BGI INSTITUT FÜR ERD- UND GRUNDBAU

Dr.-Ing. Jochen Schäfer

Staatlich anerkannter Sachverständiger für Erd- und Grundbau
◆ Bundesingenieurkammer ◆

Öffentlich best. und vereidigter Sachverständiger für Baugrund-untersuchung und Gründungen
◆ IHK Dortmund ◆

Dipl.-Ing. F.J.Giljohann

Alter Markt 12
59821 Arnsberg
Telefon 02931 2 15 15
Telefax 02931 2 15 16

Selkamp 16
44287 Dortmund
Telefon 0231 44 97 - 0
Telefax 0231 44 97 - 44

Internet: www.bgi-ar.de
www.baugrundingenieure.de

BGI Baugrundingenieure · Alter Markt 12 · 59821 Arnsberg

Stadt Brilon
Stadtplanung
Herrn Dipl.-Ing. Oswald
Am Markt 1

59929 Brilon

Datum: 15.8.2018

Ihr Zeichen:

Unser Zeichen: 17 29-2 be3
Bergbau im Bereich Drübel, Brilon
Klärung der bergbaulichen Gegebenheiten -
Ergebnisse der Geoelektrischen Messungen

Bericht 17 29-2 be3

1. Vorgang

Die Stadt Brilon plant die Vermarktung eines Grundstückes im Bereich Drübel in Brilon. Das ehemalige Hotel/Schwesternwohnheim ist abgerissen, die freie Fläche soll vermarktet werden. Die Fläche ist bewaldet bzw. mit Büschen/Unterholz besetzt.
Zur Klärung der bergbaulichen Verhältnisse / Gefährdungslage wurden die **Baugrundingenieure** von der Stadt Brilon mit einer abgestuften Vorgehensweise beauftragt.

In der **ersten Stufe** wurde im Bericht 17 29be2 vom 3.10.2017 der Stand nach Studium von Archivunterlagen sowie Einsichtnahme in die Grubenbilder und Verleihungsrisse bei der Bezirksregierung Arnsberg, (Abteilung 8 - Bergbau und Energie, NRW) Goebenstraße 25/27 in Dortmund dokumentiert.

In der **zweiten Stufe** wurden im Auftrag der Stadtverwaltung Brilon, vom Geophysikbüro Munstermann, Gommern (GBM) , Geoelektrischen Messungen durchgeführt, die in diesem Bericht dargestellt und erläutert werden.
Desweiteren werden Vorschläge zur weiteren Erkundung unklarer Stellen durch direkte Erkundung durch Bohrungen unterbreitet.

2. Unterlagen

Folgende Unterlagen standen zur Bearbeitung des vorliegenden Berichts zur Verfügung:

a)	Plangebiet Stadt Brilon,	diverse Maßstäbe
b)	Auszüge Amtlicher Grubenbilder und Risswerke Bezirksregierung Arnsberg	div. Maßstäbe
c)	Geologische Karte: Blatt Arnsberg (C 4714) Geologische Karte: Blatt Brilon 19 31	M 1: 100 000 M 1: 25 000

d) BG I Bericht 17 29 be 1 vom 5.9.2017
Grubenbildeinsichtnahme bei der Bezirksregierung Arnsberg Abteilung 6 Bergbau und Energie in NRW am Dienstag, den 01. 08. 2017

e) Untersuchung/Sanierung Tagesbruch Hoppecker Straße Brilon
Bearbeitungs-Nr.: 3420-2003-583-100,
Auszug (unvollständig)
DMT, Essen vom 29.4.2004

f) Heinz Wilhelm Hänisch Bergbau in Brilon Stand 2004.doc
- Der Metall-, Schiefer-, Baryt- und Marmorbergbau von 1200 bis 1951 auf der Briloner Hochfläche -
Manuskriptbasierte Version als Vorläufer der endgültigen Ausgabe
1. Auflage August 2003, mit Ergänzungen vom Oktober 2003

g) BG I Bericht 17 29 be 2 vom 3.10.2017
Klärung der bergbaulichen Gegebenheiten - Auswertung vorhandener Unterlagen

3. Örtlichkeit

Die Fläche ist im folgenden Luftbild dargestellt, im Bild aus dem Jahre 2003 ist das jetzt abgerissene Gebäude noch sichtbar.

Bild 1: Luftbild 2003 mit (jetzt abgerissenem) Hotel - Hoppecker Straße

Das Gelände ist mit Unterholz und Wald bestanden, die Geländeoberfläche ist **unterschiedlich stark künstlich verändert** worden. So sind Abgrabungen sowie steile Böschungen/Klippen kartiert.

Die Geländeoberfläche ist stark zergliedert und weist unterschiedliche Neigungen und Versprünge/Klippen auf.

Die ehemals bebaute Fläche (Hotel/Schwesternwohnheim) befindet sich in einem Seiteneinschnitt, auf der Bergseite ist leicht eingegraben, auf der Talseite aufgeschüttet worden. Die bebaute Fläche ist etwa hangparallel angelegt worden und weist entsprechend der Topografie ein unterschiedliches Gefälle zur Hoppecker Straße auf.
Die ehemals bebaute Fläche ist in der Örtlichkeit kaum noch zu erkennen.

Aufgrund des starken Bewuchses mussten Schneisen für die geoelektrischen Untersuchungen geschlagen werden.
Die Lage der Schneisen wurde vom Vermessungsbüro lagenmäßig eingemessen und die Endpunkte der Profile ausgepflockt. Leider wurde keine höhnengemäße Aufnahme durchgeführt, für die weiteren Aufschlussarbeiten ist diese jedoch erforderlich.

4. Geologie / Bergbau

Im Bereich des Geländes ist mit folgenden geologischen Verhältnissen zu rechnen:

Eine Lockergesteindecke ist nicht verzeichnet. Die Überlagerung felsiger Basisgesteine wird in der Regel nur dann weggelassen, wenn diese weniger als 3,0 m beträgt.

In der Baufläche ist **massig bis bankiger, verkarsteter Kalkstein** (Massenkalk) des Devons verzeichnet. Der Massenkalk im Briloner Raum gliedert sich in Schwelmer-, Eskenberger- und den Dorper Kalk. Der Schwelmer- und **Eskenberger Kalk** werden stratigraphisch dem Mitteldevon zugeordnet. Der Dorper Kalk entstand während des Oberdevons. Im Untersuchungsgebiet stehen die Schichten des Eskenberger Kalkes an.
Innerhalb des mitteldevonischen Massenkalkes treten **Kalkspatgänge** *bis* zu einer Mächtigkeit von ca. 7 m im Untersuchungsgebiet auf. Die abbauwürdigen Kalkspatgänge im Briloner Raum sind an Störungszonen gebunden, die meist ein **Generalstreichen von NNW nach SSO** aufweisen und auf eine hydrothermale Bildung zurückzuführen sind.

Das Grundstück und die Bergbausituation ist im **Bild 2** dargestellt und liegt über dem Bergwerksfeld *Briloner Districts Verleihung* (Eisenerz) und *Briloner Galmei District* (Galmei, Blei-, Zink-, Kupfererz und Schwefelkies) sowie dem Bergwerksfeld *Karthaus* (Marmor).

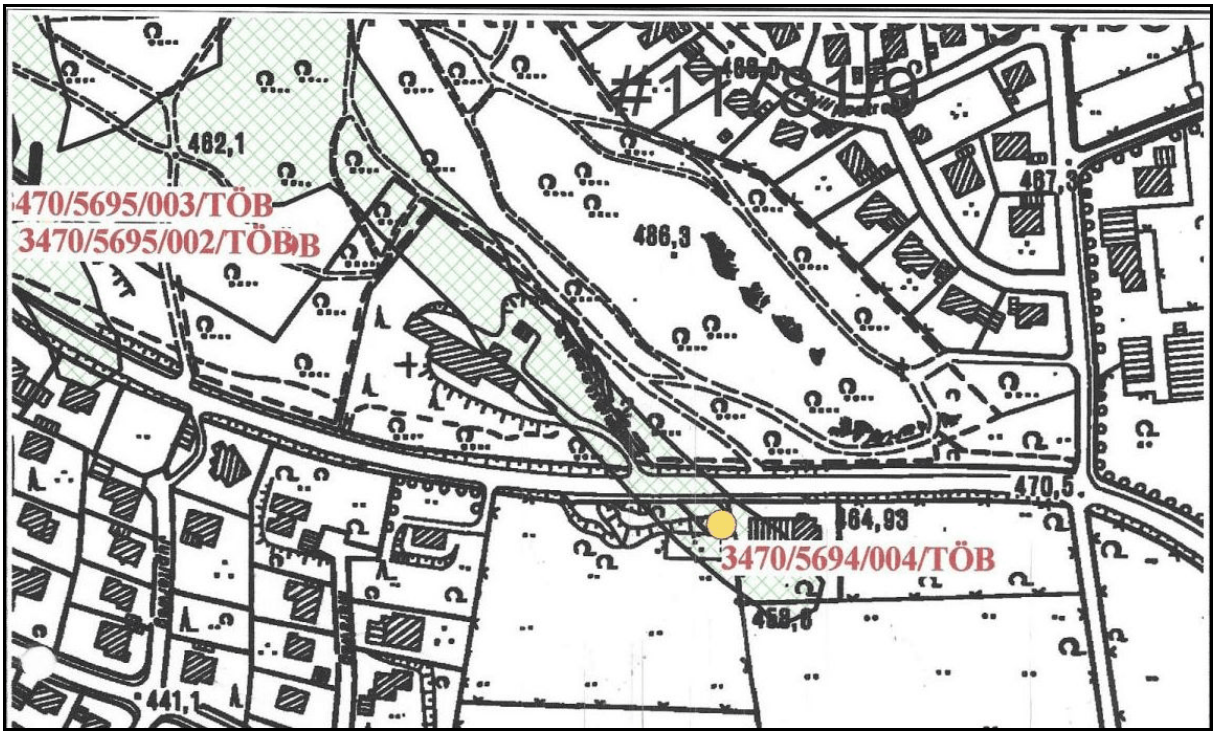


Bild 2: Bergwerksfeld Karthaus - grün schraffiert: Bereich mit möglichen, im oberflächennahen Bergbau begründeten Einwirkungen der Tagesoberoberfläche

Im Bereich des Grundstücks wurde umfangreicher Bergbau zur Gewinnung von Kalkspat betrieben. Nach dem Längsschnitt des Grubenbildes wurde das Gestein auf drei Sohlen flächenhaft abgebaut. Örtlich reicht der Abbau bis 10 m unter die Geländeoberfläche. Anhand des Grubenbildes wurde die maximal abgebaute Mächtigkeit des Kalkspatganges in der näheren Umgebung der Hopecker Straße mit ca. 7 m ermittelt.
Neben dem unterirdischem Abbau haben von der Tagesoberfläche aus Abgrabungen stattgefunden.

Ausgehend vom **Südschacht** (südlich der Hoppecker Straße- angrenzend zum Haus Diekmann) sind Grubenbaue im Niveau der 2. Sohle eingetragen, die Auffahrung erfolgte ab 1940.
Der Abbau in **nordwestliche Richtung** verläuft unterhalb der **Hoppecker Straße** und dann etwa **parallel zur nordöstlichen Grundstücksgrenze**. Unterhalb der Hoppecker Straße lässt sich die Breite mit etwa 3 m abgreifen, im weiteren Verlauf verbreitert sich die abgebaute Gangmächtigkeit auf einer Strecke von etwa 13 m auf etwa 7 m. Im Grundriß des Grubenbildes weist der Stollen eine Breite bis 10 m auf. Im Zentrum des Abbaus ist ein Sicherheitspfeiler von ca. 2 m Breite und 5 m Länge eingetragen. Nach mündlichen (unbestätigten Informationen) soll der Sicherheitspfeiler entfernt worden sein.

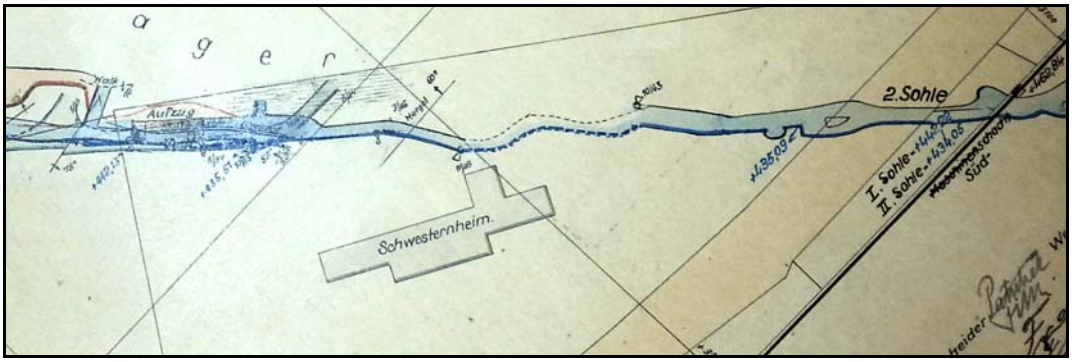


Bild 3: Lageplan Ausschnitt (nicht nach Norden ausgerichtet)

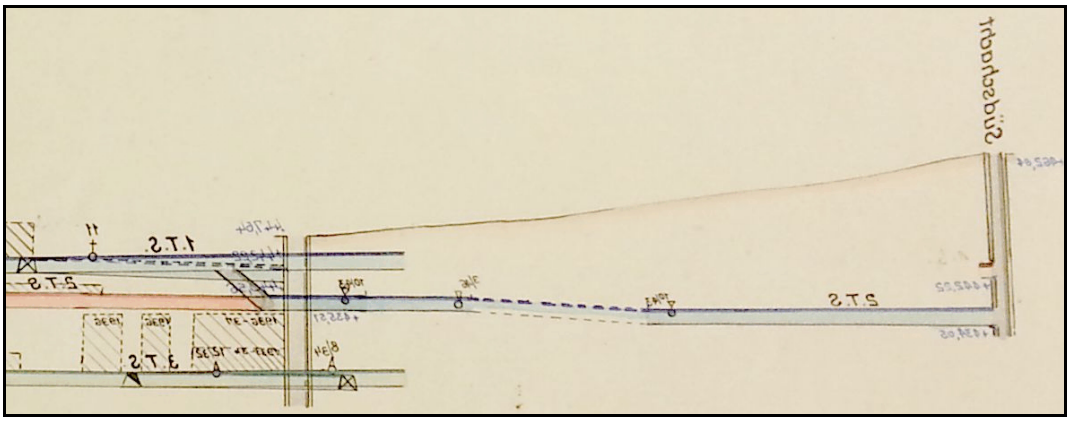


Bild 4: Seigerriss (gespiegelt-zum Vergleich mit Lageplan)

Im Juli 2003 ist im Bereich des oberflächennahen Abbaus in der Hoppecker Straße ein **Tagesbruch** entstanden. Dieser wurde im Bereich der Straße von der DMT verfüllt, das Gelände selber wurde aus Kostengründen nicht weiter untersucht oder saniert.

Nach Einpassung des Grubenbildes liegt der gefallene Tagesbruch oberhalb der Abbaukammer. Das Niveau der Sohle der Abbaukammer liegt nach den risslichen Unterlagen in ca. 28 m Teufe (+435,09 m NN). Die Abbauhöhe ist nicht dokumentiert.

5. Geophysikalische Untersuchungen

Um tiefere Schichten und Störungen im Untergrund zu erkunden sind am 4. und 5. Mai 2018 durch das Geophysikbüro Dirk Munstermann aus Gommern **geophysikalische Untersuchungen** durchgeführt worden. Der Untersuchungsbericht ist als **Anlage 3** beigefügt, Einzelheiten sind dieser Anlage zu entnehmen.

Durch diese flächige Untersuchung ist ein Überblick über die Untergrundverhältnisse möglich, unklare Stellen / Verdachtspunkte auf Hohlräume sind in einem weiteren Schritt gezielt durch direkte Aufschlüsse (Bohrungen) zu erkunden.
Die Geländeoberfläche ist sehr uneinheitlich. In Richtung Norden steigt das Gelände relativ stark, teilweise sprunghaft (Klippen) an. Außerdem ist der Untersuchungsbereich durch Bewuchs sowie Mauern und Aufschüttungen schwer zu begehen/befahren.
Die geplanten Profile wurden durch den Auftraggeber freigeschnitten, teilweise begann der Bewuchs wieder und es lag im Bereich von Profil V örtlich hohe Holzstapel, so dass das Profil verschwenkt werden musste.

Die flächige Hohlraum- und Schichtgrenzenerkundung erfolgte durch **8 geoelektrische Widerstandstiefensondierungen** (3 Profile parallel zum Stollen Pr_A bis Pr_C) sowie (5 Profile Pr_I bis Pr_V) bis zu einer maximalen Tiefe von 40 m und Längen zwischen 72 und 166 m (Profil V).
Bei dieser Untersuchungsmethode handelt es sich um eine indirekte Bestimmung der Untergrundverhältnisse.

Die Anordnung der Untersuchungsprofile ist im folgenden Bild dargestellt.

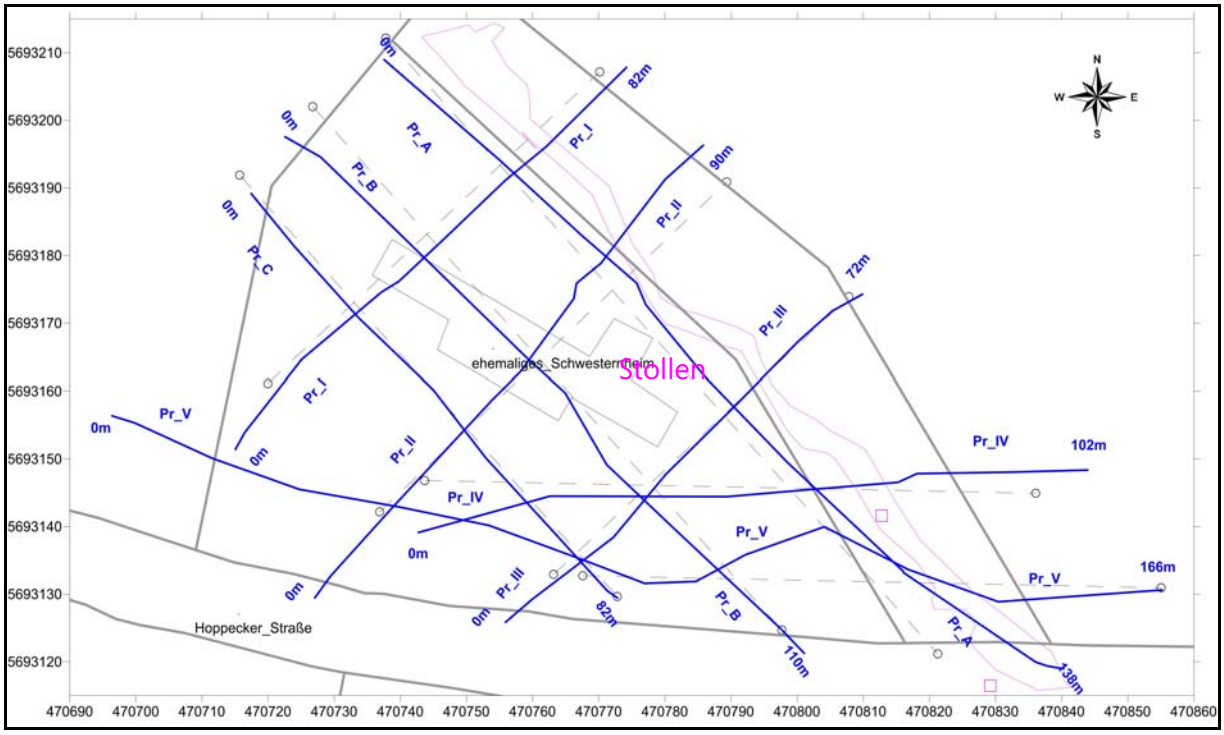


Bild 5: Lageplan Profile der geoelektrischen Untersuchungen

Im Bericht der GBM (Anlage 3) sind in den Profilen die Modellierungsergebnisse der geoelektrischen Messungen als Widerstands – Tiefenschnitte dargestellt, zur übersichtlichen Darstellung wurden die Profile in der Tiefe gestaucht .
Ergänzend sind die grafischen Darstellungen der geoelektrischen Widerstands-tiefensondierungen in der **Anlage 2** ***unverzerrt*** dargestellt.

Relativ **niedrige elektrische Widerstände** (*blaue Farbgebung*) deuten auf bindiges Gesteinsmaterial bzw. verwitterten oder stark gestörten Kalkstein.
Elektrische **Widerstandswerte im mittleren Bereich** (*grüne Farbgebung*) weisen auf Kalkstein, verwittert bzw. auf Schluff oder Sand.
Relativ **hohe elektrische Widerstandswerte** (gelbe und rote Farbgebung) können mit **hartem Kalkstein**, ***oder*** auch mit **Hohlräumen** in Verbindung stehen.

Nordöstlich des Profils Pr_ A ist die Geländeoberfläche sehr unruhig mit Abgrabungen und Klippen. Außerdem sind hier bergbaubedingte potentiell einsturzgefährdete Bereiche vorhanden.
Aufgrund der noch nicht erfolgten Vermessung der Geländeoberfläche ist eine Abgrenzung des möglicherweise abbaubaren Gebietes zu dem oben genannten noch nicht möglich.
Zur groben Einschätzung kann die Rückseite des nach Nordost ausspringenden Gebäudeteils des Schwesternwohnheimes als nordöstliche Grenze angesehen werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der geoelektrischen Messungen Anhand der Widerstands-Tiefenschnitte kurz beschrieben. Einzelheiten sind der **Anlage 3** (Bericht GBM Munstermann) zu entnehmen.

Die Widerstands-Tiefenschnitte der **Profile A bis C** verlaufen etwa von **Nordwest nach Südost.**

Das **Profil A** verläuft etwa **parallel (talseitig) zum kartierten Stollen**.
Von der Profilmitte (**Profil b II/III**) bis zum Profilende weisen die Messungen unter einer niederohmigen (Auffüllungen oder Verwitterungsprodukte vom Kalkstein) eine hochohmige Zone bis zur maximalen Wirktiefe aus. Hier kann Kalkstein anstehen.
Das Widerstandsmaximum kann ein Hinweis auf einen Hohlraum sein, hier wird der kartierte Stollen gequert.

Beim **Profil B** sind ähnliche Widerstandsbedingungen in horizontaler und vertikaler Richtung wie im Bereich von **Profil A** vorhanden. Allerdings ist hier von Profilbeginn bis ca. zur Profilmitte die hochohmige Schicht weitaus mächtiger ausgebildet und die darunter folgende Schicht mit niedrigeren elektrischen Widerständen, deutet sich nur an. Hier steht sicherlich Kalkstein relativ oberflächennah an und wird von etwas verwittertem oder tonig ausgebildeten Kalkstein unterlagert.
Von der Profilmitte bis zum Ende (Hoppecker Straße) herrschen relativ niedrige elektrische Widerstände vor, diese weisen auf stark verwitterten Kalkstein oder bindige Auffüllungen hin.

Bei **Profil C** herrschen von Profilbeginn bis ca. Profilmeter 50 relativ hohe elektrische Widerstände von nahezu der Oberfläche bis zur maximalen Wirktiefe vor, die auf Kalkstein deuten.
Ab Profilmeter 50 bis zum Profilende herrschen überwiegen wiederum relativ niedrige elektrische Widerstände von der Oberfläche bis zur maximalen Wirktiefe vor.
Hier können verwitterter Kalkstein oder Auffüllungen anstehen.

Die **Profile I bis III** verlaufen etwa von Südwest in Richtung Nordost.
Diese zum Profil A angeordneten Querprofile (I-III, IV-V) sind nur deshalb nach Nordost/Ost ausgedehnt worden, um eine ausreichende Erkundungstiefe im Bereich des Stollens und der südwestlichen Fläche zu erhalten.

Beim **Profil I** herrschen von Profilbeginn (Nähe Hoppecker Straße) bis ca. Profilmeter 60 elektrische Widerstände oberhalb von 750 Ohm*m bis in Tiefen von ca. 20 m unter GOK, vor, die auf oberflächennah anstehenden Kalkstein hinweisen.
Von Profilmeter 60 bis zum Profilende weisen Wechsel von elektrischen Widerständen auf verwitterten Kalkstein oder unterschiedliche Auffüllungen.
Die in Tiefen von mehr als 20 m anstehende niederohmige Zone kann auf toniges Material oder Vererzungen hinweisen.
Der kartierte **Stollen** ist in diesem Profil nicht zu erkennen.

Beim **Profil II** wird Kalkstein unter einer relativ geringmächtigen Verwitterungsschicht anstehen (ca. 3 -. 5m unter GOK). Zwischen Profilmeter 20 und 35 ist allerdings eine relativ mächtige niederohmige Zone mit verwittertem Kalkstein oder bindiger Auffüllung im Untergrund vorhanden.

Der Widerstands-Tiefenschnitt von **Profil III** weist ähnliche Verläufe wie beim **Profil II** auf. Hier ist die auffallende niederohmige Zone (Kalkstein, verwittert oder Auffüllungen) zwischen Profilmeter 10 und 18 erkennbar. Die oberflächennahe Verwitterungs- oder Auffüllungsschicht (überwiegend blaue Farbgebung) ist hier ca. 10m mächtig (bei Profil II ca. 5 -7 m).
Darunter steht der Kalkstein bis zur maximalen Wirktiefe an.

Die Profile **IV und V** wurden in etwa von **West nach Ost** gemessen.

Das **Profil V** musste wegen Hindernisse (Holzstapel) von Profilmeter 90 bis 130 in andere Richtungen ausweichen.

Beim **Profil IV** ist vom Profilbeginn (Hoppecker Straße) ca. Profilmeter 20 relativ oberflächennah anstehender Kalkstein zu erwarten.
Von Profilmeter 20 bis 40 weisen relativ niedrige elektrische Widerstände bis zur maximalen Wirktiefe auf stark verwitterten Kalkstein oder bindige Auffüllungen im Untergrund hin.
Von Profilmeter 40 bis 102 befindet sich der Kalkstein unter einer ca. 10 m mächtigen Verwitterungs- oder Auffüllungszone bis zur maximalen Wirktiefe.
Zwischen Profilmeter 42 und 60 können in Tiefen zwischen 450 und 460 m ü.NN (10 – 20 m unter GOK) die relativ hohen elektrischen Widerstände mit einem **Hohlraum** hinweisen.

Das **Profil V** verläuft etwa parallel zur Hoppecker Straße.
Die Widerstände weisen auf wechselnde Untergründe in horizontaler und vertikaler Richtung hin.
Von Profilbeginn (Westen) bis ca. Profilmeter 50 über die erschlossene Tiefe ist Kalkstein zu erwarten.
Von Profilmeter 50 bis 85 sind niederohmige Zonen unter hochohmigen Zonen (blaue unter roter Farbgebung) bis 40 m unter GOK erkennbar. In diesem Bereich sind stark verwitterte Kalksteine zu erwarten. Bindige Auffüllungen können zwar nicht ausgeschlossen werden, sind aber auf Grund der Tiefenlage eher unwahrscheinlich.
Von Profilmeter 85 bis Profilmeter 135 ist ein steter Wechsel von niederohmigen und hochohmigen Zonen von der Geländeoberkante bis zur maximalen Wirktiefe erkennbar. Anscheinend steht fester Kalkstein hier erst bei ca. 25 m unter GOK an. Die elektrischen Widerstände (grüne Farbgebung) zwischen 440 und 445 m ü.NN deuten auf bindige lockere Lagerungen hin.
Von Profilmeter 135 bis zum Profilende deuten relativ niedrige elektrische Widerstände unter einer hochohmigen Zone auf verwitterten Kalkstein hin.

Die Vorstehend beschriebenen elektrischen Widerstandsverhältnisse sind in einer **Isolinienkarte der Oberkante des Kalksteins**, bezogen auf m unter GOK, zusammenfassen dargestellt (Bild 6, Anlage 2, 3).

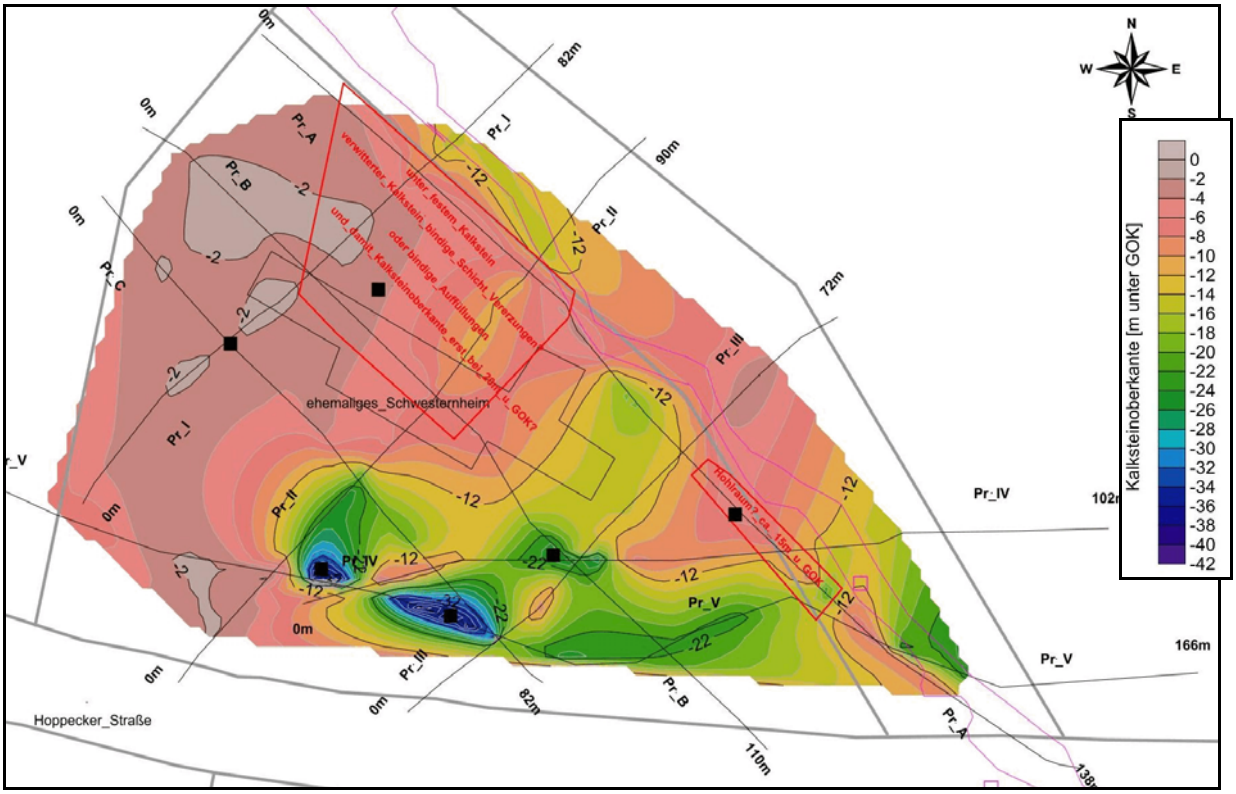


Bild 6: Tiefenlage der Felsoberfläche unterhalb der Geländeoberfläche

Hier zeichnet sich im **westlichen** Untersuchungsabschnitt ein relativ homogener Bereich ab, mit Kalksteinoberkanten zwischen 2 und 6 m unter Geländeoberkante.

Im **Nordwesten** deuten die Widerstandsverhältnisse allerdings auf eine **bindige Schicht oder Vererzungen oder Auffüllungen** ***unter*** einer hochohmigen Schicht aus festem Kalkstein hin. Somit könnte in diesem Bereich die Festgesteinsoberkante erst bei 20 m unter GOK sein (roter Polygonzug). In unmittelbarer Nähe befindet sich aber ein Schacht, so dass von relativ oberflächennahem Kalkstein ausgegangen werden kann.

Im **nördlichen bis nordöstlichen** Untersuchungsabschnitt schwankt die Kalksteinoberkante nach den Messergebnissen und deren Interpretation zwischen 2 und 12 m unter GOK. Ein Verdachtsbereich für einen **Hohlraum** ist mit einem Rechteck gekennzeichnet.

Das **südliche und teilweise mittlere Untersuchungsareal** weist nach den Messergebnisse und der Interpretation auf Kalksteinoberkanten zwischen 10 und 40 m unter GOK hin. Hier scheint sich eine relativ mächtige Verwitterungszone im Untergrund zu befinden.

Nach den Messergebnissen ist der Untergrund **inhomogen** aufgebaut.

Die Messergebnisse müssen durch Bohrungen verifiziert werden. Seitens des Geopysikers GBM Munstermann wurden 6 Bohransatzstellen zur Verifizierung der Messergebnisse vorgeschlagen, die in der **Anlage 2** durch schwarze Vierecke gekennzeichnet sind.

Über diese vorgeschlagenen Punkte hinaus sind insbesondere in der Nähe des Tagesbruches / der Einfahrt zum Grundstück von der Hoppecker Straße zusätzliche Erkundungen erforderlich.

6. Beurteilung und weiteres Vorgehen

Im vorliegenden Bericht wurden die geophysikalischen Messungen im Rahmen der Erkundung von Untergrundbedingungen in einem Areal „Am Drübel", nördlich der Hoppecker Straße in Brilon erläutert.

Die Geoelektrik wurde entlang von 5 Profilen mit einer Wirktiefe bis maximal 40 m unter GOK durchgeführt. Die Messungen wurden lithologisch interpretiert.
Die geophysikalischen Messungen stellen indirekte Erkundungsmethoden des Untergrundes dar. Die Interpretation der Messergebnisse erfolgte nach besten Wissen und Gewissen. In die Auswertung fließen Modellvorstellungen und empirische Faktoren. Dadurch können die Ergebnisse der Interpretation von direkten Untersuchungen oder Arbeiten abweichen, auch weil sich die physikalischen Eigenschaften innerhalb der gesamten untersuchten Fläche verändern können.

Nach den Messergebnissen ist der Untergrund sehr inhomogen aufgebaut, der zunächst vermutete kompakte Felsen auf dem Flurstück 104 ist nicht vorhanden. Nach den Bohrunterlagen der DMT kann (unabhängig von der bergbaulichen Situation) karstiger Kalkstein vorhanden sein.

Der **Abbau** hat **überwiegend** unter dem **Flurstück 103** stattgefunden. Hier sind auch die totologisch ungünstigen Verhältnisse in Form von Abgrabungen steilen Böschungen /Klippen vorhanden.
Für das größere **Flurstück 104** (auf dem das Schwesternwohnheim stand) ist nach den geopysikalischen Messungen ein **sehr inhomogener Untergrund** vorhanden, der wahrscheinlich auf Karsteinflüsse und geologische Störungen zurückzuführen ist.
Die Untergrundverhältnisse wechseln auf kurzer Entfernung, örtlich können neben dem Bergbaueinfluss Hohlräume infolge Karst vorhanden sein.

Zur abschließenden Beurteilung der Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchung sind **ergänzende Bohrungen** erforderlich, deren Örtlichkeit im Plan der Kalksteinoberflächen eingetragen sind (Bild 6, Anlage 2).
Im Bericht 17 29-2 be 2 vom 3.10.2017 wurden die Abbauverhältnisse im Bereich des Grundstückes anhand der Kartenlage eingestuft. Zur Abgrenzung der Gefährdung durch Bergbaueinflüsse sind in der Örtlichkeit weitere ergänzende Bohrungen erforderlich (zusätzlich zu den im Bild 6 eingetragenen).

Aufgrund der Inhomogenität des Untergrundes ist jeweils ein Fächer von Bohrungen (Bohrung mit unterschiedlicher Neigung) an den einzelnen Stellen erforderlich.

Eine Bebauung ist dann möglich, wenn keine tagesbruchgefährdenden Hohlräume (geologisch oder bergbaubedingt) vorhanden sind.

In einem weiteren Schritt sind zur Erkundung/Eingrenzung des Gefährdungsbereiches Groß-Bohrungen (Vollkronenbohrung ggf. Kernbohrungen mit Lkw/Raupe) erforderlich.

Das Gelände ist mit Unterholz und Wald bestanden, die Geländeoberfläche ist örtlich stark bewegt und unterschiedlich künstlich verändert worden.
Aus diesem Grunde können die direkte Aufschlüsse (Bohrungen) nicht ohne Vorbereitung durchgeführt werden.
Hierzu sind einzelne Schneisen anzulegen/zu verbreitern.
Außerdem muss die Geländeoberfläche im Auftrage der Stadt Brilon lage- und höhenmäßig vermessen werden.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sollten den zuständigen Ämtern der Stadt vorgestellt und die weitere Vorgehensweise festgelegt werden.

J. Schäfer
.....
(Dr.-Ing. Jochen Schäfer)

Peijun Mao
.....
(Dr.-Ing. P. Mao)

Verteiler:
g.oswald@brilon.de
f.tilly@brilon.de

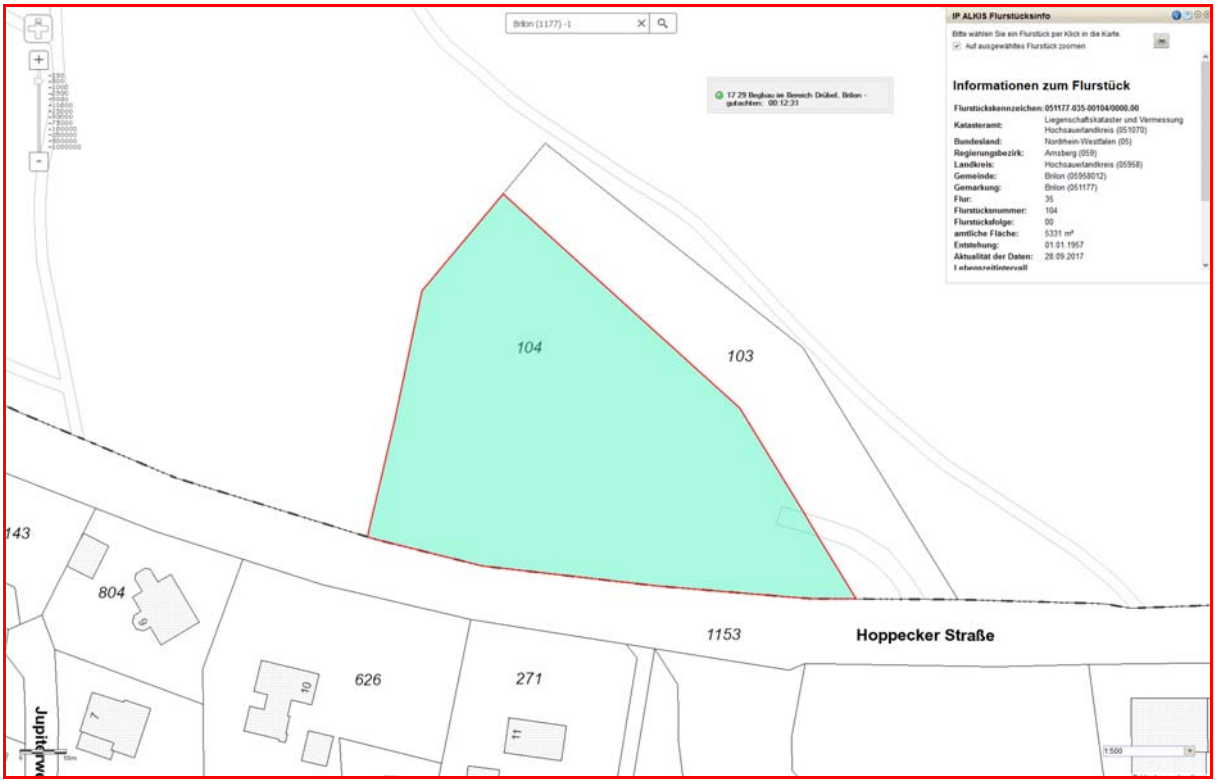
Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1 : Lageplan Flurkarte vom 28.09.2017

Anlage 2 : Geoelektrische Schnitte, Kalksteinoberfläche, Verdachtsbereich Hohlräume

Anlage 3 : Bericht Geophysikalische Messungen in Brilon,
im Bereich Am Drübel zur Schichtgrenzenerkundung
GBM Geophysikbüro Munstermann , Industriepark , Straße A Nr. 1
39245 Gommern

Lageplan Flurkarte vom 28.09.2017



Bericht Geophysikalische Messungen in Brilon

im Bereich Am Drübel zur Schichtgrenzenerkundung

Bericht

Geophysikalische Messungen

in Brilon, im Bereich

Am Drübel

zur Schichtgrenzenerkundung

Nordrhein – Westfalen

Hochsauerlandkreis

Mai 2018

Bericht

Geophysikalische Messungen

in Brilon, im Bereich

Am Drübel

zur Schichtgrenzenerkundung

Auftraggeber	:	Stadtverwaltung Brilon FB IV – Bauwesen Am Markt 1 59929 Brilon
Auftragnehmer	:	GBM Geophysikbüro Munstermann Industriepark I Straße A Nr. 1 39245 Gommern
Aufgabe	:	Geophysikalische Messungen zur Erkundung des Untergrundes im Bereich „Am Drübel“
Methodik	:	2 D - Geoelektrik
Bearbeiter	:	Dipl. - Geophysiker Dirk Munstermann

Gommern, den 08. Juni 2018

Dirk Munstermann
Bearbeiter

Inhalt

1.0.	Aufgabenstellung und Messgebietsbeschreibung	Seite 4
2.0	Geoelektrische Messungen	
2.1	Anlage und Durchführung der Messungen	Seite 5
2.2	Kurze Erläuterung des Messprinzips	Seite 5 – 7
2.3	Darstellung und Beschreibung der Messergebnisse	Seite 7 – 11
3.0	Zusammenfassung	Seite 12
4.0	Anlagenverzeichnis	Seite 12

1.0 Aufgabenstellung und Messgebietsbeschreibung

Die Stadtverwaltung Brilon, erteilte dem Geophysikbüro Munstermann, Gommern, mit einem Schreiben vom 02.03.2018 (Auftragsnummer 6502967) den Auftrag zur Erkundung des Untergrundes in einem Bereich „Am Drübel“. Das Untersuchungsareal befindet sich nördlich der Hoppecker Straße.

Nach geologischen Gesichtspunkten ist der Untergrund natürlicherweise im oberflächennahen Bereich aus Verwitterungsprodukten des Kalksteins und darunter aus Kalkstein aufgebaut. Im Bereich bzw. in der Umgebung des Messgebietes gab es auch Bergbau, sowohl von der Oberfläche als auch im Tiefbau. Daher ist auch mit Auffüllungen, die sandig oder tonig sein können im Untergrund zu rechnen. Außerdem kann der Untergrund zumindest teilweise verkarstet sein. Dadurch kann es zur Bildung von Hohlräumen, Verstürzungen im Gebirge und der Ausbildung von Dolinen kommen.

Das Gelände ist relativ stark bewegt. Richtung Norden steigt das Gelände relativ stark an. Außerdem ist der Untersuchungsbereich durch Bewuchs und Mauern gekennzeichnet. Die geplanten Profile wurden durch den Auftraggeber freigeschnitten, teilweise Begann der Bewuchs wieder und es lag im Bereich von Profil V zum Teil Holz, so dass das Profil verschwenkt werden musste.

Bild 1: Blick auf das ehemalige Schwesternheim (von SW nach NE), Bereiche von Profil A und II

Bild 2: Profil III (von NE nach SW)

Bild 3: Profil V, Mitte (von E nach W)

2.0 Geoelektrische Messungen

2.1 Anlage und Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden mit dem Messsystem Super Sting R1 der Firma AGI (USA, Texas) mit bis zu 56 Elektroden durchgeführt:

Bild 4: Messsystem Super Sting / Swift (AGI)

Die geoelektrischen Messungen erfolgten in Form von 2 D - Widerstandsmessungen nach der Pol – Dipol – Konfiguration mit einem Elektrodenabstand von 2 m und 21 (Profil III) bis 25 (Profil V) Tiefenebenen. Die Widerstandswerte wurden durch die Messung von mindestens 2 Messzyklen ermittelt. Mit dieser Messkonfiguration wird in etwa eine Tiefe von ca. 25 (Profil III) bis 40 m (Profil V) unter GOK erreicht.

Vor Beginn der Messungen wurden die Kabel und Elektroden auf ihre Funktionalität überprüft und die Übergangswiderstände bestimmt.

Die Einmessung der Profile wurde mit Bandmaß sowie mit einem DGPS – System (Fa. Spectra) und einer Genauigkeit von < 10 cm durchgeführt.

2.2. Kurze Erläuterung des Messprinzips

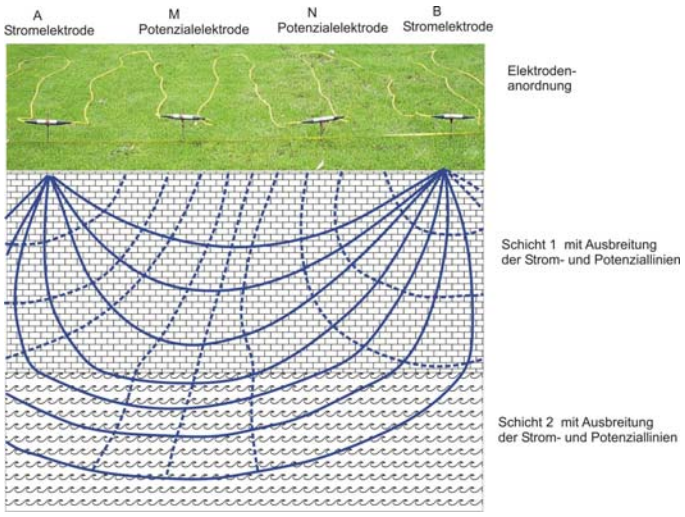
Das Messprinzip der geoelektrischen Messungen (Vierpunktanordnung) besteht darin, dass über eine Spannungsquelle durch Elektroden (2 Elektroden A und B) dem Boden Strom zugeführt wird und mittels symmetrisch angeordneter Sonden (2 Elektroden M und N) das Potenzial abgegriffen wird. Das sich herausbildende Potenzial und der Stromfluss sind ein Maß für den scheinbaren spezifischen Widerstand des Bodens.

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K$$

ρ = elektr. Widerstand
ΔV = Spannungsdifferenz
I = Stromstärke
K = Länge des Leiters

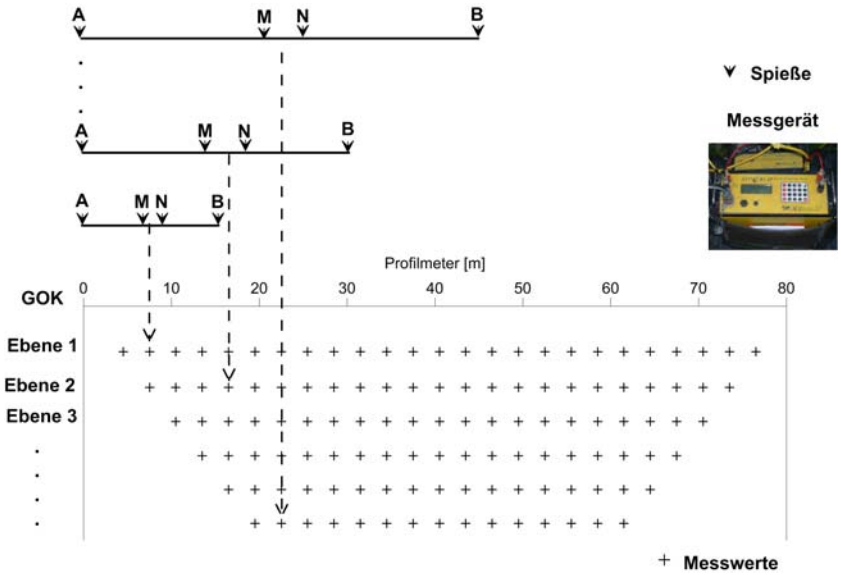
Der Leiter ist in diesem Fall der Untergrund.

Bild 5: Skizze Messprinzip Geoelektrik



Die Messungen weisen unterschiedliche Eindringtiefen auf, mit der Vergrößerung der Aufstellungsweite der Elektroden können diese erhöht werden. Für größere Tiefen verringert sich allerdings die Auflösung der Schichten. Die vertikale Auflösung beträgt im allgemeinen 1/10 der Erkundungstiefe. Die horizontale Auflösung ist abhängig vom Abstand der Elektroden (ca. die Hälfte des Abstandes).
Bei den Messungen werden Metallspieße in äquidistanten Abständen angeordnet und mit Messelektroden gekoppelt. Zum einen wird mit konstantem Abstand zwischen den Metallspitzen entlang des Profils gemessen und zum anderen wird der Abstand zwischen den Metallspitzen um ein Vielfaches vergrößert. Damit wird gleichzeitig die Messung in Profilrichtung und in die Tiefe vorgenommen (**2 D- Messung**). Die Schaltung, welche Metallspitzen als Strom- bzw. Spannungselektroden fungieren und wie groß der Abstand ist, übernimmt die Apparatur. Dem jeweiligen Messwert wird eine x- und eine z-Koordinate zugeordnet. So erhält man eine 2D-Darstellung des scheinbaren spezifischen Widerstandes.

Bild 6: Skizze der Messwertaufnahme und Zuordnung der unterschiedlichen Tiefenebenen



An den Anfängen und Enden der Profile befinden sich nur noch Messwerte der Ebene 1. Es scheint so, dass die Messwerte zu den Anfängen und Enden hin „auskeilen“. Der Grund ist in der Messgeometrie zu suchen, denn mit 4 Messsensoren kann nur noch 1 Messwert aufgenommen werden. Zur Mitte hin kommen immer mehr Messsensoren dazu, bis die maximale Anzahl erreicht ist und durch die Kombination unterschiedlicher Sensoren oberflächennahe (zum Beispiel Ebene 1 – 3) und tiefere Messwerte (zum Beispiel Ebene 4 – 6) ermittelt werden können.

Die Auswertung der zweidimensionalen Widerstandsstrukturen erfolgt durch Modellrechnungen. In einem ersten Schritt werden die Rohdaten in einem so genannten Pseudoschnitt mit Pseudotiefen (Ebenen) der gemessenen Abstände aufgetragen. In weiteren Schritten erfolgen Vorwärtsrechnungen und Inversionen der Messergebnisse.

2.3. Darstellung und Beschreibung der Messergebnisse

In der ***Anlage 1*** sind das Untersuchungsareal und die Lage der Profile der geoelektrischen Messungen in einem Lageplan dargestellt. Die Messungen erfolgten entlang von 5 Profilen mit Längen zwischen 72 (Profil III) und 166 m (Profil V).

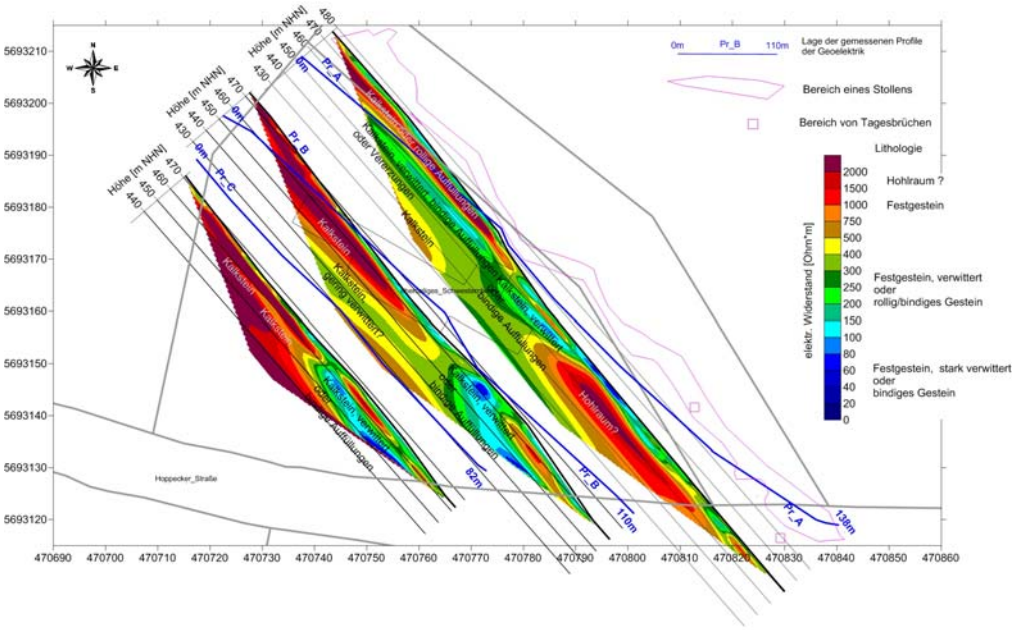
In den ***Anlagen 2.1 bis 2.3*** sind die Modellierungsergebnisse der Profile der geoelektrischen Messungen als Widerstands – Tiefenschnitte dargestellt und entsprechend der Lage im Gelände abgebildet. Den Hintergrund der Karten bildet ein Lageplan.

Relativ niedrige elektrische Widerstände (blaue Farbgebung) deuten auf bindiges Gesteinsmaterial bzw. verwitterten oder stark gestörten Kalkstein. Elektrische Widerstandswerte im mittleren Bereich (grüne Farbgebung) weisen auf Kalkstein, verwittert bzw. auf Schluff oder Sand. Relativ hohe elektrische Widerstandswerte (gelbe und rote Farbgebung) können mit Kalkstein, fest oder auch mit Hohlräumen in Verbindung stehen.

Die Modellierung erfolgte mit dem Programm RES2DINV von der Firma RESITOMO (Malaysia). Die Inversionen wurden mit einer lateralen Zellgröße von 2 m und einer vertikalen Zellgröße von 1 m durchgeführt. Die Widerstands – Tiefenschnitte stellen die Modellierungsergebnisse jeweils nach der zweiten Inversion dar. Diese besitzen maximal einen Fehler von 10 %.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der geoelektrischen Anhand der Widerstands–Tiefenschnitte entsprechend der Darstellungen in den Anlagen beschrieben.

Bild 8: Anlage 2.1



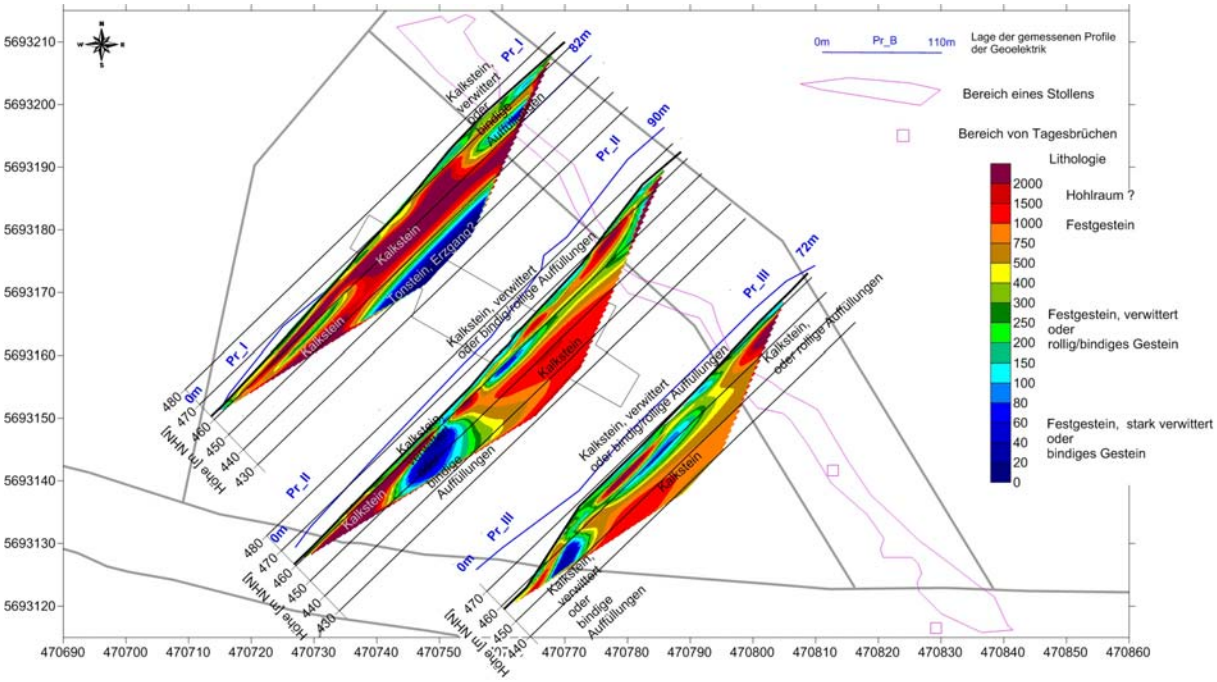
In der **Anlage 2.1** werden die Widerstands-Tiefenschnitte entlang der Profile A bis C dargestellt, diese verlaufen in etwa von Nordwest in Richtung Südost.

Bei **Profil A** herrschen von Profilbeginn bis ca. zur Profilmitte elektrische Widerstände unterhalb von 300 Ohm*m vor. Es befindet sich allerdings eine hochohmige Schicht (rote Farbgebung) zwischen ca. 3 und 10m unter Geländeoberkante (GOK). Auch ab 30 m unter GOK (440 mNHN) deutet sich eine hochohmige Schicht an. Wahrscheinlich befindet sich unter einer Kalksteinschicht (oberflächennahe hochohmige Schicht) etwas verwitterter, bindiger Kalkstein. Bei den relativ niedrigen elektrischen Widerständen (blaue Farbgebung) kann es sich auch um Erze handeln. Die relativ niedrigen elektrischen Widerstände können auch durch Auffüllungen hervorgerufen werden. Von der Profilmitte bis zum Profilende weisen die Messungen unter einer niederohmigen (Auffüllungen oder Verwitterungsprodukte vom Kalkstein) eine hochohmige Zone bis zur maximalen Wirktiefe aus. Hier kann Kalkstein anstehen. Das Widerstandsmaximum kann ein Hinweis auf einen Hohlraum sein.

Im Bereich von **Profil B** können ähnliche Widerstandsbedingungen in horizontaler und vertikaler Richtung wie im Bereich von Profil A ausgehalten werden. Hier ist die hochohmige Schicht von Profilbeginn bis ca. zur Profilmitte weitaus mächtiger ausgebildet und die darunter folgende Schicht mit niedrigeren elektrischen Widerständen, deutet sich nur an. Hier steht sicherlich Kalkstein relativ oberflächennah an und wird von etwas verwittertem oder tonig ausgebildeten Kalkstein unterlagert. Von der Profilmitte bis zum –ende herrschen relativ niedrige elektrische Widerstände vor, diese weisen auf stark verwitterten Kalkstein oder bindige Auffüllungen hin.

Bei **Profil C** herrschen von Profilbeginn bis ca. Profilmeter 50 relativ hohe elektrische Widerstände von nahezu der Oberfläche bis zur maximalen Wirktiefe vor, die auf Kalkstein deuten. Ab Profilmeter 50 bis zum Profilende überwiegen wiederum relativ niedrige elektrische Widerstände von der Oberfläche bis zur maximalen Wirktiefe. Hier können verwitterter Kalkstein oder Auffüllungen anstehen.

Bild 9: Anlage 2.2



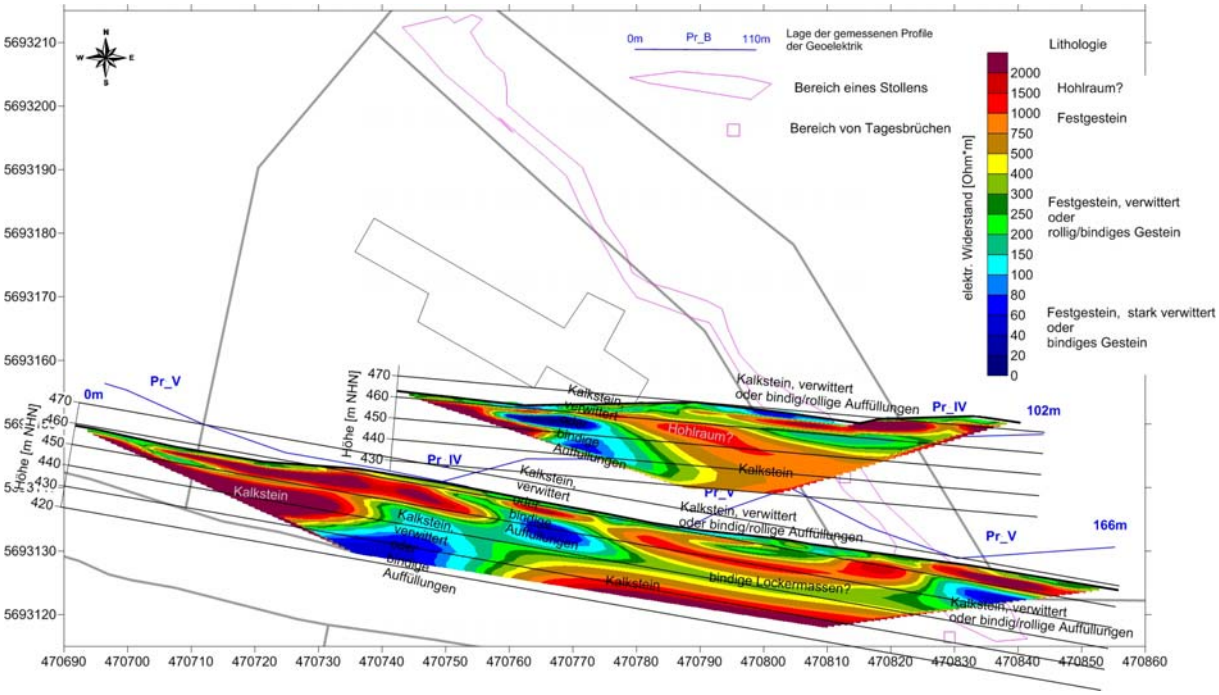
In der **Anlage 2.2** werden die Widerstands-Tiefenschnitte entlang der Profile I bis III dargestellt, diese verlaufen in etwa von Südwest in Richtung Nordost.

Bei **Profil I** herrschen von Profilbeginn bis ca. Profilmeter 60 elektrische Widerstände oberhalb von 750 Ohm*m bis in Tiefen von ca. 20 m unter GOK, vor. Das deutet auf oberflächennah anstehenden Kalkstein hin. Von Profilmeter 60 bis zum Profilende weisen Wechsel von elektrischen Widerständen auf anteilig verwitterten Kalkstein oder unterschiedliche Auffüllungen. Die niederohmige Zone von Profilmeter 30 bis 55 ab ca. 450 mNHN kann mit tonigem Material oder Vererzungen in Verbindung stehen.

Im Bereich von **Profil II** sind vorwiegend relativ hohe elektrische Widerstände feststellbar. Das heißt, dass Kalkstein unter einer relativ geringmächtigen Verwitterungsschicht ansteht (bei ca. 3 -. 5m unter GOK). Zwischen Profilmeter 20 und 35 ist allerdings eine relativ mächtige niederohmige Zone in den Messergebnissen aushaltbar. Hier ist verwitterter Kalkstein ausgebildet oder es befinden sich bindige Auffüllungen im Untergrund.

Der Widerstands-Tiefenschnitt von **Profil III** weist ähnliche Verläufe wie der Schnitt von Profil II auf. Hier ist die auffallende niederohmige Zone (Kalkstein, verwittert oder Auffüllungen) zwischen Profilmeter 10 und 18 erkennbar. Die nach den Messungen abgebildete oberflächennahe Verwitterungs- oder Auffüllungsschicht (überwiegend blaue Farbgebung) im mittleren Profilabschnitt ist hier ca. 10m mächtig (bei Profil II ca. 5 -7 m mächtig). Darunter steht der Kalkstein bis zur maximalen Wirktiefe an.

Bild 10: Anlage 2.3



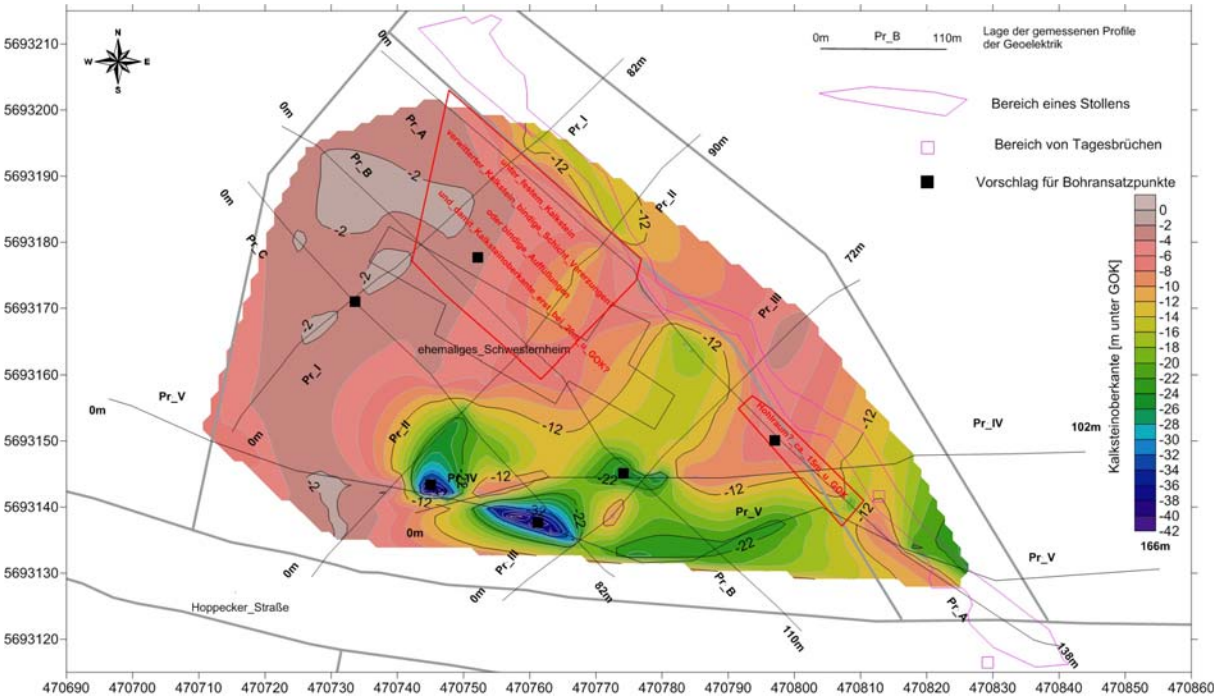
Die **Anlage 2.3** gibt die Widerstands-Tiefenschnitte im Bereich der Profile IV und V wieder. Die Profile wurden in etwa von West nach Ost gemessen. Das Profil V musste wegen Hindernisse (Holzstapel) von Profilmeter 90 bis 130 in andere Richtungen ausweichen.

Im Bereich von **Profil IV** deuten relativ hohe elektrische Widerstände vom Profilbeginn bis ca. Profilmeter 20 auf relativ oberflächennah anstehenden Kalkstein hin. Von Profilmeter 20 bis 40 weisen relativ niedrige elektrische Widerstände von der Geländeoberkante bis zur maximalen Wirktiefe auf stark verwitterten Kalkstein oder bindige Auffüllungen im Untergrund hin. Von Profilmeter 40 bis 102 befindet sich nach den Messergebnissen der Kalkstein unter einer ca. 10 m mächtigen Verwitterungs- oder Auffüllungszone bis zur maximalen Wirktiefe. Zwischen Profilmeter 42 und 60 können zwischen 450 und 460 mNHN (10 – 20 m unter GOK) die relativ hohen elektrischen Widerstände mit einem Hohlraum in Verbindung stehen.

Die elektrischen Messungen entlang von **Profil V** weisen auf wechselnde Untergrundbedingungen in horizontaler und vertikaler Richtung. Von Profilbeginn bis ca. Profilmeter 50 deuten relativ hohe elektrische Messwerte von Nahe der Oberfläche bis zur maximalen Wirktiefe auf Kalkstein in diesem Tiefenbereich hin. Von Profilmeter 50 bis 85 sind niederohmige Zonen unter hochohmigen Zonen (blaue unter roter Farbgebung) teilweise bis zur maximalen Wirktiefe (hier 40 m unter GOK) erkennbar. Dieser Bereich ist demnach durch starke Verwitterungsprodukte vom Kalkstein geprägt. Bindige Auffüllungen können zwar nicht ausgeschlossen werden, sind aber auf Grund der Tiefenlage eher unwahrscheinlich. Von Profilmeter 85 bis Profilmeter 135 ist ein steter Wechsel von niederohmigen und hochohmigen Zonen von der Geländeoberkante bis zur maximalen Wirktiefe erkennbar. Anscheinend steht fester Kalkstein hier erst bei ca. 25 m unter GOK an. Die elektrischen Widerstände (grüne Farbgebung) zwischen 440 und 445 mNN deuten auf bindige lockere Lagerungen hin. Von Profilmeter 135 bis zum Profilende deuten relativ niedrige elektrische Widerstände unter einer hochohmigen Zone auf verwitterten Kalkstein hin.

Die oben beschriebenen elektrischen Widerstandsverhältnisse sind in der **Anlage 3** in einer Isolinienkarte der Oberkante des Kalksteins, bezogen auf m unter GOK, zusammenfassen dargestellt.

Bild 11: Anlage 3



Hier zeichnet sich relativ deutlich im westlichen Untersuchungsabschnitt ein relativ homogener Bereich ab, mit Kalksteinoberkanten zwischen 2 und 6 m unter Geländeoberkante. Im Nordwesten deuten die Widerstandsverhältnisse allerdings auf eine bindige Schicht oder Vererzungen oder Auffüllungen unter einer hochohmigen Schicht, Kalkstein, fest, hin. Somit könnte in diesem Bereich die Festgesteinsoberkante erst bei 20m unter GOK sein (roter Polygonzug). In unmittelbarer Nähe befindet sich aber ein Schacht, so dass von relativ oberflächennahem Kalkstein ausgegangen werden kann. Im nördlichen bis nordöstlichen Untersuchungsabschnitt schwankt die Kalksteinoberkante nach den Messergebnissen und deren Interpretation zwischen 2 und 12 m unter GOK. Ein Verdachtsbereich für einen Hohlraum ist mit einem Rechteck gekennzeichnet. Das südliche und teilweise mittlere Untersuchungsareal weist nach den Messergebnisse und der Interpretation auf Kalksteinoberkanten zwischen 10 und 40 m unter GOK hin. Hier scheint sich eine relativ mächtige Verwitterungszone im Untergrund zu befinden.

Insgesamt erscheint der Untergrund relativ inhomogen aufgebaut zu sein. Zur Verifizierung der Messergebnisse und deren Interpretation sowie der Einschätzung des Baugrundes wird das Abteufen von 6 Bohrungen in unterschiedlichen Arealen der Aussagen der elektrischen Widerstandsmessungen vorgeschlagen.

3.0 Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht wurden die geophysikalischen Messungen im Rahmen der Erkundung von Untergrundbedingungen in einem Areal „Am Drübel“, nördlich der Hoppecker Straße in Brilon erläutert.

Die geophysikalischen Messungen erfolgten am 04. und 05. Mai 2018.

Die Geoelektrik wurde entlang von 5 Profilen mit einer Wirktiefe von maximal 40 m unter GOK durchgeführt. Die Länge der Profile variiert zwischen 72 und 166m. Insgesamt wurden 842 Profilmeter gemessen.

Die Messungen wurden lithologisch interpretiert.

Die Ergebnisse weisen im westlichen Bereich Kalkstein aus, der relativ nahe der Oberfläche ansteht. Im nordwestlichen Bereich kann sich unter einer relativ festen Zone bindiges, verwittertes Material oder Vererzungen bis ca. 20 m unter GOK befinden. Im nördlichen und zum großen Teil auch im östlichen Areal schwankt die Festgesteinszone zwischen 2 und 12 m unter GOK, unter Auffüllungen. Hier befindet sich auch ein Verdachtsbereich für einen Hohlraum. Im mittleren und südlichen Teil des Messgebietes deuten die Messergebnisse auf eine tiefreichende Verwitterungszone (oder Auffüllungen?) bis 20 bzw. sogar 40 m unter GOK hin. Die Messergebnisse müssen durch Bohrungen verifiziert werden. Danach sollte auch eine präzisierte Modellierung der elektrischen Widerstandsmessungen erfolgen. Eine Verdichtung des Messrasters danach ist ebenfalls denkbar.

Die geophysikalischen Messungen stellen indirekte Erkundungsmethoden des Untergrundes dar. Die Interpretation der Messergebnisse erfolgte nach besten Wissen und Gewissen. In die Auswertung fließen Modellvorstellungen und empirische Faktoren. Dadurch können die Ergebnisse der Interpretation von direkten Untersuchungen oder Arbeiten abweichen, auch weil sich die physikalischen Eigenschaften innerhalb der gesamten untersuchten Fläche verändern können.

4.0 Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Lageplan, Geoelektrische Messungen Profil A bis C, Profil I bis V
Anlage 2.1 bis 2.3:	Lageplan, Geoelektrik Widerstands- Tiefenschnitte Profil A bis C Profil I bis III Profil IV und V
Anlage 3:	Geoelektrische Messungen Lageplan Profil A bis C, Profil I bis V Isolinienplan Kalksteinoberkante [m unter GOK]