

SUBSTANZ

Ausgabe 5/2020

Das URETEK Magazin für Architekten, Bauingenieure und Geologen

ISSN 2625-0888

Wasser marsch?!



Schwerpunktthema
Wasser im Boden

URETEK[®]
BEWAHREN, WAS UNS TRÄGT

SCHWERPUNKT - WASSER IM BODEN

Wenn der Boden sich hebt

Mit Setzungen und Sackungen von Gebäuden kennen sich viele der geneigten Leser aus. Was aber tun, wenn sich der Boden hebt und sich daraufhin Risse in Gebäuden zeigen? Ein aktueller Situationsbericht aus Staufen im Breisgau.

Die Stadt Staufen liegt ca. 15 Kilometer südwestlich von Freiburg am Ausgang des Münstertals. Im September 2007 wurden Bohrungen für sieben bis 140 m tiefe Erdwärmesonden (EWS) ausgeführt. Sie sollten dazu dienen, das denkmalgeschützte renovierte Rathaus mit Erdwärmetechnologie zu beheizen und zu kühlen. Bereits zwei Wochen nach Fertigstellung der Erdwärmesonden wurden Anfang Oktober 2007 Risse im neu renovierten Rathaus und in benachbarten Gebäuden festgestellt.

Die EWS-Bohrungen lösten Prozesse aus, die zu den seit Ende 2007 zunehmenden Schäden an Gebäuden und Infrastruktur im historischen Altstadtbereich führten. Zur Klärung der Ursachen für diese Hebungen sowie als Bewertungsgrundlage für erforderliche Maßnahmen zum Stoppen des Hebungsprozesses führte das Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (RPF/LGRB) ab 2008 umfassende Erkundungsmaßnahmen durch.



Das Regierungspräsidium Freiburg hat im Auftrag der Landesregierung seit März 2009 die geologische Situation im Untergrund der Stadt Staufen untersucht. Ziel war es, den Hebungsprozess und die daraus resultierenden Gebäudeschäden zu begrenzen bzw. zu stoppen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden in Zusammenarbeit mit freien Ingenieuren und spezialisierten Unternehmen geeignete Sofortmaßnahmen identifiziert und eingesetzt.

Geologische und hydrogeologische Verhältnisse

Das Stadtgebiet von Staufen im Breisgau liegt geologisch und geomorphologisch am Ostrand des südlichen Oberrheingrabens in der Sulzburg-Staufener Vorbergzone. Sie wird im Osten durch die Schwarzwaldrandverwerfung (Hauptverwerfung) vom kristallinen Schwarzwald (Paragneise mit Gangporphyren) getrennt. Westlich geht die überschotterte randliche Vorbergzone in die äußere Grabenzone und die Grabenrandscholle über. Die Schichtenfolge in der Vorbergzone bei Staufen reicht über dem kristallinen Grundgebirge vom triassischen Buntsandstein bis zum tertiären (oligozänen) Küstenkonglomerat. Von besonderer Bedeutung für den Schadensfall sind der Obere Muschelkalk sowie die überlagernde Abfolge des Keupers.

Zur Erkundung der geologischen Verhältnisse wurden im näheren Umfeld der Erdwärmesonden zwei Erkundungsbohrungen niedergebracht. Die Bohrarbeiten wurden durch intensive geologische, ingenieurgeologische und hydrogeologische Untersuchungen begleitet. Außerdem wurden die Raumlagen der EWS vermessen. Die Erkundungsmaßnahmen lieferten folgende Ergebnisse:

- Die Erdwärmesonden erschließen eine Schichtenfolge, die unter gering mächtiger, quartärer Überdeckung von der Stuttgart-Formation (Schilfsandstein-Formation) über die Grabfeld-Formation (Gipskeuper-Formation) und die Erfurt-Formation (Unterkeuper) bis in die Obere Hauptmuschelkalk-Formation reicht.
- Sulfat führendes Gebirge wurde in der Grabfeld-Formation zwischen 28,60 m u. GOK (Oberer Gipsspiegel) und 141,70 m u. GOK (Unterer Gipsspiegel), Anhydrit zwischen 61,50 m u. GOK (Oberer Anhydritspiegel) und 126,10 m u. GOK (Unterer Anhydritspiegel) angetroffen.
- Der Untergrund im Bereich des EWS-Felds (mit sieben Erdwärmesonden) besteht aus einem kleinräumigen Mosaik von Gebirgsschollen, die durch tektonische Störungen versetzt und begrenzt sind. Die Schichten fallen generell in nordwestliche Richtung ein.
- Es wurden vier hydraulisch, hydrochemisch und isotopenhydrologisch voneinander getrennte Grundwasserstockwerke identifiziert. Die beiden oberen (in der Stuttgart-Formation und im Gipskarst der Grabfeld-Formation) führen stark gespannte, die beiden unteren (in der Erfurt-Formation und im Oberen Muschelkalk) artesisch gespannte Grundwässer.



- Die EWS-Bohrungen wurden nicht vertikal abgeteuft, sondern ihre Bohrspuren weichen in ihrer Raumlage stark nach Südosten ab (im tiefsten Abschnitt bis 40° aus der Vertikalen).
- Die Temperaturprofile der EWS lassen charakteristische Temperaturanomalien im Anhydrit- und quellfähige Tonminerale führenden Gebirge im Bereich des Mittleren Gipshorizonts der Grabfeld-Formation (Gipskeuper-Formation) erkennen. Sie werden auf die exotherme Reaktion bei der Umwandlung von Anhydrit in Gips zurückgeführt.
- Die Temperaturanomalie ist in der EWS 7 am stärksten ausgeprägt. Das Temperaturprofil in der EWS 7 deutet auf einen Aufstieg von gespanntem Grundwasser aus tieferen Schichten der Erfurt-Formation (Unterkeuper) über eine undichte Ringraumverfüllung in den Anhydrit-führenden Gebirgsabschnitt hin.

Die Ruhetemperaturprofilmessungen erfolgen u. a. durch stationär in die Erdwärmesonden eingebaute Glasfaserkabel.

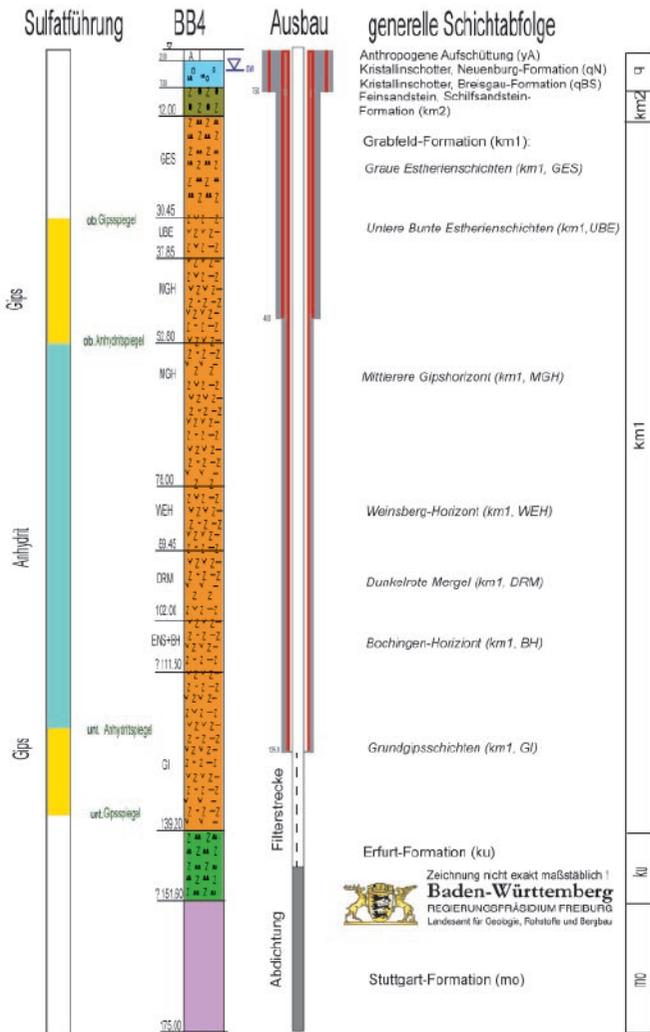
Die umfangreichen Untersuchungen ergaben somit, dass eine missglückte Ringraumabdichtung zumindest einer der sieben Erdwärmesonden ursächlich für die eingetretenen Schäden war. Hierdurch gelangte über den Ringraum der EWS artesisch gespanntes Grundwasser aus der unterlagernden Erfurt-Formation des Unteren Keupers und aus dem Oberen Muschelkalk in Anhydrit-führende Gebirgsabschnitte der Grabfeld-Formation. Dort löste es den Prozess des so genannten „Gipskeuperquellens“ aus.

Maßnahmen zum Stoppen des Hebungsprozesses

Die durchgeführten Untersuchungen dienten auch dazu, verschiedene Möglichkeiten zu prüfen, die geeignet sind, den Quellhebungsprozess schadensbegrenzend zu beeinflussen. Insbesondere muss hierfür der weitere Zufluss von Grundwasser in den in Quellung be-

Absenkbrunnen BB4 Staufen i. Br.

Schematische Übersichtsdarstellung



findlichen Gebirgsabschnitt verhindert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden folgende Maßnahmen durchgeführt:

- Nachverpressung: nachträgliche technische Abdichtung der Ringräume der EWS-Bohrungen EWS 1 bis 7
- hydraulischer Abwehrbetrieb: Dauerpumpmaßnahme in der zum Brunnen ausgebauten Erkundungsbohrung EKB 2 und den nachfolgend ausgeführten Brunnenbohrungen BB 3 und BB 4

Die durch die Dauerpumpmaßnahme über insgesamt drei Förderbrunnen erzeugte hydraulische Drucksinke verhindert einen unerwünschten Aufstieg von artesisch gespanntem Grundwasser über sekundäre, durch den Quellhebungsprozess verursachte Fließpfade in den quellfähigen Gebirgsabschnitt.

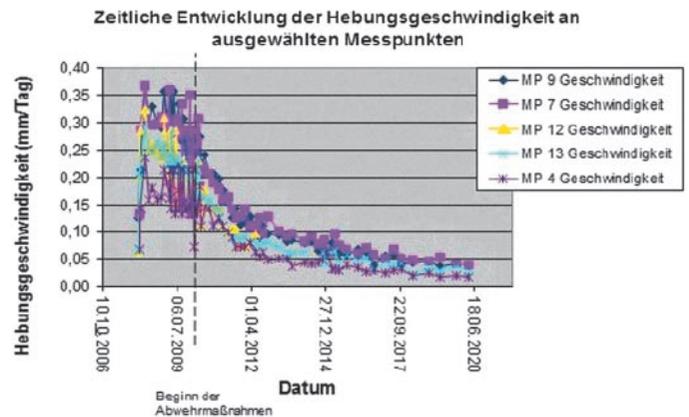
Die Entnahmerate betrug zu Beginn des gleichzeitigen Absenkbetriebes im April 2012 aus EKB 2 und BB 3 zusammen ca. 5,5 l/s. Seitdem nimmt sie kontinuierlich ab. Im April 2020 betrug sie aus EKB 2, BB 3 und BB 4 zusammen ca. 2,8 l/s. Sie liegt damit deutlich unter der wasserrechtlich genehmigten Entnahmerate von 6 l/s.

Begleitend zum Dauerabsenkbetrieb werden die Entnahmeraten und Absenkbeiträge, die Vor-Ort-Parameter Leitfähigkeit und Temperatur sowie die Trübung des geförderten Wassers im Online-Betrieb kontinuierlich gemessen. Daneben werden die geförderten Grundwässer in vierteljährlichem Abstand umfangreich hydrochemisch, in größeren Abständen auch isopenhydrologisch untersucht.

Die Kontrollanalysen zeigen leichte Verschiebungen in der Mineralisation der Wässer aus den drei Entnahmestellen, die Gesamtfracht der geförderten gelösten Stoffe blieb jedoch über die letzten Jahre weitgehend konstant. Isotopisch zeichnet sich eine leichte Zunahme eines Jungwasseranteils aus dem weiteren Umfeld ab.

Die kontinuierlich aufgezeichneten Parameter sind in ein Online-Warnsystem eingebunden. Dieses meldet Abweichungen von den festgelegten Entnahmeraten bzw. vom Absenkziel in Echtzeit an eine zentrale Stelle. Von dort aus kann nach vorab definierten Handlungsanweisungen kurzfristig situationsabhängig reagiert werden. Eine Ersatzpumpe wird redundant vorgehalten. Damit ist sichergestellt, dass eventuelle Ausfallzeiten im Absenkbetrieb möglichst kurz sind.

Zeitliche Entwicklung der Geländedeformation



Die Hebungsgeschwindigkeiten haben in der Anfangsphase schnell und stark zugenommen. Danach blieben sie über einen Zeitraum annähernd gleich. Mit Beginn der schadensbegrenzenden Maßnahmen (Oktober 2009) setzte zunächst eine starke, annähernd lineare Abnahme der Hebungsgeschwindigkeit ein. Daran schließt eine Phase mit geringerer Abnahme an.

Die Hebungsfigur hat bereits seit Juni 2008 weitgehend ortsfest ihre markante elliptische Ausbildung angenommen. Die Hebung erfolgt überwiegend senkrecht zur Schichtung, sodass sich der Quellhebungsvorgang stark anisotrop verhält. (Bild 1)

Entsprechend dem vorhandenen Schichteinfallen liegt das Hebungszentrum an der Geländeoberfläche deshalb nicht im Bereich des Erdwärmesondenfeldes bzw. nicht senkrecht über dem in Quellung befindlichen Gebirgsbereich, sondern es ist nach Nordwesten versetzt. (Bild 2)

Die maximale Hebungsgeschwindigkeit lag anfangs bei rd. 11 mm/Monat und hat bis April 2020 auf maximal 1,25 mm/Monat abge-

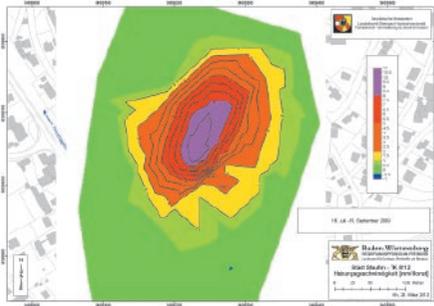


Bild 1: Hebungsfigur Staufen: September 2009

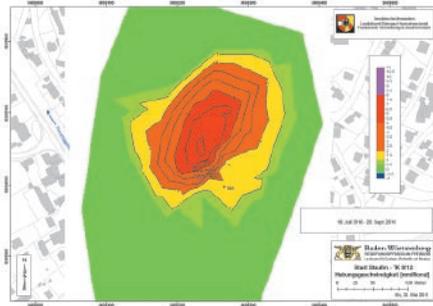


Bild 2: Hebungsfigur Staufen: September 2010

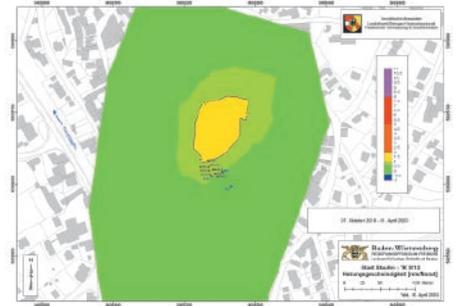


Bild 3: Hebungsfigur Staufen: April 2020

nommen. Insgesamt beträgt der maximale Hebungsbetrag im Hebungszentrum ca. 64 cm (Stand April 2020). (Bild 3)

Neben den Vertikalbewegungen wurden in Staufen westlich der Hauptverwerfungszone Horizontalverschiebungen von maximal ca. 46 cm in nordwestliche Richtung und östlich davon ca. 13 cm in südöstliche Richtung festgestellt (Stand Ende 2018), wobei die Geschwindigkeit der Lageverschiebung ebenso wie die Hebungsgeschwindigkeit abnimmt.

Schlichtungsverfahren



Angesichts der Dimension der zu erwartenden Schäden wurden in der Stadt Staufen in den Jahren 2009/10 Überlegungen angestellt, wie man die Schäden abwickeln könnte, ohne in jedem Fall die staatlichen Gerichte anrufen zu müssen. Man fürchtete zu Recht um den Frieden in der kleinen Stadt durch jahrelange gerichtliche Auseinandersetzungen zwischen geschädigten Bürgern und der Stadt. Um das angestrebte Ziel zu erreichen, schlossen die Stadt und eine Gruppe von Geschädigten, die sich in einer Gesellschaft bürgerlichen Rechts zusammengefunden hatten, einen Vertrag, mit dem das sogenannte Schlichtungsverfahren etabliert wurde.

Die Stadt installierte eine Schlichtungsstelle, die von einem pensionierten Richter geführt wurde, der als Schlichter eingesetzt wurde und von jeder Art Weisungen unabhängig war. Bei dieser



Schlichtungsstelle können alle Geschädigten Ansprüche anmelden, die nach Anhörung der Stadt vom Schlichter geprüft werden. Das Verfahren wird geregelt durch eine Schlichtungsordnung, die für alle Beteiligten verbindlich ist. Nach Prüfung des beiderseitigen Vortrags unterbreitet der Schlichter einen Vorschlag, in welcher Höhe der Geschädigte Ersatz erhalten sollte. Im Falle einer Einigung kommt es zu einer Schlichtungsvereinbarung, die die Stadt zur Zahlung verpflichtet. Anderenfalls steht es dem Geschädigten frei, die staatlichen Gerichte anzurufen.

Die Schlichtung war in den letzten 10 Jahren sehr erfolgreich. Es wurden etwa 550 Verfahren durchgeführt. Zu Gericht ging kein einziges. Unabdingbare Grundlage der gesamten Schlichtung war natürlich eine ausreichende finanzielle Grundlage. Diese wurde dadurch geschaffen, dass das Land Baden-Württemberg 40% der benötigten Mittel bereitgestellt hat, weitere 40% von den Kommunen des Landes kamen und 20% von der Stadt Staufen selbst aufgebracht wurden.

Hinweis: Weitere Informationen über die Untergrundverhältnisse in Baden-Württemberg finden Sie unter LGRBwissen, dem geowissenschaftlichen Portal für Baden-Württemberg (<https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/>).

Autoren

Dr. Clemens Ruch

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Leitung Referat Landesingenieurgeologie

Dr. Gunther Wirsing

Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, Referent im Referat Landeshydrogeologie und -geothermie

Jochen Teigeler

Ehem. Landgerichtspräsident und Vorsitzender der Schlichtungsstelle