

ZUSAMMENFASSUNG: Die Neubaustrecke Nürnberg-Ingolstadt der Deutschen Bahn AG wird vollständig mit der Oberbaukonstruktion Feste Fahrbahn geplant und hergestellt. Die Einschnitte schneiden hierbei bereichsweise in überkonsolidierte Tone und diagenetisch verfestigte Tonsteine des Feuerletten, des Amaltheentons und des Opalinustons ein. Wegen der Quellfähigkeit dieser Tone und Tonsteine muss mit Quellhebungen beim Aushub für die Einschnitte gerechnet werden. Da das Oberbausystem Feste Fahrbahn eine sehr verformungsarme Auflagerung erfordert, muss die Quellproblematik in den Einschnitten zuverlässig beherrscht werden. In diesem Beitrag wird eine Methode für die Prognose der Endquellhebungen und des Quellhebungs-Zeit-Verlaufes vorgestellt, welche sich sowohl auf Laborversuche als auch auf Hebungsmessungen in situ stützt. Die Anwendung und die Ergebnisse dieses Modells werden exemplarisch für eine Einschnittssituation dargestellt.

ABSTRACT: The new high-speed railway from Nürnberg to Ingolstadt of the Deutsche Bahn AG is planned and constructed as concrete track. The cuttings for the alignment of the railway track cuts in over consolidated clays and diagenetic solidified clay rock of so called Feuerletten, Amaltheenton and Opalinuston. Therefore heaves due to the swelling clays and clay rocks by the excavation of the cuttings must be considered. Due to the very high deformation conditions by the use of a slab track system, the swell problem demands a dependable solution and method for the prediction and the control of the deformations. In this paper a method for the prediction of the maximum heaves and of the time depending heaves due to the swelling of the clays and clay rocks, on the basis of the laboratory investigations and of the measured Swell-Time-Function, will be given. The practical use of this model for the determination of the swelling process is demonstrated by a cutting for the new high-speed railway from Nürnberg to Ingolstadt.

1 Einleitung

Im Auftrag der Deutschen Bahn AG wird derzeit die Bahnverbindung zwischen Nürnberg und Ingolstadt als Hochgeschwindigkeitsstrecke gebaut. Im Streckenabschnitt des Loses Nord, welches südlich von Nürnberg beginnt und ca. 35 km lang ist, führt die Trasse bereichsweise durch diagenetisch verfestigte Tonsteine (Feuerletten, Amaltheenton, Opalinuston). Wegen der Quellfähigkeit dieser Tonsteine muss infolge des Aushubes der Einschnitte mit Quellhebungen in den Einschnittssohlen gerechnet werden.

Hochgeschwindigkeitsstrecken, die mit dem Oberbausystem Feste Fahrbahn ausgeführt werden, lassen nur sehr geringe Verformungstoleran-

zen während des Streckenbetriebes zu. Quellhebungen, die nach dem Einbau der Festen Fahrbahn noch zu erwarten sind, dürfen das Korrekturmaß der Schienenbefestigung nicht überschreiten.

Aus diesem Grund ist es für den Bau der Hochgeschwindigkeitsstrecke in Bereichen quellfähigen Untergrundes zwingend erforderlich, zur Beherrschung der Quellproblematik in den Einschnitten zuverlässige Quellhebungsprognosen zu erstellen. Die hier vorgestellte Prognosemethode für Endquellhebungen und Quellhebungs-Zeit-Verläufe stützt sich sowohl auf Laborversuche als auch auf Hebungsmessungen in situ.

Die Methode wird im folgenden exemplarisch am ca. 650 m langen und maximal ca. 17 m tie-

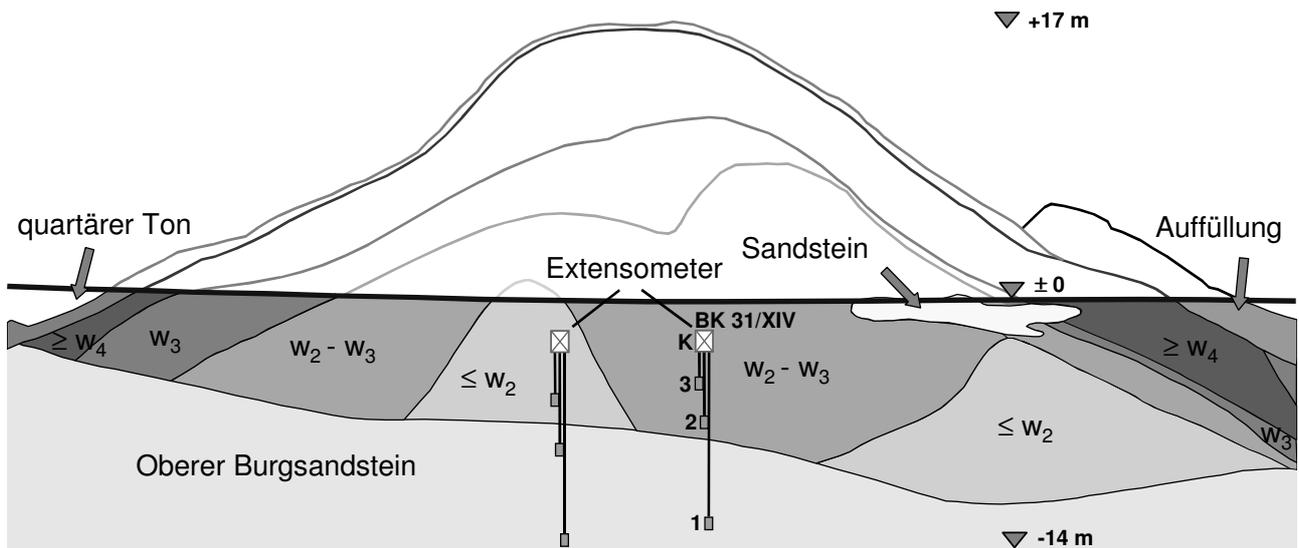


Bild 1: Längsschnitt mit Schichtenaufbau des Feuerletzens nach 4 Verwitterungsstufen; Anordnung der Extensometermessstellen

fen Einschnitt an der Autobahnanschlussstelle Allersberg erläutert.

2 Quellen diagenetisch verfestigter Gesteine und geologische Modelle

Durch die Diagenese entsteht in den Tonsteinen eine Verfestigung, die der Quellfähigkeit entgegenwirkt. Mit zunehmender Verwitterung nimmt die diagenetische Verfestigung ab. Bisher konnte noch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Diagenese, dem Verwitterungsgrad, und dem Quellvermögen nachgewiesen werden. Für die Quelleigenschaften verfestigter Tonsteine wurden zunächst die folgenden Zusammenhänge zwischen Verwitterungsgrad und Quellvermögen angenommen:

- Bei höherem Verwitterungsgrad sind größere Quellmaße infolge Entlastungen zu erwarten.
- Bei höherem Verwitterungsgrad sind geringere Quellpotenziale, d.h. kleinere Quelldrücke bei vollständig unterdrückter Volumendehnung zu erwarten.
- Bei höherem Verwitterungsgrad sind schnellere Quellvorgänge zu erwarten.

Die Entwicklung von geologischen Modellen mit Schichtpaketen unterschiedlicher Quelleigenschaften in Abhängigkeit vom Verwitterungsgrad erforderte die Festlegung von Homogenbereichen mit gleichen Quelleigenschaften. Folgende 4 Homogenbereiche wurden festgelegt:

- Verwitterungsstufe w_2 und geringer verwittert
- Verwitterungsstufe w_2-w_3
- Verwitterungsstufe w_3
- Verwitterungsstufe w_3-w_4 und stärker verwittert

Bild 1 zeigt den Längsschnitt des geologischen Modells für den Einschnitt „Allersberg“. Es ist zu sehen, dass die höheren Verwitterungsstufen in den flachen Randbereichen und die geringeren Verwitterungsstufen in den Bereichen der größeren Aushubtiefen liegen.

3 Quelldehnungsgesetz

3.1 Endquelldehnungen

Der logarithmische Ansatz nach Grob (1) ist die Grundlage für das hier verwendete eindimensionale Quelldehnungsmodell. Es ist in Bild 2 dargestellt.

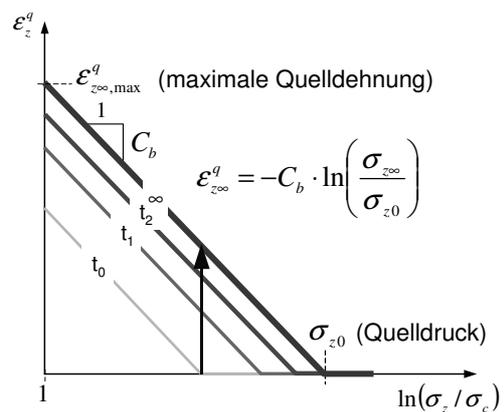


Bild 2: Quelldehnungsmodell

In der Gleichung des Bildes 2 ist σ_{z0} der Quelldruck, bei dem das Quellen überdrückt wird. σ_c ist eine Mindestspannung, bei deren Unterschreitung keine weitere Zunahme des Quellens mehr eintritt. Der Quellhebungsbeiwert C_b ist das Maß für die Abhängigkeit der Quelldehnungen von den Vertikalspannungen σ_z . Die erforderlichen

Parameter C_b und σ_{z0} des Quelldehnungsgesetzes werden aus Quelldehnungsversuchen im Labor bestimmt.

3.2 Quelldehnungs-Zeit-Verlauf

Eine zeitabhängige Erweiterung des o.g. Quelldehnungsmodells für den Endzustand wurde von Kiehl (2) vorgeschlagen. Unter der Annahme konstanter Entlastungsspannungen (siehe Bild 2) ist folgende Darstellung möglich.

$$\varepsilon_z^q(\hat{t}) = -C_b \cdot \ln\left(\frac{\sigma_{z\infty}}{\sigma_{z0}}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{\hat{t}}{\eta_q}\right)\right] \quad 1$$

Das Referenzzeitmaß η_q wird aus den Zeitverläufen der Quellhebungsversuche bestimmt.

Neu in Gl. 1 ist die modifizierte Zeitgröße \hat{t} , die einen Zeitmaßstab unabhängig von der Quellschichtdicke definiert. Zur Erfassung des Einflusses der Dicke einer quellfähigen Schicht wurde folgender Potenzansatz vorgeschlagen.

$$\hat{t} = t \cdot \left(\frac{d_{\text{Probe}}}{D_{\text{Schicht}}}\right)^n \quad 2$$

Der Exponent n ermöglicht die Übertragung des zeitlichen Verlaufes im Laborversuch (Zeit t) auf das zeitliche Quellverhalten in situ (Zeit \hat{t}). Der Exponent wird durch eine Anpassung des Quellverlaufes an vorausgehende in situ Messergebnisse, z.B. von Extensometermessungen kalibriert.

4 Laborversuche und Bestimmung der Quellhebungsparameter

Für die Untersuchung der Quellproblematik wurden insgesamt 94 Versuche in unterschiedlichen Versuchseinrichtungen durchgeführt (49 Versuche an Feuerletten, 23 Versuche an Amaltheenton, 22 Versuche an Opalinuston). Sie wurden nach den folgenden drei Lastregimen ausgeführt: kombinierte Quelldruck-Quellhebungsversuche, mehrstufige Quellhebungsversuche und Versuche nach HUDER/AMBERG.

Die Versuchsergebnisse wurden 12 Datenbanken (3 quellfähige Gesteine mit je 4 Verwitterungsstufen) zugeordnet. Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Quellhebungsversuche als Datenbasis für die Verwitterungsstufe w_2 des Feuerletten im Quellhebungs-In(Spannungs)-Diagramm. Die Zielstellung für die Prognose der Endquellhebungen bestand darin, einerseits eine möglichst wahrscheinliche Prognose zu erstellen und andererseits die Streubreite mit einer oberen und unter-

ren Grenzwertbetrachtung zu untersuchen. Dazu wurden C_b und σ_{z0} nach unterschiedlichen Auswertestrategien ermittelt.

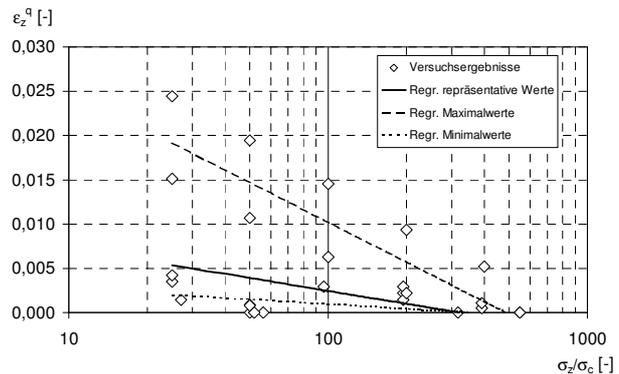


Bild 3: Ergebnisse von Quellhebungsversuchen für Feuerletten w_2 ; Quellhebungsgeraden nach 3 verschiedenen Auswertestrategien

Die mittlere Quellhebungsgerade in Bild 3 ergibt sich aus repräsentativen Werten für die Parameter unter Berücksichtigung der angenommenen Zusammenhänge zwischen Verwitterungsgrad und Quellvermögen (vgl. Abschnitt 2). Die Quellhebungsgeraden für die Grenzwertbetrachtung sind das Ergebnis der Regressionen der Datenpunkte, die oberhalb bzw. unterhalb einer statistischen Regression auf der Grundlage der gesamten Datenmenge liegen.

5 Extensometermessungen in situ

Im Einschnitt „Allersberg“ wurden vor Beginn des Aushubes 2 Extensometermessstellen unterhalb der Einschnittsohle installiert. Diese Hebungsmessungen werden durch geodätische Messungen ergänzt.

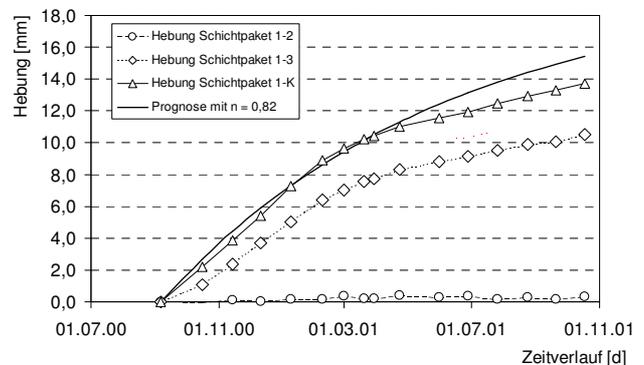


Bild 4: Ergebnisse der Extensometermessung an der Stelle BK31/XIV

Bild 4 zeigt die gemessenen Quellhebungen für das Schichtpaket des Extensometers BK 31/XIV. Die Lage des Extensometers und die

Bezeichnung der Schichten sind in Bild 1 dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Quellhebungszunahme mit fortschreitender Zeit zwar abnimmt, jedoch die Endquellhebungen noch nicht erreicht sind. Die Ergebnisse dieser Messungen in situ wurden zur Kalibrierung des Zeitparameters n verwendet. In Bild 4 ist der rechnerische Zeit-Hebungsverlauf mit $n = 0,82$ dargestellt.

6 Quellhebungsprognosen

6.1 Endquellhebungen

Für den Einschnitt „Allersberg“ wurden die Endquellhebungen in 5 Berechnungsquerschnitten nach dem Quelldehnungsgesetz von Grob (1) infolge Aushubentlastung ermittelt. In Bild 5 ist die wahrscheinliche Prognose mit repräsentativen Parametern, sowie die Prognose unter Zugrundelegung der Grenzwertbetrachtung dargestellt.

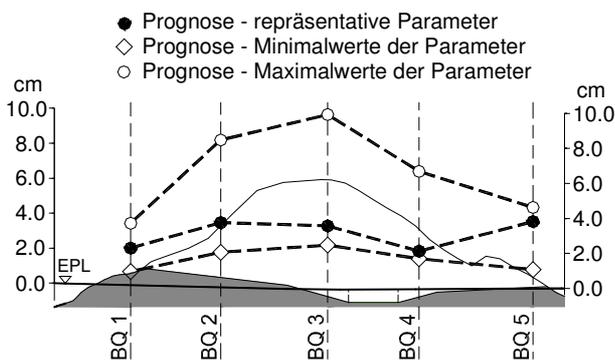


Bild 5: Prognose für die Endquellhebungen einschließlich Grenzwertbetrachtung im Einschnitt „Allersberg“

Die Prognosen decken eine große Bandbreite ab und verdeutlichen somit die Unsicherheiten, die bei der Vorhersage der Quellhebungen von vornherein nicht auszuschließen sind. Durch die größere Quellneigung der stärker verwitterten Schicht ergeben sich an den Einschnittsenden trotz kleiner Entlastungsspannungen vergleichsweise große Quellhebungen.

6.2 Zeitverlauf der Quellhebungen

Der Zeitverlauf der Quellhebungen wird analog 6.1 für verschiedene Zeitpunkte nach dem zeitabhängigen Quelldehnungsmodell ermittelt. Der Zeit-Hebungsverlauf für den Berechnungsquerschnitt 5 ist in Bild 6 dargestellt. Grenzwertbetrachtungen wurden hier nicht vorgenommen. Nach dieser Prognose werden die Endquellhe-

bungen nach etwa 3 Jahren erreicht und es sind hinreichend kleine Resthebungen nach Einbau der Festen Fahrbahn zu erwarten.

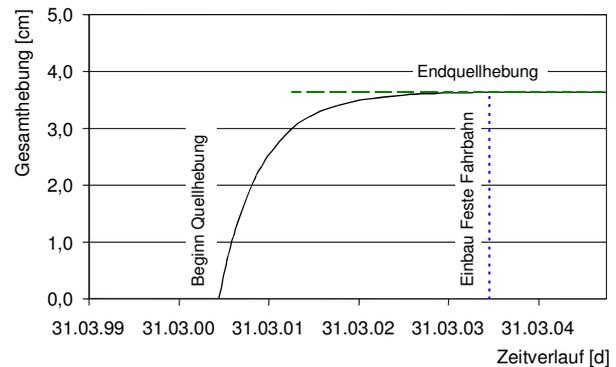


Bild 6: Prognose des Zeit-Hebungsverlaufs für den Berechnungsquerschnitt 5

7 Schlussbemerkungen

In diesem Beitrag wurde eine Methode für die Prognose der Endquellhebungen und des Quellhebungs-Zeit-Verlaufes, sowie die Anwendung exemplarisch für eine Einschnittssituation dargestellt.

Da das Oberbausystem Feste Fahrbahn eine sehr verformungsarme Auflagerung erfordert, muss die Quellproblematik in den Einschnitten zuverlässig beherrscht werden.

Es ist vorgesehen, durch lang dauernde in-situ Messungen die Prognose unter Zugrundelegung des vorgestellten Modells im Rahmen der Beobachtungsmethode kontinuierlich anzupassen und zu verbessern. Sofern die Prognosen erwarten lassen, dass die Anforderungen an die zulässigen Hebungen für die Auflagerung der Festen Fahrbahn nicht eingehalten werden können, sind bautechnische Gegenmaßnahmen (z.B. Teilbodenaustausch der quellfähigen Schichten) geplant.

Quellennachweis

1. Grob, H.: Schwelldruck im Belchentunnel. Proc. Int. Symp. für Untertagebau, S. 99-119, Luzern, 1972
2. Kiehl, J. R.: Ein dreidimensionales Quellgesetz und seine Anwendung auf den Felshohlrumbaue. Sonderheft der Zeitschrift Geotechnik, Vorträge zum 9. Nationalen Felsmechanik Symposium, 1990
3. Kolymbas, D.: Geotechnik – Tunnelbau und Tunnelmechanik. Kap. 38, Quellen bzw. Schwellen, Springer-Verlag Berlin, 1998