

Anlage 11

**Geophysikalische Messungen**

**Erläuterung**  
**Geophysikalische Messungen**  
**Ermittlung des spezifischen Erdwiderstandes**  
**Temperaturmessungen des Bodens**  
**Windpark Wilhelmshöhe II**  
**bei Uetze**

**Niedersachsen**  
**Region Hannover**  
**August 2018**

**Erläuterung**

**Geophysikalische Messungen**

**Ermittlung des spezifischen Erdwiderstandes**

**Temperaturmessungen des Bodens**

**Windpark Wilhelmshöhe II bei Uetze**

Auftraggeber : BGA Ingenieurbüro für Baugrund-Grundwasser-Altlasten  
Zuckerbergweg 22  
38124 Braunschweig

Auftragnehmer : GBM Geophysikbüro Munstermann  
Industriepark I  
Straße A Nr. 1  
39245 Gommern

Aufgabe : Geophysikalische Messungen zur Erkundung von elektri-  
schen Erdwiderständen sowie der Temperatur

Methodik : 1 D - Geoelektrik

Bearbeiter : Dipl. - Geophysiker Dirk Munstermann

Gommern, den 25. August 2018



Dirk Munstermann  
Bearbeiter

## **1.0 Allgemeines**

Das BGA Ingenieurbüro für Baugrund-Grundwasser-Altlasten, Braunschweig, beauftragte das Geophysikbüro Munstermann, Gommern, mit der Ermittlung von spezifischen elektrischen Erdwiderständen und von Temperaturmessungen im Bereich des Windparks Wilhelmshöhe II bei Uetze (Region Hannover). Es sind acht Anlagen zu untersuchen.

Nach geologischen Gesichtspunkten ist der oberflächennahe Untergrund zum großen Teil aus sandigem Materialien.

## **2.0 Geoelektrische Messungen**

Die Messungen wurden mit dem Messgerät Super Sting R1 der Firma AGI (USA, Texas, Seriennummer SP 1402279) am 23.08.2018 durchgeführt.

**Bild 1:** Messsystem Sting / Swift (AGI)



Die geoelektrischen Messungen erfolgten in Form von 1 D - Widerstandsmessungen nach der Wenner – Konfiguration mit Elektrodenabständen  $a$  von 0,5, 1, 2, 3, 5, 8, 12, 16, 20, 25 und 30m. Die Widerstandswerte wurden durch die Messung von mindestens 2 Messzyklen ermittelt.

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

Die Einmessung der Abstände zwischen den Elektroden erfolgte mit Bandmaß und einem DGPS-System der Firma Spectra. Dabei wurde eine Lagegenauigkeit von unter 2 cm erzielt.

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 Elek-

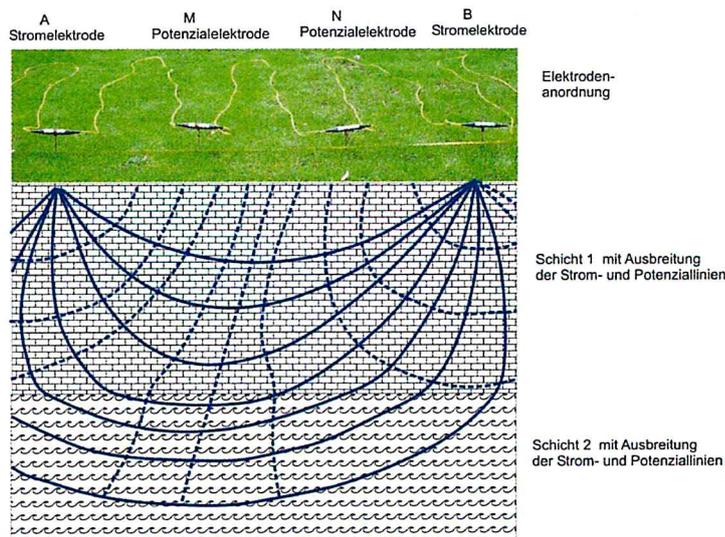
troden M und N) das Potenzial abgegriffen wird. Das sich herausbildende Potenzial und der Stromfluss sind ein Maß für den scheinbaren spezifischen Widerstand des Bodens.

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

$\rho$  = elektr. Widerstand  
 $\Delta V$  = Spannungsdifferenz  
 $I$  = Stromstärke  
 $K$  = Länge des Leiters

Der Leiter ist in diesem Fall der Untergrund.

**Bild 2: Skizze Messprinzip Geoelektrik**



**Bild 3: Schematischer Messaufbau nach WENNER**

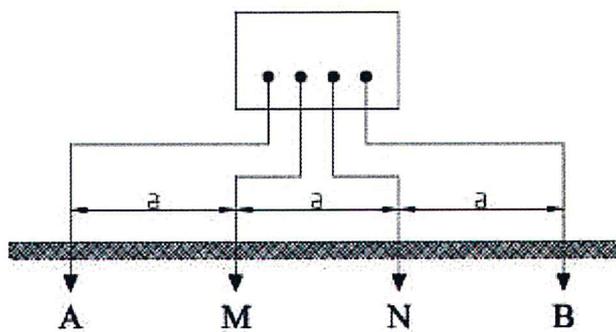


Abb. 1: Messaufbau Messung des spezifischen Erdwiderstandes  
 a: Gleicher Abstand zwischen den Messelektroden

Bei der WENNER – Konfiguration besitzen die Abstände zwischen den Elektroden die gleichen Abstände. Bei den Elektroden A und B wird der Strom in den Untergrund eingespeist und bei den Elektroden M und N die Spannung abgenommen.

Die Ergebnisse der Messungen sind entsprechend den Vorgaben der technischen Information in Tabellenform für den Mittelpunkt der geplanten Windenergieanlagen enthalten (Anlagen 1 – 8).

### **3.0 Temperaturmessungen**

Des Weiteren sollte die Temperatur in einer Tiefe 1m ermittelt werden. Im Bereich dieser Tiefe werden Kabel verlegt.

Die Temperatur des Untergrundes hängt im oberflächennahen Bereich von der Strahlungsintensität der Sonne und in tieferen Bereichen von thermischen Prozessen im Erdinnern ab. Außerdem ist die Wärmeleitfähigkeit des Bodens, die auch die Temperatur mit beeinflusst, von den Eigenschaften des Bodens abhängig. Diese Eigenschaften sind insbesondere die Porosität, Wassersättigung, Dichte und Korngröße. Aus diesen Eigenschaften lässt sich auch der thermische Widerstand des Bodens ableiten.

Im betreffenden Tiefenbereich von 1m wird die Temperatur von der Strahlungsintensität und den Bodeneigenschaften beeinflusst. Dabei kommt es zu einem so genannten Temperaturgang. Je nach Länge und der Intensität der Strahlung der Sonne verändert sich die Temperatur des Bodens, auch in einer Tiefe von 1m, noch.

Zur Ermittlung der Temperatur in einer Tiefe von 1 m unter Geländeoberkante wurde ein Bereich von ca. 1m<sup>2</sup> bis in eine Tiefe von 1m ausgeschachtet und eine Temperatursonde in den Bereich befestigt. Dazu wurde ein Temperaturmessfühler der Firma Greisinger (Soil Temp 285-50, Type Pt 1000) genutzt, der am unteren Ende eines ca. 1m langen Stabes angebracht ist. Der Bereich wurde verfüllt und die Temperatur nach 1 Stunde abgelesen.

**Bild 4:** Temperaturmessungen mit Temperatursonde Soil Temp 285-50,  
Typ Pt 1000 der Firma Greisinger



Die Messungen erfolgten am 14.08.2018 im Zeitraum vom 11.00 Uhr bis 19.30 Uhr. Dabei schwankte die Lufttemperatur zwischen 18 und 24 °C und die gemessene Temperatur an den einzelnen Standorten zwischen 18,6 und 20,4 °C. Dabei gilt es auch zu beachten, dass das Wetter von sonnig bis regnerisch reichte. In der folgenden Tabelle sind die Messungen und die Umgebungsparameter zusammengestellt.

**Tabelle 1: Temperaturmessungen und Umgebungsparameter**

WEA	Zeit	Wetter	Lufttemperatur [°C]	Temperatur in 1m Tiefe [°C]	Boden in 1m Tiefe
29	9.53 Uhr	sonnig	18	18,9	sandig, trocken
	11.04 Uhr	sonnig	19	18,6	sandig, trocken
28	11.27 Uhr	sonnig	19	18,7	sandig, trocken
	12.27 Uhr	sonnig	20	19,1	sandig, trocken
27	12.42 Uhr	sonnig	20	20,2	sandig, erdfeucht
	13.49 Uhr	zwischenzeitlich Starkregen, dann sonnig	zwischenzeitlich bei Starkregen 18°C, dann 21°C	19,6	sandig, erdfeucht
24	14.15 Uhr	bedeckt	24	19,2	sandig, erdfeucht
	15.15 Uhr	bedeckt	24	19,1	sandig, erdfeucht
25	15.18 Uhr	sonnig	24	19,2	sandig, erdfeucht

	16.18 Uhr	sonnig	22	19,6	sandig, erdfeucht
26	16.20 Uhr	wolkig	22	18,3	sandig, trocken
	17.20 Uhr	wolkig	20	18	sandig, trocken
22	17.25 Uhr	wolkig, teilwei- se leichter Regen	20	20,6	sandig, erdfeucht
	18.25 Uhr	wolkig, teilwei- se leichter Regen	20	20,4	sandig, erdfeucht
23	18.30 Uhr	wolkig	20	19,2	sandig, erdfeucht
	19.30 Uhr	wolkig	20	19,1	sandig, erdfeucht

#### **4.0 Thermischer Widerstand**

Stromkabel entwickeln in Betrieb genommen eine gewisse Wärme. Zur Vermeidung von hohen Temperaturen oder gar einer Überhitzung sollte auch der thermische Widerstand (oder die Leitfähigkeit als Reziproke) der Umgebung beachtet werden. Die Umgebung der Kabel bildet hier der Untergrund in ca. 1 m Tiefe.

Der thermische Widerstand des Bodens ist von einigen Eigenschaften des Bodens abhängig und kann nur aus der Ermittlung der Bodeneigenschaften abgeleitet werden: Die Bodeneigenschaften sind:

- Dichte (bzw. Porosität und Korngröße)
- Spezifische Wärmekapazität
- Feuchtigkeit
- Sättigung

Grundsätzlich gilt, bei trockenen porösen sandigen Böden ist der thermische Widerstand relativ hoch und bei feuchten oder nassen, bindigen Böden ist der thermische Widerstand relativ niedrig.

Bei den untersuchten Standorten steht bei 1 m Tiefe unter Geländeoberkante überall Sand an, Dieser ist teilweise erdfeucht und teilweise trocken. Der Sand ist relativ locker, es wird eine Porosität von 30-35% angenommen. Die Dichte des Sandes in diesen Tiefen ist bei ca. 1.8 g/cm<sup>3</sup>.

In der folgenden Tabelle ist eine Zusammenstellung der Parameter und eine Ableitung des thermischen Widerstandes aufgeführt. Dabei wurden Untersuchungen der Bodeneigenschaften von de Vries (1963) und von Trinks (2010) genutzt.

**Tabelle 1: Thermischer Widerstand und Umgebungsparameter**

WEA	Bodenart	spez. Wärmekapazität [kJ/kgK]	Porosität	elektrischer Widerstand [Ohm*m]	Feuchtegrad/Sättigung [%]	Thermischer Widerstand [mK/W]
22	Sand	0,9	35	255	10	0,5
23	Sand	0,9	35	247	10	0,5
24	Sand	0,9	35	315	10	0,5
25	Sand	0,9	35	270	10	0,5
26	Sand	0,9	35	1150	0	3
27	Sand	0,9	35	590	5	0,7
28	Sand	0,9	35	1800	0	3
29	Sand	0,9	35	800	2	0,6