

# BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik



BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG · Glockenplatz 1 · 34388 Trendelburg

UKA Umweltgerechte Kraftanlagen  
GmbH & Co. KG  
Herr Schuller-Seyffarth  
Dr.-Eberle-Platz 1  
01662 Meißen

## Stellungnahme Nr.

Ansprechpartner:

Datum:

Telefon:

Fax:

eMail:

**st221377-1**

Michael Daub

24.01.2023

0 56 71 – 77 97 0

0 56 71 – 77 97 10

info@bbu-schubert.de

**www.bbu-schubert.de**

## GEOPHYSIKALISCHE STELLUNGNAHME

---

### Windpark Hövelhof, Errichtung von 3 WEA Siemens-Gamesa Typ SG6.6-170 mit 165 m Nabenhöhe

Hier:

- Geoelektrische Standortuntersuchung
- 

Bauvorhaben: Errichtung dreier WEAs, Siemens-Gamesa Typ SG6.6-170 mit 165 m Nabenhöhe

Bauherr: UKA Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG  
Dr.-Eberle-Platz 1  
01662 Meißen

Auftraggeber: wie vor

Nachfolgend wird die geophysikalische Stellungnahme mit den Seiten 2 bis 18 vorgelegt.

---

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
Glockenplatz 1  
34388 Trendelburg  
Tel. 0 56 71 – 77 97 0  
Fax. 0 56 71 – 77 97 10  
eMail. info@bbu-schubert.de

IBAN DE08 5205 0353 0100 0046 63  
BIC HELADEF1KAS/ Kassel Sparkasse  
St-Nr. 023 368 00060, Ust-IdNr. DE191517390  
FA KSII-HOG (OT), HRA 17775  
Prokuristen: Dipl. Geol. Marcus Kimm  
Dipl. Geogr. Dr. Malte Schindler

Dr. Schubert Verwaltungsgesellschaft mbH  
Leimenkaute 15  
34369 Hofgeismar  
St.-Nr. 025 231 40808  
HRB 17638  
Geschäftsführer: Dr. rer. nat. Claus Schubert

ÖFFENTLICH BESTELLTER UND VEREIDIGTER SACHVERSTÄNDIGER FÜR BAUGRUNDERKUNDUNG, BAUGRUNDUNTERSUCHUNG UND –BEURTEILUNG  
ANERKANNTE SACHVERSTÄNDIGE FÜR UMWELT-, GRÜNDUNGSFRAGEN UND BEWEISSICHERUNGSGUTACHTEN



## 1 Bauvorhaben und Auftrag

Die **UKA Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG** plant die Errichtung dreier Windenergieanlagen in Hövelhof. Im Umfeld der geplanten Windenergieanlagen stehen laut geologischer Karte unterhalb der quartären Lockersedimentbedeckung auslaugungsanfällige Gesteine der Oberkreide an, so dass Erdfälle, Dolinen und ähnliches nicht ohne entsprechende Nachweise ausgeschlossen werden können. Da diese die Standsicherheit der Windenergieanlagen einschränken können, hat die **UKA Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG** die **BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG** beauftragt, wie bei derartigen Standortbedingungen erfolgreich bewährt, geoelektrische Sondierungskartierungen zur Erdfall- und Hohlraumerkundung auszuführen.

## 2 Örtliche Situation und geologische Übersicht

Entsprechend des geologischen Archivmaterials (GK25 Blatt 4117 Verl) stehen oberflächennah überwiegend holozäne Lockersedimente an. Dabei handelt es sich lithologisch um Fein- bis Mittelsande, die auch teilweise humos beeinflusst sein können. Moorbildungen sind ebenfalls verzeichnet. Liegend folgen Fein- bis Mittelsande der Weichselkaltzeit, die äolisch transportiert wurden und vereinzelt Toneinschlusungen enthalten können. Beim darunter anzutreffenden Festgestein herrschen Tonmergel- bis Mergeltonsteine der Oberkreide vor. Nach Auswertung archivierter Tiefenbohrungen ist mit dem Festgestein ab einer Tiefe von ca. 20 m u. GOK zu rechnen.

Zum Zeitpunkt der Berichtsverfassung standen dem Unterzeichnerbüro u.a. folgende Projektunterlagen für die Bearbeitung zur Verfügung:

- Übersichtsplan und Details vom 24.11.2022 (Ü-Plan\_Hövelhof vereinfacht, Proj-Nr. M-1-020-0-00), UKA Meißen Projektentwicklung GmbH & Co. KG, Maßstab 1 : 5000
- Übersichtsplan und Details vom 25.11.2022 (WP\_Hövelhof\_Layoutplanung, Proj-Nr. M-1-020-0-00), UKA Meißen Projektentwicklung GmbH & Co. KG, Maßstab 1 : 5000

## 3 Geoelektrische Messungen

### 3.1 Vorbemerkungen:

#### Beeinträchtigungen des Baugrundes durch Verkarstung oder Erdfälle

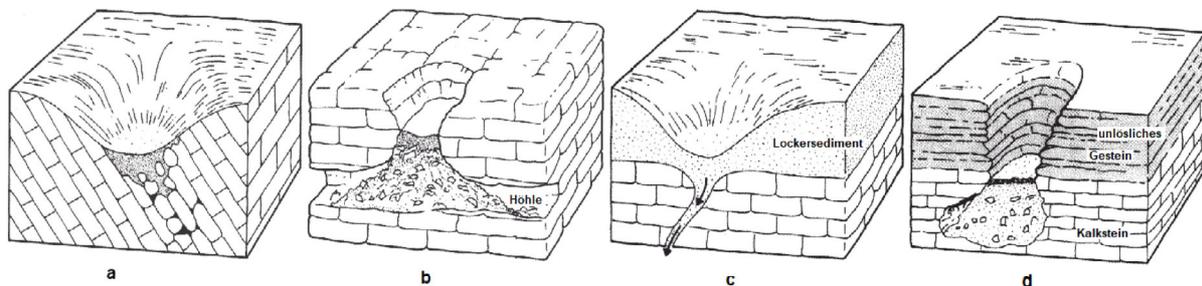
Auslaugungsfähige Gesteine (insbesondere Kalkstein) können verschiedene sogenannte Verkarstungserscheinungen zeigen. Hierzu gehören z. B. erweiterte Klüfte (häufig lehmgefüllt) oder Hohlraumbildung (Karsthöhlen, luft-, wasser- oder lehmgefüllt).

Geschieht die Auslaugung rein unterirdisch, so spricht man von Subrosion. Solche Hohlräume können nach oben durchbrechen bzw. kollabieren (sogenannte Subro-

sionsbrekzien) und zu Erdfällen führen. Auch oberflächennah können auf diese Weise Einsturzbrekzien entstehen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die unterschiedlichen Situationen der Dolinenentstehung.

Blockbild a zeigt die Entstehung einer Doline in einem verkarstungsfähigen Gestein durch Auslaugungserweiterung von vorgezeichneten Schwächezonen, in Blockbild b sieht man einen Erdfall durch Einsturz eines Karsthohlraumes. Die Blockbilder c und d zeigen die analogen Situationen für den Fall, dass das verkarstungs- bzw. auslaugungsgefährdete Gestein von einem anderen überdeckt wird.



**Abbildung 1:** Verkarstung oberflächlich anstehender (a & b) und überdeckter Gesteine (c & d)

Zusätzlich gibt es in den Verbreitungsgebieten von Anhydrit (wasserfreies Calciumsulfat) die Möglichkeit der Bildung von sogenannten Quellkuppen. Durch hinzutretendes Wasser wird Anhydrit in Gips umgewandelt, was mit einer Volumenzunahme verbunden ist. Dadurch können überlagernde Gesteinsschichten angehoben werden.

Auch Dolinen, die im Laufe der Zeit mit Lockergestein wieder aufgefüllt wurden, welches bereits konsolidiert (also u. U. lastabtragungsfähig) ist, können eine Gefährdung darstellen. Bedingt durch die Tatsache, dass weiterhin Lockergestein über die Wasserwegsamkeiten abgeführt wird, ergeben sich gelegentlich schlotartige Nachbrüche in der Dolinenfüllung. Ein Beispiel dafür zeigt nachfolgende Abbildung.

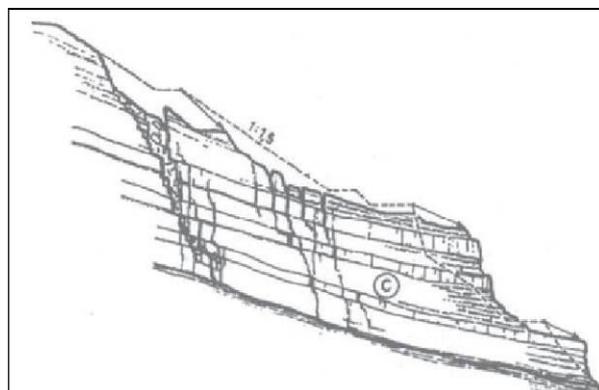


**Abbildung 2:** Erdfall in einer alten Dolinenfüllung auf der Briloner Hochfläche

## **Beeinträchtigungen des Baugrundes durch Steinbruchflächen und tektonische Verwerfungen**

Insbesondere in Hangnähe können Gebirgsauflockerungen durch Hangzerreiung oder rückwärtige Kluftbildungen auftreten, welche eine nachhaltige Gefahr für das Bauvorhaben darstellen können. Tektonische Störungszone, Klufzonen und Rutschkörper können auch ohne oberirdisch erkennbare Anzeichen die Stabilität des Bodens beeinflussen. Dies ist insbesondere bei Sandstein der Fall.

Die folgende Abbildung zeigt skizzenhaft die Bildung von Gleitkrpern (Translationsrutschungen) in einer Hangsituation in mehr oder weniger shlig gelagertem Gebirge. Die Abbildung verdeutlicht beispielhaft, dass sich die akute Bildung von Rutschkörpern an einem Hang zunächst als Auflockerungs- oder Störungszone im rückwärtigen Gebirge bemerkbar macht.



**Abbildung 3:** Translationsrutschung in einem Schichtgestein (aus ZARUBA & MENCL 1969)



## **Indikation möglicher Spalten oder Klüfte sowie Verkarstungserscheinungen durch geoelektrische Messungen**

Spalten oder Klüfte zeichnen sich im Allgemeinen in ansonsten kompaktem Gestein durch geänderte spezifische elektrische Widerstände aus. Auch steil stehende Strukturen können so erkannt werden. Beispiele hierfür sind dem Verfasser aus eigener Erfahrung hinreichend bekannt. Variierende Boden- und Gesteinseigenschaften wie Lagerungsdichten, Verwitterungsgrad, Klüftigkeit oder Porenvolumen haben Einfluss auf den elektrischen Widerstand und können sich entsprechend im Widerstandsmodell eines ansonsten homogenen geologischen Gebirges widerspiegeln. So führt z.B. eine geringere Lagerungsdichte in einer ansonsten dichten Umgebung eines gut leitfähigen Gesteins, wie beispielsweise Tonstein, zu einer signifikanten Erhöhung des spezifischen elektrischen Widerstandes.

Ältere Strukturen (wie Klüfte, Spalten, Dolinen, etc.) können u. U. nicht direkt im Gelände beobachtet werden, da sie im Laufe der Zeit verfüllt wurden. Die Verfüllung kann hierbei schlechter oder besser leitfähig sein als die Umgebung. Diese Strukturen sind dann nicht direkt an den charakteristischen Veränderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes erkennbar, sondern z.B. an ihrer mulden- oder grabenförmigen Gestalt im ermittelten Widerstandsmodell. Daher ist bei der Interpretation von Hohlräumen, Dolinen, Klüften, Störungszonen, etc. insbesondere die sich abzeichnende Form des ermittelten Widerstandsmodells zu beachten, da die Gestalt z.B. Hinweise auf natürliche oder anthropogene Auffüllungen geben kann.

Eine zusammenfassende Aufstellung der genannten Charakteristika findet sich in nachfolgender Übersicht:

### Interpretationshilfen zur Bewertung der „spezif. elektrischen Widerstände“

#### Allgemein:

Je größer die elektr. Leitfähigkeit eines Materials, desto geringer der spezif. elektr. Widerstand.

#### Detektierung von Schichtgrenzen:

Schichtgrenzen (z.B. Locker- / Festgestein) korrelieren meist mit sich ändernden elektr. Widerständen.

#### Boden- und Gesteinseigenschaften

Variierende Boden- und Gesteinseigenschaften wie Lagerungsdichten, Verwitterungsgrad, Klüftigkeit oder Porenvolumen haben Einfluss auf den elektrischen Widerstand und können sich entsprechend im Widerstandsmodell des ansonsten homogenen geologischen Gebirges widerspiegeln.

#### Wassereinfluss / Bodenfeuchte:

geringer Wassergehalt -> erhöhter elektrischer Widerstand  
hoher Wassergehalt -> verringerter elektrischer Widerstand  
(dabei besitzt Süßwasser einen höheren elektrischen Widerstand als Salzwasser).

#### „Hohlräume“ z.B. Karsthöhlen, Dolinen, Klüfte, Spalten, etc.:

Hohlraum über Grundwasser -> erhöhter elektrischer Widerstand  
Hohlraum, wassergefüllt -> verringerter elektrischer Widerstand

offene Kluft -> erhöhter elektrischer Widerstand

lehmgefüllte Kluft -> verringerter elektrischer Widerstand

lehmgefüllte Kluft in hochohmiger Umgebung (z.B. Sandstein, Kristallin) -> verringerter el. Widerstand

lehmgefüllte Kluft in niederohmiger Umgebung (z.B. Tonstein, Tonschiefer) -> erhöhter el. Widerstand

#### Hinweis:

Bei der Interpretation von Hohlräumen, Dolinen, Klüften, Störungszonen, etc. ist insbesondere auch die sich abzeichnende Form des ermittelten Widerstandsmodells zu beachten (z.B. mulden- oder graben-förmige Gestalt), da die Verfüllung der Strukturen, je nach Umgebung, sowohl schlechter als auch besser leitfähig erscheinen kann. Ferner ist zu beachten, dass ältere Strukturen, z.B. aufgrund natürlicher oder anthropogener Auffüllungen, im Gelände oft nicht mehr als solche erkennbar sind.

## **3.2 Beschreibung des Verfahrens - Geoelektrische Widerstandsmessungen**

Geologische und technische Materialien zeichnen sich durch ihre spezifischen elektrischen Eigenschaften aus. Diese sind bei geologischen Materialien (Fest- und Lockergesteine) von verschiedenen Faktoren und Umweltbedingungen abhängig.

Dazu gehören z. B. die mineralogische Zusammensetzung, die Lagerungsdichte, der Verwitterungszustand, das Porenvolumen bzw. die Klüftigkeit und der Wassergehalt. In Bezug auf umwelttechnische Fragestellungen gibt es hier noch Einflüsse von Kontaminationen mit festen und flüssigen Stoffen zu beachten.

Der spezifische elektrische Widerstand des geologischen Untergrundes ist also eine geeignete Messgröße zum Aufsuchen von Inhomogenitäten, die durch lokale Veränderungen der oben genannten Parameter verursacht werden. Mit geeignetem Gerät lässt sich der spezifische elektrische Widerstand des Erdreiches zügig und mit guter



Genauigkeit messen und so eignen sich geoelektrische Messungen besonders zur Vorerkundung von größeren Flächen.

Typische Anwendungsfälle sind die Erkundung der Schichtgrenze von Locker- zu Festgestein. Bei ansonsten homogenen geologischen Verhältnissen lassen sich Variationen in der Lagerungsdichte von Lockergesteinen, welche Auswirkungen auf die bodenmechanischen Kennwerte des Baugrundes haben, feststellen. Hierbei wird oberhalb des Grundwasserspiegels eine Erhöhung des spezifischen elektrischen Widerstandes durch eine verringerte Lagerungsdichte ausgenutzt. Unterhalb des Grundwasserspiegels erkennt man Auflockerungen oder Hohlräume in schlechter leitfähigem Nebengestein durch eine entsprechende Erniedrigung des spezifischen elektrischen Widerstandes.

## **Grundprinzip der Messungen**

Zur Messung des spezifischen elektrischen Widerstandes des Erdreiches wird ein Strom über zwei Elektroden in den Boden eingespeist. Neben Einflüssen durch die Leitfähigkeit und den schichtigen Aufbau des geologischen Untergrundes bestimmt der räumliche Abstand dieser beiden Elektroden, die Eindringtiefe des Prüfstromes in das Erdreich. Durch Vergrößerung des Abstandes der Einspeiseelektroden erhält man also sukzessive Informationen aus zunehmender Tiefe unterhalb der Geländeoberkante.

Um den Widerstand zu bestimmen, wird die an der Erdoberfläche durch den oben genannten Prüfstrom verursachte Spannung gemessen. Dazu benutzt man zwei weitere Elektroden, die in der Regel, räumlich betrachtet, zwischen den Stromeinspeiseelektroden angeordnet werden.

Das Verhältnis der gemessenen Spannung zum eingespeisten Strom ergibt unter entsprechender mathematischer Berücksichtigung der geometrischen Elektrodenanordnung den spezifischen elektrischen Widerstand des Erdreiches.

Führt man an jedem Messpunkt eine Messung mit festem Elektrodenabstand aus, so erhält man nur einen Widerstandswert, der über die verschiedenen Schichten des geologischen Untergrundes gemittelt ist. Misst man mit verschiedenen Abständen oder unterschiedlichen geometrischen Anordnungen der vier Elektroden, so lassen sich Aussagen über den schichtigen Aufbau des Untergrundes herleiten. Dadurch haben sich für unterschiedliche Fragestellungen bestimmte Elektrodenanordnungen als Standard etabliert. Verschiedene Präsentationsformen für die Ergebnisse der Auswertungen erlauben eine problemangepasste Darstellung.

Für die flächenhafte Erkundung des Baugrundes eignen sich die beiden weiter unten beschriebenen Methoden besonders gut.



## **Einflüsse auf die Durchführbarkeit oder die Qualität der Messungen**

Es gibt Störeinflüsse auf die Messungen, welche nur teilweise in der Auswertung korrigiert werden können:

Hierzu gehören metallische Körper (insbesondere Leitungen und Zäune) im Untersuchungsgebiet, die im Prinzip Kurzschlüsse für den eingespeisten Prüfstrom ermöglichen. Geschlossene Bodenversiegelung z.B. durch Beton, Asphalt, etc. behindert das Einstecken der Elektroden und im Falle von bewehrtem Beton besteht ebenfalls die Möglichkeit von Kurzschlüssen. Starker Bewuchs des Geländes (Bäume, Büsche oder ähnlich hinderliche Vegetation) führt zu einer Verringerung des Messfortschrittes oder erzwingt eine starke Abweichung von einer geraden (idealen) Profillinie. Bodenfrost oder starke Trockenheit behindern die Einspeisung des Prüfstromes.

Sehr geringe Unterschiede im spezifischen elektrischen Widerstand der zu unterscheidenden geologischen Schichten können im Grenzfall dazu führen, dass eine Auflösung in einzelne Schichten unmöglich wird.

## **Widerstandskartierung nach Wenner**

Beim sogenannten Wenner-Verfahren liegen die beiden Einspeiseelektroden an den beiden Enden der Gesamtauslage (als Auslage bezeichnet man die gesamte Anordnung mit Kabeln und Elektroden). Die beiden Spannungsmesselektroden liegen auf einer geraden Linie dazwischen. Der Abstand  $a$  der einzelnen Elektroden untereinander ist bei der Wenner-Anordnung immer gleich. Die Gesamtauslage beträgt somit dreimal den Einzelabstand  $a$ .

Diese gesamte Anordnung wird bei der Messung versetzt, so dass man entlang von Profillinien die horizontale Veränderung des spezifischen elektrischen Widerstandes beobachten kann. Eine Unterscheidung verschiedener Schichten in vertikaler Richtung ist durch den konstanten Elektrodenabstand bei der Messung nicht gegeben. Das Wenner-Verfahren ist somit ein ortendes Verfahren für Störungen im geologischen Untergrund, die durch die Messung auf die Oberfläche abgebildet werden. Es ist besonders zur schnellen und zielsicheren Auswahl von nachfolgenden Sondierungen oder sonstigen Aufschlüssen geeignet.

Ordnet man mehrere Profillinien verteilt über die Untersuchungsfläche an, so erhält man ein Kartenbild des spezifischen elektrischen Widerstandes. Die Ergebnisse können in einem Isoliniendiagramm (analog zu Höhenlinien einer topografischen Karte) dargestellt werden. Auffälligkeiten und Störungen im geologischen Untergrund können daraus abgelesen und mit dem erzeugten Kartenbild im Gelände wieder aufgefunden werden.



## Sondierungskartierung im Multielektroden-Wenner-Verfahren

Um eine Aussage über den Aufbau der Schichten des geologischen Untergrundes zu bekommen, ist eine sukzessive Veränderung des Abstandes der Einspeiseelektroden notwendig.

Das sogenannte Multielektroden-Wenner-Verfahren verbindet die kartierenden Möglichkeiten des Wenner-Verfahrens mit einer Tiefenauflösung. Hierbei wird eine Reihe von Elektroden entlang einer Profillinie gesteckt. Die Elektroden werden dann analog zum Wenner-Verfahren äquidistant beschaltet. Im ersten Durchgang wird fortschreitend jeweils eine Viererkette von Elektroden mit dem festen Elektrodenabstand  $a$  beschaltet/gemessen. Nach dem Durchlauf des Messzyklus wird dieses Verfahren mit einem vergrößerten Elektrodenabstand ( $2 \cdot a$ ) wiederholt, wobei entsprechend andere Elektroden bei der Schaltung/Messung angesprochen werden. Diese Messzyklen werden, unter Vergrößerung des Elektrodenabstandes um jeweils eine Einheit  $a$ , wiederholt, bis der maximal mögliche (auslageabhängige) Abstand erreicht ist.

Man erhält im Ergebnis also eine Verknüpfung von ortsauflösender (bzgl. der Erdoberfläche) und tiefenauflösender Widerstandsmessung. Mit einem geeigneten Softwareprogramm und unter Berücksichtigung von geologischen und geophysikalischen Kenntnissen ergeben sich zweidimensionale Schnitte durch den geologischen Untergrund. In Abhängigkeit vom berechneten spezifischen elektrischen Widerstand erhält man so farbige Isoliniendiagramme für diese Vertikalschnitte durch das Erdreich als entsprechend anschauliche grafische Darstellungen für den Schichtaufbau des geologischen Untergrundes.

### **3.3 Durchgeführte Arbeiten bei den geoelektrischen Messungen**

Zur Erkundung des geologischen Untergrundes wurden an den geplanten Standorten geoelektrische Widerstandssondierungen nach dem Multielektroden-Wenner-Beta-Verfahren (s.o.) durchgeführt. Zur Ausführung der Messungen und der Interpretation bzw. numerischen Auswertung der Messergebnisse wurden folgende Geräte und Software verwendet:

- Geoelektrisches Widerstandsmessgerät ABEM Terrameter S1000 mit ABEM LUND Schalteinheit und 42 Elektroden
- Softwareanwendung von S4KWin von ABEM zur Auswertung der Rohdaten
- Inversionsprogramm „Res2Dinv“ zur Modellierung der Widerstandsverteilungen
- Als Elektrodenmaterial wurde Edelstahl verwendet

Der Einzelelektrodenabstand lag dabei bei 3 m, es wurde jeweils mit 42 Elektroden pro Sondierung gemessen. Der Messelektrodenabstand wurde bei den jeweiligen Sondierungen zwischen dem einfachen und dem maximal 13-fachen Einzelelektrodenabstand variiert (s. Beschreibung des Verfahrens). Die derart durch Messungen erfasste Profillänge liegt bei insgesamt **738 m**.

Aus den vorgehend genannten Parametern ergibt sich die Gesamtzahl der einzelnen Widerstandsmessungen zu **1534 diskreten Messpunkten**.



Lagepläne mit Angabe der Standortkoordinaten wurden durch den Auftraggeber bereitgestellt. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren die Mittelpunkte der geplanten Anlagen nicht ausgeflockt. Die Profillinien und die Einzelmesspunkte der Widerstandssondierungen wurden nach Lage mit Hilfe eines GPS-Gerätes eingemessen. Dabei wurden die Profilrichtungen unter Anwendung eines Kompass' festgelegt und die Einmessung der einzelnen Elektrodenpositionen geschah mit einem Bandmaß, so dass die Positionierungsfehler der Elektroden kleiner als 5 % sind.

Die notwendigen Geländearbeiten fanden am 04. und 05.01.2023 bei feuchter bis regnerischer Witterung und Temperaturen um 9° C statt. Der Oberboden war oberflächlich feucht und erlaubte eine gute bis sehr gute Ankopplung der Elektroden.

Die Störeinflüsse durch natürliche und technisch initialisierte Fremdströme waren gering.

## Wahl der Messprofile und einschränkende Bedingungen

An jedem Standort wurden zwei Profile vermessen, die prinzipiell senkrecht zueinander angeordnet waren. Durch diese senkrechte Anordnung zueinander ergibt sich eine größere Flächenabdeckung und laterale Änderungen in der geologischen Situation können besser erfasst werden.

Die Bezeichnungen der Profile und ihre Auslagerrichtungen (= Himmelsrichtung, in die das positive Profilende zeigt) sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet:

Gepplanter Standort	Profilbezeichnung	Profilrichtung [°]
WEA 01	EP 1.1-E	80
WEA 01	EP 1.2-S	168
WEA 02	EP 2.1-E	88
WEA 02	EP 2.2-S	174
WEA 03	EP 3.1-NW	314
WEA 03	EP 3.2-NE	62

**Tabelle 1:** Auslagerrichtungen der Messprofile

Jedes Profil ist mit einer Längenskala versehen, diese reicht von maximal -58 m bis +58 m. Die Lagepläne **Anlage 1.1 bis 1.3** geben die Anordnung der Profile im Gelände wieder. Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarisch einzelne geoelektrische Auslagen der Profile:



**Abbildung 4 und 5:** Profil EP 1.1-E bzw. Profil EP 2.1-E, Blickrichtung jeweils Osten



**Abbildung 6 und 7:** (zweimal) Profil EP 3.1-NW, Blickrichtung Südosten bzw. Nordwesten



## 3.4 Auswertung der geoelektrischen Messungen

Die elektrischen Rohdaten wurden auf die Konsistenz der Datensätze hin überprüft und vom proprietären Format des Instrumentenherstellers in das Res2Dinv-Format überführt.

Die Inversionsrechnungen wurden mit der Software Res2Dinv, die international anerkannt ist und in der angewandten Geophysik standardmäßig verwendet wird, durchgeführt. Die verschiedenen gewonnenen Schichtenmodelle wurden insbesondere im Hinblick auf die in diesem Fall interessierende Fragestellung analysiert. Die Abbildungen in den einzelnen Profilbeschreibungen stellen eine Auswahl der mit Hilfe des Inversionsprogramms gewonnenen elektrischen Schichtenmodelle dar. Dabei lassen sich die einzelnen elektrisch in sich homogenen Schichten des geologischen Unterbaues unterscheiden.

Zwei verschiedene Wertebereiche der ermittelten spezifischen elektrischen Widerstände können im Wesentlichen zur Beurteilung der geologischen Situation herangezogen werden:

1. spezifischer elektrischer Widerstand größer als ca. 80  $\Omega\text{m}$   
Zuordnung zu quartärer Lockergesteinsbedeckung, nicht verfüllter Doline, Klüfte/ Störungen
2. spezifischer elektrischer Widerstand kleiner als ca. 80  $\Omega\text{m}$   
Zuordnung zu Tonmergel-, Mergeltonstein oder verfüllten Störungen/Klüften

Überschneidungen dieser Bereiche, insbesondere durch Verwitterungseinfluss, kommen vor. Eine genauere geologische Einordnung kann erst nach den noch ausstehenden ingenieurgeologischen Untersuchungen vorgenommen werden.

## 3.5 Ergebnisse und Interpretationen der geoelektrischen Messungen

Die Ergebnisse mit der entsprechenden Interpretation sind nachfolgend wiedergegeben.

Die Längen- und Tiefen an den Profildarstellungen sind in Metern angegeben. Zu beachten ist, dass kein fester Maßstab für die Skalierung von Tiefen- und Längenangaben gewählt wurde. Als Einheit für den spezifischen elektrischen Widerstand wird 1  $\Omega\text{m}$  (1 Ohm \* 1 m) verwendet.

Die logarithmische Farbskalierung des spezifischen elektrischen Widerstands reicht von niedrigen (unter 35  $\Omega\text{m}$ ), blau dargestellten über mittlere (ca. 115  $\Omega\text{m}$ , grün skaliert) bis hin zu rötlich dargestellten Werten (über 400  $\Omega\text{m}$ ).

Die Ergebnisse werden nachfolgend ausführlich beschrieben:

## Standort WEA 01

### Profil EP 1.1-E

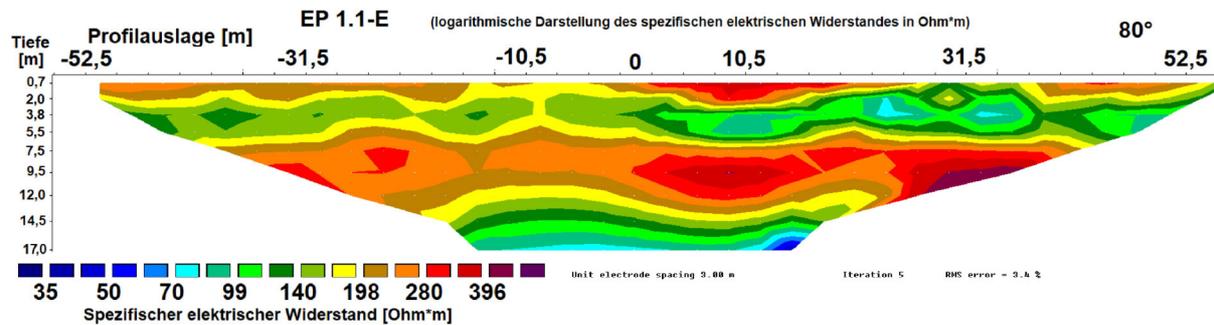


Abbildung 8: Profil EP 1.1-E

Vorstehende Abbildung zeigt das Inversionsmodell mit dem spezifischen elektrischen Widerstand von Profil EP 1.1-E, die rechte Seite der Profildarstellung zeigt nach Osten (80°).

Im Modell ist ein homogener drei- bis vierschichtiger Untergrund mit horizontal verlaufenden Schichten zu sehen. Er beginnt im Hangenden mit einer ca. 2 m mächtigen Schicht mit erhöhten spezifischen elektrischen Widerständen (über 200  $\Omega\text{m}$ , orange bis rote Farbskalierung). Darunter sinken die Werte unter 150  $\Omega\text{m}$  (grün) bis in eine Tiefe von ca. 6 m, um darunter erneut auf über 220  $\Omega\text{m}$  (orange bis rot) anzusteigen. Zum Liegenden (ab ca. 14 m Tiefe) sinken die spezifischen elektrischen Widerstände kontinuierlich ab und erreichen in der maximal sinnvollen Erkundungstiefe von ca. 17 m Werte unter 85  $\Omega\text{m}$  (grüne bis hellblaue Farbgebung).

### Profil EP 1.2-S

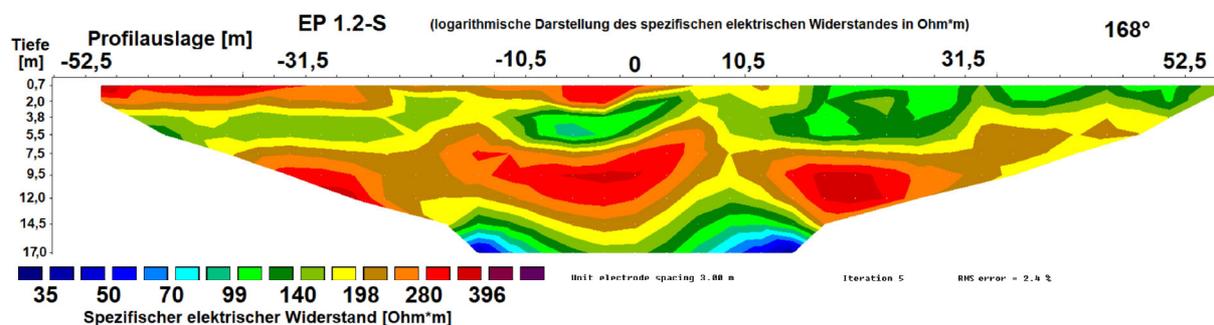


Abbildung 9: Profil EP 1.2-S

In obiger Abbildung ist das Modell zu Profil EP 1.2-S zu sehen, die rechte Seite der Profildarstellung zeigt nach Süden (168°).

Auch hier wird ein drei- bis vierschichtiges Untergrundmodell erzeugt, das sehr ähnlich zu dem vorher Gezeigten zu EP 1.1-E ist, daher wird auf die dortige Beschreibung verwiesen. Insgesamt werden hier die Schichten etwas heterogener dargestellt als bei obigem Diagramm. Insbesondere bei Profilmeter 9 ist diese Heterogenität in ca. 6 bis 10 m Tiefe erkennbar, dort besteht ein vager Anfangsverdacht auf eine mögliche Störung, die mit Hilfe der Ingenieurgeologie näher untersucht werden sollte.

Ohne der ingenieurgeologischen Erkundung vorzugreifen, signalisiert das deutliche Absinken der spezifischen elektrischen Widerstandswerte ab ca. 14 m Tiefe wahrscheinlich den Übergang ins Festgestein, das hier vermutlich aus Mergelton- oder Tonmergelstein besteht. Die hangend darüber modellierten Werte stehen nicht im Widerspruch zu unterschiedlich feuchten quartären Lockersedimenten, die zudem unterschiedliche Ton- oder Schluffanteile besitzen können.

Über die bereits beschriebene näher zu untersuchende Verdachtsregion (Profil EP 1.2-S, Profilmeter 9) hinaus ergeben sich aus beiden Modellen zum geplanten Standort WEA 01 keine weiteren Verdachtsmomente auf Störungen oder Klüfte.

## Standort WEA 02

### Profil EP 2.1-E

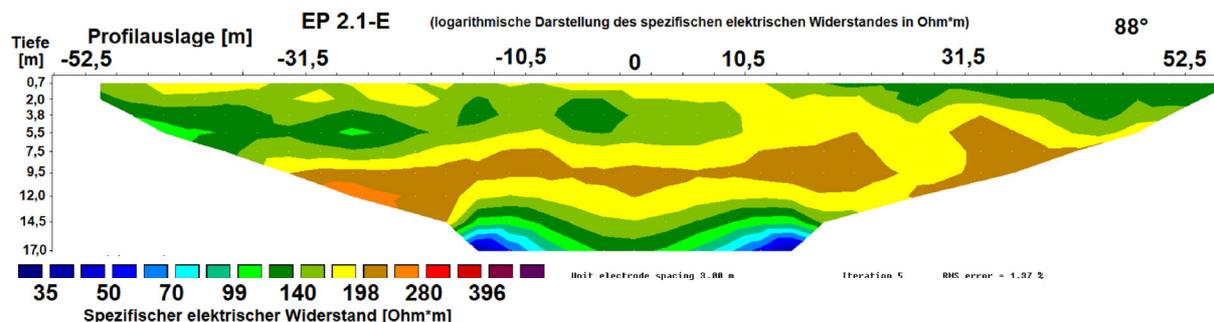


Abbildung 10: Profil EP 2.1-E

Das obige Untergrundmodell zeigt die spezifischen elektrischen Widerstände von Profil EP 2.1-E, die rechte Seite der Profildarstellung zeigt nach Osten (88°).

Zu sehen ist ein relativ homogener eher zwei- als dreischichtiger Untergrund mit fast horizontal verlaufender Schichtung. Insgesamt liegen die Widerstandswerte des Hangenden in einem sehr kleinen Intervall (140 bis 220  $\Omega$ m, gelb bis orange dargestellt). In der Tiefe von ca. 6 bis 11 m könnte man hier eine Zwischenschicht leicht erhöhter Werte verorten, vermutlich wird es sich dabei um keine eigene geologische Schicht handeln, da die Effekte wahrscheinlich auf geringere Feuchtigkeit oder etwas niedrigeren Ton- oder Schluffanteil im hier (nach Geologischer Karte) anzutreffenden Sand zurückzuführen sind. Daher ist von einem Zweischichtfall auszugehen und entsprechend bildet das Liegende die zweite Schicht. Ab ca. 15 m Tiefe sinken hier

die Widerstände auf unter 50  $\Omega\text{m}$  (grün bis blau skaliert) und reichen bis zur maximal sinnvollen Erkundungstiefe von ca. 17 m.

## Profil EP 2.2-S

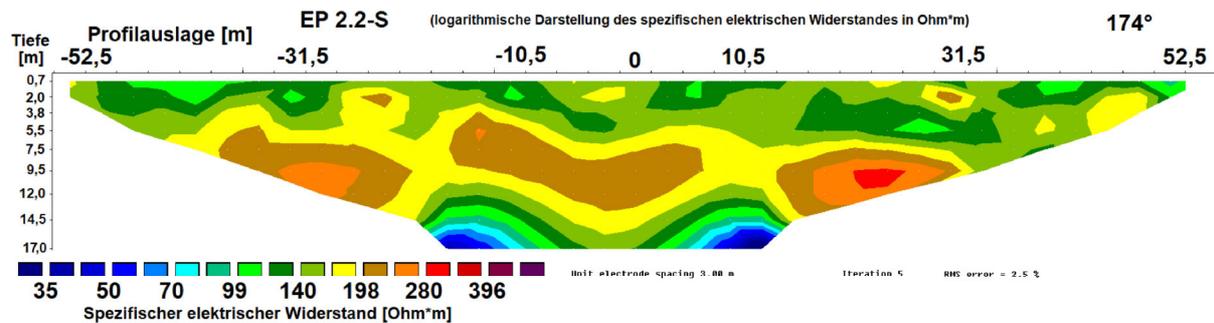


Abbildung 11: Profil EP 2.2-S

Vorstehendes Modell zu Profil EP 2.2-S dessen rechte Seite nach Süden (174°) weist, zeigt einen sehr ähnlichen Aufbau des Untergrundes wie das zugehörige senkrecht verlaufende oben Besprochene zu Profil EP 2.1-E, daher wird auch hier auf obigen Text verwiesen.

Im vorliegenden Fall ist das Hangende etwas heterogener und der Bereich mit etwas höheren spezifischen elektrischen Widerständen (orange Farbgebung) reicht von ca. 6 bis 13 m, er wird somit geringfügig mächtiger modelliert. Insgesamt liegen die jeweils unterschiedlich zugeordneten Farben erneut in einem engen Wertebereich und können mitunter nicht vorhandene Strukturen suggerieren, da die Farbunterschiede innerhalb kleiner Schwankungen des spezifischen elektrischen Widerstandes optisch stark kontrastieren ohne einen geologischen Hintergrund anzuzeigen.

Daher ist erneut von einem Zweischichtfall auszugehen, bei dem das Liegende ab ca. 15 m Tiefe (bis zur maximal sinnvollen Erkundungstiefe von ca. 17 m) ebenfalls von einer deutlich besser leitfähigen Schicht gebildet wird (hellblaue bis blaue Skalierung).

## Standort WEA 03

### Profil EP 3.1-NW

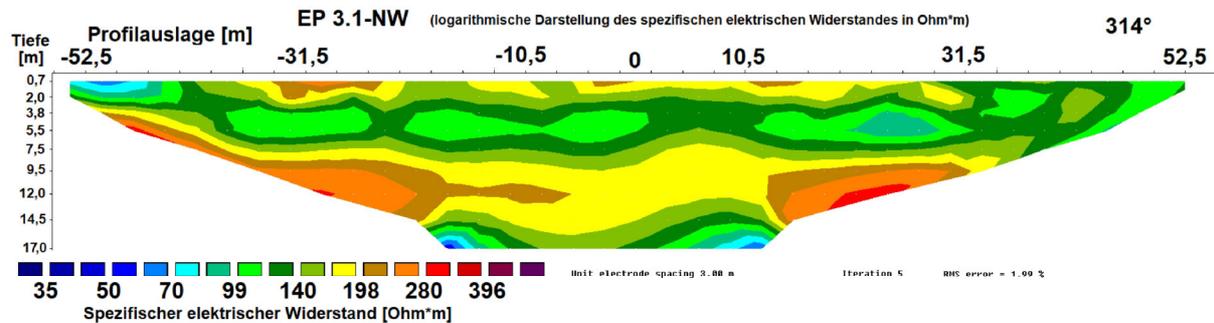


Abbildung 12: Profil EP 3.1-NW

### Profil EP 3.2-NE

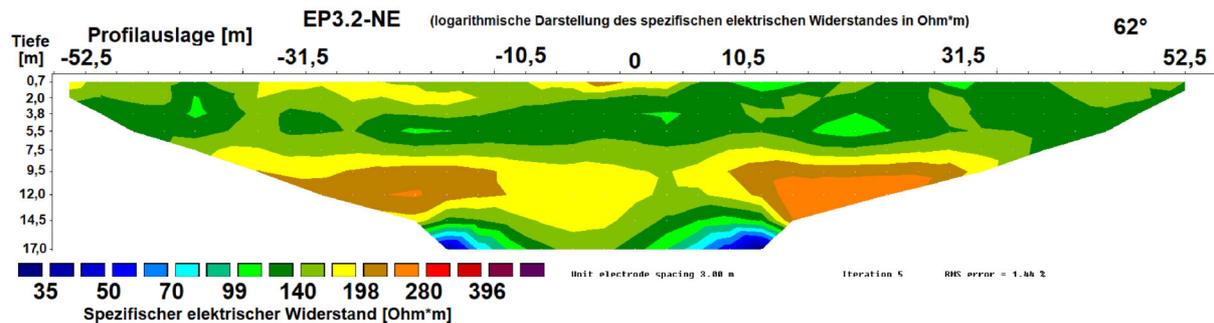


Abbildung 13: Profil EP 3.2-NE

Die beiden obigen Abbildungen (12 & 13) zeigen die Diagramme der Profile EP 3.1 und EP 3.2, die mit gleicher Skalierung und Darstellungsweise wie bei den Modellen zu WEA 01 und WEA 02, die spezifischen elektrischen Widerstände des Untergrundes zeigen.

Beide Inversionsmodelle der senkrecht aufeinander verlaufenden Profile zeigen im Ergebnis qualitativ eine Kombination der beiden Standorte (WEA 01 und WEA 02) und ergänzend wird auf die dortige Beschreibung verwiesen.

Hier wird ein drei- bis vierschichtiges Modell erzeugt, mit homogener horizontaler Schichtung und einer „Wechselagerung“ der Widerstände. Unter einer dünnen teilweise etwas hochohmigeren Deckschicht folgt in ca. 2 m Tiefe eine ca. 6 m mächtige Schicht mit niedrigen Widerstandswerten (um 120  $\Omega$ m, grün dargestellt). Von ca. 8 bis 14 m Tiefe folgt eine Schicht mit leicht schlechterer Leitfähigkeit (160 bis 280  $\Omega$ m, gelbe bis orange Skalierung) die ab ca. 15 m Tiefe vom deutlich besser leitfähigen (unter 60  $\Omega$ m, hellblau bis blau) Liegenden abgelöst wird (bis zur maximal sinnvollen Erkundungstiefe von ca. 17 m).



## 3.6 Zusammenfassung der geoelektrischen Erkundungen

Durch die geophysikalischen Untersuchungen konnte die geologische Situation weiter aufgeklärt werden. Für alle drei geplanten Standorte zeigen die Untergrundmodelle der spezifischen elektrischen Widerstandswerte einen relativ homogenen horizontal geschichteten Untergrund. Dabei liegen die den Widerständen jeweils unterschiedlich zugeordneten Farben in einem engen Wertebereich und können mitunter nicht vorhandene Strukturen suggerieren, ohne einen geologischen Hintergrund anzuzeigen. Dadurch werden in einigen Profilen vermutlich mehr Schichten dargestellt, als geologisch (deutlich) unterscheidbar sind.

Ohne der ingenieurgeologischen Erkundung vorzugreifen liegen, unter Einbeziehung der Informationen aus der geologischen Karte, hangend vermutlich quartäre Lockersedimente bis in eine Tiefe von ca. 14 bis 15 m über dem sich anschließenden Liegenden, das wahrscheinlich aus Mergelton- oder Tonmergelstein besteht.

Die im Hangenden auftretenden Horizonte mit teilweise schichtartig unterschiedlichen Leitfähigkeiten werden sicherlich durch die unterschiedlich feuchten quartären Lockersedimente beziehungsweise deren wechselndem Ton- oder Schluffanteil erzeugt.

Außer im Fall des geplanten Standortes WEA 01 mit der oben bereits beschriebenen näher zu untersuchenden Verdachtsregion (Profil EP 1.2-S, Profilmeter 9) ergeben sich aus den Modellen zu den geplanten Standorten WEA 02 und WEA 03 keine weiteren Verdachtsmomente auf Störungen oder Klüfte und es spricht aus geophysikalischer Sicht nichts gegen eine Gründung an diesen Standorten.

## 4 Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Für Windenergieanlagen des Anlagenherstellers ist gemäß dem Anforderungskatalog für die Baugrunderkundung in seiner aktuellsten Fassung der spezifische Erdwiderstand zu messen.

Grundlage für die Ausführung derartiger Messungen ist die VDE-Richtlinie 0185-305. Darin wird für die Messungen ein Vierpol-Verfahren (z.B. Wenner-Verfahren) und ein Mindestabstand Erder - Hilferder (= Stromeinspeiseelektroden) von 20 m gefordert.

Die Messungen wurden, gemäß der Technischen Information „Messung des spezifischen Erdwiderstandes  $\rho_s$ “ 01/2017 der Fa. Enercon, am 04. und 05.01.2023 bei feuchter bis regnerischer Witterung und Temperaturen um 9° C durchgeführt. Der Oberboden war oberflächlich feucht und erlaubte eine sehr gute Ankopplung der Elektroden. Für die Durchführung der Messungen wurde das *ABEM Terrameter S1000 mit ABEM LUND Schalteinheit* (s.o.) verwendet. Als Elektrodenkonfiguration kam gemäß der vorgenannten Technischen Information die Wenner- $\alpha$  Anordnung zur Anwendung.

# BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik



Aus den gemessenen Widerstandswerten wurde nach der Formel

$$\rho_s = 2\pi a R$$

der scheinbare spezifische elektrische Widerstand  $\rho_s$  ermittelt. R bezeichnet dabei den am Messgerät abgelesenen Widerstandswert.

Die verwendeten Elektrodenabstände a in m und der spezifische elektrische Widerstand  $\rho_s$  in  $\Omega\text{m}$  sind für die jeweiligen Standorte der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

a [m]	WEA 01 $\rho_s$ [ $\Omega\text{m}$ ]	WEA 02 $\rho_s$ [ $\Omega\text{m}$ ]	WEA 03 $\rho_s$ [ $\Omega\text{m}$ ]
2	249.8	151.2	192.9
3	207.9	148.8	168.2
5	169.4	153.6	140.5
8	168.8	164.7	135.3
12	155.7	151.8	146.2
16	150.5	134.4	133.2
20	138.0	117.9	118.9
25	117.3	98.7	105.2
30	96.9	85.6	83.8

Tabelle 2: Scheinbarer spezifischer elektrischer Erdwiderstand an den Standorten WEA 01 bis 03

Für weitere geophysikalische oder auch ingenieurgeologische Beratungen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
vertreten durch Dr. Schubert Verwaltungsgesellschaft mbH

Aufgestellt: Trendelburg, 24.01.2023  
Geophysik & Geotechnik

Glockenplatz 1 • 34385 Trendelburg  
Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • Fax 0 56 71 - 77 97 10  
eMail: info@bbu-schubert.de  
www.bbu-schubert.de

Dr. Malte Schindler

BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG  
vertreten durch Dr. Schubert Verwaltungsgesellschaft mbH

Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
Geophysik & Geotechnik

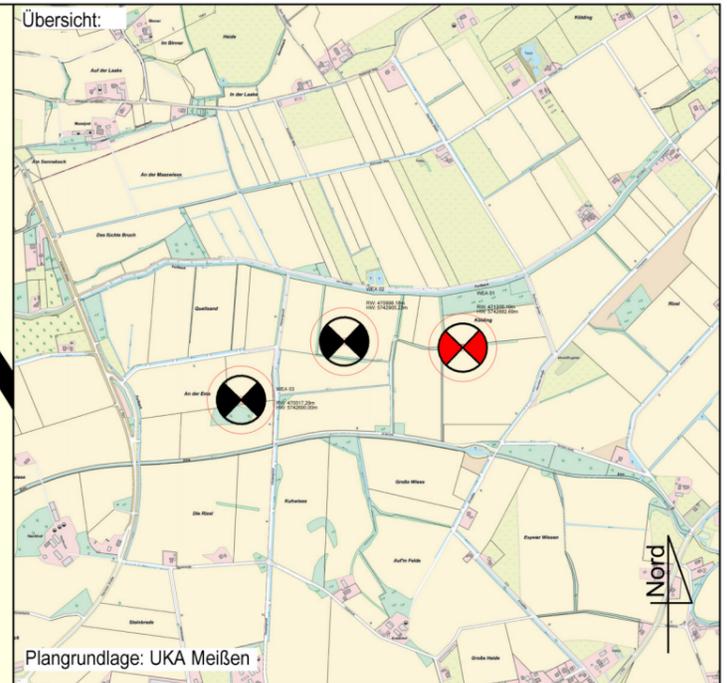
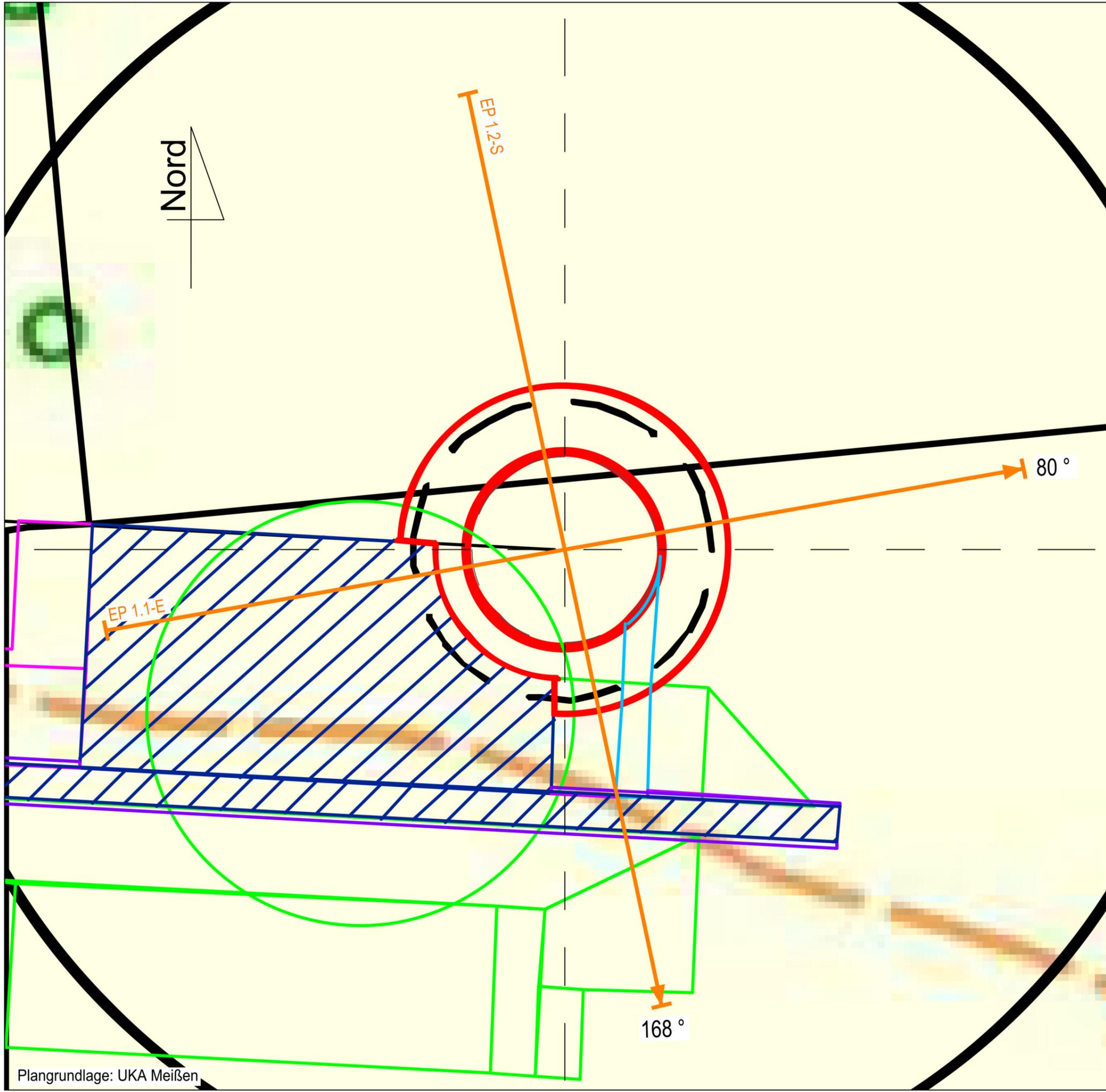
Glockenplatz 1 • 34385 Trendelburg  
Tel. 0 56 71 - 77 97 0 • Fax 0 56 71 - 77 97 10  
eMail: info@bbu-schubert.de  
www.bbu-schubert.de

Dipl.-Geophysiker Michael Daub  
Projektbearbeitung - BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG

Anlagen 1.1 bis 1.3 - Lageplan mit Einkartierung der Elektrikprofile

### Schutzvermerk ISO 16016:

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.

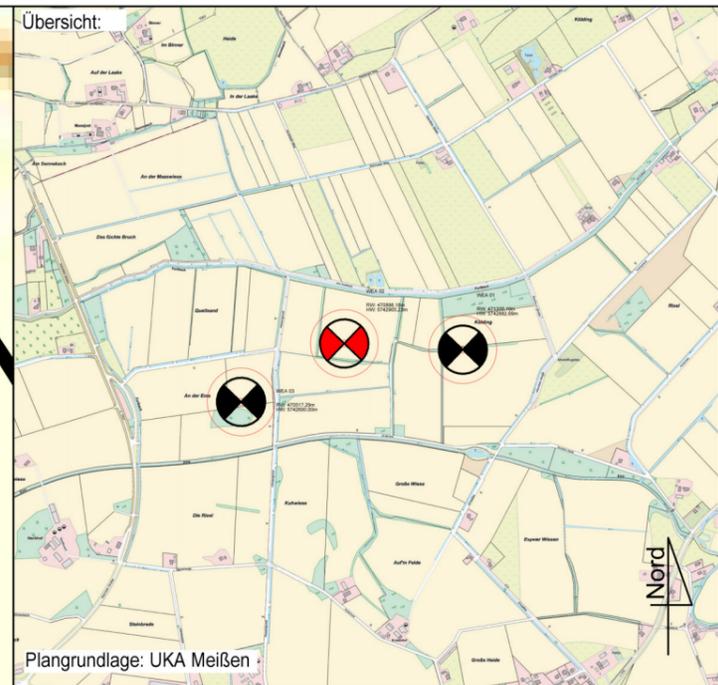
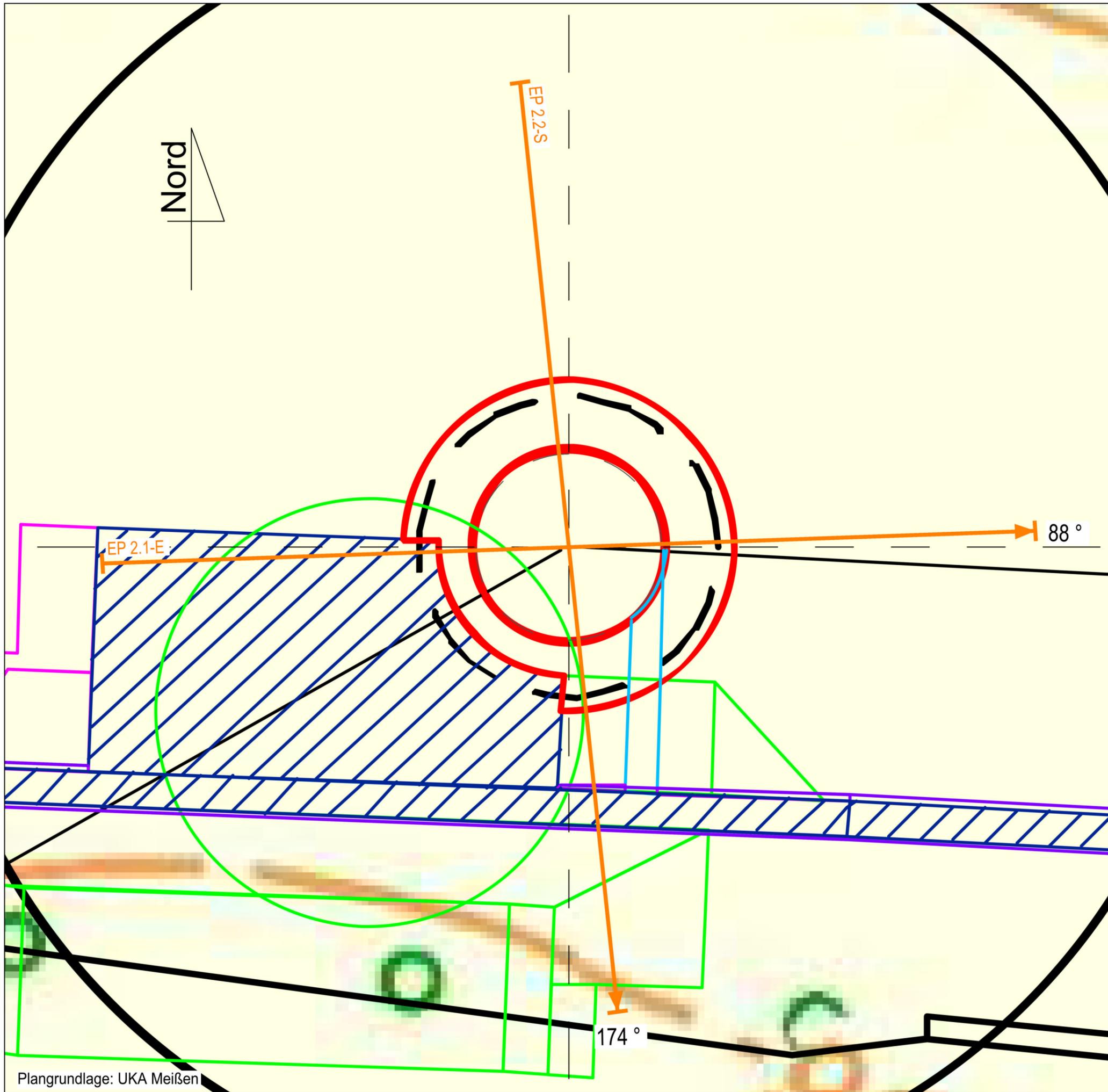


**Legende:**

 Geoelektrisches Messprofil

<b>BBU Dr. Schubert GmbH &amp; Co. KG</b> Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik Glockenplatz 1 - 34388 Trendelburg Tel. 05671 / 77970 - Fax. 05671 / 779710 eMail: info@bbu-schubert.de - Homepage: www.bbu-schubert.de				
Auftraggeber:	Projekt Nr:	Anlage:		
<b>UKA Meißen</b>	221377	1.1		
<b>Projektentwicklung GmbH &amp; Co. KG</b>	Maßstab: (A3-Format)	Datum:		
Dr.-Eberle-Platz 1	1:500	24.01.2023		
01662 Meißen	Gezeichnet:	Geprüft:		
Baumaßnahme:	DW	MD		
Windpark Hövelhof	Planinhalt:			
Errichtung von 3 WEA	<b>Lageplan</b> der			
Nordex N163	Erkundungspunkte			
	WEA1			

Plangrundlage: UKA Meißen



**Legende:**

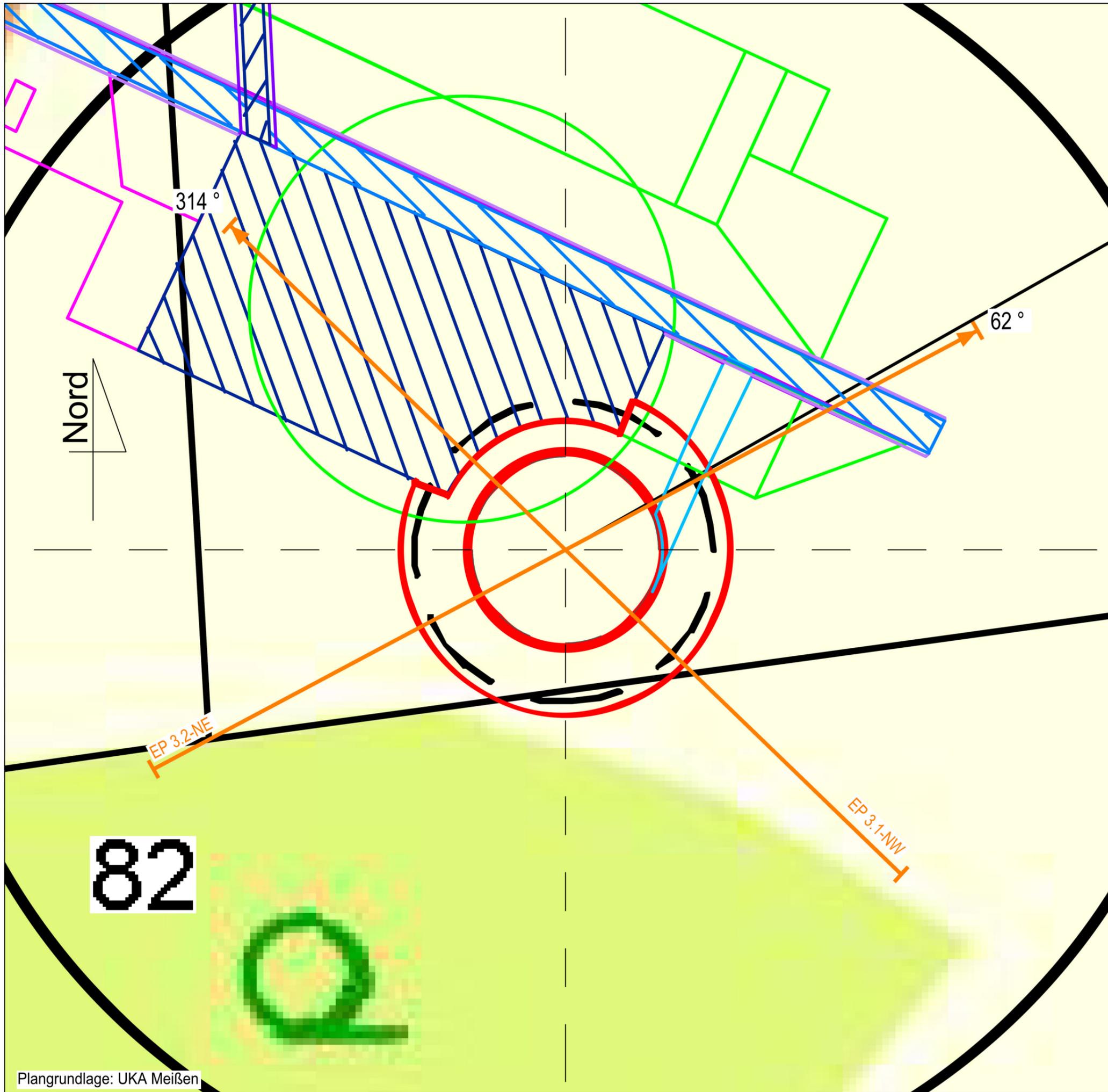
Geoelektrisches Messprofil

**BBU Dr. Schubert GmbH & Co. KG**  
 Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen  
 Geophysik & Geotechnik  
 Glockenplatz 1 - 34388 Trendelburg  
 Tel. 05671 / 77970 - Fax. 05671 / 779710  
 eMail: info@bbu-schubert.de - Homepage: www.bbu-schubert.de



Auftraggeber: <b>UKA Meißen</b> Projektentwicklung GmbH & Co. KG Dr.-Eberle-Platz 1 01662 Meißen	Projekt Nr.: 221377	Anlage: 1.2
Baumaßnahme: Windpark Hövelhof Errichtung von 3 WEA Nordex N163	Maßstab: (A3-Format) 1:500	Datum: 24.01.2023
	Gezeichnet: DW	Geprüft: MD
	Planinhalt: <b>Lageplan</b> der Erkundungspunkte WEA2	

Plangrundlage: UKA Meißen



**Legende:**

 Geoelektrisches Messprofil

<b>BBU Dr. Schubert GmbH &amp; Co. KG</b> Angewandte Geologie, Baugrundsachverständigenwesen Geophysik & Geotechnik Glockenplatz 1 - 34388 Trendelburg Tel. 05671 / 77970 - Fax. 05671 / 779710 eMail: info@bbu-schubert.de - Homepage: www.bbu-schubert.de				
Auftraggeber:	Projekt Nr:	Anlage:		
<b>UKA Meißen</b>	221377	1.3		
<b>Projektentwicklung GmbH &amp; Co. KG</b>	Maßstab: (A3-Format)	Datum:		
Dr.-Eberle-Platz 1	1:500	24.01.2023		
01662 Meißen	Gezeichnet:	Geprüft:		
Baumaßnahme:	DW	MD		
Windpark Hövelhof	Planinhalt:			
Errichtung von 3 WEA	<b>Lageplan</b> der			
Nordex N163	Erkundungspunkte			
	WEA3			