen, horizontale Schichtungsverhältnisse und die Zusammensetzung anthropogener Aufschüttungen am Deponierand Münden liefern.

Profil F (Abb. 3F):

In Profil F sind deutlich horizontale Strukturen zu erkennen. Auffallend ist ein Versatz der horizontalen Strukturen bei ca. 85m, die durch eine Verwerfung erklärt werden können. Weiter tritt auch der Oberboden mit einer sehr heterogenen Widerstandsverteilung zum Vorschein. Neben der vermuteten Verwerfung soll die horizontale Schichtung durch „direct push“ Messungen näher untersucht werden.

Profil G (Abb. 3G):

Profil G wurde so gewählt, dass auch im Zustrombereich der Deponie das hydrogeologische Verständnis erweitert und zusammen mit den noch durchzuführenden „direct push“ Messungen ein optimaler Standort für eine Grundwassermessstelle im Zustrom, wie von der Projektleitung verlangt, gefunden wird. Deutlich treten hier die das Profil kreuzenden Wege und horizontale Strukturen zum Vorschein. Zwischen 140m und 170m liegt bei einer Tiefe ab ca. 10m ein Bereich mit verhältnismässig niedrigeren Widerstandswerten. Bei ca. 60m beginnt in einer Tiefe von ca. 15m ebenfalls ein Bereich mit vergleichsweise geringeren Widerständen. Diese Bereiche sollen durch „direct push“ Messungen näher erkundet werden.

Profile H (Abb. 3H):

Die beiden Profile H sind dadurch, dass zweimal gemessen werden konnte, sehr aussagekräftig. Es wurde vor und nach einem Niederschlagsereignis von ca. 5mm gemessen. Vor dem Niederschlag sind deutlich horizontale Strukturen zu erkennen, welche hangabwärts ausdünnen. Nach dem Niederschlagsereignis sind die zuvor klar erkennbaren horizontalen Strukturen vor allem im Ober- und Mittelhang nicht mehr erkennbar. Im Mittelhang sind nun vertikale Strukturen mit im Vergleich zum Geoelektrikprofil vor dem Niederschlag niedrigeren Widerständen erkennbar. Bei 46m in einer Tiefe von ca. 8m und bei 92m in einer Tiefe von ca. 2.5m haben sich Zonen mit geringerem Widerstand gebildet. Die Ergebnisse zeigen, dass schon nach einem relativ kurzen, starken Niederschlagsereignis eine Veränderung des elektrischen Widerstand infolge einer Änderung des Wassergehaltes eintritt. Dies ist unter Umständen ein Hinweis für die Existenz bevorzugter Fliesswege. Bereiche mit deutlicher Abnahme des Widerstandes nach dem Niederschlagsereignis sollen mit „direct push“ Messungen noch näher erkundet werden.

Profil I (Abb. 3I):

Im Profil I sind deutlich horizontale Strukturen zu erkennen, die in der Mitte des Profils in grössere Tiefen reichen. Durch drei „direct push“ Messungen könnten diese Strukturen interpretiert werden. Ab etwa 70m ist eine heterogene Verteilung des Widerstandes in geringen Tiefen bis 5m zu beobachten.

4 GIS-gestützte Oberflächenmodellierung der Hydrologie

4.1 Grundlagen

Mit Hilfe der ArcMap-Erweiterung „Hydrologic Modeling“ ist es möglich, die Oberflächenhydrologie eines Einzugsgebietes zu analysieren. Als Grundlage dient ein Raster-Höhenmodell in einer Auflösung von 5m x 5m (zur Verfügung gestellt von der Gemeinde Riehen). Die Analyse der Oberflächenhydrologie beginnt mit der Erstellung eines hydrologisch korrekten Höhenmodells, dazu werden in mehreren Schritten die topographischen Senken des Raster-Höhenmodells gefüllt. Senken müssen deshalb gefüllt werden, da sonst der in den Senken akkumulierte, modellierte Abfluss nicht am weiteren Fliessgeschehen teilnehmen würde. Darauf wird die Exposition jeder Rasterzelle in Bezug zu seinen Nachbarzellen ermittelt, um die Fliessrichtung der betrachteten Zelle zu evaluieren. Die Fliessrichtung wird vom Höhenmodell berechnet und jeder Zelle ein Richtungswert zugewiesen, je nachdem in welche Nachbarzelle sie abfließt. Die Fliessrichtung folgt der grössten Hangneigung nach unten. Wenn in einer direkten Nachbarschaft keine klare Abflussrichtung gefunden wird, wird das Analysefenster vergrössert, bis ein Abfluss gefunden ist.

Für jede Rasterzelle können nun die Bereiche ermittelt werden, die hangaufwärts liegen und in die betrachtete Zelle entwässern. Diese Methode ermöglicht, das oberflächliche Einzugsgebiet zu ermitteln.

Eine weiterer Anwendung dieser Modellierung ermöglicht, Rasterzellen darzustellen, die einen Zufluss aus einer bestimmten Mindestzahl an hangaufwärts gelegenen Zellen haben. Somit können durch die Oberflächentopographie bedingte Verzweigung und Konfluenz der Fliesswege dargestellt werden.

4.2 Auswertung

In den Abbildungen 4a&b wurden zwei Darstellungen gewählt. Als dunkelblaue Linien werden Zellen dargestellt, in die nach der oben beschriebenen Methode mindestens 200 hangaufwärts gelegene Zellen (5000 m²) entwässern. Hellblaue Linien beschreiben Zellen mit einem Zufluss von mindestens 50 Zellen (1250 m²). Die Fliesswege stellen präferentielle Fliesswege des Oberflächenabflusses dar. Bei der Auswertung für die „direct push“ Messungen wird die Annahme zugrunde gelegt, dass solche Fliesswege auch Wasserwegsamkeiten im Untergrund anzeigen. Für künstliche Strukturen, wie z.B. eingetiefte Wege (Hohlwege), gilt diese Annahme nicht, weshalb diese bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt werden.

Der Hintergrund der Abbildung 4a ist das Rasterhöhenmodell in einer Auflösung von 5m x 5m. In Abbildung 4b wird das Relief durch Flächentönung in gleitenden Übergängen unter Berücksichtigung von Licht und Schattenlängen, bei einer angenommenen Beleuchtung von NW, dargestellt.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Multielektroden-Geoelektrik wurden insgesamt 15 Standorte der Priorität 1 für „direct push“ Messungen ausgeschieden. Hinzu kommen 11 Standorte der Priorität 2. oder 3 sowie 7 Standorte, die durch die hydrologische Oberflächenmodellierung ausgeschieden wurden.

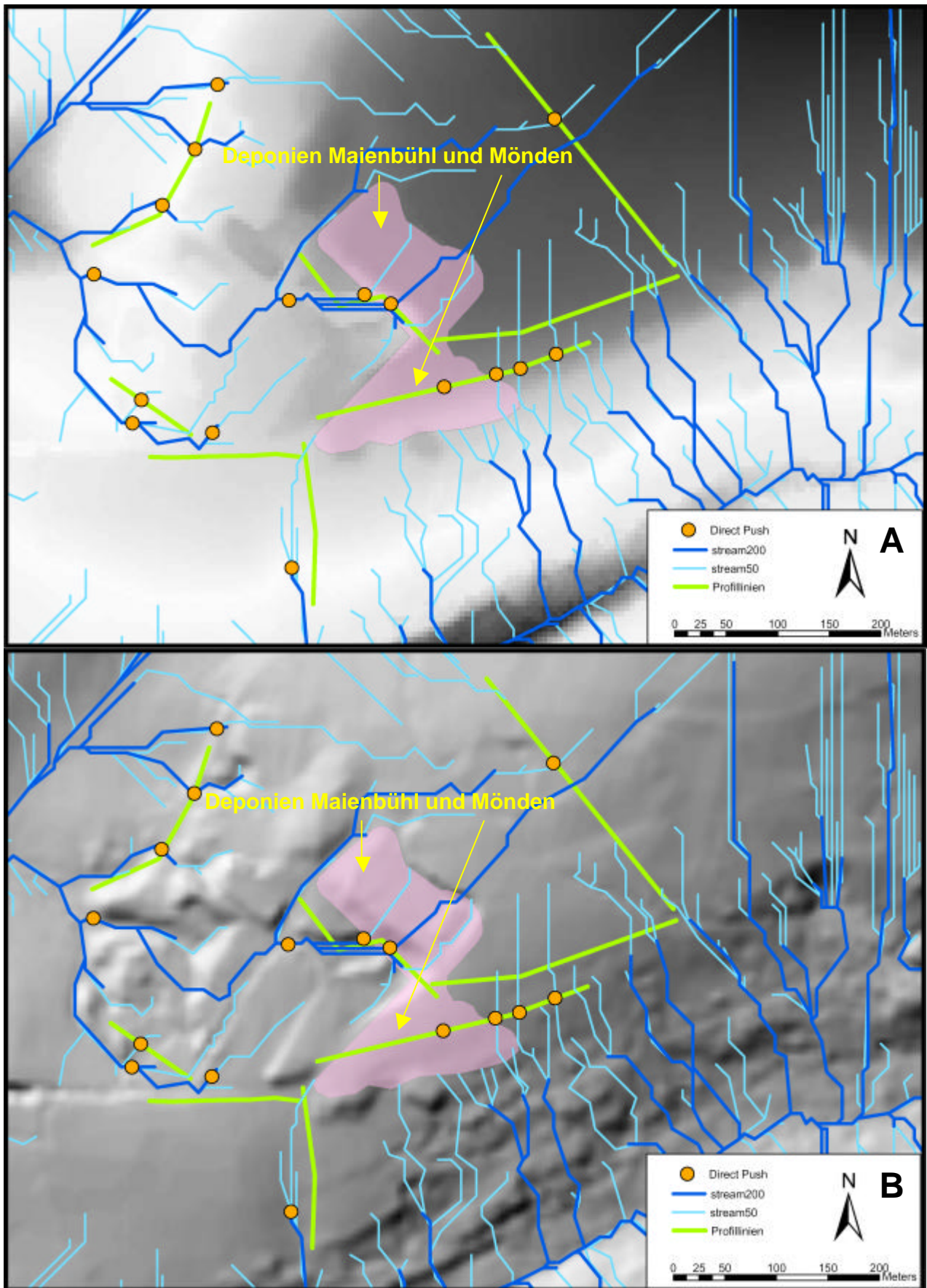


Abb. 4a&b: GIS-gestützte Oberflächenmodellierung der Hydrologie

- Hintergrund: Rasterhöhenmodell
- Hintergrund: Relief als Schummerung

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die geoelektrische 2D-Widerstandskartierung lässt neben horizontalen Strukturen und anthropogenen Auffüllungen auch vertikale Strukturen wie zum Beispiel Brüche und Zonen mit geringem elektrischen Widerstand erkennen. Diese liefern möglicherweise Hinweise für präferentielle Fließwege im Untergrund.

Die Fehlerstatistik der jeweiligen Geoelektrik-Profile zeigt, dass die meisten Profile auf guten Felddatensätze basieren. Gewisse Unsicherheiten finden sich bei zwei Profilen, die während oder nach Niederschlagsereignissen aufgenommen wurden.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Geoelektrik und einer GIS-gestützten Oberflächenmodellierung der Hydrologie werden insgesamt 33 Standorte für weitere geophysikalische Messungen in Form von „direct push“ vorgeschlagen (Abb. 5). Begründung für die jeweiligen Standortwahlen sind in der Tabelle 2 im Anhang zusammengefasst.

Auffallend ist, dass 9 der 16 Standorte, die aufgrund der Oberflächenmodellierung vorgeschlagen werden, mit den Vorschlägen der Multielektroden-Geoelektrik korrespondieren. Die sieben zusätzlichen Standorte liegen in Bereichen ausserhalb der Geoelektrik-Profile. Die dort vorgeschlagenen „direct push“ Messungen erlauben eine Vervollständigung des geologisch-hydrologischen Bildes ohne zusätzliche Geoelektrik-Messungen

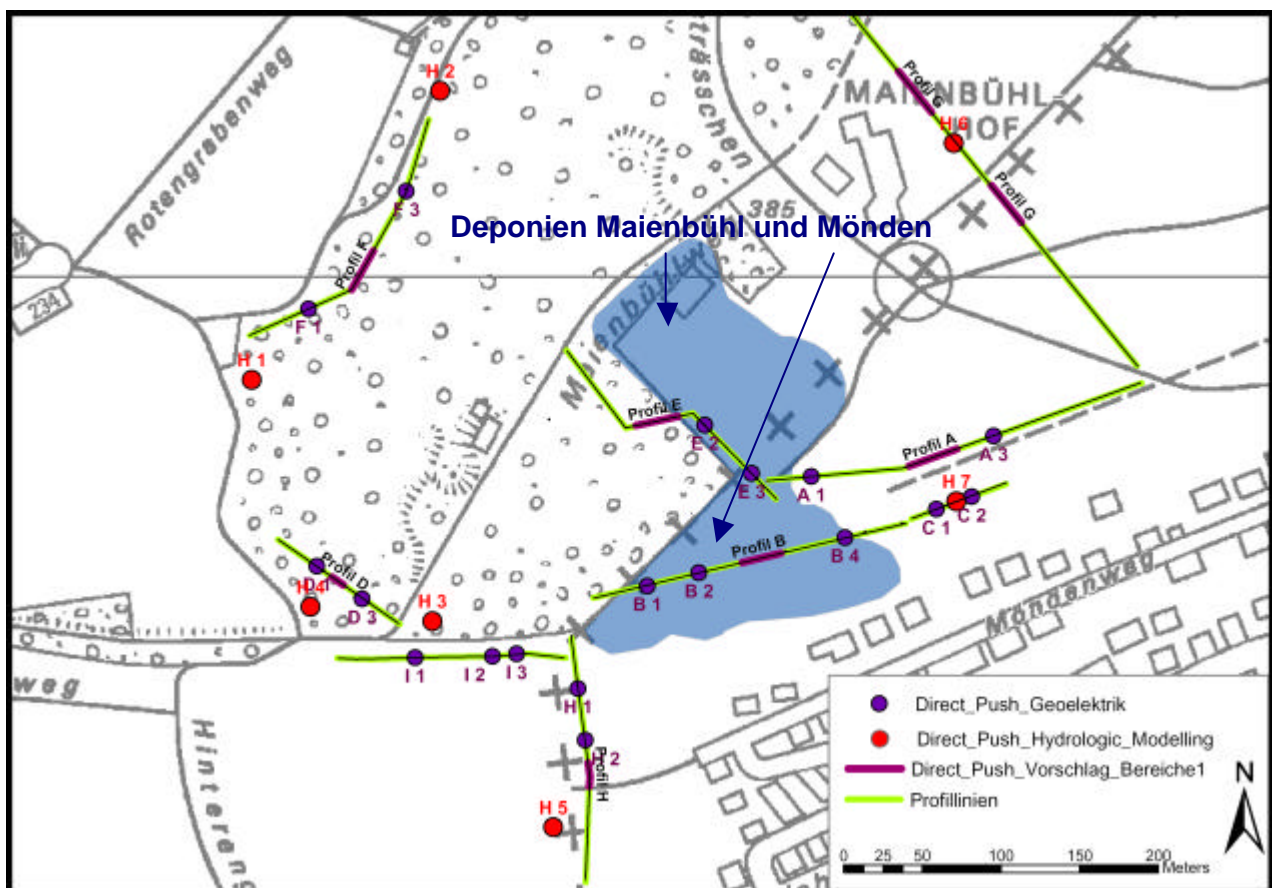


Abb. 5: Vorschläge für „direct push“ Messungen

6 Weiteres Vorgehen und Empfehlung

Als nächster Schritt sollen „direct push“ Messungen im Untersuchungsgebiet durchgeführt werden. Falls bei einzelnen Sondierungen Wasser vorhanden ist, wäre es möglich, unmittelbar Wasserproben zu entnehmen. Die Analytik dieser Wasserproben während der Erkundungsphase kann eine sinnvolle Möglichkeit darstellen, potentielle Messstellen zu beurteilen und vor dem Bau neuer Messstellen, Erkenntnisse über Wasserinhaltsstoffe des Deponiekörpers zu gewinnen. Die

Resultate der Analytik könnten schrittweise zur Optimierung des weiteren Messprogramms (z.B. Optimierung der Probennamezahl) beitragen.

Da die vorgeschlagenen Standorte für „direct push“ Messungen teilweise in bewaldetem Gelände liegen, müssen diese Messungen in der vegetationslosen Jahreszeit bis März 2005 erfolgen.

Zum Schluss möchten wir darauf hinweisen, dass geoelektrische Untersuchungen auch in Zukunft zur Beantwortung von spezifischen Fragestellungen eingesetzt werden könnten: Flächen- und volumenmäßigen Kartierung der anthropogenen Auffüllungen, Beurteilung der Deponiebasis sowie des Untergrundes unterhalb und in der Umgebung einer Auffüllung, Abgrenzung unterschiedlicher Auffüllungsbereiche innerhalb einer Deponie, Detektion metallischer Gegenstände (Fässer), Evaluation von bevorzugten Fließpfaden bei Starkniederschlagsereignissen.



Prof. Dr. P. Huggenberger
Kantonsgeologe Basel-Stadt

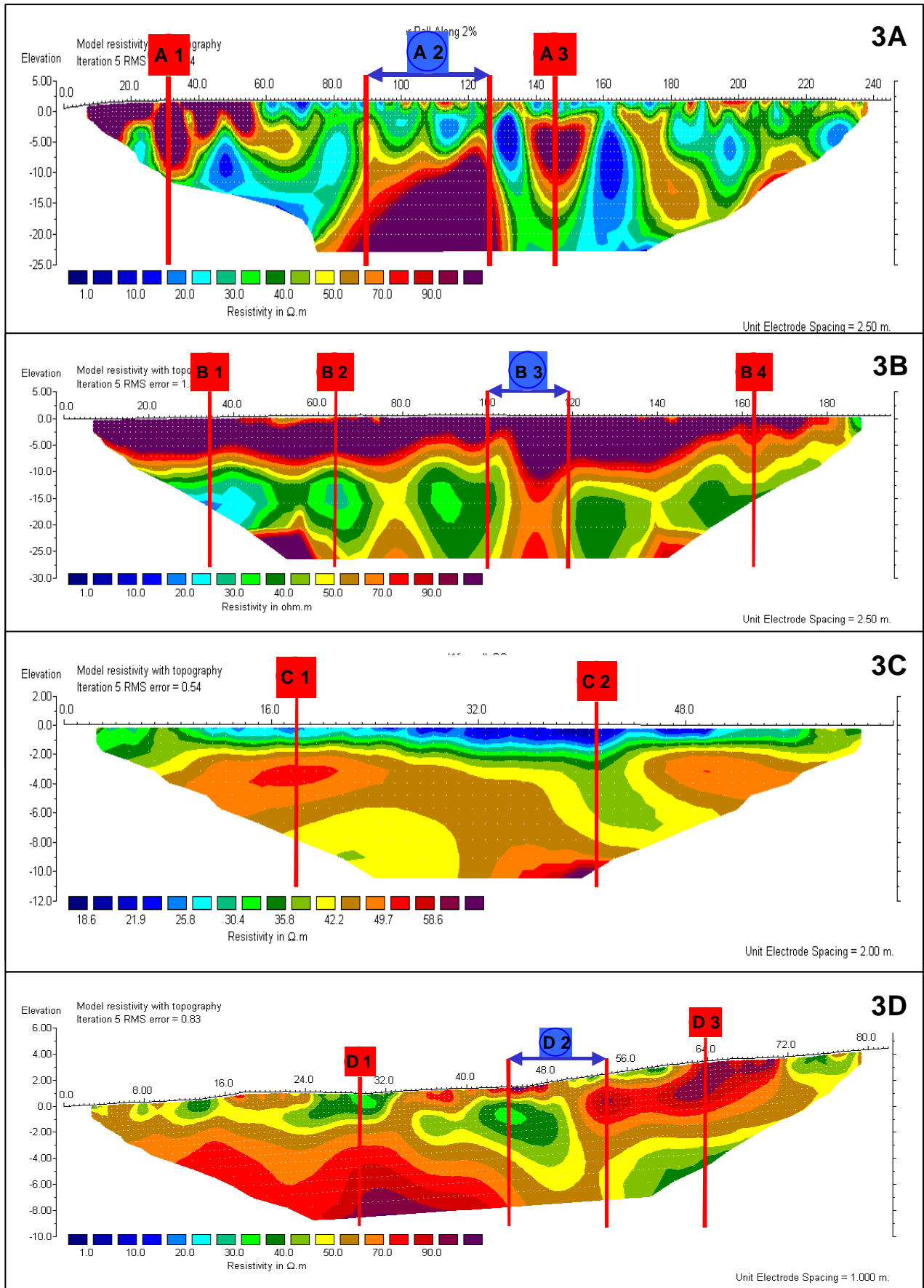
Sachbearbeitung:

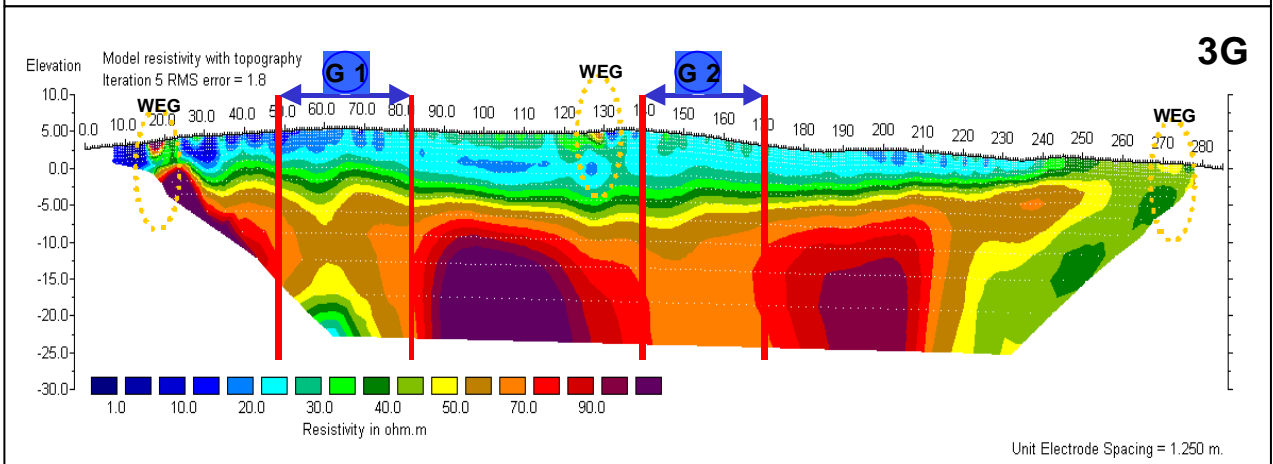
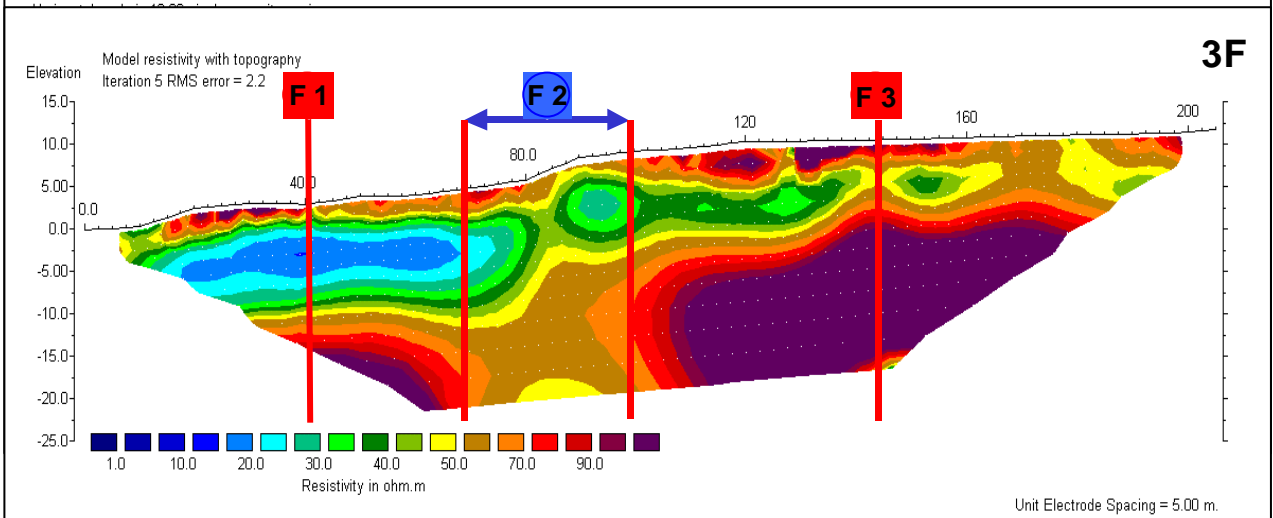
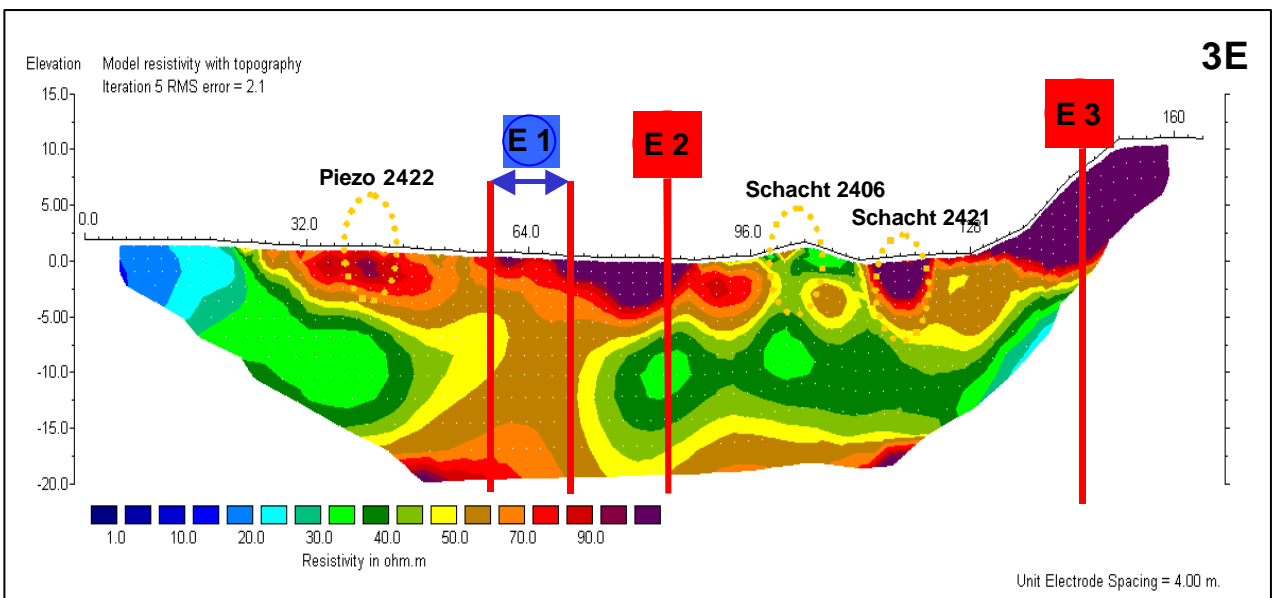
Dipl. Geol. C. Butscher
Dipl. Hydr. J. Epting
Prof. Dr. P. Huggenberger
Dipl. Geol. I. Spottke

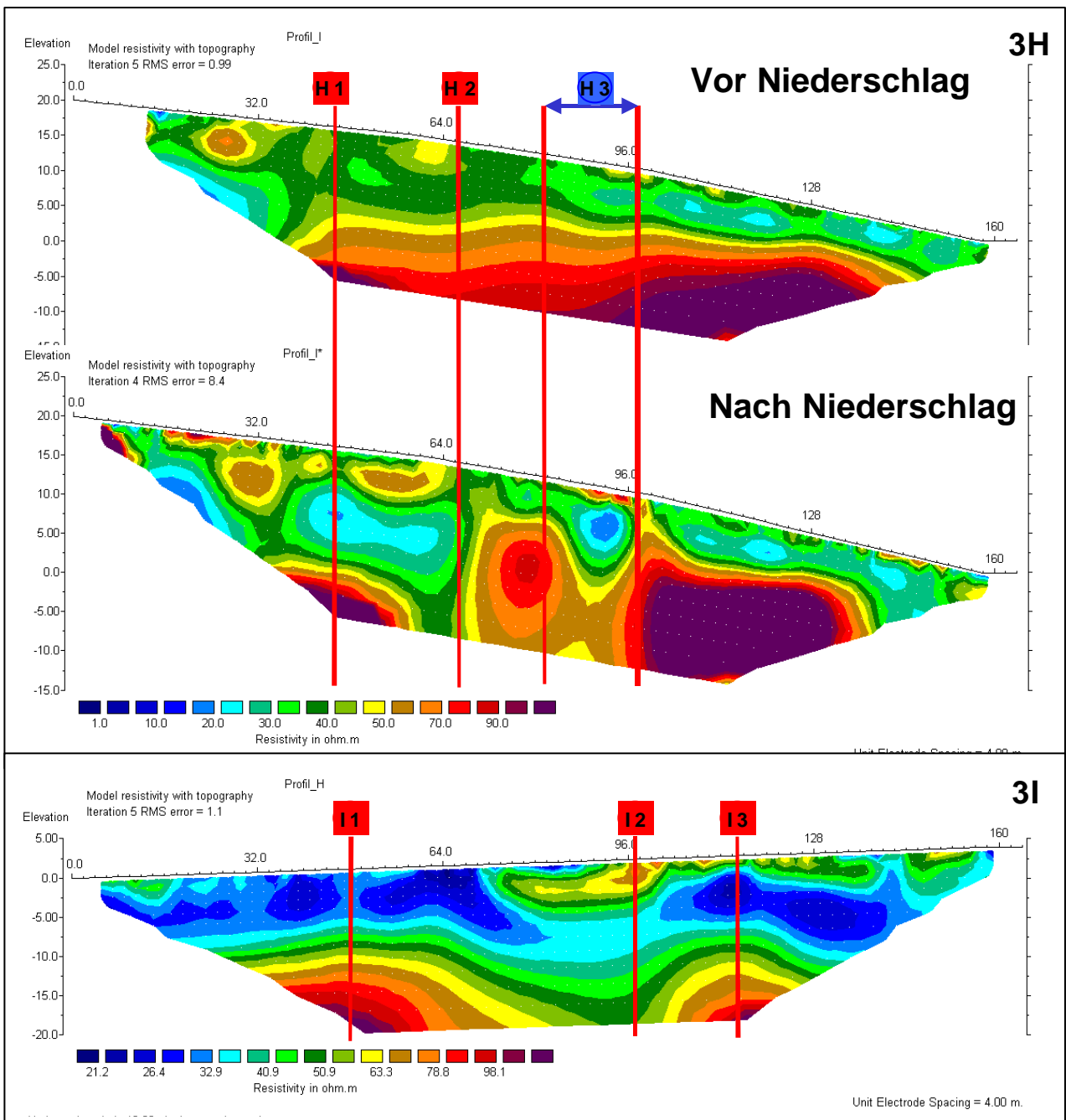
Literatur

- [1] GPI (2001): Bericht „Bestimmung der Zuströmbereiche der Grundwasser-Fassungen Lange Erlen unter Einbezug der Aquifersysteme Lange Erlen und Dinkelberg“.
- [2] Bitterli-Bunner, P. (1976): Hydrogeologischer Bericht und Schutzzonenausscheidung der Quellen der Gemeinde Riehen (Baugrundarchiv GPI).
- [3] Donner, F. (1997): Moderne Mess- und Auswertverfahren in der Widerstandsgoelektrik – mit Anwendungsbeispielen. Z. angew. Geol. 42/3.
- [4] Loke, H. (2000): Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies – A practical guide to 2-D and 3-D surveys. Copyright by Dr. H. Loke.
- [5] Mares, S. (1984): Introduction To Applied Geophysics. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- [6] Schön, J (1983): Petrophysik. Akademie-Verlag, Berlin.

Anhang: Abbildung 3 (A – I)







Tab. 2: Begründung der Standortwahl für „direct push“ Messungen

Profil		Standort	Begründung der Standortwahl	Priorität 1- 3
A	A 1	30 m	Bereich mit hoher Heterogenität der Widerstandswerte Schluss auf Heterogenitäten im Untergrund, sehr wahrscheinlich bedingt durch anthropogene Aufschüttungen am Deponierand	1
	A 2	90 - 125 m	Wechsel der Widerstandswertes in die Tiefe fortlaufend, Anstehender Buntsandstein? (evtl. Vergleich mit Information aus historischer Untersuchung)	2
	A 3	145 m	Bereich mit hoher Heterogenität der Widerstandswerte Schluss auf Heterogenitäten im Untergrund, sehr wahrscheinlich bedingt durch anthropogene Aufschüttungen	1
B	B 1	35 m	Bereich mit niedrigen Widerstandswerten in der Tiefe	1
	B 2	64 m	Bereich mit niedrigen Widerstandswerten in der Tiefe	1
	B 3	100 - 120 m	Vertikale Struktur, evtl. Bruch, horizontale Strukturen werden versetzt	1
	B 4	165 m	Bereich mit niedrigeren Widerstandswerten	2
C	C 1	18 m	Bereich mit höheren Widerstandswerten	2
	C 2	41.5 m	Bereich mit niedrigeren Widerstandswerten in die Tiefe fortlaufend	3
D	D 1	29.5 m	Bereich mit niedrigeren Widerstandswerten	3
	D 2	44 - 54 m	Wechsel der Widerstandswertes in die Tiefe fortlaufend	1
	D 3	64 m	Bereich mit höheren Widerstandswerten	2
E	E 1	59 - 70 m	Vertikale Struktur, evtl. Bruch	2
	E 2	89 m	Bereiche mit niedrigeren Widerstandswerten	1
	E 3	146 m	Bereich mit sehr hoher Heterogenität der Widerstandswerte Schluss auf Heterogenitäten im Untergrund, sehr wahrscheinlich bedingt durch anthropogene Aufschüttungen am Deponierand (Anschlussprofil an A)	1
F	F 1	40 m	Beschreibung der horizontalen Strukturen	1
	F 2	70 – 100 m	Übergangsbereich, evtl. Bruchstruktur	1
	F 3	143 m	Kleinräumige Heterogenität	2
G	G 1	50 – 80 m	Heterogenität mit geringeren Widerstandswerten in die Tiefe fortlaufend	1
	G 2	140 – 170 m	Heterogenität mit geringeren Widerstandswerten in die Tiefe fortlaufend	2
H	H 1	34 m	Heterogenität mit geringeren Widerstandswerten in die Tiefe fortlaufend	1
	H 2	68 m	Orte mit Verringerung der Widerstandswerte nach Niederschlag	1
	H 3	82 - 98 m	Orte mit Verringerung der Widerstandswerte nach Niederschlag	1
I	I 1	48 m	Verifizierung Schichtungsstruktur	3
	I 2	97 m	Verifizierung Schichtungsstruktur, kleinräumige Heterogenität	3
	I 3	115 m	Verifizierung Schichtungsstruktur	1
				Summe: 26
Zusammen mit 7 Standorten aus der Methode Hydrologic Modeling				Gesamtsumme: 33