

DISS. ETH NO. 20177

Analysis of transient surface deformations above the Gotthard Base Tunnel (Switzerland)

A dissertation submitted to
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences
(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by
Jürgen Hansmann
M.Sc.(hons) Earth Sciences, Universität Münster

1st of March 1980
citizen of Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Simon Löw, examiner
Dr. Keith F. Evans, co-examiner
Prof. Dr. Pierre Perrochet, co-examiner

2012

1. Introduction

1.1. Abstract

Subsidence above deep tunnels in fractured, crystalline rocks has been observed recently. The subsidence reached amplitudes of up to 12 cm, which could cause severe damage to buildings above the tunnel trajectory. As a consequence, a monitoring network was installed above the trajectory of the Gotthard Base Tunnel in order to detect tunneling induced deformations and assure a safe operation of nearby storage lake dam sites. Natural deformations have been recorded by this monitoring network prior to the start of the excavation process. Observed horizontal strains are in the order of up to $1\text{-}2 \times 10^{-5}$, which is close to the design limits of the dam walls. The signal appears to be seasonal and reveals a reversible, elastic deformation of the rockslopes. A strong correlation of the observed deformations and precipitation or snow melt events is shown. As the response time of the signal to precipitation or snow melt events is very short (i.e. within days), the main underlying mechanism for the observed deformation is assumed to be the opening and closure of fractures in the rock mass as a function of fluid pressure and hence the elevation of the groundwater table inside the rockmass. Poroelastic effects due to changing pore pressure may also contribute to the deformation signal, but are assumed to have a much lower order of magnitude.

In the first part of this thesis a mathematical model for natural rockslope deformation observed in the Central Alps (Switzerland) is developed. The REROD (reversible rockslope deformations) mathematical model was developed, which can accurately reproduce the horizontal natural deformation component based on snow height and rainfall as the only input data. With this model, the natural component can be removed from the measured signal and hence the tunneling induced component of the signal can be quantified.

In the second part of this study the results of leveling campaigns in the Val Nalps region are presented and analysed in detail. Analysis of the transient development of the subsidence trough above the progressing tunnel excavation revealed, that vertical displacements can occur up to 500-1000 m ahead of the excavation front. The short term subsidence behaviour of the monitoring points was similar, regardless of the geological unit they are located in. However, once the excavation front passed by, different subsidence rates among points in different lithologies was evident. Hence, the bulk rock mass properties have a major impact on the longterm evolution of the subsidence trough. The lateral extent (i.e. normal to the tunnel axis) of the subsidence trough four to five years after the excavation front passed by is observed to be more than 4.5km.

Local subsidence maxima often corresponded with regions of large tunnel inflows, often associated with fault zones. The absolute subsidence maximum observed in the studied section so far (around tunnel meter 25000) occurs inside the „mixed gneisses“ section of the Sedrun south lot. This region was characterized as relatively permeable and weak rock mass with a strong tectonic overprint and intensive jointing. Numerical models were developed in order to study the influence of several hydro-mechanical parameters on the evolution of the subsidence trough. This defined the hydraulic boundary conditions and lateral extent of a larger scale model of the Val Nalps region.

1.2. Zusammenfassung

Setzungen oberhalb von tiefen Tunnelbauwerken in geklüftetem, kristallinem Gestein sind ein bekanntes Phänomen. Die Grössenordnung dieser beobachteten Setzungen liegt im Bereich von bis zu 12 cm. Aus diesem Grunde wurde ein geodätisches Monitoring-Netzwerk in Talquerschnitten entlang der Strecke des Gotthard-Basistunnels installiert, um mögliche Geländedeformationen ständig überwachen zu können und somit die Sicherheit nahegelegener Stauanlagen zu gewährleisten. Dieses Netzwerk zeichnete natürliche Deformationen der Talflanken in der Zeit vor Baubeginn des Tunnels auf.

Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit wird ein mathematisches Modell entwickelt und beschrieben, das diese beobachteten, natürlichen Deformationen der Talflanken in den Zentralalpen der Schweiz reproduzieren kann. Die beobachteten horizontalen Verformungen liegen in der Grössenordnung von $1\text{-}2 \times 10^{-5}$ und somit nahe beim Sicherheitslimit der Stauanlagen. Eine starke Korrelation der Deformationen mit Niederschlägen und Schneeschmelzereignissen vorhanden und die Reaktionszeit des Deformationssignals auf diese Ereignisse ist kurz (d.h. innerhalb von Tagen). Daher wurde die Öffnung und Schliessung von Klüften als Funktion von variierendem Grundwasserspiegel und somit variierendem Fluiddruck innerhalb des Gebirges als der wichtigste Mechanismus für die beobachteten Deformationen identifiziert. Poroelastische Effekte können ebenfalls zu den Deformationen beitragen, haben jedoch vermutlich sehr viel weniger Einfluss darauf.

Das mathematische Modell REROD (reversible rockslope deformations) wurde entwickelt, um die natürlichen Deformationen auf Grundlage von Niederschlags- und Schneehöhenmessung zu berechnen und somit eine mögliche tunnelinduzierte Deformationskomponente im Messsignal quantifizieren zu können. Im zweiten Teil der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse der Nivellementmessungen im Val Nalps Gebiet ausführlich beschrieben und interpretiert. Die Analyse der transienten Entwicklung des Setzungstrichters über dem progressiven Tunnelvortrieb zeigte, dass die vertikale Deformationen ca. 500 – 1000 meter vor der Tunnelbrust entwickeln können. Alle Messpunkte zeigten ein sehr ähnliches Setzungsverhalten, unabhängig von der geologischen Einheit, in der sich die Punkte befanden. Sobald die Tunnelbrust die Messpunkte jedoch passiert hat, zeigen diese stark unterschiedliches Setzungsverhalten. Das langfristige Setzungsverhalten ist somit stark von den Gebirgskennwerten abhängig. Die laterale Ausbreitung (d.h. normal zur Tunnelachse) erreichte 4-5 Jahre nachdem der Tunnel das Messprofil passiert hat einen Wert von mehr als 4.5 km. Lokale Setzungsmaxima korrelierten oft mit den Orten erhöhter Tunnelzuflussraten, die oft mit Störzonen assoziiert sind. Das absolute Setzungsmaximum (bei Tunnelmeter 25000), das bisher im betrachteten Tunnelabschnitt (Sedrun Süd) beobachtet wurde, befindet sich in den „Mischgneisen“. Diese Einheit wurde als relativ durchlässig und relativ schwaches Gestein eingestuft, da eine starke tektonische Überprägung und eine intensive Durchtrennung durch Klüfte beobachtet wurde.

Mit Hilfe numerischer Modelle wurden die Einflüsse verschiedener hydromechanischer Parameter auf die Entwicklung von Setzungen über einem transienten Tunnelvortrieb untersucht. Die Resultate dieser Sensitivitätsanalysen definierten die hydraulischen Randbedingungen sowie die Dimensionen eines grösserskaligen numerischen Modells der Val Nalps Region.

1.3. Study motivation

In the past many cases of ground surface deformation caused by a change in the fluid pressure distribution inside the soil or rock mass have been observed. The fluid pressure