



---

**DBU Projekt AZ 30418-45**

# **Umweltverträgliche und denkmalgerechte Instandsetzung historischer Keller in Franken am Beispiel der Anlagen des Kellerwaldes in Forchheim**

## **Abschlussbericht**

**Gefördert durch:**



**Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
AZ 30418-45**



**Oberfrankenstiftung  
P-Nr. 04104**



**Bayerische Landesstiftung  
Förder-Nr. AZ 10610**

---

Herausgeber:  
Stadt Forchheim, Der Oberbürgermeister

Redaktion  
Gerhard Zedler Stadtbaurat Forchheim  
Prof. Dr. Rolf Snethlage Bamberg



## Inhalt

- 1 **Instandsetzung historischer Keller in Franken. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse**  
*Rolf Snethlage*
- 2 **Einführung in das Projekt. Anlass und Ziele.....**  
*Gerhard Zedler Rolf Snethlage*
- 3 **Zur Geschichte der Forchheimer Keller.....**  
*Dieter George*
- 4 **3D Laserscanning. Vermessungstechnik Grundrisse Wandabwicklungen.....**  
*Frank Bier*
- 5 **Geologische und materialtechnische Untersuchungen in ausgewählten Bierkellern.....**  
*Rupert Utz*
- 6 **Bauforschung im Kellerwald Forchheim. Dokumentation und Untersuchung des Rappenkellers, Weiß-Tauben-Kellers und des Bauernkellers.**  
*Stefan Breitling, Lena Klahr, Julia Müller*
- 7 **Georadar zur Erkundung von Klüften und Schichtungen. Zerstörungsfreie Untersuchungen..**  
*Gabriele Patitz*
- 8 **Ingenieurtechnische Bewertung und bergtechnische Sanierung des Weiß-Tauben-Kellers.....**  
*Günter Meier*
- 9 **Spalten, Klüfte, Dunkelheit – Felsenkeller als außergewöhnlicher Lebensraum**  
*Andreas Schmiedinger*
- 10 **Die Instandsetzung von Rappenkeller, Bauernkeller und Weiß-Tauben-Keller.....**  
*Rolf Snethlage*
- 11 **Leitfaden zur Instandsetzung und Erhaltung von Kelleranlagen.....**  
*Rolf Snethlage*



## Autorenverzeichnis

Bier Frank Dipl. Ing. / MA  
Konrad Triltsch Straße 5A  
97337 Dettelbach am Main  
0160/90959920  
[frankbier@ymail.com](mailto:frankbier@ymail.com)

Bellendorf Paul Dr  
Referatsleiter Erhaltung von Kulturgut  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt  
An der Bornau 2  
49007 Osnabrück  
0541/9633451  
[p.bellendorf@dbu.de](mailto:p.bellendorf@dbu.de)

Breitling Stefan Prof Dr. Ing.  
Lena Klahr M.A.  
Julia Müller M.A.  
Institut für Archäologie, Denkmalkunde und  
Kunstgeschichte  
Am Kranen 12  
96045 Bamberg  
0951/863-2344  
[Stefan.breitling@uni-bamberg.de](mailto:Stefan.breitling@uni-bamberg.de)

George Dieter Dr  
Kulturbeauftragter  
Rathaus  
91301 Forchheim  
09191/714-280  
[Edelgard.striegel@forchheim.de](mailto:Edelgard.striegel@forchheim.de)

Meier Günter Dr.-Ing. habil  
Ingenieurgeologie Geotechnik Bergbau  
Am Schirmbach 7  
09600 Oberschöna  
037321/898-0  
[ib@dr-meier.de](mailto:ib@dr-meier.de)  
[www.dr-gmeier.de](http://www.dr-gmeier.de)

Patitz Gabriele Dr. Ing.  
IGP  
Alter Brauhof 11  
76137 Karlsruhe  
0721/3844198  
[mail@gabrielepatitz.de](mailto:mail@gabrielepatitz.de) [patitz@t-online.de](mailto:patitz@t-online.de)

Schmiedinger Andreas Dipl. Agrarbiologe  
AgroBiol  
Auf der Hut 14  
95697 Nagel  
0151/12475730  
[Agrobiol.schmiedinger@t-online.de](mailto:Agrobiol.schmiedinger@t-online.de)

Snethlage Rolf Prof Dr  
Wetzelstr. 24  
96047 Bamberg  
0951/1339223  
[rolf@snethlage.net](mailto:rolf@snethlage.net)

Stumpf Franz Oberbürgermeister  
Rathaus  
91301 Forchheim  
[Franz.stumpf@forchheim.de](mailto:Franz.stumpf@forchheim.de)

Utz Rupert Dr Dipl. Geol.  
ProDenkmal Bamberg Berlin  
Obere Königsstraße 15  
96052 Bamberg  
0951/2082908  
[Rupert.utz@prodenkmal.de](mailto:Rupert.utz@prodenkmal.de)

Zedler Gerhard Dipl. Ing. Stadtbaurat  
Stadtbauamt Forchheim  
Birkenfelder Straße 4  
91301 Forchheim  
09191/714-245  
[Gerhard.zedler@forchheim.de](mailto:Gerhard.zedler@forchheim.de)

Rolf Snethlage  
Naturstein in der Denkmalpflege  
Wetzelstraße 24  
96047 Bamberg

## **Instandsetzung historischer Keller in Franken**

### **Abschlussbericht**

### **Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse**



Abbildung 1: Blick in die Kellergasse an den Oberen Kellern.

#### **1 Einleitung: Gegenstand und Ziele des Projekts**

Historische Kellersysteme, vor mehreren Jahrhunderten in anstehenden Felsformationen angelegt, sind technische Kulturdenkmäler allerersten Ranges. In Franken gibt es kaum einen Ort, an dem sich nicht mehr oder weniger umfangreiche Kellieranlagen finden, die zur Lagerung von Nahrungsmitteln und zur Kühlung von Bier benützt wurden. Auch wenn die Keller heute ihre ureigenste Funktion verloren haben, werden sie von der Bevölkerung als Orte der Freizeitgestaltung gern angenommen. Eine besonders authentische Kellieranlage ist der Kellerwald in Forchheim. Dort finden sich immer noch 23 Keller, die in zwei Ebenen übereinander angelegt sind. Im Rahmen des Projekts wurden drei besonders typische Keller, der Rappenkeller, der Bauernkeller und der Weiß-Tauben-Keller modellhaft untersucht und instand gesetzt.

Durch die Klüfte des Gesteins, konstruktive Mängel und Sickerwasser ist das Hangende der Stollen an vielen Stellen Absturz gefährdet. Die von Technikern vorgeschlagenen Methoden zur Instandsetzung

---

wie das Torkretieren oder gar die Verfüllung sind vollkommen inakzeptabel, weil sie einer Vernichtung des Denkmals gleichkommen.

Das Projekt hatte zum Ziel, wissenschaftlich fundierte Wege zur Erhaltung der Kelleranlagen zu entwickeln. Dadurch sollen die historischen Informationsgehalte erhalten und ihr Bestand auf Jahrzehnte gesichert werden. Die Maßnahmen zur Instandsetzung orientieren sich an denkmalpflegerischen, nicht allein an ingenieurtechnischen Argumentationslinien.

Dazu wurden neben gesteintechnischen Untersuchungen 3 D Modelle zur Abbildung der Keller hergestellt. Zusammen mit den Kluftrichtungen ergeben sich auf diese Weise die besonders gefährdeten Abschnitte der Kellergänge. Mit Hilfe von Georadar konnte an ausgesuchten Stellen nachgewiesen werden, wie dick die Gesteinspakete im Hangenden sind und ob sie sich für eine Vernadelung eignen. Die Bauforschung erfasste den historischen Kontext der Keller. Die Lage der Keller wird in ein digitales 3D Geländemodell übertragen.

Die weite Verbreitung von Kellern in ganz Franken verleiht dem Projekt eine wichtige Vorbildfunktion und eine breite Interessentenbasis. Die in Forchheim entwickelten und in die Anwendung umgesetzten Instandsetzungsmethoden sollen beispielhaft für weitere Instandsetzungen sein, die andernorts geplant sind.

Wenn die Keller in Stand gesetzt sind, werden Führungen angeboten, die schon heute beim Fremdenverkehrsamt häufig nachgefragt, aber wegen der fehlenden Sicherheit derzeit nicht durchgeführt werden können. Durch das Angebot von Führungen verspricht sich Forchheim eine Stärkung des Tourismus.

Zur Verbreitung der Resultate dient sowohl das Kolloquium, welches heute am 27. Mai 2014 veranstaltet wird als auch der Tagungsband mit den Fachberichten und einer Zusammenfassung des methodischen Vorgehens. Informationen zum Projekt sind auch auf der Website der Stadt Forchheim abrufbar.

Die dauerhafte Erhaltung des Kellerwaldes mit seinen 23 Kellern, dem Baubestand und den gewachsenen Felsen stellt ein beispielhaftes Modellprojekt für die Zusammenarbeit zwischen Denkmalschutz und Naturschutz dar. Das Bewusstsein hinsichtlich des Werts dieser Elemente der Kulturlandschaft wird in Fachkreisen und in der breiten Öffentlichkeit gestärkt.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat das Projekt bei kalkulierten Gesamtkosten von 316.324 € mit einem Zuschuss von 99.095 € gefördert. Des Weiteren beteiligen sich die Oberfrankenstiftung mit 100.000 € und die Bayerische Landesstiftung mit 28.000 €. Der Differenzbetrag wird von der Stadt Forchheim als Eigenleistung eingebracht. Allen Fördermittelgebern, ohne deren Engagement dieses Projekt nie hätte realisiert werden können, wird von Herzen gedankt. Die Laufzeit des DBU Projekts begann im Mai 2012 und endete im Mai 2014.

## 2 Projektbeteiligte

### **Antragsteller und Projektleitung**

Stadt Forchheim  
Stadtbauamt Referat 6:Hochbauamt  
Stadtbaurat Gerhard Zedler  
Birkenfelder Straße 2-4  
91301 Forchheim  
09191/714-245  
[gerhard.zedler@forchheim.de](mailto:gerhard.zedler@forchheim.de)

### **Wissenschaftliche Koordination und Qualitätssicherung**

Prof. Dr. Rolf Snethlage  
Naturstein in der Denkmalpflege  
Wetzelstraße 24  
96047 Bamberg  
0951/1339223; -225  
[rolf@snethlage.net](mailto:rolf@snethlage.net)

---

### **Bauforschung und Laserscan**

Otto Friedrich Universität Bamberg  
Institut für Archäologie, Bauforschung und Denkmalpflege  
Prof. Dr. Stefan Breitling  
Am Kranen 12  
96045 Bamberg  
0951/863-2344  
[stefan.breitling@uni-bamberg.de](mailto:stefan.breitling@uni-bamberg.de)

### **3D Laserscanning**

Dipl Ing Frank Bier MA  
Konrad-Triltsch-Straße 5a  
97337 Dettelbach am Main  
0160/90959920  
[frankbier@ymail.com](mailto:frankbier@ymail.com)

### **Gesteinstechnische Untersuchungen**

Pro Denkmal GmbH  
Restaurierung und Planung  
Dipl. Geograph Ulrich Meinhardt  
Obere Königstraße 15  
96052 Bamberg  
0951/208 2908  
[bamberg@prodenkmal.de](mailto:bamberg@prodenkmal.de)

### **Georadar**

IGP Ingenieurbüro  
Frau Dr Gabriele Patitz  
Alter Brauhof 11  
76137 Karlsruhe  
0721/3844198  
[patitz@t-online.de](mailto:patitz@t-online.de)

### **Ingenieurgeologische Untersuchungen**

Ingenieurbüro Dr. Ing. habil. Günter Meier  
Am Schirnbach 7  
09600 Oberschöna  
037321/898-0  
[ib@dr-gmeier.de](mailto:ib@dr-gmeier.de)

### **Naturschutzfachliche Untersuchungen**

Andreas Schmiedinger  
Diplom Agrarbiologe  
Auf der Hut 14  
95697 Nagel  
0151/1247530  
[agrobiol.schmiedinger@t-online.de](mailto:agrobiol.schmiedinger@t-online.de)

### **Denkmalpflegerische Fachberatung**

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege  
Außenstelle Schloss Seehof  
Dr. Robert Pick  
Dr. Thomas Gunzelmann  
Schloss Seehof  
96117 Memmelsdorf  
0951/4905-0  
0951/4095-22  
[robert.pick@bldf.bayern.de](mailto:robert.pick@bldf.bayern.de)  
[thomas.gunzelmann@bldf.bayern.de](mailto:thomas.gunzelmann@bldf.bayern.de)

---



### 3 Stand des Wissens zu Projektbeginn

Der Kellerwald am Stadtrand von Forchheim ist von einem System von Bierkellern durchzogen, welche bis zu 100 m Stollenlänge in den anstehenden Rhätsandstein getrieben wurden. Insgesamt gibt es dort 23 Keller; davon sind 10 Keller, sog. Obere Keller, in einer oberen Lage nur wenig unter der Geländeoberfläche angelegt. Weitere 13 Keller, die sog. Unteren Keller, befinden sich ca. 30 m unterhalb der erstgenannten. Die Geschichte der Keller ist eng mit dem Annafest verbunden. Noch heute wird das Fest Ende Juli als heiteres, und von unzähligen Gästen besuchtes Volksfest begangen.

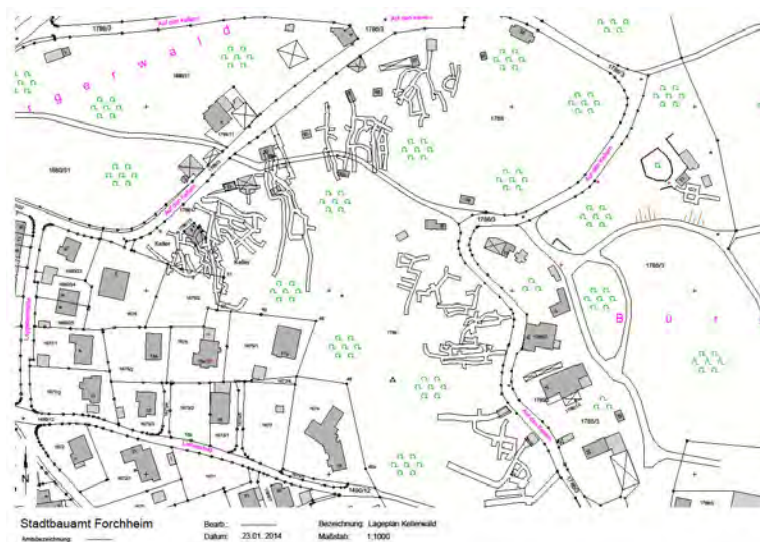


Abbildung 2: Forchheim Kellerwald Lageplan. Untere und Obere Keller bilden ein Gewirr von verschlungenen Gängen.

### 3 Geschichte der Keller

Allgemein wird vermutet, dass die Anlage von Bierkellern mit dem Aufkommen der untergärigen Hefe Ende des 15. Jh. in Zusammenhang steht. Diese Brautechnik setzte sich jedoch erst allmählich von West nach Ost durch, so dass die archivalisch als gesichert geltenden Jahreszahlen alle zu einem späteren Zeitpunkt liegen. Beispielhaft seien genannt: Lauf vor 1617, Hersbruck 1675, Erlangen 1686, Baunach 1729, Bamberg Beginn 18. Jh., Hiltoltstein 1648. Die Keller im Nürnberger Burgfelsen sollen früher, um 1230 entstanden sein.

Neueste Forschungen belegen die Entstehung der Forchheimer Keller ab dem Jahr 1691. Mit Jahreszahlen versehen sind der Neder Keller (1692), der Rittmayer Keller (1656) und der Müllers-Schleißla Keller (1609). Damit erscheinen die früheren Jahreszahlen 1656 und 1609 sich auf andere Ereignisse zu beziehen als auf die Anlage der Keller.

#### 4.1 Probleme der Instandhaltung

Die Keller wurden mit der Spitzhacke in den grobkörnigen und porösen Sandstein gehauen. Er ist horizontal gelagert, wird aber von zahlreichen, vertikal einfallenden Klüften in kleinere Blöcke zerteilt. Der Querschnitt der Kellergänge beträgt ungefähr 2 x 2 m. Die Decke der Stollen ist meist als flache Wölbung ausgearbeitet. Dadurch entsteht aber kein tragfähiges Gewölbes, weil die Überlastkräfte nicht ordnungsgemäß in die Seitenwände abgeleitet werden. Als Folge davon haben sich an vielen Stellen, besonders dort, wo sich Klüfte kreuzen, Gesteinsschollen allein auf Grund des Eigengewichts von der Decke gelöst und sind teilweise bereits abgestürzt. Außerdem sind dünnbankige Tonsandschichten in die Gesteinsabfolge eingelagert, wodurch in manchen Kellern die erhöhte Gefahr von flächenhaften Deckeneinstürzen gegeben ist.

Bei der Bewertung der Risiken ist zwischen den oberen und den unteren Kellern zu unterscheiden. Die oberen Keller besitzen nur eine geringe Geländeüberdeckung von ca. 5 m, wobei die obersten 2 bis 3 m nur noch aus Verwitterungsschutt bestehen. Die Wurzeln der Bäume reichen so tief, dass sie in den Klüften innerhalb der Kellergänge sichtbar werden.

### 4.2 Bisherige Reparaturmaßnahmen

In früheren Zeiten haben verschiedentlich Reparaturmaßnahmen stattgefunden, die zeitlich nicht mehr zu datieren sind. Dazu zählen flache, bogenartige Untermauerungen mit Ziegeln oder Sandsteinblöcken. Andere Hilfsmaßnahmen betreffen das Ausmauern von Klüften oder das Einschlagen von Keilen in Risse, um das weitere Abrutschen von Deckenelementen zu verhindern.

Im Eichhorn Keller fand vor einigen Monaten ebenfalls eine Mörtelinjektion im



Abbildung 3: Gesteinsschichtung des Lias Alpha an den Oberen Kellern. Im unteren Teil noch kompakte Gesteinsschichten, darüber kleinteiliger Verwitterungsschutt.

Hochdruckverfahren statt, um die offenen Fugen zu schließen. Hierbei stellt sich heraus, dass statt der geschätzten 8 m<sup>3</sup> Injektionsgut insgesamt 18 m<sup>3</sup> verbraucht wurden. Aus diesen Zahlen lässt sich das Risiko von Hochdruckinjektionen ablesen, weil die Wege, welche die injizierten Mörtelmassen nehmen, von außen nicht kontrolliert werden können.

Im Jahr 2011 erfolgte außerdem eine Teilsanierung des Schwanenkellers im oberen Teil des Kellerwaldes. In diesem Keller befindet sich ein größerer Raum, dessen Decke nach oben mit Felsankern gesichert und zusätzlich durch eine aus Klinkern gemauerte Stütze gesichert wurde. Weiterhin wurden offene Fugen mit Mörtel im Hochdruckverfahren verfüllt.



Abbildung 4: Stütze aus Ziegelmauerwerk und mit Spritzbeton verkleidete Decke im Schwanenkeller.

Durch die Bohrungen konnte festgestellt werden, dass die Mächtigkeit des tragfähigen Felsens oberhalb des Kellers nur noch 2 m beträgt, weil die darüber befindlichen Gesteinslagen durch Frosteinwirkung vollkommen zerrüttet sind. Bei der gegebenen Raumweite ist die tragfähige Gesteinsdicke zu gering, um



die Decke zu sichern. Aus diesem Grund mussten Wände und Decke zusätzlich mit Spritzbeton gesichert werden, was im Grunde als nicht wünschenswert, weil nicht denkmalverträglich eingestuft werden muss, im genannten Fall aber wohl nicht zu verhindern war.

Das Gutachten einer staatlichen Behörde schlug zur Sanierung entweder die Torkretierung oder eine komplette Verfüllung der Gänge mit Beton vor. Wie schon eingangs erwähnt, würde die vollständige Verkleidung mit Spritzbeton den Denkmalcharakter vollkommen zerstören. Außerdem wäre zu befürchten, dass in Folge der hohen Wasserdurchlässigkeit des Gesteins durch Poren und Klüfte hinter der abdichtenden Betonschale die Steinverwitterung vermehrt und unkontrollierbar fortschreiten würde, so dass sich die Spritzbetonschale wieder ablösen würde. Das Verfüllen mit Beton wird im großen Stil bei höchst Einsturz gefährdeten Kellern eingesetzt, wenn die Gefahr besteht, dass an der Geländeoberfläche Einsturzkrater entstehen können. Würde man diese Methode an den Forchheimer Kellern einsetzen, käme dies der vollständigen Zerstörung des Denkmals Kellerwald gleich und würde es für alle Zeiten vernichten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die bisher durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen entweder technisch nicht wirksam, mit möglichen Folgeschäden behaftet oder sogar Substanz vernichtend und deshalb denkmalpflegerisch inakzeptabel sind. Auf diesem enttäuschenden Befund begründet sich das Ziel des Projekts, für diese Denkmalgattung Instandsetzungsmethoden zu entwickeln, welche Wirksamkeit und Denkmalverträglichkeit miteinander verbinden.

### 5 Art und Umfang der Untersuchungen

Die Forchheimer Keller stellen ein historisches und lebendiges Objekt fränkischer Alltagskultur dar, welche in ihrem noch weitgehend original vorhandenen Zustand bewahrt werden sollen. Es gilt, Mittel und Wege zu finden, eine behutsame und denkmalverträgliche Instandsetzung und Instandhaltungsmethodik zu finden, welche der Stadt Forchheim und den Pächtern der Keller finanziell zumutbar ist. Die Keller müssen so weit gesichert werden, dass ein Begehen ohne Gefahr für Leib und Leben möglich ist.

Die Wände der Keller zeigen noch vielfältige Spuren der Herstellung, Vermessungsmarken oder Hiebspuren der Steinaxt. Durch die Zermürbung der Steinoberfläche drohen viele der Spuren durch Verwitterung verloren zu gehen.

Um in dem jetzt zu Ende gehenden Projekt unterschiedliche Kellerformen und Schwierigkeitsgrade zu bearbeiten, wurden, wie eingangs schon erwähnt, drei Keller für das Projekt ausgewählt:

- **Bauernkeller und Rappenkeller. Beide Keller gehören zu den Unteren Kellern.**
- **Weiß-Tauben-Keller. Dieser Keller gehört zu den Oberen Kellern.**

Die drei Keller stellen unterschiedliche Schwierigkeitsgrade hinsichtlich der Gestalt und der Gefährdung dar. Der Rappenkeller ist der in seinem Bestand am wenigsten gefährdete Keller. Der Bauernkeller entspricht einem mittleren Schwierigkeitsgrad. Am meisten Risiko behaftet, weil nahe der Geländeoberfläche angelegt, ist der Weiß-Tauben-Keller. Im Einzelnen sind folgende Arbeitsschritte in jedem der Keller ausgeführt worden:

#### 5.1.1 Ausräumen der Keller

Rappenkeller und Weiß-Tauben-Keller werden auch heute noch als Schankstätten in Betrieb gehalten. Der Bauernkeller erfährt gegenwärtig keine Nutzung. Leider sind in den hinteren Teilen der Keller die Laufhorizonte wenig gepflegt. Schwemmsand, Hölzer und Steine, welche durch die Luftschächte hinab geworfen wurden, liegen herum. Für sicheres Arbeiten mussten die Laufwege durch den Bauhof der Stadt freigelegt werden.

#### 5.2 3D Laserscan der ausgewählten Keller

Die Basis für alle Untersuchungen und Maßnahmen ist der genaue Plan der Keller. Als Methoden zur Vermessung standen einen Total Station mit GPS oder ein Laserscanner zur Verfügung. Weil das Areal um die Keller nicht geodätisch vermessen ist, erwies sich die Anwendung beider Methoden als zwingend. Mit Hilfe der Total Station + GPS können Passpunkte vor den Kellern und in den Kellern eingemessen werden, mit deren Hilfe die Laserscans georeferenziert eingebunden werden können. Mit modernen Geräten lässt sich mit dem Laserscan zügig arbeiten, so dass die Arbeitskosten nicht höher sind als bei der tachymetrischen Vermessung. Der Vorteil des Laserscans ist unbestritten, dass sich

sehr schnell Grundrisse, Deckenansichten und Querprofile erstellen lassen. Die Scans entsprechen gleichzeitig Orthophotos der Wände und Decken und können zur Dokumentation von Befunden herangezogen werden. Künftigen Planern kann deshalb empfohlen werden, zur Vermessung und Planerstellung die erwähnte Kombination einzusetzen.



Abbildung 5: 3D Laserscanner im Rappenkeller. Photo Frank Bier.

### 5.3 Bestandsaufnahme durch die Bauforschung

Die Technik der Steinhauer, welche den Keller in den Fels getrieben haben, ist überall gleich. Der Fels wurde mit dem Spitzeisen grob abgeschlagen. Als nächste Bearbeitung erfolgte die Glättung der Wände mit einer spitzen Steinaxt, die auch zum Ausarbeiten von Schroten in Steinbrüchen verwendet wurde. Die Schläge mit der Steinaxt zeichnen sich als gebogene Markierungen im Fels ab.

Abschließend benutzte man zur noch besseren Glättung in manchen Fällen ein Zahneisen, um Unebenheiten zu beseitigen. Um die Lichtausbeute zu steigern, wurden die Wände mit einer Kalkschlämme versehen, die aber nicht bei allen Kellern noch nachzuweisen ist.

Jeder der ausgewählten Keller hat eine eigene Entstehungs- und Ausbaugeschichte, die aus den Befunden abgeleitet werden kann. Im Einzelnen sind folgende Ergebnisse hervorzuheben.



Abbildung 6: Bearbeitungsspuren im Rappenkeller. Photo Lena Klahr und Julia Müller.

### 5.3.1 Rappenkeller

Dieser Keller besteht aus nur einem Gang. Der Kellerhals wurde später weiter nach vorn gezogen, um darüber ein Kellerhaus zu errichten, in dem Bier und Speisen verabreicht werden können. Wann dieser Ausbau erfolgte, lässt sich nicht mehr klären. Im Inneren ist diese Bauphase durch ein Tonnengewölbe aus Ziegelmauerwerk zu erkennen. Nach etwa 15 m biegt der Kellerverlauf nach links ab und verringert sich im Querschnitt. Die Gründe für diese Änderung lassen sich nicht mehr nachverfolgen, denn die Gefahr, mit einem angrenzenden Keller in Kollision zu geraten, bestanden und bestehen nicht. Mit einem leichten Bogen verläuft dann der Keller rund 40 m weiter in den Fels hinein.

Der Keller bietet mehrere interessante Befunde. Auf der Bierbank sind gut die Dübellöcher zu erkennen, welche zur Befestigung der Holzbalken dienten, auf denen die Fässer gelagert wurden. Auf der rechten Seite am Laufhorizont befinden sich mehrere rechteckige Lichtnischen.

Etwa in der Mitte des langen Ganges ist ein Bauabschnitt zu erkennen. Das bis dahin runde Deckengewölbe wird abgeflacht und die Ganghöhe reduziert sich. Der Rappenkeller besitzt keinen Lüftungsschacht, was als ungewöhnlich angesehen werden muss.



Abbildung 7: Deckenabwicklung des Rappenkellers. Messung Frank Bier.

### 5.3.2 Bauernkeller

Dieser Keller ist durch die Zusammenlegung von ursprünglich zwei getrennten Kellern entstanden. Vom heutigen Eingang, der ebenfalls durch ein künstliches Tonnengewölbe nach vorn gezogen ist, gelangt man in den Kellerbereich, der durch eine ringförmige Führung der Stollen mit zwei Quergängen gekennzeichnet ist. Dieser Teil gehörte zu einem anderen Keller, dessen Eingang an zwei schön gearbeiteten Türen zu erkennen ist, die heute mitten im Bauernkeller liegen. Die alte Eingangstür aus dem Nebenkeller ist zugemauert. Der Bauernkeller besitzt heute zwei Lüftungsschächte, was ein wichtiges Indiz für die Existenz von zwei getrennten Kelleranlagen angesehen werden kann.

Als einziger Keller hat der Bauernkeller eine Drainage, weil in Folge der geringen Überdeckung zeitweise reichlich Sickerwasser in die Stollen eindringt. Die Drainage endete ursprünglich in einer Senke, die noch gut zu erkennen ist.

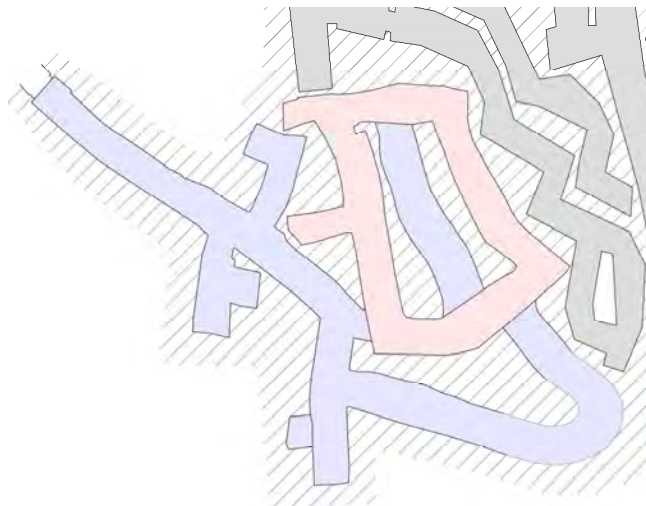


Abbildung 8: Grundriss des Bauernkellers. Die später verbundenen Kellersysteme sind farblich getrennt dargestellt. Vermessung Lena Klahr.

### **5.3.3 Weiß-Tauben-Keller**

Wie ein Blick auf den Grundriss lehrt, existierten an dieser Stelle ursprünglich drei parallel in nächster Nähe verlaufende Kellergänge, die später durch Quergänge miteinander verbunden wurden. Auch bei diesem Keller ist der Kellerhals Ende des 19. Jh. nach vorn erweitert worden, um darüber einen Pavillon zu errichten, in dem man vor Regen geschützt sein Bier trinken konnte. Verbunden mit dieser Maßnahme wurden die Eingänge des rechten und des linken Ganges verschlossen, weil davor Terrassen für Bierbänke errichtet wurden. Die Gründe für die Verbindung der drei Teilkeller konnten nicht eruiert werden. Der Weiß-Tauben-Keller besitzt aus diesem Grund auch drei Lüftungsschächte, die am Ende jedes Kellerganges angelegt sind.

Die Querschnitte der Kellergänge sind sehr unterschiedlich. Der linke, südliche Kellergang ist sehr niedrig angelegt, auf weite Strecken mit einem aus Sandsteinen gemauerten Gewölbe versehen. Im Mittelgang sind im vorderen Abschnitt Teile der Decke abgestürzt, so dass sich Raumhöhen von rund 3 m Höhe ergeben. Diese nehmen im hinteren Teil wieder auf 2 bis 2,5 m ab, weil dort keine Abstürze eingetreten sind. Am Ende des Mittelgangs öffnet sich der Fels zu einer Art Dom, der aber durch gigantische Felsabstürze entstanden ist. Hier besteht für alle Personen allerhöchste Gefahr.

Der nördliche Kellergang hat anfangs eine Höhe von 2,5 m mit schöner Felsdecke. Nach dem ersten Durchgang treten aber auch hier große Abbrüche an der Decke auf, die sich entlang einer Vertikalkluft bis in 5 m Höhe bei einer Breite von fast 2 m erstrecken. In früherer Zeit sind hier zwei Ziegelbögen zur Sicherung der Felsflanken eingemauert worden.

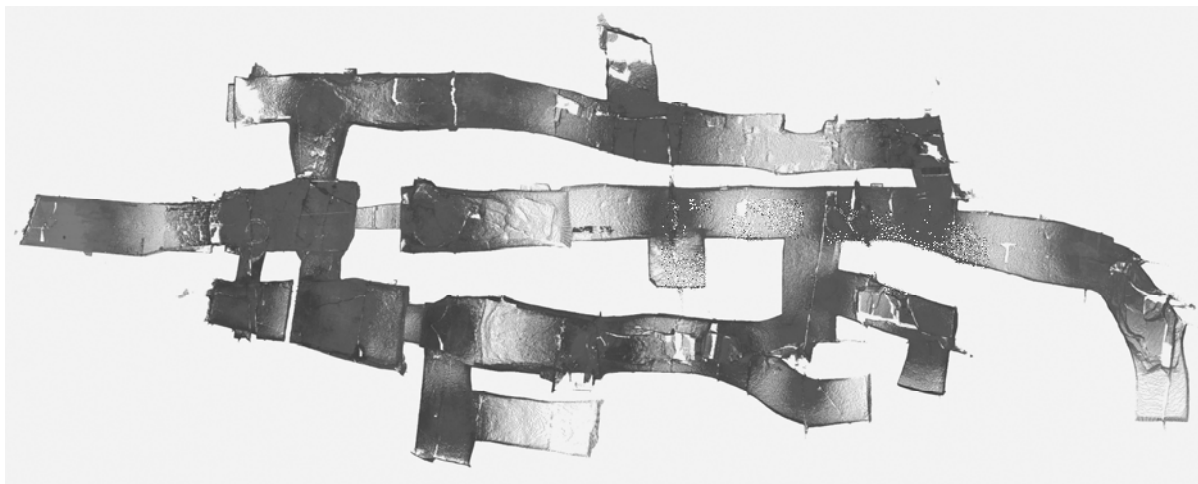


Abbildung 9: Deckenabwicklung Weiß-Tauben-Keller. Vermessung Frank Bier.

### **5.3.4 Grundrisse, Längsschnitte und Abwicklungen**

Von allen Kellern sind Grundrisse und Deckenabwicklungen aus den 3D Scans gefertigt worden. Diese dienen zur Eintragung der Befunde, die mit Photos dokumentiert wurden. Über jeden Befund gibt es ein Befundblatt mit genauer Beschreibung und Positionierung. Für detaillierte Information wird hier auf den Bericht der Universität Bamberg verwiesen.

Auf Grund der Georeferenzierung der Laserscans mit Hilfe von GPS Daten war es möglich, die Keller in den Katasterplan des Kellerwaldes einzubinden. Mit Hilfe eines Längsschnittes konnte sodann der Verlauf des Kellerhauptgangs im Berg und die Mächtigkeit der Überdeckung ermittelt werden. Solche Längsschnitte gibt es von jedem der drei Keller. Im Fall des Weiß-Tauben-Keller wurde gefunden, dass die Überdeckung insgesamt 5 bis 6 m beträgt, von denen aber mindestens die Hälfte aus losem Verwitterungsschutt des Sandsteins besteht.





Abbildung 10: Längsprofil des Weiß-Tauben-Kellers mit Geländeüberdeckung. Vermessung Lena Klahr.

#### 5.4 Geologische Gesteinsschichten, Gesteinseigenschaften, Kluftsysteme

Die unteren Keller des Kellerwaldes sind in den Schichten des Rhätsandsteins angelegt. Darüber folgt eine Schicht mit sandig-tonigen Lagen der Rhät-Lias-Übergangsschichten. Die oberen Keller befinden sich im sog. Keller- oder Werksandstein, der zu Lias Alpha 1 und 2 gehört. Die Sandsteine unterscheiden sich nicht wesentlich. Sie sind von weißlich grauer Farbe, grobkörnig und grobporös mit einer Dichte unter  $2,0 \text{ g/cm}^3$ . Die Druckfestigkeit reicht im trockenen Zustand je nach Varietät 1 -4 MPa bzw. 2-8 MPa, die im bergfeuchten Zustand bis auf Werte von 0,8 bis 1,5 MPa absinkt. Auf Grund dieser Eigenschaften ist der Sandstein leicht zu bearbeiten und der Vortrieb sollte zügig von statten gegangen sein.

Die Sandsteine des Lias Alpha 1 und 2 sind Bildungen eines Flussdeltas, was die raschen Wechsel in der Schichtung erklärt. Dieser Befund ist besonders zum Verständnis der Schäden im Weiß-Tauben-Keller wichtig. Die Mächtigkeit des Werksandsteins kann sich innerhalb weniger Meter auf die Hälfte reduzieren. Zwischengelagert sind dünne Sand-Ton-Lagen, die bei Durchnässung quellen und keine Haftzugfestigkeit mehr aufweisen. Die flächigen Deckenabstürze in diesem Keller sind darauf zurückzuführen, dass der hangende Fels von den Sand-Ton-Lagen nicht mehr gehalten werden konnte und zu Boden gestürzt ist. Ein rezenter Felssturz passierte im Südgang, als nach mehreren Tagen starken Regens eine rund 1 Quadratmeter große Steinplatte zu Boden stürzte, die sich an einer solchen Sand-Ton-Lage gelöst hatte.

Im Zuge der geologischen Bewegungen bei der Ausbildung der Hollfelder Mulde wurden die Gesteinsschichten des Kellerwaldes von zahlreichen Klüften durchsetzt. Es dominieren drei generelle Kluftrichtungen: 0-10° N-S Diagonalkluft, 110-150°SE Längsklüfte, 50-70°NE Quer- oder Diagonalkluft

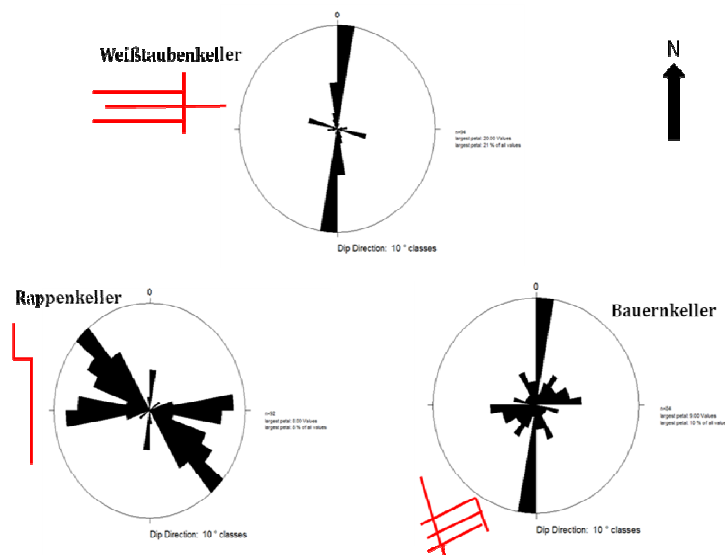


Abbildung 11: Kluftrosen im Vergleich; daneben schematisch der Verlauf der jeweiligen Kellerstollen. Die Anzahl der Gesamtmessungen sind ähnlich: Bauernkeller 42 Klüfte, WTK 48, Rappenkeller 45 Klüfte. Messung Rupert Utz ProDenkmal.



Je nach geographischer Lage der Keller sind diese Kluftrichtungen in unterschiedlicher Intensität zu beobachten; im Bauernkeller und im Weiß-Tauben-Keller die Nord-Süd verlaufenden Klüfte, im Rappenkeller die eher in Ost-West-Richtung streichenden Klüfte.

Weil sich im Rappenkeller die Längsklüfte sowie die Diagonalklüfte häufig kreuzen, bilden sich im Hangenden häufig spitz zulaufende Felssegmente aus, welche sich von der Mitte der Stollen nach innen zu neigen versuchen. Die Hauptursache für dieses Schadensbild liegt in der Tatsache begründet, dass der Rappenkeller entlang einer Nord-Süd verlaufenden Kluft angelegt wurden, welche genau in der Mitte des Stollens verläuft. Die Felssegmente haben deshalb in der Mitte des Stollens nur eine geringe Verspannung und sind in der Gefahr, über diese Mitte abzustürzen.

### 5.5 Geo-Radarmessungen

Die Methode Georadar wurde in jedem Keller an drei ausgesuchten Strecken von je 10 m Länge eingesetzt, um die Mächtigkeit der Schichten an den Seitenwänden und im Hangenden zu untersuchen. Als am besten geeignet erwies sich die 900 MHz Antenne, mit der Eindringtiefen in den Fels von 1,5 m erreicht werden konnten. Radarwellen reagieren auf Materialwechsel, besonders wenn diese mit einem starken Feuchtigkeitswechsel verbunden sind, also zum Beispiel der Übergang Luft – Fels oder Fels – nasse Sand-Ton-Lage. Auf diese Weise können offene Klüfte oder nasse Gesteinslagen identifiziert werden und somit das Risiko eines Deckenabsturzes besser abgeschätzt werden.

Die Radargramme wurden in Längs- und in Querprofilen abgebildet. Offene Klüfte oder Schichtwechsel zeigen sich in Form von starken Reflexionen, welche in der Auswertung als rote Linien wiedergegeben sind. Im Weiß-Tauben-Keller ist die geringe Felsüberdeckung in der Messstrecke im Nordgang klar zu erkennen.

Georadar wäre für die komplette Vermessung aller Kellergänge zu aufwendig und zu teuer. Die Technik ist aber für die gezielte Überprüfung von Problemzonen bestens geeignet.

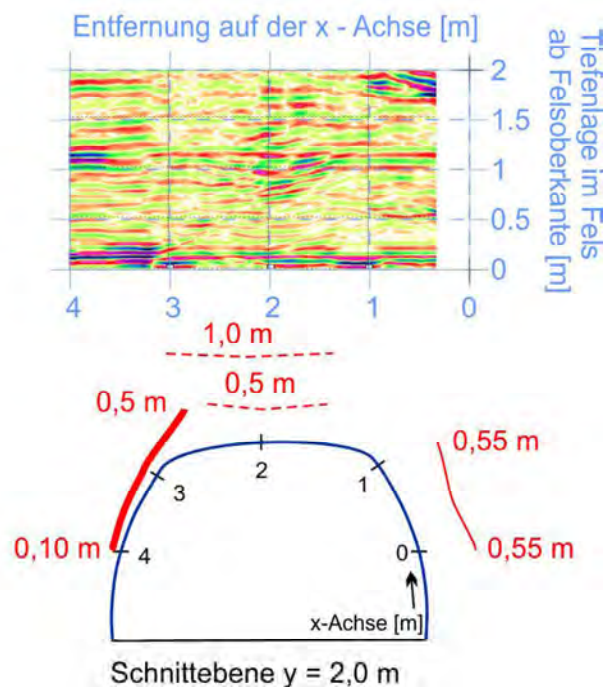


Abbildung 12: Beispiel für ein Radargramm. Offene Klüfte sind als rote Striche gekennzeichnet.

### 5.6 Naturschutzfachliche Erfassung der Keller und ihrer Umgebung.

Das gesamte Gelände des Kellerwaldes ist ein forstbotanisches Habitat von besonderer Qualität. Es überwiegen Eichen, Buchen und Linden mit Brusthöhendurchmessern von 50 cm. Seltene Käfer wie der Eremit oder Hirschkäfer konnten beobachtet werden. Im Bauernkeller und im Weiß-Tauben-Keller konnten je ein Fledermausexemplar des Braunen Langohrs nachgewiesen werden. Zahlreich vertreten ist die große Höhlenspinne, die zu Spinne des Jahres 2012 gewählt worden ist.

Der Baumbestand im Bereich der Schankstätten ist ein wesentliches Charakteristikum der Kellerranlage. Die zum Teil wild aufgegangenen Bäume stellen aber auch ein Sicherheitsrisiko dar, da

sie oft an oder auf Mauern aufwachsen. Im Gelände oberhalb der Oberen Keller erhöhen sie die Last auf den Kellern, die nicht zum Einsturz der Kellerdecken führen darf. Auf der Oberfläche des Weiß-Tauben-Kellers wurden deshalb 8 Eichen gefällt, weil die Last der Bäume auf 20 t geschätzt wurde. Andererseits bedürfen die Keller der Beschattung, damit sie sich im Sommer nicht zu sehr aufwärmen. Eine Bepflanzung der Kelleroberflächen ist deshalb wichtig, sie muss jedoch mit Bäume und Sträuchern von geringer Wuchshöhe geschehen.

Mit der Stadtförsterei wurde ein Konzept für die naturschutzfachliche Aufwertung der Kellieranlage entwickelt. Die zahlreichen Mauern sollen als Trockenmauern und damit Habitate für Wärme liebende Pflanzen und Tiere ausgebaut werden. Die Schatten spendende Bepflanzung könnte mit Hainbuchen, Feldahorn und Sträuchern, auch Rosen ausgeführt werden, welche als eine Art Niederwald einen regelmäßigen Rückschnitt erfahren können. Für Fledermäuse sind die Kellereingänge mit Einfluglöchern offen zu halten.



Abbildung 13: Große Höhlenspinne. Spinne des Jahres 2012. Photo Andreas Schmiedinger.

### **5.7 Ingenieurgeologische Bestandsaufnahme**

Die ingenieurgeologische Bestandsuntersuchung im Weiß-Tauben-Keller durch das Büro Dr. Meier aus Oberschöna zeigte verschiedene Gefahrenzonen auf, von denen einige Stellen der höchsten Gefahrenklasse zuzurechnen sind. Der Keller ist zwar gegenwärtig nicht in seinem Bestand gefährdet, jedoch kann sich die Lage auf mittlere Sicht wesentlich verschlechtern, wenn weitere Felsstürze eintreten sollen. Die möglichen Sicherungsmaßnahmen lassen sich wie folgt zusammenfassen. Sie sind in gleicher Weise auch für jeden anderen Keller anzuwenden, bedürfen aber der Begutachtung durch erfahrenen Bergingenieure.

Lockere Steine an den Wänden, in Klüften oder an der Decke werden bewusst zum Absturz gebracht, aber nur, wenn gesichert ist, dass nicht große Massen nachstürzen.

Offene Klüfte an den Seitenwänden oder in der Decke können mit Ausmauerungen aus Hartbranntziegel verschlossen werden. Der Hohlraum darüber ist mit Injektionen oder Mörtel zu verfüllen. Zur Sicherheit können Ankerdorne von Fels zu Fels eingebracht werden. Sind die Klüfte hinreichend breit, soll die Ausmauerung in Gewölbeform ausgeführt werden.

Flächige Deckenschäden werden durch ein Ziegelgewölbe von Seite zu Seite gesichert. Dabei ist darauf zu achten, dass die Widerlager richtig ausgearbeitet werden und dass der Bogen nicht zu flach gerät. Wieder sind die Hohlräume oberhalb des Gewölbes zu verfüllen, damit nicht Steinbrocken nachstürzen und das Gewölbe beschädigen können.

Ein Nachteil von Gewölben ist, dass der Blick auf die Schadenszonen verdeckt ist. Gewölbe aus hart gebrannten Ziegeln sind die stabilste und nachhaltigste Sicherungsmethode im Kellerbau.

Wenn die Gefährdungsklasse weniger hoch ist, sind auch andere Sicherungssysteme anwendbar. Gemeint sind damit Stahlstützen in Form von Vertikal- oder Schrägstützen und Schwerlaststützen aus Aluminium. Erstere tragen je nach Auszugslänge 1,3 bis 2,7 t, im Fall der hier in Frage stehenden Keller bei geringer Auszugslänge von 2 m rund 2,5 t, die Schwerlaststützen 6 t. Dieses Tragvermögen ist ausreichend, gefährdete Deckenteile abzusichern.

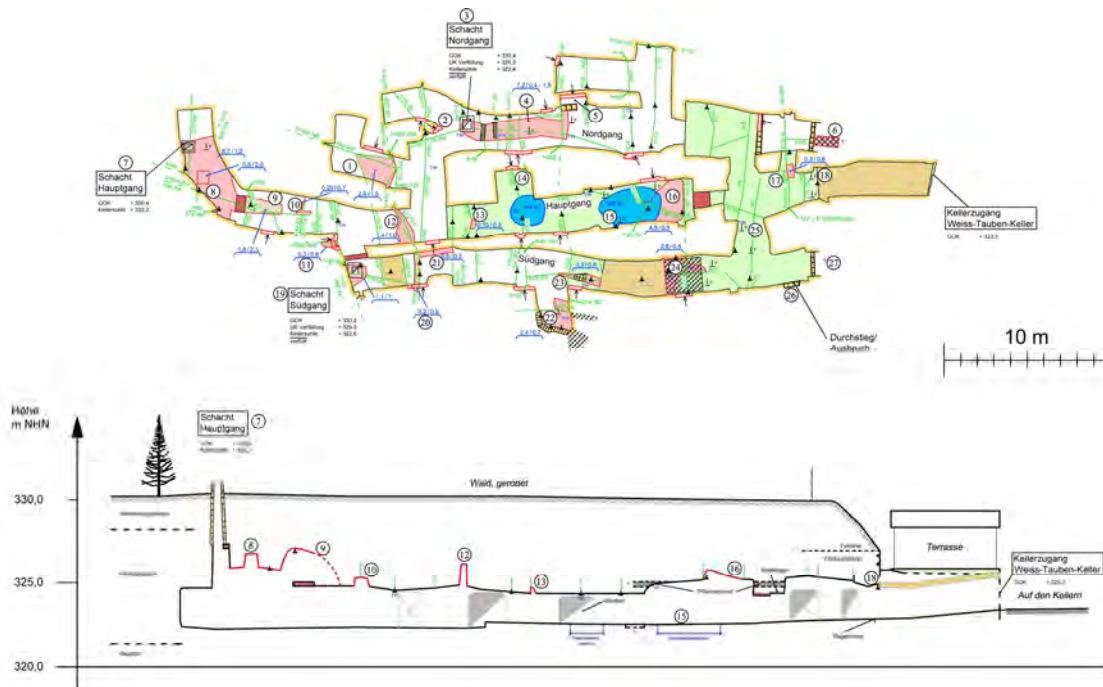


Abbildung 14: Ingenieurtechnische Bestandsaufnahme des Weiß-Tauben-Kellers. Ingenieurbüro Günter Meier Oberschöna.

Schrägstützen haben den Vorteil, so montiert werden zu können, dass sie den begehbaren Stollenquerschnitt nur geringfügig einschränken. Sie werden als Stützenpaare links und rechts aufgestellt und mit einem Doppel-T-Träger verbunden, welcher das Hangende abfängt. Diese Konstruktion kann mehr als 2 t pro Meter tragen. Bei größeren Deckenelementen können weitere Schrägstützenpaare hintereinander aufgestellt werden. Die Stützen aus Stahl unterliegen im Lauf der Jahre einer fortschreitenden Korrosion. Sie sind jedoch leicht zu demontieren und leicht wieder aufzubauen. Außerdem sind sie äußerst kostengünstig.

## 6 Planung und Durchführung der Instandsetzungsarbeiten

Ziel der Untersuchungen und Planungen war es, für jeden Keller angemessene, schlichte, dennoch sichere und denkmalgerechte Methoden der Instandsetzung zu bestimmen. Sollte es möglich und sicherheitstechnisch vertretbar sein, so sollten die Arbeiten vom Städtischen Bauhof ausgeführt werden. Der Einsatz des kommunalen Bauhofs ist natürlich finanziell ein großer Vorteil. Eingetragene Vereine oder andere Privatorganisationen, die sich um die Erhaltung von Kelleranlage bemühen, sollten jedoch sehr vorsichtig sein, aus Sparbestrebungen heraus Arbeiten unter Tage in Eigenregie vornehmen zu wollen. Die möglichen Gefahren können im Unglücksfall auch Menschenleben gefährden. Die in den ausgesuchten Kellern durchgeführten Maßnahmen unterscheiden sich teilweise erheblich.

Das Aufstellen von Stützen ist vom Schwierigkeitsgrad her von guten Bauarbeitern durchführbar, allerdings muss diesen Personen die genaue Position exakt erläutert und markiert werden. Das Aufmauern von Bögen oder Tonnengewölben ist dagegen im Baugewerbe keine Standardtechnik mehr. Hier sind Firmen gefragt, die mit Gewölbebau und bergtechnischen Sicherungen vertraut sind.

Der hinsichtlich Schäden am geringsten betroffene **Rappenkeller** ließ es zu, an den gefährdeten Stellen Schrägstützenpaare aufzustellen und mit Doppel-T-Trägern zu verbinden. Der Laufweg bleibt dadurch fast uneingeschränkt. 17 Schrägstützenpaare wurden eingebaut. Alle Arbeiten konnten vom städtischen Bauhof ausgeführt werden.



Abbildung 15: Schrägstützenpaar im Rappenkeller. Photo Rolf Snethlage.

Der **Bauernkeller** weist stärkere Schäden auf, weil die Stollen näher an der Geländeoberfläche liegen. Die insgesamt 12 Schrägstützenpaare an den Gefahrstellen konnten wiederum vom Bauhof aufgestellt werden. Zwei besonders große und schwere Deckenteile mussten mit 5 Vertikalstützen aus Aluminium gestützt werden, weil die Stahlstützen zu schwach gewesen wären. Die bogenartigen Ausmauerungen an Deckenklüften wurden von einer Fremdfirma ausgeführt.



Abbildung 16: Schwerlaststützen aus Aluminium sichern große Deckenteile im Bauernkeller. Photo Rolf Snethlage

Bei dem am stärksten in Mitleidenschaft gezogenen **Weiß-Tauben-Keller** musste eine Konzeptänderung vorgenommen werden. Die großen Ausbrüche in manchen Deckenbereichen können nicht mit Stützen gesichert werden, was einen Stützenwald zur Folge gehabt hätte. Stattdessen müssen Ziegelbögen und Ziegelgewölbe eingezogen werden, um breite Klüfte zu vermauern. Die komplette Instandsetzung des Kellers hätte die finanziellen Möglichkeiten des Projekts überfordert. Aus diesem Grund werden bestimmte Stollenbereiche aus der Führungsrouten genommen und gesperrt, sie bleiben

---



jedoch für den Besucher einsehbar. Besondere Beleuchtungen sollen für ein eindrucksvolles Szenario sorgen. Mit diesem Konzept können die Instandsetzungen auf die Führungslinie konzentriert bleiben. Der Umfang der Maßnahmen und die Kosten konnte so beträchtlich reduziert werden. Abgesperrt wird auch der hintere Teil des Mittelgangs mit dem gewaltigen Felssturz. Um weitere Abstürze zu vermeiden, sind hier 2 Vertikalstützen eingebaut worden. Lockere Steine in den Stollen wurden bewusst zum Absturz gebracht. Das Konzept verlangt die regelmäßige Kontrolle, ob Gefahr bringende Veränderungen eingetreten sind. An drei Stellen sind neue Gewölbe aus Hartbrandziegeln eingebaut worden. Sie sichern besonders gefährdete Stollenbereiche.



Abbildung 17: Neues Ziegelgewölbe im Weiß-Tauben-Keller. Phot Rolf Snethlage

### 7 Modellcharakter

Bierkeller und Keller zur Bevorratung spielen nicht nur in Franken, sondern auch in anderen Teilen Deutschlands eine bedeutsame Rolle. Kelleranlagen gibt es nicht nur in leicht zu bearbeitenden Sandsteinen, sondern auch in Schiefen (z. B. Frankenwald), in Phylliten (Felsenkeller am Katharinenberg bei Wunsiedel) und sogar in Basalten (siehe Eifel). Sie repräsentieren eine Epoche der Konservierung von Lebensmitteln, die über viele Jahrhunderte andauert hat. Die Kellerkultur ist besonders in Franken lebendig und wird dort als eine lebendige Tradition gelebt, die nicht nur in Großveranstaltungen wie der Erlanger Bergkirchweih oder dem Annafest in Forchheim zelebriert wird.

Wie bereits dargelegt, sind die ingenieurtechnischen Instandsetzungsvarianten wie Torkretierung oder Verfüllen nicht denkmalverträglich. Die modellhafte Planung und Instandsetzung von drei Kellern mit Hilfe von Methoden, die ingenieurtechnisch wirksam und zugleich denkmalverträglich sind, ist somit vorbildlich für eine Vielzahl von Kellern in ganz Deutschland, bei welchen diese Vorgaben in die Tat umgesetzt werden können.

Das Ziel aller Untersuchungen und die anschließend bestimmten Instandsetzungsmethoden müssen immer darauf abzielen, die uneingeschränkte Nutzung der Keller für die Lagerung von Bier, Getränken und Lebensmitteln zu garantieren. Eine touristische Nutzung kann bei Bedarf angestrebt werden. Dann sind allerdings besonders strenge Maßstäbe an die Sicherheit und das Verhalten beim Befahren der Stollen anzulegen. Weil in Forchheim Kellerführungen seit Jahren touristisch stark nachgefragt sind, werden die drei Projektkeller für Führungen freigegeben.

Der Kellerwald oberhalb von Forchheim stellt durch das Zusammenwirken seiner forstlichen, fast parkähnlichen Bewaldung und dem von Menschenhand geschaffenen Kellersystem ein Paradebeispiel einer Kulturlandschaft mit faunistischen, floristischen und anthropogenen Elementen dar. Diese seit Jahrhunderten bestehende Einheit soll für die Zukunft bewahrt werden und in der bewährten Tradition fortgeführt werden. Jedwede Störung dieser Einheit durch irreparable Eingriffe in die Keller würde den Charakter des Kulturerbes unweigerlich entwerten. Die Einheit zwischen Natur und Kultur wird durch ein naturschutzfachliches Nutzungskonzept fortentwickelt und vertieft.



Das Modellprojekt Kellerwald gründet sich auf die eng verzahnte Zusammenarbeit zwischen Denkmalschutz und Naturschutz. Die Ergebnisse sind im Internet, in Form eines Tagungsbands und bei dem am 27. 05.2014 veranstalteten Kolloquium dem Fachpublikum und der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt worden. Rundfunk und Fernsehen haben auf regionaler Ebene über das Projekt berichtet.

Die sieben Projektpartner zählen zu den KMU, ebenso wie das mit der bergbautechnischen Untersuchung beauftragte Ingenieurbüro und die mit der Instandsetzung des Weiß-Tauben-Kellers beauftragte Bergbau Spezialfirma. Das Projekt hat deshalb einen nicht unwesentlichen Beitrag zur Förderung des Mittelstands geleistet.

Das Projekt konnte termingerecht abgeschlossen werden.

### **Danksagung**

Die Stadt Forchheim und alle Beteiligten danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die großzügige Förderung. Ein besonderer Dank geht auch an die Oberfrankenstiftung und die Bayerische Landesstiftung, die sich ebenfalls an der Finanzierung beteiligt haben.

---

Prof. Dr. Rolf Snethlage  
Naturstein in der Denkmalpflege  
Wetzelstraße 24  
96047 Bamberg

## Die Instandsetzung von Rappenkeller, Bauernkeller und Weiß-Tauben-Keller Abschlussbericht

### Kurzfassung

Die Voruntersuchungen von Rappenkeller, Bauernkeller und Weiß-Tauben-Keller mündeten in Sicherungsmaßnahmen, die jeweils auf die besonderen Probleme der Keller abgestimmt waren. Im Rappenkeller, einem einzigen Kellergang mit rund 80 m Länge wurden 17 Schrägstützenpaare und 2 Vertikalstützen aufgestellt. Der in seiner Form komplexere Bauernkeller benötigte 12 Schrägstützenpaare und 8 Schwerlaststützen aus Aluminium, deren Tragkraft mehr als doppelt so hoch ist wie die der Stahlstützen. Für den Weiß-Tauben-Keller konnte das Instandsetzungskonzept dadurch reduziert werden, dass der nördliche und der südliche Gang aus der Führungslinie herausgenommen wurden. Das führte zu einer erheblichen Kostenersparnis. Die hohe Absturzstelle am Ende des Hauptgangs konnte mit armierten Druckkästen gestützt werden.

### 1 Einleitung

Die für das Projekt ausgewählten Keller sind der Rappenkeller, der Bauernkeller und der Weiß-Tauben-Keller. Der letztgenannte gehört zu den Oberen Keller, die beiden anderen zu den unteren Kellern. Die Auswahl geschah unter der Maßgabe, dass drei Keller von unterschiedlicher Form und verschiedenem Schwierigkeitsgrad bearbeitet werden sollten, so dass die gewonnenen Erfahrungen auch für die übrigen Keller im Kellerwald als repräsentativ angesehen werden können.

Die Umsetzung der Sicherungsmaßnahmen erfolgte nach eingehenden Voruntersuchungen, die in den Beiträgen dieses Tagungsbandes referiert sind. Die Stützsysteme wurden nach den Kriterien der Tragfähigkeit, der Sicherheit und der Nachhaltigkeit ausgewählt. Der Kostenaspekt spielte demgemäß keine primäre Rolle. Die Arbeiten konnten beim Rappenkeller und beim Bauernkeller auf Grund des geringeren Schwierigkeitsgrades vom Bauhof der Stadt Forchheim durchgeführt werden. Die Arbeiten im Weiß-Tauben-Keller mussten an eine erfahrene externe Firma aus dem Erzgebirge vergeben werden



Abbildung 1: Schrägstützenpaar mit Querträger aus Stahl

Um die Wegsamkeit in den schmalen Stollen, die im Regelfall nur 2 m breit sind, zu gewährleisten, entschied man sich gegen Vertikalstützen und wählte statt dessen Schrägstützen aus, die sich paarweise gegenüber stehen. Sie sind am Boden im Fels verdübelt und tragen an der Decke einen Doppel-T-Träger, an dem sie verschraubt sind (Abbildung 1 und Abbildung 2). Auf diese Weise entsteht ein stabiles Stützgerüst, das den Weg nur geringfügig einschränkt. An einigen Stellen, an denen es die räumlichen Umstände erforderten, wurden einfache Vertikalstützen aufgebaut.



Abbildung 2: Verdübelung eines Schrägstützenfußes im Sandstein.

Die kommerziell erhältlichen Schrägstützen aus Stahl sind in verschiedenen Längen im Fachhandel erhältlich. Die Stützlänge kann zwischen 1,80 m bis auf 4,30 m im ausgezogenen Zustand variieren. Entsprechung der Stützhöhe vermindert sich die Tragkraft von 2,7 t bei 1,80 m auf 1,3 t bei 4,30 m Auszugslänge. Schwerlaststützen aus Aluminium erreichen Tragkräfte von 6,0 t bei Stützhöhen bis zu 5,50 m. Sie sind jedoch nur als Vertikalstützen erhältlich. Die Stahlstützen sind außen und innen mit Rostschutzfarbe gestrichen.



Abbildung 3: Historische Bogenkonstruktion im Weiß-Tauben-Keller.

Bereits in der Vergangenheit haben die Kellerspächter nach Abstürzen von Deckenflächen oder zum Verschluss breiter Klüfte Bögen oder Gewölbe aus Sandstein oder Ziegel eingezogen (Abbildung 3). Diese Technik ist, sofern das passende, gegen Feuchte resistente Material verwendet wird, die sicherste und dauerhafteste Lösung. Allerdings ist das Einziehen von Bögen und Gewölben handwerklich nicht einfach zu bewerkstelligen und die ausführenden Mauerer benötigen ein Höchstmaß an Erfahrung, um die Konstruktion sicher auszuführen. Wie an Beispielen im Weiß-Tauben-Keller abzulesen ist, wurden früher jedoch die Hohlräume über dem eingezogenen Gewölbe nicht immer komplett ausgefüllt, so dass herabfallende Steinbrocken das Gewölbe durchschlagen könnten.



Abbildung 4: Gewölbekonstruktion im Bauernkeller

Gemäß dem Ausführungsplan des Ingenieurbüros Dr. Meier wurden von der Firma Feldhaus drei neue Gewölbe aus Hartbrandziegeln eingezogen (Abbildung 5). Weit klaffende Spalten sind mit Spritzbeton verschlossen worden.



Abbildung 5: Neues Ziegelgewölbe im Weiß-Tauben-Keller.

Nicht in Erwägung gezogen wurde die Abstützung der Stollendecken durch Querträger aus Stahl, deren Widerlager in den angrenzenden Fels hätten eingeschnitten werden müssen. Die Verwendung von Holz als Stützmaterial ist allenfalls für kurzfristigen und kurzzeitigen Einsatz gedacht, da das Material in dem feuchten Klima schnell vermodert, wogegen auch ein moderner Anstrich nicht dauerhaft zu schützen vermag.

## 2 Tragfähigkeit und Risiken der Stützsysteme

Die Stollen im Rappenkeller und im Bauernkeller besitzen überwiegend eine Scheitelhöhe von rund 2 m. Das Einziehen eines Gewölbes ist dadurch praktisch nicht durchführbar, weil der Stollenquerschnitt viel zu stark eingeschränkt werden würde und der Gewölbebogen extrem flach ausfallen müsste, um noch einen einigermaßen freien Querschnitt offen zu halten. Als Alternative bleiben somit Stützen aus Stahl oder Aluminium, die in Form von Vertikalstützen oder Schrägstützen zu Verfügung stehen. Holzstützen scheiden wegen der geringen Dauerhaftigkeit von vornherein aus. Stahlträger, deren Widerlager aus dem Fels hätte ausgeschnitten werden müssen, sind deshalb verworfen worden, weil die Beschädigung der Originalsubstanz große Ausmaße angenommen hätte.

Wie oben bereits ausgeführt, beträgt die Tragfähigkeit der ausgesuchten Schrägstützen aus Stahl je nach Auszuglänge zwischen 2,7 bis 1,3 t. Bei einer Ganghöhe von ca. 2 m, wie sie im Rappenkeller und im Bauernkeller vorherrschen, brauchen die Stützen nur wenig ausgezogen zu werden, so dass Stützlasten von 2,0 bis 2,5 t abgetragen werden können. Da der in Bogenform gearbeitete Deckenquerschnitt kein richtiges Gewölbe darstellt, werden die Lasten symmetrisch nach links und rechts in einem Winkel von 60° in die seitlichen Felswände abgeleitet. Dadurch entsteht im Hangenden ein Prisma mit dreieckigem Querschnitt, das frei nach unten hängt und nur durch die Zugfestigkeit des Gesteins gehalten wird. Treten horizontale Lagerklüfte auf, besteht erhöhtes Risiko, dass das Gesteinspaket als Ganzes abstürzt.

Bei kompaktem Fels besteht keine Gefahr, dass das Gestein auf Grund seines Eigengewichts auseinander reißt. Diese kritische Länge wird bei der Zugfähigkeit des vorliegenden Gesteins erst bei einer frei hängenden Länge von 4,3 m erreicht.

Das dreieckige Felsprisma hat bei einer Stollenbreite von 2 m, die für alle Keller mehr oder weniger repräsentativ ist, eine Stirnfläche von 1 m<sup>2</sup>. Das Gewicht des porösen Sandsteins kann mit 2 t/m<sup>3</sup> angenommen werden. Eine einzelne Stütze vermag also 1 m Deckenlänge zu tragen, ein Stützenpaar eine Deckenlänge von 2 m. Es gilt, die Länge der gefährdeten Deckenzonen abzumessen und daraus die Anzahl der benötigten Stützenpaare zu ermitteln, die nacheinander aufgestellt werden müssen.

Bei Verwendung von Schrägstützen und Vertikalstützen besteht ein gewisses Risiko darin, dass sich die gefährdeten Deckenelemente beim Ablösungsvorgang drehen und seitlich neben der Stütze zu Boden fallen. Diese Gefahr kann jedoch umgangen werden, wenn die Stützen so aufgestellt werden, dass die eingrenzenden Klüfte überbrückt und die Mittellinie des Deckenelements abgesichert wird. Ist die gefährdete Deckenzone länger, so sind zwei Stützenpaare direkt nacheinander aufzustellen, um das Absturzrisiko zu vermeiden.

Die Stahlstützen sind mit Rostschutzfarbe gestrichen, ebenso die verbindenden Doppel-T-Träger. Ohne Zweifel besteht in dem dauerfeuchten Klima in den Stollen ein hohes Korrosionsrisiko. Die Dauerhaftigkeit der verwendeten Träger kann nur grob abgeschätzt werden, beträgt aber mit Sicherheit mehr als 20 Jahre. Das Stützsystem ist aber kostengünstig und leicht reparierbar, so dass das Aufstellen neuer Stützen logistisch und finanziell kein Risiko darstellt.

Bögen bzw. Gewölbe aus hart gebrannten Ziegeln versprechen natürlich eine größere Dauerhaftigkeit als Stützen aus Stahl. Wichtig sind jedoch die sichere Abstützung in den seitlichen Wänden und ein hinreichend steiler Bogen. Aus geometrischen Gründen sind Bögen jedoch im Rappenkeller und im Bauernkeller nicht ausführbar. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass damit der Blick in das Hangende versperrt wird und Sickerwasser mit Hilfe von Drainagerohren abgeleitet werden muss. Weit klaffende Fugen mit Geröllfüllung können jedoch nur mit bogenförmigen Ausmauerungen gesichert und verschlossen werden.



### 3 Rappenkeller

Die Form des Rappenkellers stellt einen einzigen Gang dar, der in etwa einem Drittel seiner Gesamtlänge eine S-förmige Biegung aufweist. Kellerhals und Eingangsbereich sind dort, wo die Geländeüberdeckung noch gering und der Fels brüchig ist, durch ein Ziegelgewölbe und durch Betondecken gesichert. Im Inneren der Keller ist der Sandstein stabil, obgleich er von zahlreichen Klüften durchschlagen wird. Flächenhafte Deckenabstürze sind nicht vorhanden, dennoch neigen sich Deckensegmente an mehreren Stellen, wo sich Klüfte kreuzen, gegen die Mitte des Gangs und könnten abstürzen.

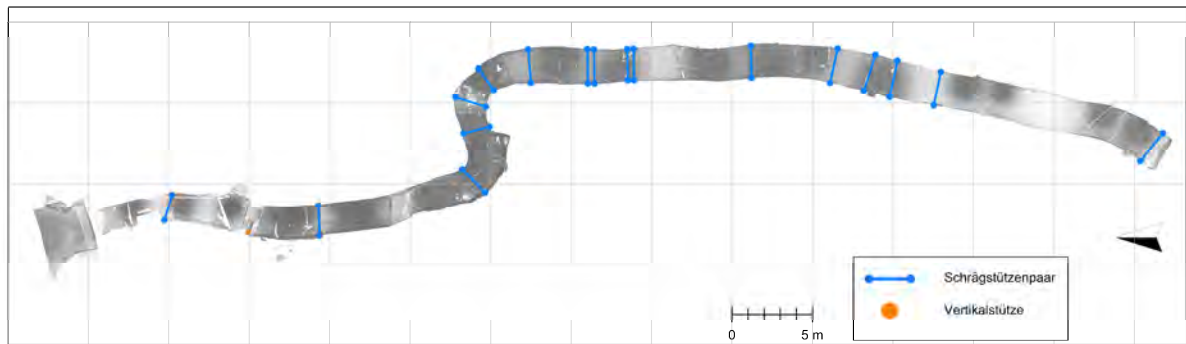


Abbildung 6: Stützenplan des Rappenkellers.

Der Gang des Rappenkellers weist eine Breite von rund 2 m und eine Höhe von etwas über 2 m auf. Da die Kellerdecke kein Gewölbe im üblichen Sinne darstellt, welches Druckkräfte zu den Seiten ableitet, besteht immer die Gefahr, dass sich an der Kellerdecke ein Firstbruch ausbildet und die Decke in Teilen herunter bricht. Berechnungen ergeben, dass bei der gegebenen Breite des Stollens von 2 m und einer Dichte des Sandsteins von  $2\text{t/m}^3$  eine Deckenlast von 2 t auf einer Länge von 1 m abgesichert werden muss. Ein Schrägstützenpaar ist deshalb in der Lage, 1 m Ganglänge, bei dem eine Einsturzgefährdung erkennbar ist, abzustützen, weil die Stützhöhe nur 2 m beträgt. Auf Grund dieser Überlegungen sind im Rappenkeller insgesamt 17 Schrägstützenpaare eingebaut worden. Die Arbeiten konnten Anfang 2013 von den Mitarbeitern des Bauhofs ausgeführt werden. Den Stützenplan zeigt Abbildung 6.

Abbildung 7 zeigt ein vollständiges Schrägstützenpaar. Die Schrägstützen lagern links auf der Fassbank, rechte im Laufhorizont. Sie sind mit Schrauben und Dübeln im Sandstein fest verankert. Von ihrer Stellung ganz an der Stollenwand neigen sich die Stützen schräg nach innen, so dass sie fast den ganzen Gangquerschnitt frei lassen. Vertikalstützen würden bei dem Querschnitt des Stollens fast auf der Mitte der Fassbank und des Laufhorizontes aufsetzen und so die Begehrbarkeit erheblich einschränken. Der Querträger aus Stahl ist mit den Schrägstützen fest verschraubt. Der Hohlraum zwischen Querträger und Gewölbescheitel wird mit hoch gebrannten Ziegeln ausgefüllt.



Abbildung 7: Vollständiges Schrägstützenpaar im Rappenkeller.

#### 4 Bauernkeller

Nachdem alle Voruntersuchungen fertig gestellt worden waren, konnten die Arbeiten durch den Bauhof der Stadt im März 2014 begonnen und vollendet werden. Der Bauernkeller ist aus ursprünglich zwei getrennten Kellern entstanden, die später miteinander verbunden wurden. Der Kellerhals ist wegen der geringen Fels- und Geländeüberdeckung als Gewölbe ausgebaut. Im Inneren herrschen massive Felsen vor, die allerdings zum Teil mit weiten Klüften an den Wänden und den Decken durchzogen sind. Abbildung 8 zeigt den Stützenplan und die Führungslinie.

Aus Sicherheitsgründen mussten die Nischen und der Querstollen gesperrt werden, weil deren Begehung ein zu großes Risiko beinhaltet. Die Führungslinie kann nun in einem Kreis verlaufen. In den meisten Fällen erwiesen sich die Schrägstützenpaare als die Methode der Wahl. 12 solcher Stützenpaare wurden im Bauernkeller aufgestellt (Abbildung 9). Davon befinden sich allein 6 Schrägstützenpaare direkt im Eingangsbereich, weil hier die Kellerdecke wegen der geringen Geländeüberdeckung besonders gefährdet ist (Abbildung 10).

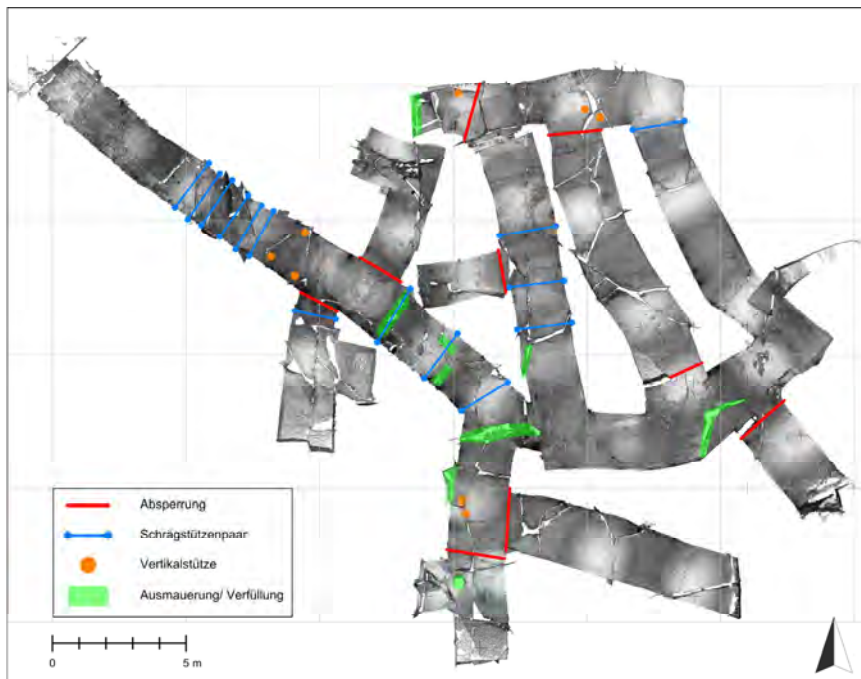


Abbildung 8: Stützenplan und Führungslinie im Bauernkeller.



Abbildung 9: 3 Schrägstützenpaare im Bauernkeller.

Großformatige Blöcke, die ein zu großes Gewicht aufweisen, verlangten den Einbau von vertikalen Schwerlaststützen aus Aluminium, deren Tragkraft selbst bei einer Auszugslänge von 5 m noch 6 t beträgt. Drei derartiger Schwerlaststützen befinden sich im hinteren Eingangsbereich, wo ein dreieckiges Deckensegment mit einer Kantenlänge von 2 m gesichert werden musste (Abbildung 11). Zusätzlich mussten klaffende Klüfte mit Ziegelmauerwerk ausgefüllt werden.



Abbildung 10: 6 Schrägstützenpaare sichern den Eingangsbereich des Bauernkellers.



Abbildung 11: Schwerlaststützen aus Aluminium sichern große Felssegmente.



## 5 Weiß-Tauben-Keller

Der Weiß-Tauben-Keller ist mit Abstand der schwierigste der drei ausgewählten Keller, einerseits weil die Überdeckung mit Fels auf der gesamten Stollenlänge nur sehr gering mächtig ist, andererseits weil die oberen Lagen des Kellersandsteins dünnbankig ausgebildet sind. Aus diesem Grund ist es am Ende des Mittelgangs und im Nordgang im Bereich weitständiger Klüfte zu beträchtlichen Felsstürzen gekommen. Diese Gefahrenstellen waren Anlass, die Instandsetzungsarbeiten nicht durch den Bauhof der Stadt ausführen zu lassen, sondern per Ausschreibung eine Spezialfirma zu beauftragen, welche Erfahrung mit der Instandhaltung von Altbergbaustollen besitzt.

Das Leistungsverzeichnis für die Ausschreibung wurde vom Ingenieurbüro Dr. Meier aus Oberschöna im Erzgebirge ausgearbeitet, das die Schäden in dem Keller genau aufgenommen und entsprechende Gegenmaßnahmen entwickelt hat. Die Kartierung der Maßnahmen ist auf dem Plan in Abbildung 12 verzeichnet.

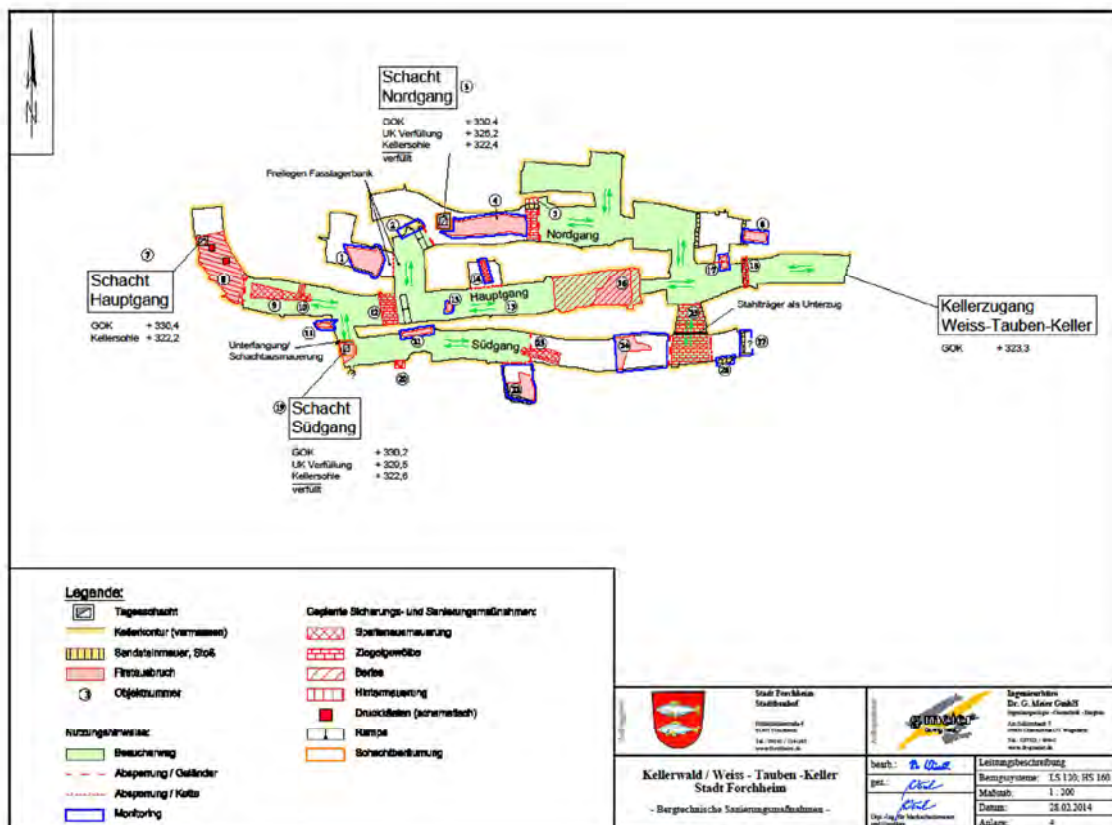


Abbildung 12: Maßnahmenplan für den Weiß-Tauben-Keller. Ingenieurbüro Dr. Meier Oberschöna.

Durch eine Einschränkung der Führungslinie konnten die Arbeiten im Südgang und im Nordgang eingeschränkt werden. Die Besucher haben Einblicke in die gesperrten Stollen, dürfen sie aber nicht betreten. Voll einsehbar bleibt der gewaltige Felsausbruch am Ende des Mittelgangs, der für Besucher einen Eindruck von den Gefahren unter Tage vermittelt. Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen, wie im LV des Ingenieurbüros Dr. Meier beschrieben, durchgeführt. Der folgende Text ist zum Teil wörtlich dem genannten LV übernommen.

### 5.1 Beriss der Firste

Die Firste wurde vor Ausführung weiterer bergtechnischer Maßnahmen auf Hohlstellen abgeklopft und lockere Teile wurden berissen (vorsichtig abgeschlagen):



### 5.1.1 Nordgang

- Firstausbruch auf Höhe des Sandsteinpfeilers (Plan Nr. 5)

### 5.1.2 Hauptgang

- Firstausbruch am Lüftungsschacht (Plan Nr. 8)
- Großer Firstspalt (Plan Nr. 9) und Spaltenausbruch (Plan Nr. 10)
- Kluft und Spaltenausbruch (Plan Nr. 12)
- Östlicher Firstausbruch (Pan Nr. 16)
- Gewölbeanschluss (Pan Nr. 18)

### 5.1.3 Südgang

- Firste um Lüftungsschacht (Plan Nr. 19)
- Firstspalt (Plan Nr. 23)
- Querschlag mit Teil des Südgangs (Plan Nr. 25)

## 5.2 Beräumung der Lüftungsschächte

Der Lüftungsschacht im Nordgang (Plan Nr. 3) ist vollständig von Verfüllmassen befreit worden. Die untere Schachtaufmauerung wurde gesichert. Über Tage ist der Schachtkopf aufgemauert und mit einer Abdeckung versehen worden.

Die Ausmauerung des Lüftungsschachtes im Hauptgang (Plan Nr. 7) ist auf Schäden inspiziert und gesichert worden.

Der Lüftungsschacht im Südgang (Plan Nr. 19) wurde vollständig von Verfüllmassen geräumt und die Vermauerung mit Stahlstäben unterfangen. Der Schachtkopf über Tage wurde ebenfalls aufgemauert und mit einem Schutzdach versehen.

## 5.3 Firstsicherung mit Druckkästen

Die Firstausbrüche am Ende des Hauptgangs im Bereich des Lüftungsschachtes (Plan Nr. 8) wurden mit zwei Stempeln aus Stahl gesichert. Diese blieben als Bewehrung der gemauerten Druckkästen mit Querschnitt 40x40 cm stehen, die ihrerseits mit Beton verfüllt wurden. Die Aufmauerung der Druckkästen ist gerade im Gange.



Abbildung 13: Stahlstützen als Kern der Druckkästen am Ende des Mittelgangs im Weiß-Tauben-Keller.

#### 5.4 Firstsicherung mit Ziegelgewölbe

Die Firstsicherung mit Ziegelgewölbe erfolgte in 3 Arbeitsbereichen: im Hauptgang der Gewölbeanschluss (Plan Nr. 18) und ein neues Gewölbe zur Unterstützung eines bestehenden, aber unsicheren Gewölbes direkt am Eingang zur hohen Absturzstelle (Plan Nr. 9) und der Querschlag zum Südgang (Plan Nr. 25). Hier erfolgte nach Abtragen der lockeren Gesteinslagen das Ausarbeiten eines Auflagers für die Gewölbemauerung. Am Übergang vom Querschlag zum Südgang ist ein Stahlträger als Unterzug eingebaut, um ein Auflager für das Gewölbe zu erhalten.



Abbildung 14: Neues Stützgewölbe im Weiß-Tauben-Keller an Plan Nr. 9.

#### 5.5 Verfüllung von Spalten mit Spritzbeton

An Stelle von Ausmauerungen von Spalten in der Firste ist in Abänderung des ursprünglichen Plans festgelegt worden, diese Stellen mit Spritzbeton (Plan Nr. 5 und 12) zu verschließen, weil die Ausmauerung technisch und räumlich doch zu schwierig geworden wäre. Abbildung 15 zeigt die Vorbereitung einer Kluft (Plan Nr. 5) für die Füllung mit Spritzbeton. Es ist eine Stahlmatte eingelegt. Der Sandsteinpfeiler im Nordgang ist ebenfalls mit Spritzbeton hinterfüllt worden.



Abbildung 15: Stahlmatte zur Armierung von Spritzbeton in der Felsspalte von Plan Nr. 5.

## **5.6 Beräumung der Sohle**

Die Sohle der Stollen ist von Schutt befreit und grobe Unebenheiten beseitigt worden, damit der Besucherweg gefahrlos begangen werden kann. Im Querschlag zum Nordgang und in der Nische (Plan Nr. 1) ist die Fassbank freigelegt worden.

## **6 Schlussfolgerungen**

Instandsetzungspläne müssen stets auf gründlichen Voruntersuchungen aufgebaut werden, welche die nötige Kenntnis der vorhandenen Instandsetzungsprobleme erkennen lassen. Dazu gehören auch die Vorüberlegungen, welchem Zweck die Instandsetzungen dienen sollen:

- besteht ein gewerblicher Nutzen als Bierausschank
- finden Führungen statt
- dient der Keller nur privaten Zwecken
- muss der Keller gesichert werden, damit bei Einsturz nicht das obertägige Gelände einbricht

Kosteneinsparungen lassen sich erzielen, wenn man bestimmte Bereiche aus der Führungslinie herausnimmt und absperrt. Meist genügt den Besuchern ein Blick in die Stollen, wenn für eine gute Beleuchtung gesorgt ist.

Gewölbe- oder Bogenkonstruktionen sind nachhaltige und dauerhafte Maßnahmen gegen Deckeneinstürze, verursachen aber die höchsten Kosten. In vielen Fällen lassen sich Stützgewölbe aber gar nicht einziehen, weil die Stollenhöhen zu gering sind. In solchen Fällen können Schrägstützenpaare oder horizontale Stahlträger eingesetzt werden. Es ist in Erwägung zu ziehen, ob die Aussparungen für Stahlträger ein ausreichendes Widerlager bilden und ob der Substanzverlust ein akzeptables Maß überschreitet. Die erforderliche Tragkraft muss berücksichtigt werden, ist aber in den meisten Fällen gegeben. Schwerlaststützen aus Aluminium werden bei großen Deckenelementen benötigt, welche ein zu hohes Gewicht aufweisen.

Für die Wirksamkeit aller Stützsysteme ist die Wahl der Abstützpunkte entscheidend. Es ist mit großer Gewissenhaftigkeit darauf zu achten, dass die gefährdeten Deckenelemente so unterfangen werden, dass sie bei Loslösung aus dem Schichtverbund nicht seitlich neben die Stützen abkippen können. Die Kenntnis der Schichtenfolge und der Schichtmächtigkeiten im Hangenden ist unerlässlich. Immer ist ein ausgewiesener Fachmann hinzuziehen, der sich mit der Erhaltung von Kellern in geologischer und ingenieurtechnischer Hinsicht auskennt.

Die Resultate der Bauforschung liefern wichtige Hinweise, welche Zonen des Felsenkellers historisch besonders wichtig sind und der besonderen Pflege bedürfen.

Die Instandsetzung der drei Keller konnte im geplanten Zeitraum erfolgreich abgeschlossen werden.

**Rolf Snethlage**

Naturstein in der Denkmalpflege  
Wetzelstraße 24  
96047 Bamberg

**Leitfaden zur Instandsetzung und Erhaltung von Kelleranlagen**

**Abschlussbericht**

**Kurzfassung**

Die Instandsetzung und Pflege historischer Bierkeller fußt auf gründlichen Untersuchungen zur Entstehungsgeschichte, zur geologischen Situation, der Baugeschichte, der geotechnischen Beurteilung sowie der naturschutzfachlichen Bedeutung der Kellers und seiner Umgebung. Oberste Priorität bei der Planung hat die Sicherheit von allen Personen, die den Keller betreten müssen. Verfüllung von ganzen Stollengängen sowie die Verwendung von Spritzbeton zur Verkleidung von Wänden und Decken zerstören den Denkmalwert eines Kellers und sind deshalb denkmalfachlich abzulehnen. Zur Sicherung von gefährdeten Decken kommen Ziegelgewölbe oder Konstruktionen aus Metallstützen in Frage. Die Wahl der Methode ist von einschlägig erfahrenen Ingenieuren zu entscheiden.

**1 Einleitung**

Der vorliegende Leitfaden fasst die Erfahrung, die im Rahmen des DBU Projekts „Umweltverträgliche und denkmalgerechte Instandsetzung historischer Keller in Franken am Beispiel des Kellerwaldes bei Forchheim“ in den vergangenen zwei Jahren gewonnen wurden. Ein Leitfaden stellt keine DIN oder EU Norm dar. Er kann und soll keine strikten Vorgaben für Untersuchungen und Maßnahmen abgeben, weil die geologischen Verhältnisse, die Ausführung des Kellers und dessen angetroffener Zustand so unterschiedlich sein können, dass jeder Instandsetzungsfall eine individuelle Aufgabe darstellt, für die geeignete Maßnahmen mit Hilfe von Voruntersuchungen gefunden werden müssen. Durch die Lektüre des Leitfadens soll dem Betreffenden vielmehr geholfen werden, im Hinblick auf „seinen“ Keller kritisch die nötigen Untersuchungen, die zu einem Instandsetzungskonzept führen sollen, auszuwählen und durchführen zu lassen. Die Erwähnung von Vor- und Nachteilen einzelner Instandsetzungsmethoden unterstützt, die dem Keller angemessene und dauerhafteste Lösung auszuwählen. In den meisten Fällen wird es angeraten sein, sich der Hilfe eines Experten zu bedienen, der mit der Instandsetzung von Kellern bereits Erfahrungen gesammelt hat. Das kann in manchen Fällen ein erfahrener Architekt, besser jedoch ein Bergbauingenieur oder Techniker sein. Hinsichtlich der Instandsetzungsmethoden sind die Anforderungen, welche durch den Denkmalschutz gestellt sind, einzuhalten. Die Anwendung dieses Leitfadens auf den konkreten Einzelfall bedeutet weder für den Auftraggeber noch für den Auftragnehmer eine Versicherung, dass die Maßnahmen gemäß dem Stand der Technik ausgeführt worden sind. Diese Versicherung kann man nur durch ein geotechnisches Gutachten erhalten, in dem die auszuführenden Maßnahmen im Detail und genau beschrieben sind und auch so ausgeführt wurden.

**2 Untersuchungen zur Geschichte der Bierkeller**

Die Anlage von Kellern in Franken ist eng mit der Entwicklung der Braukunst verbunden. Aber das Lagern von Bier war sicher nicht deren einziger Zweck. Auch zum Aufbewahren von Nahrungsmitteln benötigte man kühle Räume. In der Stadt und nahe Flussläufen war es jedoch nicht geraten, Keller anzulegen, weil sie leicht von Grundwasser geflutet werden konnten. Man ging deshalb an die nahen Hänge, um dort in den anstehenden Fels Kellerstollen zu treiben.

Viele Keller haben ihren Ursprung auch in der Gewinnung von Scheuersand, wie es zum Beispiel für die Keller am Kaulberg in Bamberg angenommen wird. Mitunter wird auch die Meinung vertreten, dass es sich bei den Kellern um Verstecke bei kriegerischen Auseinandersetzungen wie besonders im 30-jährigen Krieg oder in den Hussitenkriegen handelt.

Bis zum Aufkommen der untergärigen Hefe Ende des 15. Jh. braute man Bier ausschließlich mit obergäriger Hefe, welche beim Gärungsprozess Temperaturen von 15 bis 20 °C benötigt und deshalb auch im Sommer eingesetzt werden kann. Untergärige Hefe dagegen verlangt Temperaturen zwischen 4 bis 9 °C, so dass man diese Biere nur im Winter brauen konnte. Zu diesem Zweck schnitt

---



man aus Teichen und extra angelegten Überschwemmungswiesen im Winter Eisblöcke, die man in tiefen Kellern lagerte. Auf diese Weise konnte bis in das späte Frühjahr gebraut werden, indem man die Sudkessel in den Sudhäusern mit diesem Eis kühlte. Erst mit der Erfindung der Kältemaschine durch Carl von Linde im Jahr 1876 war es möglich, untergäriges Bier das ganze Jahr über zu brauen.

In historischer Zeit wurde also das Bier in den Sudhäusern gebraut, in Fässer umgefüllt und diese in die Keller verbracht, wo sie bei der konstanten Temperatur von 8 – 10 °C lagerten (Abbildung 1). Manche Nischen, die sich an den Kellerstollen finden, können als Lagerplätze für Eis gedeutet werden. Von dort wurden die Fässer bei Bedarf in die Schankstätten transportiert. Was lag demnach näher als den Ausschank in der schönen Jahreszeit direkt auf die Keller zu verlegen, wohin die Menschen nach der Arbeit oder an Wochenenden gerne wanderten, um sich zu vergnügen.



Abbildung 1: Blick in den Bauernkeller mit Vermessungsmarken

Untergäriges Bier hat den Vorteil, länger lagerfähig zu sein (daher der Name Lagerbier), weil sich beim Gärprozess keinen falschen Hefen oder Bakterien bilden, die das Bier ungenießbar machen würden. Allerdings benötigt es auch eine längere Gärzeit als das obergärige Bier. In den wärmeren Gegenden Deutschlands wie im Rheinland gab es Winter, in denen überhaupt kein Eis gewonnen werden konnte. Man blieb deshalb bei der Verwendung von obergäriger Hefe und hat diese Braukunst bis heute bewahrt. Obergäriges Bier, unter den Namen Altbier oder Kölsch bekannt, ist leichter und muss frisch getrunken werden.

### 3 Allgemeine Angaben zur Maßnahmenplanung

Bierkeller sind wichtige Teile der Kulturlandschaft. Viele sind in die Denkmalliste eingetragen. Kommunen und private Initiativen kümmern sich in Kooperation mit den Besitzern oder Pächtern um ihre Erhaltung. Unabhängig, ob es sich um eine bedeutende oder weniger bedeutende Kelleranlage handelt, in jedem Fall sind Maßnahmen gründlich und wohl überlegt vorzubereiten. Viel Mühe und Geld sind vergebens investiert, wenn sich die durchgeführten Maßnahmen als ungeeignet oder wenig nachhaltig erweisen. In diesem Leitfaden sind deshalb Wege aufgezeigt, mit welchen Untersuchungen man zu einer sicheren Planung gelangt, durch die den Objekt angemessene Maßnahmen entwickelt und unnötige Kosten vermieden werden.

#### 3.1 Rechtliche Voraussetzungen für Maßnahmen unter Tage

Gemäß dem Bayerischen Bergbaugesetz ist eine Kelleranlage kein Altbergbau und verändert auch durch die Instandsetzung und touristische Nutzung ihren Status nicht. Der Eigentümer kann deshalb Führungen ohne Genehmigung durch das Bergamt durchführen oder zulassen. Dem Bergamt sind aber Arbeiten unter Tage anzuzeigen. Das trifft auch auf die Durchführung der Sicherungsmaßnahmen in Bierkellern zu. Für die Arbeiten muss es ein Sicherheitskonzept geben, welches dem Bergamt vorzulegen ist. Wichtige Elemente eines Sicherheitskonzepts sind Wegesicherung, temporäre Sicherungen gegen Absturz, Beleuchtung, Helmpflichten. Auch für Führungen muss ein Sicherheitskonzept ausgearbeitet werden.



Bei öffentlichen Auftraggebern bestehen im Grundsatz die allgemeinen Vergaberichtlinien. Es sollte aber mindestens eine beschränkte Ausschreibung, nach Möglichkeit sogar eine freihändige Vergabe vorgenommen werden, weil für alle Arbeiten unter Tage einschlägige Erfahrungen nötig sind.

### **3.2 Allgemeine Regeln für die Arbeitssicherheit während der Untersuchungen und der Arbeiten**

Um die Sicherheit der Menschen während der Untersuchungsphase und der anschließenden Arbeiten in den Stollen zu gewährleisten, muss eine Reihe von Vorsichtsmaßnahmen getroffen und eingehalten werden. Dabei gilt das unumstößliche Prinzip, dass Sicherheitsvorgaben nicht verhandelbar sind. Die Sicherheit von Personen hat stets höchste Priorität. Der Absturz von Deckenelementen kündigt sich nicht durch Geräusche an. Sie lösen sich lautlos und krachen zu Boden. Im Einzelnen sollen folgende Vorschriften eingehalten werden:

- Gute Ausleuchtung der Stollen mit Lampen
- Notbeleuchtung.
- Jede Person hat eine Stirnlampe und eine Ersatzlampe.
- Jede Person trägt einen Schutzhelm
- Jede Person trägt entweder Arbeitsschuhe mit Stahlkappen oder stabile Bergschuhe
- Absperrung von gefährdeten Nischen und Gangbereichen, die später für die Nutzung gesperrt bleiben.
- Überbrückung von Stufen durch Rampen aus Holz
- Ausräumen von Steinen, die am Boden liegen.
- Die Sicherungsarbeiten laufen von Vorne nach Hinten.
- Polsterung hervorstehender Splinte oder Schrauben an den Stützen

Für die Untersuchungen gelten zunächst die oben ausgeführten allgemeinen Vorschriften zur Arbeitssicherheit. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass keine Person allein in einem Keller tätig ist. Der Besuch eines Kellers ist beim Eigentümer oder Projektleiter anzuzeigen. Nach Beendigung der Tätigkeit muss sich die betreffende Person wieder abmelden.

### **3.3 Regeln zum Vorlauf der Arbeiten**

Festlegung der abzustützenden und abzusperrenden Bereiche durch Auftraggeber und Projektleiter. Zeichnerische Dokumentation auf dem Grundriss des Kellers.

Die besonders gefährdeten Deckenbereiche werden sofort mit Stützen vorläufig gesichert. Damit Stützen und Vermauerungen richtig ausgeführt werden können, sind genaue Pläne, Querschnittmaße und eine gründliche Planungen erforderlich.

Die abzufangenden Lasten sind zu ermitteln. Dazu benötigt man Kenntnisse über die Lageverhältnisse im Hangenden und Kenntnisse in der Felsmechanik.

Die Vorarbeiten müssen unter den gleichen strengen Sicherheitsvorkehrungen durchgeführt werden wie die eigentlichen Aufstellarbeiten der Sicherungselemente.

### **3.4 Regeln zum Ablauf der Arbeiten**

Bei der Ausführung der Arbeiten sind wiederum einige feste Regeln einzuhalten:

- Der Vorarbeiter der Arbeitergruppe begeht zuerst alle Stollengänge allein, um Veränderungen oder gar Abstürze zu erkunden. Erst danach dürfen die Arbeiter mit ihm zusammen die Stollen betreten.
- Einführung der Arbeiter und Erläuterung der abzustützenden Bereiche
- Tägliche Anmeldung beim Projektleiter vor Beginn der Arbeiten.
- Tägliche Abmeldung beim Projektleiter
- Mitteilung über Arbeitsfortschritt und besondere Vorkommnisse
- Ein Arbeiter beobachtet ständig den Arbeitsbereich. Er ist nicht in die Ausführung der Arbeiten einbezogen.

### **3.5 Regeln für die Anlage von Führungslinien und Fluchtwegen**

Nicht alle Keller bieten die Möglichkeit, während der Arbeiten und später bei Führungen Fluchtwege offen zu halten. Manche Keller bestehen nur aus einem Gang, andere hingegen sind ringförmig mit Durchstichen angelegt, so dass man immer nach vorne oder hinten ausweichen kann, falls ein Deckensturz den Teil eines Ganges verschütten sollte. Die Ausweichwege sind deshalb so zu sichern, dass keine gefangenen Bereiche mehr vorhanden sind. Bei Arbeiten in gefangenen Gängen muss

deshalb immer eine Person außerhalb der Gefahrenzone bleiben, um im Notfall Soforthilfe veranlassen zu können.

## 4 Vorbereitende Untersuchungen für die Maßnahmen

Die vorbereitenden Untersuchungen zu den eigentlichen Instandsetzungsarbeiten umfassen folgende Bereiche:

- Herstellung von Plänen
- Geologische Situation
- Geotechnik
- Bauforschung
- Untersuchungen von Flora und Fauna

### 4.1 Vermessung und Planerstellung

Grundlage für jede Planung sind genaue Pläne der Kelleranlage. Je nach Kellertyp können solche Pläne einfach sein, wenn der Keller nur aus einem Raum, oder sehr umfangreich, wenn die Kelleranlage aus mehreren, miteinander verbundenen Stollen besteht.

**4.1.1 Grundriss:** Minimale Voraussetzung für die Maßnahmenplanung ist ein genau vermessener Grundriss. In diesen Plan können an die betreffenden Stellen Befunde, Gefahrenstellen und Maßnahmen eingetragen werden, mit dem jeweiligen Vermerk, ob sich die betreffenden Punkte an der Wand, am Boden oder an der Decke befinden. Die Stellen sind mit Ziffern zu versehen und in den Kellern mit farbiger Kreide zu markieren.

Empfohlener Maßstab: je nach Größe 1:20 bis 1:100 (Abbildung 2).

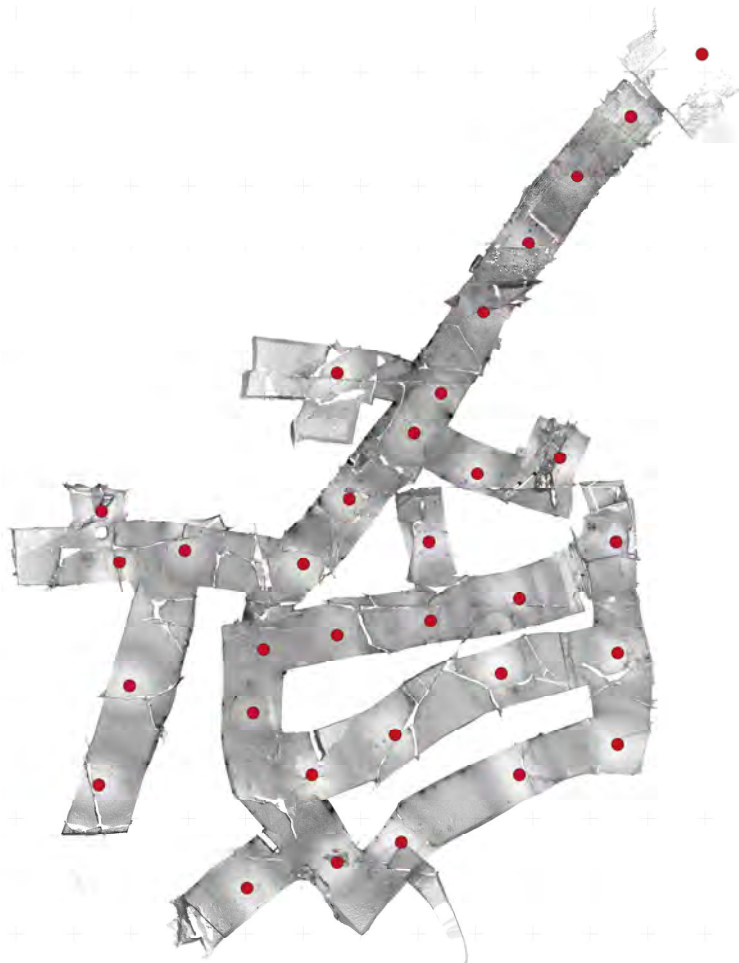


Abbildung 2: Grundriss Bauernkeller mit Standpunkten für den 3D Laserscanner (Vermessung und Grundriss Lena Klahr, Universität Bamberg).

#### 4.1.2 Befundblätter und Maßnahmenbeschreibung

In separaten Notizblättern, welche nach identischen Ziffern geordnet sind, werden die Befunde und die vorgeschlagenen Maßnahmen mit Bild und Text beschrieben.

#### 4.1.3 Querschnitt

Um einen Eindruck von der Form des Kellers zu erhalten, sind Querschnitte durch die Kellergänge unverzichtbar. Sie müssen genau vermessen sein. Unterschiedliche Querschnitte dokumentieren zumeist unterschiedliche Ausbaustufen oder zeigen an, dass an den Stellen, an welchen zum Beispiel die Deckenhöhen wechseln, zwei ursprünglich getrennte Kellersysteme miteinander verbunden wurden.

#### 4.1.4 Längsschnitt

Ein Längsschnitt ist immer dann erforderlich, wenn die Gänge des Kellers nach unten oder nach oben verlaufen, z. B. wenn der Zugang über eine Treppe erfolgt. Kombiniert werden sollte der Längsschnitt mit dem Verlauf der Geländeoberfläche, um Informationen über die Überdeckung zu erhalten. Ist die Überdeckung gering, besteht die Gefahr, dass der Keller einstürzt und die Geländeoberfläche nachbricht (Abbildung 3).

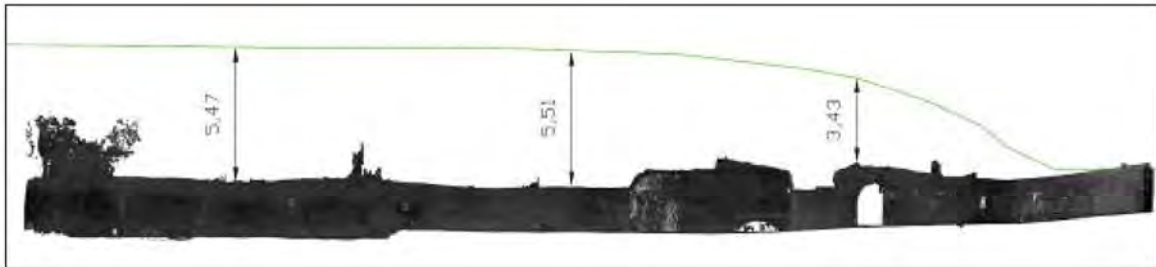


Abbildung 3: Längsschnitt durch den Weiß-Tauben-Keller mit Verlauf der Geländeoberkante (Vermessung Lena Klahr, Universität Bamberg).

#### 4.1.5 Wand- und Deckenabwicklung

Eine Wandabwicklung ist mit einfachen Vermessungsmethoden nicht zu bewerkstelligen. Man braucht dazu entweder eine photographische Abwicklung oder einen 3D Laserscan. Der Vorteil einer Wand- und Deckenabwicklung liegt darin, dass Befunde, Gefahrenstellen und Maßnahmenvorschläge kartiert werden können.

#### 4.2 Vermessungstechniken

Am Beginn sollte der Kellereingang mit Hilfe von geodätischen Messmarken, die sich in der Nähe befinden, eingemessen werden, oder über GPS lokalisiert werden, damit der erstellte Kellerplan lagegerecht in den Katasterplan oder in ein digitales 3D Geländemodell übertragen werden kann.

**4.2.1 Handvermessung:** Die klassische Methode der Bauforschung ist bei einfachen, räumlich nicht sehr umfangreichen Kellern durchaus eine Option. Bei komplexen Kellersystemen ist das Verfahren aber zu aufwendig.

**4.2.2 Tachymeter:** Mit dem Tachymeter werden, ausgehend von dem Fixpunkt am Kellereingang, bestimmte Punkte in den Stollen eingemessen. Diese Punkte werden dann vereinfachend mit geraden Linien verbunden. Es entsteht ein schematischer Grundriss des Kellers, was für einfachere Keller durchaus ausreichend ist. Moderne Tachymeter schlagen an den ausgesuchten Punkten auch Kreisbögen, so dass ein kompletter Querschnitt durch den Stollen abgebildet wird. Verbindet man diese Querschnitte mit Geraden kann man ein schematisches 3D Bild des Kellers konstruieren.

**4.2.3 Photogrammetrie:** Mit Stereophotos, die je nach Komplexität des Objekts hohe Überlappungsgrade aufweisen, können komplette Abwicklungen des Kellerinneren erstellt werden. Weil vorher Messmarken eingemessen wurden, lassen sich die Photos mit spezieller Software zu einem virtuellen 3D Abbild des Kellers zusammenfügen. Die Methode, die früher in der Bauforschung führend gewesen ist, wird heute wegen ihres hohen Aufwands kaum mehr eingesetzt.

**4.2.4 3D Laserscan:** Zunächst werden an entscheidenden Stellen Passpunkte mit dem Tachymeter eingemessen. Darauf folgt die eigentliche Vermessung mit einem 3D Laser. Es entsteht ein komplettes, dreidimensionales Abbild des Kellers. Durch Nachbearbeitung der Daten in AutoCad oder vergleichbarer Software können Grundriss, Querschnitte an beliebigen Stellen, Längsschnitte, Wandabwicklungen und Deckenabwicklungen erzeugt werden. Der Laserscan liefert gleichzeitig ein räumlich getreues Orthophoto der Oberflächen, das bei modernen Laserscan Fabrikaten die Qualität

eines Photos mit sehr guter Auflösung hat. Zusätzlich ist es auch möglich, den Scanner mit einer hoch auflösenden Digitalkamera zu versehen, dessen Photos dann direkt auf das 3D Modell texturiert werden können (Abbildung 4).



Abbildung 4: 3D Laser Scanstation im Rappenkeller (Photo Frank Bier).

#### 4.2.5 Vergleich der Vermessungstechniken

Die Vermessung mit dem Tachymeter ist bei einfachen Kellerformen als ausreichend zu bezeichnen. Photogrammetrie ist methodisch nicht unbedingt mehr zeitgemäß einzustufen. Der 3D Laserscan hat den unbestreitbaren Vorteil, dass sofort alle Daten zur Verfügung stehen, die zur Erstellung von Grundrissen und Abwicklungen benötigt werden. Zeitlich bietet das Tachymeter keine Vorteile. Der komplexe Bauernkeller konnte z. B. von einer Person in einem Tag komplett vermessen werden. Zieht man in Betracht, dass in dem Laserscan mit einer einzigen Messung gleich alle Daten gesammelt werden, dann kommt man zu dem Schluss, dass dieses Messverfahren das zeitliche und kostenmäßig günstigste Verfahren ist.

#### 4.3 Geologische Situation

Keller sind in Gesteinsformationen angelegt, welche eine gewisse innere Stabilität und hinreichende Schichtstärken aufweisen. Manchmal hat man aber auch den Eindruck, dass diese Voraussetzungen nicht sonderlich beachtet worden sind, denn mitunter sind Keller in äußerst fragile Gesteinsschichten eingefügt.

Bei der Auswahl des Geologen ist zu beachten, dass der Beauftragte vor allem Kenntnisse der petrophysikalischen und mechanische Eigenschaften von Gesteinen mitbringt.

**4.3.1 Gesteinsbestimmung:** Im Keuperland Oberfranken sind Sandsteine aus den Formationen Schilfsandstein, Burgsandstein, Dogger Beta Sandstein, Rhätsandstein, Lias vorherrschend, im Fichtelgebirge Phyllit und Granit, im Frankenwald Schiefer. In Unterfranken herrschen Buntsandstein und Muschelkalk vor.

**4.3.2 Kluffvermessung:** Geologische Prozesse in der langen Geschichte der Gesteine haben dazu geführt, dass die Gesteinspakete mit Klüften durchzogen sind, welche die Standsicherheit gefährden können. Die Verwitterung (Sickerwasser, Frost in oberflächennahen Schichten) haben das Gesteinsgefüge geschwächt, so dass die Festigkeit der Gesteine teilweise hochgradig vermindert ist (Abbildung 5).



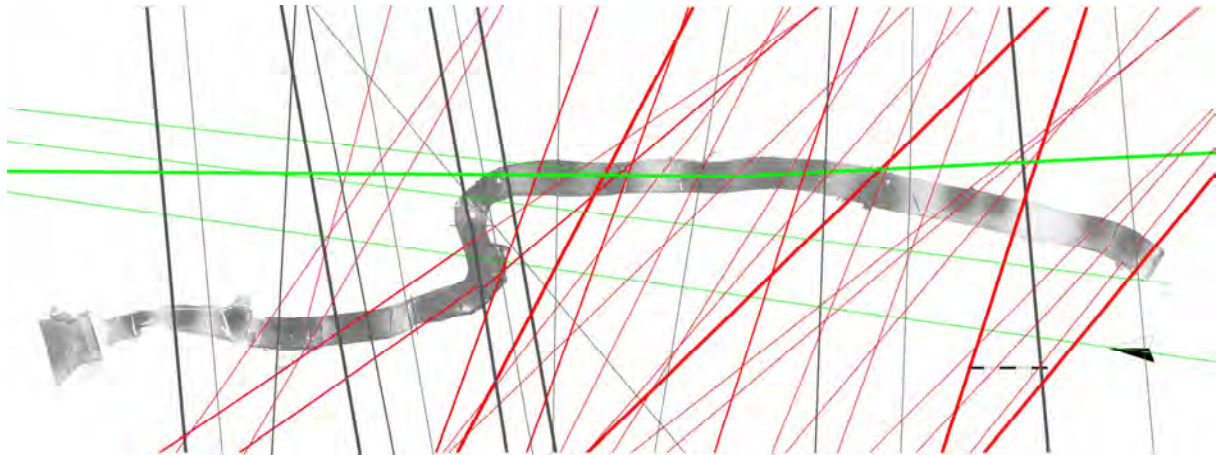


Abbildung 5: Kluftmessungen im Rappenkeller. Die Dicke der Linien gibt die Breite der Kluft an (Kluftmessungen Rupert Utz ProDenkmal Bamberg).

**4.3.3 Schichtfolge:** Bei manchen Kelleranlagen wechseln die Mächtigkeiten der Gesteinsschichten auf engstem Raum von wenigen Metern. Dicke Sandsteinbänke wechseln mit fein geschichteten, tonig-sandigen Lagen ab. Derartige Gesteinsabfolgen sind mit den besonderen Ablagerungsbedingungen schon bei der Entstehung der Sedimente erklärbar. Bilden kompakte, wenig mächtige Sandsteinlagen die Decke eines Kellerstollens und folgen darüber im Hangenden tonig-sandige Lagen, so besteht akute Absturzgefahr, wenn die tonhaltigen Lagen durchfeuchtet werden.

**4.3.4 Gesteinseigenschaften:** Die Untersuchung von Mineralbestand, Korngrößenverteilung, Porenraumeigenschaften gehören zum Aufgabengebiet des Geologen. Der wichtigste Untersuchungsgegenstand ist jedoch die Bestimmung der mechanischen Kennwerte Druckfestigkeit, Zugfestigkeit und Elastizitätsmodul. Alle Größen müssen im trockenen und im Wasser gesättigten Zustand bestimmt werden. Bei vielen Gesteinen ist der Festigkeitsabfall zwischen trocken und nass außerordentlich hoch. Grobkörnige Sandsteine mit geringer Kornbindung weisen im nassen Zustand sehr geringe Druckfestigkeiten von nur noch 1 bis 2 MPa (Megapascal =  $N/mm^2$ ) auf.

**4.3.5 Auswertung:** Die geologische Erfassung ist grundlegend wichtig für die Risikobeurteilung einer Kelleranlage. In den Kellerstollen sich kreuzende Klüfte teilen das Gestein in Segmente, die in der Deckenmitte frei nach unten hängen und Absturz gefährdet sind. Feinsandig-tonige Schichten führen zu flächenhaften Abbrüchen aus der Decke. Die Kenntnis der Schichtenabfolge im Bereich der Keller ist essentiell für die Beurteilung der Gefährdung.

Geringe Festigkeiten aufgrund der Verwitterung können dazu führen, dass Decken und Wände instabil werden und vollkommen in sich zusammen stürzen.

Akute Gefährdung wird durch rezente Risse im Deckenscheitel, aber auch an den Wänden angezeigt. Deren Kanten sind nicht gerundet; häufig tritt ein Versatz auf.

Die geologischen Befunde werden in Pläne (Grundriss, Deckenabwicklung) eingezeichnet und zusätzlich mit Erläuterungen und Abbildungen versehen.

**Warnung:** Der bevorstehende Absturz von Deckenteilen kündigt sich nicht durch Knistern oder sonstige Geräusche an. Der Absturz erfolgt spontan. Das Argument, ein Gebäude oder Keller stehe seit hunderten von Jahren und sei immer noch nicht eingestürzt, ist unhaltbar und unwissenschaftlich. Die Gesetze der Mechanik besagen, dass ein Unglück immer passieren kann und irgendwann auch passieren wird.

#### 4.4 Geotechnik

Geotechnik und Ingenieurgeologie sind spezielle Studienfächer, in denen Kenntnisse über die Untersuchungen am Fels unter und über Tage vermittelt werden. Das Fachgebiet überschneidet sich in bestimmten Bereichen mit den Aufgaben des Geologen, denn letztendlich untersucht der Ingenieurgeologe auch die Gesteine, ihre Schichtfolge und die Klüfte. Bei der Auswahl des zu beauftragenden Experten sollte darauf geachtet werden, dass der betreffende bereits Erfahrungen im Umgang mit historischen Kellern oder Altbergbauproblemen hat und Verständnis für die besonderen Belange der Denkmalpflege mitbringt.

**4.4.1 Stabilität des Kellersystems:** Der Ingenieurgeologe untersucht zunächst, ob es Anzeichen dafür gibt, dass der Keller insgesamt im Bestand gefährdet ist. Kompressionen oder Dehnungen, die durch Bewegungen des gesamten Gebirges verursacht sind, können dazu führen, dass das



Kellersystem zerdrückt oder auseinander gebrochen wird. Indizien für derartige Prozesse sind vermehrte Absprengungen an Kanten, Risse in den Gewölbescheiteln, rezente Absturzflächen. Die Felsüberdeckung der Stollen ist ein weiteres Beurteilungskriterium für die Stabilität des Kellergefüges. Allgemein wird eine Überdeckung von 2 bis 3 m Fels gefordert. Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, müssen die Stollen gestützt werden. Kernbohrungen geben über die Schichtabfolge im Hangenden wie nach beiden Seiten Auskunft. Von dem Ergebnis hängt ab, ob hangende Schichten mit Ankern nach oben gesichert werden können.

Unsere Vorfahren, die die Keller angelegt haben, waren teilweise von einer gewissen Kühnheit. Es gibt Beispiele, wo die Trennwände aus Fels bei einer Höhe von mehr als 2 m nur 10 bis 15 cm betragen. Dass diese Wände nicht tragfähig sind, steht außer Frage. Sperrt man solcherart gefährdete Keller, so ist nachzuweisen, ob bei einem Einsturz nicht die Geländeoberfläche nachstürzt, so dass Einsenkungen oder gar Krater entstehen können.

**4.4.2 Zustand der Klüfte:** Der Verlauf und der Abstand der Klüfte zueinander werden untersucht. Eng stehende Klüfte oder sich kreuzende Klüfte zerteilen den Fels in kleine Einheiten, die weniger stabil sind als großvolumige Blockeinheiten. Die Kluffüllungen geben Hinweise, ob Verbindungen zur Oberfläche bzw. den oberflächennahen Verwitterungsschichten besteht.

**4.4.3 Georadar:** Verborgene Klüfte, die parallel zu den Stollen verlaufen oder offene Schichtgrenzen im Hangenden können mit Hilfe von Georadar erkundet werden. Die über die Stollenwände geführte Radarantenne zeigt solche Inhomogenitäten in einem Reflektogramm an, aus dem der erfahrene Ingenieurgeologe die Tiefenlage der Störung ablesen kann. Die Interpretation der Messwerte liefert wichtige Hinweise auf Gefahrenstellen. Allerdings ist das Messverfahren nicht ganz billig, so dass wohl immer nur ausgesuchte Stollenbereiche vermessen werden können.

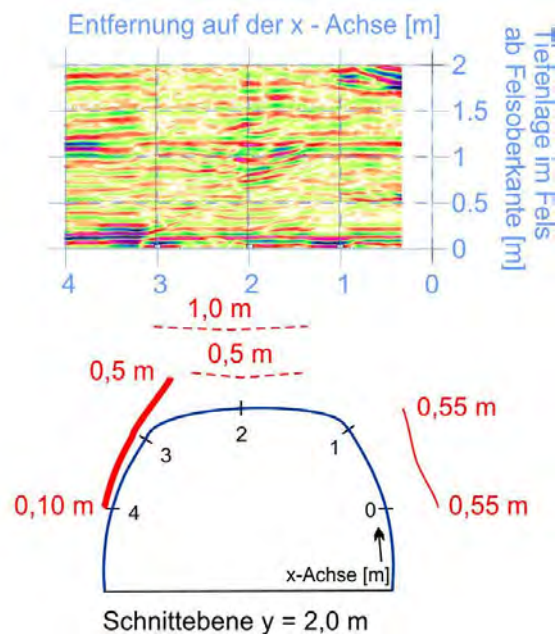


Abbildung 6: Auswertung einer Georadarmessung. Radargramm und graphische Darstellung der verdeckten Klüfte (Messung und Auswertung IGP Gabriele Patitz Karlsruhe).

**4.4.4 Luftschächte:** Am hinteren Ende jedes Kellers sollte sich ein Lüftungsschacht befinden, der in Funktion sein muss und nicht verstopft sein darf. Die Kaminwirkung sorgt im Sommer wie im Winter für eine Luftzirkulation, die auch für den nötigen Sauerstoff zum Atmen sorgt. Im Winter strömt kalte Luft durch den Eingang in den Keller, durchstreift diesen und führt zur teilweisen Beseitigung der Kondensfeuchte an den Wänden. Eine Trocknung des Felsens kann nicht erreicht werden, weil die gespeicherte Wassermenge im Porenraum der Gesteine viel zu hoch ist.

**4.4.5 Zustand bestehender Sicherungsmaßnahmen:** Im Lauf der Geschichte, möglicherweise sogar schon während des Stollenvortriebs haben sich Absprengungen an Kanten oder gar Abstürze ereignet, die mit verschiedenen Maßnahmen behoben worden sind: Eintreiben von Keilen aus Metall, Holz oder Stein zur Verkeilung von angrenzenden Felspartien, Vermauerung von Klüften mit Ziegeln oder Steinblöcken, Einziehen von Stein- oder Ziegelbögen zur Sicherung der Decke, Aufstellen von

Stützen aus Holz, Stahl oder Mauerwerk zum Sichern von Deckenelementen oder Wandbereichen. Der Zustand dieser Hilfsmaßnahmen gibt wichtige Hinweise, ob Bewegungsvorgänge zur Ruhe gekommen sind oder noch weiter andauern. Manche dieser Maßnahmen sind nach heutigem Kenntnisstand wenig Vertrauen erweckend wie das Eintreiben von Keilen oder das flache Einmauern von Ziegeln in hängende Klüfte.

**4.4.6 Auswertung:** Der Ingenieurgeologe beurteilt die Gesamtsituation des Kellersystems. Zunächst ordnet er die Befunde in Risikoklassen ein, von denen es gemäß den Empfehlungen für die „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ vier Stufen gibt (nach MEIER 2014):

- sehr hohes Risiko: umgehender Handlungsbedarf
  - hohes Risiko: zeitnaher, planmäßiger Handlungsbedarf
  - mittleres Risiko: Klärungsbedarf (Beobachtung, Monitoring, Kontrolle)
  - dauerhaft gesicherter Bestand mit Restrisiko: Monitoring, bei Bedarf Wartung
- Die Risikobereiche werden in den Kellerplan eingetragen und daraus die Vorschläge für Instandsetzungsmaßnahmen abgeleitet, beispielsweise:

- Ausmauern oder Verspritzen von Klüften,
- Felsanker zur Fixierung von Deckenelementen,
- Ausräumen und/oder Auffüllen von offenen Hohlräumen,
- Abstützen von Wandsegmenten,
- Vertikal- oder Schrägstützen zur Sicherung der Decken,
- Einziehen von Ziegelgewölben.

Das Torkretieren von Kellerwänden, d. h. das Arbeiten mit Spritzbeton, stellt die äußerste Alternative dar, denn die fahlen Spritzbetonwände zerstören jeden Denkmalcharakter und vernichten alle Befunde der geschichtlichen Entwicklung eines Kellers (Abbildung 7). Die wasserdichten Betonschichten haben den gravierenden Nachteil, dass von oben eindringendes Sickerwasser an der Betongrenze zurückgehalten wird. Das Gestein verwittert hinter der Betonschale weiter und nach wenigen Jahren besteht bereits die Gefahr, dass die Betonschale in Teilen abfällt. Die eingelegten Drainageschläuche sind meist viel zu eng, verstopfen sich mit Sand und verlieren ihre Funktion. In den Bamberger Kellern am Stephansberg sollen die Spritzbetonwände 30 cm dick sein. Mit solch mächtigen Deckschichten geht der gesamte Charakter der Stollen und deren Denkmaleigenschaft auf immer verloren.



Abbildung 7: Mit Spritzbeton verkleidete Wand im Schwanenkeller im Kellerwald Forchheim.

Ultima ratio aller in Betracht kommenden Maßnahmen ist die komplette Verfüllung des Kellers. Technisch ist das kein Problem, der Verlust ist aber unwiederbringlich. Die Kosten einer solchen Maßnahme dürfen nicht unterschätzt werden.

Die Befunde und Vorschläge werden in Grundrisspläne oder Abwicklungen von Wand und Decke eingetragen, zusätzlich mit Bild und Text dokumentiert. Die Vorschläge bilden die Grundlage für das LV, mit dem die Arbeiten ausgeschrieben werden.

## 4.5 Bauforschung

Kaum ein Keller ist von Anfang bis Ende in einem Zug erstellt worden. Im Verlauf der Geschichte gab es Erweiterungen durch weiteren Vortrieb in den Fels oder Zusammenlegung mit Nachbarkellern. Die Bauforschung versucht, die Geschichte der Entstehung und Werdung von Kellern zu erfassen. Untersuchungen zur Bauforschung werden von entsprechend ausgebildeten Architekten oder Denkmalpflegern vorgenommen.

**4.5.1 Archivalien:** In lokalen Chroniken gibt es möglicherweise Hinweise auf die Entstehung und die geschichtliche Entwicklung der Kelleranlage. Die Kellerrechte stellen interessante Dokumente der Rechtsgeschichte dar. Oft sind die Namen der Eigentümer oder Pächter (Erbbauberechtigten) über viele Jahrhunderte überliefert. Bierkeller sind somit wichtige Dokumente für die Lokalgeschichte.

**4.5.2 Kellerformen:** Kellerforscher haben sich bemüht, die Kellerformen zu ordnen, was aber nur in bestimmten Grenzen möglich ist. Viele Keller weisen jedoch eine irreguläre Gangführung auf, deren Grund uns heute unverständlich bleibt. Einige charakteristische Kellertypen sollen hier erwähnt werden:

Ein-Raum-Keller: Der Keller besitzt nur einen Raum, unter Umständen eine Vorraum als Schleuse.

Ein-Gang-Keller: Der Keller besteht aus einem einzigen langen Gang, der gerade, aber auch mit Biegungen in den Fels führt.

Gabelform-Keller: Von einem Zugang zweigt nach einer gewissen Strecke ein Quergang nach beiden Seiten ab. Von diesem Quergang führen dann mehrere parallele Stollen tiefer in den Fels. Für den gekrümmten oder kreisförmigen Verlauf von Stollen gibt es nicht immer schlüssige Erklärungen. Im Kreis verlaufende Gänge könnten mit der Logistik der Einlagerung und des Ausbringens der Bierfässer zu tun haben.

**4.5.3 Ausbaustufen:** Viele Keller besitzen einen später vorgebauten Kellerhals, welcher oft ein sog. Kellerhaus trägt. Der ursprüngliche Eingang befindet sich deshalb im Inneren des Kellers und zeigt an, wo der anstehende Fels beginnt. Wechselnde Höhen und Querschnitte (Gewölbeformen) sind ein mögliches, aber nicht immer eindeutiges Indiz für eine neue Ausbaustufe. Nicht mehr benötigte Zugänge zu Nachbarkellern sind oft vermauert. Oftmals geschah es, dass nebeneinander liegende Keller zu einem Kellersystem verbunden wurden, was neue Quergänge erforderlich machte, die sich durch unterschiedliche Höhen auszeichnen können.

**4.5.4 Bierbank und Laufhorizont:** Der Boden der Kellergänge ist in zwei Stufen angelegt. Die obere Stufe ist die Lagerbank für das Bier. Ihre Oberfläche weist oft eine Rinne zum Abfluss des Tauwassers auf, wenn die Fässer mit Eis gekühlt wurden. Die Fässer lagerten auf Holzbalken, die auf der Bierbank befestigt waren. Als Spuren findet man oft noch Dübellöcher mit Holzkeilen, in welche die Nägel geschlagen wurden. Die untere Stufe ist der Laufhorizont, auf dem die Fässer mit Sackkarren in die Stollen gefahren wurden.

**4.5.5 Nischen und Blindgänge:** Oft zweigen von den Kellergängen Nischen oder kurze Blindgänge nach den Seiten ab. Wenn sie eine Bierbank besitzen, können sie als Erweiterung für die Bierlagerung angesehen werden. In anderen Fällen können sie aber auch als Lagerplätze für Eis interpretiert werden.

**4.5.6 Bearbeitungsspuren:** Die Kellerstollen wurden mit einfachen Werkzeugen per Hand vorgetrieben. Die Bearbeitung der Wände und Decken erfolgte meist in drei Stufen:

Spitzeisen zum Ausbrechen des Felsens: Hackspuren im Fels

Spitzhacke zum Glätten von Wand und Decke: Fischgrätmuster

Zahneisen zum Feinglätten: Parallele Zahnspuren

Alle drei Bearbeitungsspuren müssen nicht notwendigerweise vorhanden sein.

**4.5.7 Lichtnischen:** Um die Keller zu beleuchten, wurden in bestimmten Abständen Nischen in die Wände geschlagen, um dort Lichter aufzustellen. Die Nischen haben meist die Form eines Kubus, mitunter jedoch auch die eines Kegelstumpfs.

Auswertung: Archivalien und Befunde vor Ort ergeben ein Bild für die Entstehung und die weiteren Bauphasen einer Kelleranlage. Die Resultate werden in Verbindung mit Grundriss oder weiteren Plänen mit Bild und erläuterndem Text zusammengefasst.

Kalktünchen: Auf den Kellerwänden sind häufig Kalktünchen anzutreffen, die den Zweck hatten, die Lichtwirkung der Kerzen in den Lichtnischen zu verstärken. Weiße Wände reflektieren das einfallende Licht und hellen einen Kellerstollen besser auf. Wegen der permanent hohen Luftfeuchte sind die Kalktünchen aufgeweicht und lassen sich ohne Mühe mit einem Messer abkratzen. Durch Staub und mikrobiellen Befall ist die helle Farbe durchweg verschwunden.

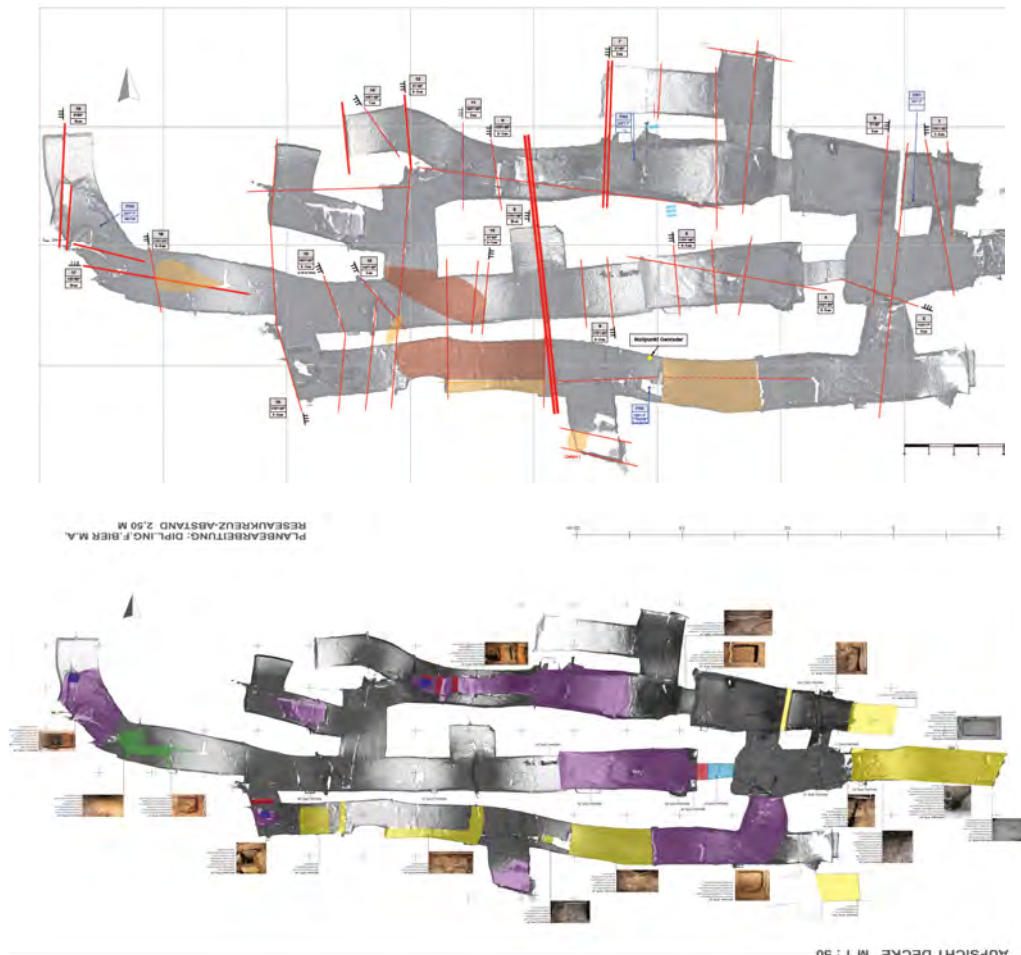


Abbildung 8: Resultate der Bauforschung im Weiß-Tauben-Keller (Grundriss Frank Bier Dettelbach Main, Bauforschung Lena Klahr Universität Bamberg, Geologische Befunde Rupert Utz ProDenkmal Bamberg).

#### 4.5.8 Drainagerinnen

In die Lauffhorizonte und Bierbänke sind in vielen Kellern Rinnen für den Ablauf von Schmelzwasser oder Sickerwasser eingegraben. Die Rinnen enden entweder an Sickerschächten, mitunter werden sie auch ins Freie geführt. Oftmals übernehmen den Kellergang kreuzende Klüfte den Abtransport des Wassers. Stehendes Wasser in den Kellerstollen sollte vermieden werden, weil in den frostigen Wintermonaten, wenn von außen kalte und trockene Luft einströmt, die Kellerwände wenigstens oberflächlich abtrocknen können, was für das Klima von großem Vorteil ist. Damit die Luftzirkulation funktionieren kann, ist darauf zu achten, dass die Entlüftungskanäle, die am Ende der Stollen an die Oberfläche führen, nicht verstopft sind.

#### 4.5.9 Lüftungsschächte

Am Ende jedes Kellerstollens sollte sich ein Entlüftungsschacht befinden, der für die Luftzirkulation und somit für Frischluft im Keller sorgt. Wie im Voraus gehenden Absatz bereits angemerkt, muss der Lüftungsschacht regelmäßig beobachtet und frei gehalten werden. An der Oberfläche ist der Austritt so zu sichern, dass niemand hineinfallen kann und dass keine Äste oder Steine hineingeworfen werden können.



## 4.5.10 Auswertung

Die Befunde werden mit Bild und Text dokumentiert und an den betreffenden Stellen des Kellers im Grundriss oder der Wandabwicklung als Vermerke eingetragen. Für jede Befundstelle wird ein Befundblatt angelegt, in dem die gemachten Beobachtungen ausführlich erläutert werden (Abbildung 8).

## 4.6 Untersuchungen zu Flora und Fauna

**4.6.1 Erhaltung der Artenvielfalt in und an den Kellern:** Nach dem Bayerischen Naturschutzgesetz sind Felsenkeller künstliche, unterirdische Hohlräume, die man als sonstige Lebensräume nicht beseitigen oder erheblich beeinträchtigen darf. Keller dienen als Winterquartiere verschiedener Fledermausarten. An den Flügelmauern der Kellereingänge finden sich kulturhistorisch wertvolle Pflanzen wie das Mauerzimbekraut sowie Moose und Streifenfarne, des Weiteren bedrohte Schneckenarten, Hautflügler und Spinnentiere. In den Kellern des Kellerwaldes kann man des Öfteren die große Höhlenspinne beobachten, die 2012 als Insekt des Jahres ausgezeichnet wurde (Abbildung 9).



Abbildung 9: Große Höhlenspinne im Weiß-Tauben-Keller (Photo Andreas Schmiedinger, Nagel).

Untersuchungen zur Flora und Fauna können nur von Spezialisten vorgenommen werden, die mit der Materie vertraut sind. Auch wenn augenscheinlich keine Fledermäuse beobachtet werden, ist nicht ausgeschlossen, dass zahlreiche Exemplare in den tiefen Spalten ihr Quartier aufgeschlagen haben. Untersuchungen und Maßnahmen sind an dem Ziel der Erhaltung der Artenvielfalt auszurichten. Die Lebensräume bedrohter Arten dürfen nicht durch massive Eingriffe wie Spritzbeton vernichtet werden.

**4.6.2 Naturschutzfachliches Pflegekonzept für die Kellerumgebung:** Felsenkeller wurden häufig in Geländeschultern oder an Hohlwegen angelegt. Sie stellen mit ihrem Bewuchs Bindeglieder zwischen freien, landwirtschaftlich und forstlich genutzten Flächen dar. Sträucher und Bäume besetzen das Gelände oberhalb der Keller und schicken ihre Wurzeln durch die Felsspalten bis ins Innere der Kellerstollen.

Je nach Lage werden die Flächen um und auf den Kellern von Eichen, Buchen, Linden, Eschen, Ahorn, Robinien und weiteren Bäumen dominiert. Diese Bäume können beträchtliche Dicken und Höhen entwickeln. Da Keller oft nur eine geringfügige Überdeckung besitzen, stellt allein schon das Gewicht der Bäume ein beträchtliches Risiko dar. Verstärkt wird dieses Risiko noch dadurch, dass die Bäume bei Sturm umstürzen können und der umfangreiche Wurzelstock große Löcher in das Erdreich bis in den Keller reißen kann.

Da Bäume auch auf und neben den Kellereingängen und den Schankflächen wachsen, sind Konflikte mit Natursteinmauern aufgrund der artspezifischen Wurzelenergie der Bäume sehr wahrscheinlich. Durch Wurzeldruck werden Steinmauern angehoben und verdrückt, Steinquader durchgerissen. Es muss entschieden werden, mit welchen Maßnahmen die Standsicherheit der Mauern gewährleistet werden kann.

Herab fallende Äste sind eine Gefahr für Leib und Leben der Besucher. Die regelmäßige Kontrolle des Baumbestands ist für jeden Kellerbetreiber verpflichtend.



Andererseits ist es für ein stabiles Kellerklima unerlässlich, dass das Gelände beschattet wird. Das Laub der Bäume hält auch einen Teil des Regens zurück, so dass weniger Sickerwasser in das Kellerinnere eindringt.

Je älter Bäume sind, desto wertvoller werden sie für die Artenvielfalt. Baumhöhlen und dichte Kronen bieten Nistplätze für Vögel. Während der Brutzeit dürfen keine Baumarbeiten durchgeführt werden. Lichter Baumbestand und vermoderndes Holz sind der Lebensraum für seltene Käfer wie Hirschkäfer und Eremit. Diese Lebensräume zu erhalten, hat oberste Priorität.

Um die Verkehrssicherheit im Bereich von Kelleranlagen und um die Standsicherheit einzelner Keller sicher zu stellen, wird es in vielen Fällen unerlässlich sein, den Baumbestand auszulichten. Das soll aber nicht einfach so geschehen. Die Interessen des Naturschutzes müssen gegen die Sicherheitsauflagen gewichtet werden.

Um die nachhaltige Sanierung und Sicherung des Kellergeländes unter Erhaltung des schützenswerten Baumbestandes und der schützenswerten Lebensräume zu erreichen, ist ein gartenbaufachliches bzw. forstwirtschaftliches Nutzungskonzept zu entwickeln. Es versteht sich von selbst, dass ein solches Nutzungskonzept jeweils individuell angepasst werden muss. Eine Möglichkeit wäre, den unmittelbar über den Kellern gelegenen Bereich niederwaldartig, durchsetzt mit Sträuchern, zu bewirtschaften, um kürzere Umtriebszeiten zu erreichen. Neben den Kellern können bewusst längere Umtriebszeiten von über 100 Jahren angestrebt werden, um die Artendiversität zu erhöhen.

### 5 Instandsetzungskonzepte und Durchführung der Arbeiten

Über die Sicherheitsanforderungen bei der Durchführung der Arbeiten ist oben bereits geschrieben worden.

Allgemein gültige Regeln für die Instandsetzung von Kelleranlagen kann es nicht geben. Jeder Keller ist als individueller Sanierungsfall anzusehen und erfordert der vorliegenden Situation angemessene Lösungen. Im Bereich Kellersanierung gibt es keine Fachliteratur, auf deren Erfahrungen zurückgegriffen werden könnte. Man kann aber die Grundsätze und Erfahrungsberichte aus der Altbergausanierung zu Rate ziehen und inhaltlich auf die Kellersanierung übertragen (MEIER 2013). Mit der Auswertung der Untersuchungen und der Ausführungsplanung ist am besten ein erfahrener Architekt oder Ingenieur zu beauftragen, gilt es doch neben der Ablaufplanung auch die geeigneten, der Felslast angemessenen Stützen auszuwählen.

Kleine Einzelkeller mögen in Einzelfällen durch Privatinitiative in Stand gesetzt werden können, besonders wenn es die Außenanlagen des Kellers betrifft oder wenn einzelne Deckenelemente eine Notstütze benötigen. Es wird aber dringend davor gewarnt, ohne wirkliche Kenntnis der möglichen Gefahren unter Tage selbst Hand anzulegen.

In welcher Weise und ob überhaupt ausgeschrieben werden muss, ist vom Auftraggeber selbst entsprechend der gültigen Vorschriften zu entscheiden. Bei schwierigeren Fällen sollte der Weg zu einer direkten Vergabe beschritten werden, weil notwendig werdende Gewölbe-, Verankerungs- und Stützarbeiten nicht von beliebigen Handwerkern ausgeführt werden können.



Abbildung 10: Weitständige Kluft mit lockerem Schuttmaterial.

## 5.1 Verfüllung

Ultima ratio aller Instandsetzungsmethoden ist die Verfüllung des Kellers. Dazu werden große Mengen Beton in die Hohlräume gepresst. Der Keller ist für alle Zeit verloren. Die Methode darf wirklich nur bei aussichtslosen Fällen angewendet werden, und das geotechnische Gutachten muss diese Maßnahme wegen Einsturzgefahr und Durchbruch der Geländeoberfläche ausdrücklich fordern.

## 5.2 Spritzbeton (Torkretierung) zur Gewölbesicherung

Spritzbeton ist zur Deckensicherung vielfach verwendet worden. Ein Beispiel sind die Kelleranlagen am Stephansberg in Bamberg, deren Denkmalcharakter dadurch fast vollständig verloren gegangen ist. Für Keller, die in die Denkmalliste eingetragen sind, scheidet diese Methode praktisch aus, weil sie das Denkmal mit allen historischen Zeugnissen ein für alle Mal zerstört.

Soll die Spritzbetonschicht als Gewölbe wirklich tragfähig sein, muss sie eine standfeste Armierung und eine entsprechende Dicke von einigen Dezimetern aufweisen. Diese Mächtigkeit schränkt jedoch das Kellerprofil beträchtlich ein, und bei Kellern mit einem Querschnitt von 2 m Breite und 2 m Höhe bliebe nach einer solchen Maßnahme nur mehr ein schmaler Gang übrig. Dünne Torkretschichten von wenigen Zentimetern Dicke und einer dünnen Stahlmatte als Armierung sind nicht tragfähig und verfehlen so ihren Zweck.

Der große Nachteil von flächenhaft aufgebrachtem Spritzbeton ist jedoch die Gefahr des bergseitigen Sickerwasserstaus. Die zur Abhilfe eingesetzten Drainageröhren können ihre Aufgabe nicht dauerhaft erfüllen, weil sie zu dünn sind und mit Sand verstopfen. Die Steinverwitterung hinter der Spritzbetonschale setzt sich aber fort; das Gestein wird regelrecht zermürbt, so dass endlich die Spritzbetonschale hohl liegt und vom Fels abfällt. Nasse Flecken in der Spritzbetonschicht sind ein sicheres Indiz für Stauwasser. Es ist ein gravierender Nachteil, dass wegen der Abhilfemaßnahme nunmehr das Fortschreiten Gefahr bringender Situationen nicht mehr beobachtet werden kann.

## 5.3 Spritzbeton in Klüfte

Das Einbringen von Spritzbeton in offene Klüfte von vielleicht bis ein Meter Breite, aus denen Felsbrocken aus der oberflächennahen Verwitterungsschicht nachbrechen können, kann eine geeignete Maßnahme der Sicherung darstellen. Problematisch kann dabei sein, dass die Verfüllung in tiefere Hohlräume vordringt und somit viel zu große Mengen Spritzbeton verbraucht werden (Abbildung 10).

## 5.4 Vertikalstützen und Schrägstützen

Solche Stützen aus Stahl oder Aluminium sind in der Bautechnik zum Abstützen von Verschalungen in häufigem Gebrauch. Vertikalstützen eignen sich für die Abstützung von isolierten, kleineren Deckenelementen, wobei darauf zu achten ist, dass sie nicht den Weg versperren. Größere und schwere Deckenbereiche kann man mit mehreren nebeneinander gestellten Stützen sichern.



Abbildung 11: Schrägstützen mit Querträger im Rappenkeller.

In schmalen Kellergängen mit gewölbtem Deckenscheitel grenzen Vertikalstützen das Kellerprofil und die Wegsamkeit stark ein. Hier empfiehlt sich die Verwendung von Schrägstützen, welche an beiden Seiten des Kellergangs am Lauffhorizont unmittelbar in die Kante zur Kellerwand aufgesetzt werden und dann schräg nach oben unter die Kellerdecke reichen. Verbunden über einen Doppel-T-Träger aus Eisen stellen sie ein stabiles Sicherungssystem für gefährdete Deckenbereiche dar. Durch ihre Konstruktionsweise schränken sie die Wegsamkeit und das optische Bild des Kellers weit geringer ein als Vertikalstützen (Abbildung 11).

Vertikalstützen und Schrägstützen gibt es in verschiedenen Längen und Belastungsstufen.

Stahlstützen sind für normale Lasten, Aluminiumstützen für schwere Lasten geeignet. Die Tragfähigkeit hängt von der Auszugslänge ab. Am Boden und zur Decke hin sind die Stützen auf Metallplatten abzusetzen, um den Druck zu verteilen.

Ganz allgemein ist bei der Verwendung von Metallstützen zu bedenken, dass man am Ende nicht einen Stützenwald erzeugt hat, der den optischen Eindruck des Kellers vollkommen zerstört. Bei Verwendung in feuchten Kellerstollen muss man sich darüber im Klaren sein, dass Stahlstützen trotz Rostschutzfarbe vielleicht nach 20 Jahren ausgewechselt werden müssen. Die Kosten für die Stützen sind jedoch gering und auch deren Austausch kann auf einfache Weise vorstatten gehen. Auch wenn die Verwendung von Baustützen nicht bergmännischen Ansprüchen genügt, so ist die Methode dennoch die kostengünstigste und in der Relation von Kosten und Dauerhaftigkeit als nachhaltig zu bezeichnen. Die regelmäßige Kontrolle der Stützen ist deshalb wie die Kontrolle des Kellers überhaupt eine Pflichtaufgabe.

### 5.5 Holzstützen

Von der Verwendung von Holzstützen wird abgeraten. Auf Grund der permanent hohen Feuchtigkeit ist einer Holzstütze trotz Imprägnierung oder Anstrich keine lange Lebensdauer beschieden.

### 5.6 Gewölbebau

Schon von Anbeginn an wurde Gewölbebau in Kellern eingesetzt, um fragile Bereiche abzufangen. Bei vielen Kellern ist der Eingang in Gestalt eines längeren Kellerhalses vollständig als Gewölbe aus Ziegel oder Naturstein ausgebildet. Mitunter sind Keller in Ermangelung geeigneter Felsmächtigkeiten überhaupt nur als Gewölbekeller angelegt, die dann mit Erdreich überschüttet wurden. Gewölbe wurden aber auch eingebaut, um gefährdete Deckenbereiche entweder prophylaktisch oder nach dem Eintreten eines Felsabbruchs zu sichern. Aus statischer Sicht sind Gewölbe, sofern sie sachgerecht und aus dem richtigen Material ausgeführt sind, die sicherste und auch dauerhafteste Methode. Der Bau von Bögen oder längeren Tonnengewölben entspricht am meisten der bergmännischen Tradition. Es müssen aber bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, damit Gewölbe die gewünschten Anforderungen erfüllen.

Das Baumaterial muss Feuchte resistent sein. Früher wurden allzu oft niedrig gebrannte und deshalb zu weiche Ziegel verwendet, die sich mit Wasser sättigen und dann extrem an Festigkeit einbüßen, so dass die Tragfähigkeit nicht mehr gegeben ist. Verwendet werden müssen deshalb Hartbrandziegel, welche dicht und nicht saugfähig sind. Gleiches gilt für die Verwendung von Sandstein- oder Kalksteinquader, welche ebenfalls unempfindliche gegenüber Feuchtigkeit müssen.

Dichte Materialien erfordern einen Mörtel, der auf dem Ziegel oder Stein eine ausreichende Haftfestigkeit besitzt und seinerseits nicht durch Feuchtigkeit erweicht werden kann. Auch wird eine gewisse Flexibilität verlangt, damit er bei Bewegungen nicht sofort abreißt. Solche Mörtel müssen ausreichend hydraulische Anteile besitzen, damit sie unter den feuchten Umgebungsbedingungen in einem Keller aushärten können. Reine Kalkmörtel oder Wasserkalkmörtel scheiden aus den genannten Gründen aus. In Frage kommen Kalk-Zement-Mörtel mit oder ohne Zugabe latent hydraulischer Stoffe, in manchen Fällen unter Umständen auch natürliche hydraulische Kalke (NHL Mörtel), bei denen aber bedacht sein muss, dass sie viel langsamer erhärten als zementhaltige Mörtel. Für die Erstellung eines Gewölbes wird ein Lehrgerüst aufgestellt, das wieder abgebaut wird, wenn der Bogen fertig gestellt ist. Für das Widerlager ist eine ausreichend tiefe Einsparung in den gesunden Fels zu schlagen. Der Bogen des Gewölbes darf nicht zu flach ausfallen, sondern muss in etwa die Gestalt eines Halbkreises aufweisen. Es ist deshalb in Betracht zu ziehen, ob bei der vorhandenen Höhe des Stollens überhaupt ein Gewölbe eingezogen werden kann. Bogen- oder Gewölbebau sind keine einfachen handwerklichen Aufgaben, mit der jede Maurerfirma beauftragt werden kann.

Aufträge dürfen nur an Firmen vergeben werden, welche die Technik nachweislich beherrschen, denn Fehlschläge darf es unter keinen Umständen geben.

### 5.7 Hohlraumverfüllung

Hohlräume oberhalb des Gewölbes müssen mit leichtem Material (Porenbeton, Leichtbausteinen) vollständig ausgefüllt werden, damit nicht nachstürzende Felsbrocken das Gewölbe durchschlagen können (Abbildung 12).



Abbildung 12: Ziegelgewölbe mit darüber liegendem, nicht verfülltem Hohlraum.

## 5.8 Felsanker

Wenn eine stabile Felsüberdeckung im Hangenden vorliegt, können gefährdete Deckenelemente mit Felsankern nach oben angehängt werden. Diese Sicherungsmethode ist schnell und einfach zu bewerkstelligen, aber wirklich nur, wenn die geologischen Schichten oberhalb des Kellers genau bekannt sind. Die Mächtigkeit der tragfähigen Felsschicht muss durch geotechnische Untersuchungen festgestellt werden.

## 6 Nutzung als Keller und Fremdenführungen

Nach wie vor dienen Keller zu Lagerung von Bier und anderen Getränken, manchmal auch von Lebensmitteln für die angrenzenden Schankstätten. Die weitere Nutzung des Kellers muss durch die Instandsetzung gewährleistet sein. Die Stützsysteme sind so zu gestalten, dass die Einlagerung der Güter nicht oder nur geringfügig behindert wird. Weil Sicherheit oberste Priorität besitzt, kann es unter Umständen nicht vermieden werden, bestimmte Bereiche eines Kellers zu sperren, selbst wenn dort Stützen eingebaut wurden.

Viele Kommunen bemühen sich, Kellieranlagen als Touristenattraktion zu vermarkten, und nehmen Besuche in das Besichtigungsprogramm für die Stadtführer auf. Nachfolgend finden Sie Hinweise auf Sicherheitsregeln bei Führungen, die unbedingt eingehalten werden müssen. Es versteht sich von selbst, dass Führungen erst vorgenommen werden können, wenn der betreffende Keller vollständig gesichert ist.

Der Stadtführer begeht vor der Führung allein den gesamten Keller, um Veränderungen an den Kellerdecken oder eventuelle Felsabstürze zu erkunden. Währenddessen wartet die Personengruppe vor dem Keller. Die Führung beginnt, wenn der Stadtführer seinen Rundgang beendet und wieder bei der Gruppe eingetroffen ist.

Stellt der Stadtführer eine signifikante Veränderung an einer Kellerdecke fest, wie zum Beispiel das Absinken eines Deckenteils, oder ist sogar ein Stück Fels abgestürzt, dann kann keine Führung stattfinden. Erst wenn die betreffenden Stellen gesichert sind, können wieder Führungen stattfinden.



---

Der Stadtführer hat vor Beginn der Führung auf die besonderen Risiken einer Unter-Tage-Begehung hinzuweisen als da sind:

- Hinweise zur Begehung: Unebenes Terrain, Stossgefahr wegen niedriger Deckenhöhe, Engstellen an Stützen, Höhere Trittstufen
- Für die Gruppe und den Stadtführer besteht Helmpflicht.
- Die Gruppenteilnehmer müssen trittsicheres und wasserdichtes Schuhwerk tragen. Schuhe mit Absätzen sind nicht zugelassen.
- Jeder Teilnehmer soll eine Taschenlampe bei sich haben, um im Falle eines Stromausfalls den Weg für sich ausleuchten zu können. Für Keller, in denen es keinen Stromanschluss gibt, ist auf diese Vorschrift besonders zu achten.
- Die Gruppe bleibt während der Führung beieinander. Das Betreten abgesperrter Bereiche ist strikt verboten.
- Blind endende Gänge, in den man bei Gefahr gefangen sein könnte, sind nach Möglichkeit zu vermeiden. Rundwege sind für Führungen besser geeignet, da man nach vorn oder rückwärts ausweichen kann.
- Obwohl die Keller nicht sehr weit in den Berg hineingehen, ist ein Hinweis für Personen mit Platzangst angebracht.

## 7 Zusammenfassung

Die Instandsetzung eines Kellers ist auf Grund der Herstellungstechnik, der Umgebungsbedingungen und der Vorgeschichte immer ein Einzelfall, für den individuell passende Maßnahmen entwickelt werden müssen. Die Ergebnisse der Voruntersuchungen zeigenden Weg zu einem geeigneten Instandsetzungskonzept auf, mit dessen Hilfe die erforderlichen Sicherungssysteme entschieden und dann ausgeführt werden können. Nur erfahrene Architekten oder Ingenieure und Geowissenschaftler dürfen über die Auswahl der Stützsysteme entscheiden. Alle Maßnahmen haben die Belange der Denkmalpflege und des Naturschutzes zu berücksichtigen. Die ultima ratio des Verfüllens oder der kompletten Sperrung sollten wenn irgend möglich vermieden werden.

Die Auswahl der Maßnahmen ist natürlich auch immer eine Frage der zur Verfügung stehenden Mittel. Die Sperrung eines Kellers ist bei fehlender Finanzierung wohl eine letzte Alternative, die aber zur Konsequenz hat, dass ein Kulturdenkmal endgültig dem Verfall preisgegeben wird.

Keller gehören zur Kulturlandschaft nicht nur Frankens. Es ist zu hoffen, dass so viele wie möglich weiterhin genützt und erhalten werden können.

### Literatur:

Günter Meier (2013): Zu Erfahrungen und Grundsätzen bei der bergtechnischen Sanierung von Altbergbauobjekten. 13. Altbergbaukolloquium 07.-09. Nov. 2013, TU Bergakademie Freiberg, S. 134-141. Wagner Digitaldruck und Medien Nossen.

Günter Meier (2014): Geotechnisches Gutachten zur Ermittlung von bergtechnischen Sanierungsleistungen für den Weiß-Tauben-Keller im Kellerwald von Forchheim. 34 Seiten.

---



**Gerhard Zedler, Rolf Snethlage**

Referatsleiter Stadtbauamt, Birkenfelder Straße 4, 91301 Forchheim  
Naturstein in der Denkmalpflege, Wetzelstraße 24, 96047 Bamberg

## Einführung in das Projekt Anlass und Ziele

### Abschlussbericht



Abbildung 1: Blick in die Kellergasse an den Oberen Kellern.

#### **1 Einleitung: Gegenstand und Ziele des Projekts**

Historische Kellersysteme, vor mehreren Jahrhunderten in anstehenden Felsformationen angelegt, sind technische Kulturdenkmäler allerersten Ranges. In Franken gibt es kaum einen Ort, an dem sich nicht mehr oder weniger umfangreiche Kelleranlagen befinden, die zur Lagerung von Nahrungsmitteln und zur Kühlung von Bier benützt wurden. Auch wenn die Keller heute ihre ureigenste Funktion verloren haben, werden sie von der Bevölkerung als Orte der Freizeitgestaltung gern angenommen. Eine besonders authentische Kelleranlage ist der Kellerwald in Forchheim. Dort finden sich immer noch 23 Keller, die in zwei Ebenen

---

übereinander angelegt sind. Im Rahmen des Projekts wurden drei besonders typische Keller, der Rappenkeller, der Bauernkeller und der Weiß-Tauben-Keller modellhaft untersucht und instand gesetzt.

Durch Klüfte des Gesteins, konstruktive Mängel und Sickerwasser ist das Hangende der Stollen an vielen Stellen Absturz gefährdet. Die von Technikern vorgeschlagenen Methoden zur Instandsetzung wie das Torkretieren oder gar die Verfüllung sind vollkommen inakzeptabel, weil sie einer Vernichtung des Denkmals gleichkommen.

Das Projekt hat zum Ziel, wissenschaftlich fundierte Wege zur Erhaltung der Kelleranlagen zu entwickeln. Dadurch sollen die historischen Informationsgehalte erhalten und ihr Bestand auf Jahrzehnte gesichert werden. Die Maßnahmen zur Instandsetzung orientieren sich an denkmalpflegerischen, nicht allein an ingenieurtechnischen Argumentationslinien.

Dazu wurden neben gesteintechnischen Untersuchungen 3 D Modelle zur Abbildung der Keller hergestellt. Zusammen mit den Klufrichtungen ergeben sich auf diese Weise die besonders gefährdeten Abschnitte der Kellergänge. Mit Hilfe von Georadar konnte an ausgesuchten Stellen nachgewiesen werden, wie dick die Gesteinspakete im Hangenden sind und ob sie sich für eine Vernadelung eignen. Die Bauforschung erfasste den historischen Kontext der Keller. Die Lage der Keller wird in ein digitales 3D Geländemodell übertragen.

Die weite Verbreitung von Kellern in ganz Franken verleiht dem Projekt eine wichtige Vorbildfunktion und eine breite Interessentenbasis. Die in Forchheim entwickelten und in die Anwendung umgesetzten Instandsetzungsmethoden sollen beispielhaft für weitere Instandsetzungen sein, die in Forchheim und andernorts geplant sind.

Wenn die Keller in Stand gesetzt sind, werden Führungen angeboten, die schon heute beim Fremdenverkehrsamt häufig nachgefragt sind, aber wegen der fehlenden Sicherheit derzeit nicht durchgeführt werden können. Durch das Angebot von Führungen verspricht sich Forchheim eine Stärkung des Tourismus.

Zur Verbreitung der Resultate dient sowohl das Kolloquium, welches heute am 27. Mai 2014 veranstaltet wird als auch der Tagungsband mit den Fachberichten und einer Zusammenfassung des methodischen Vorgehens. Informationen zum Projekt sind auch auf der Website der Stadt Forchheim abrufbar.

Die dauerhafte Erhaltung des Kellerwaldes mit seinen 23 Kellern, dem Baumbestand und den gewachsenen Felsen stellt ein beispielhaftes Modellprojekt für die Zusammenarbeit zwischen Denkmalschutz und Naturschutz dar. Das Bewusstsein hinsichtlich des Werts dieser Elemente der Kulturlandschaft soll in Fachkreisen und in der breiten Öffentlichkeit gestärkt werden.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt hat das Projekt bei kalkulierten Gesamtkosten von 316.324 € mit einem Zuschuss on Höhe von 99.095 € gefördert. Des Weiteren beteiligen sich die Oberfrankenstiftung mit 100.000 € und die Bayerische Landesstiftung mit 28.000 €. Der Differenzbetrag wird von der Stadt Forchheim als Eigenleistung eingebracht. Allen Fördermittelgebern, ohne deren Engagement dieses Projekt nie hätte realisiert werden können, wird von Herzen gedankt. Die Laufzeit des DBU Projekts begann im Mai 2012 und endete im Mai 2014.

## 2 Projektbeteiligte

### Antragsteller und Projektleitung

Stadt Forchheim  
Stadtbauamt Referat 6  
Stadtbaurat Gerhard Zedler  
Birkenfelder Straße 2-4  
91301 Forchheim  
09191/714-245  
[gerhard.zedler@forchheim.de](mailto:gerhard.zedler@forchheim.de)

---

**Wissenschaftliche Koordination und Qualitätssicherung**

Prof. Dr. Rolf Snethlage  
Naturstein in der Denkmalpflege  
Wetzelstraße 24  
96047 Bamberg  
0951/1339223; -225  
[rolf@snethlage.net](mailto:rolf@snethlage.net)

**Bauforschung und Laserscan**

Otto Friedrich Universität Bamberg  
Institut für Archäologie, Bauforschung und Denkmalpflege  
Prof. Dr. Stefan Breitling, Lena Klahr MA, Julia Müller MA  
Am Kranen 12  
96045 Bamberg  
0951/863-2344  
[stefan.breitling@uni-bamberg.de](mailto:stefan.breitling@uni-bamberg.de)

**3D Laserscanning**

Dipl Ing Frank Bier MA  
Konrad-Triltsch-Straße 5a  
97337 Dettelbach am Main  
0160/90959920  
[frankbier@ymail.com](mailto:frankbier@ymail.com)

**Gesteintechnische Untersuchungen**

Pro Denkmal GmbH  
Restaurierung und Planung  
Dipl. Geograph Ulrich Meinhardt  
Dr Rupert Utz  
Obere Königstraße 15  
96052 Bamberg  
0951/208 2908  
[bamberg@prodenkmal.de](mailto:bamberg@prodenkmal.de)

**Georadar**

IGP Ingenieurbüro  
Frau Dr Gabriele Patitz  
Alter Brauhof 11  
76137 Karlsruhe  
0721/3844198  
[patitz@t-online.de](mailto:patitz@t-online.de)

**Ingenieurgeologische Untersuchungen**

Ingenieurbüro Dr. Ing. habil. Günter Meier  
Am Schirnbach 7  
09600 Oberschöna  
037321/898-0  
[ib@dr-gmeier.de](mailto:ib@dr-gmeier.de)

**Naturschutzfachliche Untersuchungen**

Andreas Schmiedinger  
Diplom Agrarbiologe  
Auf der Hut 14  
95697 Nagel  
0151/1247530  
[agrobiol.schmiedinger@t-online.de](mailto:agrobiol.schmiedinger@t-online.de)

---

## Denkmalpflegerische Fachberatung

Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege

Außenstelle Schloss Seehof

Dr. Robert Pick

Dr. Thomas Gunzelmann

Schloss Seehof

96117 Memmelsdorf

0951/4905-0

0951/4095-22

[robert.pick@bfd.bayern.de](mailto:robert.pick@bfd.bayern.de)

[thomas.gunzelmann@bfd.bayern.de](mailto:thomas.gunzelmann@bfd.bayern.de)

### 3 Stand des Wissens zu Projektbeginn

Der Kellerwald am Stadtrand von Forchheim ist von einem System von Bierkellern durchzogen, welche bis zu 100 m Stollenlänge in den anstehenden Rhätsandstein getrieben wurden. Insgesamt gibt es dort 23 Keller; davon sind 10 Keller, sog. Obere Keller, in einer oberen Lage nur wenig unter der Geländeoberfläche angelegt. Weitere 13 Keller, die sog. Unteren Keller, befinden sich ca. 30 m unterhalb der erstgenannten. Die Geschichte der Keller ist eng mit dem Annafest verbunden. Noch heute wird das Fest Ende Juli als heiteres, und von unzähligen Gästen besuchtes Volksfest begangen.

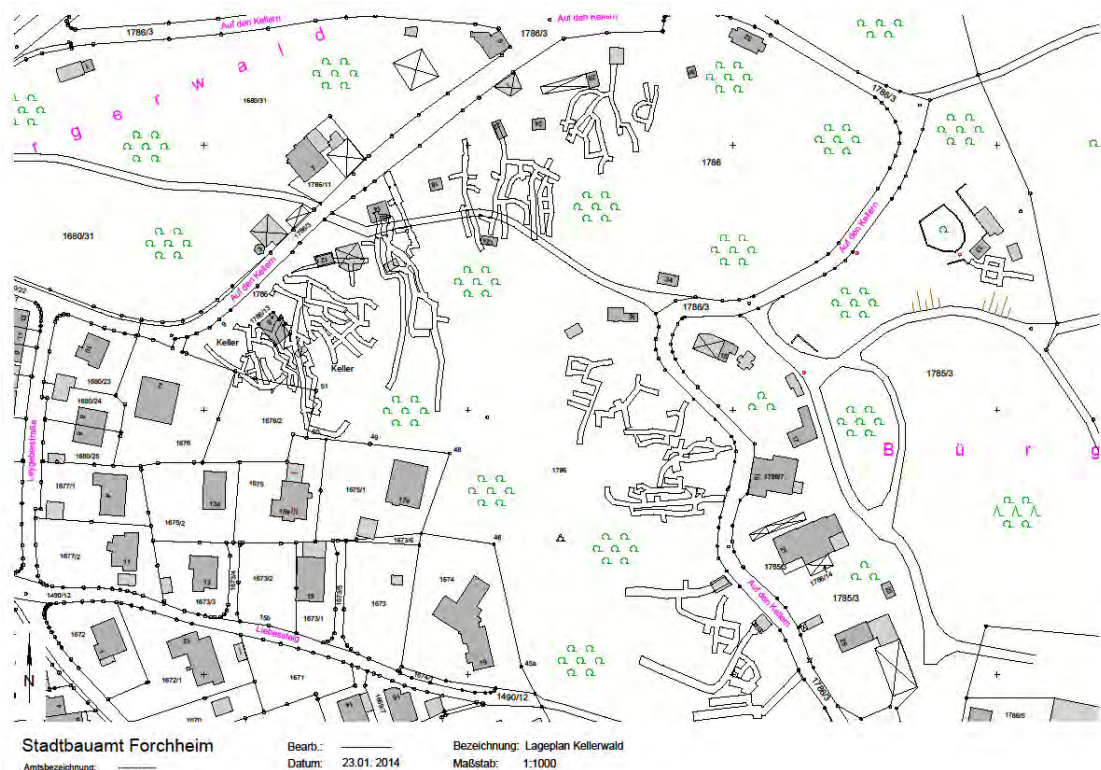


Abbildung 2: Forchheim Kellerwald Lageplan. Untere und Obere Keller bilden ein Gewirr von verschlungenen Gängen.

### 3.1 Probleme der Instandhaltung

Die Keller wurden mit der Spitzhacke in den grobkörnigen und porösen Sandstein gehauen. Der Sandstein ist horizontal gelagert, wird aber von zahlreichen, vertikal einfallenden Klüften in kleinere Blöcke zerteilt.

Der Querschnitt der Kellergänge beträgt ungefähr 2 x 2 m. Die Decken der Stollen sind meist als flache Wölbung ausgearbeitet. Dadurch entsteht aber kein tragfähiges Gewölbes, weil die Überlastkräfte nicht



ordnungsgemäß in die Seitenwände abgeleitet werden. Als Folge davon haben sich an vielen Stellen, besonders dort, wo sich Klüfte kreuzen, Gesteinsschollen allein auf Grund des Eigengewichts von der Decke gelöst und sind teilweise bereits abgestürzt. Außerdem sind dünnbankige Tonsandschichten in die Gesteinsabfolge eingelagert, wodurch in manchen Kellern die erhöhte Gefahr von flächenhaften Deckeneinstürzen gegeben ist.

Bei der Bewertung der Risiken ist zwischen den oberen und den unteren Kellern zu unterscheiden. Die oberen Keller besitzen nur eine geringe Geländeüberdeckung von ca. 5 m, wobei die obersten 2 bis 3 m nur noch aus Verwitterungsschutt bestehen. Die Wurzeln der Bäume reichen so tief, dass sie in den Klüften innerhalb der Kellergänge sichtbar werden.



Abbildung 3: Gesteinsschichtung des Lias Alpha an den Oberen Kellern. Im unteren Teil noch kompakte Gesteinsschichten, darüber kleinteiliger Verwitterungsschutt.

### 3.2 Bisherige Reparaturmaßnahmen

In früheren Zeiten haben verschiedentlich Reparaturmaßnahmen stattgefunden, die zeitlich nicht mehr zu datieren sind. Dazu zählen flache, bogenartige Untermauerungen mit Ziegeln oder Sandsteinblöcken. Andere Hilfsmaßnahmen betreffen das Ausmauern von Klüften oder das Einschlagen von Keilen in Risse, um das weitere Abrutschen von Deckenelementen zu verhindern.

Im Eichhorn Keller fand vor einigen Monaten eine Mörtelinjektion im Hochdruckverfahren statt, um die offenen Fugen zu schließen. Hierbei stellt sich heraus, dass statt der geschätzten 8 m<sup>3</sup> Injektionsgut insgesamt 18 m<sup>3</sup> verbraucht wurden. Aus diesen Zahlen lässt sich das Risiko von Hochdruckinjektionen ablesen, weil die Wege, welche die injizierten Mörtelmassen nehmen, von außen nicht kontrolliert werden können.

Im Jahr 2011 erfolgte außerdem eine Teilsanierung des Schwanenkellers im oberen Teil des Kellerwaldes. In diesem Keller befindet sich ein größerer Raum, dessen Decke nach oben mit Felsankern gesichert und zusätzlich durch eine aus Klinkern gemauerte Stütze gesichert wurde. Weiterhin wurden offene Fugen mit Mörtel im Hochdruckverfahren verfüllt.

Durch die Bohrungen konnte festgestellt werden, dass die Mächtigkeit des tragfähigen Felsens oberhalb dieses Kellers nur noch 1,5 m beträgt, weil die darüber befindlichen Gesteinslagen durch Frosteinwirkung vollkommen zerrüttet sind. Bei der gegebenen Raumweite ist die tragfähige

Gesteinsdicke zu gering, um die Decke mit Felsankern zu sichern. Aus diesem Grund mussten Wände und Decke zusätzlich mit Spritzbeton gesichert werden, was zwar nicht

wünschenswert ist und der Denkmaleigenschaft entgegen steht, aber im genannten Fall wohl nicht anders zu lösen war.



Abbildung 4: Stütze aus Ziegelmauerwerk und mit Spritzbeton verkleidete Decke im Schwanenkeller.

Das Gutachten einer staatlichen Behörde schlug zur Sanierung entweder die Torkretierung oder eine komplette Verfüllung der Gänge mit Beton vor. Wie schon eingangs erwähnt, würde die vollständige Verkleidung mit Spritzbeton den Denkmalcharakter vollkommen zerstören. Außerdem wäre zu befürchten, dass in Folge der hohen Wasserdurchlässigkeit des Gesteins durch Poren und Klüfte hinter der abdichtenden Betonschale die Steinverwitterung vermehrt und unkontrollierbar fortschreiten würde, so dass sich die Spritzbetonschale wieder ablösen könnte. Das Verfüllen mit Beton wird im großen Stil bei höchst Einsturz gefährdeten Kellern eingesetzt, wenn die Gefahr besteht, dass an der Geländeoberfläche Einsturzkrater entstehen können. Würde man diese Methode an den Forchheimer Kellern einsetzen, käme dies der vollständigen Zerstörung des Denkmals Kellerwald gleich und würde es für alle Zeiten vernichten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die bisher durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen entweder technisch nicht wirksam, mit möglichen Folgeschäden behaftet oder sogar Substanz vernichtend und deshalb denkmalpflegerisch inakzeptabel sind. Auf diesem enttäuschenden Befund begründet sich das Ziel des Projekts, für diese Denkmal geschützten Kellergänge solcherart Instandsetzungsmethoden zu entwickeln, welche Wirksamkeit und Denkmalverträglichkeit miteinander verbinden.

#### **4 Art und Umfang der Durchführung**

Die Forchheimer Keller stellen ein historisches und lebendiges Objekt fränkischer Alltagskultur dar, welche in ihrem noch weitgehend original vorhandenen Zustand bewahrt werden sollen. Es gilt, Mittel und Wege zu finden, eine behutsame und denkmalverträgliche Instandsetzung und Instandhaltungsmethodik zu finden, welche der Stadt Forchheim und den Pächtern der Keller finanziell zumutbar ist. Die Keller müssen so weit gesichert werden, dass ein Begehen ohne Gefahr für Leib und Leben möglich ist.

Die Wände der Keller zeigen noch vielfältige Spuren der Herstellung, Vermessungsmarken oder Hiebspuren der Steinaxt. Durch die Zermürbung der Steinoberfläche drohen viele der Spuren durch Verwitterung verloren zu gehen.

Um in dem jetzt zu Ende gehenden Projekt unterschiedliche Kellerformen und Schwierigkeitsgrade zu bearbeiten, wurden, wie eingangs schon erwähnt, drei Keller für das Projekt ausgewählt:

- Bauernkeller und Rappenkeller. Beide Keller gehören zu den Unteren Kellern.
- Weiß-Tauben-Keller. Dieser Keller gehört zu den Oberen Kellern.

Die drei Keller stellen unterschiedliche Schwierigkeitsgrade hinsichtlich der Gestalt und der Gefährdung dar. Der Rappenkeller ist der in seinem Bestand am wenigsten gefährdete Keller. Der Bauernkeller entspricht einem mittleren Schwierigkeitsgrad. Am meisten Risiko behaftet, weil nahe der Geländeoberfläche angelegt, ist der Weiß-Tauben-Keller.

Im Einzelnen sind folgende Arbeitsschritte in jedem der Keller ausgeführt worden:

- Ausräumen der Keller, Abnahme lockerer Steine, Entfernung von Sandablagerungen in den Drainagerinnen und am Boden der Keller.
- 3D Laserscan der ausgewählten Keller: Herstellung von Grundrissen, Decken- und Wandansichten.
- Bestandsaufnahme durch die Bauforschung: Aufnahme von Bearbeitungsspuren. Vermessung des Verlaufs und des Querschnitts der Kellergänge. Herstellung von Abwicklungen zur Eintragung der Befunde. Untersuchung der Drainagesysteme.
- Herstellung von Längsschnitten aus dem 3D Laserscan zur Feststellung der Geländeüberdeckung und Eintragung in den digitalen Katasterplan.
- Messung der geologischen Streichens und Einfallens der Klüfte und Eintragung in das Schmidt'sche Netz zur Identifizierung besonders gefährdeter Gangrichtungen.
- Bestimmung der Zusammensetzung sowie der Porosität und Permeabilität des Gesteins. Messung der Festigkeit des Gesteins im trockenen und im Wasser gesättigten Zustand.
- Geo-Radarmessungen zur Beurteilung der Schichtdicke potentiell abgelöster Steinplatten. Ist eine Vernadelung möglich und sicher?
- Ingenieurgeologische Bestandsaufnahme und Definition der möglichen Sicherungsmaßnahmen wie Gewölbebau, Vertikal- oder Schrägstützen aus Stahl, Ausmauerungen von Klüften oder Verfüllungen einzelner Klüfte mit Spritzbeton.
- Naturschutzfachliche Erfassung der Keller und ihrer Umgebung. Bestimmung schützenswerter Tiere und Pflanzen. Untersuchung von eventuell vorhandenen Fledermausquartieren.
- Vergleichende Studien mit der Kelleranlage in Oberhaid bei Bamberg, am Stephansberg in Bamberg, in Wunsiedel und in den Katakomben in Bayreuth.

Das Ziel der Untersuchungen und die anschließende Instandsetzung zielen natürlich darauf, den Kellerpächtern die uneingeschränkte Nutzung der Keller für die Lagerung von Bier, Getränken und Lebensmitteln zu ermöglichen.

### 5 Modellcharakter

Bierkeller und Keller zur Bevorratung spielen nicht nur in Franken, sondern auch in anderen Teilen Deutschlands eine bedeutsame Rolle. Kelleranlagen gibt es nicht nur in leicht zu bearbeitenden Sandsteinen, sondern auch in Schiefen (z. B. Frankenwald), in Phylliten (Felsenkeller am Katharinenberg bei Wunsiedel) und sogar in Basalten (siehe Eifel). Sie repräsentieren eine Epoche der Konservierung von Lebensmitteln, die über viele Jahrhunderte andauert hat. Die Kellerkultur ist besonders in Franken lebendig und wird dort als eine lebendige Tradition gelebt, die nicht nur in Großveranstaltungen wie der Erlanger Bergkirchweih oder dem Annafest in Forchheim zelebriert wird.

Wie bereits dargelegt, sind die ingenieurtechnischen Instandsetzungsvarianten wie Torkretierung oder Verfüllen nicht denkmalverträglich. Die modellhafte Planung und Instandsetzung von drei Kellern mit Hilfe von Methoden, die ingenieurtechnisch wirksam und zugleich denkmalverträglich sind, ist somit vorbildlich für eine Vielzahl von Kellern in ganz Deutschland, bei welchen diese Vorgaben in die Tat umgesetzt werden können.

## **Umweltverträgliche und denkmalgerechte Instandsetzung historischer Keller in Franken am Beispiel des Kellerwaldes bei Forchheim**

---

Der Kellerwald oberhalb von Forchheim stellt durch das Zusammenwirken seiner forstlichen, fast parkähnlichen Bewaldung und dem von Menschenhand geschaffenen Kellersystem ein Paradebeispiel einer Kulturlandschaft mit faunistischen, floristischen und anthropogenen Elementen dar. Diese seit Jahrhunderten bestehende Einheit soll für die Zukunft bewahrt werden und in der bewährten Tradition fortgeführt werden. Jedwede Störung dieser Einheit durch irreparable Eingriffe in die Keller würde den Charakter des Kulturerbes unweigerlich entwerfen.

Das Modellprojekt Kellerwald gründet sich auf die eng verzahnte Zusammenarbeit zwischen Denkmalschutz und Naturschutz. Die Ergebnisse werden im Internet, in gedruckter Form und in Form des hier veranstalteten Kolloquiums dem Fachpublikum und der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt. Rundfunk und Fernsehen werden auf regionaler Ebene in die Berichterstattung eingebunden. Die sieben Projektpartner zählen zu den KMU, wodurch eine Förderung des Mittelstands erzielt wird.

Nicht zuletzt können die drei Keller nach der Instandsetzung im Rahmen für Kellerführungen geöffnet werden. Ihre Nutzung bleibt für die Kellersächter nun auch langfristig in vollem Umfang nun erhalten.

---



George Dieter Dr  
Kulturbeauftragter der Stadt Forchheim  
Rathaus  
91301 Forchheim

## Zur Geschichte der Forchheimer Keller

### Abschlussbericht

#### 1 Einleitung

Kaum mit einem anderen Phänomen wird Forchheim so häufig und gern identifiziert wie mit seinen Bierkellern, die sich im sogenannten Bürgerwald drängen und für die nordöstlich der Stadt gelegene Erhebung den Namen *Kellerberg* motiviert haben. Der Bamberger Statistiker und Kartograph Johann Baptist Roppelt, der mit seiner „Historisch-topographischen Beschreibung des Hochstifts und Fürstenthums Bamberg“ von 1801 den beachtlichen Versuch einer komplexen Bestandsaufnahme der Siedlungs-, Rechts- und Besitzverhältnisse des im Untergang begriffenen geistlichen Territoriums unternahm, würdigte die Keller in Abschweifung von seinem sonst recht nüchternen Stil fast auffällig. Im umfangreichen Ortsartikel über *Vorchheim* findet sich so folgende Beschreibung: „[...] auch sind die vielen und schönen *Vorchheimer Felsenkeller* sehr berühmt, wo das Jahr hindurch vieles [!] Bier ausgeschenkt und verführt wird. Man zählt 31 *Hauptkeller* mit besondern [!] Eingängen, welche sich sodann in mehrere einzelne theilen. Will sich der Vorchheimer einen guten Tag machen, so besucht er diese eine Viertel Stunde von der Stadt entlegenen *Felsenkeller*, und verzehrt öfters auf einmal mehr, als er die ganze Woche hindurch mit seiner Arbeit verdient hat.“<sup>1</sup>

#### 2 Die Festschrift zum 150. Annafest von Reinhard Brunner

In einem Beitrag für die Festschrift zum 150. Annafest 1990 führt der damalige Forchheimer Stadtarchivar Reinhard Brunner, offenbar unter Berufung auf Alfred Frank, für das Jahr 1722 die Zahl von „42 Kellerinhaber[n] (meist Wirte, Büttner oder Brauer)“ an<sup>2</sup>. Brunner befasst sich dabei auch mit dem möglichen Alter von „derzeit [1990] 28 historischen Felsenkellern“, über das „keine gesicherten Angaben“ vorlägen. Er mutmaßt eine eher frühe Entstehung, die „in die Zeit vor dem 30jährigen Krieg (1618 – 1648) zurück“ reicht. Auch würden „Vorgänger vermutet, die noch wesentlich älter sind“<sup>3</sup>. In einer tabellarischen Auflistung nennt Brunner zudem Jahreszahlen, die sich auf entsprechende Inschriften, etwa über den Kellereingängen, beziehen. Wie schon Frank schließt er dabei nicht aus, dass einige „der eingemeißelten Jahreszahlen und Initialen (besonders aus dem 19. Jahrhundert) [...] nur den Zeitpunkt von Renovierung, Wiederinbetriebnahme oder Eigentümerwechsel angeben, da Vorgänger zu vermuten seien, die „bis zur Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert“ entstanden wären. Unter diese Einschränkung werden folgende Jahresdaten genannt: *Winterbauer-Keller 1886, Kaiser-Keller 1890, Rappen-Keller 1886, Schlößla-Keller 1609 [!], Glocken-Keller 1843, Stäffala-Keller 1761, Eichhorn-Keller 1766, Hof(f)manns-Keller 1802, Schwanen-Keller 1857 und Neder-Keller 1803*<sup>4</sup>. Unter den genannten Jahreszahlen hebt sich die für den heutigen *Schlössla-Keller* deutlich heraus. Sie liegt gut 150 Jahre vor der des hier als zweitälteste Anlage erscheinenden *Eichhorn-*, vorher *Kapuzinerwirt-Kellers*. Auf die Jahresangaben für den *Schlößla-* bzw. *Müller-Keller* werden wir noch zurückkommen.

---

<sup>1</sup> Roppelt: Hst. Bbg. S. 562 – 568, hier S. 568.

<sup>2</sup> Brunner: Forchheimer Keller, S. 53 – 61, hier S. 53. Vgl. hierzu Frank: Annafest, S. 84. Die Bezeichnung *Büttner* ist als Synonym von *Brauer* zu verstehen.

<sup>3</sup> Brunner: Forchheimer Keller, S. 54. Vgl. auch hierzu Frank: Annafest, S. 88. In der Frage der Zeitstellung stützt sich auf Frank auch eine schulische Facharbeit von Martin GRAUBERT: Die Felsenkeller in Forchheim. Facharbeit im Leistungsfach Geographie am Herdergymnasium Forchheim. 2006.

<sup>4</sup> Brunner: Forchheimer Keller, S. 54 – 56. Vgl. auch hier Frank: Annafest, S. 88.

Der Beitrag Reinhard Brunners, in weitgehender Übernahme der Darlegungen Alfred Franks, aber auch auf Grundlage eigener Recherchen, zieht in gewisser Weise ein Resümee aus dem bis 1990 vorliegenden Schrifttum und aus selbst eingesehenen Archivunterlagen, allerdings nur solchen vor 1885 ff.<sup>5</sup> Eine weitergehende Quellenforschung war im Rahmen jener Festschrift allerdings auch nicht gefordert. Auch der bislang neueste, 2013 erschienene Beitrag von Roman Koch präsentiert den von Brunner vermittelten Kenntnisstand<sup>6</sup>.

### 3 Ergebnisse neuester Archivalienforschungen durch Reinhold Glas

Mittlerweile brachten aber die Forschungen von Reinhold Glas zur Besitzgeschichte sämtlicher Anwesen des alten Forchheims neues archivalisches Material an den Tag, das uns dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt wurde<sup>7</sup>. So lesen wir im Nachtrag eines Stadtzinsbuches von 1644 die Überschrift: „Keller im Steinbruch so in anno 1691 angefangen“<sup>8</sup>. Weitere Abgaben (Erzbzins) sind 1722 (s. o.) und zweimal für das Jahr 1750 belegt, letztere unter den Überschriften „Erzbzinnß / Von denen der Gemeinen Stadt / handlohnbahnen Felßen Kellern / In Steinbruch“ bzw. „Beschreibung derer anhero Lehen / und handlohnbahnen Felßen-/Kellern Im Steinbruch / An der Unteren Laag“<sup>9</sup>. In einem 1789 angelegten Zinsbuch ist schließlich die Rede von „Erzbzinnßen von denen Kellern / auf den Steinbruch welche anno / 1691 zu graben angefangen und so / nach zu Lehen gemacht worden / handlohnbar“<sup>10</sup>.



Abbildung 1: Eintrag in Erzbzinsbuch der Stadt Forchheim von 1789 mit dem Hinweis auf 1691 als dem Jahr des Beginns der Felsen-Kellergrabungen. Repro: Reinhold Glas.

<sup>5</sup> Brunner: Forchheimer Keller, S. 61 s.v. „Quellennachweis und Literatur“.

<sup>6</sup> Koch: Bierkeller, S. 353 – 355.

<sup>7</sup> Den Auskünften von Herrn Glas verdanken wir die in den Anmerkungen 8 – 10 angegebenen Archivnachweise.  
<sup>8</sup> Stadtarchiv Forchheim: Zinsbuch der Stadt Forchheim von 1644, Band 3, fol. 230 v. Auf den folgenden Blättern sind die Beständner mit ihren Abgaben bis 1715 aufgeführt.

<sup>9</sup> Stadtarchiv Forchheim: Zinsbuch von 1750, Band 1, fol. 442 r. (bis fol. 465 v. mit Nennung von *Poßeßores* [Beständnern] und Band 2, fol. 422 v. (bis fol. 445 v. mit Nennung von *Poßeßores*). Die Schrägstriche markieren das Zeilenende im Original.

<sup>10</sup> Stadtarchiv Forchheim: Amtsbücher Nr. 44, fol. 86 v. (analog zu den in Anmerkungen 8 und 9 genannten Quellen bis fol. 92 v. weitergeführt).

Anhand dieser Quellen lässt sich unschwer die Feststellung treffen, dass die Stadtgemeinde Forchheim 1691 damit begonnen hat, in einem Bereich des Bürgerwaldes, der *Steinbruch* genannt wird, systematisch Kellerstollen anzulegen. Bei diesem *Steinbruch* unterschied man offenkundig zwischen einer *\*Oberen* und *Unteren Lage*, die als *Obere* bzw. *Untere Keller* in den heutigen Sprachgebrauch eingegangen sind. Diese Keller wurden von der Stadtgemeinde Brauern und Wirten zu Lehen gegeben, wofür der sogenannte Erbzins erhoben wurde. Veräußerte ein Inhaber seinen Keller, musste er den sogenannten Handlohn an die Stadt entrichten. Die *Kellerrechte* waren also eine genuine Angelegenheit der Stadtgemeinde und hatten nichts mit dem bambergischen Stadt- bzw. Landesherrn zu tun. Die durch eindeutigen Quellenbefund belegte Jahreszahl 1691 schließt nicht aus, dass es einzelne Keller mit einer früheren Zeitstellung gegeben hat. So hat die Jahresinschrift 1609 im Scheitel des Eingangs zum heutigen *Schlößla-Kellerstollen* als Primärquelle durchaus Gewicht. Die Grabung dieses Kellers kann dann allerdings zeitlich nicht mit der früheren Brauerei Schlößla oder Müller bzw. Krieg in Verbindung gebracht werden. Ursprünglich befand sich diese auf dem heutigen Anwesen Bamberger Straße 43 / 43 a (heute „Paletti“), doch ist darauf vor 1738 keine Braustätte belegt<sup>11</sup>.

Ob es sich bei der Kellergrabung von 1609 um eine „wilde“ Maßnahme oder um eine isolierte Veranlassung der Stadtgemeinde als Grundbesitzerin handelt, kann auf Basis der gegenwärtigen Quellenkenntnisse nicht entschieden werden. Reinhold Glas schloss im Gespräch mit dem Verfasser nicht aus, dass man es hier mit einem ursprünglich kommunalen Keller zu tun hat, in dem das Bier für die (verpachtete) Trinkstube des Rathauses gelagert wurde. Man beachte hierzu die relativ abseitige Situation des Kellers. Doch dies alles bleibt vorerst spekulativ.



Abbildung 2: Eingang zum Schlößla-Keller mit Jahreszahl 1609 im Scheitel des Eingangsbogens. Foto: Reinhold Glas (2014).

Die Keller dienten primär der Nachgärung und Reife des Bieres, das aus der Stadt mit Fuhrwerken in den Bürgerwald transportiert wurde. Möglicherweise wurden außer Bier auch Lebensmittel in den Kellern eingelagert<sup>12</sup>. Mit der Zeit gewannen die Keller auch als öffentliche Schankstätten an Bedeutung, wie dies Roppelts Beschreibung von 1801 (s. o.) anschaulich vermittelt. Natürlich bewirkte das 1840 erstmals abgehaltene Annafest einen gewaltigen, auch überregional bewirkten Anschlag der Kellerfrequenz, besonders nach der Eröffnung der Bahnlinie Nürnberg-Bamberg mit Bahnhof in Forchheim. Die Anbindung Forchheims an die größeren Nachbarstädte im Süden hat wesentlich zur verbreiteten Popularität der Forchheimer Felsenkeller und zum Erfolg des Annafestes beigetragen. In lokalhistorischen Darstellungen wurde der Komplex Felsenkeller und Annafest gerne mit der für 1653

<sup>11</sup> Der Verfasser dankt Herrn Reinhold Glas für freundlichen Hinweis.

<sup>12</sup> Brunner: Forchheimer Keller, S. 53, und Frank: Annafest, S. 82.

erstmal nachgewiesenen Forchheimer St.-Anna-Wallfahrt nach Weilersbach in Verbindung gebracht<sup>13</sup>.

Doch aufgrund der Chronologie ist ein solcher Zusammenhang problematisch, da diese Wallfahrt im Sog der Aufklärungswelle unter Fürstbischof Franz Ludwig von Erthal (1779 – 1795) möglicherweise nach 1786 zum Erliegen kam. Zwar spricht Frank von einer „inoffiziellen“ Weiterführung der Wallfahrt, doch hierfür gibt es keine Nachweise, und es liegt die Vermutung nahe, dass er so eine zeitliche Hilfsbrücke zum Premierenjahr 1840 schlagen möchte<sup>14</sup>.

Für den Verfasser ist es eher vorstellbar, dass sich das gastronomische Leben auf den Kellern am Ende des 18. und erst recht im frühen 19. Jahrhundert einer gewissen Blüte erfreut hat. Daraus erwuchs wohl der Wunsch, die Kellersaison mit einer Art „Kirchweih“ zu krönen, für die der Annentag am 26. Juli geeignet erschien – die Verehrung der hl. Anna blickte in Forchheim ja unbestreitbar auf eine lange und reiche Tradition<sup>15</sup> zurück.

Mit der Verlegung eines Schützenfestes vom Schießanger im Regnitzgrund auf die Oberen Keller schuf man nach dem Vorbild der Erlanger Bergkirchweih den Erfolgshebel auch für das hiesige Annafest. Die Suche nach seinen Wurzeln in der Anna-Wallfahrt des 17. Jahrhunderts stellt wohl den Versuch dar, dem Fest ex post eine ältere Tradition und religiöse Überhöhung zuteil werden zu lassen<sup>16</sup>.



Abbildung 3: Blick auf den Hoffmannskeller in den 1920er Jahren. Foto: Sammlung Harald Schmidt

#### 4 Zu den Namen der untersuchten Bierkeller

Drei Bierkeller wurden für das Projekt ausgewählt, deren Namen nachfolgend erläutert werden.

##### 4.1 Bauernkeller

Der *Bauernkeller* gehört zu den sog. Unteren Kellern, wo er sich zwischen Gottla-Keller (ehemals Auf den Kellern 16) und Kaiser-Keller (Auf den Kellern 8) befindet. Der Keller wird seit den 1960er Jahren nicht mehr genutzt bzw. bewirtschaftet. Außer *Bauernkeller* ist kein anderer Name überliefert. Er nimmt wahrscheinlich Bezug auf die Herstellung sog. *Hausbräubieres* durch die Brauerei Schwane für

<sup>13</sup> Zum Nachweis des Jahresdatums s. Knörlein: St. Anna, S. 27 f.

<sup>14</sup> Vgl. Frank: Annafest S. 76 – 80, besonders S. 78 f.

<sup>15</sup> Siehe hierzu Schleifer: Hl. Anna, S. 13 – 21 f.

<sup>16</sup> Zur Frage eines möglichen Ursprungs des Annafestes in der Forchheimer Anna-Wallfahrt s. George: Lichtblick, S. 232.



einige landwirtschaftliche Anwesen in der Nähe Forchheims, besonders im heutigen Stadtteil Burk<sup>17</sup>. Nach den Erinnerungen von Herrn Heinz Söhnlein (Jg. 1938 Forchheim-Burk / Zur Sportinsel 5) haben dort zum Annafest die *Burker Hausbrauer* in Eigenregie ihr Bier ausgeschenkt und getrunken.

### Rappenkeller

Der Rappen-Keller (Anwesen auf den Kellern 14) wurde nach der ehemaligen Gaststätte *Zum Rappen* (Hauptstr. 62, heute Betten Amtmann) benannt. Die dort bestehende *Brauerei Grimm* stellte 1909 ihre Produktion ein<sup>18</sup>. Das Beispiel zeigt, dass bei der Kellerbenennung – sofern an die in der Stadt gelegene Brauerei, die den Keller besitzt, auch eine Gastwirtschaft angeschlossen ist – der Name der letzteren herangezogen wird, da der Wirtshausname der Öffentlichkeit geläufiger war.

### Weiß-Tauben-Keller

Der *Weiß-Tauben-Keller*, auch *Tauben-Keller*, gehört zu den Oberen Kellern (Anwesen Auf den Kellern 17). Sein Name rührt vom ehemaligen *Weiß-Tauben-Bräu*, Kapellenstraße 3. Auch zu dieser Brauerei gehörte eine Gaststätte. Die Namen der Brauereibesitzer waren Rittmayer, Derfuß, Hollfelder<sup>19</sup>.

((Achtung! Korrigenda zum ersten Beitrag: Anm. 2 ... Annafest , - Anm. 5 ... Literatur“. - Anm. 10 ... weitergeführt). ...Anm. 15 „Die“ -= deliatur))

## 5 Auflösung der Literatur-Kurztitel in den Fußnoten

Brunner: Forchheimer Keller: Reinhard BRUNNER: Die Forchheimer Keller. In: 150 Jahre Annafest Forchheim 1840 – 1990. Festschrift der Stadt Forchheim (Redaktion Dieter George). Forchheim 1990. S. 53 – 61.

Frank: Annafest: Alfred FRANK: Annafest Forchheim. Forchheim 1975.

George: Lichtblick: Dieter GEORGE: Ein Lichtblick in trüber Zeit – Das Annafest entsteht. In: Hermann AMMON (Hrsg.): Forchheim in Geschichte und Gegenwart. Beiträge aus Anlass der 1200-Jahr-Feier. Bamberg 2004. S. 230 – 237.

Knörlein: St. Anna: Georg KNÖRLEIN: St. Anna Weilersbach. Das Ziel einer Forchheimer Wallfahrt im Lichte neuerer Forschungen. In: 150 Jahre Annafest Forchheim. Festschrift der Stadt Forchheim (Redaktion Dieter George). Forchheim 1990. S. 22 – 32.

Koch: Bierkeller: Roman KOCH: Bierkeller in der Nördlichen Frankenalb. Eine geologisch-kulturelle Wechselbeziehung. In: Siegfried SIEGSMUND und Rolf SNETHLAGE (Hrsg.): Naturstein in der Kulturlandschaft. Halle (Saale) 2013. S. 348 – 367.

Roppelt: Hst. Bbg.: Johann Baptist ROPPELT: Historischtopographische Beschreibung des kaiserlichen Hochstifts und Fürstenthums Bamberg [...]. Bamberg 1801.

Schleifer: Hl. Anna: Max SCHLEIFER: Die heilige Anna – Kult und Verehrung. In: 150 Jahre Annafest Forchheim 1840 – 1990. Festschrift der Stadt Forchheim (Redaktion Dieter George). Forchheim 1990. S. 13 – 21.

Anmerkungen: Die Facharbeit Martin Grauberts wird bereits in Fußnote 3 im Volltitel angegeben. Die archivalischen Quellen werden in den Fußnoten 8–10 ebenfalls vollständig angeführt. Objektbezogene Begriffe und Bezeichnungen sind in *Kursivschreibung* wiedergegeben. Die genannte Obere Lage ist als Ortsangabe erschlossen, aber nicht belegt und wird deshalb mit Sternchen (\*) gekennzeichnet.

<sup>17</sup> Reinhard Brunner / Dieter George: Bier und Brauwesen in Forchheim. S. 34 – 52. Hier S. 46 f. In: 150 Jahre Annafest Forchheim 1840 – 1990. Festschrift der Stadt Forchheim. Forchheim 1990.

<sup>18</sup> Ulrich Ermann: Tradition als Wirtschaftsfaktor? Das Forchheimer Brauwesen im Wandel. In: Hermann Ammon (Hrsg.): Forchheim in Geschichte und Gegenwart. Beiträge aus Anlass der 1200-Jahr-Feier. Bamberg 2004. S. 217 – 229. Hier S. 222.

<sup>19</sup> Reinhard Brunner / Dieter George: wie Anm. 1, S. 42.



**Bier Frank Dipl. Ing. / MA**  
Konrad Triltsch Straße 5A  
97337 Dettelbach am Main

## **3 D Laserscannig**

### **Vermessungstechnik Grundrisse Wandabwicklungen**

## **Abschlussbericht**

#### **Kurzfassung**

Die 3D Lasertechnik eignet sich vorzüglich zur Vermessung Kelleranlagen mit einfacher und komplexer Gestalt. Sie ist schnell und Kosten sparend. Die Scandaten enthalten im Gegensatz zur herkömmlichen Vermessung mit dem Tachymeter alle räumlichen Daten. Grundrisse, Decken- und Wandabwicklungen lassen sich so einfach generieren. Mittlerweile besitzen die 3D Scanbilder die Qualität von Orthophotos der betreffenden Oberfläche, auf denen Einzelheiten wie Bearbeitungsspuren erkannt werden können. Im Vorfeld des Einsatzes ist zu entscheiden, mit welcher Detailgenauigkeit die Scanaufnahmen gemacht werden sollen.

#### **1 Einleitung**

Die Grundlage für jegliche Planung und Durchführung von Maßnahmen ist die Bereitstellung genauer Pläne der betreffenden Kelleranlage. Wichtigstes Element ist die Verfügbarkeit eines Grundrisses mit exakter Verortung im geodätischen Koordinatensystem. Längsschnitte und Wandabwicklungen können ebenfalls gefordert sein. Als Vermessungsmethoden bieten sich die klassische Tachymetrie oder das 3D Scanning mit einem Laser an. Beide Methoden werden hinsichtlich ihrer Vorteile und Nachteile verglichen, um späteren Anwendern Entscheidungshilfen zu geben, welche Methode für ihren Zweck besser geeignet ist.

#### **2 Tachymetrische Punktvermessung und GPS Einmessung**

Das Equipment für die GPS-Einmessung, bestehend aus mit einem Leica GPS Rover und einer Leica Viva Smart Total Station, wurde vom Lehrstuhl für Archäologie der Universität Bamberg/Bereich Ur- und Frühgeschichte ausgeliehen. Die Leica Viva Smart Station

entspricht einem Tachymeter, welcher allerdings mittels Suchoptik mit dem Rover korrespondiert (Abbildung 1).



Abbildung 1: Vermessungsstation Leica System 1200 GPS (Copyright Leica Geosystems AG Schweiz 2014)

Die erste Punkteinmessung nach Gauß-Krüger Koordinaten fand am Rappenkeller statt. Bedingt durch den noch sehr spärlichen Austrieb der Bäume, konnte relativ schnell eine Satellitenverbindung aufgebaut und eingemessen werden. Es wurden drei Punkte im Vorbereich des Kellers und zwei Punkte (Black/White Messmarken) im Keller vermessen, um eine Verknüpfung zwischen GPS und Scan des Kellers sicherzustellen.

Die zweite Punkteinmessung fand am Weiß-Tauben Keller statt. Das Vorgehen war dem beim Rappenkeller identisch. Drei Punkte vor dem Keller und zwei Punkte (Black/White Messmarken) im Keller wurden eingemessen.

Die tachymetrische Vermessung von Rappenkeller und Weiß-Tauben Keller wurde zeitgleich mit dem Laserscan durchgeführt. Die tachymetrischen Datensätze (ASCII txt Format) wurden mit den jeweiligen Laserscans der Keller verknüpft. Der Datensatz der GPS-Einmessung, ebenfalls ein ASCII txt. Format, konnte in AutoCAD 3D importiert werden. Durch das Matching der Black/White Messmarken aus Tachymetrie, Laserscan und GPS und durch die Koordinaten außerhalb der Keller konnten die beiden Keller lagerichtig im 3D Orbit verortet werden.

### 3 3D Laserscan ausgewählter Keller

#### 3.1 Rappenkeller

Start der eigentlichen Aktivitäten vor Ort war der 16.08.2012. Die für das dreidimensionale Vermessen notwendigen Black/White Messmarken, mittels CAD im A4 Format kreiert und gegen Feuchte laminiert, wurden im Rappenkeller positioniert. Eine Handskizze des Kellers



wurde angelegt und in diese die Messmarken und die Standorte des Laserscanners eingetragen. Der Vermessungsstart im Keller war der 21.08.2012. HDS Messmarken von Leica – dreh- und schwenkbare Metallmessmarken mit teils magnetischen Halterungen – wurden zusätzlich positioniert, um Kurven und weite Abstände zu überbrücken sowie eine höhere Messgenauigkeit zu erzielen.

Da einerseits der reibungslose Ablauf der Gaststätte, andererseits die Messungen nicht gestört werden sollten, war eine Absprache mit dem Pächter des Rappenkellers, Herrn Woithe, erforderlich, weil im vorderen Kellerbereich Getränke und Vorräte für die Küche lagerten (Abbildung 2).



Abbildung 2: Black/White Messmarken im Bereich der S-Kurve des Rappenkellers bevor umgeräumt wurde.

Deshalb erfolgten die ersten Vermessungen hinter der Trenntüre, im Lagerbereich des Kellers. Hier fanden die ersten sieben Scans statt. Dadurch, dass Herr Woithe einen Ruhetag einlegte, konnte im Eingangsbereich und vor dem Keller vermessen werden. Hier fanden sechs Scangänge statt. Die letzten zwölf Scans konnten dann ohne gegenseitige Störung im hinteren Bereich des Rappenkellers vorgenommen werden.

Eine Schwierigkeit ergab sich daraus, dass zum Teil Bierkästen, Fässer und diverses Material umgeräumt werden mussten, damit nicht zu viele Messschatten entstehen. Im Schlussbereich des Kellers waren Fässer und Utensilien für den Biergarten gelagert. Hier war es nur bedingt möglich frei zu räumen. Ein Nebenraum, hinter der Trenntüre/im Westen, konnte nicht erfasst werden, da der komplette Raum zu gelagert war. In den generierten Plänen ist dieser Kellerraum nur ansatzweise zu erahnen.

Die Tachymetrie erfolgte parallel zu den 3D Scangängen. Das Vorgehen bei den einzelnen Scangängen war wie folgt:

Nachdem die einzelnen Standorte festgelegt waren, wurde der Scanner positioniert. Hier musste darauf geachtet werden, dass minimal 3 Messmarken erfasst werden konnten. Die Problematik besteht darin, dass bei zwei Messmarken im Raum, die 180 Grad zueinander stehen, der Scanner nebst Standort ist nicht fixiert ist. Bei drei und mehr Messmarken ist der Scanner/Scan fixiert und fest in den Orbit eingebunden. Deshalb wurde darauf geachtet, dass so viele Messmarken wie möglich von den jeweiligen Standorten eingelesen werden konnten.

Die Scans erfolgten auf einem Dreibeinstativ, dessen horizontale Ausrichtung mit einer Libelle justiert wurde, um Messungenauigkeiten zu vermeiden. Lediglich beim Scangang Nummer 8 in dem Nebenraum hinter dem Kellereingang wurde ohne Kompensator gearbeitet und der Scanner auf dem Boden platziert, weil hier die Raumhöhe zu niedrig war, um mit Stativ arbeiten zu können.

Bei jeder neuen Positionierung musste der Raum 360 Grad mit der Scanner internen Kamera erfasst werden. Über das so entstandene Bild des Orbits/Raums konnten die einzelnen Messmarken erfasst und eingelesen werden. Nach dem Einlesen der Messmarken konnte die gewünschten Abschnitte gescannt werden. Die Intensität/Messgenauigkeit lag bei einer Punktwolkendichte von 7mm auf Abständen von 2,50 bis 5 Metern. Die unterschiedlichen Distanzen wurden den jeweiligen Standorten angepasst, um eine höhere Homogenität zu erzielen. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass der Scanner bei den gewählten Standorten die Klüfte und Nischen mit erfasst.

Der Scanner wurde nur mit Netzstrom, ohne Akku, betrieben, da im gesamten Kellerbereich die Stromversorgung gesichert war. Zusätzlich wurde Laptop, Kabeltrommel, Verbindungskabel immer im Messschatten des jeweiligen Scangangs untergebracht und das Stromkabel so verlegt, dass es nicht oder kaum erfasst wurde (Abbildung 3).



Abbildung 3: :Scanstation in Betrieb, Laptop, Kabeltrommel und Verbindungskabel im Messschatten des Scanners, Black/ White und Leica HDS Messmarken, Standort 16 hinter S-Kurve, Blickrichtung Süden.

Für die Nachbearbeitung und Registrierung der einzelnen Scans wurde mit dem Leica Programm Cyclone gearbeitet, mit dem bereits vor Ort gescannt worden war. In Cyclone

erscheint jeder einzelne Standort als eigene scanworld, also insgesamt 25 scanworlds mit den dazugehörigen modelspace. Im Bereich des modelspace befindet sich die Punktwolke des ganzen scans und die einzelnen Punktwolken der Messmarken (Abbildung 4).

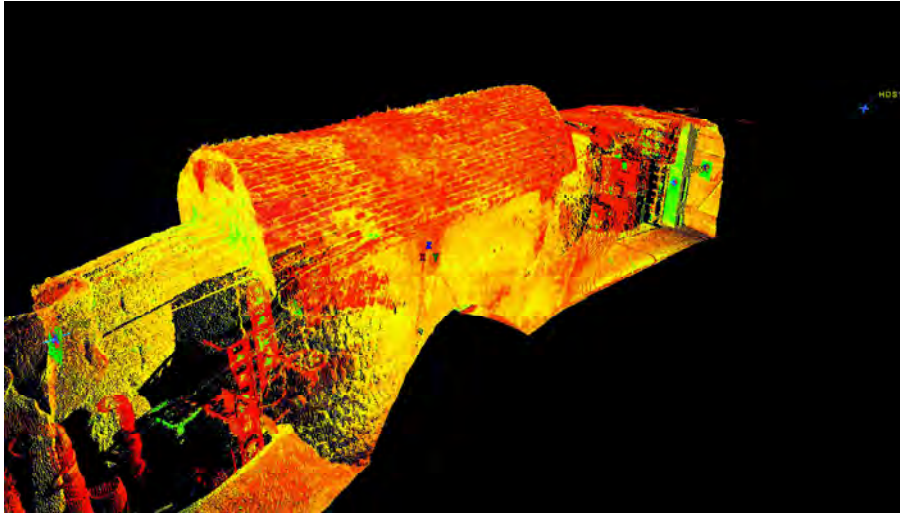


Abbildung 4: Scanworld 3 mit Standort des Scanners (markiert mit x, y, z), HDS Messmarke rechts und Black/White

In Cyclone muss jeder einzelne Scangang geöffnet werden und alle Messmarken manuell eingelesen/acquired werden, um eine spätere Registrierung vorzunehmen. Zusätzlich wurde die Tachymetrie als eigene scanworld eingelesen.

Die Registrierung/Vernetzung der einzelnen scanworlds erfolgte im nächsten Bearbeitungsschritt. Zunächst wurden scanworlds aus verschiedenen Kellerbereichen zusammengefasst und registriert. In Cyclone konnten die Abweichungen der einzelnen Messmarken zu einander aufgerufen werden, so dass hier je nach Bedarf Messmarken mit hoher Abweichung eliminiert werden konnten, um ein Optimum an Messgenauigkeit zu erzielen. Nachdem alle Messmarken mit hoher Abweichung herausgenommen und eine bestmögliche Genauigkeit/Stellung der einzelnen Scans im Ganzen zueinander erzielt wurde, konnte die Registrierung erfolgen. Die somit entstandene „mittlere Fehlerabweichung“ im generierten Keller belief sich auf 0,003 Meter/3 Millimeter (Abbildung 5).

Die Weiterbearbeitung erfolgte an den Rechnern der Universität Bamberg/Bereich Bauforschung. Die registrierte Punktwolke mit einer Größe von 303.000 KB und einem imp-Dateiformat wurde in AutoCAD importiert und in ein ptc/pts-Dateiformat umgewandelt, damit ein lesbarer Datensatz entsteht. In AutoCAD war es nun möglich, mit dem Programm-Aufsatz Pointcloud zweidimensionale Zeichnungen auf der Basis der Punktwolke oder im dreidimensionalen Bereich Orthobilder zu erstellen. Vereinbarungsgemäß wurden folgende Pläne ausgefertigt:

- Grundriss M 1:50
- Aufsicht Boden M 1:50
- Aufsicht Decke M 1:50
- Wandabwicklung West M 1:50
- Wandabwicklung Ost M 1:50
- Querschnitte M 1:50

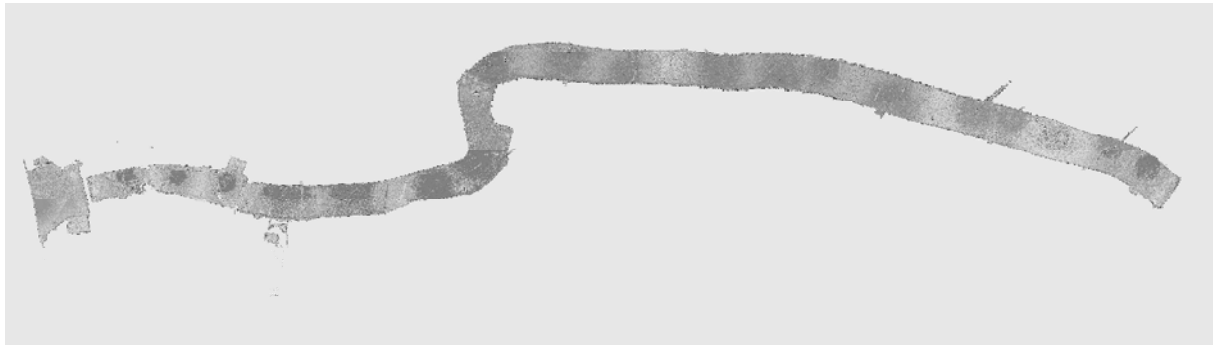


Abbildung 5: Rappenkeller Aufsicht Decke.

### Problematik der Scan-Standorte für die Darstellung

Es war das Ziel der dreidimensionalen Vermessung des Rappenkellers, eine Vermessungsgenauigkeit von ca. 5mm im ganzen Kellerbereich zu erzielen und eine bestmögliche Erfassung aller Bereiche mit möglichst wenig Messschatten zu gewährleisten. Diese Anforderungen beinhalten in sich einen Widerspruch, der sich in der Darstellung der Punktwolken und späteren Orthobildern bemerkbar macht.

Eine hervorragende Vermessungsgenauigkeit setzt voraus, dass bei den einzelnen Scangängen der Scanner absolut horizontal einjustiert ist. Dies ist nur möglich, wenn mit einem Dreibeinstativ gearbeitet wird, da der Untergrund im Keller uneben ist. Durch die Vermessung mit dem Dreibeinstativ entstehen allerdings unter dem Scanner Messschatten, die von dem Gerät nicht erfasst werden können. Durch das Versetzen von Standort zu Standort können diese „leeren“ Punktwolkenbereiche aber kaum eliminiert werden.

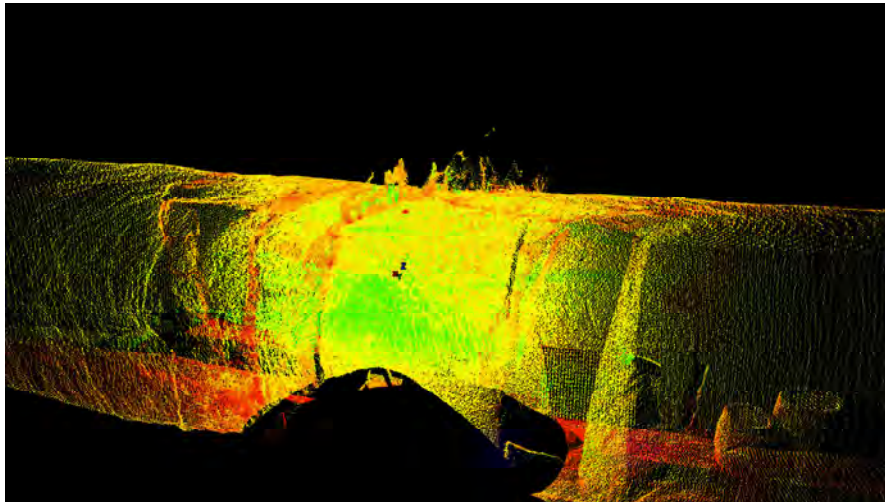


Abbildung 6; Standort 18, Punktwolken-Intensität und Messschatten des Standorts an Wand- und Bodenfläche.

Dadurch, dass der Keller mit seinen Dimensionen von 2 - 3 Meter in Höhe und Breite relativ eng ist und im hinteren Bereich Lafebene und Lagerebene unterschiedliches Niveau besitzen, konnte der Scanner nicht mittig positioniert werden, so dass nicht nur Messschatten des Standortes auf dem Boden, sondern auch auf den Wandflächen entstanden (Abbildung 6).



Hätte man ohne Dreibeinstativ vermessen und den Scanner auf dem Boden platziert, hätte dies zur Folge gehabt, dass sich die sehr dunklen Nahbereiche mit ihrer hohen Punktwolkendichte etwas verlagert und der Messschatten unter dem Scanner sich minimiert hätte. Für die spätere Darstellung wäre diese Vorgehensweise sicher die bessere Variante gewesen, hinsichtlich der Genauigkeit der Vermessung jedoch die schlechtere Variante. Bedingt durch die Unebenheiten des Bodens hätte der Laser nicht in horizontaler Stellung justiert werden können, was starke Messabweichungen zur Folge hätte, die durch eine sehr genaue Tachymetrie nur zum Teil hätten behoben werden können.

Es ist deshalb festzustellen, dass es bei dieser Methode der Vermessung immer verdichtete Punktwolkenbereiche mit sehr geringen Punktabständen rund um den Standort und Messschatten unter dem Gerät geben wird. In der späteren Darstellung mittels generierten Orthobildern lassen sich diese hell-dunkel Bereiche leider nicht vermeiden.

### 3.2 Weiß-Tauben Keller

Nach den Erfahrungen mit dem Rappenkeller war festgelegt worden, dass der Weiß-Tauben Keller wegen seiner viel größeren Komplexität mit einem geringeren Aufwand gescannt werden sollte. Die Standorte der Scanstation sollten so festgelegt werden, dass der Keller komplett erfasst wird und ein Grundriss generiert werden kann. Vor dem Vermessungsstart im Keller wurden die Black/White Messmarken positioniert und 23 Scan-Standorte festgelegt. Die 3D-Vermessung erfolgte ebenfalls mit der Leica Scanstation HDS 3000, wie im Rappenkeller.



Abbildung 7: Positionierte Black/White- und HDS-Messmarken im vorderen Kellerbereich, Blickrichtung nach Norden.

Die Standorte richteten sich, bedingt durch das Ausmaß des Weiß-Tauben Kellers, nach den HDS-Messmarken, Ausbuchtungen und Erfassbarkeit. Die drehbaren HDS-Messmarken mussten teilweise nach Fertigstellung einiger Kellerbereiche umpositioniert werden, da nur sechs HDS-Messmarken zu Verfügung standen (Abbildung 7).

Vorteilhaft für die Vermessung war die nur geringfügige Nutzung des Kellers zu dieser Jahreszeit. Im Gegensatz zum Rappenkeller gab es nur wenig Material, welches zu Messschatten geführt hat. Bei den Scangängen wurde mit einer Punktdichte von 7 Millimeter auf Distanzen von 1,50 bis 3,50 Meter gescannt. Durch die relativ geringen Distanzen verringerte sich die Scanzeit pro Standort. Die Nachbearbeitung und Registrierung der einzelnen Scans wurde wieder mit dem Leica Programm Cyclone gearbeitet.

Im Gegensatz zu der Vermessung im Rappenkeller, welche eine mittlere Fehlerabweichung von 0.003 Meter aufwies, lag die mittlere Fehlerabweichung im Weiß-Tauben Keller bei 0.006 Meter. Dieser geringfügig schlechtere Mittelwert gründet in der Komplexität des Weiss-Tauben-Kellers und den wenigen Standorten. Hätte hier eine identische Vermessung wie im Rappenkeller stattfinden sollen, wären ca. 50-60 Standorte notwendig gewesen. Die Deckenansicht des Weiß-Tauben-Kellers zeigt (Abbildung 8).

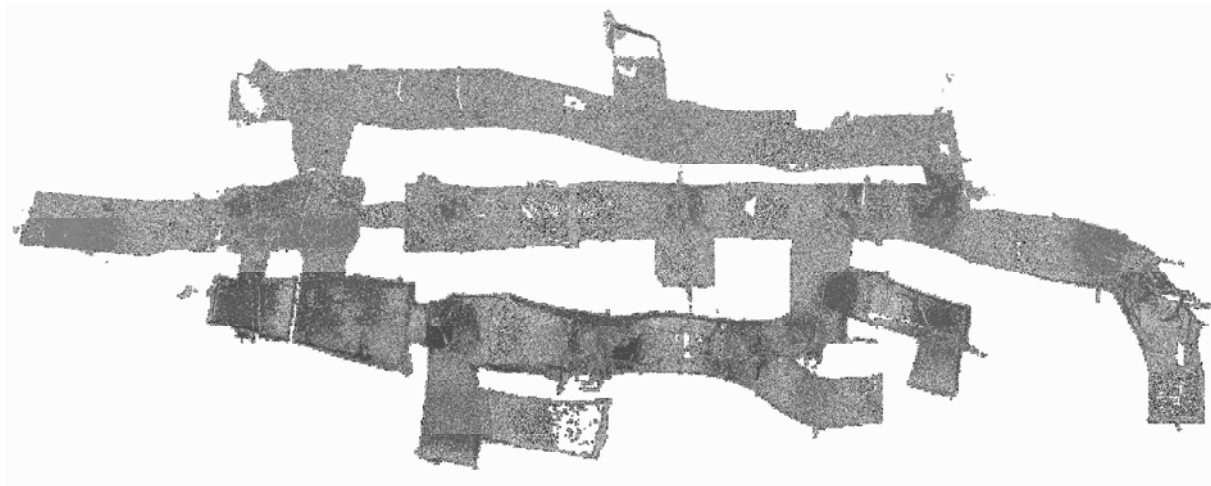


Abbildung 8: Deckenansicht Weiß-Tauben-Keller. Eingang links.

#### 4 Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der Frage, ob für die Keller generell eine tachymetrische Vermessung ausreichend und effektiver wäre, muss angemerkt werden, dass lediglich fünf Tage vor Ort für Scannen aufgewendet wurden. Wäre der Keller mit vergleichbarer Detailgenauigkeit tachymetrisch vermessen worden, hätte dies, nur für einen Grundriss des Kellers, sicherlich mindestens 10 Tage Arbeit vor Ort verlangt. Bei zusätzlichen Auswertungen, wie Quer- oder Längsschnitten, die aus einem vorhandenen Laserscan sofort generiert werden können, hätte wiederum vor Ort an den jeweiligen Positionen vermessen werden müssen. Wenn man hier den zeitlichen Rahmen vergleicht, liegt der Vorteil einer allumfassenden Bestandsaufnahme eindeutig beim Laserscan. Auch hat der verwendete Scanner Leica HDS 3000 trotz seines Alters von ca. zehn Jahren im Vergleich zum Tachymeter sicherlich keinen Nachteil in der Genauigkeit. Abbildung 9 zeigt die Detailgenauigkeit des Laserscans am Beispiel eines Screenshots.

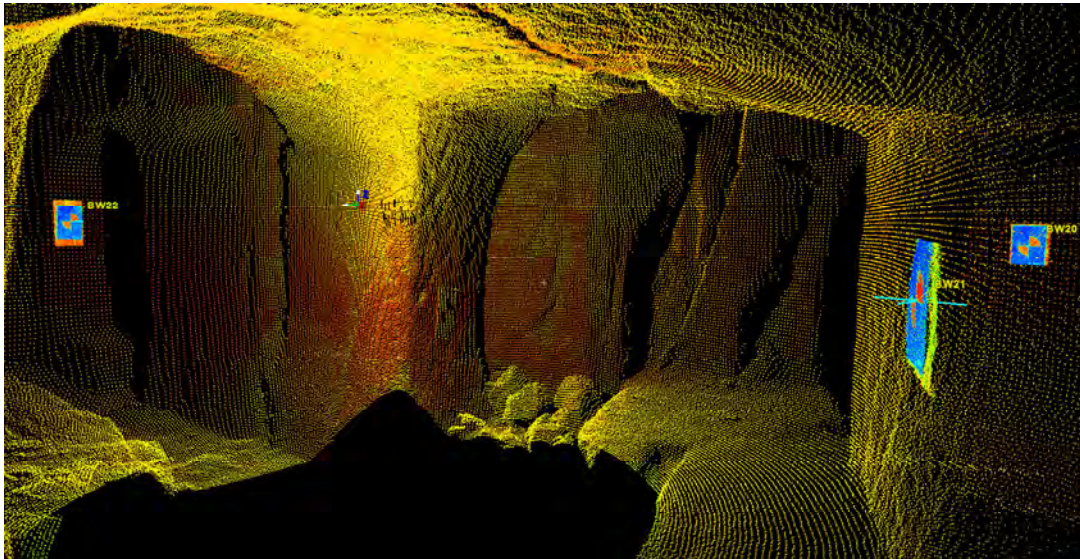


Abbildung 9: Weiß-Tauben-Keller Screenshot Scan 17 mit Standort des Scanners und Black/White Messmarken im westlichen hinteren Kellerbereich. Blickrichtung Nord/West.

Da zu Beginn des DBU Projekts Kellerwald Forchheim der neue Faro Focus Scanner der Universität Bamberg ausgebucht war, konnte nur auf den Leica HDS 3000 zurückgegriffen werden. Ein direkter Vergleich, sprich eine gleichzeitige Vermessung mittels Leica und Faro vor Ort, zeigt jedoch eine Optimierung der Technik binnen der letzten zehn Jahre.

**Anhang: Datenblatt: Rappenkeller**

Anzahl der Scan Standorte:	25 (22 Standorte mit 360° Scan 3 Standorte mit Ausschnitt)
Anzahl der Black/White Messmarken:	25
Anzahl der Steeltargets Messmarken:	10
Anzahl der Messtage:	6
Scangänge / Tage	Tag 1: Scangänge 1 – 7 Tag 2: Scangänge 8 – 11 Tag 3: Scangänge 12 – 16 Tag 4: Scangänge 17 und 18 Tag 5: Scangänge 19 – 24 Tag 6: Scangänge 25 – 27
Scandistanzen:	3,00 – 6,50 Meter
Punktwolkendichte:	0,007 Meter (Punktabstand)
Scandauer:	0:50 – 1:40 Stunden
Einlesen Messmarken:	0:15 – 0:30 Stunden
Messgenauigkeit im Kellersystem:	0,003 Meter (Mittlere Fehlerabweichung)
Pläne	- Grundriss M 1:50 - Aufsicht Boden M 1:50 - Aufsicht Decke M 1:50 - Wandabwicklung West M 1:50 - Wandabwicklung Ost M 1:50 (incl. Nebenraum Ost) - Querschnitte M 1:50

**Anhang: Datenblatt Weiß-Tauben-Keller**

Anzahl der Scan Standorte:	23. Alle Standorte mit 360° Scan
Anzahl der Black/White Messmarken:	30
Anzahl der Steeltargets Messmarken:	8
Anzahl der Messtage:	5
Scangänge / Tage	Tag 1: Scangänge 1 – 4 Tag 2: Scangänge 5 – 9 Tag 3: Scangänge 10 – 14 Tag 4: Scangänge 15 – 19 Tag 5: Scangänge 20 – 23
Scandistanzen:	1,50 – 3,0 Meter
Punktwolkendichte:	0,007 Meter
Scandauer:	0:20 – 0:50 Stunden
Einlesen Messmarken:	0:15 – 0:30 Stunden
Messgenauigkeit im Kellersystem:	0,005 Meter
Pläne	- Grundriss M 1:50 - Aufsicht Boden M 1:50 - Aufsicht Decke M 1:50 - Querschnitte M 1:50



Dr. Rupert Utz  
Pro Denkmal GmbH  
Restaurierung und Planung  
Obere Königstraße 15  
96052 Bamberg

## **Geologische und materialtechnische Untersuchungen in ausgewählten Bierkellern**

### **Abschlussbericht**

#### **Kurzfassung**

Die Keller im Forchheimer Kellerwald sind in den Rhätolias Übergangsschichten angelegt. Die zu den unteren Kellern gehörenden Rappenkeller und Bauernkeller liegen im Kellersandstein des Rhät, der zu den oberen Kellern gehörende Weiß-Tauben-Keller ist in der Bayreuther Formation angelegt. Die dickbankige Schichtfolge der Sandsteine im Rappenkeller besitzt eine Mächtigkeit von rund 7 m, die im Bauernkeller wegen des flacheren Geländeverlaufs nur mehr geringere Mächtigkeit erreicht. Über dem Weiß-Tauben-Keller beträgt die Dicke der überlagernden Schichten höchstens 5 m, von denen mehr als die Hälfte nur aus Verwitterungsschutt besteht. Die Gesteinsschichten sind von zahlreichen Klüften durchzogen, von denen die NS- SE- und NE-streichenden dominieren. Sich kreuzende Klüfte sorgen in den Stollen für spitz zulaufende Felssegmente, die sich zur Gangmitte hin neigen und vom Absturz bedroht sind. Im Weiß-Tauben-Keller werden die kompakten Sandsteinschichten im Hangenden von den dünnbankigen Pflanzentonon abgelöst, weshalb es in diesem Keller zu großflächigen Deckenstürzen gekommen ist. Die Sandsteine weisen nur eine geringe Druckfestigkeit auf, die im bergfeuchten Zustand auf 1,3 bis 0,9 MPa absinken kann.

#### **1 Die geologische Lage des Kellerwaldes**

Der Kellerwald befindet sich an der nordöstlichen Stadtgrenze Forchheims. Er bedeckt den nordwestlichsten Sporn eines Höhenzuges, der sich von Forchheim aus zwischen Regnitztal und Wiesental nach Nordosten erstreckt. Der Anstieg von der Straße nach Jägersburg am Fuße des Kellerwaldes (Parkplatz), unterhalb der unteren Kellerstraße bis zur Verebnungsfläche oberhalb der Keller der oberen Kellerstraße, beginnt bei 280m ü. NN und endet bei 330m ü. NN.

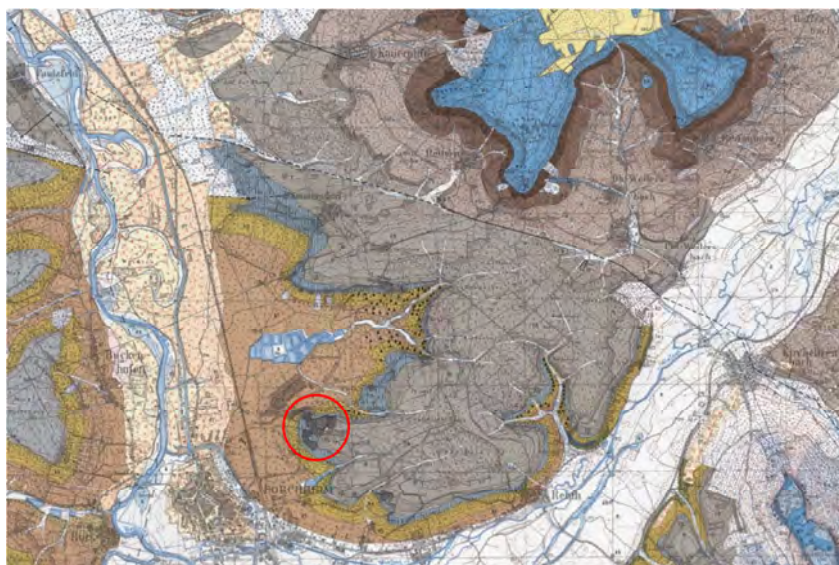


Abbildung 1: Die Lage des Kellerwaldes befindet sich auf der geologischen Karte im Bereich des Übergangs vom oberen Rhät (orange gelb) zum unteren Lias (hellgrau) in den Rhätolias Übergangsschichten (graublau).

Der Höhenzug wird von den sogenannten Rhätolias Übergangsschichten gebildet, in denen zwei prominente Sandsteinlagen, die in ihrer Höhenlage getrennten Horizonte der unteren und oberen Bierkeller definieren (vgl.: Abbildung 1 und 2). Der geologische Schichtaufbau ist weitgehend horizontal gegliedert mit einem allgemeinen, leichten Schichteinfall in Richtung Südost (Einfallwinkel 1-2°) (KRUMBECK, L., 1956).

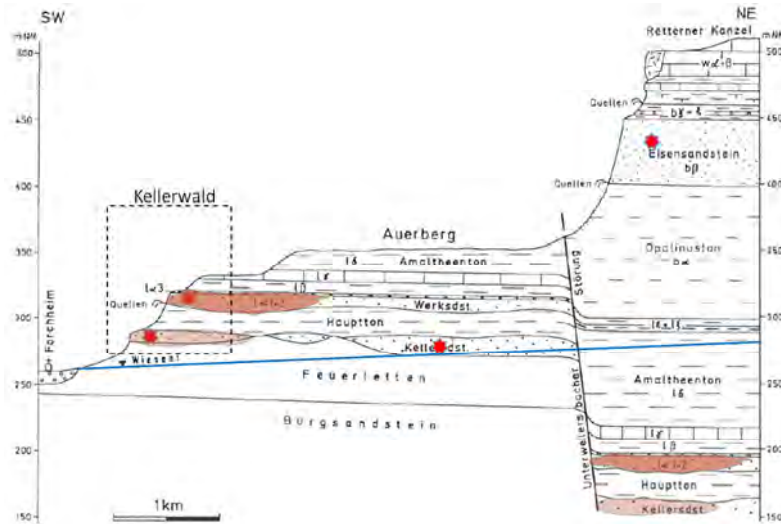


Abbildung 2: Profil des Kellerwaldes im Wiesental, von Forchheim ausgehend, in Richtung Ebermannstadt (aus MAYER, R., K., F., SCHMIDT-KALER, H., 1992). Die Bierkeller (rote Markierung) finden sich im Wiesental durchwegs in Sandsteinformationen. Die Rhätolias - Sandsteine des Kellerwaldes sind östlich der Unterweilersbacher Störung nicht mehr aufgeschlossen. Die östlicheren Bierkeller wie in Reifenberg und Pretzfeld wurden daher in den höher gelegenen Eisensandsteinen des Dogger angelegt.

### 1.1 Stratigraphischer Aufbau an der Nordseite des Kellerwaldes

Die geologische Schichtabfolge am Kellerberg ist an der Oberfläche nur unzureichend aufgeschlossen. Bodenbedeckung, Hanggleiten und Umformungen der Hangüberdeckungen durch den Menschen verhindern eine metergenaue Profilaufnahme. Der Übergang vom Mittleren Keuper aus roten Feuerletten zum Oberen Keuper liegt umlaufend um den Kellerberg bei etwa 289m ü. NN (BANTZ, H., U., 1969, KRUMBECK, L., 1956). Als Feuerletten bezeichnet man eine mächtige Tonsteinfohle mit ca. 40 Meter Mächtigkeit, die im Raum Forchheim die wiederum unterlagernden Burgsandsteine überdeckt (KRUMBECK, L., 1956). Der obere Keuper beginnt mit grau roten Tonsteinen mit Sandsteineinschaltungen mit etwa 17m Mächtigkeit.

Im Bereich der unteren Kellerstraße beginnt der untere Kellersandstein mit ca. 8m Mächtigkeit. Diese Sandsteinbank wird in der Literatur im Allgemeinen als Rhätsandstein, Kellersandstein, unterer Sandstein oder Anoplophorasandstein bezeichnet (WEINIG, H., ET AL 1984). Es handelt sich um limnische Sandsteine einer Deltaschüttung aus Südost (MAYER, R., K., F., SCHMIDT-KALER, H., 1992). Darüber folgt der sog. Hauptton (rote und graue Tonsteine mit Sandstein) mit 12 bis 18m Mächtigkeit. Mit dem Hauptton endet der Ablagerungsbereich des oberen Keuper (vgl.: Abbildung 3).

Im Hangenden setzen nun die jurassischen Ablagerungen mit den Sandsteinen des Lias Alpha 1 und 2 ein. Es handelt sich um Werksandstein und Pflanzentone, auch Gümbelscher Sandstein, Arietitensandstein, Sandsteine im Hangenden genannt (WEINIG, H., ET AL 1984). Seit 2002 lautet die offizielle stratigraphische Bezeichnung für diese Sandsteine "Bayreuther Formation" (SCHIRMER, W., 2008). In diese Sandsteinbank wurden die Bierkeller der oberen Kellerstraße gegraben. Ihre Mächtigkeit beträgt 8 bis 10 Meter und reicht bis zur Verebnungsfläche am Plateau des Kellerwaldes. Östlich der Bierkeller beginnen mit sanftem Geländeanstieg die Tonsteinablagerungen des Lias Beta. Am Übergang von Hauptton zu den Sandsteinen des Lias Alpha 1 und 2 sind Quellaustritte sehr häufig (KRUMBECK, L., 1956, MAYER, R., K., F., SCHMIDT-KALER, H., 1992). Der Hauptton fungiert demnach als Grundwasserstauer, an dem das von oben einsickernde Grundwasser zur Hangkante transportiert wird.

WEINIG, H., ET AL (1984) schreiben: "Ungleiche Verteilung, wechselnde Mächtigkeiten, geringes laterales aushalten der Schichtverteilung und sprunghafte Übergänge von Werksandsteinqualität in Mürbsandsteine ist geradezu typisch für die Rhätolias Übergangsschichten. Sie sind am Fuße der nördlichen Frankenalb überall anzutreffen und jedes mal etwas anders ausgebildet. Daher haben sich auch so viele verschiedene Namen eingeschliffen."

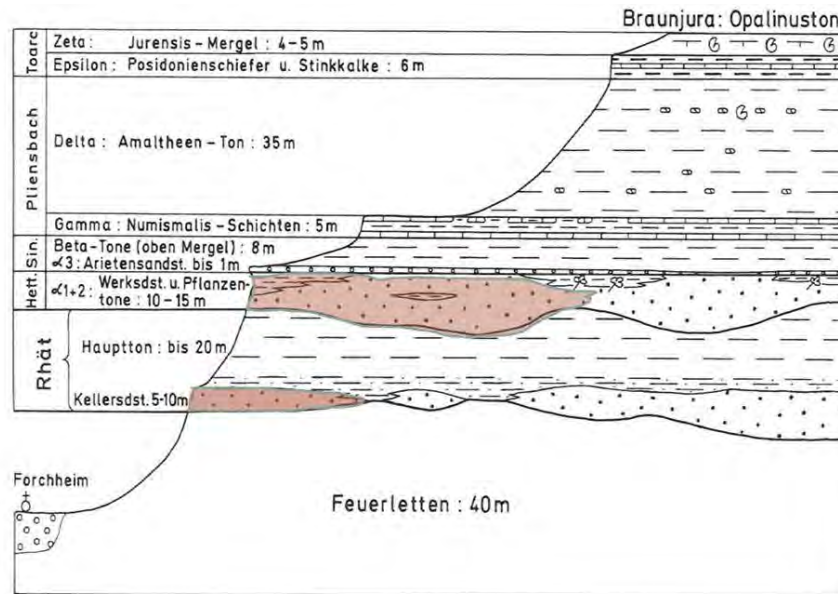


Abbildung 3: Stratigraphische Lage der unteren und oberen Bierkeller im Kellersandstein des Rhät (Rappenkeller und Bauernkeller), und im Werksandstein des Lias alpha 1+2 (Weiß-Tauben-Keller), mit Angaben ungefährender Mächtigkeiten (leicht verändert aus (MAYER, R.,K.,F., SCHMIDT-KALER, H.,1992).

## 2 Rappenkeller

### 2.1 Position der unteren Bierkeller im Forchheimer Kellerwald am Beispiel Rappenkeller

Die Bierkeller der unteren Kellerstraße sind in den Sandsteinen des oberen Keuper, dem sog. unteren Kellersandstein, auch Anoplophorasandstein oder unterer Sandstein der "Rhätolias Übergangsschichten" genannt, angelegt. Die Untergrenze dieses kompakten, grob geschichteten Sandsteinpaketes dürfte entsprechend der Morphologie der Oberfläche (anthropogene Verformung mit einbezogen) maximal ein bis zwei Meter unter dem Niveau des Kellereinganges liegen. Im Aufschlussbereich des Rappenkellers erweist sich der Fels als kompakte, dick bankige Schichtfolge meist schräg geschichteter, mittel bis grobkörniger Sandsteine in weißen und braunen Farben (vgl.: Abbildung 4). Die meist nur farblich abgesetzten Schichtglieder tauchen im Nordsüdverlauf des Ganges immer wieder um mehrere Dezimeter auf und ab, sind insgesamt aber weitgehend durchhaltend. Die lang gezogenen, linsenförmigen Anschnitte der Schichtglieder an Ost- und Westwand weisen auf eine grundsätzlich E-W gerichtete Schüttungsrichtung hin. Diese Ausrichtung entspricht auch den allgemeinen Angaben in der Literatur (KRUMBECK, L., 1956, ERLÄUTERUNGEN ZUR GEOLOGISCHEN KARTE VON BAYERN 1:50000).

Ein beispielhaftes Profil vom unteren Kellersandstein im Bereich östlich von Forchheim wurde von Rolf K. F. Mayer gezeichnet (Abbildung 5). Es dürfte der Situation am Rappenkeller vergleichsweise gut entsprechen. Demnach haben die dick bankigen Sandsteine, wie sie im Rappenkeller aufgeschlossen sind, eine Mächtigkeit von etwa sieben Metern. Bei einer Gesamttunnelhöhe von etwa drei Metern im Rappenkeller könnte die Überdeckung aus ungeschichtetem, massivem Sandstein noch mindestens 1,5m betragen.

In einem Deckenausbruch im benachbarten Bauernkeller sind die überlagernden Wechselfolgen aus Feinsand und Ton etwa in dieser Höhe oberhalb der Kellerdecke aufgeschlossen. Gleichzeitig aber ist zu bedenken, dass die Oberfläche der Ober Rhätischen Sandsteine aufgrund ihrer Sedimentationsgeschichte bis zu über einen Meter tiefe, rinnenartige Ausspülungen haben kann (KRUMBECK, L., 1956).





Abbildung 4: Felswand im Rappenkeller mit schräg geschichtetem, kompaktem Sandstein ohne trennende Schichtgliederung. Die weit stehende Klüftung des Sandsteins wurde vielfach mit Mörteln verschlossen.

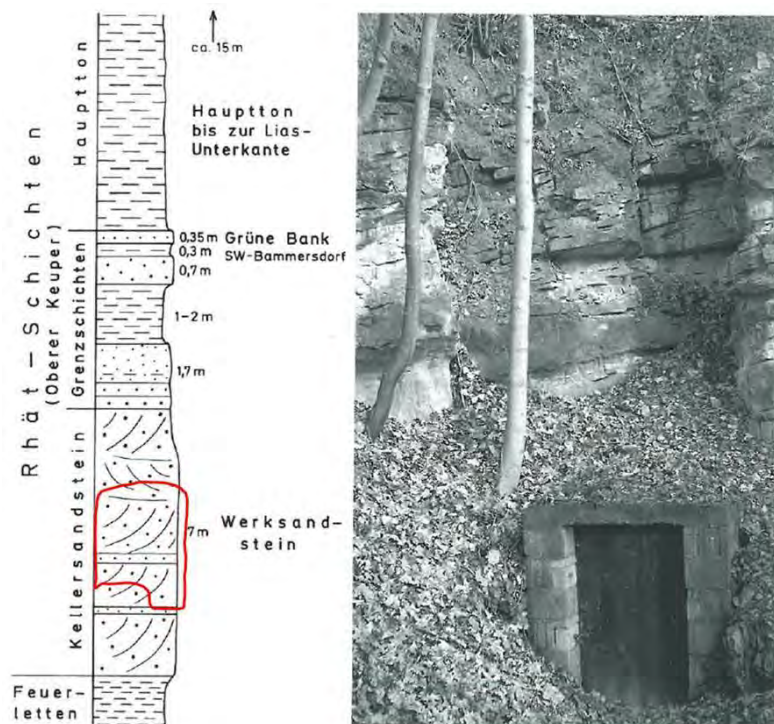


Abbildung 5: Von Rolf K. F. Mayer zusammengestelltes, beispielhaftes Profil des untern Kellersandsteines, mit einem Aufschlussfoto am Schweizerkeller nordöstlich von Reuth. Der dickbankige, hier Werksandstein genannte Sandstein ist mit sieben Meter Mächtigkeit angegeben. Darüber liegen die sogenannten Grenzschichten. Dabei handelt es sich um dünnbankige Wechselfolgen aus Sandstein und Tonstein (im rechten Aufschlussfoto im oberen Bild Drittel sichtbar). Insgesamt summiert sich die Sandsteinabfolge auf etwa 10 Meter Mächtigkeit, bevor der überlagernde Hauptton einsetzt. Die Schichtabfolge am Rappenkeller sollte mit diesem Profil weitgehend vergleichbar sein. Zur Veranschaulichung der Dimensionen wurde ein ungefährer Querschnitt des Rappenkellertunnels an der angenommenen Position ins Profil gezeichnet (aus: MAYER, R.,K.,F., SCHMIDT-KALER, H., 1992).

## 2.2 Aufnahme der Klufflächen im Rappenkeller

Der Tunnel des Rappenkellers wird von einer Vielzahl meist weitstehender, vielfach vermauerter Klüfte durchschlagen. Die Klüfte stehen überwiegend senkrecht oder haben steiles Einfallen. Ihr Verlauf ist an den Schnittflächen mit Decke, Wand und Boden des Tunnels gut ablesbar. Im Falle von Klüftkreuzungen im Deckenbereich ergeben sich stellenweise mehr oder weniger frei geschnittene Deckenpartien, die eine Einsturzgefahr bergen könnten (vgl.: Abbildung 6). Es war zu klären, woher



diese Klüfte stammen, ob sie im Zusammenhang mit dem Tunnelvortrieb stehen könnten und ob sie sich eventuell durch hangparalleles Gleiten der Sandsteinschichten in ihren Öffnungsweiten verändern.

Im Zuge unserer Untersuchungen wurden die Klufflächen im Rappenkeller mit dem Freiburger Kompass vermessen und in die Deckenabwicklung des im Rahmen des Forschungsprojektes erstellten Laserscans eingetragen. Neben der Raumorientierung der Klüfte wurden auch deren Öffnungsweite, der Grad der vorhandenen Vermauerung, und - soweit vorhanden - die ablesbaren Relativbewegungen der Klufflächen zueinander aufgenommen. Die gesammelten Daten von 46 Klüften wurden aufgelistet und möglichst genau in eine digitale Kartierung übertragen. In stereographischen Projektionen im Schmittschen Netz wurden die Klufflächenlagen in Form von Großkreisen mit zugehörigen Flächenpolen dargestellt.

Zusätzlich zu den Klüften wurden auch Risszonen im Deckenbereich kartiert. Hierbei handelt es sich um Risse im Fels, die offensichtlich nach Erstellung des Tunnels entstanden sind. Ihre Öffnungsweiten liegen im Bereich von ein bis drei Zentimetern, die Risslängen meist unter zwei Metern.



Abbildung 6: Weitstehende, meist steil einfallende Klüfte, die den Sandstein in verschiedenen Längs- und Querrichtungen zerstückeln, beeinträchtigen die Stabilität der Tunneldecke. Im Bild ist die Längskluft an der Tunneldecke weitgehend mit Mörtel verschlossen.

Die Kartierung der Klüfte, Risse und Ausmauerungen im Rappenkeller ist in Abbildung 7 dargestellt.

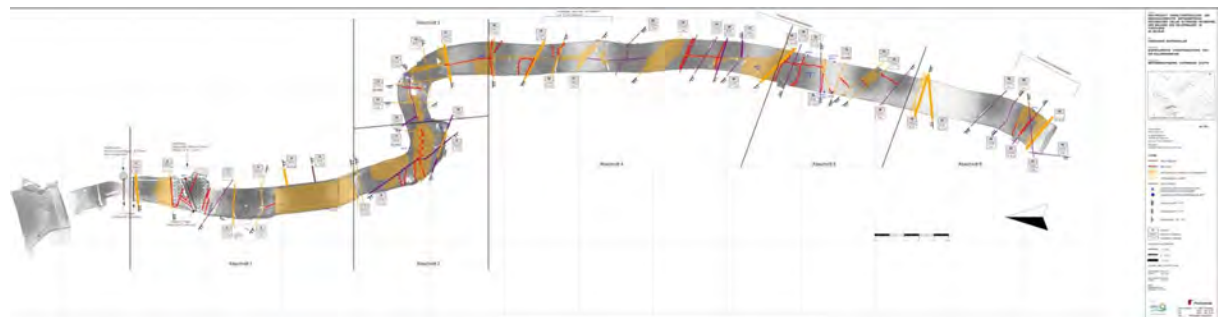


Abbildung 7: Kartierung der offenen (violett) und vermauerten (gelb) Klüfte im Rappenkeller. Rote Linien markieren Risse in der Kellerdecke.

Das Einfallen der Klüfte im Rappenkeller ist durchwegs sehr steil. Die gemessenen Einfallswinkel liegen zu 90% im Bereich zwischen 80° und 90° (90° Einfallen entspricht senkrechte Lagerung). Aus den stereographischen Projektionen lassen sich vier Hauptrichtungen ablesen, die in Abbildung 8

explizit markiert wurden. Hinsichtlich der unten erläuterten Entstehungsgeschichte, werden die Kluftrichtungen als Längsklüfte, Querklüfte und Diagonalklüfte bezeichnet.

Streichrichtungen der Klufflächenscharen im unteren Kellersandstein, gemessen im Rappenkeller mit abnehmender Häufigkeit (Die Farbgebung bezieht sich auf Abbildung 8):

Längskluftrichtung (rot): 134° SE  
 Diagonalkluftrichtung 1 (grau): 85° ENE  
 Diagonalkluftrichtung 2 (blau): 115° SE  
 Diagonalkluftrichtung 3 (grün): 5° N

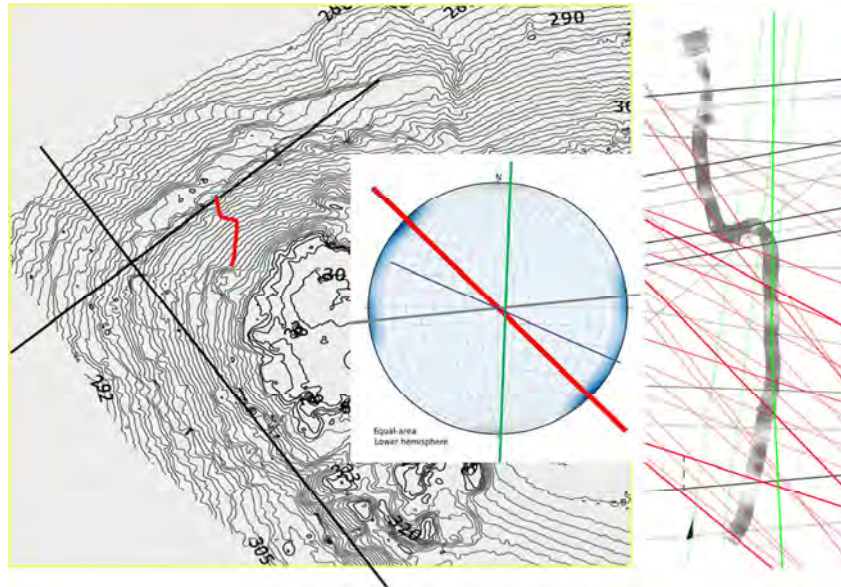


Abbildung 8: Höhenmodell mit ungefähigem Verlauf des Rappenkellertunnels (rot). Die schwarzen Linien markieren die Streichrichtungen der südwestlichen und nordwestlichen Hangkanten des Kellerberges. Im Stereogramm sind die Hauptkluftrichtungen der Kluftrichtungen im Rappenkeller projiziert. Rechts daneben die extrapolierten Kluftrichtungen im unteren Kellersandstein, entsprechend der Kartierung im Rappenkeller.

Es ist dem Nord-Süd gerichteten Verlauf des Rappenkellers geschuldet, dass die Diagonalkluftrichtung 3 eine vergleichsweise geringe Häufigkeit aufweist. In der Extrapolation in Abbildung 8 wird deutlich, dass diese nordwärts gerichtete Kluftrichtung ähnlich engständig ist wie die Längskluftrichtung, jedoch aufgrund des Tunnelverlaufs nicht oft geschnitten wird.

Bei der Vermessung wurde deutlich, dass an den Klüften im Rappenkeller nahezu keine Relativbewegungen der beiden Flankenflächen zu beobachten sind. In den Klufflächen sind auch keine Scherungs- oder Kompressionsspuren zu erkennen. Offensichtlich handelt es sich um reine Weitungs- oder Expansionsklüfte, die sich in geologischer Vergangenheit, während der Entlastung des Sandsteinpaketes im Zuge der tektonischen Heraushebung und Erosion der überlagernden Gesteinsschichten auftraten. Diese Hebung setzte mit der Oberen Kreide (ca. 90 Millionen Jahre vor heute) ein. Die überlagernden Schichten hatten damals eine Mächtigkeit von mindestens vierhundert Metern (SCHIRMER, W., 2008).

Nachdem an den Kluffstrukturen im Rappenkeller keine rezente Bewegung sichtbar ist, kann man auch festhalten, dass sich die Felsen im Innern des Rappenkellers seit dem historischen Tunnelvortrieb nicht an einem Hanggleiten oder einem Abgleiten in Hangrichtung beteiligt haben. Bedenkt man die vergleichsweise trockene Situation im Rappenkeller und die Überdeckungslast des Haupttones, so wird klar, dass sich derartige Bewegungen theoretisch nur im äußersten, oberflächennahen Kellerhals abspielen können.

Gleichzeitig wird aber in Abbildung 8 deutlich, dass sich die Hangkanten des Kellerberges, die sich vorwiegend im Pleistozän geformt haben (KRUMBECK, L., 1956) sehr wohl an den Kluftrichtungen des unteren Kellersandsteines orientieren. So verläuft die nach Forchheim weisende, südwestliche

Hangkante parallel zu den Längsklüften. Der Hang der unteren Kellerstraße streicht mit etwa 50° NE exakt in der Querklufttrichtung.

Die Kluffverteilung im unteren Kellersandstein entspricht den allgemeinen Klufftrichtungen in der nördlichen Frankenalb (MAYER, R., K.,F., SCHMIDT-KALER, H., 1992, BAIER, A. & HOCHSIEDLER, TH., 1990). Aufgrund einer Südwest-Nordost gerichteten Einengungstektonik hat sich über weite Zeiträume des Mesozoikums bis hin zur Mittleren Kreide (90 Mio. v. heute) die Nordwest-Südost gerichtete Hollfeld-Veldensteiner-Mulde geformt. Im Zuge derartiger Einengungstektonik bilden sich in Sedimentgesteinen Muldenachsen-parallele Längsklüfte, dazu senkrecht gelagerte Querklüfte und zusätzliche Diagonalklüfte aus (vgl. Abbildung 9). In Abbildung 10 wird die Hauptklufftrichtung aus der Kluffvermessung im Rappenkeller mit der Lage der Hollfelder Mulde in Beziehung gesetzt. Die Benennung der Klüfte im unteren Kellersandstein erfolgte entsprechend dem Kluffflächengefüge der Hollfeld-Veldensteiner Mulde.

Aus der Extrapolation in Abbildung 8 wird ersichtlich, dass die Vielzahl an offenen Klüften im unteren Kellersandstein ein veritables Problem für den Tunnelvortrieb darstellen musste. Besondere Probleme mit der Statik des Tunnels entstanden, wenn sich die Klüfte im Tunnelbereich schneiden und dadurch an der Tunneldecke tortenstückförmige Felskeile frei stehen lassen. Aus den Beobachtungen im Rappenkeller lässt sich erkennen, dass diese Problemstellen oftmals bereits im Zuge des Tunnelvortriebs, mittels Felsabnahme und Ausmauerungen mit anstehendem Sandsteinblockwerk bearbeitet worden sind.

Wenn sich auch an den Kluffflächen selbst seit dem Tunnelbau offenbar nichts bewegt hat, so sind die Problemstellen, die sich damals auftraten, immer noch vorhanden. Besondere Schwachstellen der Deckenstabilität sind an den sichtbaren und nicht bearbeiteten Bruchstrukturen und an Bruchstrukturen in alten Ausmauerungen zu erkennen. Die auffallendsten Stellen dieser Art wurden als „Bruchzonen“ bezeichnet. Diesen Strukturen sollte man für die Bewertung der Standsicherheit des Rappenkellers besondere Aufmerksamkeit schenken.

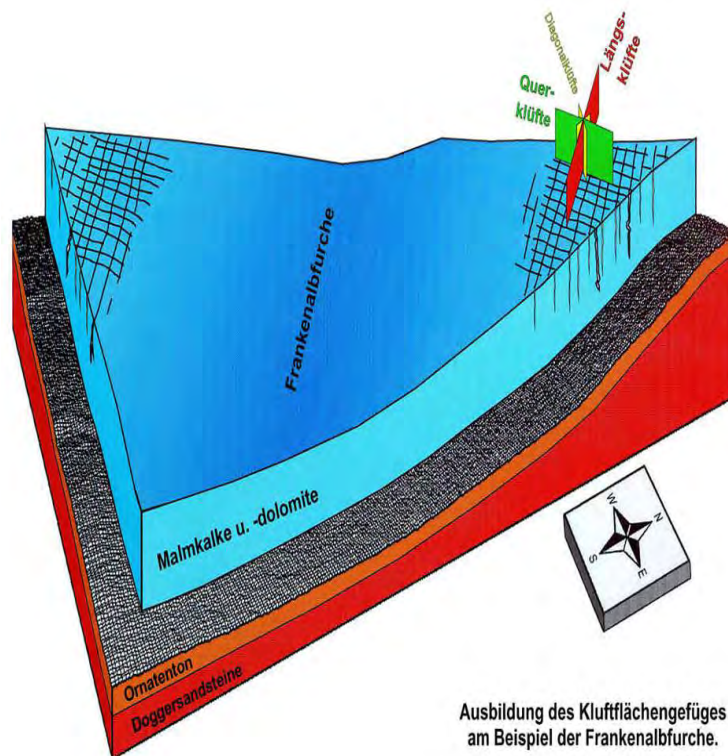


Abbildung 9: Im Zuge der Muldenkompression entstandenes Kluffflächengefüge in den Malmformationen am Druidenhain bei Wohlmannsgesees (aus: BAIER, A. & HOCHSIEDLER, TH., 1990).



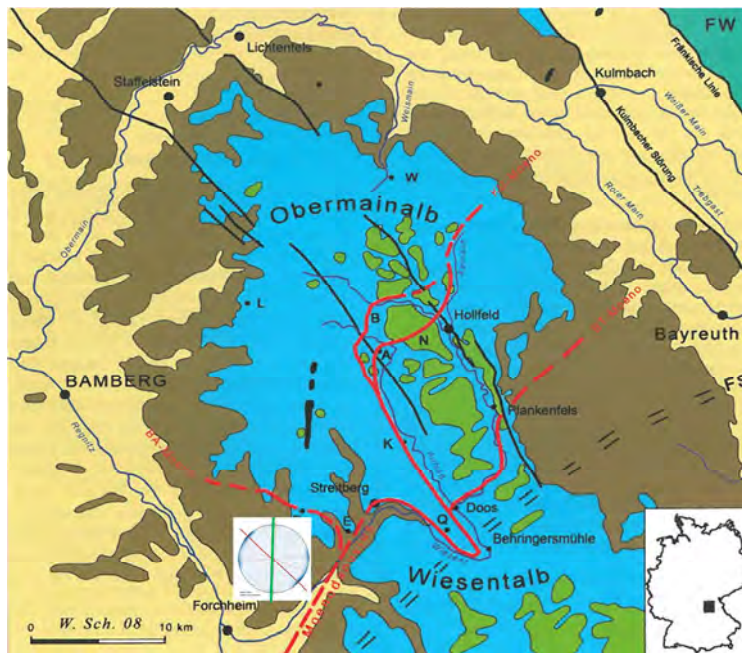


Abbildung 10: Nördliche fränkische Schweiz mit der Einmündungsachse der Hollfelder Mulde, der Kulmbacher Störung, der Fränkischer Linie und dem Regnitztal (Regnitztalstörung) (schwarze Linien). Ebenso wie die Hauptkluftrichtung im Sandstein des Rappenkellers (Stereogramm) folgen sie der rhenoheryzynischen Richtung NW - SE. (Abbildung abgeändert aus (SCHIRMER, W., 2008).

### 2.3 Bestimmung der mechanischen und feuchtetechnischen Gesteinseigenschaften

Zur Untersuchung der physikalischen Eigenschaften des Sandsteines im Rappenkeller wurden im Trockenbohrverfahren repräsentative Bohrkern entnommen. An ihnen wurden Entnahmefeuchte, Sättigungefeuchte, Salzgehalte, dynamischer E-Modul und Druckfestigkeit im trockenen und bergfeuchten Zustand gemessen.

#### 2.3.1 Ergebnisse zu Wassergehalt und Durchfeuchtungsgrad:

Die maximale Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck (Sättigungefeuchte) liegt bei den Sandsteinproben der Bohrkern - es handelt sich hierbei um mittelkörnige und grobkörnige Varietäten - im Bereich zwischen 10 und 12 M.-%. Die Feuchtigkeitsgehalte sind im Tiefenprofil mehr oder weniger ausgeglichen. Die Wassergehalte des bergfeuchten Materials liegen zwischen vier und sieben Massenprozent, woraus sich Durchfeuchtungsgrade zwischen 30 und 60% berechnen.

Der Sandstein im Rappenkeller – dies gilt zumindest für den hinteren Bereich ab Abschnitt 3 - ist also nicht vollständig durchnässt. Andererseits liegen die Werte aber auch weit über den Möglichkeiten der hygrokopischen Wasseraufnahme aus der Luft, die sich für vergleichbare Sandsteine im Bereich zwischen 0,1 und einem Gewichtsprozent bewegen. Der vorhandene Durchfeuchtung ist für den Bereich der "ungesättigten Zone", in dem Sickerwasser weiterverteilt werden, der aber außerhalb des direkten Grundwassereinflusses liegt, gut denkbar. Die Feuchteaufnahme über Kondensation aus der Raumluft scheint für die Feuchteverteilung im Fels ohne größere Bedeutung zu sein.

Es ist darauf hinzuweisen, dass in den inneren Tunnelabschnitten eine starke Überdeckung mit den dichten Tonlagen des Haupttons vorhanden sein sollte. Diese dichte Überdeckung dürfte der Grund dafür sein, dass der Fels vergleichsweise trocken ist, die Klüfte offen stehen und nicht mit Erde oder Lehm zugespült sind.

#### 2.3.2 Salzbelastung:

Die Untersuchungen ergaben, dass im repräsentativen, anstehenden Sandstein des Rappenkellers keine bauschädlich relevanten Salzbelastungen vorhanden sind. Interessanterweise ist die Ionenfracht wasserlöslicher Salze im Oberflächenbereich der Kellerwand niedriger als in größeren



Tiefen. Vermutlich ist die Kondensatbildung an den Kellerwänden hoch genug, um oberflächennah eine Verdünnung der natürlichen Ionenfacht des Sickerwassers zu bewirken.

### 2.3.3 Dynamischer E-Modul, Druckfestigkeiten:

Das Sandsteinmaterial liegt bezüglich seiner mechanischen Bindungskraft deutlich unter dem Festigkeitsniveau einer heutzutage als werksteintauglich angesehenen Qualität (vgl.: Tabelle 1).

Tabelle 1: Materialtechnische Eigenschaften des Werksandsteins Rappenkeller. Druckfestigkeit trocken: 1-4N/mm<sup>2</sup> Anzahl der Messungen: trocken 3; bergfeucht 5.

	BK01	BK02	BK03
Bezeichnung	Werksandstein	Werksandstein	Werksandstein
Farbe	weiß	weiß,- braun gefleckt	weiß,- braun gefleckt
Körnung	mittel	grob	grob
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,95	1,65	
Durchfeuchtung [%]	65	50	50
dyn-E. (trocken) [N/mm <sup>2</sup> ]	5000	3300	
<b>Druck. (trocken) [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>3,5</b>	<b>1,3</b>	
dyn-E. (bergfeucht) [N/mm <sup>2</sup> ]	2000	1000	1400
<b>Druck.(bergfeucht) [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>

## 3 Bauernkeller

### 3.1 Position des Bauernkellers im Forchheimer Kellerwald

Der Bauernkeller ist der westlichste Keller der unteren Kellerstraße. Sein Eingang befindet sich unmittelbar vor der umbiegenden Hangkante im Übergang vom Nord- zum Westhang. In diesem Bereich biegt die untere Kellergasse nach rechts ab, abwärts nach Forchheim zu. Der Bauernkeller ist in mehrfacher Hinsicht ein Keller mit Grenzlage. Er befindet sich am Übergang zum Westhang, am Ende des Waldes mit direkt angrenzender offener Wiese und nachfolgender Siedlungsbebauung; er ist der westlichste Keller der unteren Kellergasse und des gesamten Forchheimer Kellerwaldes.

Geologisch befindet sich der Bauernkeller, ebenso wie der Rappenkeller im unteren Kellersandstein des Forchheimer Kellerwaldes. Auch die Lageposition in der Sandsteinschicht entspricht der des Rappenkellers. Die Ergebnisse der petrographischen Ansprache sind ebenfalls gleichwertig. Feinsandig, tonige Schichtungen im Bereich der Kellerdecke wurden im Bauernkeller nicht angetroffen. Der Sandstein an den Stollenwänden und -Decken ist durchwegs kreuzgeschichtet, mittel bis grobkörnig und dickbankig kompakt.

### 3.2 Aufnahme der Klufflächen im Bauernkeller

Wie auch im Rappenkeller sind die Klüfte im Bauernkeller weitständig mit Öffnungsweiten zwischen 3 und 20 Zentimetern. In Eingangsnähe, mit vergleichsweise geringer Felsüberdeckung sind die Klüfte meist mit Lehmmaterial verfüllt und vielfach stark durchwurzelt. In den hinteren Kellerabschnitten sind sie überwiegend frei. Doch auch in den hinteren Kellerbereichen wirkt sich - im Vergleich zum Rappenkeller - die geringere Überdeckung in Form häufigerer Durchfeuchtung und Verfüllung der durchwegs steil stehenden Klüfte aus.

Auch im Bauernkeller lassen sich keine "nach- bauzeitlichen" Relativbewegungen an den Klüften erkennen. Eine historisch- rezente Bewegung seit dem Kellerbau, im Zuge eines Hanggleitens oder anderer Felsbewegungen, wird auch im Bauernkeller an den Klufflanken nicht offensichtlich.

Die Orientierung der Kellergänge nimmt offenbar keine Rücksicht auf den Verlauf der Klüfte. Vergleichsweise wenige Klüfte sind vermauert, diese meist bauzeitlich mit Sandsteinmaterial. Weite Deckenflächen und gleichzeitig kreuzweise überschrittene, offen stehende Klüfte führen insbesondere an Stollenabzweigen zu statischen Problemen. Sie zeigen sich in durchlaufenden Rissen an der Decke, abplatzenden Deckenzwickeln, abgesenkten Deckenpartien und - aufgrund von Überdrückung

- im Ausplatzen von Wandfüßen (vgl.: Abbildung 11). Stollenbereiche mit derartigen "rezenten" Bewegungsspuren wurden in der Kartierung als "gefährdeter Bereich" markiert. Im südöstlichsten Bereich des Bauernkellers hat sich in der Vergangenheit ein massiver Versturz ereignet, der durch Ausmauerungen und Tunnelsperrungen gesichert worden ist (vgl.: Abbildung 12).



Abbildung 11: Häufige Riss- und Bruchstrukturen im Deckenbereich weisen auf statische Überbeanspruchungen hin.



Abbildung 12: Blick nach oben in den mit Ziegelausmauerung gesicherten Versturzbereich. Im Hangenden stehen instabile Wechsellagerungen aus beigen Feinsanden und grauen Tonen an. Die Höhenlage dieser Schichten beginnt etwa bei vier Meter über dem Stollenboden. Der gesamte Ausbruch reicht bis in sechs Meter Höhe.

### 3.2.1 Ergebnisse der Kluftrmessungen:

Analog zur Vorgehensweise im Rappenkeller wurden die offenen Klüfte im Bauernkeller mit dem Freiburger Kompass vermessen und in den Plan der Deckenansicht eingetragen (vgl.: Abbildung 13). Die gemessenen Einfallswinkel liegen überwiegend im Bereich zwischen 85° und 90° (90° Einfallen entspricht senkrechte Lagerung). Die am flachsten einfallenden Klüfte wurden mit 75° und 80° Einfallen nach West gemessen. Ein Zusammenhang dieser flacheren Klüftung mit Verkippungen der Felsmassen im Zuge eines Hangrutschens ist an dieser Stelle denkbar. Die Flanken der Klüfte zeigen aber auch hier, dass sich nach dem Tunnelvortrieb keine Massenbewegungen vollzogen haben.

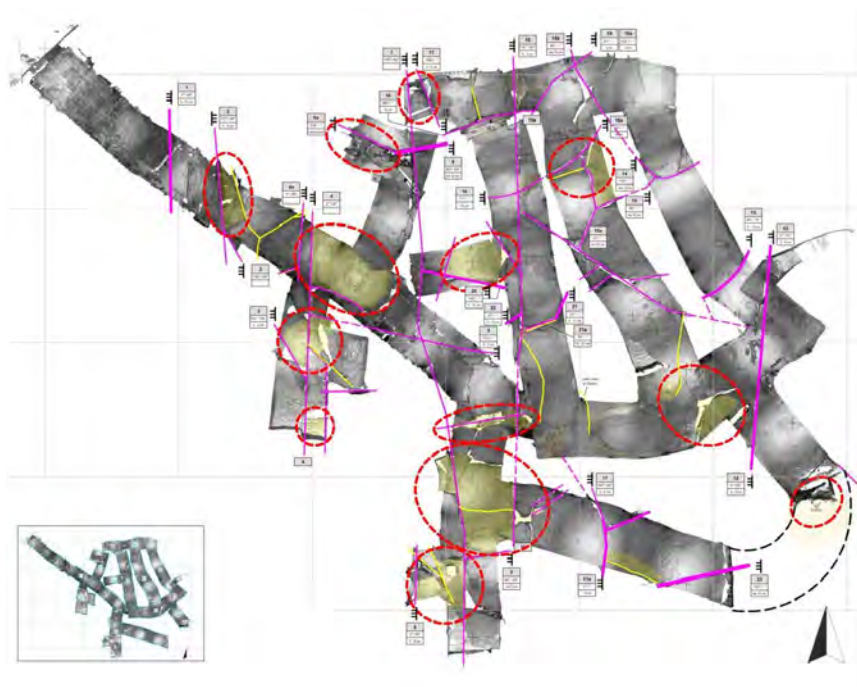


Abbildung 13: Die Kartierung im Bauernkeller ohne Legende. Besonders gefährdete Bereiche sind rot eingekreist. Klüfte magenta, Risse und Absenkungen gelb.

In stereographischen Projektionen im Schmittschen Netz wurden die Klufflächenlagen in Form von Großkreisen mit zugehörigen Flächenpolen dargestellt. Aus den stereographischen Projektionen lassen sich für den Bauernkeller zwei bis drei Hauptrichtungen ablesen. Hinsichtlich der oben erläuterten Entstehungsgeschichte werden die Kluftrichtungen als Längsklüfte, Querklüfte und Diagonalklüfte bezeichnet. Die Streichrichtungen der Klufflächenscharen im unteren Kellersandstein, gemessen im Bauernkeller mit abnehmender Häufigkeit, betragen:

Diagonalkluftrichtung 3:	4° N
Querkluftrichtung:	70° SE
Längskluftrichtung :	155° NE.

Sowohl bei der Querkluftrichtung, als auch beim Schwerpunkt der Längskluftrichtung ergeben sich im Vergleich zum Rappenkeller Verdrehungen um 20° im Uhrzeigersinn. Im Rappenkeller dominiert die Längskluftrichtung bei 135° SE und die Querkluftrichtung wurde mit 50° NE angesetzt.

### 3.3 Bestimmung der mechanischen und feuchtetechnischen Gesteinseigenschaften

Die Geologisch- petrographischen Verhältnisse im Bauernkeller entsprechen denen im Rappenkeller. Es wurden daher diesbezüglich keine wiederholenden Untersuchungen im Bauernkeller vorgenommen. Es erscheint plausibel, die Ergebnisse aus den Bohrkernen im Rappenkeller auf den Bauernkeller zu übertragen.

## 4 Weiß-Tauben-Keller

### 4.1 Position der oberen Bierkeller im Forchheimer Kellerwald am Beispiel Weiß-Tauben-Keller

Der Weiß-Tauben-Keller ist - wie auch die übrigen Keller der oberen Kellergasse - in die jurassischen Sandsteine des Lias Alpha 1 und 2 gegraben. Im Vortriebsbereich der Keller steht vorwiegend mittel bis grobkörniger, massiver, grauweiß oder braun-ockerfarbener Werksandstein mit der typischen Kreuzschichtung eines schnell sedimentierten Deltasandsteines an. Im Deckenbereich greifen die etwas höheren Stollenscheitel in die überlagernden Übergangsschichten der Pflanzentone ein (vgl.: ). Diese Schichten sind im Weiß-Tauben-Keller meist über Deckenabstürze aufgeschlossen.



Abbildung 14: Aufschluss der Werksandsteine und Pflanzentone am Beispiel des Königsbruchs südlich der Jägersburg. "Der massige Werksandstein unten wird von sandigen Pflanzenton, die eine Hohlkehle bilden, abgelöst" (Mayer et al., 1992). Darüber eine weitere, massive Sandsteinbank mit Werksteinqualität. An der bewaldeten Oberfläche enden die Sandsteine des Lias Alpha 1+2. Es beginnen die Tonsteine des Lias Beta. □□ Hier, wie auch über dem Weiß-Tauben-Keller, sind diese Tone vollständig abgetragen. Abgesehen von der deutlich massiveren Ausprägung der oberflächennahen Sandsteinbank entspricht die Abfolge vom nahe gelegenen Königsbruch sehr gut der Situation an der oberen Kellergasse. Die Lage der Bierkellerstollen mit hohen und niedrigen Decken ist im Sandsteinpaket mit gestrichelten Linien angedeutet. (Foto aus Mayer et al., 1992).

Die gesamte Abfolge wird Werksandstein und Pflanzentone, auch Gümbelscher Sandstein, Arietitensandstein, oder Sandsteine im Hangenden genannt (WEINIG, H., ET AL 1984). Seit 2002 lautet die offizielle stratigraphische Bezeichnung für diese Sandsteine "Bayreuther Formation" (SCHIRMER, W., 2008). Ihre Mächtigkeit beträgt 8 bis 10 Meter und reicht bis zur Verebnungsfläche am Plateau des Annabergeres.

### 4.2 Beobachtungen zum Faziesübergang im Deckenbereich des Weiß-Tauben-Kellers

In Abbildung 15 ist die Höhenlage der Stollen im Weiß-Tauben-Keller skizziert. Die Oberkante des massiven Werksandsteins wird im östlichen Bereich des Kellers von Tonbändern mit ein bis drei Zentimetern Dicke markiert. Zwischen diesen Bändern liegen meist feine Sandsteine (20 – 40cm).

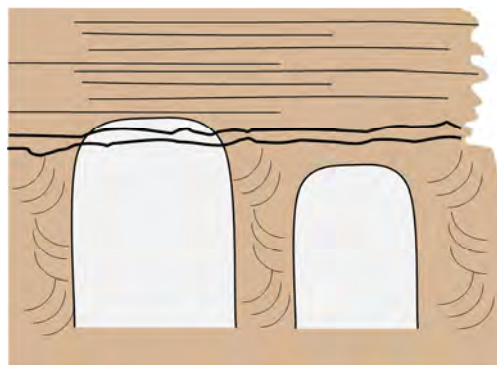


Abbildung 15: Lage der Stollendecken im Übergangsbereich zu auflagernden, sandigen Pflanzenton. Massiver, kreuzgeschichteter Werksandstein unten und dünnbankige, feine Sandsteine oben mit angedeutetem Verwitterungsprofil rechts. Markante, graue Tonbänder (in der Abbildung schwarz) markieren nur im östlichen Kellerbereich die Obergrenze der Werksandsteine. An Kellerstollen mit niedriger Deckenhöhe, die ausreichenden Abstand zu den dünnbankigen Übergangsschichten einhalten, sind keine Deckenabstürze vorhanden.



Darüber folgt ein vergleichsweise grober Sandstein. Im westlichen Kellerbereich fehlen die Tonbandmarker. Im fließenden Übergang folgen oberhalb des Werksandsteins dünnbankige, pelagisch- marine Feinsandlagen (Strandfazies) mit 5 – 50 cm Lagendicke und zwischengeschalteten, hellgrauen, tonigen Glimmerlagen (0,1 – 1cm). Die typischen Sandsteinabfolgen des östlichen und westlichen Kellerbereiches sind in Abbildung 16 und 17 dargestellt. Die Lage der Übergangsschichten wurde in allen Kellerbereichen mit dem Freiburger Kompass vermessen und ins Schmidtsche Netz eingezeichnet. Die Schichtflächen liegen horizontal.



Abbildung 16: Östliche Fazies der Übergangsschichten im nördlichen Begleitgang. Der Durchgang bleibt im Bereich des Werksandsteins. Der Raum selbst ist über die markanten, schwarz ausbeißenden Tonlagen hinweg bis an eine grobkörnige, stabile Sandsteinlage gearbeitet.



Abbildung 17: Westliche Fazies, Einsturzbereich am Ende des Hauptganges. Auf den ausgearbeiteten Werksandstein folgen ohne markante Trennschicht feinere, geschichtete Sandsteine mit grauen Glimmerzwischenlagen. An den durch einen Abbruch freigelegten Trennflächen sind die Rippelmarken der strandnahen Sedimentation zu erkennen (Pfeil).

### 4.3 Aufnahme der Klufflächen im Weiß-Tauben-Keller

Im Vergleich mit der Situation im unteren Kellersandstein finden sich im Weiß-Tauben-Keller deutlich weniger offene Klüfte. Auch die Öffnungsweiten der Klüfte sind zumeist geringer (vgl.: Abbildung 18). Darüber hinaus fällt auf, dass die Öffnungsweiten der vorhandenen Klüfte vielfach sehr ungleichmäßig aushaltend sind. Das bedeutet, dass eine Kluft an der einen Wand mehrere Zentimeter offen stehen kann und bereits an der gegenüberliegenden Wand vollkommen geschlossen ist.

Die ungleichmäßigen Öffnungsweiten ergeben sich aus der Dynamik der Klufftentwicklung. Es handelt sich im Gegensatz zu den offenen Extensionsklüften im Rappenkeller (Längsklüfte der Hollfeld –

Veldensteiner Mulde) hier im Weiß-Tauben-Keller vorwiegend um schräg zur Kompressionsrichtung liegende Scherklüfte (Diagonalklüfte). Das Einfallen aller Klüftflächen ist nahezu senkrecht. Nord-Süd verlaufende Klüfte sind tendenziell leicht nach Osten geneigt.

Auch im Weiß-Tauben-Keller lassen sich keine "nach- bauzeitlichen" Relativbewegungen an den Klüften erkennen. Eine historisch rezente Bewegung seit dem Kellerbau, im Zuge eines Hanggleitens oder anderer Felsbewegungen, ist demnach auszuschließen.



Abbildung 18: Hauptstollen; In einigen Kellerbereichen finden sich über mehrere Meter Strecke keine offenen Klüfte. Geschlossene Klüfte sind vielfach an Feuchteustritt und feinen Durchwurzelungen zu erkennen (Pfeil).

Aufgrund des geringen Abstandes zwischen Stollendecke und Waldboden (etwa 5m) ist ein Großteil der Klüfte mit Schluff und Wurzelwerk verfüllt. Aufgrund der abweichenden rheologischen Eigenschaften und der vielfach wechselnden Schichtmächtigkeiten in den Übergangsschichten oberhalb der Werksandsteine bilden sich in diesen eigenständige Kluftsysteme aus (vgl.: Abbildung 19). Die Klüfte im Weiß-Tauben-Keller sind nur sehr selten mit Mörtel verschlossen.



Abbildung 19: Die senkrechte Kluft in der Stollenwand (massiver Werksandstein) endet an einem dunklen Tonband und setzt sich im hangenden Sandstein der Übergangsschichten nicht mehr fort.

#### 4.4 Ergebnisse der Kluftmessungen:

Analog zur Vorgehensweise im unteren Kellersandstein wurden die offenen Klüfte im Weiß-Tauben-Keller mit dem Freiburger Kompass vermessen und in den Plan der Deckenansicht eingetragen (vgl.: Abbildung 20). Die gemessenen Einfallswinkel liegen alle im Bereich zwischen 85° und 90° (90° Einfallen entspricht senkrechte Lagerung). In stereographischen Projektionen im Schmittschen Netz

wurden die Klufflächenlagen in Form von Großkreisen mit zugehörigen Flächenpolen dargestellt. Aus den stereographischen Projektionen lassen sich zwei Hauptrichtungen ablesen. Hinsichtlich der oben erläuterten Entstehungsgeschichte werden die Kluftrichtungen als Längsklüfte, Querklüfte und Diagonalklüfte bezeichnet. Die Streichrichtungen der Klufflächenscharen im oberen Kellersandstein, gemessen im Weiß-Tauben-Keller mit abnehmender Häufigkeit, betragen:

Diagonalkluftrichtung 3:        5° N  
 Diagonalkluftrichtung 2:        115° SE

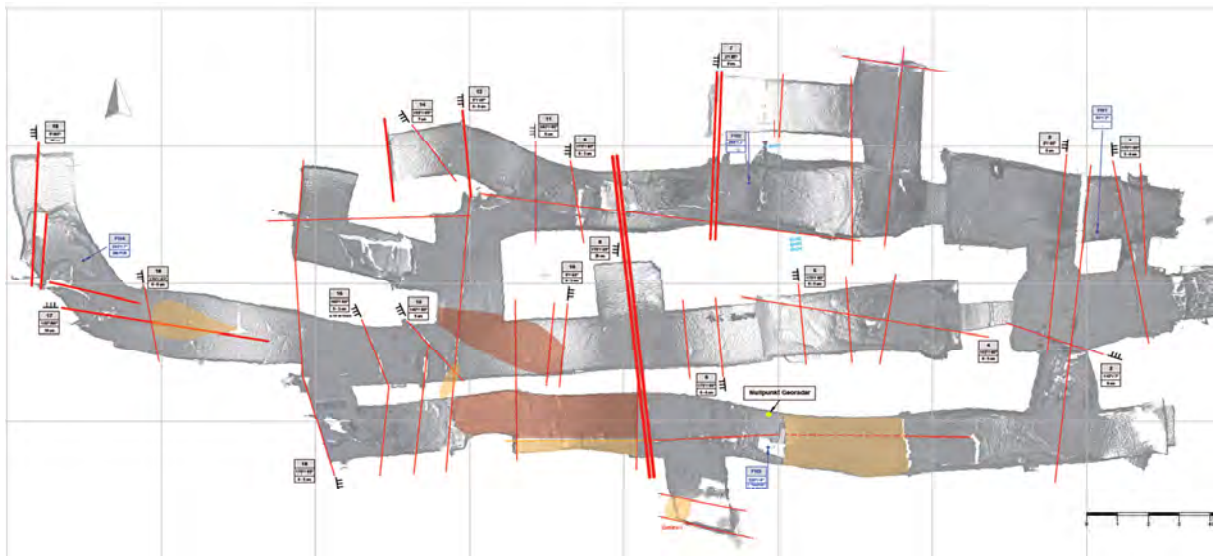


Abbildung 20: Ausschnitt aus der Kartierung der Klüfte im Weiß-Tauben-Keller, wichtige Klufflächen rot, Deckenausmauerungen hellbeige.

Die Stabilität der Stollendecken wird, wie oben erläutert, durch ihr Eingreifen in oder ihre Annäherung an die Übergangsschichten herabgesetzt. Eine zusätzliche Beeinträchtigung der Deckenstabilität ergibt sich, wenn im Deckenbereich neben den Nord-Süd verlaufenden Diagonalklüften 3 auch noch eine zusätzliche, weitständige Diagonalkluft 2 in Stollenrichtung verlaufend kreuzt. In Bereichen mit dieser Zusatzbeeinträchtigung sind großflächige Deckenabbrüche erfolgt, beziehungsweise unterstützende Deckenausmauerungen notwendig geworden. Möglich ist auch, dass hier instabil gewordene Deckenbereiche abgenommen worden sind. Die auffälligen Höhenunterschiede an den Stollendecken im Weiß-Tauben-Keller weisen in jedem Fall darauf hin, dass man bereits bauzeitlich auf diese Stabilitätsdefizite reagiert hat.

#### 4.5 Bestimmung der mechanischen und feuchtetechnischen Gesteinseigenschaften

In Analogie zur Vorgehensweise im Rappenkeller wurden im Weiß-Tauben-Keller, im ersten nördlichen Begleitgang Bohrkerne entnommen (vgl.: Abbildung 21).

##### 4.5.1 Ergebnisse zu Wassergehalt, Durchfeuchtungsgrad und Salzbelastung

Bezüglich der Wassergehalte im anstehenden Gestein ergibt sich eine grundlegende Differenzierung zwischen dem Werksandstein an den Stollenwänden und dem überlagernden Übergangsschichten, die teilweise an der Stollendecke aufgeschlossen sind. Während zur Zeit der Probennahme die Wassergehalte im Werksandstein mit Durchfeuchtungsgraden zwischen 35% und 55% als mäßig zu bezeichnen sind, sind die überlagernden Sandsteine oberhalb der Tonlagen nahezu vollständig mit Sickerwasser gefüllt. Die Tonlagen im Übergang zu den stärker geschichteten feineren Sandsteinen wirken demzufolge als eingeschränkter, weil häufig von Klüften durchbrochener, Grundwasserstauer. Auch die Analysen an den Bohrkernen des Weiß-Tauben-Kellers ergaben keinerlei Belastungen mit wasserlöslichen Salzen.



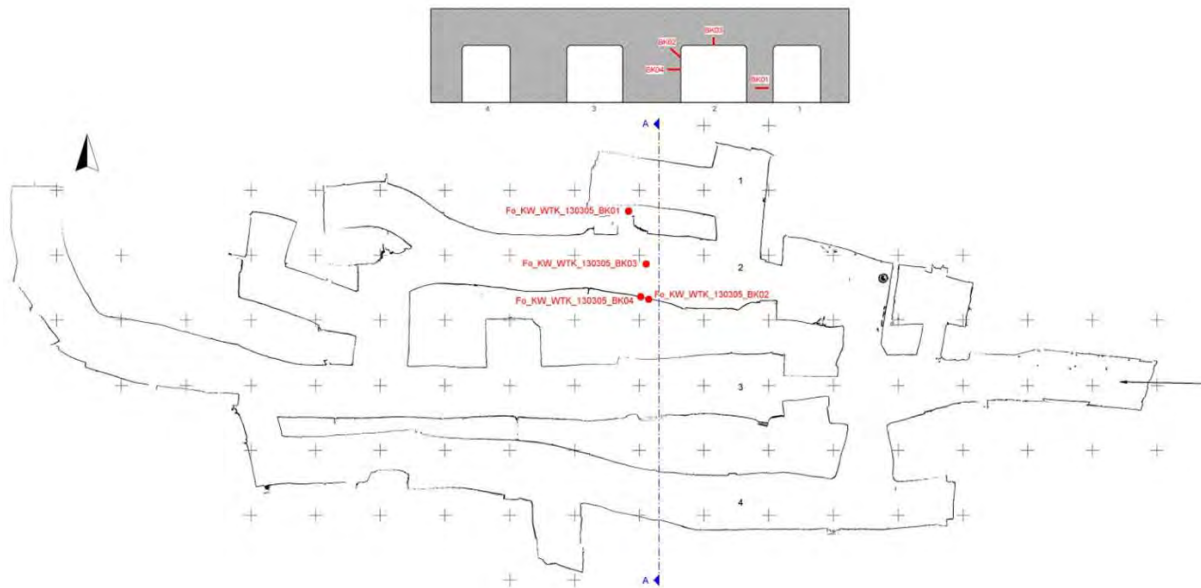


Abbildung 21: Grundriss Weiß-Tauben-Keller mit Lokalisierung der Bohrkernentnahmen.

#### 4.5.2 Ergebnisse zu den mechanischen Eigenschaften

Aus den entnommenen Bohrkernen vom Weiß-Tauben-Keller wurden Zylinderproben der Sandsteine für die Messung der mechanischen Eigenschaften (Dynamischer E-Modul) und Druckfestigkeit formatiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Sämtliche Bohrkern aus dem Weiß-Tauben-Keller wurden vor der Prüfung getrocknet.

Tabelle 2: Materialtechnische Eigenschaften der Sandsteine im Weiß-Tauben-Keller. Druckfestigkeit trocken: 2-8 N/mm<sup>2</sup>. Anzahl der Messungen trocken 6.

	<b>BK01</b>	<b>BK04</b>	<b>BK02/2</b>	<b>BK03</b>
Bezeichnung	Werksandstein	Werksandstein	Übergangs-sandstein	Übergangs-sandstein
Farbe	weiß - beige	beige	weiß-beige	beige
Körnung	grob	grob - mittel	fein	grob
Dichte [g/cm <sup>3</sup> ]	1,6	1,9	1,8	1,97
Durchfeuchtung [%]	30	50	90	95
dyn-E. (trocken) [N/mm <sup>2</sup> ]	6600	7800	8900	11100
Druck. (trocken) [N/mm <sup>2</sup> ]	8	1,7	7	(0,4)

#### 5 Vergleichende Darstellung der Kluftrosen in den drei untersuchten Bierkellern

Die Gegenüberstellung der Kluftrosen in Abbildung 22 zeigt, dass am Kellerwald für beide Kellersandsteine drei generelle Klufttrichtungen dominieren:

0-10°	N-S	Diagonalkluft
110-150°	SE	Längsklüfte
50-80°	NE	Quer- oder Diagonalkluft

Die Häufigkeit der jeweiligen Klüfte in den Kartierungen wird primär von ihrem Vorkommen im Fels bestimmt. Aber der individuelle Verlauf der Kelleranlagen führt zu sehr unterschiedlichen Schnittmengen mit den jeweiligen Klufttrichtungen. Hieraus ergibt sich in Abhängigkeit von der Tunnelrichtung eine starke Verzerrung im Bezug auf die Häufigkeitsangaben in den Kluftrosen. Aufgrund der unregelmäßigen Orientierung seiner Kellergänge wäre der Bauernkeller diesbezüglich als der repräsentativste der untersuchten Keller anzusehen.



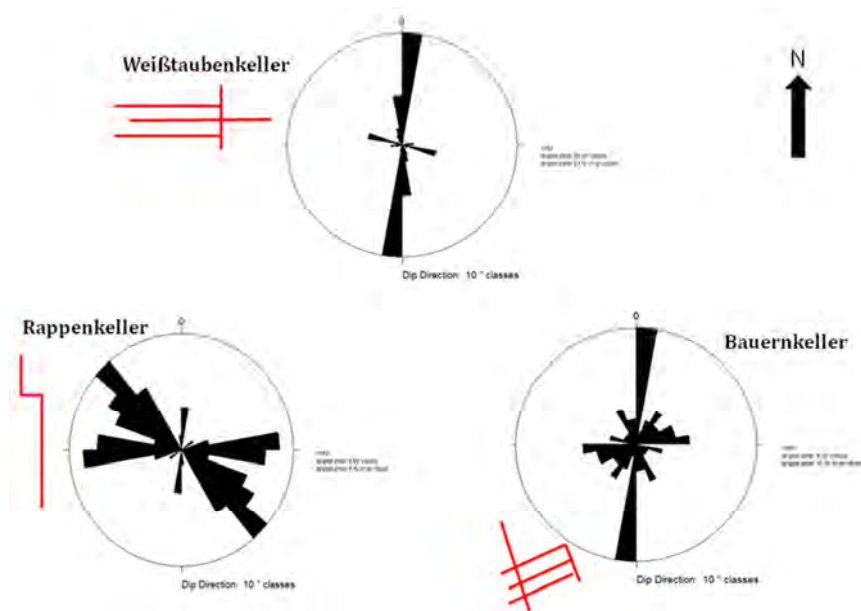


Abbildung 22: Kluffrosen im Vergleich; daneben schematisch der Verlauf der jeweiligen Kellerstollen. Die Anzahl der Gesamtmessungen sind ähnlich: Bauernkeller 42 Klüfte, WTK 48, Rappenkeller 45 Klüfte.

## 6 Literaturverzeichnis

- BANTZ, H., U. (1969): „Hangrutschung am Kellerberg bei Forchheim Ofr.“ In Geol. BL.NO-Bayern Geologische Blätter für Nordostbayern 19,1/2, S. 72-76. Erlangen.
- BAIER, A. & HOCHSIEDLER, TH. (1990): Der Druidenhain bei Wohlmannsgesees/Oberfranken -- Eine vermutete Kultstätte unter dem Aspekt klufftektonischer und bodenkundlicher Untersuchungen.- Geol. Bl. NO-Bayern 40, 1/2: 35-72, 15 Abb., Erlangen 1990.
- BECKER (2008): „Felsenkeller im Kellerwald Forchheim“. Stellungnahme zur gemeinsamen Kellerbegehung am 21.08.2008. Regierung von Oberfranken-Bergamt Nordbayern. Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:50000, Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1996.
- KRUMBECK, L. (1956): Geologische Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6232 Forchheim, mit Erläuterungen. Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- MAYER, R.,K.,F., SCHMIDT-KALER, H. (1992): „Durch die Fränkische Schweiz“. In: Wanderungen in die Erdgeschichte Band 5, Dr. Friedrich Pfeil Verlag, München 1992.
- SCHIRMER, W. (2008): „140 Millionen Jahre alte Geschichte der Fränkischen Schweiz“. In: Riffe, Wüsten und Vulkane in Oberfranken, Ausstellungskatalog des Fränkische-Schweiz-Museums, Band 14, Tüchersfeld 2008.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R., WEINELT, W. (1984): „Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern (Sandsteine des Rhät bzw. Rhätolias (714))“ In: Geologica Bavarica Band 86, S 262 – 266, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

**Prof. Dr. Stefan Breitling, Lena Klahr MA, Julia Müller MA**  
Otto Friedrich Universität Bamberg  
Institut für Archäologie, Bauforschung und Denkmalpflege  
Am Kranen 12  
96045 Bamberg

## **Bauforschung im Kellerwald Forchheim Dokumentation und Untersuchung des Rappenkellers, Weiß-Tauben- Kellers und des Bauernkellers**

### **Abschlussbericht**

#### **1. Einleitung**

Im Rahmen des DBU-Projekts wurden an ausgewählten Kellern des Forchheimer Kellerwaldes 2012 und 2013 bauhistorische Untersuchungen durch die Universität Bamberg durchgeführt<sup>1</sup>. Ziel war neben der Beschreibung und Benennung der Steinhauerwerkzeuge sowie des Herstellungsprozesses der Felsenkeller, vor allem die Identifizierung von Bauphasen innerhalb der einzelnen Keller, die Bewertung von bisherigen Sicherungsmaßnahmen (z.B. Entlastungsbögen, Ausmauerungen, Mörtelfüllungen), die Beurteilung von Schäden sowie die Klärung der Schadensursachen, die Identifizierung von Absturz gefährdeten Deckenelementen und die Festlegung der Sicherungsmaßnahmen sowie die Ausweisung von denkmalpflegerischen Schutzzonen. Darüber hinaus sollte eine kurze animierte Videosequenz erstellt werden, um das Projekt auf der Website der Stadt Forchheim zu präsentieren.

Die Voraussetzung zur Durchführung dieser Untersuchungen war neben der engen Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojektpartnern vor allem die aus 3D-Scans erzeugten Orthobilder, die als Grundlage für die Befundkartierung und die systematisierte Beschreibung im Befundbuch diente<sup>2</sup>. Die bisherigen Grundrisse aus den Katasterplänen der Stadt Forchheim zeigten sich bei genauerer Prüfung als unvollständig und ungenau, weshalb sie nicht als Grundlage der Untersuchungen herangezogen werden konnten.

Im Rahmen des Projektes wurden drei Felsenkeller untersucht: Der Rappen-Keller und der Bauern-Keller, die beide zu den unteren Kellern des Forchheimer Kellerwaldes gehören und der Weiß-Tauben-Keller, der zu der Gruppe der oberen Keller zählt. Der Bauern-Keller zeichnet sich zusätzlich noch durch seine Randlage aus. Für die bauhistorische Untersuchung ist diese Auswahl von besonderem Interesse, da sich die geologischen Gegebenheiten, mit denen die Erbauer beim Stollenvortrieb umgehen mussten, in allen drei Fällen unterscheiden. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Ausgangssituation war man somit zur Findung immer neuer Lösungen gezwungen, was sich in den Befunden widerspiegelt. Bei der methodischen Vorgehensweise war daher eine genaue Befundkartierung sowie Befunddokumentation grundlegend für die Untersuchung. Die Aufnahme und Benennung der Herstellungsspuren und der unterschiedlichen Befunde zur Nutzungsgeschichte der Keller trägt zum Verständnis dieser interessanten Bauwerke bei und hebt ihren kulturgeschichtlichen Wert hervor.

---

<sup>1</sup> Das Teilprojekt wurde vom Fachgebiet Bauforschung und Baugeschichte der Otto-Friedrich-Universität Bamberg unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Stefan Breitling übernommen. Die Kartierungen vor Ort und die regelmäßigen mündlichen Berichte wurden im Wesentlichen durch Lena Klahr und Julia Müller erarbeitet. Herzlicher Dank gebührt Herrn Rolf Sneathlage, der die Bauforschung in das Gesamtprojekt integrierte, Herrn Gerhard Zedler sowie der gesamten Bauabteilung der Stadt Forchheim, die als Kooperationspartner und Auftraggeber ihre Unterlagen zur Verfügung stellte, den Besitzern der Keller, die den Zugang zu den Objekten jeder Zeit ermöglichten sowie den Kollegen, hier insbesondere Herrn Rupert Utz von ProDenkmal, für anregende Diskussionen.

<sup>2</sup> Die Scans des Rappen-Kellers und des Weiß-Tauben-Kellers wurden durch Frank Bier angefertigt und durch die Uni Bamberg ausgewertet. Für den Bauernkeller wurde eine alternative und deutlich kostengünstigere Variante durch Lena Klahr erstellt.

Anhand von unterschiedlichen Bearbeitungsspuren, Stollengangquerschnitten, Nischenformen u. a. erfolgte die Abgrenzung einzelner Bauphasen. Neben der Kartierung der Befunde wurden auch die Absturz gefährdeten Bereiche eingetragen. Aufschlüsse hinsichtlich der Schäden und der Notwendigkeit von Sicherungsmaßnahmen konnten durch die Überlagerung der georeferenzierten Grundriss-Scans und einem 3D-Geländemodell mit dem Katasterplan der Stadt Forchheim gewonnen werden. Die bei den langen Aufenthalten in den Kellern gemachten Beobachtungen zu den Ursachen der Schäden, ihrem Alter und zur Frage nach ihrer Virulenz bildeten wichtige Grundlagen für die Entwicklung von nachhaltigen Erhaltungsstrategien.

## 2. Rappen-Keller

### 2.1 Aufbau und Zustand

Der Rappen-Keller gehört zu der Gruppe der unteren Keller des Forchheimer Kellerwaldes. Der Zugang erfolgt aus nördlicher Richtung<sup>3</sup>. Der Keller besteht aus einem in NS-Richtung verlaufenden Stollengang, der bis zu 64 m in den Felsen hineinreicht und sich über eine Gesamtlänge von 73 m erstreckt. Stichgänge schließen zusätzlich im Eingangsbereich nach Osten und etwa 9 m weiter hinten nach Westen an den Hauptstollen an. Die Gänge sind zwischen 1,80 und 2,40 m breit und 1,80 bis 2,30 m hoch.

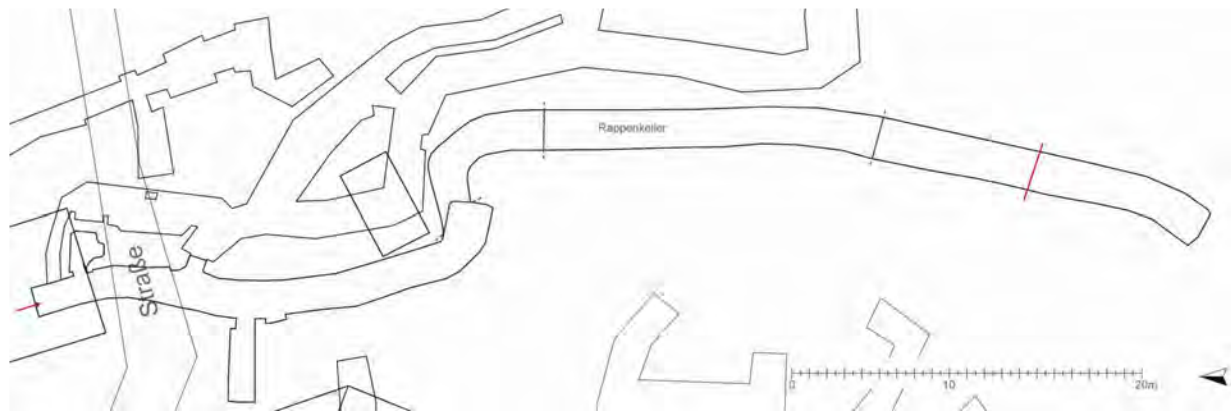


Abbildung 1: Grundriss Rappenkeller mit Kartierung der Bauphasen (rot)

Der Boden des Kellers ist bis in die S-Kurve vollständig bzw. teilweise mit Zement aufgefüllt. Eine Maßnahme, die, wie in vielen anderen Kellern, der heutigen Nutzung angepasst wurde und die Zugänglichkeit erleichtert. Durch die Nähe zur Oberfläche ist der anstehende Fels im vorderen Bereich des Kellers zum Teil stark verwittert und daher nicht sehr tragfähig. An zwei Bereichen wird die Stollendecke durch Ziegelgewölbe gebildet, was auf größere Klüfte bzw. Schäden im darüber liegenden Fels hindeutet.

Bei starken Niederschlägen können hier regelmäßig Wassereinträge beobachtet werden. Durch die Überlagerung der 3D-Scans mit dem Katasterplan der Stadt Forchheim konnte eine geringe Geländeüberdeckung in diesen Bereichen festgestellt werden – eine schlüssige Erklärung für dieses Schadensbild.

Bei der Anlage des Straßenbettes und der Terrasse wurde offenbar nicht auf eine angemessene Abdichtung der über den Kellern liegenden Bereiche geachtet. Dies wäre nachzuholen, um weitere Wassereinträge und die damit verbundene Schädigung des Gesteins zu verhindern.

<sup>3</sup> Der Winterbauer-Keller und der Rappen-Keller teilen sich heute denselben Eingang.



Abbildung 2: Ziegeltonne im Rappenkeller

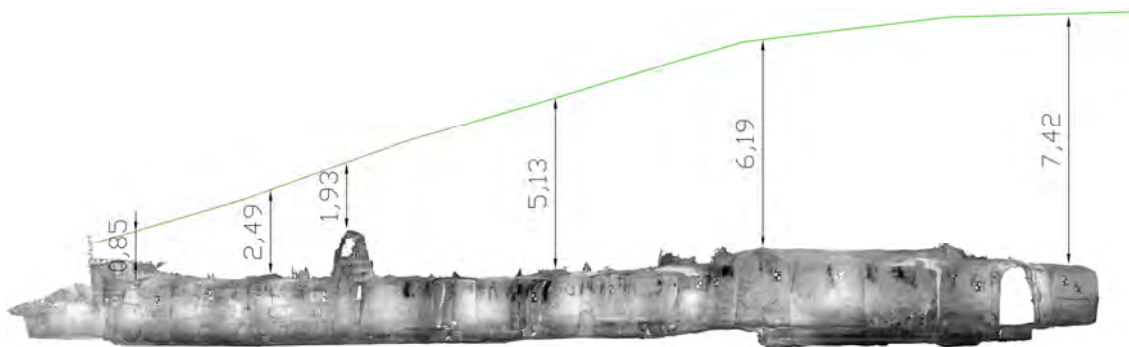


Abbildung 3: Scan Rappen-Keller, Bemaßung der Geländeüberdeckung (Blick von Westen)

## 2.2 Stollenausbau

Wie die geologischen Untersuchungen zeigten, bestanden die Klüfte im Rappen-Keller bereits zur Bauzeit. Bei der Ausrichtung der Stollen hat man sich vermutlich bewusst am Klüftverlauf orientiert. So wurde aus statischen Gründen darauf geachtet, dass die Klüfte in Längsrichtung möglichst im Scheitelpunkt des Kellergewölbes verlaufen. Je nach Festigkeit des Gesteins wurden wahrscheinlich bereits zur Bauzeit Sicherungen bzw. Reparaturen an Klüften und Ausbruchstellen durch Ausmauerungen vorgenommen. Aufgrund unterschiedlicher Bearbeitungsspuren, veränderter Gangquerschnitte sowie Nischenformen lässt sich der Rappen-Keller in folgende Bauphasen einteilen:

**Bauphase 1:** Die Bauphase endet in der S-Kurve des Stollens mit der Verengung des Gangquerschnitts. Sie charakterisiert sich durch verhältnismäßig grobe Oberflächenbearbeitungsspuren und zahlreichen Reparaturen, die u. a. durch die geringe Schichthöhe zur Oberfläche verursacht wird.

**Bauphase 2:** Mit Beginn der zweiten Bauphase wird eine Korrektur der Stollenausrichtung nach Osten vorgenommen, in deren Folge die Nordwand nachträglich stark abgearbeitet werden musste. Diese Änderung war vermutlich eine Reaktion auf die geologische Situation, bei der man aus statischen Gründen bemüht war, die OW-Kluft möglichst mittig im Scheitelpunkt zu halten. Der Stollenquerschnitt zeichnet sich größtenteils durch einen relativ runden Deckenabschluss aus.





Abbildung 4: Bearbeitungsspuren an der Ostwand von Bauphase 1



Abbildung 5: Übergang von Bauphase 1 und 2

Bauphase 3: Diese Bauphase charakterisiert sich durch eine etwa 20 cm niedrigere und flachere Decke. Die Bearbeitungsspuren an den Stollenwänden sind im Vergleich zu den vorherigen Bauabschnitten regelmäßiger und feiner. Auf der Westseite befinden sich zwei Nischen, die sich in Form und Größe von den übrigen Nischen unterscheiden und somit kennzeichnend für diesen Bauabschnitt sind.

Bauphase 4: Der Stollen verläuft nun leicht abweichend in nordwestlicher Richtung weiter. Auch hier wahrscheinlich eine Reaktion auf die geologischen Gegebenheiten. Das Hauptmerkmal dieser Bauphase sind die ungewöhnlich regelmäßigen Oberflächenbearbeitungsspuren sowie eine veränderte Nischenform. Zudem zeichnet sich der Stollenquerschnitt durch eine flachere Decke aus.

Bauphase 5: Auffallend sind hier die dunklen Keilspuren an der Stollendecke. Aufgrund der geologisch tonigen Schichten kam es in diesem Bereich zunehmend zu Schalenbildung, die aus Sicherheitsgründen abgeschlagen wurden.



Abbildung 6: Bearbeitungsspuren an der Ostwand von Bauphase 2

Beachtenswert für diese Bauphase ist zudem die verhältnismäßig grobe und „holprige“ Oberfläche der Fasslagerbank. Ungewöhnlich, insbesondere auf der Westseite, sind auch die Bearbeitungsspuren mit den von der üblichen Richtung abweichenden Schlagspuren. Eine absolute Datierung ist anhand der Befunde nicht möglich. Die Jahreszahl „1886“, die über der Eingangstür in den Stein gehauen ist, gibt möglicherweise nicht das Entstehungsjahr des Kellers, sondern nur einen Ausbau, eine Reparatur oder einen Besitzerwechsel an. Auch die Reparaturen lassen sich nur schwer datieren. Einen Hinweis geben jedoch die Ziegel im Reichsformat, die sich insbesondere im vorderen Kellerbereich befinden. Die Einführung dieser Ziegelform im Jahre 1872 gilt bei der Datierung als „terminus post quem“.

### 2.3 Funktionselemente

Entlang der Ostseite des Kellerstollens befindet sich eine ca. 1,20 m breite und 0,40 m hohe, aus dem Fels gearbeitete Lagerbank.



Abbildung 7: Blick in den Rappen-Keller Richtung Süden

In die Oberfläche der Bank sind unterschiedlich große, eckige Zapflöcher eingearbeitet, in denen sich größtenteils noch Holzreste sowie Metallnägeln- oder schrauben befinden haben. Sie liegen in zwei Reihen

und dienten zur Anbringung von Lagerhölzern. Das Hochlagern ersparte nicht nur das mühsame Bücken und schützte die Holzfässer vor Feuchtigkeit, auch konnten sie durch die Luft gleichmäßig gekühlt werden.



Abbildung 8: Zapflöcher auf der Lagerbank (einspaltig)

Im Rappen-Keller sind die Fasslagerbänke nur noch ab der zweiten Bauphase sichtbar, da der Laufgang im vorderen Bereich für die heutige Nutzung mit Beton bzw. Kies und Sand aufgefüllt worden ist. In den Stollenwänden befinden sich 14 Nischen unterschiedlicher Größe und Form, die im unregelmäßigen Abstand zueinander liegen. An einigen größeren Nischen markieren vertikale sowie horizontale Risslinien die Außenkanten, welche vor dem Einarbeiten der Nischen gesetzt wurden und die Größe vorher festgelegt haben.



Abbildung 9: Detail Nische (Bauabschnitt 3) (einspaltig)

Alle Nischen, mit Ausnahme derer im Außenbereich, liegen auf der Seite des Laufgangs im Westen. Sie dienten wahrscheinlich, vor Verlegung elektrischer Leitungen, überwiegend der Aufstellung von Lichtern. Aufgrund der erhöhten Luftfeuchtigkeit in den Stollen verfügen einige Felsenkeller über Lüftungsschächte, um einen Durchzug zu ermöglichen, wodurch das Holz der Fässer besser vor dem Modern geschützt wird. Derartige Belüftungsschächte sind im Rappen-Keller allerdings nicht zu finden. Auch ein Drainagesystem, mit aufwändig in den Stein gehauenen Kanälen, wie u. a. im Bauern-Keller, ist hier nicht vorhanden. Vermutlich war man sich der Nützlichkeit der vielen Klüfte, durch welche die Durchlüftung sowie Entwässerung problemlos funktionierte, durchaus bewusst und verzichtete daher auf die aufwendigeren Belüftungsschächte.

Der Rappen-Keller zeigt sich in seiner Form und Ausgestaltung im Ganzen als einer der schlichsten Stollen innerhalb des Forchheimer Kellerwaldes. Bezeichnend sind auch die zahlreichen Reparaturen insbesondere



im Verhältnis zu seiner doch eher geringen Größe. Hierbei handelt es sich zum einem um bauzeitliche Reparaturen, zum anderen war man in diesem Keller darum bemüht, selbst die kleinsten Klüfte durch Ausmauerungen oder mit Mörtelfüllungen zu schließen. Eine Maßnahme, die in diesem Ausmaß in den anderen untersuchten Kellern nicht beobachtet werden konnte.

### 3. Weiß-Tauben-Keller

#### 3.1 Aufbau und Zustand

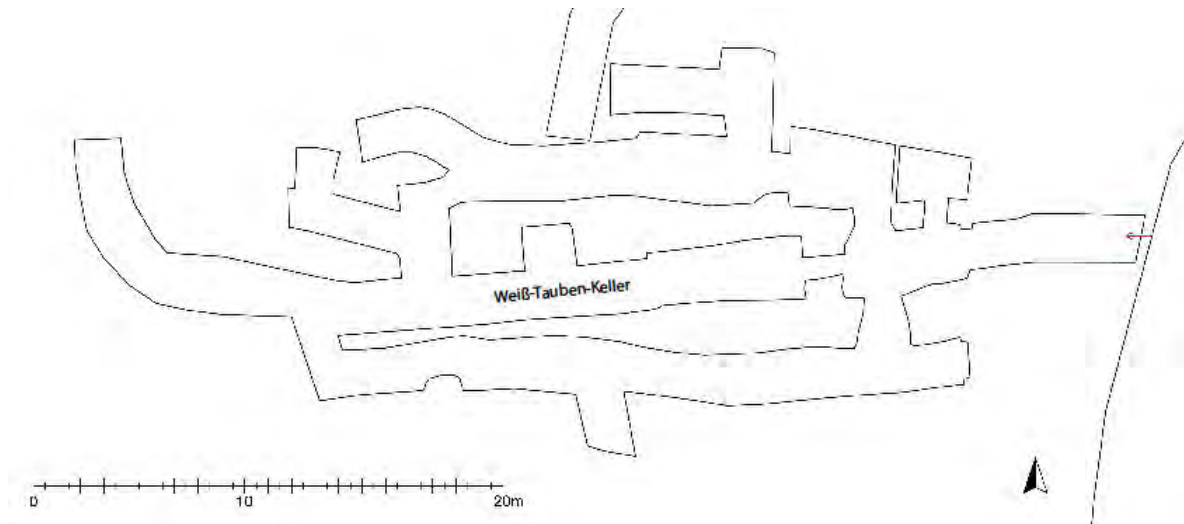


Abbildung 10: Grundriss Weiß-Tauben-Keller

Der Weiß-Tauben-Keller gehört zu den oberen Kellern des Forchheimer Kellerwaldes. Er besteht aus drei weitgehend parallelen Gängen, die in OW- Richtung verlaufen und untereinander verbunden sind. Der Zugang zum Stollen erfolgt von Osten. Der Keller reicht bis zu 46 m in den Felsen hinein, wobei sich das Gangsystem über eine Gesamtlänge von etwa 121 m erstreckt.

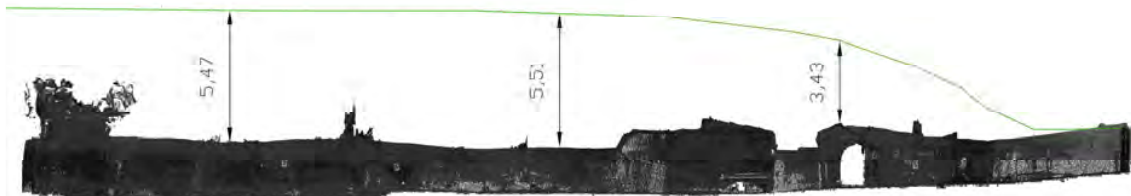


Abbildung 11: Scan Weiß-Tauben-Keller (Blick von Süden)

Durch die Nähe zur Oberfläche ist der anstehende Fels, insbesondere im Bereich der oberen Keller, zum Teil stark verwittert und daher nicht sehr tragfähig. Zusätzlich gibt es nahe dem Deckenbereich geologische Schichtgrenzen zu tonigen Lagen. Die Folge sind großflächige Deckenausbrüche. Dabei handelt es sich um Schwierigkeiten, wie sie vielfach im Weiß-Tauben-Keller zu beobachten sind und die wahrscheinlich bereits während des Stollenvortriebs aufgetreten sind.

Wie souverän die Erbauer der Stollen mit den geologischen Gegebenheiten umgehen konnten, wurde bereits im Rappen-Keller deutlich und zeigt sich ebenfalls im Weiß-Tauben-Keller. Gerade im vorderen Bereich wurde das oben genannte Problem gelöst, indem man die tonigen Lagen bis zur nächsten tragfähigen Gesteinsschicht durchstieß. Dadurch lässt sich auch die ungewöhnliche Deckenhöhe von ursprünglich etwa 3 m erklären, welche die durchschnittliche Höhe um 0,60-0,80 m überschreitet. Diese Räume zeigen deutliche Bearbeitungsspuren über die tonigen Lagen hinaus auch im Deckenbereich. In dieser Hinsicht unterscheiden sie sich von den nachträglich ausgebrochenen Deckenbereichen, die sowohl an den Wänden, wie auch an den Decken noch deutliche Bruchstellen aufweisen.





Abbildung 12: Weiß-Tauben-Keller, Deckenausbruch im Südgang

Im Allgemeinen finden sich nur vereinzelt Reparaturen im Weiß-Tauben-Keller. Im Wandbereich handelt es sich ausschließlich um Sandsteinausmauerungen, im Deckenbereich gibt es zusätzlich vereinzelt Reparaturmaßnahmen mit Ziegelsteinen. Bemerkenswert sind in diesem Zusammenhang die Ziegelbogenkonstruktionen im nördlichen Stollengang.



Abbildung 13: Ziegelbogenkonstruktion im Deckenbereich des Nordgangs

Die Mehrheit der Wandausmauerungen hat nach bisheriger Beurteilung eine überwiegend optische Funktion und soll die Ausbrüche kaschieren. Die Wände der Stollen sind, wie durch eine Salzsäureprobe nachgewiesen werden konnte, größtenteils mit einem Kalkanstrich versehen. Diese Maßnahme ist nicht nur Schimmel abweisend und dient somit der Hygiene, sondern verstärkt auch die Lichtreflexion in den dunklen Stollengängen. Der Boden ist in den vorderen Bereichen bis auf Höhe der Lagerbänke mit Betonestrich bzw.

Schotter versehen. Auch hier, wie bereits im Rappen-Keller, eine Anpassung an die heutige Nutzung des Kellers.

### 3.2 Rekonstruktion der ursprünglichen Kellersituation

Die Felsenkeller im Forchheimer Kellerwald lassen sich hinsichtlich ihrer Eingänge prinzipiell in zwei Gruppen unterteilen: Zugänge mit Segmentbogenabschluss, wie u. a. am Weiß-Tauben-Keller und Zugänge mit Rundbogenabschluss, wie sie am Stäffala-Keller, Hoffmanns-Keller, Glocken-Keller oder Nürnbergertorkeller zu sehen sind.



Abbildung 14: Eingang Weiß-Tauben-Keller

Es lässt sich bei genauerer Betrachtung feststellen, dass mit rundem Bogen abschließende Zugänge meist näher am Hang liegen, während sich die andere Gruppe mehrheitlich näher zur Straße befindet und mit Bauformen der Jahrhundertwende übereinstimmen. Lage sowie Form der Zugänge können somit auch als ein Hinweis auf die bauzeitliche Entstehung der einzelnen Stollen herangezogen werden.



Abbildung 15: Eingang Stäffala-Keller

Auch im Weiß-Tauben-Keller finden sich im vorderen Bereich zwei Türrahmenkonstruktionen mit Rundbogenabschluss. Sie liegen genau in einer Achse zueinander und spiegeln die ursprüngliche Eingangssituation des Weiß-Tauben-

Keller daher als ein Stollenkomplex, der aus mehreren voneinander unabhängigen Anlagen zusammengewachsen ist. Mit dem Bau der Terrasse sowie des Pavillons im späten 19. Jahrhundert wurden der nördliche und südliche Zugang geschlossen und der mittlere durch eine Kellerhalsenerweiterung nach vorne verlegt.

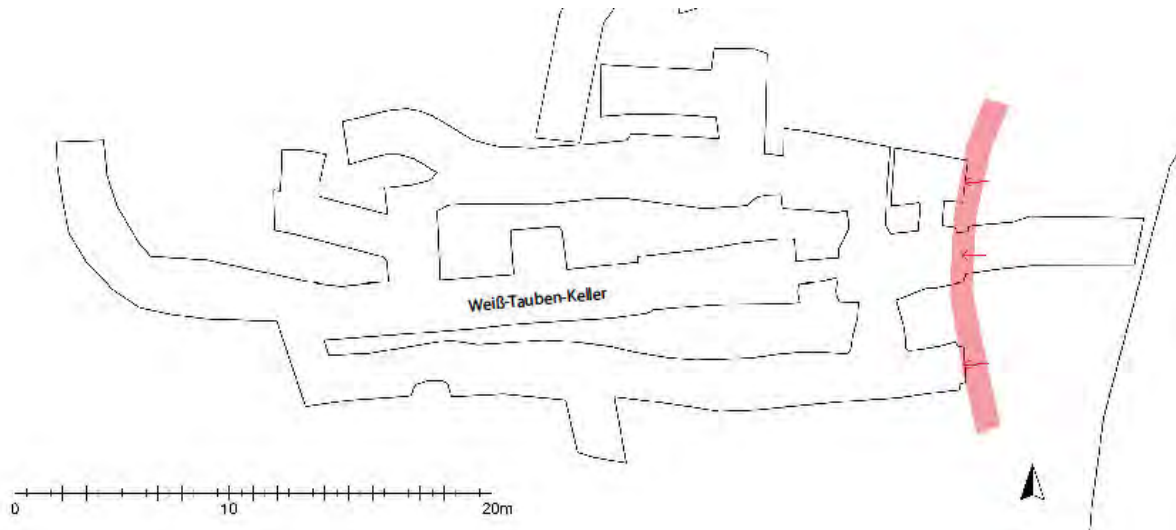


Abbildung 16: Weiß-Tauben-Keller mit Kartierung der ursprünglichen Eingänge

Änderungen im Bodenniveau an den Verbindungsgängen zwischen den einzelnen Stollen, deutliche Unterschiede in der Ausarbeitung der Fasslagerbänke sowie veränderte Nischensysteme sprechen für eine separate Entstehung und spätere Zusammenführung der einzelnen Stollengänge.

### 3.3 Beschreibung der Stollengänge



Abbildung 17: Scan Weiß-Tauben-Keller, Nordgang (Blick von Süden)

Der Nordgang ist etwa 26 m lang, hat eine durchschnittliche Gangbreite von 2 m und eine lichte Höhe zwischen 1,70 m und 2,50 m. Die vorderen beiden Räume waren, wie Grundriss und Deckenhöhe sehr deutlich machen, ursprünglich miteinander verbunden. Der Durchgang wurde vermutlich im Zusammenhang mit der Aufgabe des eigenen Zugangs vermauert. Aufgrund der veränderten Nutzung von einem Eingang- zu einem Lagerraum, wurde in dem östlichen Raum eine Bank aus sechs großen Sandsteinquadern gesetzt (s. u.).

Die geologischen Schwierigkeiten in diesem Bereich des Stollenganges wurden bewältigt, indem man sich durch die tonigen Lagen bis zur nächsten tragfähigen Schicht durcharbeitete. Die beiden roten Linien in Abbildung 18 markieren das ursprünglich vorgesehene Decken- bzw. Bodenniveau. Der Deckenbereich westlich des Durchgangs ist, wie Abbrüche an Wand- und Deckenbereich zeigen, erst nachträglich ausgebrochen. Als Konsequenz hat man daher bei den zwei nördlichen Stichgängen (blau eingefärbt) versucht, durch ein niedrigeres Deckenniveau unterhalb der tonigen Schicht im tragfähigen Gestein zu bleiben.



Bemerkenswert sind für diesen Stollengang vor allem auch Abarbeitungen im Deckenbereich hinter einem ehemaligen Türdurchgang, welche die Aufschlagrichtung der Tür wiedergeben. Ein ähnlicher Befund ist aus den übrigen untersuchten Kellern nicht bekannt.



Abbildung 18: Abarbeitung im Deckenbereich (Blick von unten)

Der Mittelgang ist etwa 46 m lang, hat eine Gangbreite von ca. 2 m und eine lichte Höhe zwischen 1,80 und 2,60 m. Der Umgang mit den geologischen Schwierigkeiten im vorderen Stollenbereich ist vergleichbar mit dem nördlich anschließenden Gang. Westlich davon markieren jedoch wieder Abbrüche im Wand- und Deckenbereich, die in einer Achse zu den Abbrüchen im Nord- und Südgang liegen, nachträgliche Ausbrüche. 2009 wurde die letzte Sicherungsmaßnahme aufgrund dieser Probleme getroffen.

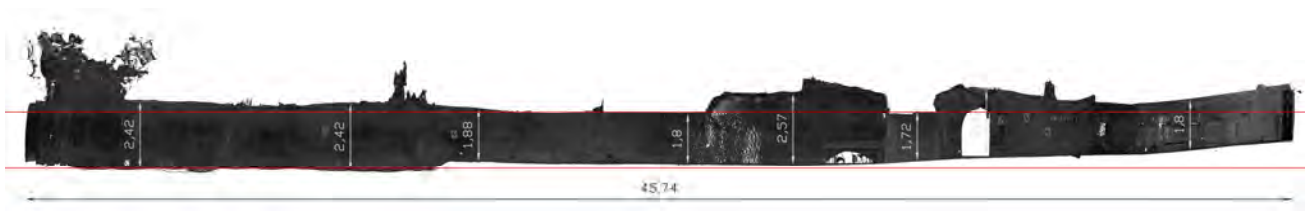


Abbildung 19: Scan Weiß-Tauben-Keller, Mittelgang (Blick von Süden)

Der Südgang ist etwa 28 m lang, hat eine Gangbreite bis zu 2 m und eine lichte Höhe zwischen 1,80 und 2,16 m. Auf der Südseite befindet sich ein zugesetzter Durchgang zum Oberen Schlößla-Keller, der heute aufgrund starker Einbrüche nicht mehr zugänglich ist. Deckenausbrüche sind in Südgang vor allem im vorderen Bereich zu beobachten und liegen etwa parallel zu den Abbrüchen im Mittel- und Nordgang (s. Abb. 12).



Abbildung 20: Scan Weiß-Tauben-Keller, Südgang (Blick von Süden)

### 3.4 Funktionselemente

Die Fasslager im mittleren und im nördlichen Gang unterscheiden sich deutlich voneinander. Soweit noch vorhanden sind die Bänke im Nordgang sehr schlicht ausgearbeitet. Sie sind etwa 1 m breit und auf der



Oberfläche ebenmäßig gearbeitet. Da der Gang größtenteils mit Schotter aufgefüllt wurde, lässt sich die Höhe nicht mehr ablesen. Im Nordgang sind die Fasslager vollständig abgeschlagen und lassen sich nur aufgrund der Abbruchkante an Nordseite nachweisen.



Abbildung 21: Lagerbank im Nordgang

Bemerkenswert ist eine aus sechs großen Sandsteinquadern gesetzte Lagerbank im Nordgang. Die Steinquader wurden nachträglich versetzt und stammen möglicherweise von abgebrochenen Lagerbänken aus den hinteren Stollengängen des Weiß-Tauben-Kellers.



Abbildung 22: Lagerbank im Nordgang

Im mittleren Gang zeigt sich ein aufwendigeres Fasslager mit Drainagesystem. Die Bänke sind zwischen 80 und 140 cm breit und ca. 40 cm hoch. Auf der Oberfläche befindet sich eine bis zu 16 cm breite und 2 – 3 cm tiefe Rinne. Eine zweite Rinne befindet sich im Laufgang direkt entlang der Lagerbank. Zapflöcher sind ausschließlich auf der Bank im hinteren Bereich des Stollenganges zu finden. Im südlichen Stollen lässt nichts

auf ein ehemaliges Fasslager schließen. Das heutige Laufniveau befindet sich direkt auf dem anstehenden Felsen und auch die lichte Höhe von 1,80 m lässt eine inzwischen abgearbeitete Lagerbank, wie beispielsweise im Nordgang, kaum denkbar erscheinen.



Abbildung 23: Lagerbank im Mittelgang

In den Stollenwänden des Weiß-Tauben-Kellers befinden sich insgesamt 12 Nischen, die unregelmäßig verteilt sind. Auffallend ist, dass allein im mittleren Gang über die gesamte Länge Nischen eingearbeitet sind, während Nord- und Südgang nur im vorderen Bereich welche aufweisen. Die Beleuchtung erfolgte in diesen Bereichen des Kellers offenbar nach einem anderen System. Rußspuren an den Wänden oberhalb tiefer Hiebspuren weisen darauf hin, dass die Öllampen teilweise wohl auch mittels Hacken direkt an die Wand gehängt wurden. Dieser Befund konnte auch in anderen Kellern in Forchheim gemacht werden. Jeder Stollengang im Weiß-Tauben-Keller verfügt über je einen Lüftungsschacht. Sie sind quadratisch und verjüngen sich nach oben. Die Seiten sind, mit Ausnahme des Nordganges, mit Sandsteinquadern sichtbar bis über die Geländeoberfläche hoch gemauert. Heute sind die Luftschächte zum Schutz abgedeckt bzw. bereits durch Laub und Steine verschüttet.



Abbildung 24: Lüftungsschacht im Südgang

Der Weiß-Tauben-Keller ist aufgrund seiner Lage und seiner Zugehörigkeit zu den oberen Kellern ein wichtiges Beispiel innerhalb der Untersuchungen der Forchheimer Felsenkeller. Bezeichnend sind für den Stollengang nicht nur seine komplexen Gangstrukturen und seine interessante Baugeschichte, sondern auch

der Umgang mit den geologischen Gegebenheiten, die sich in dieser Lage deutlich von den beiden anderen Untersuchungsobjekten unterscheiden.

## 4. Bauern-Keller

### 4.1 Aufbau und Zustand

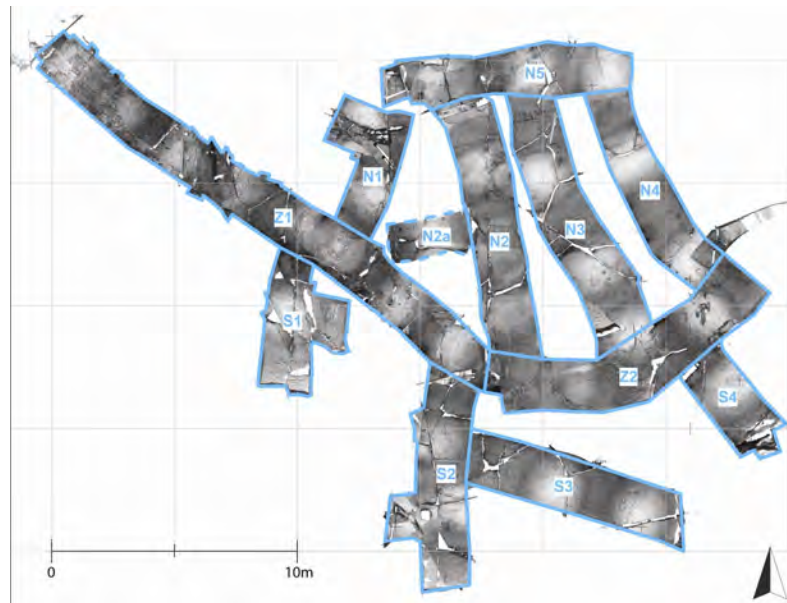


Abbildung 25: Scan Grundriss Bauern-Keller, Benennung der Stollengänge

Der Bauern-Keller gehört zu der Gruppe der unteren Kellern und befindet sich am südlichen Ende des Forchheimer Kellerwaldes. Der Zugang zum Keller erfolgt aus nordwestlicher Richtung. Über den ca. 22 m nach Südosten verlaufenden Stollengang Z1, von dem zwei ca. 5 m lange Stichgänge abzweigen (N1 und S1), gelangt man in das miteinander verbundene östliche Gangsystem (N2-N5, Z2, S4). Die Stollengänge N2, N3 und N4 verlaufen nahezu parallel in nordsüdlicher Richtung und werden im Norden durch N5 und im Süden durch Z2 verbunden. Am östlichen Ende von Z1 erstrecken sich nach Süden die Gänge S2 und S3. S3 und S4 waren ursprünglich einmal miteinander verbunden. Bereiche dieses Stollengangs sind inzwischen aber wegen eines Deckeneinbruchs vermauert. Die Stollengänge sind zwischen 1,80 und 2,30 m breit und 1,80 bis 2,30 m hoch. Das gesamte Gangsystem des Bauern-Kellers erstreckt sich über eine Länge von etwa 110 m und reicht bis zu 33 m in den Felsen hinein. Das Gelände im Bereich des Bauern-Kellers fällt nach Süden hin ab. Dadurch ergibt sich, insbesondere im vorderen Bereich, eine geringe Geländeüberdeckung mit stark verwittertem und daher nicht sehr tragfähigem Gestein.

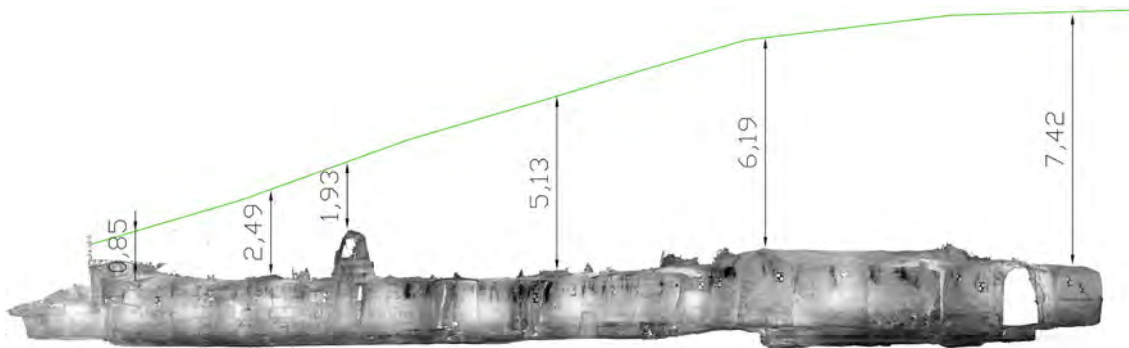


Abbildung 26: Scan Bauern-Keller, Bemaßung der Geländeüberdeckung (Blick von Süden)

Die Folge sind zahlreiche Deckenausbrüche, die durch Ziegel- bzw. Sandsteinausmauerungen geschlossen wurden. Bemerkenswert ist die Beobachtung, dass sich im übrigen Keller nur sehr vereinzelt Reparaturen

befinden, die sich nahezu ausschließlich auf den Wandbereich beschränken. Dies ist vermutlich auf die stärkere Geländeüberdeckung zurückzuführen (etwa 5,0-7,5 m). Auf bauzeitliche Reparaturen weisen nur noch wenige Befunde hin.

Die Wände der Stollen sind größtenteils mit einem Kalkanstrich versehen. Der Boden des Ganges Z1 ist im vorderen Bereich komplett und im hinteren Bereich teilweise (auf der Seite des ehemaligen Laufganges) mit Formsteinen gepflastert. Eine Maßnahme, die, wie in vielen anderen Kellern, der heutigen Nutzung angepasst wurde und die Zugänglichkeit erleichtert. N1 ist im Zuge jüngster Sicherungen bis auf Höhe des heutigen Bodenniveaus von Z1 mit Schotter aufgefüllt.

Generell lässt sich hier, anders als beispielsweise beim Rappen-Keller, im Hinblick auf die Ausrichtung der Stollengänge keine Orientierung an den Kluftverläufen erkennen. Vielmehr scheinen die Gänge ungeachtet des Kluftverlaufes in den Felsen getrieben worden zu sein. Hinsichtlich der Bearbeitungswerkzeuge konnte hier erstmals auch der Einsatz des Zahneisens nachgewiesen werden. Derartige Bearbeitungsspuren befanden sich aber ausschließlich über den Spitzeisenspuren und sind somit jüngeren Datums. Ein systematischer Einsatz ist nicht erkennbar. Vielmehr scheint das Spitzeisen an verschiedenen Stellen zur Nacharbeitung der Stollenwände eingesetzt worden zu sein.

### 4.2 Rekonstruktion der ursprünglichen Kellersituation



Abbildung 27: Scan Bauern-Keller mit anschließendem Kupfer-Keller

Nördlich des Bauern-Kellers erstreckt sich der Kupfer-Keller. Beide Keller waren ehemals mit einem Durchgang in N5 verbunden, der heute vermauert ist. Man kann davon ausgehen, dass der östliche Stollenkomplex (N2-N5, Z2, S4) ursprünglich nicht mit den westlichen Gängen verbunden war, sondern zu einem unabhängigen System gehörte und nur über den Kupfer-Keller zugänglich war. Hierauf weisen folgende Befunde hin:

1. Nahe dem ehemaligen Durchgang zum Kupfer-Keller befinden sich zwei aufwendige Türkonstruktionen, die man in den übrigen Kellern bisher ausschließlich in Verbindung mit Eingangssituationen kennt.
2. Es ist eine deutliche Veränderung der Stollenganghöhe am Übergang von Z1 zu Z2 erkennbar (0,6 m). Dies ist im Wesentlichen an der Deckenhöhe ablesbar, da der Gang Z1 heute weitgehend gepflastert und die Lagerbank z. T. abgeschlagen worden ist.
3. Im Grundriss lässt der Übergang von Z1 zu Z2 aufgrund der geringeren Stollenbreite eine nachträgliche Verbindung der beiden Gänge vermuten.



4. Die Lagerbänke des östlichen und westlichen Komplexes treffen am Übergang von Z1 zu Z2 aufeinander, so dass zum Erreichen des östlichen Kellerbereiches eine Überwindung der Lagerbänke nötig gewesen wäre. Dies ist für einen ungehinderten Fässertransport unzweckmäßig.
5. In den östlichen Stollengängen (N2-N5, Z2, S4) lässt sich ein aufwendiges Drainagesystem mit Sickergruben erkennen, welches im Norden, an dem ehemaligen Zugang, auch unterhalb der Vermauerung in den Kupfer-Keller führt. Im westlichen Bereich konnte hingegen kein Drainagesystem nachgewiesen werden.
6. Im westlichen Kellerbereich befinden sich zahlreiche Nischen unterschiedlicher Form und Größe, im östlichen Bereich hingegen nur in Gang N5.

Aufgrund dieser Beobachtungen ist anzunehmen, dass der Bauern-Keller aus zwei Stollenkomplexen zusammengewachsen ist. Über die zeitliche Einordnung zueinander kann keine genaue Aussage gemacht werden.



Abbildung 28: Türkonstruktion in Gang N2

### 4.3 Stollenausbau

Durch die Untersuchung der Stollengangquerschnitte lassen sich generell zwei Querschnittstypen unterscheiden. Typ 1 findet sich in den Gängen N2, N4, N5 und Z2 und charakterisiert sich durch einen stärker gewölbten Deckenabschluss mit einer Stichhöhe von etwa 0,50 m. Typ 2 weist hingegen lediglich eine Stichhöhe von max. 0,30 m. Zudem laufen Wand und Deckenabschluss bei Typ 1 fließend ineinander über, während er sich bei Typ 2 deutlich durch eine Kante absetzt.

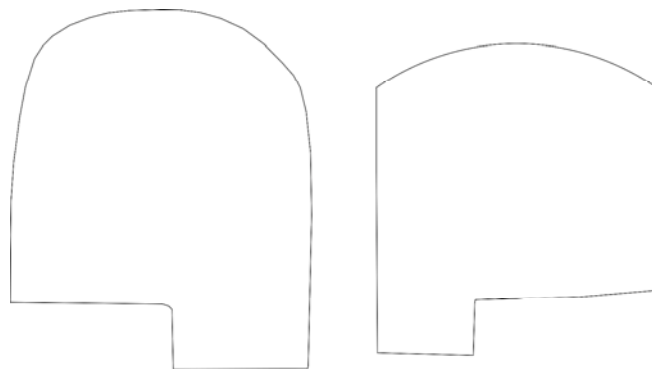


Abbildung 29: Stollengangquerschnitte Typ 1 (re.), Typ 2 (li.)

Daraus ist zu schließen, dass die Stollengänge N2, N4, N5 und Z2 vor N3 vorgetrieben worden sind. Darüber hinaus wurde vermutlich auch der Anschluss zum westlichen Kellerbereich (Z1, S2) durch den Stollengang S3/S4 später angelegt. Ob diese Verbindung vor dem Durchbruch von Z1 zu Z2 gelegt worden ist, konnte anhand der bisherigen Befunde nicht geklärt werden.

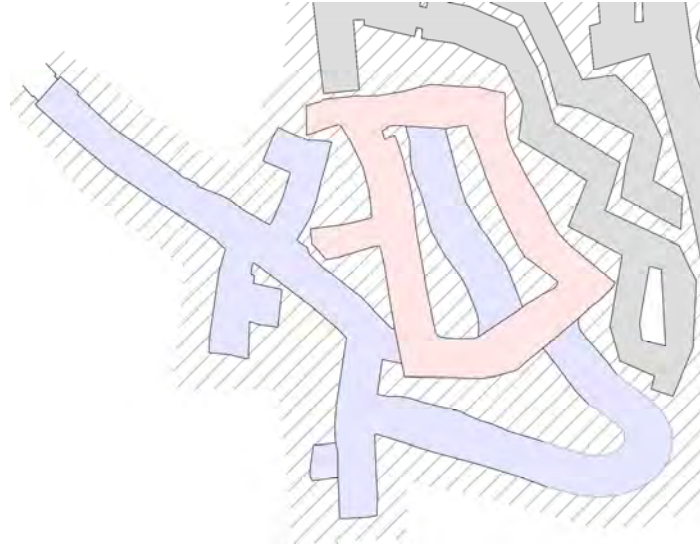


Abbildung 30: Kartierung der Stollengangquerschnitte Typ 1 (rot), Typ 2 (blau)

### 3.4 Funktionselemente

Lagerbänke konnten, mit Ausnahme des vorderen Bereiches von Z1 und den Stichgängen S1 und N1, in allen Gängen des Bauern-Kellers nachgewiesen werden. Sie sind zwischen 0,90 m und 1,30 m breit und 0,40 bis 0,50 m hoch. Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass Teile der Lagerbänke im Bereich der ehemaligen Verbindung zum Kupfer-Keller (N5) aus großen Sandsteinblöcken gesetzt wurden. Es handelt sich hierbei vermutlich um einen nachträglichen Einbau, wobei der genaue Grund für diese Veränderung bisher unklar ist.

Auf allen Lagerbänken ließen sich Zapflöcher nachweisen, die jedoch kein einheitliches System ergeben. In den Gängen N4, N5 und S4 sind ferner Abarbeitungen auf den Bänken sichtbar. Sie sind 15-20 cm breit, etwa 5 cm tief und haben ca. 25 cm Abstand zur Lagerbankkante. Eine weitere leichte Eintiefung befindet sich parallel dazu Richtung Wandseite. Denkbar ist in dieser Hinsicht eine Funktion in Verbindung mit der Anbringung von Lagerhölzern.



Abbildung 31: Abarbeitung auf der Lagerbank von Gang N5

Da sie jedoch in Stollengängen nachweisbar sind, die mit großer Wahrscheinlichkeit nicht zu einer Bauphase gehören, handelt es sich hierbei wohl um eine nachträgliche Veränderung der Lagerbänke und weisen auf eine Wandlung im Lagersystem hin.

Der Bauern-Keller verfügt insgesamt über 9 Nischen, die unregelmäßig verteilt sind. Mit Ausnahme einer Einzigen befinden sich alle übrigen im westlichen Kellerbereich. Form, Größe und Lage der Nischen unterscheiden sich zum Teil stark voneinander und kann auf unterschiedliche Ausbauphasen hinweisen. Der Bauern-Keller verfügt lediglich über einen Lüftungsschacht, der sich im Gang N4 befindet und ansteigend in Ostrichtung verläuft. Er ist komplett in den anstehenden Felsen gehauen. Durch die Georeferenzierung der Grundriss-Scans und die Überlagerung mit dem Katasterplan der Stadt Forchheim ist zu erkennen, dass der Schacht über einen Gang des Kupfer-Kellers verläuft (s. Abb.25).



Abbildung 32: Lüftungsschacht in Gang N4

Im Ganzen zeichnet sich der Bauern-Keller nicht nur durch seine Zugehörigkeit zu den unteren Kellern aus, sondern auch durch seine Randlage innerhalb des Forchheimer Kellerwaldes. Hierdurch nimmt er eine singuläre Stellung unter den hier untersuchten Stollengängen ein.

### 5. Zusammenfassung

Die ursprüngliche Nutzung der Keller als Lagerstätte für Bierfässer ist an zahlreichen Befunden ablesbar. Lagerbänke in Fassbreite mit Befestigungslöchern für Lagerhölzer und Keile, der niedriger angelegte Laufgang für die Bedienung, Abwasserrinnen, Lichtnischen und Lüftungsschächte bilden ein komplexes System, dank dessen die Temperatur konstant niedrig gehalten und damit das Bier über den Sommer frisch gehalten werden konnte. Die heutige Nutzung erfordert vor allem in den Eingangsbereichen eine Intensivierung während die rückwärtigen Kellerbereiche zumeist nicht mehr genutzt werden und zum Teil nach und nach verstürzen.

Betrachtet man die hier untersuchten Keller gemeinsam, lassen sich trotz offensichtlicher Unterschiede doch zahlreiche Gemeinsamkeiten feststellen: Neben der relativ einheitlichen Höhe und Breite der Stollengänge betrifft dies vor allem die verwendeten Steinhauerwerkzeuge sowie den allgemeinen Herstellungsprozess der Felsenkeller. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der Auffahrung des Stollenbaus bergmännische Methoden angewandt wurden. Dabei wurden die Hohlräume je nach Festigkeit des Gesteins mit Spitzseisen oder Eisen und Schlägel hergestellt. In Einzelfällen lässt sich auch eine Orientierung an den Kluftverläufen nachweisen. Die Schlagspuren an den Stollenwänden verraten die Art der Werkzeugführung sowie die Schlagrichtung, aus der u. a. hervorgeht, dass die Oberfläche nachträglich mit einem Spitzseisen oder zusätzlich noch mit einem Zahneisen geglättet wurde. Der Laufgang wurde vermutlich zuletzt aus dem Fels gehauen. Horizontale Risslinien an den Wänden, wie sie u. a. im Rappen-Keller entdeckt wurden, dienten dabei zur Nivellierung.

Die Wände der Stollen sind meist mit einem Kalkanstrich versehen. Aufgrund der stark alkalischen Eigenschaft wirkt Kalk Schimmel abweisend und ist daher im Zusammenhang mit feuchten Räumen, wie den Stollengängen, nicht unüblich. Zusätzlich verstärkt der helle Anstrich auch die Lichtreflexion der Kerzen in den

Stollengängen. Diese Beobachtung der Behandlung der Wände konnte bei allen untersuchten Kellern gemacht werden und findet auch heute in den Kellern noch Anwendung.

Eine absolute Datierung konnte aufgrund fehlender Archivalien und Jahreszahlen für die Keller nicht festgelegt werden. Auch die über die Jahrhunderte gleich bleibenden bergmännischen Werkzeuge lieferten dazu keine Anhaltspunkte. Innerhalb der einzelnen untersuchten Stollengänge ließen sich jedoch mit Hilfe von veränderten Bearbeitungsspuren und Querschnittsformen sowie Wandlungen in der Nischenform Bau- und Ausbauphasen voneinander abgrenzen. Auch das Zusammenwachsen ursprünglich separater Stollengänge zu einem Kellersystem konnte für zwei von drei Kellern nachgewiesen werden und trifft sicherlich noch auf weitere Keller in Forchheim zu.

In den geologischen Ausgangssituationen unterscheiden sich die drei Felsenkeller deutlich voneinander, was sich sowohl in der Ausformung der Gänge wie auch in den Schäden widerspiegelt. Durch die Überlagerung des georeferenzierten Geländemodells sowie des Grundriss-Scans mit dem Katasterplan wurde die Geländeüberdeckung der einzelnen Bereiche deutlich gemacht. Auf diese Weise konnten sowohl Schadensursachen geklärt als auch Absturz gefährdete Bereiche identifiziert werden. Aufschlussreich war die Zusammenführung der Pläne auch im Hinblick auf die Lage zu den benachbarten Kellern. Die Trennwände zwischen den Stollengängen betragen zum Teil weniger als 20 cm – eine Beobachtung die auch bei der Festlegung der Sicherungsmaßnahmen berücksichtigt werden musste.

Der Sandstein, in den die Keller vorgetrieben wurden, ist für Feuchtigkeit durchlässig. Bei Regen gelangen durch zum Teil bis zu einem halben Meter breite Klüfte große Mengen Wasser in den Berg. Zudem trennen dünne Tonlagen die Gesteinsschichten, die bei Nässe quellen und zu Spannungen im Gestein führen.<sup>4</sup> Dadurch wird besonders bei Niederschlägen ein ständiges Absanden und Ablösen von Gesteinsschollen verursacht, insbesondere in den oberen oder am Hangrand gelegenen Kellern, wo das Gestein insgesamt brüchiger ist. Darauf reagierte man schon während des Vortriebs mit Sicherungsmaßnahmen, wie Ausmauerungen an den Stollenwänden, wie es insbesondere im Rappen-Keller beobachtet werden konnte. Es ist bemerkenswert, dass die bauzeitlichen Reparaturen bis heute keine Schäden aufweisen. Spätere Instandsetzungen beschränken sich in vielen Fällen auf das Schließen von Klüften sowie das Ausmauern von Wandausbrüchen. Besonders im Weiß-Tauben-Keller sind in den großen Klüften, die beim Vortrieb gekreuzt wurden, Ziegelbogenkonstruktionen eingezogen. Zum Teil sollten sie die Kluftwände verspannen und so den Status quo sichern. Auch wurden Gewölbe im Bereich von Deckenausbrüchen aufgemauert, welche meist im Zusammenhang mit der geringeren Geländeüberdeckung in den vorderen Bereichen steht. Die Ausmauerungen haben in vielen Fällen aber keine statische Wirkung, sondern verhindern in erster Linie das Nachrutschen von Sand und Bruchsteinen in die Keller, das durch die ständige Durchfeuchtung verursacht wird.

Im Allgemeinen sind die Keller heute in einem annehmbaren Zustand. Nur dort, wo sich Klüfte aus verschiedenen Richtungen mit dem Kellerstollen ungünstig überschneiden, drohen größere Gesteinspartien abzustürzen. Durch einzelne, auf die Situation angepasste Stützkonstruktionen kann die Begehbarkeit gesichert werden. Dank der genauen Pläne und der Überlagerung von geologischer Kartierung der Klüfte und Schadenskartierung können die Maßnahmen gezielt und auf das Notwendige beschränkt geplant werden. Mit ihren verzweigten Grundrissen, ihren vielfältigen Raumeindrücken und ihren bauhistorischen Befunden geben die Forchheimer Keller einen spannenden Einblick in vergangene und gegenwärtige Nutzungskultur.

### 6. Literatur

R. Brunner: Die Forchheimer Keller, in: D. Georg (Hrsg.), 150 Jahre Annafest Forchheim 1840-1990 (Forchheim 1990), 53-61.

A. Frank: Annafest Forchheim (Eigenverlag 1975).

M. Graubert: Die Felsenkeller in Forchheim (Facharbeit im Fach Geographie, Forchheim 2006).

Th. Gunzelmann: Bierlandschaft Bayern. Keller als historische Orte des Konsums, in: Siedlungsforschung. Archäologie – Geschichte – Geographie 28/2010, S. 7-53.

C. F. Richter: Neuestes Berg- und Hütten-Lexikon. Zweiter Band (Leipzig 1805).

---

<sup>4</sup> Vgl. den Beitrag von ProDenkmal in diesem Band.



Dr.-Ing. Gabriele Patitz  
IGP Ingenieurbüro für Bauwerksdiagnostik und Schadensgutachten  
Alter Brauhof 11  
76137 Karlsruhe  
[mail@gabrielepatitz.de](mailto:mail@gabrielepatitz.de)  
[www.gabrielepatitz.de](http://www.gabrielepatitz.de)  
Tel: 0721-3844198

## Georadar zur Erkundung von Klüften und Schichtungen Zerstörungsfreie Voruntersuchungen

### Abschlussbericht

#### 1. Einleitung

Die historischen Bierkeller im Kellerwald sind in den natürlich anstehenden Felsformationen angelegt. Durch die Klüftung und Schichtung des Gesteins, auch durch konstruktive Mängel und Sickerwasser ist das Hangende der Gänge an vielen Stellen absturzgefährdet. An den Flanken der Gänge kommt es zu (Schalen-)Ablösungen, wahrscheinlich aufgrund der geringen Zugfestigkeit des Gesteins in Kombination mit einer fehlenden Unterfangung zur Lastabtrag. Somit sind die Gänge heute nicht mehr uneingeschränkt zugänglich.

Ziel des von der DBU geförderten Projektes war es, wissenschaftlich fundierte Möglichkeiten zur Erhaltung der Kelleranlagen aufzuzeigen. Im Vordergrund sollten dabei möglichst minimal invasive Eingriffe stehen. Das Erscheinungsbild der Keller sollte prinzipiell nicht verändert werden. Diese Herangehensweise erfordert umfangreiche Voruntersuchungen und Kenntnisse über den baulichen Zustand in den Kellergängen.

Bei dem anstehenden Fels handelt es sich um grobkörnigen, grobporösen Rhätsandstein und Kellersandstein, die horizontal gelagert sind. Neben den geologisch horizontalen Schichtgrenzen treten zahlreiche vertikal einfallende Klüfte auf, die mit unterschiedlichen Streichrichtungen die Schichtpakete in kleinere Blockeinheiten zerlegen. Für die Sicherheit in den Kellergängen ist es besonders wichtig zu erkunden, ob und wie Klüfte und Schichtgrenzen bzw. Sandsteinplatten im Decken- und Wandbereich vorhanden sind. Die Kellergänge haben meistens einen Querschnitt von ca. 2 x 2 m und der Deckenbereich ist als flache Wölbung ausgearbeitet. Die Oberflächen sind meist sauber und sehr eben.

Mit dem Radarverfahren steht heute eine zerstörungsfreie Untersuchungsmethode zur Verfügung, mit der in relativ kurzer Zeit große Wandflächen erkundet werden können. Ziel der Untersuchungen war es, Klüfte und Schichtgrenzen im oberflächennahen Bereich bis ca. 50 cm zu lokalisieren und zu beurteilen. Des Weiteren sollte das Kluftsystem in der direkten Umgebung der Kellergänge in seiner Gesamtheit erfasst und bewertet werden.

Im Rahmen des Modellprojektes wurden dafür zunächst vergleichend zwei Sensoren mit unterschiedlicher Eindringtiefe und Auflösung eingesetzt und die ausgewählten Kellerbereiche dann mit dem prädestinierten Sensor vollflächig in Längs- und Querrichtung untersucht. Anhand der Erkenntnisse und Erfahrungen wurden Empfehlungen für zukünftige Untersuchungen erarbeitet und Bereiche für Sicherungsmaßnahmen ausgewiesen. Ausgewählt wurden Abschnitte im Bauernkeller, Rappenkeller und Weiß-Tauben-Keller.

## 2. Verfahrensbeschreibung Georadar

Mit zerstörungsfreien geophysikalischen Untersuchungsverfahren werden zunächst als Ergebnis physikalische Größen ermittelt. Für die gewünschten bauspezifischen Informationen müssen diese dann interpretiert und bewertet werden. Aufgrund langjähriger Erfahrungen und einer interdisziplinären Zusammenarbeit erfahrener Geophysiker und Bauingenieure kann die Bewertung der Ergebnisse oftmals ohne kalibrierende Eingriffe erfolgen.

Mittels Kalibrierungen oder Vergleichsmessungen können im Bedarfsfall die Informationen weiter verifiziert werden. In Abhängigkeit vom Objekt und den Fragestellungen werden ggf. Kalibrierungen empfohlen und notwendig. Deren Anzahl kann aber minimiert werden und die Positionierung von beispielsweise Bohrungen kann ganz gezielt erfolgen. Oft sind dann nur noch sehr kleine und sehr wenige Eingriffe in die Originalsubstanz nötig und die Untersuchungsobjekte bleiben weitgehend unbeschädigt (Patitz 2009, 2012).

Das Radarverfahren basiert auf der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen in einem Medium. Deren Einleitung in das Untersuchungsobjekt erfolgt über eine auf der Oberfläche platzierte Sendeantenne (Sensor). Die Wellen durchlaufen das Medium mit einer stoffspezifischen Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$ . Diese Ausbreitungsgeschwindigkeit ist vor allem von der Dielektrizitätszahl des Mediums abhängig. Da die Dielektrizitätszahl von Luft bzw. Vakuum 1, von trockenen mineralischen Stoffen ca. 4 bis 8 und von Wasser ca. 80 ist, beeinflusst der Porenwassergehalt die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen maßgebend. So verringert sich bei hohem Porenwassergehalt die Wellengeschwindigkeit deutlich. Im vorliegenden Fall des sehr grobporigen Sandsteins konnte der Stein selbst wenig Wasser in den Poren binden. So beeinflusste der hohe Feuchtegehalt der Keller die Radardaten kaum.

Beim Fortschreiten werden die Wellen durch Divergenz, Reflexion, Streuung und Absorption geschwächt. Beim Übergang von einem Medium in ein anderes mit abweichenden elektrischen Eigenschaften wird ein Teil der einfallenden Wellen gebrochen, während der verbleibende Anteil an der Grenzfläche reflektiert wird. Der Kontrast der Dielektrizitätszahlen benachbarter Materialien bestimmt im Wesentlichen das Reflexionsvermögen der Trennflächen. Die Amplituden der reflektierten Wellen werden durch die Größe, Form, Lage und Beschaffenheit der Grenzfläche bestimmt. An der Bauteiloberfläche werden die zurückgelangenden Reflexionen von dem Sensor aufgenommen, registriert und später interpretiert.

Die Dielektrizitätszahl und der spezifische elektrische Widerstand sind u.a. abhängig vom Material, der Porenstruktur, dem Salzgehalt und dem Feuchtegehalt. Die wichtigsten Einflussfaktoren für die Wellenausbreitung sind somit die Materialzusammensetzung und –struktur sowie der Gehalt und die Verteilung von Feuchte und Salzen.

Strukturuntersuchungen erfolgen im Allgemeinen auf der Basis von Reflexionen im untersuchten Medium. Es werden hierbei die Reflexionsamplituden betrachtet und interpretiert. Feuchtebelastungen führen zu einer Verminderung der Wellengeschwindigkeit und somit Verlängerung der Wellenlaufzeit. Allerdings dient Wasser aufgrund seiner besonders starken Reflexionen als Kontrastmittel. Durch Salze werden die elektromagnetischen Wellen stark absorbiert. In diesen Bereichen können in der Regel keine Aussagen zur Mauerwerksstruktur getroffen werden.

Das Auflösungsvermögen, d. h. die Fähigkeit geometrisch kleine Anomalien zu orten, wird durch den Frequenzgehalt der Sensoren bestimmt. Dabei sind die Form des Signals und die Dominanzfrequenz maßgebend. Bei hohen Frequenzen wird eine hohe Auflösung erreicht, jedoch nimmt die Reichweite im Untersuchungsobjekt ab. Die Auswahl der zu verwendenden Sensoren und Sendefrequenzen ist abhängig von der gewünschten Eindringtiefe, der Auflösung und dem Durchfeuchtungs- und Salzgehalt des Untersuchungsgebietes. Oftmals ist es sinnvoll, verschiedenen leistungsfähige Sensoren einzusetzen.

Die spätere Datenverarbeitung im Büro dient der Herausstellung und Verstärkung der Nutzsignale in einer übersichtlichen Form. Die Darstellung der Daten kann in Form von Radargrammen erfolgen, wobei es sich um Tiefenprofile handelt. Abbildung 1 zeigt schematisch die Messanordnung und exemplarische Darstellung von Ergebnissen der Reflexionsmessungen bei Zugänglichkeit von einer Seite. Im nebenstehenden Radargramm werden die von den im Untergrund oder Bauteil verborgenen Strukturen verursachten typischen Reflexionen gezeigt. Ausgewertet werden in den Radargrammen

Signalreflexionen. Dabei werden deren Tiefenlage, deren Verlauf und die Reflexionsstärke beurteilt. Die Reflexionsstärken werden farbcodiert wiedergegeben. Hohe Reflexionsamplituden werden blau (negativ) und rot-violett (positiv) dargestellt. Niedrige Reflexionsamplituden erscheinen gelb.

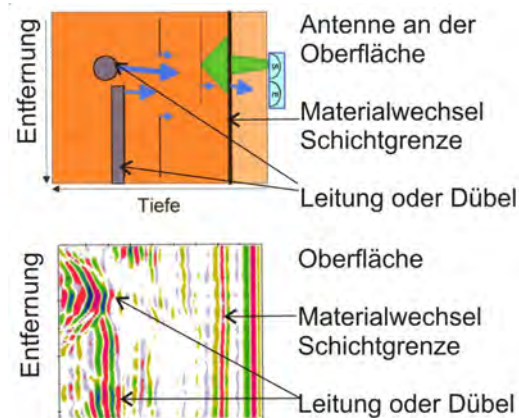


Abbildung 1: Messanordnung für die Reflexionsanordnung und Darstellung der Strukturen im Radargramm. Radargramme sind Schnittdarstellungen der Radarechos entlang der Messlinien (Patitz 2009).

Bei Bestimmung der Wellengeschwindigkeit des untersuchten Materials aufgrund von Kalibrierungsmöglichkeiten oder plausibler Abschätzung kann die Laufzeit der Wellen in den zurückgelegten Weg übersetzt und so die Tiefenlage der Reflektoren berechnet werden. Da die Wellengeschwindigkeit materialbedingt tatsächlich nie konstant ist, ist die Tiefenachse nur eine Näherung, aber mit einer vertretbaren „Ungenauigkeit“. Der Fehler bei der Angabe von Strukturen liegt in einem Rahmen von +/- 10% der angegebenen Tiefe.

Die Kalibrierung an geeigneten Gesteinsvorsprüngen und vorhandenen Bohrlöchern ergab hier eine mittlere Wellengeschwindigkeit für den untersuchten Sandstein von 0,11 m/ns. In der Fachliteratur sind Wellengeschwindigkeiten für Sandstein von 0,8 m/ns (nass) bis 0,13 m/ns (trocken) zu finden (Knödel et.al. 1997). Die durch Kalibrierung vor Ort ermittelte Wellengeschwindigkeit von 0,11 m/ns beschreibt somit einen im Mittel um ca. 40% - 60% durchfeuchteten Sandstein.

Innerhalb der Keller und zwischen den einzelnen Kellern ist der Sandstein recht unterschiedlich durchfeuchtet. Besonders große Schwankungen wurden für den Weiß-Tauben-Keller ermittelt. Hier schwankt die Durchfeuchtung zwischen 10% und 90%, wahrscheinlich bedingt durch seine vergleichsweise geringe Erdüberdeckung. Im Mittel liegt aber auch hier die Durchfeuchtung des Sandsteins, wie in den anderen untersuchten Kellern zwischen 40% und 70%.

### 3. Das Konzept und die Durchführung der Radaruntersuchungen

Die Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Messkampagne erfolgte in interdisziplinärer Zusammenarbeit von erfahrenem Bauingenieur Dr. Gabriele Patitz und Geophysiker der GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH Karlsruhe Dr. Alexander Hemmann (Patitz 2009, 2012).

Die zu untersuchenden einzelne Abschnitte im Bauernkeller, Rappenkeller und Weiß-Tauben-Keller wurden von den Projektbeteiligten ausgewählt. Erste Testmessungen im Bauernkeller ergaben, dass mit dem 900 MHz Sensor eine relativ hohe Eindringtiefe von mehr als 150 cm erreicht werden kann. Vergleichsmessungen fanden mit dem 400 MHz Sensor statt. Aufgrund der mit dem 900 MHz Sensor erreichbaren hohen Auflösung und Eindringtiefe wurde aber entschieden, sämtliche Untersuchungen nur mit diesem Gerät auszuführen (Abbildung 2).

Alle Messgebiete wurden vollflächig untersucht und Längsprofile (y-Richtung) entlang der Seitenwände und der Decken im Abstand von 20 cm ausgeführt. Weiterhin wurden Querprofile (x-

Richtung) über die Seitenwand-Decke-Seitenwand verlaufend im gleichen Profilverlauf gemessen. Für jedes Messfeld wurde ein Koordinatensystem angelegt. Dadurch können die Ergebnisse lagegetreu zugeordnet werden. Die Messbedingungen können hier für das Bauradar als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Ergänzend wurden für die Interpretation der Radardaten in den Untersuchungsbereichen die baulichen Ergänzungen sowie die Risse und Klüfte schematisch kartiert und fotografisch dokumentiert.



Abbildung 2: Zur Messung wird der 900 MHz Sensor an den Wandflächen entlang geführt.

#### 4. Die Auswertung der Radaruntersuchungen

Bei der Bewertung der Radarergebnisse muss berücksichtigt werden, dass unterschiedliche Feuchtegehalte eine Veränderung der Wellengeschwindigkeit bewirken. Wie angegeben schwankt beim vorliegenden Sandstein die Wellengeschwindigkeit aufgrund unterschiedlicher Durchfeuchtung maximal zwischen 0,8 m/ns und 0,13 m/ns (100 % bis 0 % Durchfeuchtung). Um die großen Schwankungsbreiten der Durchfeuchtung im Weiß-Tauben-Keller zu berücksichtigen, werden für diesen Keller die Fehlergrenzen für die Tiefenangaben von bisher +/- 10 % auf +/- 20 % erhöht. Die angesetzte Wellengeschwindigkeit ist konstant für das gesamte durchstrahlte Gesteinspaket. Unterschiedliche Durchfeuchtung innerhalb dieses Gesteinspaketes werden gemittelt berücksichtigt.

Sämtliche 20 cm aufgezeichneten Radargramme wurden einzeln händisch ausgewertet. In Abbildung 3 ist für einen schematischen Kellergang die Lage der Radargramme im Bauern- und Weiß-Tauben-Keller in Querrichtung (x-Richtung) dargestellt. Abbildung 4 gibt für einen schematischen Kellergang die Lage der Radargramme in Längsrichtung (y-Richtung) der Keller (Bauernkeller und Weiß-Tauben-Keller) wieder. Dieses System konnte aufgrund der baulichen Situation nicht auf den Rappenkeller übertragen werden. Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die Lage der Radargramme im Rappenkeller.

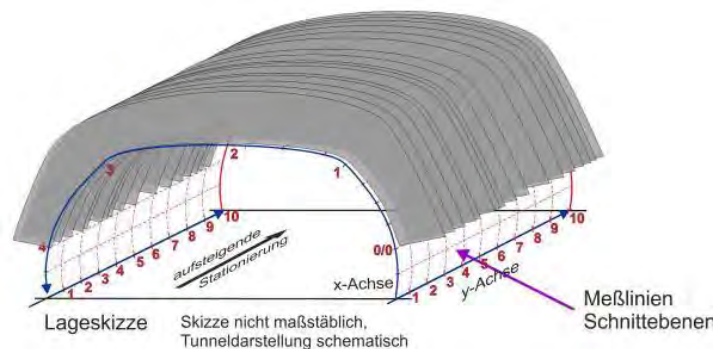


Abbildung 3: Lage der Radargramme in Kellerquerrichtung (x-Richtung) im Bauern- und Weiß-Tauben Keller



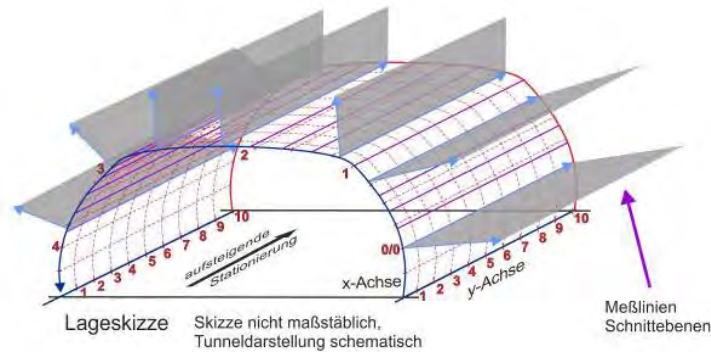


Abbildung 4: Lage der Radargramme in Kellerlängsrichtung (y-Richtung) im Bauern- und Weiß-Tauben Keller

Reflexionen der Radarsignale finden immer an Materialgrenzen statt. Je größer der Unterschied der Dielektrizität ist, umso stärker sind die Reflexionen. Die stärksten Reflexionen treten beim Übergang von Sandstein zu Luft auf. Anhand der unterschiedlichen Stärken der aufgezeichneten Reflexionen und der Kalibrierungsmöglichkeiten erfolgte folgende Bewertung der Radardaten:

- Rot durchgezogene dicke Linie: Klüfte oder sandsteintypische Schichtung (im Bereich der Decke) mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit offen oder lose mit einem Feinkorn verschlossen
- Rot durchgezogene dünne Linie: Klüfte oder sandsteintypische Schichtung (im Bereich der Decke) mit hoher Wahrscheinlichkeit offen oder lose mit einem Feinkorn verschlossen
- Rot gestrichelte dünne Linie: Klüfte oder sandsteintypische Schichtung (im Bereich der Decke) die erkennbar sind, aber vermutlich nicht offen

Mittels kleiner Erkundungsbohrungen kann bei Bedarf diese Bewertung ergänzend kalibriert werden. Dazu können im Wandbereich Stellen mit geringer Überdeckung der Klüfte oder sandsteintypische Schichtung (z. B. im Bereich der Decke) aus dem Radar herangezogen werden.

In den Abbildungen 5 und 6 sind beispielhaft die Radarergebnisse für die Messungen in Querrichtung der Keller (x-Richtung) dargestellt. Bei den Schnittebenen  $y=2,0$  m und  $y=2,2$  m handelt es sich um die Lage der Radarprofile im Kellergang, bezogen auf den gewählten Koordinatenursprung. Die Tiefenlage und der Verlauf der erkennbaren Klüfte sind in der Schemazeichnung darunter angegeben. Da es sich um Ergebnisse im Bauernkeller handelt, betragen die Fehlergrenzen ca. +/- 10 % der angegebenen Tiefen.

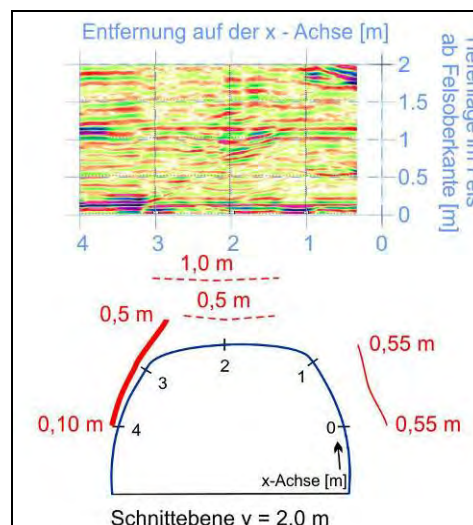


Abbildung 5: Bauernkeller: Radargramm in Kellerquerrichtung bei  $y = 2,0$  m und Interpretation der Reflexionen, Verlauf von offenen und vermutlich offenen Klüften / Schichtungen markiert als rote Linien mit Tiefenangaben

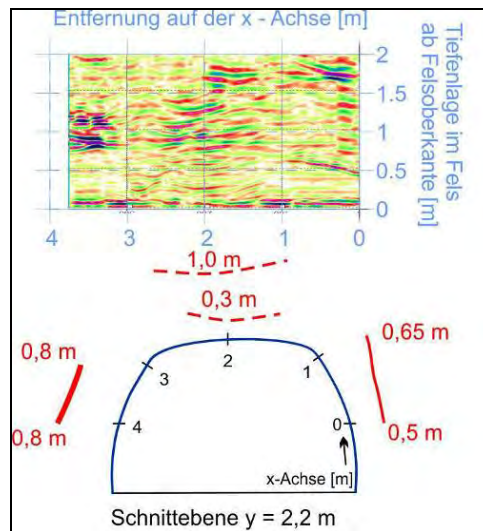


Abbildung 6: Bauernkeller: Radargramm in Kellerquerrichtung bei  $y = 2,2$  m und Interpretation der Reflexionen, Verlauf von offenen und vermutlich offenen Klüften / Schichtungen markiert als rote Linien mit Tiefenangaben

In Längsrichtung der Keller (y-Richtung) wurden in den drei Kellern alle 20 cm Profile an der Decke und an den Längswänden aufgenommen. Die Darstellung und Bewertung der Klüfte erfolgte analog wie bei den Querprofilen (Abbildungen 5, 6, 7).

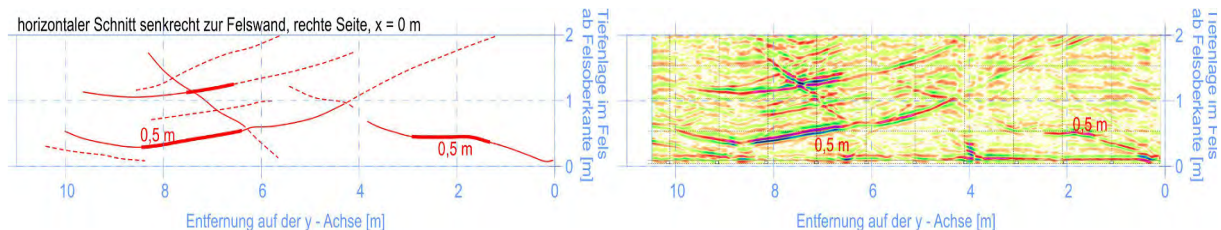


Abbildung 7: Bauernkeller: rechte Wand, rechts: Radargramm in Kellerlängsrichtung bei  $x = 0$  m, typische Reflexionen an offenen und vermutlich offenen Klüften, markiert als rote Linien mit Tiefenangaben im linken Bildteil.

Im Radargramm in Abbildung 7 sind die Reflexionen unterschiedlicher Stärken und Tiefenlage sehr gut zu erkennen. Bei den Abschnitten höchster Reflexionsstärken (Rot-Blau-Rot z.B. zw.  $y = 6,5 - 8,2$  m) kann davon ausgegangen werden, dass hier eine offene Kluft vorhanden ist. Die daran anschließenden Bereiche sind vermutlich teilweise noch offen ( $y = 6,0 - 4,0$  m) und die Kluft läuft dann aus bzw. es ist eine sandsteintypische Schichtung vorhanden ( $y = 3,8 - 1,5$  m). Die längste Kluft von ca.  $y = 1,20$  m bis ca.  $y = 10$  m lässt sich bis in Tiefen von ca. 2,0 m (bei  $y = 1,5$  m) verfolgen. Quer dazu einlaufende Klüfte zeichnen sich ebenfalls sehr gut ab.

Aufgrund dessen, dass deutliche Reflexionen aus Tiefen von mehr als 1,10 m erfasst wurden, kann von einer sicheren Eindringtiefe von mindestens 1,0 m ausgegangen werden (Abbildung 7). Die gewünschte Eindringtiefe wurde um mehr als das Doppelte mit einem für diese Fragestellung sehr gut auflösenden Sensor erreicht. Ursächlich dafür ist die Art des Sandsteins. Dieser ist grobporig, sammelt in diesen groben Poren kein Wasser und enthält kaum tonige Anteile. Nur beim Weiß-Tauben-Keller sind sehr dünne tonige Schichtungen erkennbar, welche aber aufgrund dieser sehr geringen Dicke nur einen unwesentlichen Einfluss auf die Wellengeschwindigkeit bzw. Tiefenangaben haben und auch nicht zuverlässig in den Radargrammen erfasst werden können. Bei einem Schilfsandstein wäre vergleichsweise solch eine große Eindringtiefe nicht möglich. Hinweise auf eine Salzbelastung aufgrund erhöhter Absorption wurden nicht gefunden.

## 5. Die Ergebnisse der Radaruntersuchungen

Prinzipiell ergeben die Längsprofile einen sehr guten Überblick über die Kluftsituation. Daher wird im Folgenden nur noch auf diese eingegangen. Es werden hauptsächlich die oberflächennahen Klüfte betrachtet, da diese standsicherheitsrelevant sind. Aber auch bei der Betrachtung der Querprofile wird erkennbar, in welchen Kellerabschnitten Änderungen im Kluftsystem vorhanden sind.

### 5.1 Bauernkeller

Im Bauernkeller konnten die Untersuchungen wie zuvor beschrieben ausgeführt und entsprechend den Abbildungen 3 und 4 ausgewertet und dargestellt werden. Der Zwickel zwischen den beiden senkrechten Wänden und der Decke ist abgerundet gearbeitet worden und somit konnten mit dem Sensor kontinuierliche Querprofile ohne abzusetzen gefahren werden.

#### 5.1.1 Bauernkeller: Ergebnisse an der rechten Wand in Kellerlängsrichtung

In beiden Messprofilen ( $x = 0$  m und  $x = 0,8$  m) in Abbildung 8 sind in gleicher Tiefenlage zwei etwa ähnlich verlaufende Klüfte über die gesamten untersuchten ca. 10 m Kellergang erkennbar. Diese sind mit Kluft 1 und Kluft 2 bezeichnet. Im unteren Wandbereich ( $x = 0$  m) ist die Kluft 1 zwischen  $y = 6$  m und  $y = 8,5$  m in einer Tiefe von ca. 40 cm bis ca. 80 cm mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit offen (dicke rote Linie). Im darüber liegenden Bereich in der Höhenlage von  $x = 0,8$  m ist Kluft 1 mit hoher Wahrscheinlichkeit offen (dünne rote Linie). Weiterhin sind einige zu Kluft 1 parallel und auch quer verlaufende Klüfte in größeren Tiefen vorhanden. Kontrolliert werden sollte aber, ob die Kluft 1 im unteren Wandbereich bei  $x = 0$  m und  $y > 8$  m offen ist. Kluft 2 ist mit hoher Wahrscheinlichkeit im unteren Wandbereich ( $x = 0$  m) zwischen ca.  $y > 1,0$  bis 3,0 m in einer Tiefe von ca. 50 cm offen, was ebenfalls kontrolliert werden sollte.

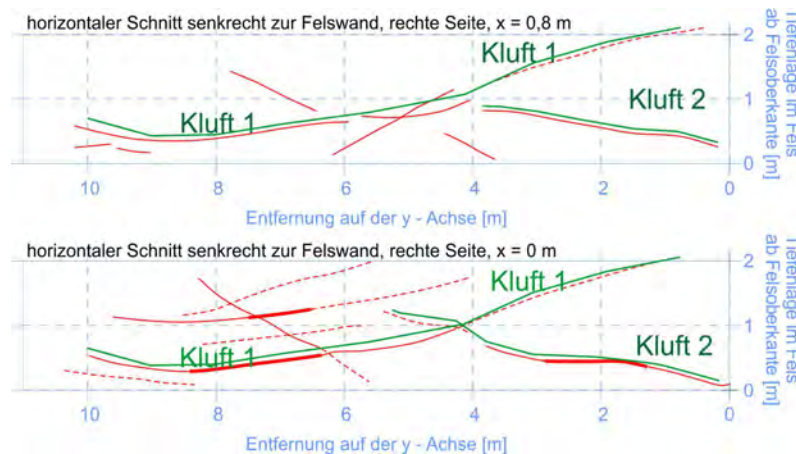


Abbildung 8: Bauernkeller: Ergebnisse an der rechten Wand, Offene und vermutlich offene Klüfte sind in verschiedenen Tiefen vorhanden.

#### 5.1.2 Bauernkeller: Ergebnisse an der Decke in Kellerlängsrichtung

Die Ergebnisse in Abbildung 9 zeigen für die Wandhöhen von  $x = 1,20$  m,  $x = 2,2$  m und  $x = 2,6$  m über eine Kellerlänge von ca. 9,5 m einen Hinweis auf eine sandsteintypische Schichtung in einer Tiefe von ca. 100 cm über die gesamte Deckenbreite. Die vergleichsweise niedrigen Reflexionsstärken im Vergleich zu den bekannt offenen Klüften lassen dies vermuten.

In der Wandhöhe von  $x = 1,2$  m sind im oberflächennahen Bereich einzelne schräg ins Innere verlaufende, vermutlich offene Klüfte oder Schichtgrenzen vorhanden. Lokal ist bei ca.  $y = 7,8 - 9,0$  m über die gesamte Kellerbreite in der Decke ein sehr oberflächennaher auffälliger Bereich mit starken Reflexionen. Es handelt sich um einen ausgemauerten Felsabschnitt. Hinter der Ausmauerung ist es vermutlich hohl. Dieser Bereich sollte kontrolliert und ggf. unterstützt werden.

## Umweltverträgliche und denkmalgerechte Instandsetzung historischer Keller in Franken am Beispiel des Kellerwaldes bei Forchheim

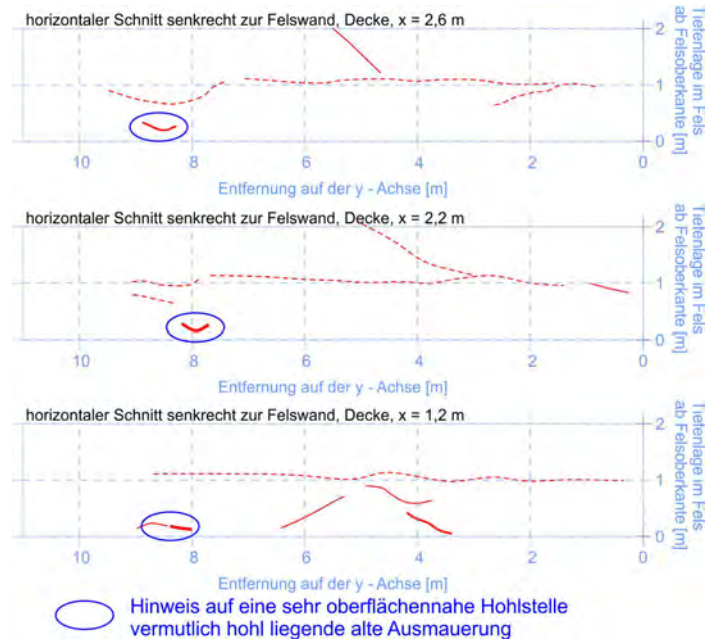


Abbildung 9: Bauernkeller: Ergebnisse an der Decke, vermutlich sandsteintypische Schichtung in 1 m Tiefe, bei ca. 8,0 m oberflächennahe Ausbesserung mit Hohllagen.

### 5.1.3 Bauernkeller: Ergebnisse an der linken Kellerlängswand

Die linke Wand wird durch einen Gang in einen kurzen Seitenkeller unterbrochen.

Es zeichnen sich an der Wand etwa drei oberflächennahe und teilweise oberflächenparallele Klüfte ab, die mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit offen sind (dicke rote Linien). Weiterhin sind einige schräg ins Innere verlaufende, vermutlich auch offene oder lose verfüllte Klüfte erkennbar (dünne oder gestrichelte Linien) (Abbildung 10).

Im vorderen Abschnitt der Wand befindet sich die sehr oberflächennah beginnende und mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit offene Kluft 1. Schräg und teilweise parallel dazu aber in Tiefen ab ca. 50 cm zeichnet sich Kluft 2 ab, bei der es sich vermutlich um eine sandsteintypische Schichtung handelt. Bei ca.  $y = 7$  m ist im oberen Wandbereich ( $x = 3$  m) Kluft 3 sehr wahrscheinlich offen und nach hinten in den Fels verlaufend. Es ist eine geringe Überdeckung von nur ca. 10 cm vorhanden. Im unteren Bereich ( $x = 3,8$  m) ist Kluft 3 länger und zwischen ca.  $y = 8,5$  m bis  $y = 10,50$  m sehr wahrscheinlich auch offen.

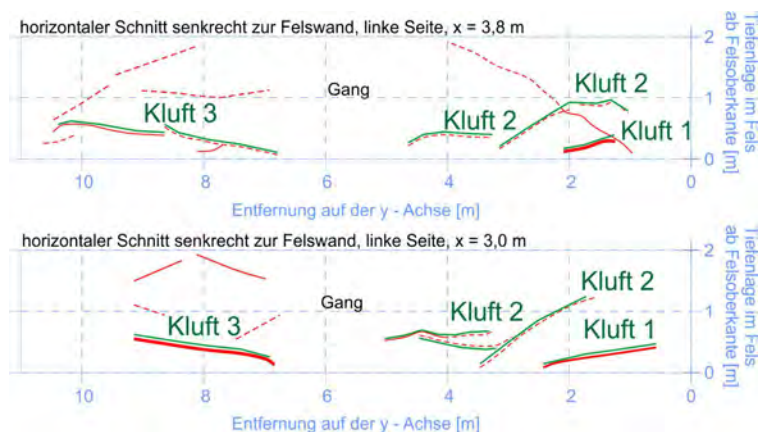


Abbildung 10: Bauernkeller: Ergebnisse an der linken Wand, Offene und vermutlich offene kleinere Klüfte sind erkennbar.



## 5.2 Rappenkeller

Beim Rappenkeller konnten aufgrund der baulichen Situation die Radarprofile in Querrichtung nicht kontinuierlich aufgenommen werden. Deshalb wurden die beiden Wände und die Decke separat bearbeitet. Die rechte Wand wurde als Messfläche A, die Decke als Fläche B und die linke Wand als Fläche C bezeichnet. Für jede Fläche wurde ein separates Koordinatensystem verwendet.

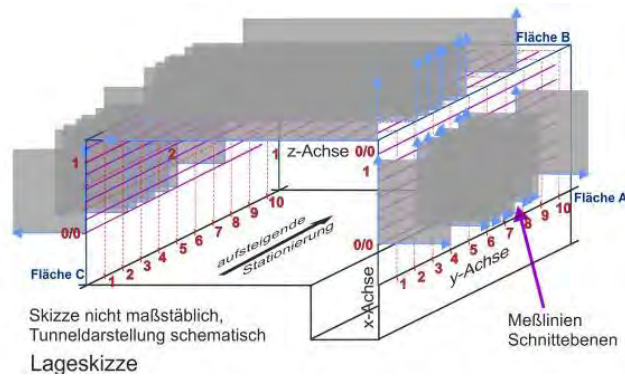


Abbildung 11: Bezeichnung der Messflächen und Lage der Radargramme in Kellerquerrichtung

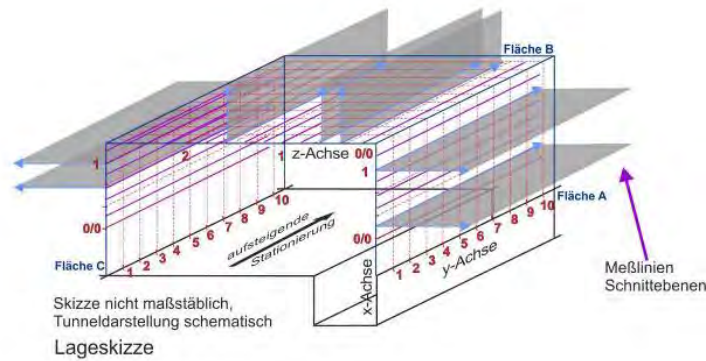


Abbildung 12: Bezeichnung der Messflächen und Lage der Radargramme in Kellerlängsrichtung

### 5.2.1 Rappenkeller: Ergebnisse an der rechten Kellerlängswand

Besonders auffällig sind hier zwischen ca.  $y = 3,0$  m und  $5,5$  m sowie bei ca.  $y = 6,8$  m sehr oberflächennahe starke Reflexionen mit Hinweis auf Hohllagen. Es handelt sich dabei um lokale ältere Ausbesserungen (Abbildung 14). Ursächlich für diese Reflexionen sind zum einen der Materialkontrast Sandstein – Ziegel und zum anderen der vermutlich hinter den Ziegeln noch vorhandene Hohlräume. Im Felsinneren sind nur vereinzelt vermutlich offene Klüfte vorhanden.

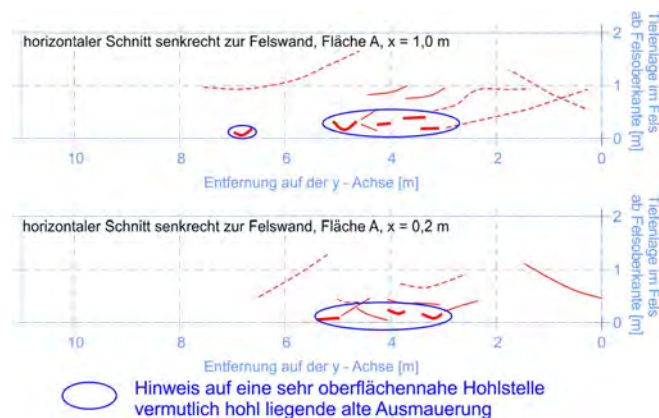


Abbildung 13: Rappenkeller: Ergebnisse an der rechten Wand, Zwischen 3 – 5 m sind Ausbesserungen vorhanden. Siehe Abbildung 14



Abbildung 14: Rappenkeller, Situation an der rechten Wand zwischen  $y = 4,0 - 7,0$  m

### 5.2.2 Rappenkeller: Ergebnisse an der Decke

Ab ca. 40 cm vom rechten Deckenrand zwischen  $y = 0,8$  m bis ca. 5,80 m ist der Hinweis auf eine sandsteintypische Schichtung in einer Felstiefe von ca. 10 bis max. 30 cm vorhanden (Abbildung 15 unten). Ab ca. 60 cm vom rechten Deckenrand bis ca. 1,60 m, also über eine Breite von ca. 100 cm, besteht der Verdacht auf eine offene bzw. gelöste Schichtung in ca. 10 cm Tiefe zwischen  $y = 5,0$  m bis ca. 7,0 m (Abbildung 15 mittig). Daran anschließend in Richtung linker Wand setzt sich diese Schichtung fort, kann allerdings „noch“ geschlossen sein. Abbildung 16 zeigt die bauliche Situation bei ca.  $y = 6,50$  m. Hier ist eine Kluft vermauert worden. Aufgrund der Hinweise aus dem Radar auf offene Schichtungen sollten diese Abschnitte prinzipiell unterstützt werden.

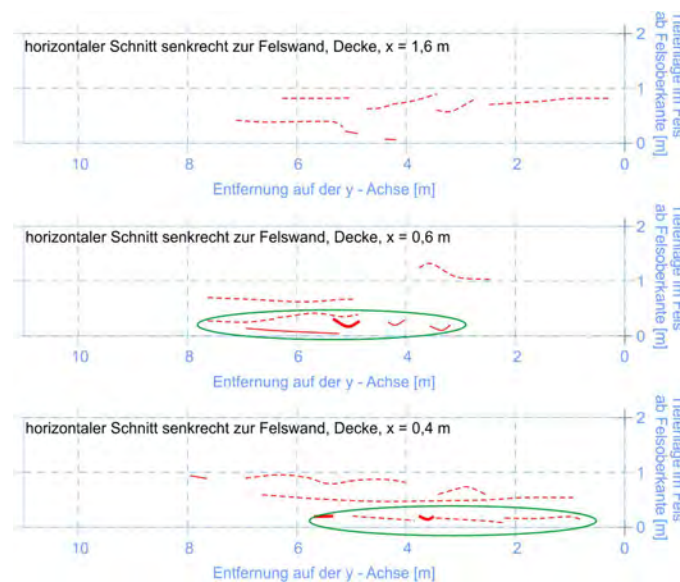


Abbildung 15: Rappenkeller: Ergebnisse an der Decke, sandsteintypische Schichtungen über eine Deckenbreite von mind. 1,20 m (Grün umrissene Abschnitte), die vermutlich teilw. offen sind.



Abbildung 16: Rappenkeller: bauliche Situation an der Decke bei  $y = 6,50$  m

### 5.2.3 Rappenkeller: Ergebnisse an der linken Kellerlängswand

Parallel zur Wandoberfläche laufende Klüfte sind kaum vorhanden, lediglich zwischen ca.  $y = 2,2$  m und  $3,5$  m in einer Tiefe von ca.  $0,4$  m bis  $0,5$  m. Diese Kluft ist bei  $x = 0,6$  m offen, was sehr gut an der dort vorhandenen Kalibrierungsbohrung kontrolliert werden konnte (Abbildung 17 oben). Bei den danebenliegenden oberflächennahen Reflektoren handelt es wieder um Ausbesserungsstellen (Abbildung 18). Diese setzen sich bis in die Decke fort und wurden auch dort mit dem Radar erfasst.

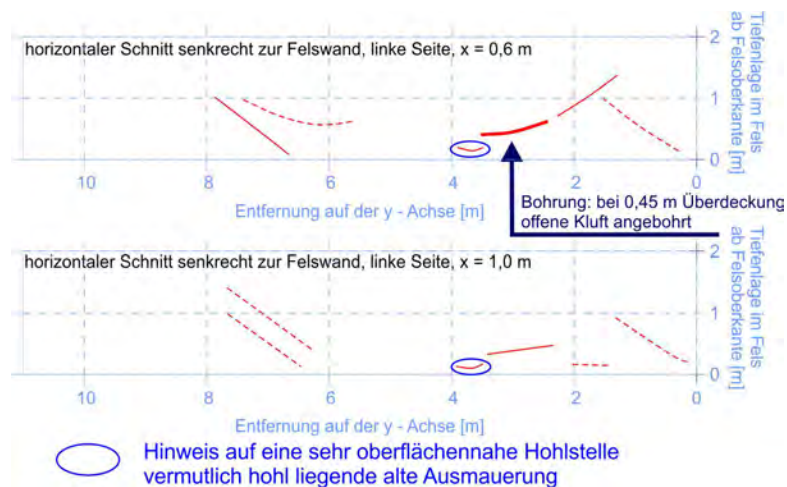


Abbildung 17: Rappenkeller: Ergebnisse an der linken Wand, Lage der Kalibrierungsbohrung



Abbildung 18: Ausbesserungen an der Decke zwischen  $y = 3,0$  m und  $4,0$  m



## 5.3 Weiß-Tauben-Keller

Der Zwickel zwischen den beiden senkrechten Wänden und der Decke ist abgerundet hergestellt worden und somit konnten mit dem Sensor kontinuierliche Querprofile gefahren werden. Die Untersuchungen und Auswertungen erfolgten entsprechend denen beim Bauernkeller.

### 5.3.1 Weiss-Tauben-Keller: Ergebnisse an der rechten Kellerlängswand

Hier haben aufgrund der hohen Schwankungen des Durchfeuchtung des Sandsteins die Tiefenangaben einen Fehlerbereich von +/- 20 %. Hier zeichnen sich zwei etwa parallel verlaufende Klüfte (1 und 2) in einer Tiefe von ca. 60 cm bis 100 cm und in einer Tiefe von ca. 140 bis 150 cm ab (Abbildung 19). Die vordere Kluft 1 beginnt bei ca.  $y = 2,0$  m und endet bei ca.  $y = 7,60$  m und ist ab einer Wandhöhe von ca.  $x = 0,8$  m sehr wahrscheinlich offen. Der darunter liegenden Bereich bis  $x = 0$  m ist vermutlich auch offen. Die etwa parallel verlaufende Kluft 2 liegt deutlich tiefer im Fels und ist vermutlich ebenso offen. Weiterhin sind kürze und mehr als 100 cm tief liegende schräge Klüfte erkennbar (Abbildung 19).

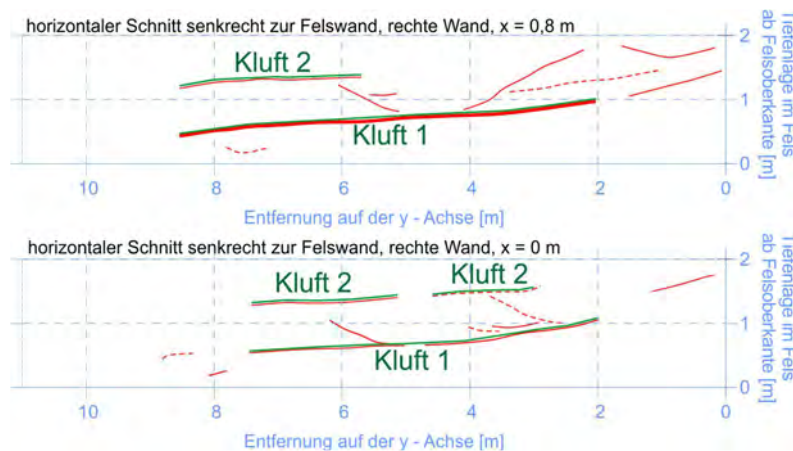


Abbildung 19: Weiß-Tauben-Keller: Ergebnisse an der rechten Wand, parallele vermutlich offene Klüfte in verschiedenen Tiefenlagen

### 5.3.2 Weiß-Tauben-Keller: Ergebnisse an der Decke

Über die gesamte Deckenbreite sind vermutlich offene und relativ oberflächennahe Schichtungen vorhanden (Abbildung 20). Ab  $x = 2,0$  m liegen diese in einer Tiefe von deutlich weniger als 50 cm,

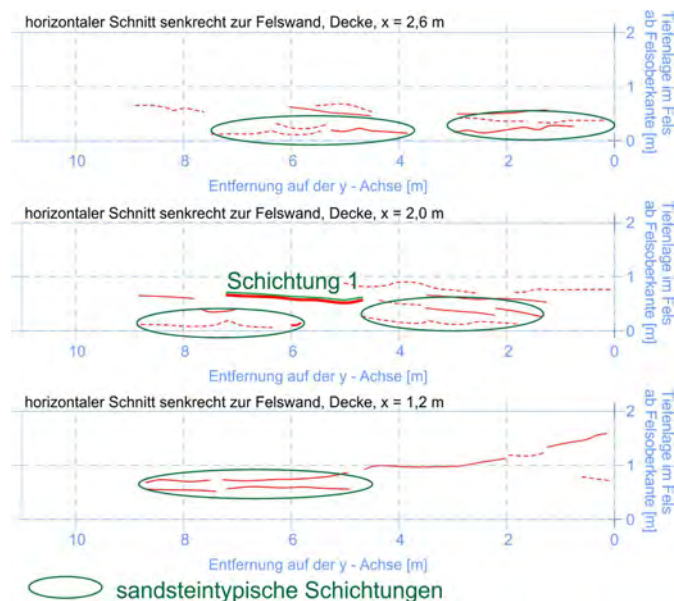


Abbildung 20: Weiß-Tauben-Keller: Ergebnisse an der Decke, Hinweise auf stellenweise offene Schichtgrenzen wie bei Schichtung 1 ( $x=2,0$  m).



teilweise mit einer Überdeckung von weniger als ca. 15 cm. Diese Schichtungen sind leicht schräg verlaufend und nicht über die gesamte untersuchte Kellerlänge durchgehend. Im hinteren Bereich ab  $y = 9,0$  m sind diese nicht mehr vorhanden. Bei  $x = 2,0$  m ist in einer Tiefe von ca. 70 bis 80 cm mit einer etwa 3 m langen offenen Schichtung zu rechnen (siehe Schichtung 1 in Abbildung 20). Hier sollte der gesamte untersuchte Bereich von ca.  $y = 0$  m bis  $y = 9$  m unterstützt werden.

### 5.3.3 Weiß-Tauben-Keller: Ergebnisse an der linken Kellerlängswand

Diese Wand wird durch einen kleinen Seitengang bzw. eine Nische unterbrochen. Zwischen ca.  $y = 4,0$  m und  $y = 7,0$  m ist eine mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit offene Kluft (1) in einer Tiefe von ca. 30 bis 35 cm vorhanden. Bei  $x = 2,8$  m setzt sich diese oberhalb des Ganges im Scheitelbereich fort (Abbildung 21). Rechts neben dem Gang befindet sich bereits eine Ausbruchsstelle mit etwa dieser Gesteinsdicke (Abbildung 22).

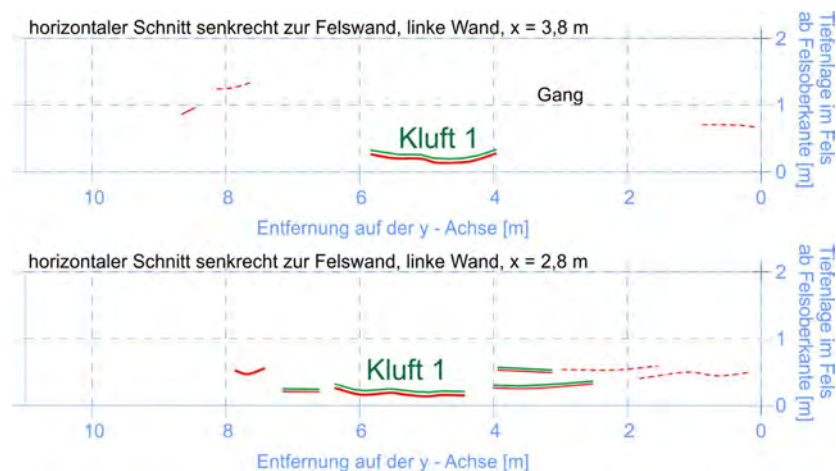


Abbildung 21: Weiss-Tauben-Keller: Ergebnisse an der linken Wand, Kluft 1 sehr wahrscheinlich offen

Oberhalb dieser Ausbruchsstelle weisen die starken Reflexionen aus dem Radar auf eine offene Kluft hin. Diese vermutlich offene Kluft erstreckt sich bis in die Decke (Schichtung 1 in Abbildung 20 bei  $x = 2,0$  m). Zu diesem Kluft- und Schichtsystem gehören auch die in Abbildung 20 markierten oberflächennahen teilweise vermutlich offenen Schichtgrenzen. Dieser ganze Wandabschnitt und zugehörige Deckenbereich muss abgestützt werden.



Abbildung 22: vermutlich hohl liegende Kluft in der Wand, die sich bis in das Schichtungssystem der Decke erstreckt.

## 6. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Qualität der Radardaten zur Erkundung der Sandsteininformationen in Abschnitten der ausgewählten Keller kann als sehr gut beurteilt werden. Es wurde eine Eindringtiefe von ca. 2,0 m erreicht. Offene Klüfte, teilweise offene Klüfte und sandsteintypische Schichtungen (zum Teil geöffnet) zeichnen sich bis in diesen Tiefenbereich anhand unterschiedlicher Reflexionsstärken sehr deutlich ab.

Die Wände und Decken wurden in zwei Richtungen (Längs (y)- und Querrichtung (x)) vollflächig untersucht. Anhand der Daten ergibt sich ein sehr gutes Übersichtsbild über den Verlauf der Klüfte, Kluftsysteme und Schichtungen bezogen auf den gewählten Koordinatenursprung. Diese Kenntnisse können als Basis für weitere Bearbeitungsschritte dahingehend dienen, dass insbesondere in den Grenzbereichen Decke-Wand und mit Einbezug der Seitengänge das Streichen und Fallen der Klüfte und Kluftsysteme erfasst und beurteilt werden kann. Ergänzend können weiterführende Auswertung durch Spezialisten wie Geotechniker diesen Untersuchungen angeschlossen werden. Es ist möglich, mit den bisher gewonnenen Informationen das Kluftsystem als 3-D Modell je Keller zu erarbeiten.

Prinzipiell hat sich das Radarverfahren für die Erkundung bei diesen Kellern als sehr erfolgreich erwiesen. Mit einem 900 MHz Sensor kann eine ausreichend hohe Eindringtiefe und Auflösung erzielt werden. Die Auswertung und Bewertung der ausgeführten Längs- und Quermessungen hat aufgezeigt, dass für zukünftige Untersuchungen die Aufnahme von Längsprofilen ausreichend ist. Damit ergibt sich eine deutliche Zeit- und Kostenersparnis. Die Messungen der Längsprofile sollten dann ebenfalls vollflächig mit einem Profillinienabstand von 20 cm erfolgen. Diese können bei Kostendruck bis auf drei Profile je Wand ausgedünnt werden, was aber zu Lasten der Genauigkeit und der Vollständigkeit bei der Erfassung des Kluft- und Schichtverlaufes geht.

Für die Bewertung der Klüfte nach „sehr wahrscheinlich offen (Luftspalt)“, „wahrscheinlich offen“ und „sandsteintypische Schichtung“ sollten die Kalibrierungen an Bohrungen erfolgen. Es wird daher empfohlen, in oberflächennahen und unbedenklichen Bereichen diese Bewertungen ergänzend zu kalibrieren. Das betrifft insbesondere die Bewertung der sandsteintypischen Schichtungen. Geeignet sind Kernbohrungen, die auch endoskopisch untersucht werden können.

Insbesondere in den Deckenbereichen ergaben sich teilweise Hinweise auf sehr oberflächennahe vermutlich offene Schichtungsgrenzen. Diese Bereiche wurden später im Rahmen des Modellprojektes durch ein Stützsystem abgesichert.

## 7 Literaturverzeichnis

- Patitz, Gabriele (2009), Zerstörungsfreie Untersuchungen an altem Mauerwerk, Fachbuch Beuth Verlag Berlin
- Patitz, Gabriele (2009), Anwendung zerstörungsfreier Verfahren zur Untersuchung alten Mauerwerks und alter Betonbauwerke. In: Der Bausachverständige, Heft 3/2009
- Patitz, Gabriele (2012) Altes Mauerwerk zerstörungssarm mit Radar und Ultraschall erkunden und bewerten. Bauphysik-Kalender 2012, Verlag Ernst & Sohn Berlin
- Knödel, K., Krummel, H., Lange, G (1997), Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten - Geophysik. 369 ff,

### Bildquellen:

- 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 17, 19, 20, 21: Patitz und GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbh Karlsruhe
- 1, 3, 4, 11, 12: GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbh Karlsruhe  
alle anderen Bilder von der Autorin

## Günter Meier

Ingenieurbüro Dr. G. Meier GmbH  
Am Schirmbach 7, 09600 Oberschöna  
[www.dr-gmeier.de](http://www.dr-gmeier.de)

## Ingenieurgeologische Bewertung und bergtechnische Sanierung des Weiß-Tauben- Kellers

### Abschlussbericht

#### Kurzfassung

Partielle Firstnachbrüche im Weiß-Tauben-Felsenkeller gaben Anlass, ingenieur- und bergtechnische Arbeiten zur Gewährleistung der unter- und übertägigen Sicherheit durchzuführen. Der Weiß-Tauben-Keller wurde vor mehreren hundert Jahren sehr oberflächennah aus den Sandsteinschichten bergmännisch herausgearbeitet. Natur- und nutzungsbedingte Einwirkungen auf das Gebirge führen zunehmend zu einer Schwächung der Standsicherheit der Hohlräume. Im Rahmen der ingenieurtechnischen Bearbeitung wurde auf der Grundlage von vermessungstechnischen Aufnahmen die Über- und Untertagesituation ingenieurgeologisch dokumentiert. Den kartierten Schäden wurden Risikoklassen zugeordnet und daraus differenzierte Sanierungsmaßnahmen abgeleitet. Unter Berücksichtigung der musealen Nutzung der Felsenkeller wurden differenzierte bergmännische Sanierungsarbeiten durchgeführt, die insbesondere dem Besucherweg eine hohe Sicherheit zuordnen.

#### 1. Veranlassung und Zielstellung

Die denkmalgeschützten, historischen Felsenkeller im Kellerwald von Forchheim sind überregional bekannt und stellen eine bedeutende Sehenswürdigkeit dar. Sie sind auch ein kulturelles Erbe des historischen Brau- und Schankwesens sowie der Bierlagerung der Stadt Forchheim.

In der jüngsten Vergangenheit ereigneten sich in den Kellergängen des Weiß-Tauben-Kellers mehrere kleinere Firstfälle und eine großflächige Firstablösung (Abbildung 1).

Die Stadt Forchheim als Eigentümerin der Kellieranlage konnte aufgrund der eingetretenen Schäden die Sicherheit nicht mehr gewährleisten und untersagte die uneingeschränkte Nutzung der Kellergänge. Nur der Eingangsbereich des Kellers durfte von dem Erbbauberechtigten noch weiter zu Lagerzwecken genutzt werden.

Grundsätzlich musste festgestellt werden, dass ohne zielgerichtete Unterhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen ein weiterer Verfall der Kellieranlage durch die steten Einwirkungen der geodynamischen Prozesse (z. B. Verwitterung, Wurzeln) eintritt. Bei der Fortentwicklung der Deformationsprozesse in Verbindung mit einer nicht ausreichenden Festgesteinsüberdeckung können auch Tagesbrüche und somit größere Gefährdungen der öffentlichen Sicherheit im Felsenkeller und an der Tagesoberfläche nicht ausgeschlossen werden. Aufgrund dieser Ausgangssituation beauftragte die Stadt Forchheim das Ingenieurbüro Dr. G. Meier GmbH, geotechnische Untersuchungen zur Schadenssituation und zur Standsicherheit der Kellieranlage durchzuführen. Im Ergebnis sollten Risikobewertungen zu den Gebirgs- und Standsicherheitsverhältnissen vorgenommen und Sanierungsmöglichkeiten zur Erhaltung sowie Nutzungshinweise der historischen, denkmalgeschützten Kellieranlage vorgelegt werden. Der Weiß-Tauben-Keller soll dabei eine „Beispielfunktion“ einnehmen [1].



Abbildung 1: Großflächiger Firstfall im Südgang

Eine detaillierte unter- und übertägige vermessungstechnische Aufnahme bildete die Grundlage für alle ingenieurgeologischen Erfassungs- und Bewertungsarbeiten in der Kelleranlage. Eine besondere Bedeutung bei der geotechnischen Dokumentation wurde dem Kluftsystem des Sandsteins, dem Wasserzutritt und der fortschreitenden Durchwurzelung der hangenden Schichten beigemessen.

## 2. Ingenieur- und hydrogeologische Situation

Die im Bearbeitungsgebiet anstehenden Fest- und Lockergesteine besitzen sehr unterschiedliche Gesteins- und Gebirgseigenschaften. Sie werden überprägt durch die Morphologie, Lagerungsverhältnisse und durch das räumlich ausgebildete tektonische Trennflächengefüge, das partiell auch Störungscharakter tragen kann. Großen Einfluss auf die dauerhafte Standsicherheit der Hohlraumkonturen nehmen des Weiteren die bergmännischen Eingriffe und die damit verbundenen Gebirgsauflockerungen sowie erhöhten Wasserwegigkeiten.

Die Gesteinsabfolge im Bearbeitungsgebiet ist gekennzeichnet durch eine Wechsellagerung von Sand- und Tonsteinen. Der gelbe bis ockerfarbene Sandstein ist ein verwitterungsresistentes Festgestein. Das eisenschüssige Bindemittel mindert teilweise die Bindekraft. Dies wird bestätigt durch felsmechanische Untersuchungen an ausgewählten Gesteinsproben des Werksandsteines **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Der Sandstein weist Gesteinsdruckfestigkeiten von 2 bis 8 MN/m<sup>2</sup> auf. Gänzlich andere ingenieurgeologische Eigenschaften besitzen die Tonsteine (Knollenmergel, Hauptton). Sie können den Halbfestgesteinen zugeordnet werden. Die Tonsteine sind verwitterungsanfällig, was sich morphologisch an „weichen“ Geländeformen zeigt. Auf dem Plateau über dem Weiß-Tauben-Keller sind sie abgetragen. Die Verwitterungsdecke des Sandsteines besteht aus Lehm und Verwitterungsschutt. Die Mächtigkeit beträgt durchschnittlich ca. 2,5 m .

Der Weiß-Tauben-Keller steht im Werksandstein („Obere Bierkeller“), der grundsätzlich standfest ist, jedoch bei Klufthäufungen zum Firstfall und dem Ausbruch von größeren Kluftkörpern neigt. Als Trennflächen werden zwei senkrecht aufeinander und steil stehende Hauptkluftflächen (annähernd E-W und N-S streichend) und schichtparallele Schluff- und Tonbänder („Pflanzentone“) wirksam. Der Horizont der „Pflanzentone“ ist insgesamt 30 bis 40 cm mächtig. Er streicht im Ostteil des Kellers im Firstbereich aus. Er besteht aus dünnen, 1 bis 3 cm mächtige Schluff- und Tonlagen, die den Werksandstein durchziehen. Besonders dort, wo die „Pflanzentone“ im Firstgewölbe austreichen, wie das im Ostteil der Kelleranlage auftritt, kommt es gehäuft zum Firstfall (Abbildung 1)



Weitere Ablösungsflächen sind Schichtflächen, auf denen Glimmerminerale (Muskovit) angereichert sind. Durch die Tagesnähe der Kellergänge ist das Gebirge verstärkt aufgelockert und entfestigt, zumal ein erhöhter, niederschlagsbedingter Wassereinfluss deutlich wirksam wird.

Die Gebirgsauflockerung wird auch durch die morphologischen Gegebenheiten begünstigt. Im Kellerwald ragt der heutige Ausstrich des Werk- und Kellersandsteines zungenförmig nach Westen. Er wird von Taleinschnitten begrenzt, so dass faktisch an drei Talflanken kein Gebirgsdruck entgegenwirkt und ein „Zertriften“ des Gebirgsverbandes auftritt. Dies zeigt sich in geöffneten Spalten (Bergzerreißung).



Abbildung 2: Durchwurzelte und durchnässte „Pflanzentone“ führen im Firstbereich zu Gesteinsablösungen

Das hydrogeologische Regime wird im Allgemeinen durch die Morphologie, Geologie, bergmännische Eingriffe und Niederschläge bestimmt. Im Raum Forchheim sind die hydrogeologischen Standortbedingungen in besonderem Maße durch die rasche Abfolge von wasserundurchlässigen und wasserdurchlässigen Schichten charakterisiert. Der Knollenmergel des Mittleren Keupers, der Hauptton des Oberen Keupers sowie die Ton- und Tonmergelsteine des Lias  $\beta$  sind als Wasserstauer wirksam. Die wasserstauende Eigenschaft des Knollenmergels, der die unteren, flachen Talhänge des Regnitztales einnimmt, zeigt sich sehr deutlich an zahlreichen Fischweihern auf diesem Horizont. Der Hauptton ist der bedeutendste Quellhorizont der Region, auf dem vielerorts Schichtquellen austreten.

Keller- und Werksandstein sind hingegen durch ihre Klüftung wasserdurchlässig. Die Sandsteine sind z. T. sehr geklüftet und in tagesnahen Bereichen sind die Klüfte spaltenartig erweitert. Sie fungieren als wichtige Kluftgrundwasserleiter in der Region. Im Bearbeitungsgebiet wird die Versickerungs- bzw. die Grundwasserneubildungsrate im Werksandstein als sehr hoch eingeschätzt, da die aufliegende Verwitterungsdecke sehr dünn ist und die Sandsteinschichten geöffnete Klüfte aufweisen. Das Oberflächenwasser kann den tagesnahen Bierkellern direkt zufließen. Oberhalb des bergmännisch aufgefahrenen Weiß-Tauben-Kellers („Obere Bierkeller“) ist kein geschlossener Grundwasserspiegel zu erwarten.

Entsprechend der Morphologie ist die Entwässerung im Bearbeitungsgebiet von Osten nach Westen zur Regnitz gerichtet. Der mittlere Jahresniederschlag liegt in der Region Forchheim bei 600 bis 800 mm **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

### 3. Vermessung und Beschreibung der Kelleranlage

Die vermessungstechnischen Arbeiten während der Erkundung und Dokumentation umfassten die Aufmessung der untertägigen Kellerkontur und der übertägigen Topografie einschließlich der Schächte im Bearbeitungsbereich. Untertage wurden die Schäden (Verbruchkonturen) und wichtige Trennflächen (Klüfte, Störungszonen) vermessungstechnisch erfasst. Die Vermessung wurde an das amtliche Lage- und Höhensystem des Freistaates Bayern angeschlossen.

Der Lage- und Höhenanschluss erfolgte satellitengestützt. Die vermessungstechnische Detailaufnahme erfolgte mit einem Tachymeter. Ergänzungsmessungen oder unerreichbare Flächen/Objekte wurden mittels Handlasergerät oder einem Gliedemaßstab eingemessen. Im Ergebnis entstand ein Risswerk unter Berücksichtigung der DIN 21 900 ff. (Bergmännisches Risswerk). Für die graphische Darstellung kam ein freier Blattschnitt zur Anwendung.

Der heutige Grundriss des Weiß-Tauben-Kellers lässt drei parallel zueinander liegende, ursprüngliche Kelleranlagen erkennen, die nachträglich miteinander verbunden wurden (Abbildung 3). Ihre Erstreckung verläuft in Ost-West-Richtung. Die Gänge werden im Folgenden als Nordgang, Hauptgang und Südgang bezeichnet.

Tabelle 1: Wichtige Merkmale und Kenngrößen der Kellergänge

	<b>Nordgang</b>	<b>Hauptgang</b>	<b>Südgang</b>
Länge [m]	25,9	49,3	28,3
Breite [m]	1,7 bis 3,2	2,0 bis 2,5	1,8 bis 2,2
Höhe (mit Ausbrüchen) [m]	1,7 bis 3,7	1,8 bis 4,6	1,7 bis 2,4
GOK Plateau [m] NHN	330,1 bis 330,4	330,2 bis 330,4	329,9 bis 330,2
Sohlenhöhe [m] NHN	322,4 bis 322,8	322,1 bis 322,6	322,5 bis 322,7
Zustand des Lüftungsschachtes	vollständig verfüllt, ohne Funktion	offen, funktionsfähig	teilverfüllt, ohne Funktion
Fasslagerbänke (aus [4])	schlicht ausgearbeitet	sehr gut ausgearbeitet	nicht vorhanden
Sandsteinausmauerung	Pfeiler aus Sandsteinquadern (1 Stck.)	Kellerzugang	Gewölbemauerung mit Sandsteinquadern (3 Stellen)
Besonderheiten	im Osten abgetrennter Raum	Endschaft nach N verschwenkt	Durchstieg zu Hofmann's Keller

Die Gesamtlänge der drei Kellergänge beträgt zusammen 127 m. Der Kellerzugang erfolgt von Osten über den Hauptgang auf einem Niveau von 323,3 m NHN. Der Zugang ist als Segmentbogenportal aus Sandstein ausgeführt. Das Portal befindet sich direkt an der asphaltierten Straßenzufahrt „Auf den Kellern“ und liegt fast auf Fahrbahnniveau (323,5 m NHN). Über dem Zugangsbereich ist eine Terrasse angelegt, die teilweise überdacht und über eine Treppe von der Straße aus erreichbar ist. Diese Terrasse befindet sich ca. 2 m höher als das Straßenniveau (325,4 bis 325,6 m NHN). Die drei Kellergänge weisen unterschiedliche Längen und Breiten auf. Auch die Raumhöhen in den Kellergängen variieren aufgrund der geologischen Verhältnisse und den eingetretenen Firstfällen z. T. erheblich (Tabelle 1).

Nord-, Haupt- und Südgang sind durch kurze Querschläge miteinander verbunden. Die drei Kellersohlen liegen auf einem vergleichsweise einheitlichen Niveau von 322,1 bis 322,8 m NHN. Von den drei Kellergängen gehen mehrere kurze Lagernischen für Fässer ab. Außerdem sind an den Stößen insgesamt 12 Lampennischen (Geleuchtnischen) herausgearbeitet [4].

Die drei Kellergänge besitzen an ihrem westlichen Ende jeweils einen seigeren Lüftungsschacht. Gegenwärtig ist nur der Lüftungsschacht im Hauptgang funktionsfähig, die beiden anderen Schächte sind voll- bzw. teilverfüllt. Nahe dem östlichen Ende des Südganges befindet sich am südlichen Stoß ein verbauter Durchgang zum benachbarten Hofmann's Keller.

Die gemauerten, untertägigen Sandsteinbögen, die im Osten der drei Kellergänge fast auf einer gedachten Linie liegen, lassen die ursprüngliche Eingangssituation erkennen. Wann die Umbauten am Weiß-Tauben-Keller durchgeführt wurden, ist nicht bekannt. Die bergmännischen Bearbeitungsspuren sind an den Stößen und der Firste noch großflächig sichtbar. Die Stöße waren größtenteils mit einem Kalkanstrich versehen [4].

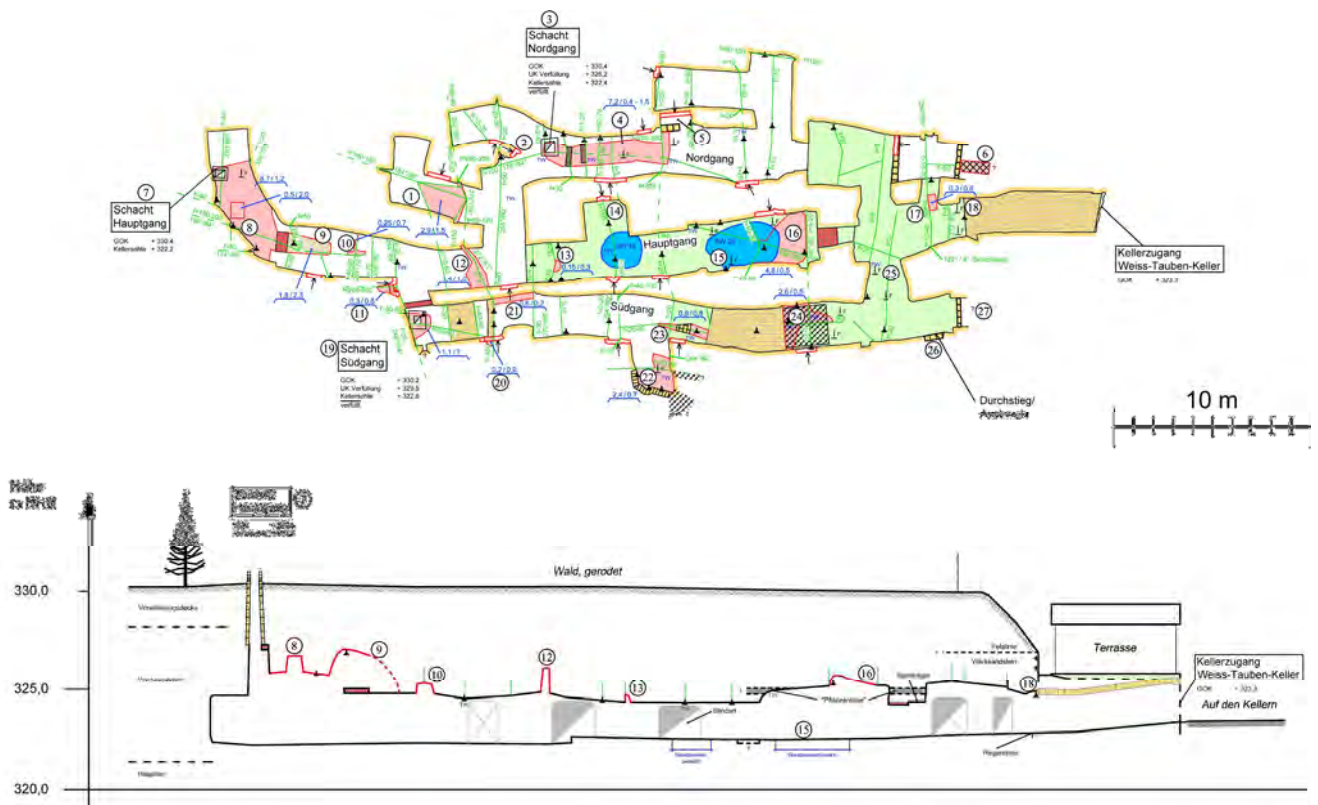


Abbildung 3: Grundriss der Kellergänge und Schnitt durch den Hauptgang

### 4. Geotechnische Dokumentation der Schadstellen

Die im Weiß-Tauben-Keller dokumentierten Schadstellen wurden mit fortlaufenden Positionsnummern versehen und unter ingenieurgeologischen Gesichtspunkten beschrieben. Es wurden insgesamt 27 Schadstellen ausgewiesen. Schwerpunkte bei der Dokumentation waren sicherheitsrelevante Quantifizierungen der einzelnen Schadensausmaße, wie beispielsweise Größe und Tiefe von Ausbruchflächen, Öffnungsweiten und Raumlage von Klüften, Deformationen von Stoß und Firste, Tropf- und Standwasser sowie vorhandene Kontursicherungen (z. B. Ziegelausbau). Einen Schwerpunkt bei der Dokumentation stellten frische, aktive Deformationsprozesse in den einzelnen Kellergängen dar. Eine große Bedeutung, insbesondere für die weitere sichere Kellernutzung, erhielten die Lüftungsschächte. Die Abbildung 3 enthält die geotechnische Dokumentation. Sie bildete die Grundlage für die detaillierte Risikobewertung und Sanierungsempfehlungen.

### 5. Risikoanalyse

Bei den unterirdischen Hohlräumen des Weiß-Tauben-Kellers handelt es sich äquivalent um sehr tagesnahen Altbergbau. Deshalb wurde die Risikoanalyse auf der Grundlage der Empfehlungen des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. für die „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ durchgeführt [5].

Im Ergebnis der geotechnischen Untersuchung wurde den festgestellten Schadstellen Risikoklassen zugewiesen. Der exakte Zeitpunkt des Eintretens eines möglichen Verbruch- und Deformationsereignisses lässt sich jedoch grundsätzlich nicht exakt bestimmen. Das Risiko ist ein Produkt aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß eines unerwünschten Ereignisses.

Beide Faktoren werden in halbquantitativen Verfahren ermittelt und als Risikoklassen kategorisiert. Die differenzierte Risikobewertung veranschaulicht die Abbildung 4 mit der enthaltenen Bewertungsmatrix. Die 4 Risikoklassen sind unter Berücksichtigung der Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ [2] definiert. Bei der Zuweisung der Risikoklassen erfährt auch die Nutzung (z. B. vorgesehener Besucherweg) eine Berücksichtigung. Die Nutzung ist sehr wesentlich im Hinblick auf das mögliche Schadensausmaß.

Eintrittswahrscheinlichkeit	sehr wahrscheinlich	IV	III	II	I	
	wahrscheinlich	IV	IV	III	II	$R_A > R_G$
	wenig wahrscheinlich	IV	IV	IV	III	$R_G$
	praktisch unmöglich	IV	IV	IV	IV	
		unbedeutend	klein	hoch	sehr hoch	$R_A < R_G$
	<b>Schadensausmaß</b>					

Abbildung 4: Abhängigkeit des Risikos von der Eintrittswahrscheinlichkeit und vom Schadensausmaßes ( $R_A$  - Ausgangsrisiko,  $R_G$  - Grenfrisiko) [6]





- Es kann davon ausgegangen werden, dass die Hohlräume im Sandstein grundsätzlich standsicher sind.
- Durch die permanent angreifenden geodynamischen Prozesse ist mit der Zeit ein mehr oder weniger ständiger Sicherheitsverzehr an den Dauerstandeigenschaften der Hohlräume zu beobachten.
- Als Haupteinflussgrößen auf die Veränderung der Standfestigkeit sind die vorhandene Gebirgsentfestigung, Wassereinflüsse, Schwellen und Quellen der schichtparallelen Toneinlagerungen sowie Wurzeleinwachsungen hervorzuheben.

Zur Wiederherstellung einer hohen Sicherheit im gesamten Weiß-Tauben-Keller und der Gewährleistung der Sicherheit an der Tagesoberfläche sind differenzierte ingenieur- und bergtechnische Sanierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des ermittelten Ausgangsrisikos (vergebene Risikoklassen) erforderlich. Folgende wesentliche Kriterien sind bei der Auswahl der Sanierungsmaßnahmen zu berücksichtigen:

- Funktionalität
- Dauerhaftigkeit
- Zukünftige Kellernutzung
- Belange des Denkmalschutzes

Folgende Hinweise und Randbedingungen sollten bei der Sanierung grundsätzlich beachtet werden:

- Vor Beginn der Arbeiten sind die Herstellung der Firstsicherheit und die Beräumung der Sohle im Transportbereich vorzunehmen.
- Größere Wasserzuflüsse sind aus der Firste geordnet abzuleiten.
- Vorhandene Installationen sind zu sichern bzw. bei Bedarf zu erneuern.
- Vorhandene Ein- und Ausbauten (z. B. Stahlausbau Hauptgang) sind nicht zu verändern.
- Firste und Stöße sind von losem Gestein zu bereißen. Für das Auflager der Ziegelgewölbe ist ein Nachriss erforderlich.
- Für die Ziegelgewölbe sind verwitterungsbeständige Hartbranntziegel zu verwenden.
- Die Hinterfüllung der Gewölbe muss immer vollständig, hohlraumfrei und mit zugelassenen, selbsterhärtenden Baustoffen erfolgen. Der Hinterfüllraum muss mit einer Drainage versehen werden.
- Dauerhafte Felsnägel können die Firstsicherung wirksam unterstützen, dazu müssen jedoch die Felsüberdeckung und der Gebirgszustand bekannt sein.
- Im Rahmen des Pflanz- und Pflegeplans sind die Rodung der über dem Keller noch vorhandenen großen Bäume und die Neubepflanzung mit Flachwurzlern zu prüfen.

Im Ergebnis einer eingehenden Diskussion zu den ausgewiesenen bergtechnischen Sanierungsmaßnahmen wurde aus Kostengründen der vorgesehene Besucherweg präzisiert. Das Nutzungskonzept wurde insoweit ergänzt, dass auch die Gebirgsveränderungen (z. B. große Firstablösung) gezeigt werden sollen. Unter der Prämisse, dass das Sandsteingebirge prinzipiell standsicher ist und Firstablösungen sowie der Ausbruch von Kluftkörpern im Besucherbereich zu verhindern ist, wurden die notwendigen bergtechnischen Maßnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit angepasst. In der Abbildung 7 sind die bergtechnischen Arbeiten dargestellt. Der Verlauf des veränderten Besucherweges konzentriert sich auf den Hauptgang. Durch eine ergänzende Beleuchtung auf verschiedene bergkellertypische Schauobjekte in den Nord- und Südgängen ist der Schaulust zu erhöhen, trotz einer begrenzten, zugelassenen Begehbarkeit dieser Hohlräume.

Dieses präzisierte Nutzungskonzept zum Weiß-Tauben-Keller kann nur dann umgesetzt werden, wenn ausreichend die Firstsicherheit im Bereich des Besucherweges hergestellt wird. Die Langzeitsicherheit der Kellieranlage wird nur dadurch gewährleistet, wenn eine jährliche fachtechnische

Hohlraumkontrolle des gesamten Felsenkellers erfolgt. Notwendige partielle Sanierungsarbeiten können dann zeitnah eingeplant werden.

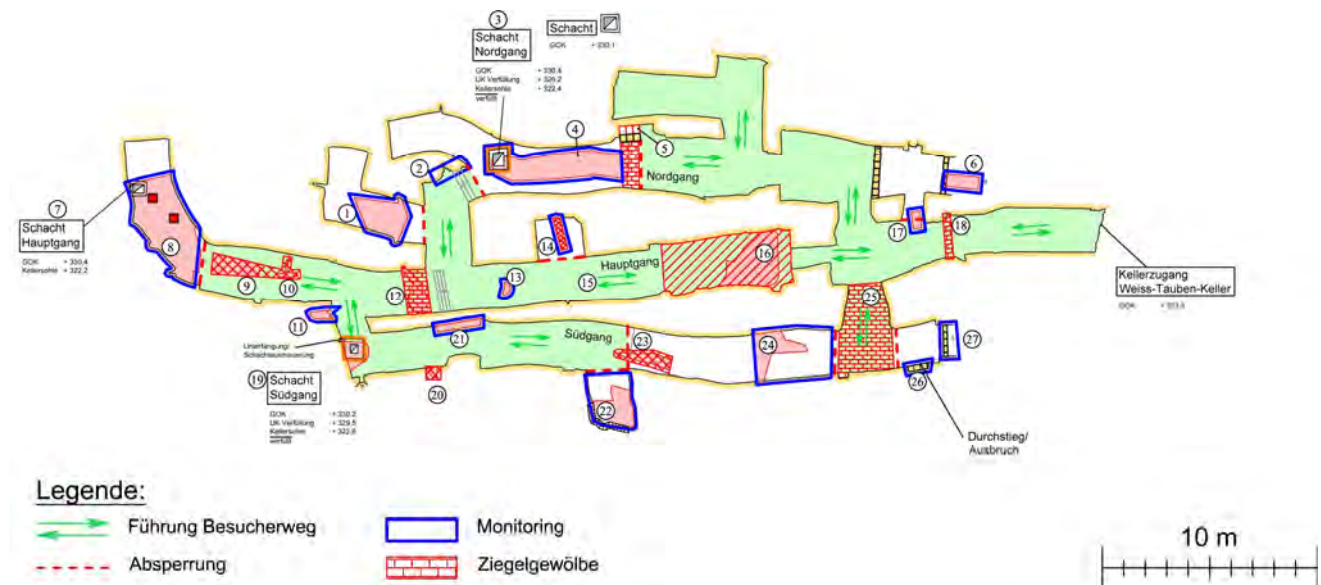


Abbildung 7: Grundriss zur Nutzung und Sanierung des Weiß-Tauben-Kellers

### Literatur

- [1] MEIER, G.: Geotechnisches Gutachten zur Ermittlung von bergtechnischen Sanierungsleistungen für den Weiß-Tauben-Keller im Kellerwald von Forchheim. - Ingenieurbüro Dr. G. Meier GmbH, Wegfarth, 08.01.2014 (unveröff.)
- [2] UTZ, R.: Umweltverträgliche und denkmalgerechte Instandsetzung historischer Keller in Franken am Beispiel der Anlagen des Kellerwaldes in Forchheim, DBU FO Zwischenbericht 05-2013-PD, ProDenkmal GmbH Bamberg, Mai 2013 (unveröff.)
- [3] KRUMBECK, L.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 25.000, Blatt Nr. 6232 Forchheim. - Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1956
- [4] BREITLING, S.: Zweiter Halbjahresbericht Projekthalbjahr 12/2012 bis 05/2013, DBU Projekt Kellerwald Forchheim. - Otto Friedrich Universität Bamberg, Institut für Archäologie, Denkmalkunde und Kunstgeschichte, Bamberg 2013 (unveröff.)
- [5] AUTORENKOLLEKTIV: Empfehlung „Geotechnisch-markscheiderische Untersuchung und Bewertung von Altbergbau“ des Arbeitskreises 4.6 der Fachsektion Ingenieurgeologie bei der DGGT e.V. - Tagungsband 4. Altbergbau-Kolloquium, Freiberg 2004, Verlag Glückauf GmbH, Essen 2004
- [6] MEIER, G.: Zur Vorhersage von schadensrelevanten Einwirkungen im Altbergbau. - Ingenieurbüro Dr. G. Meier - Tagungsband 10. Altbergbau-Kolloquium, Freiberg 2010, VGE Verlag GmbH, Essen 2010



Andreas Schmiedinger  
Büro AgroBIOL – Naturverträgliche Pflege- und Entwicklungskonzepte  
Auf der Hut 14  
95697 Nagel

## Spalten, Klüfte, Dunkelheit – Felsenkeller als außergewöhnlicher Lebensraum

### Kurzfassung

Ob die Felsenkeller des Kellerwaldes intensiver mit ihrer biotischen Umwelt interagieren als andere freistehende, kulturhistorisch bedeutende Bauten aus Naturstein sei dahingestellt. Zumindest laufen viele, in erster Linie biotische, Prozesse im Umfeld der unterirdischen Keller über lange Zeiträume unerkannt ab. Direkt in den Wurzelraum von Gehölzen gebaut, ist ein Aufeinandertreffen von Natur und Kultur, in Form von anthropogenen Grenzflächen, den Kellerwänden, vorprogrammiert. Ferner stellen Keller einen wichtigen Ersatzlebensraum dar für typische Höhlenbewohner, wie Schnecken, Spinnen, Insekten und Fledermäuse. Die Keller des Kellerwaldes sind somit Teil eines räumlich dreidimensionalen, von Menschen geschaffenen Ensembles mit einer hohen ökologischen Wertigkeit. Diese Wechselwirkungen anhand dreier repräsentativer Keller näher zu betrachten, war Teilaufgabe des Forchheimer Kellerwaldprojektes. Als wichtigstes Ergebnis gilt es festzuhalten, dass, wie in sehr vielen Bereichen unserer Umwelt, rein statische, auf die Bauten beschränkt bleibende Sanierungsmaßnahmen das Kellerwaldensemble, bestehend aus kulturhistorisch bedeutsamen Waldbestand und Felsenkellern, nicht dauerhaft sichern können. Vielmehr bedarf es eines Gesamtpflegekonzeptes, das auch die biologischen Prozesse, in Form von Baum- und Strauchbeständen mit einschließt.

### 1 Der Kellerwald – Dynamik zwischen Natur und Kultur

Der Forchheimer Kellerwald muss als dreidimensionaler Wirkungsraum gesehen werden, dessen topografischen Grenzen durch die horizontale sowie die vertikale Ausdehnung (von den Stammfüßen bis zu den Baumkronen) seiner Bäume definiert wird. Sein schattenspendender Charakter ist unverkennbar (Abbildung 1 bis 3).



Abbildung 1: Die Lage der drei ausgewählten Keller im Spiel von Licht und Schatten des Kellerwaldes. Rappen- und Bauernkeller gehören zu den Unteren Kellern, der Weiß-Tauben-Keller ist Teil der Oberen Keller (siehe auch Abbildung 2) (Quelle der digitalen Geodaten ist die Bayerische Landesvermessungsverwaltung, die Lagedaten der Keller wurden von Lena Klahr geliefert).



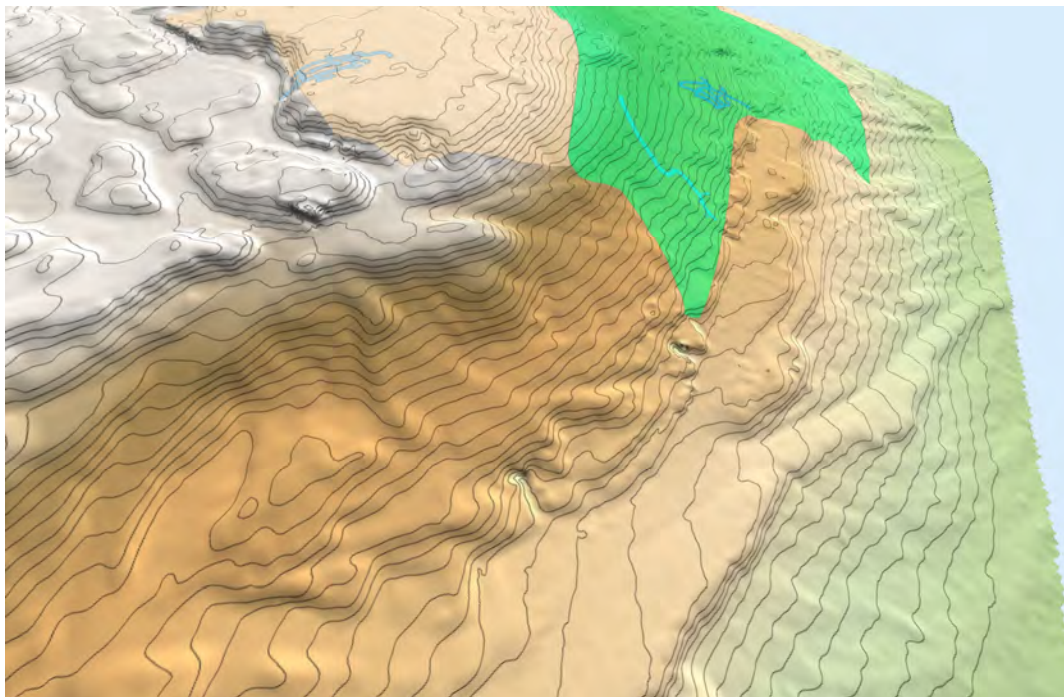


Abbildung 2: Die räumliche Lage der drei ausgewählten Keller im 3D-Modell des Kellerwaldes. Rappen- und Bauernkeller gehören zu den Unteren Kellern, der Weiß-Tauben-Keller ist Teil der Oberen Keller (siehe auch Abbildung 1) (Quelle der digitalen Geodaten ist die Bayerische Landesvermessungsverwaltung, die Lagedaten der Keller wurden von Lena Klahr geliefert).

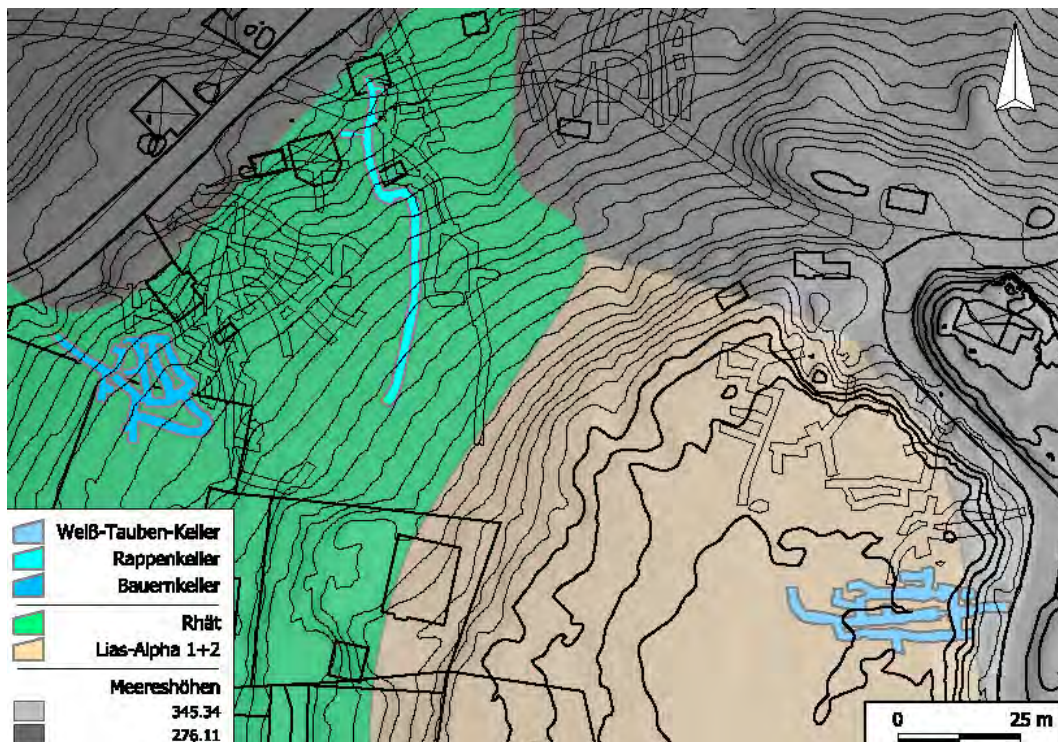


Abbildung 3: Die geologischen Rahmenbedingungen im Kellerwald mit der Lage der drei ausgewählten Keller. Rappen- und Bauernkeller gehören zu den Unteren Kellern, der Weiß-Tauben-Keller ist Teil der Oberen Keller (siehe auch Abbildung 1) (Quelle der digitalen Geodaten ist die Bayerische Landesvermessungsverwaltung, die Lagedaten der Keller wurden von Lena Klahr geliefert).

Flora und Fauna des Waldes werden dadurch maßgeblich beeinflusst. Darüber hinaus setzt sich die vertikale Ausdehnung des Bestandes (von den Stammfüßen bis zu den Wurzelspitzen) in die Tiefe fort, und kann, je nach Bodenbeschaffenheit mehrere Meter betragen. Dieser Teil des Waldes, sein Wurzelraum, befindet sich im Verborgenen und wird deshalb häufig in seiner Bedeutung unterschätzt. Dominiert wird unser Untersuchungsgebiet von Eichen, Buchen, Linden und Kiefern. Ältere Bäume genannter Arten weisen bei einer geschätzten mittleren Baumhöhe von 25 m, Brusthöhendurchmesser (BHD = Baumdurchmesser in einer Höhe von 1,3 m) von mehr als 50 cm auf. Bäume stocken nicht nur auf den die Keller umgebenden Waldflächen sondern wachsen auch auf den Kellerstollen, den Kellereingängen sowie den Schankflächen und verleihen dadurch dem Kellerwald sein einzigartiges, erhaltenswertes Erscheinungsbild. Im Bereich der Oberen Keller beträgt die minimale Überdeckung (Boden und anstehendes Gestein) nur ca. 5 m, ein Durchstoßen der Kellerdecken und –wände durch Baumwurzeln wird dadurch begünstigt. Von dieser 5 m mächtigen Schicht besteht jedoch mehr als die Hälfte aus nicht tragfähigen Verwitterungsschichten. Daher besteht zusätzlich die Gefahr, dass Einstürze in den Kellern auch zu gefährlichen Einbrüchen an der Erdoberfläche führen könnten. Repräsentativ für das Ensemble „Kellerwald“ wurden die drei Keller „Rappenkeller“, „Weiß-Tauben-Keller“ und „Bauernkeller“ untersucht. Ferner mussten, um die Interaktionen zwischen belebter Umwelt und den Kellern besser verstehen zu können, die angrenzenden Natursteinmauern und Gehölzbestände begangen werden.

## 2 Untersuchungsmethoden

Gehölze können im Kellerwald sowohl die oberirdischen Natursteinmauern als auch die eigentlichen, unterirdischen Keller gefährden. Dies kann zum einen durch die, in die Keller eindringenden Wurzeln, zum anderen über zu hohe Drucklasten auf den Kellern geschehen. Um dies näher zu untersuchen wurden die auf den Kellern stockenden Bäume nach Arten kartiert und deren Höhe sowie Brusthöhendurchmesser (BHD) dokumentiert. Diese Grundlage sollte helfen, die in die Keller eindringenden Wurzeln mit den auf den Kellern wachsenden Baumindividuen korrelieren zu können. Mittels Lot, welches in einen Lüftungsschacht hinab gelassen wurde, wurde die Mächtigkeit, das auf dem Weiß-Tauben-Keller lagernden Gesteins bzw. Boden ermittelt. Durch stichprobeartigen Einschlag mittels Bohrstock an 10 Stellen wurde die mittlere Mächtigkeit des Bodens auf dem Weiß-Tauben-Keller ermittelt.

Die Arterfassung der Baum- und Strauchvegetation erfolgte entlang eines Transsektivs beginnend am Bauernkeller über den Rappen-Keller hin zum Weiß-Tauben-Keller. Dabei wurden die floristischen Arten nach der Präsenz-Absenz-Methode erfasst, wobei lediglich auf das Vorhandensein bestimmter Arten geachtet wurde, ohne die Artmächtigkeit bzw. den Deckungsgrad je Flächeneinheit zu erfassen. Repräsentativ für alle drei Keller erfolgte am Kellereingang des Weiß-Tauben-Kellers eine Erfassung der Moosarten. In den Kellern konzentrierte sich die Suche auf geschützte bzw. seltene Tierarten, welche entweder direkt in situ oder im Labor bestimmt wurden.

Alle in Bayern vorkommenden Fledermausarten sind nach der Bundesartenschutzverordnung geschützt. Im Zuge unseres Projektes war es deshalb wichtig, vor Beginn etwaiger Sanierungsarbeiten den Bestand an Fledermäusen in den Projektkellern zu erfassen. Dies geschieht am besten in den Wintermonaten, in welchen Fledermäuse die Keller aufgrund der darin vorherrschenden günstigen mikroklimatischen Bedingungen aufsuchen, um darin ihren Winterschlaf abzuhalten. Das Absuchen der Keller erfolgt vorzugsweise dann, wenn über einen Zeitraum von mehreren Wochen hinweg Temperaturen unter 0° C auftreten. Dies war im Winter 2012/13 im Januar und Februar der Fall. Eine unter Fledermausexperten anerkannte Methode stellt das Absuchen der Spalten und Risse auf darin verborgene Fledermäuse dar. Dabei wurden diese mit starken Taschenlampen ausgeleuchtet. Begonnen wurde das Absuchen dabei am Mauerfuß einer Kellerwand und endete am Scheitelpunkt der Kellerdecke. Dieses Vorgehen wurde an der entsprechenden Seite des Kellers so oft wiederholt bis das Ende desselben erreicht war. Anschließend wurde dieses Verfahren an der korrespondierenden Hälfte des Kellers fortgesetzt, bis schließlich alle Gänge der entsprechenden Keller sondiert waren. Die vorgefundenen Fledermäuse wurden nach Arten bestimmt, kartiert und wenn möglich fotografiert. Um die Tiere nicht unnötig zu stören, wurde darauf geachtet, diese nicht unnötig lange anzuleuchten.

## 3 Rappenkeller

### 3.1 Lebensraum Rappenkeller

Bei der Aufnahme der Baum- und Strauchvegetation entlang eines Transekts Bauernkeller, Rappenkeller, Weiß-Tauben-Keller wurden folgende häufige Arten erfasst:



Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Fichte (*Picea abies*), Stieleiche (*Quercus robur*), Winter-Linde (*Tilia cordata*), Sommer-Linde (*Tilia platyphyllos*), Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus*), Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*), Spitz-Ahorn (*Acer platanoides*), Lorbeer-Kirsche (*Prunus laurocerasus*).

Als typische Bewohner der Keller wurden die Große Höhlenspinne (*Meta menardi*) (Abbildung 4), die Stelzmücke (*Limonia nubeculosa*) und die Schneckenart Tierschneigel (*Limax maximus*) angetroffen.



Abbildung 4: Die Große Höhlenspinne (*Meta menardi*) in ihrem Radnetz.

Beispielhaft für alle drei untersuchten Keller soll an dieser Stelle die Große Höhlenspinne (*Meta menardi*) kurz beschrieben werden. Die Große Höhlenspinne gehört der Spinnenfamilie der Streckerspinnen (Teragnathidae) an und wurde von der Arachnologische Gesellschaft e.V (AraGes) zur europäischen Spinne des Jahres 2012 gewählt. Zeitgleich wurde diese eindrucksvolle Spinne von dem Verband der deutschen Höhlen- und Karstforscher zum Höhlentier des Jahres 2012 gekürt.



Abbildung 5: Höhlenspinnenweibchen bewacht den Kokon mit Nachwuchs.

Die Große Höhlenspinne findet sich den untersuchten Kellern verstärkt im Bereich der Kellereingänge sowie in der Nähe von Lüftungsschächten oder sonstigen belüfteten Stellen. Sehr augenfällig sind die ab Mitte Juli angelegten Kokos, die in Fäden von den Decken hängen und von den Spinnenweibchen bewacht werden (Abbildung 5). Im darauf folgenden Frühjahr verlassen bis zu 300 junge Spinnen die Kokos und wandern entweder zu den Kellerausgängen, um neue Lebensräume zu erschließen oder bleiben im angestammten Keller.

### 3.2 Interaktionen Rappenkeller – biotische Umwelt

Der Kellerwald wäre ohne seine Eichen, Buchen, Linden und Ahornbäume nicht vorstellbar. Es gibt eine Vielzahl positiver Beispiele (Abbildung 6), wie Schankflächenbegrenzungen gut mit alten Baumindividuen koexistieren und diese sogar bereichern können.



Abbildung 6: Sehr gut in den Sitzbereich integrierte Eiche des Löwenbräu-Kellers.

Nicht unerwähnt bleiben dürfen demgegenüber jene Konstellationen Baum-Mauerwerk, die zwangsläufig statische Probleme im Mauerwerk verursachen müssen. Als Beispiele sollen hier Bäume im Bereich des Rappenkellers aufgeführt werden, welche bereits eine Verschiebung des Mauerwerks hervorgerufen haben (Abbildung 7) und noch werden (Abbildung 8).



Abbildung 7: Hier kann der Baum erhalten werden, wenn auf die Mauer im vorderen Bereich verzichtet wird, d.h. Natursteine entfernt werden. Eine Situation, wie in Abbildung 5 könnte entstehen.





Abbildung 8: An diesem Standort hat die Lind keine Zukunft, da die sich unter dem Dach befindliche Schankterrasse bzw. deren Böschungsmauer gefährdet werden würde.

#### 4 Weiß-Tauben-Keller

##### 4.1 Lebensraum Weiß-Tauben-Keller

Obwohl der Kellerwald mit keinem Schutzstatus belegt ist, finden sich hier dennoch nach dem Bundesartenschutzgesetz geschützte Arten, wie z. B. das Braune Langohr (*Plecotus auritus*) (Abbildung 9), eine Fledermausart, die den Schwerpunkt ihrer Winterquartiere in Nordbayern hat und auf Höhlen und Felsenkeller angewiesen ist, oder der Hirschkäfer (*Lucanus cervus*) (Abbildung 10), ein typischer Bewohner lichter Eichenwälder.



Abbildung 9: Die Fledermausart Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) im Kellerwald.



Abbildung 10: Der Hirschkäfer (*Lucanus cervus*) bevorzugt einen lichten Laubwald mit Eichen. Die Aufnahme entstand im Bereich des Neder-Kellers.

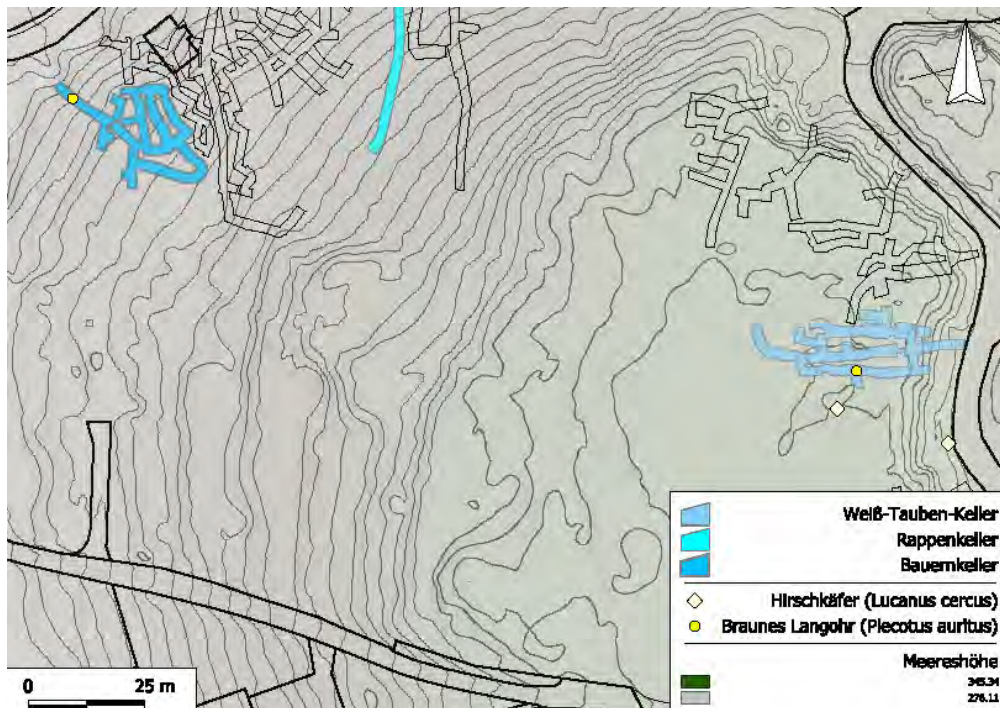


Abbildung 11: Fundorte der Fledermausart Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) und des Hirschkäfer (*Lucanus cervus*) im Kellerwald. (Quelle der digitalen Geodaten ist die Bayerische Landesvermessungsverwaltung, die Lagedaten der Keller wurden von Lena Klahr geliefert).

Auch Moose finden sich an den Kellereingängen und Natursteinmauern, diese schützen die Gesteinsoberflächen z. B. vor starken Temperaturschwankungen. Dies zeigen sehr eindrücklich die Ergebnisse eines anderen Modellprojektes der DBU zur naturverträglichen Sanierung von Natursteinmauerwerken, welche in dem Buch „Zwischen Denkmalschutz und Naturschutz – Leitfaden zur naturverträglichen Instandhaltung von Mauerwerk in der Denkmalpflege“ (Beierkuhnlein, C., Drewello, R., Snethlage, R., Töpfer, L. et al. 2011) veröffentlicht wurden. Die häufigsten und bekanntesten Moose im Eingangsbereiches des Weiß-Tauben-Keller sind: Mauer-Drehzahnmoos (*Tortula muralis*), Krücken-Kurzbüchsenmoos (*Brachythecium rutabulum*), Echtes Seidenmoos (*Homalothecium sericeum*), Haarblättriges Birnenmoos (*Bryum capillare*), Silber-Birnenmoos (*Bryum argenteum*) und Polster-Kissenmoos (*Grimmia pulvinata*).



### 4.2 Interaktionen Weiß-Tauben-Keller – biotische Umwelt

#### 4.2.1 Interaktionen mit den unterirdischen Kellerwänden

Da die Spitzen von Baumwurzeln sehr empfindlich auf Widerstände reagieren, folgen diese den Klüften im Gestein und vermögen so, wie das Beispiel des Weiß-Tauben-Keller zeigt, enorme Strecken in Bodenmatrix und anstehenden Gestein zu überwinden. Gesteuert werden diese negativ geotaktischen Bewegungen von der phytohormonell induzierten Suche nach Wasser und vor allem Nährstoffen, welche die Wurzeln besonders in den vornehmlich mit Ton gefüllten Klüften vorfinden. Nahe der Kellerdecken wird der physikalische Druck des Gesteins gegenüber dem sekundären Dickenwachstum der Baumwurzeln immer geringer, die Durchmesser der Wurzeln nehmen stark zu und können kluft- bzw. rissparallele Schalenbildung verursachen. Besonders gefährlich wird die Situation im Hangenden der Kellergänge dann, wenn sich die Wurzeln horizontal als dünnes Geflecht in die Trennflächen der Gesteinspakete schieben (Abbildung 12 und 13).



Abbildung 12: Baumwurzeln dringen besonders in den mit Ton gefüllten Klüften bis in die Keller vor.



Abbildung 13: Oft geben die durchdringenden Wurzeln Hinweise auf versteckte Klüfte. Die dargestellten Wurzeln erreichen Durchmesser von ca. 1 cm. Auch weitaus dickere Wurzeln mit Durchmessern von bis zu 5 cm finden sich in den Kellern

Darüber hinaus wirkt sich der zusätzliche Lasteintrag durch mächtige Bäume mit hohen spezifischen Dichten bei geringer Überdeckung negativ auf die Stabilität der Keller aus. Oberhalb des Weiß-Tauben-Kellers wird die Auflast durch die dort wachsenden Eichen auf 15 – 20 t geschätzt. Umstürzende Bäume reißen zudem Trichter in das Erdreich, wodurch Instabilitäten und Einstürze in den Stollen hervorgerufen werden können. Es ist anzunehmen, dass die Bäume im Bereich der

oberen Keller, vornehmlich Eichen, mit zunehmendem Alter immer weiter in die Keller vordringen und somit zunehmend größere Schäden in den Kellerinnräumen verursachen. Dies geht einher mit einem dem zunehmenden Stammumfang sowie einem, der zunehmenden Baumhöhe geschuldeten, verstärkten Lasteintrag auf den Kellern.

### 4.2.2 Interaktionen mit oberirdischen Natursteinmauern

In unmittelbarer Nachbarschaft zum Weiß-Tauben-Keller befindet sich der Unterkeller. An dessen Begrenzungsmauer zur Schankfläche kann der aufmerksame Betrachter einen im Kellerwald häufig anzutreffenden Konflikt zwischen Mauerwerk und Baumwachstum beobachten: eine zu nahe am Mauerwerk wachsende Linde (*Tilia spec.*) verursacht einen 1,5 cm breiten Riss (Abbildung 14) über drei Quaderlagen hinweg.



Abbildung 14: Über drei Quaderlagen reichender Riss in einer Sandsteinmauer, verursacht durch eine im Mauerfußbereich wurzelnde Linde.



Abbildung 15: Nahaufnahme des Risses im Mauerkronenbereich. Im Riss findet bereits eine initiale Bodenbildung statt, welche das direkte Eindringen benachbarter Baumwurzeln fördern wird



### 5 Der Bauernkeller als Lebensraum

In Bauern- und Weiß-Tauben-Keller wurde je ein Exemplar der Art Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) nachgewiesen (Abbildung 9 und 11). Diese fanden sich in Felsspalten zurückgezogen und waren ohne gezielte Suche nicht erkennbar. Bei den Funden handelt es sich um eine mittelgroße Art mit namensgebenden, in der Regel mehr als 3 cm langen Ohren. Da diese im Winterschlaf unter die Flügel gelegt werden, kann es leicht zu Verwechslungen mit anderen Arten kommen. Die Art kann aber durch warzenähnliche Gebilde (Paranasaldrüsen) auf der Nase eindeutig beschrieben werden. Die Kopf-Rumpflänge beträgt 40-50 mm; eine Lebenserwartung zwischen 4 und 5 Jahren kann angenommen werden. Die Art ist in weiten Teilen Europas anzutreffen und lebt bevorzugt in Wäldern, in den Baumhöhlen anzutreffen sind. Gejagt wird in eher offenen Strauchbereichen, Gärten und Parks. Die unterirdischen Winterquartiere sind häufig durch Störungen und Verfall bedroht.

Der gegenwärtige Klimawandel hat viele Gesichter, er wirkt sich vielfältig auf unsere Umwelt aus. Höhere Jahresdurchschnittstemperaturen einhergehend mit abgeschwächten Frösten in den Wintermonaten ermöglicht es exotischen Pflanzen, sich in unseren Wäldern zu vermehren. Oft ist diese Ausbreitung unerwünscht, da sich viele dieser Neubürger invasiv verhalten, sie verdrängen die heimische Vegetation. Im Forchheimer Kellerwald kann man das Phänomen einer „Laurophyllisierung“ im Initialstadium beobachten. Hinter diesem Begriff, abgeleitet von Lorbeergewächsen (*Lauraceae*), verbirgt sich die schleichende Umwandlung eines sommergrünen in einen immergrünen Laubwald. Die Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*) findet sich an verschiedenen Stellen im Kellerwald (Abbildung 16). Der Neophyt ist vermutlich über Gartenabfälle in den Wald gelangt. Gartenabfälle werden zwar schon seit Jahrzehnten an Waldrändern entsorgt, aber erst in den letzten Jahren, begünstigt durch den Klimawandel, gelingt es exotischen Pflanzen wie der Lorbeerkirsche (oder ugs .Kirschlorbeer) in der freien Natur Fuß zu fassen (Walther 2006). Andere Pflanzenarten werden folgen. Deshalb muss es ein wichtiges Ziel sein, die sichtbaren Ablagerungen von Gartenabfällen im Kellerwald zu unterbinden.



Abbildung 16: Die Lorbeerkirsche (*Prunus laurocerasus*) verbreitet sich im Kellerwald. Der Neophyt ist vermutlich über Gartenabfälle in den Wald gelangt.

### 6 Schlussfolgerungen

Eine nachhaltige Sanierung der Keller wird nur dann möglich sein, wenn zukünftig potentielle Schadensursachen hinreichend ausgeschlossen werden können. Dabei spielt der Baumbestand im Kellerwald eine wichtige Rolle: als Lebensraum für Flora (Waldbodenpflanzen) und Fauna (z. B. als Jagdhabitat und Sommerquartier für Fledermäuse, für Singvögel und Laufkäufer), aber auch als kulturhistorischen Element. Darüber hinaus dienen Bäume als Schattenspender für die Schankflächen der Kellerwirte und tragen maßgeblich zum Entstehen des einzigartigen Flairs des Kellerwaldes bei. Dennoch gefährden Bäume an vielen Stellen Natursteinmauern, Kellereingänge und Kellerstollen durch ihr sekundäres Dickenwachstum. Deshalb muss ein detailliertes Pflegekonzept entwickelt

werden, welches alle die o.g. Belange berücksichtigt. Dabei genügt es nicht auf der Grundlage von Einzelergebnissen für den gesamten Kellerwald gültige Pflegehinweise zu geben, vielmehr müssen genau definierte Pflegevorgaben einem detaillierten Kartenwerk entnommen werden können.

### 6.1 Etablierung eines lichten Laubwaldes mit hohem Totholzanteil

Sowohl Fledermäuse als auch Laufkäfer (z. B. Hirschkäfer) bevorzugen einen lichten Laubwald mit hohem Totholzanteil als Jagdgebiet bzw. Lebensraum. Fledermäuse benötigen Höhlenbäume. Hervorragend dazu geeignet sind Kiefern und Eichen, da diese auch im abgestorbenen Zustand lange der Verrottung standhalten können. Diese Lebensbedingungen könnten - ein entsprechendes Management vorausgesetzt - auch im Kellerwald geschaffen werden, zumal einzelne Exemplare des Hirschkäfers (Abbildung 10 und 11) dort auch nachgewiesen wurden. Viele thermophile Insekten und Spinnen sind auf Sonnen exponierte Natursteinmauern als Ersatzlebensräume für Felsstandorte angewiesen. Die Stabilität dieser Natursteinmauern wird im Kellerwald sehr häufig durch aufwachsende Sträucher beeinträchtigt. Deren fachmännische Entfernung würde deshalb sowohl dem Natur- als auch dem Denkmalschutz nützen.

Im Bereich der Oberen Keller ist es aufgrund der zunehmenden Auflast der Baumindividuen ohnehin notwendig, einzelne Baumindividuen, meist Eichen, zu fällen bzw. in Kopfeichen umzuwandeln (Abbildung 17). Neben der Fällung bzw. der beschleunigten Totholzgenerierung bietet es sich an, Kopfeichen zu gestalten. Als Kopfeichen werden Eichenindividuen bezeichnet, deren Kronen, gemäß einer Forchheimer Tradition, ähnlich der Kopfweiden behandelt worden sind. Während bei Kopfweiden die Neuaustriebe zum Flechten von Körben verwendet werden, dienen die Rinde der Kopfeichen als Rohstofflieferanten für die Gerbereien in Forchheim und Erlangen. Dabei blieben die Stämme erhalten und nur die mehr oder weniger direkt aus dem Stamm wachsenden Zweige wurde geerntet. Durch die Umwandlung der mächtigen Eichenkronen ausgewählter, nicht unmittelbar auf den Kellergängen wachsender, Individuen in Kopfeichen könnte deren Gefährdungspotential (Gewicht, Wurzelmasse) signifikant reduziert und dennoch die für den Hirschkäfer, aber auch Juchtenkäfer wichtigen Eichenstämme langfristiger erhalten werden.



Abbildung 17: Zu dicht und zu nahe an den Lüftungsschächten stehende Eichen auf dem Weiß-Tauben-Keller.

Liegendes Totholz zu erhalten, dürfte im Übrigen kein Problem darstellen. In die entstehenden Lücken können z. B. Hainbuche (*Carpinus betulus*) und Feldahorn (*Acer campestre*) eingebracht und im Niederwaldbetrieb bewirtschaftet werden. Einzelne Eichen in den Zwischenräumen der Keller sollten als zukünftige Altbäume gefördert werden. Wie im klassischen Eichen-Hainbuchen-Wald dienen die Hainbuchen als Schaftschutz der Eichenstämme, indem sie den Austrieb von bodennahen Ästen verhindern. Hainbuchen bilden zwar auch ein relativ dichtes und dadurch schweres Holz aus, erreichen aber nicht die Höhen von Eichen und Rotbuchen und werden zusätzlich alle 20 bis 30 Jahre auf den Stock gesetzt.



Dies bedeutet die Verminderung der durch Bäume verursachten Auflasten durch gezielte Entnahme zu dicht stehender Baumindividuen. Im Gegenzug soll die Einbringung weniger hoch aufwachsender Bäumen und Sträucher bzw. die Umwandlung von ausladenden Eichen in Kopfweiden auch weiterhin für eine ausreichende Beschattung und Regenschutz sorgen. Letzterer ist wichtig, um die Erosion des Oberbodens zu verhindern sowie über Interzeption (Abfangen von Niederschlag durch Pflanzenoberflächen; in diesem Fall das Blätterdach der Laubbäume) und Verdunstung das Eindringen von Niederschlagswasser in die Keller abzuschwächen.



Abbildung 18: Die Bäume auf dem Weiß-Tauben-Keller stocken auf einer sehr geringen Bodenaufgabe.

### 6.2 Etablierung gehölzfreier, Sonnen exponierter Trockenmauern

Darüber hinaus ist es wichtig, die Trennbereiche zwischen den Schankflächen und dem Waldbestand zu erhalten. Diese werden meist von Trockenmauern gebildet, die bevorzugt von thermophilen Arten bewohnt oder zumindest temporär besucht werden. Diese Mauern werden durch aufwachsende Gehölze zunehmend in ihrer Stabilität beeinträchtigt. Eine gezielte, naturverträgliche Entnahme unter sachkundiger Anleitung ist deshalb unerlässlich. Der Boden hinter den Mauerkronen sollte dabei in einem 1,5 bis 2 m breiten Streifen frei von tiefwurzelnenden Gehölzen bleiben. Am Rande dieses Streifens können Sträucher, z. B. autochthone Rosen gepflanzt. Diese Bepflanzung dient der Förderung bedrohter Rosenarten, wie z. B. der Kleinblütigen-Rose (*Rosa micrantha*) und hat den großen Vorteil, dass die Besucher der Biergärten vom den angrenzenden Waldbereichen abgehalten werden. Die Kleinblütige-Rose ist ein bis 3 m hoher, locker aufgebauter, langästiger Strauch mit bogig überhängenden Zweigen, hakig gekrümmten Stacheln und weißen bis rosafarbenen Blüten (Roloff & Bärtels 2008), sie ist eine wärmeliebende Lichtpflanze und kommt meist an sonnigen Felsen oder steinigem Hängen vor (Oberdorfer 2001). Demgegenüber sollten Sträucher, die zur Bildung starker Ausläufer neigen, wie dies z. B. bei Berberitze (*Berberis vulgaris*) oder Schlehe (*Prunus spinosa*) der Fall ist, hier keinesfalls etabliert werden.

## 7 Literatur

- Beierkuhnlein, C., Drewello, R., Snethlage, R., Töpfer, L., 2011: Zwischen Denkmalschutz und Naturschutz – Leitfaden zur naturverträglichen Instandhaltung von Mauerwerk in der Denkmalpflege  
Oberdorfer, E., 2001: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Ulmer Verlag  
Roloff, A., Bärtels, A., 2008: Flora der Gehölze. Ulmer Verlag  
Walther, G.-R., 2006: Palmen im Wald? Exotische Arten nehmen in Schweizer Wäldern bei ärmeren Temperaturen zu. Forum für Wissen, WSL Birmensdorf, S. 55–61

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>30418</b>	Referat	<b>45</b>	Fördersumme	<b>99.095,00 €</b>
<b>Antragstitel</b>	<b>Umweltverträgliche und denkmalgerechte Instandsetzung historischer Keller in Franken am Beispiel der Anlagen des Kellerwaldes bei Forchheim</b>				
<b>Stichworte</b>	Historische Kelleranlagen, Felssicherung, Ökologische Nischenstandorte, 3D Laservermessung,				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>2 Jahre</b>	<b>01.06.2012</b>	<b>31.05.2014</b>	<b>1</b>		
Zwischenberichte	30.11.2012	31.05.2013	30.11.2013		
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Stadt Forchheim Der Oberbürgermeister Franz Stumpf Stadtbauamt Referat 6: Hochbauamt Birkenfelder Straße 2-4  91301 Forchheim			Tel 09191/714-245 Fax 09191/714-11245 Projektleitung Dipl Ing Sadtbaurat Gerhard Zedler Bearbeiter Rainer Friedrich	
<b>Kooperationspartner</b>	Naturstein, Bauchemie und Bauphysik in der Denkmalpflege. Prof Dr Rolf Snethlage. Wetzelstr. 24. 96047 Bamberg. Tel 0951/1339223. <a href="mailto:Rolf@Snethlage.net">Rolf@Snethlage.net</a> Otto Friedrich Universität Bamberg. Institut für Archäologie, Bauforschung und Denkmalpflege. Prof Dr. Stefan Breitling. Am Kranen 12. 96045 Bamberg. Tel 0951/863-2344. <a href="mailto:Stefan.Breitling@Uni-Bamberg.de">Stefan.Breitling@Uni-Bamberg.de</a> Dipl. Ing. Frank Bier MA. Konrad Triltsch Straße 51. 97337 Dettelbach am Main. Tel 0160/90959920. <a href="mailto:Bieri_74@yahoo.de">Bieri_74@yahoo.de</a> ProDenkmal. Restaurierung und Planung. Dipl Geograph Ulrich Meinhardt. Dr Rupert Utz. Obere Königsstraße 15. 96052 Bamberg. 0951/2082908. <a href="mailto:Bamberg@Prodenkmal.de">Bamberg@Prodenkmal.de</a> IGP Ingenieurbüro Dr. Gabriele Patitz. Alter Brauhof 11. 76137 Karlsruhe. Tel 0721/3844198. <a href="mailto:patitz@t-online.de">patitz@t-online.de</a> AgroBiol Andreas Schmiedinger. Diplom Agrarbiologe. Auf der Hut 14. 95697 Nagel. 0151/12475730. <a href="mailto:agrobiol.schmiedinger@t-online.de">agrobiol.schmiedinger@t-online.de</a> Ingenieurgeologie, Geotechnik Bergbau Dr. Ing habil. Günter Meier. Am Schirmbach 7. 09600 Oberschöna. Tel 037321/898-0. <a href="mailto:ib@dr-meier.de">ib@dr-meier.de</a>				

### **Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

Historische Kellersysteme, vor mehreren Jahrhunderten in anstehenden Felsformationen angelegt, sind technische Kulturdenkmäler allerersten Ranges. In Franken gibt es kaum einen Ort, an dem sich nicht ausgedehnte Kelleranlagen finden, die früher zur Kühlung von Bier oder zur Sandgewinnung benützt wurden. Auch wenn die Keller heute ihre ureigenste Funktion verloren haben, werden sie von der Bevölkerung als Orte der Freizeitgestaltung gern angenommen. Eine besonders authentische Kelleranlage ist der hier zur Disposition stehende Kellerwald in Forchheim. Dort finden sich immer noch 23 Keller, die in zwei Ebenen übereinander angelegt sind. Im Rahmen des Projekts ist es vorgesehen, drei besonders typische Keller modellhaft instand zu setzen.

Das Projekt hat zum Ziel, wissenschaftlich fundierte Wege zur dauerhaften Erhaltung der Kelleranlagen zu entwickeln. Dadurch sollen die historischen Informationsgehalte der Keller erhalten und ihr Bestand auf Jahrzehnte gesichert werden. Die Maßnahmen zur Instandsetzung orientieren sich an denkmalpflegerischen, nicht an ingenieurtechnischen Argumentationslinien. Die zu treffenden Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren sollen Substanz schonend und zurückhaltend beschaffen sein, um den natürlichen Charakter der Keller zu bewahren.

Das Projekt berücksichtigt und verbindet somit die Belange von Denkmalschutz und Naturschutz. Das Bewusstsein hinsichtlich des Werts historischer Kelleranlagen als Elemente der Kulturlandschaft wird in Fachkreisen und in der breiten Öffentlichkeit bestärkt.



## **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Durch die Klüftung des Gesteins, durch konstruktive Mängel und durch Sickerwasser ist das Hangende der Gänge an vielen Stellen Absturz gefährdet. Die von Technikern vorgeschlagenen Methoden zur Instandsetzung wie das Torkretieren oder gar die Verfüllung der Keller sind vollkommen inakzeptabel, weil sie einer Vernichtung des Denkmals gleichkommen.

Um das Ziel der denkmalgerechten Erhaltung der Keller zu erreichen, werden zunächst Untersuchungen zur Bauforschung unternommen. Alte Vermessungsmarken und Spuren der verwendeten Werkzeuge werden analysiert. Gefährdete Bereiche werden abgegrenzt und gesichert. Die Besiedlung der Keller mit Flora und Fauna aufgenommen, um gefährdete Arten zu erkennen und deren Habitat zu sichern. Zur Dokumentation der Befunde und zur Präsentation des Projekts auf der Website der Stadt Forchheim werden die Modellkeller tachymetrisch und mittels 3D Laserscan vermessen. Das Modell wird in das digitale Geländemodell des Kellerrwalds eingefügt.

Gesteinstechnische Untersuchungen werden ausgeführt, um die Festigkeit des Gesteins auch im feuchten Zustand zu ermitteln. Aus dem 3D Modell ergeben sich in Verbindung mit Kluftrmessungen die besonders gefährdeten Abschnitte der Kellergänge. Mit Hilfe von Georadar wird beurteilt, wie dick die Gesteinspakete im Hangenden sind und ob sie sich für eine Vernadelung eignen.

Die Felsdecken der oberen Keller sind durch hohe Bäume gefährdet, deren Wurzeln tief in die Gesteinsklüfte reichen. Gefahr bergende Bäume werden aussortiert und behutsam zurück geschnitten, um ihr Umstürzen zu verhindern.

In der abschließenden Projektphase werden 3 Keller als Modell in Stand gesetzt. Die individuell angepassten Methoden werden aus der Gesamtheit aller Untersuchungen abgeleitet.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <http://www.dbu.de>

## **Ergebnisse und Diskussion**

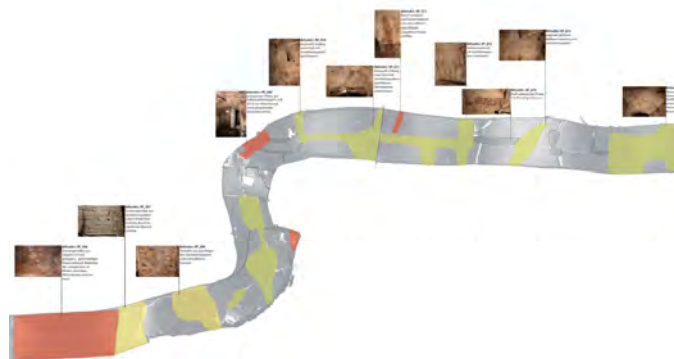
Zu Projektbeginn lagen noch keine Resultate vor.

### **1. Zwischenbericht zum 30.11.2012**

Beim Startmeeting am 09.07.2012 wurden der Rappenkeller, der Weiß-Tauben-Keller und der Bauernkeller als Untersuchungsobjekte ausgewählt. Die Arbeiten begannen mit dem Rappenkeller, weil dieser nur über einen Kellergang mit ca. 80 m Länge verfügt. Die Vermessung des Kellers erfolgte mit 3D Laserscan, ; aus dem Scan sind der Grundriss sowie zwei Wandabwicklungen und eine Deckenabwicklung erzeugt worden.

Historische Dokumente zur Entstehungsgeschichte konnten im Archiv der Stadt Forchheim nicht gefunden werden. Relativ gesichert erscheinen die Jahresangaben für den Müller/Schlöbla-Keller 1609, den Rittmayerkeller (heute Hofmannkeller) 1656 und den Nederkeller 1692.

Im Rappenkeller können 6 Ausbauphasen nachgewiesen werden. Sie unterscheiden sich in den Bearbeitungsspuren sowie der Gestaltung des Stollendecke. Wichtige Befunde sind in eigens entwickelten Befundblättern mit Photo dokumentiert.



Der Keller ist im sog. Kellersandstein angelegt. Er wird von zahlreichen, senkrecht stehenden Klüften mit Streichrichtungen 134° SE, 85° ENE und 115° SE durchschnitten. Der Gangverlauf folgt über lange Strecken einer annähernd NS streichenden Kluft. Wo sich die Klüfte verschiedener Streichrichtungen im Keller treffen, entstehen statisch gefährdete Bereiche. 4 absturzgefährdete Stellen wurden mit Stützen gesichert.



In Segmente zerlegter Deckenabschnitt im Rappenkeller.

Zur Sicherung der Kellerdecke wird ein Stützkonzept mit Schrägstützen entwickelt. Diese sind reversibel und kostengünstig.

Untersuchungen zur Fauna ergaben das Vorkommen der Großen Höhlenspinne, die im Jahr 2012 zum Höhlentier des Jahres gekürt worden war. Auf den oberen Kellern stocken Eichen und Buchen von 25 m Höhe, welche die Decke des oberen Weiß-Tauben-Kellers mit rund 25 t belasten. Zur Sicherheit sind 8 Bäume gefällt worden. Es wurde erkannt, dass für die langfristige Erhaltung und Sicherung der Keller ein integrales forstliches Nutzungskonzept entwickelt werden muss.

## **2. Zwischenbericht zum 31.05.2013**

Das zweite Halbjahr war geprägt durch die Einbringung von Stützen in den Rappenkeller und den Beginn der Untersuchungen im Weiß-Tauben-Keller. In allen drei Kellern fanden vegetationskundliche Untersuchungen statt und konnten Georadarmessungen durchgeführt werden.

### **2.1 Rappenkeller**

Eingehende Befahrungen führten zur Festlegung von insgesamt 17 Stellen, die mit Stützen gesichert werden müssen. In einem markanten Stollenabschnitt von 10 m Länge wurden durch IGP Dr. Patitz Georadarmessungen vorgenommen. Sie bestätigten die durch optischen Befund ermittelten Risikozonen. In der folgenden Abbildung ist beispielhaft eine Stützelement gezeigt. Es besteht aus zwei Schrägstützen, die einen Doppel-T-Träger tragen. Der verbleibende Hohlraum zur Decke ist mit Klinker ausgemauert. Das Stützsystem ist preisgünstig, einfach zu transportieren und aufzubauen. Es kann für Kellergänge dieses Querschnitts sehr empfohlen werden, denn es lässt freien Durchgang in der Mitte. All 17 Stützen sind inzwischen aufgestellt.

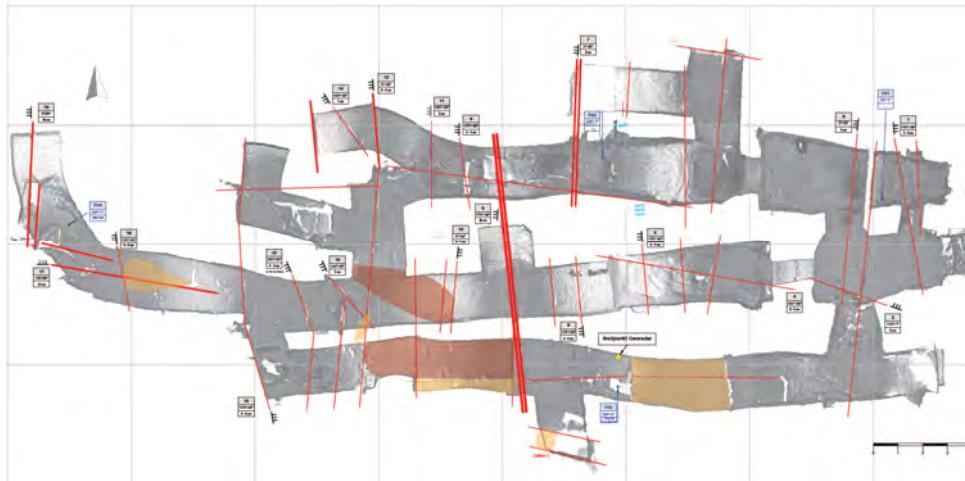


Stützelement im Rappenkeller

## 2.2 Weiß-Tauben-Keller

Geologisch ist dieser Keller in die sandigen Schichten von Lias Alpha 1 und Alpha 2 eingeteuft. Über einer tragfähigen Werksandsteinbank von stark schwankender Mächtigkeit folgen Lagen von tonigen, leicht verfestigten Feinsanden. Diese Abfolge hat zu mehreren Deckenabstürzen geführt, deren Alter auf Grund der gealterten Sichtflächen nicht jüngeren Datums sind. Die starken Regenfälle Anfang Juni haben dennoch zu einem größeren Abbruch im linken Gang geführt. Deshalb ist in diesem Keller bei Regen allerhöchste Vorsicht geboten.

In seiner heutigen Form ist der Keller aus ursprünglich drei dicht nebeneinander liegenden, separaten Kellern entstanden, die durch neue Quergänge miteinander verbunden wurden. Die folgenden Abbildungen zeigen den Grundriss, der aus dem 3D Laserscan gewonnen wurde.



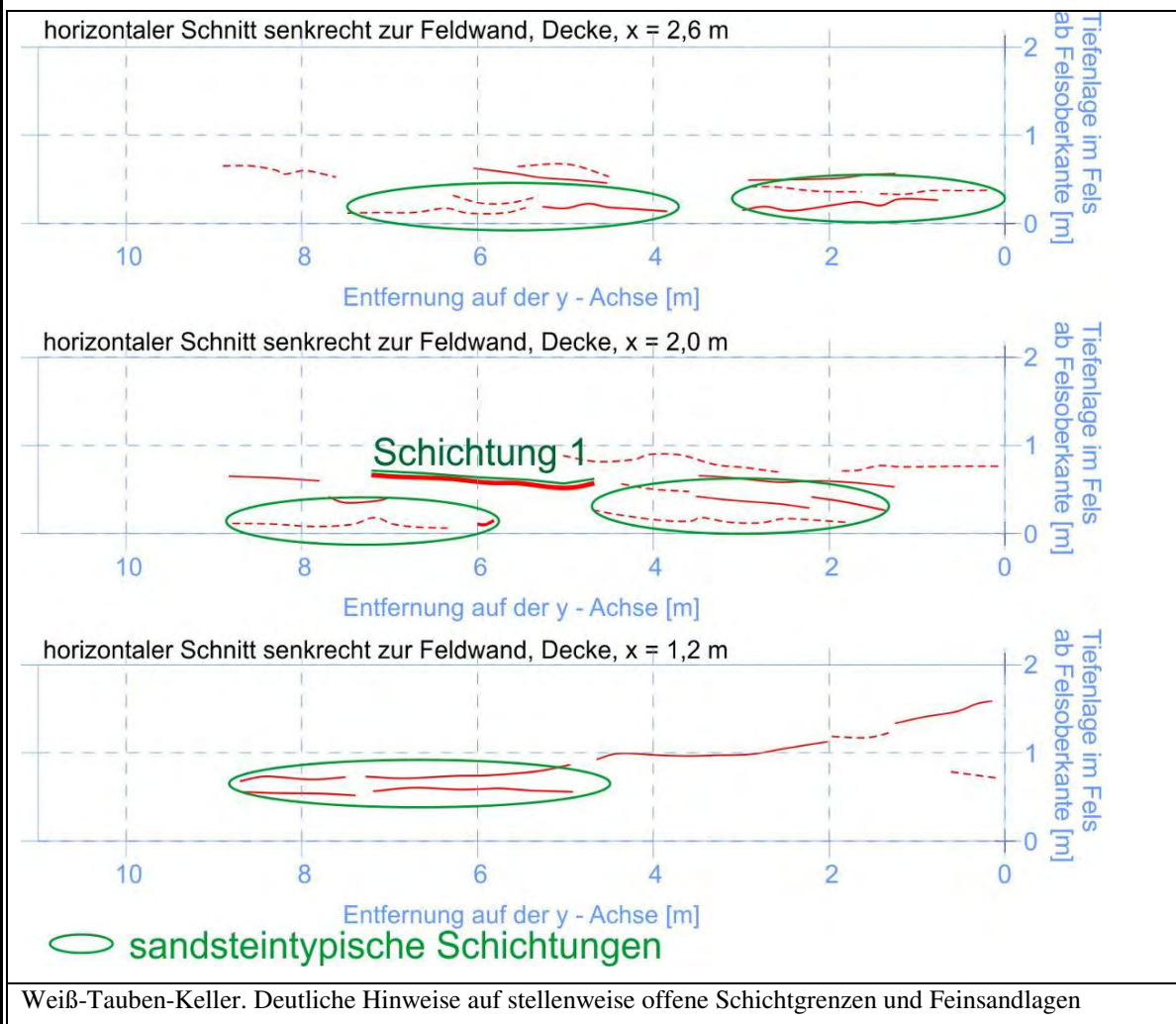
Oben: Ausschnitt aus der Kartierung der Klüfte im Weißtaubenkeller, wichtige Klüftflächen rot, Deckenausmauerungen hellbeige. Eingang in den Keller rechter Bildrand.

Unten: Ausschnitt aus Kartierung der Bauforschung (Uni Bamberg), Bereiche mit Deckenabstürzen violett, Deckenausmauerungen gelb. Eingang in den Keller linker Bildrand.

Zur Reparatur von Deckenabstürzen sind an mehreren Stellen Ausmauerungen in Bogenform eingebracht worden. Die Hauptrichtungen der Klüfte verlaufen anders als im Rappenkeller, nämlich annähernd Nord-Süd und  $115^\circ$  SE. Anders als im Rappenkeller sind die Risikozonen hier dadurch bestimmt, dass die Stollendecke den massiven Werksandstein durchstößt und in die Feinsandlagen vordringt - oder auch diesen nur zu nahe kommt -, so dass die Stollendecke an Halt verliert und abstürzen kann.

Das Konzept zur Sicherung der Decken ist noch nicht abschließend entwickelt.

Die Georadarmessungen in einem Abschnitt des südlichen Stollens zeigen deutlich die feinsandigen Schichtungen, die sich über weite Strecken des Messbereichs im Hangenden ausdehnen. Auch gibt es klare Indizien, dass sich Schichtgrenzen geöffnet haben.



### 2.3 Vegetationskundliche und zoologische Untersuchungen

Das Gelände im Kellerwald Forchheim wird dominiert von Eichen (*Quercus spec.*), Buchen (*Fagus spec.*) und Linden (*Tilia spec.*). Häufig weisen die Baumindividuen bei einer geschätzten mittleren Baumhöhe von 25 m, Brusthöhendurchmesser (BHD) von mehr als 50 cm auf.

Die Bäume können durch eindringende Wurzeln, zu hohe Drucklasten oder durch Rissbildungen via Hebelwirkung durch die sich unter Windeinfluss bewegenden Stämme die Kellerdecken schädigen. Eine nachhaltige Sanierung der Keller wird nur dann möglich sein, wenn zukünftig potentielle Schadensursachen weitestgehend ausgeschlossen werden und ein detailliertes Pflegekonzept entwickelt wird.

In Bauern- und Weiß-Tauben-Keller wurde je ein Exemplar der Art Braunes Langohr (*Plecotus auritus*) nachgewiesen. Bei den Funden handelt es sich um eine mittelgroße Art mit, in der Regel mehr als 3 cm langen Ohren. Da diese im Winterschlaf unter die Flügel gelegt werden, kann es leicht zu Verwechslungen mit anderen Arten kommen.

## 3. Zwischenbericht zum 30.11.2013

### 3.1 Weiß-Tauben-Keller

Extrem ergiebige Regenfälle haben im Südgang des Kellers zum Absturz eines Deckenteils geführt. Die Ursache ist darin zu sehen, dass oberhalb der etwa 20 cm starken, massiven Sandsteinlage eine Abfolge von dünnen Sand-Tonlage folgt, welche durch das Sickerwasser aufgeweicht wurden. Auf diese Weise hat das Deckenelement die Haftung verloren, so dass es abstürzte. Zum Glück kam niemand zu Schaden, weil dieser Gang bereits vorher abgesperrt worden war. Dennoch machte dieser Zwischenfall allen Beteiligten bewusst, wie gefährdet die Decken im Weiß-Tauben-Keller sind, weil diese Schichtfolge noch an anderer Stelle vorkommt.

Aus diesem Grund beschloss die Projektleitung die Einschaltung des Ingenieurbüros Dr. Meier aus Oberschöna bei Freiberg, der als Experte in der Altbergbausanie rung bekannt ist und auch schon mehrfach mit historischen Kelleranlagen befasst war. Das Gutachten, welches eine Schadensaufnahme beinhaltet und konkrete Maßnahmen zur Stabilisierung der Deckensituation machen wird, ist derzeit noch in Bearbeitung.

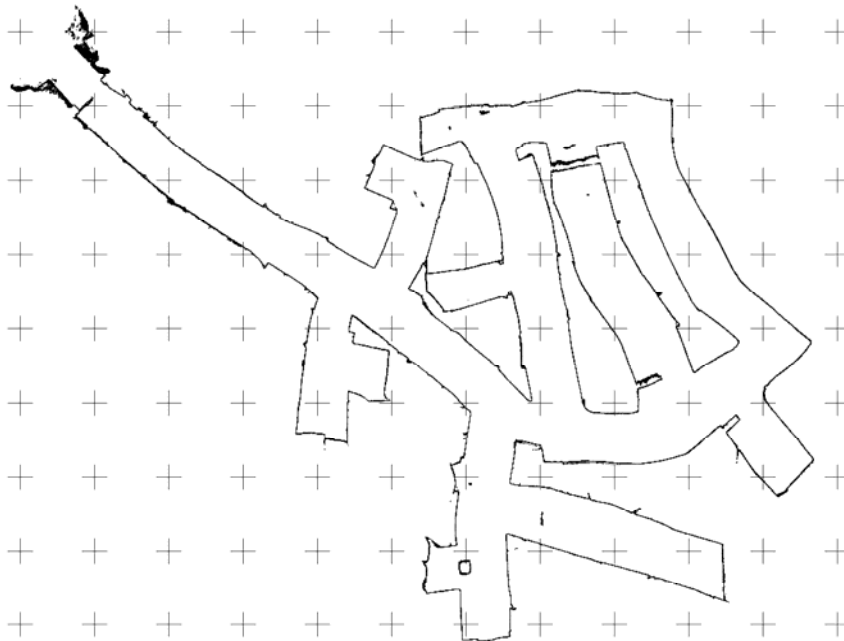




Weiß-Tauben-Keller Südgang. Absturzstelle

### 3.2 Bauernkeller

Der Bauernkeller stand im Mittelpunkt der Aktivitäten des vergangenen Halbjahres. Er gehört zu der Gruppe der unteren Kellern und befindet sich am südlichen Ende des Forchheimer Kellerwaldes. Der Zugang zum Keller erfolgt aus nordwestlicher Richtung. Über den ca. 22 m nach Südosten verlaufenden Stollengang Z1, von dem zwei 5,0 m lange Stichgänge abzweigen, gelangt man in das kreisförmig miteinander verbundene östliche Gangsystem.



Grundriss Bauernkeller

#### 3.2.1 Vermessung des Bauernkellers mit Faro Focus 3D Scanner

Der Bauern-Keller wurde von Frau Klahr mit dem terrestrischen Laserscanner „Faro Focus 3D Sensor 120“ erfasst. Die Vorteile dieses Scanners sind neben dem geringen Gewicht und der leichten Handhabung über einen Touchscreen und vor allem die Schnelligkeit, die hohe Messgenauigkeit und die große Auflösung. Das Gerät eignet sich besonders für die Erfassung von komplexen Objekten bei begrenzter Reichweite (max. etwa 100 m). Um den Bauern-Keller möglichst genau zu erfassen, wurde er mit 34 Standorten aufgenommen. Die Auflösung betrug dabei 7,3 mm auf 10 m. Bei einer Entfernung von max. 0,5 m, wie in den Stollengängen, erhält man jedoch einen Punktabstand von maximal 2 mm. Die Scandauer pro Standort betrug lediglich 5 Minuten. Der gesamte Keller konnte in einem Tag vermessen werden.

Dies zeigt den Fortschritt in der Lasertechnologie, denn die Vermessung der beiden anderen Keller mit der Leica Scanstation hatte 5 bzw. 6 Tage Messzeit in Anspruch genommen.

### 3.2.2 Bauforschung im Bauernkeller

Nördlich des Bauern-Kellers erstreckt sich der Kupfer-Keller. Beide Keller waren ehemals mit einem Durchgang verbunden, der heute vermauert ist. Vor allem wegen der aufwändig gearbeiteten Türrahmen, welche bei dem heute vermauerten Zugang in die angrenzenden Gänge führen, kann man schließen, dass sich an dieser Stelle der alte Eingang in die östlichen Teile des Bauernkellers befunden hat. Die heutige Erscheinungsform des Bauernkellers muss sich demnach durch die Zusammenlegung zweier ursprünglich unabhängiger Stollengänge entwickelt haben (siehe Grundriss).

### 3.2.3 Geologische Untersuchungen

Der Bauernkeller befindet sich geologisch wie der Rappenkeller im unteren Kellersandstein des Forchheimer Kellerwaldes. Der Sandstein an den Stollenwänden und -Decken ist durchwegs kreuzgeschichtet, mittel bis grobkörnig und dickbankig kompakt.

Wie auch im Rappenkeller sind die Klüfte im Bauernkeller weitständig mit Öffnungsweiten zwischen 3 und 20 Zentimetern. In Eingangsnähe, mit vergleichsweise geringer Felsüberdeckung sind die Klüfte meist mit von oben eingedrungenem Lehmmaterial verfüllt und stark durchwurzelt.

Die Orientierung der Kellergänge nimmt offenbar keine Rücksicht auf den Verlauf der Klüfte. Weite Deckenflächen und gleichzeitig kreuzweise sich überschneidende, offen stehende Klüfte führen insbesondere an Stollenabzweigen zur statischen Problemen. Im südöstlichsten Bereich des Bauernkellers hat sich in der Vergangenheit ein massiver Versturz ereignet, der durch Ausmauerungen und Tunnelsperrungen gesichert worden ist.



Einsturzstelle im Bauernkeller

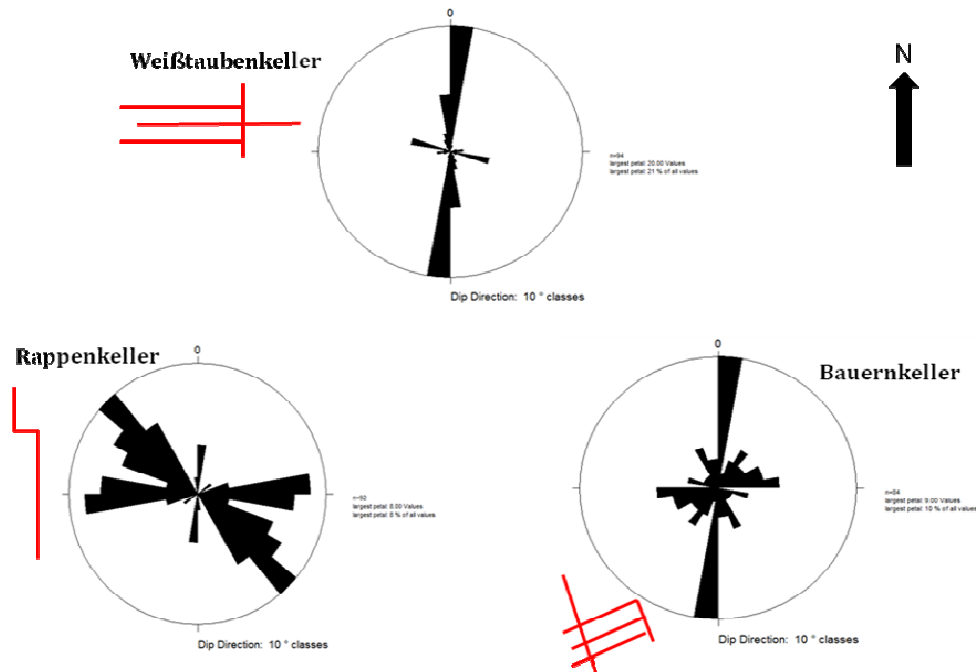
Analog zur Vorgehensweise im Rappen- und Weißtaubenkeller wurden die offenen Klüfte im Bauernkeller vermessen und in den Plan der Deckenansicht eingetragen. Die gemessenen Einfallswinkel liegen überwiegend im Bereich zwischen 85° und 90° (90° Einfallen entspricht senkrechte Lagerung). Die Streichrichtungen der Klufflächen betragen mit abnehmender Häufigkeit:

Diagonalkluftrichtung	4° N
Querkluftrichtung	70° SE
Längskluftrichtung	155° NE.

Die Gegenüberstellung der Kluffrosen in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt, dass am Kellerwald für beide Kellersandsteine drei generelle Kluftrichtungen dominieren:

0-10° N-S	Diagonalkluft
110-150°SE	Längsklüfte
50-70°NE	Quer- oder Diagonalkluft

Die Häufigkeit der Klüfte in den drei Kellern wird von ihrem Vorkommen im Fels des jeweiligen Kellers bestimmt. Aber der individuelle Verlauf der Kelleranlagen führt zu sehr unterschiedlichen Schnittmengen mit den tatsächlichen Kluftrichtungen. Hieraus ergibt sich in Abhängigkeit von der Tunnelrichtung eine starke Verzerrung im Bezug auf die tatsächliche vorgefundene Häufigkeit der Kluftrichtungen. Aufgrund der unregelmäßigen Orientierung seiner Kellergänge wäre der Bauernkeller diesbezüglich wohl als der repräsentativste der untersuchten Keller anzusehen. Am stärksten dürfte die Verzerrung beim Rappenkeller ausfallen, weil dieser nur aus einem einzigen Kellergang besteht, der zudem der Nord-Süd Hauptrichtung folgt.



Kluffrosen der drei Keller. Die Häufigkeit der Klüfte wird durch die Lage der Keller bestimmt.

### 3.3 Naturschutzfachliche Untersuchungen

Der Forchheimer Kellerwald wird dominiert von Eichen (*Quercus spec.*), Buchen (*Fagus spec.*) und Linden (*Tilia spec.*). Da die Spitzen von Baumwurzeln den Klüften im Gestein folgen, vermögen sie enorme Strecken in Bodenmatrix und anstehendem Gestein überwinden. Besonders gefährlich wird die Situation im Hangenden der Kellergänge dann, wenn sich die Wurzeln horizontal als dünnes Geflecht in die Trennflächen der Gesteinspakete vorschieben.

Darüber hinaus wirkt sich der zusätzliche Lasteintrag durch mächtige Bäume mit hohen spezifischen Dichten bei geringer Überdeckung negativ auf die Stabilität der Keller aus. Oberhalb des Weiß-Tauben-Kellers wird die Auflast durch die dort wachsenden Eichen auf 15 – 20 t geschätzt. Umstürzende Bäume reißen zudem Trichter in das Erdreich, wodurch Instabilitäten und Einstürze in den Stollen hervorgerufen werden können.

Obwohl der Kellerwald mit keinem Schutzstatus belegt ist, finden sich hier nach dem Bundesartenschutzgesetz geschützte Arten, wie z. B. das Braune Langohr (*Plecotus auritus*), der Hirschkäfer (*Lucanus cervus*) oder im angrenzenden Bürgerwald der Eremit oder Juchtenkäfer (*Osmoderma eremita*).

Eine nachhaltige Sanierung der Keller wird aus naturschutzfachlicher Sicht nur dann möglich sein, wenn zukünftig potentielle Schadensursachen wie Baumlast und Wurzeldruck weitestgehend ausgeschlossen werden können. Deshalb muss es ein wichtigstes Ziel sein, mithilfe eines Pflegeplanes die naturschutzfachliche Bedeutung der Gesamtanlage des Kellerwalds einschließlich des Baumbestandes und der Felsenkeller aufzuwerten. Dies bedeutet die Verminderung der durch Bäume verursachten Auflasten durch gezielte Entnahme zu dicht stehender Baumindividuen. Im Gegenzug soll die Einbringung weniger hoch aufwachsender Bäumen und Sträucher bzw. die Umwandlung von ausladenden Eichen in Kopfweiden auch weiterhin für eine ausreichende Beschattung und Regenschutz sorgen.

Darüber hinaus ist es wichtig, die Trennbereiche zwischen den Schankflächen und dem Waldbestand zu erhalten. Diese werden meist von Trockenmauern gebildet, die bevorzugt von thermophilen Arten bewohnt oder zumindest temporär besucht werden. Diese Mauern werden durch aufwachsende Gehölze zunehmend in ihrer Stabilität beeinträchtigt. Eine gezielte, naturverträgliche Entnahme unter sachkundiger Anleitung ist deshalb unerlässlich.

Die Entbuschung der Natursteinmauern erfolgt ebenfalls erst nach genauer Kartierung und Markierung der zu entfernenden Sträucher und Bäume. Der Boden vor den Mauerkronen sollte dabei in einem 1,5 bis 2 m breiten Streifen frei von tiefwurzelnden Gehölzen bleiben. Am Rande dieses Streifens werden Sträucher z. B. autochthone Rosen gepflanzt. Diese Bepflanzung dient der Förderung bedrohter Rosenarten, wie z. B. der Kleinblütigen-Rose (*Rosa micrantha*) und hat den großen Vorteil, dass die Besucher der Biergärten vom den angrenzenden Waldbereichen abgehalten werden.

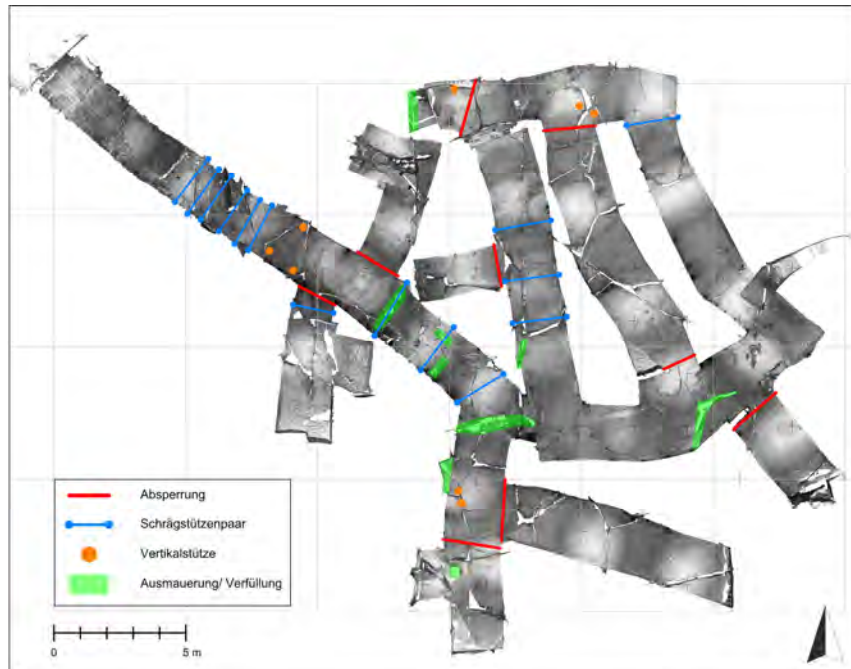
### 4. Zwischenbericht und Abschlussbericht zum 30.06.2014

Nach Abschluss der Untersuchungen und Planungen konnten die Arbeiten im Bauernkeller und im Weiß-

Tauben-Keller begonnen und zum Abschluss gebracht werden.

#### 4.1 Bauernkeller

Es wurde ein Instandsetzungsplan entwickelt, der die Sperrung besonders gefährdeter Gänge und Nischen beinhaltet. Offen gehalten werden kann ein Rundgang, von dem aus alle Besonderheiten des Kellers gezeigt werden können. Der Stützenplan sieht 12 Schrägstützenpaare und 7 Schwerlaststützen aus Aluminium vor, die für die Abstützung besonders großer, gefährdeter Deckenelemente eingesetzt werden.



Führungslinie und Stützenplan des Weiß-Tauben-Kellers

Die Aufstellung der Stützen konnte vom Bauhof der Stadt Forchheim vorgenommen werden. Grün eingetragen sind weit offene Spalten, die mit Spritzbeton ausgefüllt werden. Diese Arbeiten übernimmt eine Spezialfirma aus dem Erzgebirge.

#### 4.2 Weiß-Tauben-Keller

Dieser Keller weist den höchsten Schwierigkeitsgrad auf, weil er nahe der Geländeoberfläche angelegt ist und der deckende Fels nur eine geringe Mächtigkeit von rund 1,50 m besitzt. Zudem ist das Hangende von einem Fazieswechsel gekennzeichnet. Oberhalb des grobkörnigen Werksandsteins folgt eine feinsandige, mit Tonlagen durchsetzte Sandsteinschicht, an der sich bereits zahlreiche Felsstürze ereignet haben. So sind seit im vergangenen Jahr im Südgang zwei große Felsstücke herabgefallen, was die besonderen Gefahren in diesem Keller nachdrücklich unterstreicht. Um den durchzuführenden Maßnahmen ein Höchstmaß an Sicherheit zu verschaffen, ist das Ingenieurbüro Dr. Meier aus dem Erzgebirge als Berater eingebunden worden, welches zusätzliche ingenieurtechnische Untersuchungen durchgeführt und den Maßnahmenplan samt LV erstellt hat. Der Maßnahmenplan umfasst neue Gewölbebögen, Druckkästen und die Injektionen mit Spritzbeton in weit offene Klüfte.



Maßnahmenplan für den Weiß-Tauben-Keller (Ingenieurbüro Dr. Meier Oberschöna)



Die Firstsicherung mit Ziegelgewölbe erfolgte in 3 Arbeitsbereichen: im Hauptgang der Gewölbeanschluss (Plan Nr. 18) und ein neues Gewölbe zur Unterstützung eines bestehenden, aber unsicheren Gewölbes direkt am Eingang zur hohen Absturzstelle (Plan Nr. 9) und der Querschlag zum Südgang (Plan Nr. 25). Hier erfolgte nach Abtragen der lockeren Gesteinslagen das Ausarbeiten eines Auflagers für die Gewölbemaue- rung. Am Übergang vom Querschlag zum Südgang ist ein Stahlträger als Unterzug eingebaut, um ein Aufla- ger für das Gewölbe zu erhalten.

Die Druckkästen mit Stahlträgern stützen zwei große Felsbrocken in der hohen Absturzstelle am Ende des Mittelgangs. In Abwandlung des Maßnahmenplans sind die weiten Spalten mit Nummern 5 und 12 mit Spritzbeton ausgefüllt worden, weil das Ausmauern mit Ziegeln technisch nicht kraftschlüssig möglich gewe- sen wäre.

Um die Kosten zu senken, wurde eine Führungslinie festgelegt, die die besonders riskanten Stollenbereiche ausschließt. Die Führungslinie ist in dem Plan grün markiert. In diesen Bereichen wurde die Firste beräumt, das heißt, lockere Steine wurden bewusst zum Absturz gebracht. Diese Bereiche müssen in Zukunft mit Sorgfalt vor jeder Begehung beobachtet werden, um Gefahren auszuschließen. Die abgesperrten Stollen sind für Besucher einsehbar, er werden jedoch vorerst keine Stützen eingezogen.

### **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Die weite Verbreitung von Kellern in ganz Franken verleiht dem Projekt eine wichtige Vorbildfunktion und eine breite Interessentenbasis. Wenn die Keller in Stand gesetzt sind, werden Führungen angeboten, die schon heute beim Fremdenverkehrsamt häufig nachgefragt, aber wegen der fehlenden Sicherheit derzeit nicht durchgeführt werden können. Durch das Angebot von Führungen verspricht sich Forchheim eine Stärkung des Tourismus. Zur Verbreitung der Resultate wird ein Kolloquium veranstaltet und eine Broschüre mit Fach- berichten und einer Zusammenfassung des methodischen Vorgehens publiziert. Das Projekt wird auf der Website der Stadt Forchheim installiert. Durch die Keller soll ein virtueller Rundgang im Internet angeboten werden. Medien wie die lokale Zeitung und regionale Rundfunk- und Fernsehanbieter werden über das Pro- jekt berichten.

Seit August 2012 ist das Projektkennblatt mit einem Link in den Internetauftritt der Stadt Forchheim einge- stellt.

Aus Anlass eines Projekttreffens am 04.10.2012 fand eine Pressekonferenz mit Vertretern der lokalen Forchheimer Presse statt.

Am 16.05.2013 fand das zweite Halbjahrestreffen des Projekts statt. Die anschließende Pressekonferenz wurde von Vertretern der Nürnberger Nachrichten und des Fränkischen Tags besucht. Beide Zeitungen be- richteten ausführlich.

Das dritte Halbjahrestreffen wurde am 07.11.2013 abgehalten. An der Pressekonferenz nahmen Vertreter der lokalen Zeitungen sowie Reporter von Franken TV und Radio Bamberg teil.

Am vierten Halbjahrestreffen wurde am 27.05.2014 ein Abschlusskolloquium für das Fachpublikum veran- staltet. Das Kolloquium war von 45 Teilnehmern besucht. Die Berichte der Arbeitsgruppen sind in einem Ta- gungsband mit dem Titel: Felsenkeller in Franken. Beispiele denkmalgerechter Instandsetzung publiziert. Der Tagungsband kann von der Stadt Forchheim bezogen werden. Der Bayerische Rundfunk, Radio Bamberg, TV Oberfranken und die lokale Presse haben über das Kolloquium ausführlich informiert.

### **Fazit**

Wie geplant konnten die fachlichen Untersuchungen an den ausgewählten Kellern abgeschlossen wer- den. Die Kellieranlagen sind nicht durch Felsverschiebungen oder Gleitbewegungen gefährdet. Es beste- hen Risiken durch dünn gebankte Gesteinsabfolgen im Deckenbereich, die sowohl früher als auch rezent zu Deckenabstürzen geführt haben. Die Instandsetzungskonzepte sind den Problemen in den Kellern an- gepasst und termingerecht in die Tat umgesetzt worden. Als letzter wurde der Weiß-Tauben-Keller im Juni 2014 abgeschlossen.

Das Projekt hat gezeigt, dass eine denkmalgerechte und dauerhafte Instandsetzung gelingen kann, wenn gründliche Voruntersuchungen durchgeführt und sachkundige Experten für die Maßnahmenplanung ein- gebunden werden.

### **Danksagung**

Der Oberfrankenstiftung und der Bayerischen Landesstiftung wird für die zusätzliche Förderung gedankt.