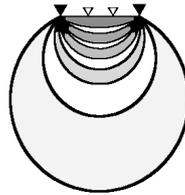


## **Geophysik - Dr. Rauen**

- **Geophysikalische Sondierungen**
- **Geotechnik-Systeme**



**Dr. Armin Rauen**

**Ödgarten 12**

**D - 94574 Wallerfing**

Tel: 0049/0 - 9936 - 902026

Fax: 0049/0 - 9936 - 902027

Tel mobil: 0049/0 - 171 - 8210540

e-mail: [rauen@geophysik-dr-rauen.de](mailto:rauen@geophysik-dr-rauen.de)

<http://www.geophysik-dr-rauen.de>

---

# **Bericht: Goelektrische Untersuchungen 2017 am Burgberg in Julbach**

---

Auftraggeber: Burgfreunde zu Julbach e.V.  
Herrn Dr. Wolf-Dieter Hergeth  
Oberjulbachring 4  
84387 Julbach

Tel: 08571 920209

eMail: [vorstand@burgfreundejulbach.de](mailto:vorstand@burgfreundejulbach.de)

Internet: [www.burgfreundejulbach.de](http://www.burgfreundejulbach.de)

Ausfertigung: 1

Datum: Wallerfing, 19.6.2017

## **Inhalt:**

	<b>Seite</b>
0. Zum Vorgang	3
1. Untersuchungsgebiet und lokale Geologie	6
2. Zielsetzung der Untersuchungen	7
3. Durchgeführte Maßnahmen	7
3.1. Goelektrische Tomografie	7
3.1.1. Messungen	9
3.1.2. Auswertungen	13
4. Ergebnisse	16
4.1. Profil Julbach 2017-1	18
4.2. Profil Julbach 2017-2	18
4.3. Profil Julbach 2017-3	19
4.4. Profil Julbach 2017-4	20
5. Zusammenfassung	21
6. Zitierte Literatur	23

## **Anlagen**

### **Anlage 1: Abbildungen**

- Abb. 1: Lageplan
- Abb. 2.1: Goelektrische Sektion "Julbach 2017-1"
- Abb. 2.2: Goelektrische Sektion "Julbach 2017-2"
- Abb. 2.3: Goelektrische Sektion "Julbach 2017-3"
- Abb. 2.4: Goelektrische Sektion "Julbach 2017-4"

### **Anlage 2: Eingemessene Koordinaten der Profile**

### **Anlage 3: Methodenbeschreibung der Goelektrischen Tomografie**

## 0. Zum Vorgang

Der Verein "Burgfreunde zu Julbach e.V." erforscht ehrenamtlich den Burgstall in der Gemeinde Julbach. Wir durften heuer bereits zum wiederholten Mal geoelektrische Messungen zur Unterstützung der Archäologie durchführen.

Die Zusammenarbeit begann am 25.9.2013 mit einer Ortsbesichtigung. Anschließend boten wir geophysikalische Messungen in Form von Geoelektrischer Tomografie entlang von linearen Profilen an. Diese Messungen sollten Aussagen zum Untergrund, insbesondere zum Vorhandensein von Mauerresten und anderen archäologisch wichtigen Strukturen ermöglichen. Aufgrund der sehr bewegten Topografie erschienen uns andere geophysikalische Methoden, die üblicherweise für archäologische Fragestellungen eingesetzt werden (beispielsweise geomagnetische oder geoelektrische Kartierung, Georadar) weniger zielführend.

**1. Messkampagne:** Die geoelektrische Messungen der ersten Kampagne wurden am 5.4.2014 entlang von 3 Profilen (Julbach 1, 2 und 3 mit Längen zwischen 19.5 m und 35.0 m) durchgeführt. Alle Profile verwendeten den gleichen minimalen Elektrodenabstand von 0.5 m. Die Messungen waren als Testmessungen geplant, die zeigen sollten, ob die Methode geoelektrische Tomografie verwertbare Ergebnisse zeigen könnte. Der Bericht vom 22.5.2014 stellte die Ergebnisse dar. Am 25.9.2014 wurden die Ergebnisse im Rahmen einer Präsentation in Julbach vorgestellt.

**2. Messkampagne:** Nachdem die geophysikalischen Ergebnisse vielversprechend aussahen, sollten auch in 2015 weitere Messungen durchgeführt werden. Die Geländemessungen der zweiten Kampagne erfolgten am 18.4.2015, wiederum unter reger Mithilfe von Mitgliedern des Burgvereins (Herr Spielmannleitner, Herr Dr. Ulbig und andere). Es wurden vier geoelektrische Profile realisiert: Julbach 4,5,6 und 7 (minimaler Elektrodenabstand 0.5 m, Längen im Bereich von 19.5 m bis 38.0 m). Die Profile wurden später vom Büro Gemsjäger nach Lage und Höhe eingemessen. Der Bericht vom 2.7.2015 fasst die Arbeiten und Ergebnisse der zweiten Messkampagne zusammen. In einer Präsentation wurden die Ergebnisse dem Burgverein in Julbach am 30.7.2015 vorgestellt.

**3. Messkampagne:** Die Messungen der dritten Kampagne wurden am 23.4.2016 durchgeführt. Wir realisierten 4 geoelektrische Profile: Julbach 2016-1 bis Julbach 2016-4. Die Profile hatten Längen zwischen 17.0 m und 45.0 m. Um die Vergleichbarkeit mit den bisherigen geoelektrischen Messungen zu bewahren, wurde auch hier durchgehend der gleiche minimale Elektrodenabstand von 0.5 m verwendet. Auch hier wurden Lage und Höhe der Profile vom Büro Gemsjäger, diesmal noch am gleichen Tag, eingemessen. Zusätzlich erfolgte das Einmessen zweier weiterer Profile, welche im folgenden Jahr 2017 geoelektrisch vermessen wurden. Der Bericht datiert vom 13.6.2016. Die 2016er Messungen wurden am 24.11.2016 in Form einer Präsentation in Julbach vorgestellt.

**4. Messkampagne:** Die aktuell letzte Messkampagne fand am 8.4.2017 statt. Auch heuer wurden 4 geoelektrische Profile (Julbach 2017-1 bis Julbach 2017-4) mit einem einheitlichen minimalen Elektrodenabstand von 0.5 m realisiert. Die Profillängen reichten von 29.5 m (60 Elektroden) bis 39.5 m (80 Elektroden). Die Profile 2017-1 und 2017-4 wurden auf Trassen verlegt, welche bereits im vergangenen Jahr vom Büro Gemsjäger eingemessen wurden und zwischenzeitlich mit Pflöcken markiert waren. Die Profile 2017-2 und 2017-3 wurden am gleichen Tag vom Büro Gemsjäger nach Lage und Höhe eingemessen. Die Koordinaten wurden uns am 12.4.2017 vom Büro Gemsjäger übermittelt.

In diesem Jahr wurden die Messungen von Herrn Prof. Dr. Jörg Faßbinder und weiteren Mitarbeitern (Florian Becker, Nadine Gebhard, Marion Scheiblecker, Uli Schmidt) vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) begleitet. Das Profil 2017-2 wurde gemeinsam von uns und dem BLfD gemessen, die anderen drei Profile von uns. Das Team um Prof. Faßbinder unternahm zusätzlich noch eine geoelektrische Kartierung auf dem Plateau des nördlichen der beiden Burgberge.

Der hier vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse der aktuell letzten Messkampagne 4 zusammen.

Folgende Unterlagen standen zur Verfügung:

- Grabungsberichte von 2003, 2005, 2008 (Autor Dr. Joachim Zeune), vom Burgfreunde-Verein zur Verfügung gestellt
- Karte mit Höhenlinien und eingezeichneten geoelektrischen Profilen 1,2,3 (von Herrn Spielmannleitner, Burgfreunde Julbach e.V., 22.4.2014)
- Unser Bericht über die Messkampagne in 2014 vom 22.5.2014
- Unser Bericht über die Messkampagne in 2015 vom 2.7.2015
- Unser Bericht über die Messkampagne 2016 vom 13.6.2017
- Unser Angebot für die Messkampagne 2017 vom 13.2.2017
- Lageplan und Koordinaten (Ingenieurgesellschaft Ansgar Gemsjäger, 12.4.2017)

Beteiligte Personen und Institutionen:

Wolf-Dieter Hergeth, Dr. Albert Ulbig, u. A.

Burgfreunde zu Julbach e.V.

Oberjulbachring 4

84387 Julbach

Tel: 08571 920209

eMail: [vorstand@burgfreundejulbach.de](mailto:vorstand@burgfreundejulbach.de)

Internet: [www.burgfreundejulbach.de](http://www.burgfreundejulbach.de)

Ansgar Gemsjäger

Ansgar Gemsjäger Ingenieurgesellschaft für Vermessungswesen mbH

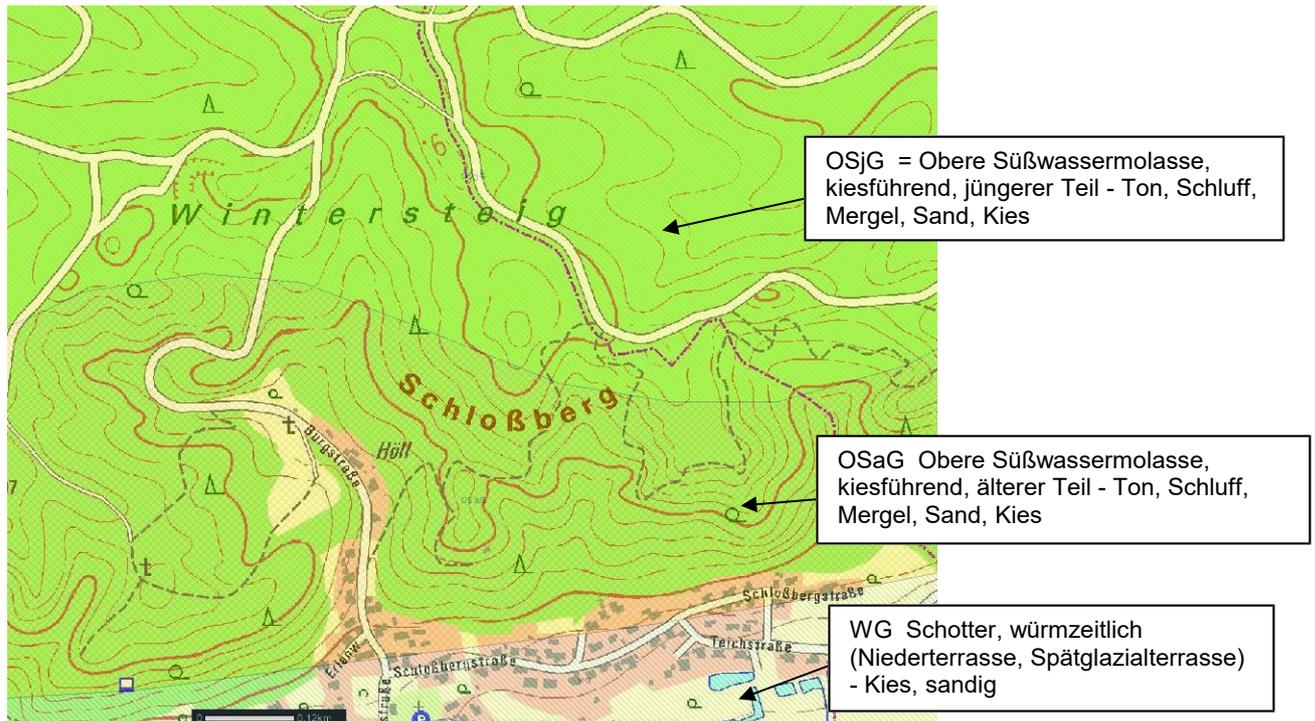
Am Sonnenhang 59  
84335 Mitterskirchen  
Tel.: 08725 9676861  
Fax: 08725 9676862  
eMail: [ansgar.gemsjaeger@gemsjaeger.net](mailto:ansgar.gemsjaeger@gemsjaeger.net)  
Internet: [www.gemsjaeger.net](http://www.gemsjaeger.net)

Prof. Dr. Jörg Faßbinder,  
Florian Becker, Nadine Gebhard, Marion Scheiblecker, Uli Schmidt  
Bavarian State Dept. of Monuments and Sites  
Ref. ZII Archaeological Prospection  
Postfach 10 02 03  
80076 München  
Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege  
Hofgraben 4  
80539 München  
Tel.: 089 2114 330  
Mobile: 0173 8642633  
eMail: [joerg.fassbinder@blfd.bayern.de](mailto:joerg.fassbinder@blfd.bayern.de)  
Internet: <http://www.geophysik.uni-muenchen.de/research>

## 1. Untersuchungsgebiet und lokale Geologie

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Gemeinde Julbach, im Landkreis Rottal-Inn. Der Burgstall liegt auf einem Geländesporn namens "Schloßberg", der nördlich von Julbach von Norden her ins Intal reicht.

Die Grabungsberichte von 2003 und 2008 stellen die topografische Situation dar.



**Abbildung 1:** Ausschnitt aus der topografischen und geologischen Karte. Quelle: Geo-Fachdatenatlas des Bayerischen Landesamts für Umwelt ([www.bis.bayern.de](http://www.bis.bayern.de)).

Das Intal wird von quartären Sedimenten gebildet. Die nördlich anschließenden Hügel sind tertiären Ursprungs und werden von den Wechschichten der Oberen Süßwassermolasse aufgebaut. Diese Sedimente können alle Korngrößen enthalten: Ton, Schluff, Mergel, Sand und Kies.

## 2. Zielsetzung der Untersuchungen

Es sollte der spezifische elektrische Widerstand im Untergrund mittels Geoelektrischer Tomografie bestimmt werden. Die Messungen sollten entlang von Messlinien ("Profilen") erfolgen.

Der spezifische elektrische Widerstand ist ein Maß für die Art des Bodens oder Gesteins. Archäologische Artefakte, wie beispielsweise Mauerreste, können geoelektrische Kontraste zur Umgebung bilden. Über den elektrischen Kontrast können archäologisch wichtige Strukturen geoelektrisch abgebildet werden.

## 3. Durchgeführte Maßnahmen

### 3.1. Geoelektrische Tomographie

#### *Allgemeines*

Gesteine und Böden unterscheiden sich in ihren physikalischen Eigenschaften, insbesondere auch in ihrem spezifischen elektrischen Widerstand. Beispiele nennt die Tabelle 1.

**Tabelle 1:** Typische spezifische elektrische Widerstände für wasserführende Lockersedimente, Festgesteine, anthropogene Ablagerungen und Wässer (zusammengestellt aus: Berkthold et al. [1997], Greinwald & Thierbach [1997] und Mundry [1985]).

Material	typische Wertebereiche (in Ohm * Meter = Ohmmeter = $\Omega\text{m}$ )	
Kies	100	2000
Sand	50	2000
Lößlehm	30	100
Schluff	10	50
Ton, Tonstein	1	30
Moore	30	700
Hausmüll	1	100
Sandstein	< 50 (klüftig)	> 100 000 (kompakt)
Kalkstein	100 (klüftig)	> 100 000 (kompakt)
Granit	300	100 000
Natürliche Wässer	10	300
Meerwasser	0.25	
Destilliertes Wasser	1000	

Zur Kartierung und Erkundung von geologischen und/oder anthropogenen Einheiten eignen sich daher Methoden, die den elektrischen Gesteinswiderstand erfassen, prinzipiell sehr gut. Die entsprechenden geophysikalischen Methoden werden unter dem Oberbegriff "Geoelektrik" zusammengefasst.

## **Geoelektrische Tomographie**

Hier wurde die **Geoelektrische Tomographie** als eine der Methoden der Geoelektrik eingesetzt. Im Anhang und in den Literaturstellen Friedel (1997) und Lange & Jacobs (1997) findet sich eine genauere Beschreibung dieser Methode. Geoelektrische Tomographie ist die Kombination aus:

- einer geoelektrischen Sondierungskartierung mit Hilfe von vielen Elektroden als Erdungspunkten, die entlang eines Profils angeordnet sind (Multi-elektroden-Geoelektrik) und
- einer 2-dimensionalen Auswertung in Form einer computergestützten Inversionsrechnung.

Die Elektrodenkette ist entlang einer linearen Linie (eines Profils) aufgestellt und mit dem Steuerungscomputer verbunden. Jede der Elektroden kann rechnergesteuert als stromzuführende Elektrode (A oder B) oder als spannungsmessende Elektrode (M oder N) geschaltet werden.

Der Computer veranlasst über zwei Elektroden die Einspeisung eines Stroms in den Erdboden (A und B) und über zwei weitere Elektroden (M und N) die Messung der Spannung. Während einer Messung sind daher immer vier Elektroden aktiv. Der eingespeiste Strom breitet sich im Untergrund aus. Abhängig von der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands im Untergrund und von den aktuell aktiven Elektroden bildet sich eine charakteristische elektrische Spannung zwischen den Elektroden M und N aus. Der Computer bestimmt den elektrischen Widerstand aus der gemessenen Spannung, der eingespeisten Stromstärke und einem Geometriefaktor, welcher von den Positionen der gerade aktiven Elektroden abhängt.

Der Computer steuert die Elektroden in verschiedenen Konfigurationen an. Durch die schrittweise Vergrößerung der Elektrodenauslage erreicht der Mess-Strom immer größere Erkundungstiefen. Durch die Versetzung der 4 aktiven Elektroden entlang des Profils wird die Widerstandsverteilung in Profilrichtung ermittelt.

Die erhaltenen Messwerte müssen anschließend ausgewertet werden. Dazu werden sie mit einer zweidimensionalen Inversionsrechnung in ein wirklichkeitsnahes Modell der Verteilung der Widerstände umgerechnet. Die Oberflächen-Morphologie verzerrt die Stromsysteme und ist deswegen bei der Auswertung berücksichtigt. Daten aus direkten Aufschlüssen wie z.B. Bohrungen, Sondierungen oder Schürfen, werden zur Kalibrierung der Ergebnisse verwendet.

### 3.1.1. Messungen

#### ***Eingesetzte Messapparatur***

Die eingesetzte Messapparatur besteht aus:

- geoelektrisches Messgerät "4-Punkt light 10W" (Hersteller *Lippmann Geophysikalische Messgeräte*)
- 5 Bus-Kabel mit 5 mal 20 adressierten Steuerungsboxen "ActEle" für je eine Elektrode, Elektrodenabstand maximal 5 m (*Lippmann Geophysikalische Messgeräte*)
- 100 Edelstahl-Elektroden
- 3 Reserve-Elektroden mit Steuerungsboxen "ActEle"
- 1 GND Elektrode zur Messung des Massepotentials als Bezugspotential für die geoelektrischen Messungen
- Netbook- PC mit dem Windows- Messprogramm "GeoTest" (*Geophysik Dr. Rauen*).

Die Messapparatur ist ein PC-gesteuertes System mit aktiven adressierten Elektroden. Die Elektrodenkette ist über das Buskabel mit dem Messgerät verbunden. Das PC Messprogramm kann über die eindeutige Elektrodennummer jede der verwendeten Elektroden in 5 verschiedene Zustände schalten: A, B, M, N oder aus. A und B bezeichnen die Stromelektroden, M und N messen die Spannung.

Prinzipiell kommen maximal 100 (+3) adressierte Elektroden zur Anwendung. Bei maximal 5 m Kabellänge zwischen benachbarten Elektroden beträgt die gesamte maximale realisierbare Profillänge damit 500 m. Um größere Profillängen zu ermöglichen, kann eine "Roll-on" Technik angewandt werden. Dabei wird ein Satz von jeweils 20 Elektroden versetzt und überlappend weiter gemessen. Diese Roll-on Technik kann im Prinzip beliebig oft wiederholt werden. Kürzere Elektrodenabstände werden durch entsprechende schlaufenförmige Verlegung des Messkabels realisiert.

Durch die Verwendung niederfrequenten Wechselstroms (hier 4.16 Hz) werden Polarisierungen vermieden und die Elektroden können abwechselnd als Strom- und Spannungselektroden verwendet werden.

#### ***Profile***

Ein Profil im geophysikalischen Sinn ist ein Tiefenschnitt entlang einer Linie an der Erdoberfläche. Dazu werden geophysikalische Messungen entlang dieser Linie auf der Erdoberfläche durchgeführt. An der Linie sind äquidistant Elektroden gesteckt. Die spätere Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Form eines Tiefenschnittes entlang der Messlinie.

### **Elektrodenkonfigurationen Wenner und Dipol-Dipol**

Die geoelektrischen Messungen wurden hier generell in zwei unterschiedlichen Elektrodenkonfigurationen realisiert, die für die spätere Auswertung kombiniert wurden. Die Konfigurationen heißen "Wenner" und "Dipol-Dipol" (siehe Tab. 2). Bei der Konfiguration nach "Wenner" liegt der Spannungsdipol immer zwischen den stromeinspeisenden Elektroden, bei der "Dipol-Dipol" Konfigurationen sind Strom- und Spannungsdipol räumlich getrennt. Beide Konfigurationen haben ihre spezifischen Vorteile (siehe Tab. 2). Die kombinierte Messung (Dipol-Dipol plus Wenner) kombiniert damit auch die spezifischen Vorteile und ergibt eine möglichst breite Datenbasis für die Auswertung.

**Tabelle 2:** Messfortschritt bei der "Dipol-Dipol" Elektrodenkonfiguration und der "Wenner" Konfiguration (A und B speisen den Strom ein, M und N messen die Spannung). Durch Vergrößerung der Elektrodenauslage nimmt die Erkundungstiefe zu. Siehe hierzu auch Mundry, 1985. Die spezifischen Vorteile und die typische Anzahl von Einzelmessungen bei einer 100-Elektroden-Aufstellung ist angegeben.

Mess-Ebene / Level	Dipol-Dipol-Konfiguration	Konfiguration nach Wenner
1	ABNM.....	AMNB.....
2	AB-NM.....	A-M-N-B.....
3	AB--NM.....	A--M--N--B.....
4	AB---NM.....	A---M---N---B.....
...	...	...
Spezifische Vorteile	gute Tiefenauflösung, große Erkundungstiefe, große Datenbasis (rho)	gute Ortsauflösung für steilstehende Strukturen, robust, geringe Empfindlichkeit gegenüber technischen Störungen, Phasenwinkelmessung (phi)
Typische maximale Datenmenge bei 100 Elektroden	2103	1617

### **Geländearbeiten**

Die Geländearbeiten wurden durch Herrn Dr. Armin Rauen (*Geophysik Dr. Rauen*) durchgeführt, mit tatkräftiger Unterstützung durch mehrere Mitglieder des Vereins "Burgfreunde zu Julbach e.V."

An den Geländemessungen beteiligt waren auch Prof. Dr. Jörg Faßbinder und vier Kollegen/Kolleginnen vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD): Florian Becker, Nadine Gebhard, Marion Scheiblecker und Uli Schmidt.



**Foto 1:** Das Profil 2017-1 verläuft vom südlichen Burghügel bergab in Richtung auf den Sattel zwischen den beiden Burgbergen. Entlang des gelben Maßbandes sind im Abstand von je 0.5 m Edelstahl-Elektroden platziert. Die kleinen Boxen auf jeder Elektrode enthalten die Elektronik zur Ansteuerung (ActEle).



**Foto 2:** Die ActEle Boxen sind mit einem Flachbandkabel untereinander und mit dem Messgerät in der Alu-Box verbunden. Die Alu-Box enthält auch den Netbook Rechner mit dem Messprogramm Geotest. Die graue Kunststoffbox beinhaltet einen 12 V Akku als Energiequelle für die geoelektrischen Messungen. Hier: Profil 2017-3.



**Foto 3:** Die Erdungs-Elektrode (GND Elektrode) misst das elektrische Bezugspotential für alle anderen Elektroden. Hier: Profil 2017-3.



**Foto 4:** Gruppenbild am Profil 2017-1. Hinten, von links nach rechts: Dr. Armin Rauen (Geophysik Dr. Rauen), Nadine Gebhard (Bayr. Landesamt für Denkmalpflege), Dr. Albert Ulbig, Isolde Ulbig. Vorne von links nach rechts: Konrad Engleder, Petra Eckerl, Herbert Simböck (Burgfreundeverein Julbach). Foto: Dr. Wolf-Dieter Hergeth.

Die elektrische Ankopplung an den Untergrund war gut mit mittleren Übergangswiderständen zwischen 286  $\Omega$  und 8284  $\Omega$ . Einige Elektroden wurden zur Ankopplungsverbesserung mit Wasser angegossen. Das Wetter während der Geländearbeiten war trocken. Die Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Messparameter.

**Tabelle 3:** Übersicht über die Messdaten der geoelektrischen Profile.

<b>Profil Julbach 2017-</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Datum der Messung:	8.4.2017	8.4.2017	8.4.2017	8.4.2017
Elektrodenanzahl gesamt:	73	80	61	60
Min. Elektrodenabstand (m):	0.5	0.5	0.5	0.5
Profillänge (m):	36.0	39.5	30.0	29.5
Profilrichtung:	S - N	E - W	S - N	NE - SW
Elektrodenkonfiguration:	Wenner + Dipol-Dipol	Wenner + Dipol-Dipol	Wenner + Dipol-Dipol	Wenner + Dipol-Dipol
Messfrequenz (Hz):	4.16	4.16	4.16	4.16
Übergangswiderstände ( $\Omega$ ):	286 - 8249	314 - 3910	510 - 3597	1113 - 8284
Spez. Widerstände ( $\Omega$ m):	42 - 3265	87 - 1750	81 - 1325	176 - 5196
Zahl der Messwerte:	3297	2236	2276	1802

Die Profile 2 und 3 wurden am gleichen Tag nach Lage und Höhe eingemessen. Die Profile 1 und 4 wurden bereits im Vorjahr eingemessen, mit Pflöcken markiert und erst heuer geoelektrisch erkundet. Die Koordinaten wurden uns vom Ingenieurbüro Gemsjäger in digitaler Form zur Verfügung gestellt (Koordinatenliste im Anhang 2). Zur Profillage siehe den Lageplan in der Abbildung 1.

### 3.1.2. Auswertungen

#### ***Die spezifischen elektrischen Widerstände im geoelektrischen Modell***

Durch die schrittweise Vergrößerung der Elektrodenauslage erreicht der Messstrom immer größere Erkundungstiefen. Dabei durchfließen die Messströme aber auch höher liegende Bodenschichten und werden dadurch beeinflusst. Die Topografie der Erdoberfläche sorgt für weitere Verzerrungen im Stromsystem. Wegen der verschiedenartigen Beeinflussungen der Messströme werden die noch nicht ausgewerteten Messdaten als "scheinbare" spezifische Widerstände bezeichnet. Sie müssen durch eine computergestützte Auswertung in "wahre" spezifische Widerstände zurückgerechnet werden. Bei den ausgewerteten spezifischen Widerständen ist der Einfluss der oberen Bodenschichten und der Topografie rechnerisch korrigiert. Die ausgewerteten Widerstände sind in einem geoelektrischen Untergrundmodell zusammengefasst.

#### ***Computergestützte Auswertung***

Die Auswertung erfolgt durch eine 2-dimensionale Inversionsrechnung mit dem Programm "Res2DInv" (M.H. Loke, Geotomo Software, Malaysia). Die Inversionsdaten sind in der Tabelle 4 gezeigt.

**Tabelle 4:** Inversionsdaten der geoelektrischen Auswertung:

<b>Profil Julbach 2016-</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Programm-Version (x64):	4.05.16	4.05.16	4.05.16	4.05.16
Profilrichtung:	original	original	original	original
Inversionsmethode:	robust	robust	robust	robust
Vertikal/ horizontal Filter Verhältnis:	1	1	1	1
Modellblock-Größe:	1	1	1	1
Anzahl der Modellblöcke:	802	938	602	692
Anzahl der Modellschichten:	17	18	16	20

Für die Auswertung der Profile wurden die Konfigurationen "Wenner" und "Dipol-Dipol" kombiniert und gemeinsam invertiert. Dieses Verfahren kombiniert die spezifischen Vorteile der Konfigurationen:

- "Wenner": Unempfindlichkeit gegen technische Störungen durch relativ großes Signal- Rausch- Verhältnis, gute Ortsauflösung.
- "Dipol-Dipol": Gute Tiefenauflösung, größere Erkundungstiefe, größere Datenanzahl.
- verbesserte Modellqualität durch insgesamt deutlich erhöhte Datenanzahl.

Es wurden topografische Korrekturen aus den Höhendaten berechnet. Das Programm errechnet durch Inversion der Messdaten zunächst ein zweidimensionales Start-Modell der Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands. In einem zweiten Schritt werden durch eine Vorwärtsrechnung (nach der Methode der finiten Differenzen) die resultierenden scheinbaren Widerstände des Modells errechnet und mit den tatsächlich gemessenen scheinbaren Widerständen verglichen. Anschließend wird ein optimiertes Modell berechnet und der Vergleich mit den Messdaten wiederholt. Diese schrittweise Anpassung an die Messdaten (Iteration) wird so lange wiederholt, bis der mittlere Anpassungsfehler gegen einen Grenzwert konvergiert oder die vorgegebene maximale Zahl der Iterationen erreicht ist.

Die Tabelle 5 fasst die Eckdaten der Inversionsergebnisse zusammen.

**Tabelle 5:** Ergebnisse der Inversionsrechnungen:

<b>Profil Julbach 2016-</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Datenbasis:	Dipol-Dipol + Wenner	Dipol-Dipol + Wenner	Dipol-Dipol + Wenner	Dipol-Dipol + Wenner
Ausgewertete Datenpunkte:	3297	2236	2276	1802
Anzahl der Iterationen:	10	10	10	7
Anpassungsfehler:				
Durchschnitt (%):	2.18	1.61	1.09	3.86
Maximum (%):	46.3	20.7	50.2	33.2
Berechnete spez. elektr. Widerstände:				
Minimum ( $\Omega\text{m}$ ):	10.0	38.8	39.4	30.2
Maximum ( $\Omega\text{m}$ ):	21'715	20'287	38'362	19'657

## **Kalibrierung**

Folgende Maßnahmen wurden zur Kalibrierung der Goelektrik-Profile vorgenommen:

- Das vertikal/horizontal- Filterverhältnis von 1.0 betont horizontale Strukturen mit der gleichen Gewichtung wie vertikale Strukturen. Diese Filtereinstellung ist optimal für die sehr bewegte Oberflächentopografie.
- Das "robuste" Inversionsverfahren betont Schichtgrenzen mit hohem Widerstandskontrast stärker als kontinuierliche Widerstandsänderungen in den Schichten.
- Eine direkte Kalibrierung wurde mangels eines Bohrprofils nicht vorgenommen.

## **Ergebnisdarstellungen**

Gezeigt sind schließlich die Ergebnisse der Inversionsrechnungen in Form des berechneten Modells, welches die wahre Widerstandsverteilung im Erdboden optimal annähert. Aus dem berechneten Ergebnis wurden Tiefenschnitte des spezifischen elektrischen Widerstands erzeugt. In diesen sogenannten geoelektrischen Sektionen ist die Abhängigkeit des elektrischen Bodenwiderstands entlang des Profils (mit der Profilentfernung) und mit der Tiefe unter dem Profil in 2 Dimensionen zeichnerisch dargestellt.

Die größten Erkundungstiefen werden physikalisch bedingt in der Mitte der Messprofile erreicht. Nahe der Anfangs- und Endpunkte der Profile ist die Datendichte deutlich erniedrigt. Aus diesem Grund werden die dreiecksförmigen Bereiche unter dem Profilbeginn und unter dem Profilende nicht dargestellt.

Die eingezeichneten schwarzen Dreiecke an der Erdoberfläche zeigen die Positionen der verwendeten Elektroden an.

## 4. Ergebnisse

### **Vorbemerkungen**

Goelektrische Tomografie liefert eine Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstands in zwei Raumdimensionen: in Profilrichtung und in die Tiefe. Die physikalische Einheit des spezifischen elektrischen Widerstands ist:

$$\Omega\text{m} = \text{Ohm} * \text{Meter} = \text{Volt} / \text{Ampere} * \text{Meter}.$$

Der elektrische Widerstand ist kein direkter Anzeiger für eine bestimmte Boden- oder Gesteinsart. Der elektrische Widerstand ist vielmehr ein Maß für die Art des Bodens oder des Gesteins. Dabei bestehen generell drei, sich überlagernde, Zusammenhänge:

- mit der Korngröße: Je feiner das Material ist, um so niedriger ist der elektrische Widerstand. Das ist bedingt durch die erhöhte elektrische Leitfähigkeit der Tonminerale. Sie ist durch die Bindung von Ladungsträgern an deren große spezifische Oberfläche verursacht. Diese Ladungsträger sind im Wasser gelöste Ionen. Hohe elektrische Leitfähigkeit ist gleichbedeutend mit niedrigem elektrischem Widerstand.
- mit dem Wassergehalt: Je höher der Wassergehalt ist, um so höher ist auch das Angebot an ionischen Ladungsträgern und um so höher ist die elektrische Leitfähigkeit (und um so niedriger der elektrische Widerstand).
- mit dem Gehalt an elektronisch leitfähigen Materialien. Diese Stoffe leiten den elektrischen Strom nicht über gelöste Ionen, sondern über Elektronen. Das sind im allgemeinen Metalle. In der geologischen Realität können Graphit, Erze oder auch Schrott den elektrischen Widerstand lokal deutlich reduzieren.

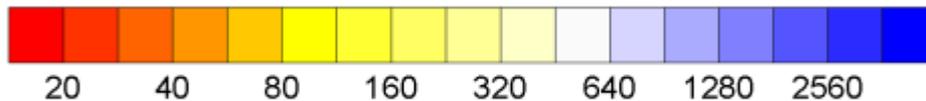
### **Die Profildarstellungen**

Die Abbildungen 2.1 bis 2.4 zeigen die Ergebnisse der Erkundungen im nicht überhöhten Tiefenmaßstab. Die Widerstands-Skalierung und die Farbskala der spezifischen elektrischen Widerstände ist zur besseren Vergleichbarkeit bei allen Ergebnisdarstellungen identisch (mit einer Ausnahme: Abb. 2.2.c). Die Darstellungsweise ist identisch zu den Ergebnisdarstellungen aus den bisherigen Messkampagnen (2014, 2015 und 2016) und damit direkt vergleichbar. Von jedem Profil werden sowohl die gemessenen Daten gezeigt (Abbildungen 2.\*a), als auch eine vorläufige archäologische Interpretation (Abbildungen 2.\*b).

Zur Lage der Profile siehe den Lageplan (Abbildung 1).

## **Zuordnung von Widerständen zu Bodenarten und archäologischen Strukturen**

Die Interpretation der Widerstandsektionen geht von folgender Zuordnung zwischen dem spezifischen elektrischen Widerstand und dem Boden aus (siehe auch Tab. 1):



### **Spezifischer elektrischer Widerstand (Ohm\*m)**

- Widerstände  $< 20 \Omega\text{m}$  zeigen Ton an.
- Widerstände zwischen  $20 \Omega\text{m}$  und  $50 \Omega\text{m}$  stehen für Schluff.
- Widerstände  $> 50 \Omega\text{m}$  sind charakteristisch für Sande.
- Widerstände  $> 150 \Omega\text{m}$  sind typisch für Kiese.
- Widerstände  $> 1000 \Omega\text{m}$  sind typisch für trockene Kiese, verfestigte Kiese (Nagelfluh), Blöcke oder Fels.

Diese Zuordnung ist nicht die einzig mögliche und damit nicht eindeutig. Wie die Tabelle 1 zeigt, überlappen sich die Widerstandsbereiche der Bodenarten. Außerdem ist die Interpretation prinzipiell mehrdeutig, wie in den Vorbemerkungen dargestellt.

### **Archäologische Fragestellungen**

Kompakte Mauern oder Mauerreste sollten sich als hochohmige Anomalie abzeichnen. Der Widerstand einer Anomalie kann mit dem Erhaltungsgrad einer Mauer korrelieren: je höher der Widerstand, umso kompakter und unzerstörter ist die Mauer.

Hohlräume im Untergrund, die mit Luft gefüllt sind (Luft ist ein elektrischer Isolator), sollten sich ebenso als hochohmige Anomalie abbilden.

Hohlräume, die sekundär mit feinkörnigem Material verfüllt wurden, bilden niederohmige Anomalien.

#### 4.1. Profil Julbach 2017-1

Die Abbildung 2.1 zeigt das geoelektrische Tomogramm (Tiefensektion) des Profils. Die Abbildung 2.1.a stellt die Auswertung der Messdaten dar, die Abbildung 2.1.b zusätzlich auch die Interpretation. Das Profil beginnt oben am südlichen Burgberg und verläuft hangabwärts auf 36 m Länge in Richtung auf den Sattel zwischen den beiden Burgbergen. Es endet einige Meter hinter dem Startpunkt des Profils 2.

Deutlich sind Bereiche mit niedrigen bis mittleren spezifischen elektrischen Widerständen ( $< \text{ca. } 500 \Omega\text{m}$ ) von eher hochohmigen Bereichen ( $> \text{ca. } 500 \Omega\text{m}$ ) unterscheidbar.

Nach unserer Interpretation liegt geologisch auf mehr oder weniger verfestigtem Kies (hohe Widerstände), eine eher sandig bis schluffige Deckschicht (niedrige Widerstände) auf. Widerstände deutlich über etwa  $1000 \Omega\text{m}$  sprechen für verfestigten Kies (= Nagelfluh). Die niederohmige Deckschicht fehlt im unteren Drittel des Profils.

Bei Profilmeter 15 ist eine niederohmige ( $< 100 \Omega\text{m}$ ) Eintiefung in den hochohmigen Untergrund erkennbar. Sie reicht von der Erdoberfläche bis etwa 3.5 m unter GOK. Das könnte ein ehemaliger Graben sein, der später mit feinkörnigem Material verfüllt wurde. Die hochohmigen Bereiche links und rechts dieser Struktur könnten auch von Mauerresten verursacht sein.

Die hochohmigen Anomalien an der Oberfläche im unteren Drittel des Profils könnten die geoelektrische Signatur von verstürzten Mauerresten sein. Im obersten Bereich, an der Kuppe, sind keine Anzeichen auf verschüttete Mauern erkennbar.

#### 4.2. Profil Julbach 2017-2

Die Abbildung 2.2 zeigt das geoelektrische Tomogramm dieses Profils (2.2.a sind die Messdaten, 2.2.b sind die Messdaten plus Interpretation, 2.2.c die interpretierten Messdaten mit einer anderen Widerstands-Skalierung). Dieses Profil ist mit 80 Elektroden und entsprechend 39.5 m Länge das längste der 2017er Profile. Es beginnt im Osten und verläuft auf dem Sattel zwischen den beiden Burgbergen hindurch in Richtung West.

Dieses Profil wurde gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. Jörg Faßbinder und seinen Kollegen und Kolleginnen vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) realisiert (Florian Becker, Nadine Gebhard, Marion Scheiblecker, Uli Schmidt). Wir verwendeten das "4 Point Light" Messgerät des BLfD (das ist identisch zu unserem Messgerät) und eine Kombination von ActEle Elektroden des BLfD und von Geophysik Dr. Rauen. Beide Hardware-Ausstattungen sind vom gleichen Hersteller ("Lippmann - geophysikalische Messgeräte" in Schaufling) und sind daher 100 % kompatibel zueinander.

Auch hier fällt eine niederohmige Deckschicht ( $< 500 \Omega\text{m}$ ) über einem hochohmigeren Untergrund auf. Die geologische Entsprechung dürfte ein sandig bis schluffiger Boden über einem lokal zu Nagelfluh verfestigtem Kies sein.

Links und rechts des weitgehend ebenem mittleren Profilbereich sind Anomalien mit lokal erhöhten Widerständen ( $> 1280 \Omega\text{m}$ ) oberflächennah erkennbar. Das sind wahrscheinlich Mauerreste in geringer Tiefe.

Sehr auffällig ist im zentralen Bereich eine Anomalie mit lokal erhöhtem Widerstand. Die berechneten Widerstände reichen bis  $> 20'000 \Omega\text{m}$ . Die Begrenzung dieser Anomalie nach links und nach oben ist auffällig scharf. Die Anomalie unterscheidet sich deutlich von der goelektrischen Umgebung. Das wird durch eine andere Darstellung mit automatischer Skalierung (Abb 2.2.c) plakativer dargestellt. Diese Anomalie könnte durch einen mehrere  $\text{m}^3$  großen Hohlraum mit der Firste etwa 1 m unter GOK hervorgerufen sein. Alternativ wäre eine geologische Erklärung durch einen lokal begrenzten Nagelfluh-Fels ebenfalls möglich.

### 4.3. Profil Julbach 2017-3

Die Abbildung 2.3 zeigt das Ergebnis dieser goelektrischen Messung (2.3.a zeigt die Messdaten, 2.3.b die Messdaten mit Interpretation).

Dieses Profil ist 30.0 m lang. Es verläuft neben der Zufahrt zum Zeughaus, von Süd nach Nord, am Weg entlang.

In der südlichen Profilhälfte dominieren an der Oberfläche relativ hohe Widerstände, die geologisch einem Kies entsprechen. Widerstände deutlich  $> 1000 \Omega\text{m}$  sind wieder typisch für verfestigten Kies (= Nagelfluh). Hier sind keine niederohmigen Deckschichten erkennbar.

Ab etwa 9 Profilmeter sind geringmächtige niederohmige Deckschichten  $< 500 \Omega\text{m}$  aufgeschlossen. In der nördlichen Profilhälfte sind geringe Widerstände auch in größerer Tiefe gemessen. Hier dürfte der Anteil sandig bis schluffiger Böden zunehmen. Eine hochohmige Anomalie unter Profilmeter 26 könnte von Kies oder einem Mauerrest kommen.

Insgesamt zeigt dieses Profil die wenigsten Hinweise auf archäologisch interessante Widerstandskontraste.

#### **4.4. Profil Julbach 2017-4**

Die Abbildung 2.4 zeigt das Ergebnis dieser geoelektrischen Messung (2.4.a Messdaten, 2.4.b Messdaten mit Interpretation). Das Profil ist 29.5 m lang und durchquert das Tälchen östlich der Burgberge in der Richtung von Nordost nach Südwest.

Im zentralen Bereich sind relativ niedrige Widerstände  $< 320 \Omega\text{m}$  unterhalb von 2 m unter GOK gemessen worden. Vermutlich sind das schluffig bis sandige rezente Talfüllungen. Links und rechts davon sind die Widerstände etwas erhöht ( $> 900 \Omega\text{m}$ ). Das spricht geologisch für Kies.

Nahe der Oberfläche sind über das ganze Profil verteilt immer wieder auch höhere Widerstände  $> 1280 \Omega\text{m}$  gemessen worden. Das könnten Hinweise sein auf Mauerreste und/oder verstürzte Mauerreste.

## 5. Zusammenfassung

Der Verein "Burgfreunde zu Julbach e.V." erforscht ehrenamtlich den Julbacher Burgstall. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden bereits Ausgrabungen durchgeführt (Zeune, 2003 bis 2008).

In 4 Kampagnen (April 2014, April 2015, April 2016 und April 2017) führten wir geophysikalische Untersuchungen in Form von geoelektrischer Tomografie durch. Bei dieser Methode wird elektrischer Strom an vielen Erdungspunkten (Elektroden) entlang von Linien (Profilen) eingespeist. Mit der Messung der elektrischen Spannung, wieder an vielen Erdungspunkten, wird der spezifische elektrische Widerstand unterhalb der Linie bestimmt. Das Ergebnis ist ein Profil des elektrischen Widerstands. Der elektrische Widerstand ist ein Maß für die Art des Untergrunds (Gestein, Sediment, Boden) und kann archäologische Aussagen ermöglichen über die Interpretation von lokalen Widerstandskontrasten (sogenannte Anomalien).

Die ersten Messungen in 2014 dienten auch als Test für die Anwendbarkeit dieser Methode. Nach vielversprechenden Ergebnissen wurden die Messungen in 2015, 2016 und 2017 fortgeführt. Der hier vorliegende Bericht fasst die jüngste Messkampagne von 2017 zusammen.

Bei der aktuellen Messkampagne in 2017 wurden die Messungen von Prof. Dr. Jörg Faßbinder vom Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege (BLfD) und vier Kollegen/Kolleginnen (Florian Becker, Nadine Gebhard, Marion Scheiblecker, Uli Schmidt) begleitet.

Wir realisierten vier Profile mit Längen von 36.0 m, 39.5 m, 30.0 m und 29.5 m. Die Profile heißen Julbach 2017-1 bis Julbach 2017-4. Alle Profile (auch die der Vorjahre) hatten einen einheitlichen Elektrodenabstand von 0.5 m. Das Profil 1 beginnt auf dem südlichen Burgberg und verläuft in nordöstlicher Richtung hangabwärts. Das Profil 2 quert den Sattel zwischen dem südlichen und dem nördlichen Burgberg. Das Profil 3 liegt parallel zum Zugang zum südlichen Burgberg. Das Profil 4 quert das kleine Tal östlich der Burgberge.

### Geologie

Die Profile 1 und 2 zeigen in größerer Tiefe relativ hohe Widerstände an. In den Profilen 3 und 4 sind diese hochohmigen Bereiche nur lokal und nicht durchgehend erkennbar. Die relativ hohen Widerstände sind vermutlich die geoelektrische Signatur des natürlichen Untergrunds in Form von Kies. Die hohen Widerstände bis zum Teil über 10'000  $\Omega$ m sprechen für grobkörnigen trockenen Kies oder auch lokal verfestigten Kies. Mit kalkigem Bindemittel verfestigter Kies wird auch als Nagelfluh bezeichnet.

In den topografisch höheren Bereichen der Profile 1 und 2 zeigen sich

oberflächennah relativ niedrige Widerstände ( $< 500 \Omega\text{m}$ ), die typisch sind für schluffig bis sandige Lockersedimente und Böden. Die Ergebnisse zur Geologie entsprechen den Ergebnissen der zurückliegenden Messkampagnen.

### **Archäologisch interessante Bereiche**

Lokal auffällige Widerstandskontraste werden geophysikalisch auch als Anomalien bezeichnet. Die folgenden Anomalien könnten Hinweise auf archäologisch interessante Strukturen sein:

#### **Profil 1**

- um 15 Profil-m: die niederohmige Anomalie könnte einen verfüllten ehemaligen Graben andeuten. Der ehemalige Graben könnte von Mauern (hochohmige Anomalien) begrenzt sein.
- unterhalb von 22 Profil-m: oberflächennahe hochohmige Anomalien deuten auf verstürzte Mauerreste hin.

#### **Profil 2**

- östlich (bis 7 Profil-m) und westlich (ab 30 Profil-m) des Plateaus liefern nahe der Oberfläche Bereiche mit hohen Widerständen Hinweise auf Mauerreste.
- um die Profilmitte, zwischen 17 und 22 Profil-m, zeigt sich eine sehr auffällige Anomalie mit deutlich erhöhtem Widerstand. Das könnte ein luftgefüllter Hohlraum sein, dessen Dach sich nur etwa 1 m unter GOK befinden müsste.

#### **Profil 3**

- keine deutlichen Zeichen für archäologische Strukturen.

#### **Profil 4**

- auf beiden Seiten der Talsohle zeigen sich nahe der Erdoberfläche Bereiche mit lokal erhöhten Widerständen. Dort könnten Mauern oder Mauerreste verborgen sein.

Die Ergebnisse der Messkampagne 2017 sollen später anlässlich einer Zusammenkunft dem Burgfreundeverein präsentiert werden und die Ergebnisse gemeinsam diskutiert werden.

## 6. Zitierte Literatur

Berkold & 21 Coautoren (1997): Geoelektrik. In Knödel K., Krummel H. & Lange G. (Herausg.): Geophysik. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3, 65-367, Springer-Verlag.

Friedel S. (1997): Hochauflösende Geoelektrik - Geoelektrische Tomographie. In: M. Beblo (Herausg.): Umweltgeophysik, 131-151, Berlin.

Greinwald S. & Thierbach R. (1997): Elektrische Eigenschaften der Gesteine. In: M. Beblo (Herausg.): Umweltgeophysik, 89-96, Berlin.

Lange G. & Jacobs F. (1997): Gleichstromgeoelektrik. In Knödel K., Krummel H. & Lange G. (Herausg.): Geophysik. Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3, 122-165, Springer-Verlag.

Mundry E. (1985): Gleichstromverfahren. In: Bender F. (Herausg.): Angewandte Geowissenschaften, Band II, 301-338, Stuttgart.

Zeune J.(2003): Burgstall Julbach - Archäologische Ausgrabung - August 2003.

Zeune J.(2005): Burgstall Julbach - Archäologische Ausgrabung - Oktober 2005.

Zeune J.(2008): Burgstall Julbach - Archäologische Ausgrabung - Oktober 2008.

gezeichnet:

*A. Rauen*

Dr. Armin Rauen  
(Diplom-Geophysiker)



**Geophysikalische Sondierungen**

**Dr. Armin Rauen**

Ödgarten 12 94574 Wallerfing  
Tel: 09936 - 902026 Fax: 902027

[www.geophysik-dr-rauen.de](http://www.geophysik-dr-rauen.de)