

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-

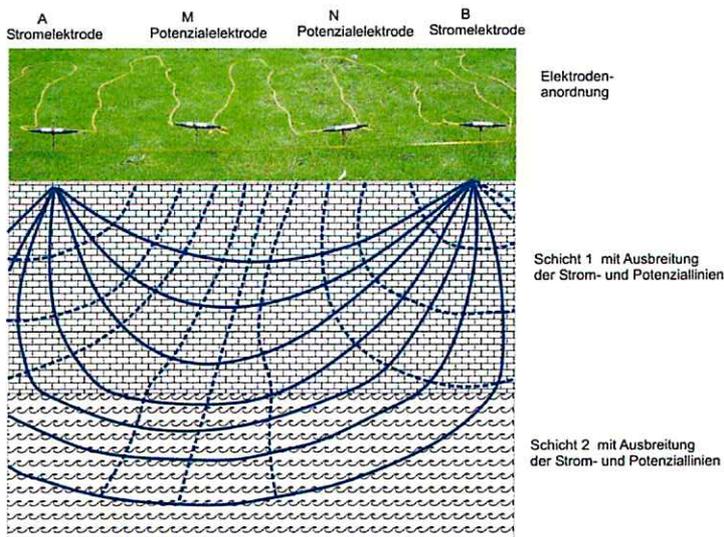
troden M und N) das Potenzial abgegriffen wird. Das sich herausbildende Potenzial und der Stromfluss sind ein Maß für den scheinbaren spezifischen Widerstand des Bodens.

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

$\rho$  = 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**

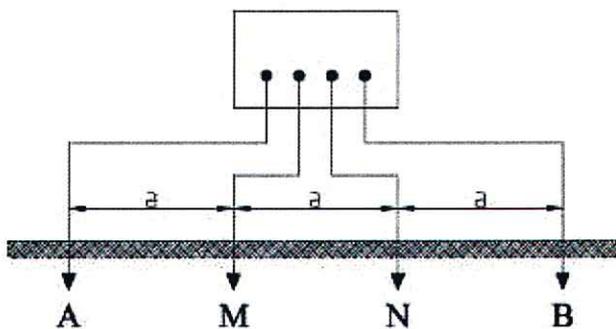


Abb. 1: Messaufbau Messung des spezifischen Erdwiderstandes  
 a: Gleicher Abstand zwischen den Messelektroden

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

Technische Information

Messung des spezifischen Erdwiderstandes  $\rho_s$

### Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann  
Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern  
Name Ausführender: Dirk Munstermann  
Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II  
WEA-Nr./Ü-Station: WEA 22  
Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325816098 ; 582200  
Messung in Nordwest-Südost-Richtung  
Messgerät Typ, S/N, Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis: Kalibrierung gültig bis 02/2019  
Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 20 ° C, wolkig, leichter Regen, Acker, abgeerntet, sandig, erdfeucht

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	48,2182	151,482	
1	36,8307	231,414	
2	20,8588	262,12	
3	12,4266	234,235	
5	5,44332	171,007	
8	2,11773	106,449	
12	1,12169	84,5732	
16	0,826324	83,0712	
20	0,636913	80,0368	
25	0,543787	85,4179	
30	0,360271	67,9096	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018 

Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

## Technische Information

### Messung des spezifischen Erdwiderstandes $\rho_s$

## Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann

Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern

Name Ausführender: Dirk Munstermann

Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II

WEA-Nr./Ü-Station: WEA 23

Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325816836 ; 582689  
Messung in West-Ost-Richtung

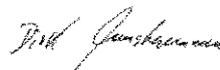
Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis 02/2019

Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 20 ° C, wolkig, Stoppelacker, sandig, erdfeucht

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	86,5758	271,986	
1	42,2403	265,404	
2	21,4317	269,319	
3	11,805	222,519	
5	4,59235	144,273	
8	2,23321	112,253	
12	1,38421	104,367	
16	1,0133	101,868	
20	0,791569	99,4716	
25	0,59684	93,7515	
30	0,462284	87,1385	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

Anlage 2

## Technische Information

### Messung des spezifischen Erdwiderstandes $\rho_s$

## Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann

Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern

Name Ausführender: Dirk Munstermann

Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II

WEA-Nr./Ü-Station: WEA 24

Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325816439 , 583790  
Messung in Nordost-Südwest-Richtung

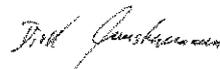
Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis 02/2019

Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 24 ° C, bedeckt, am Spargelacker, sandig, nass

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	39,0546	122,694	
1	27,221	171,034	
2	23,5394	295,805	
3	17,5846	331,462	
5	8,65124	271,787	
8	4,19851	211,04	
12	2,03218	153,223	
16	1,33829	134,539	
20	1,27594	160,339	
25	0,726194	114,07	
30	0,539968	101,782	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

Anlage 3

Technische Information  
Messung des spezifischen Erdwiderstandes  $\rho_s$

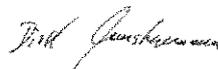
### Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann  
 Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
 39245 Gommern  
 Name Ausführender: Dirk Munstermann  
 Projektname/Windpark: Uetze, WHII-Wilhelmshöhe II  
 WEA-Nr./Ü-Station: WEA 25  
 Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325815972 ; 583547,5  
 Messung in Nordwest-Südost-Richtung  
 Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
 Kalibrierung gültig bis 02/2019  
 Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 24 ° C, sonnig, am Spargelacker, sandig, nass

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	70,809	222,453	
1	50,1491	315,096	
2	24,0226	301,876	
3	13,0075	245,185	
5	4,37917	137,576	
8	1,8909	95,0471	
12	1,3165	99,2614	
16	1,07351	107,921	
20	0,865627	108,778	
25	0,962309	151,159	
30	0,555321	104,676	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

## Technische Information

### Messung des spezifischen Erdwiderstandes $\rho_s$

## Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann

Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern

Name Ausführender: Dirk Munstermann

Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II

WEA-Nr./Ü-Station: WEA 26

Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325815559 ; 583483  
Messung in Nordwest-Südost-Richtung

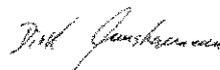
Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis 02/2019

Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 21 ° C, wolkig, Rübenacker, sandig, erdfeucht

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	766,1255	207,74	
1	71,9161	451,862	
2	80,1265	1006,9	
3	69,2466	1305,27	
5	47,2117	1483,2	
8	21,6221	1086,85	
12	6,84032	515,748	
16	2,66948	268,365	
20	1,47914	185,874	
25	0,868948	136,494	
30	0,587724	110,783	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

## Technische Information

### Messung des spezifischen Erdwiderstandes $\rho_s$

## Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann

Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern

Name Ausführender: Dirk Munstermann

Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II

WEA-Nr./Ü-Station: WEA 27

Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325815853,41 ; 584001,79  
Messung in Nordwest-Südost-Richtung

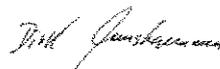
Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis 02/2019

Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 20 ° C, z.T. sonnig, z.T. Starkregen, Kartoffelfeld, sandig, erdfeucht

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	110,732	347,876	
1	68,0961	427,86	
2	45,9605	577,557	
3	32,018	603,524	
5	17,4819	549,209	
8	7,6701	385,541	
12	3,0347	228,811	
16	1,60003	160,853	
20	1,03386	129,919	
25	0,661193	103,86	
30	0,46635	87,9049	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

## Technische Information

### Messung des spezifischen Erdwiderstandes $\rho_s$

## Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann

Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern

Name Ausführender: Dirk Munstermann

Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II

WEA-Nr./Ü-Station: WEA 28

Geo-Referenz: UTM 32, ETRS 89 325815556,73 ; 584586,27  
Messung in Nord-Süd-Richtung

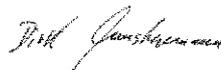
Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis 02/2019

Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 19 ° C, sonnig, trocken, Stoppelfeld, sandig, trocken

a [m]	R [Ω]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [Ωxm]	Bemerkung
0,5	266,975	838,726	
1	238,464	1498,32	
2	185,106	2326,11	
3	141,305	2663,53	
5	74,6717	2345,88	
8	29,4587	1480,75	
12	7,10858	535,974	
16	2,3136	232,589	
20	1,05024	131,977	
25	0,630343	99,0141	
30	0,474804	89,4984	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden

Anlage 7

Technische Information

Messung des spezifischen Erdwiderstandes  $\rho_s$

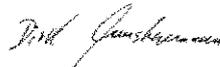
### Protokoll für die Messung des spezifischen Erdwiderstandes

Durchführende Firma: GBM Geophysikbüro Munstermann  
Anschrift: Industriepark I, Str. A Nr. 1  
39245 Gommern  
Name Ausführender: Dirk Munstermann  
Projektname/Windpark: Uetze; WHII-Wilhelmshöhe II  
WEA-Nr./Ü-Station: WEA 29  
Geo-Referenz: UTM 32; ETRS 89 325815121,82; 584576,29  
Messung in Nord-Süd-Richtung  
Messgerät Typ, S/N, Kalibrierung gültig bis: Widerstandsmessgerät SuperSting R1; SN SP1402279  
Kalibrierung gültig bis 02/2019  
Umgebungstemperatur, Wetter, Bodenzustand: 18 ° C, bedeckt, leichter Regen, Stoppelfeld, sandig, trocken

a [m]	R [ $\Omega$ ]	$\rho_s = R \times 2\pi \times a$ [ $\Omega \times m$ ]	Bemerkung
0,5	1136,034	427,363	
1	111,061	697,814	
2	71,9718	904,425	
3	49,9323	941,202	
5	21,7191	682,327	
8	9,43143	474,075	
12	3,12194	235,388	
16	1,42093	142,847	
20	0,881012	110,711	
25	0,639298	100,421	
30	0,513528	96,7977	

Mit der Unterschrift bestätigt der Ausführende die Messungen nach der Wenner-Methode durchgeführt zu haben.

Gommern, den 21.08.2018



Ort, Datum, Unterschrift des Ausführenden