

# Untersuchung und Modellierung der Herstellung einer innerstädtischen Großkaverne mittels Microtunneling-Rohrschirmtechnik

**Katharina Keinprecht, BSc**

Betreuer/in: Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Matthias Flora

Arbeitsbereich für Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau

Universität Innsbruck

[ibt@uibk.ac.at](mailto:ibt@uibk.ac.at) | [www.uibk.ac.at/ibt](http://www.uibk.ac.at/ibt)

**KURZFASSUNG:** Die Planung und Errichtung von Kavernen mit großen Querschnittsflächen in Rahmen von U-Bahnprojekten im Lockergestein sind mit einer Vielzahl von geotechnischen und logistischen Herausforderungen verbunden. In dieser Arbeit wird ein geeignetes Vortriebskonzept für ein derartiges Bauvorhaben entwickelt. Dafür werden verschiedenen Varianten mittels FE-Berechnungen verglichen und die gewählte Variante in einem BIM-Modell inklusive Bauablauf abgebildet.

**SCHLAGWORTE:** Kaverne, Lockergestein, FE-Berechnungen, BIM

## 1 EINLEITUNG

Innerstädtische Bauprojekte im Lockergestein stellen aufgrund begrenzter Platzverhältnisse, geringer Überdeckung, bestehender Bebauung, der erforderlicher Setzungsminimierung sowie eines hohen Grundwasserspiegels besondere Herausforderungen dar.

Bei der Planung großer Kavernen sind zusätzliche bautechnische Maßnahmen erforderlich, um einen sicheren Vortrieb mit möglichst geringen Setzungen zu ermöglichen. Große Querschnitte werden z.B. häufig in mehrere Teilausbrüche unterteilt [1]. Eine weitere Möglichkeit, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wird, ist die Microtunneling-Rohrschirmtechnik. Bei dieser Technik werden Stahlrohre mit verhältnismäßig großen Durchmessern über den auszubrechenden Querschnitt vorgetrieben und miteinander verbunden. So bildet sich ein Rohrschirm, der während dem Bau die Last des Gebirges ableitet und so den Vortrieb schützt sowie entstehende Verschiebungen geringhält [2]. Ein BIM-Modell ermöglicht die Darstellung einzelner Bauphasen und so die Überprüfung der Machbarkeit unter den beengten Bauphasen. Außerdem kann ein BIM-Modell auch mit den FE-Berechnungen verknüpft werden, um Arbeitsaufwand einzusparen [3].

Ziel dieser Arbeit ist die Erarbeitung eines umsetzbaren Vortriebskonzept für die Kaverne und den für den Bau benötigten Startschacht. Die Machbarkeit wird anhand von FE-Berechnung, einem BIM-Modell und einer Bauablaufsimulation bewertet.

## 2 HAUPTTEIL

Um die Untersuchungen durchführen und die Ergebnisse verstehen zu können, wurde zu Beginn eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt, um Grundlagen verschiedener Themen zu erläutern. Dazu gehören unter anderem geotechnische Stoffmodelle, empirische Setzungsberechnungen, verschiedene Bauverfahren und Grundlagen sowohl zur FE- als auch BIM-Modellierung. Anschließend werden der Baugrund, die Erstellung des Baugrundmodell und das Bauvorhaben beschrieben.

Der Baugrund hat einen schichtenweisen Aufbau. Die oberste Schicht besteht aus Kies. Der Grundwasserspiegel liegt in dieser Schicht. Darunter befinden sich abwechselnd Kies- und Tonschichten mit unterschiedlichen Mächtigkeiten. Die Kaverne hat eine Länge von 45 m. Der im Rahmen der Arbeit festgelegte Querschnitt hat eine Breite von 17 m, eine Höhe von 13 m und eine Fläche von 180 m<sup>2</sup>. Die Kaverne wird von

einem mittig angeordneten Schacht aus vorgetrieben. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass einer der an die Kaverne anschließenden Streckentunneln bereits zuvor mit einer TVM vorgetrieben und im Bereich der Kaverne wieder abgebrochen wird. Die Überdeckung beträgt 13 m.

Auf der Literaturrecherche aufbauend erfolgen FE-Untersuchungen in Form von 2D-Scheibenmodellen mit dem Ziel, eine geeignete Vortriebsvariante zu finden. Weitere Schritte sind die Dimensionierung des Schachtes, die Festlegung des Bauablaufs, das Erstellen des BIM-Modells und der Bauablaufsimulation sowie Untersuchungen zur Schnittstelle von BIM-Modell und FE-Berechnungen. Die Untersuchungen haben ergeben, dass die Microtunneling-Rohrschirmtechnik nicht für dieses Bauvorhaben geeignet ist. Stattdessen wird der Vortrieb unter Druckluft ausgeführt.

### 2.1 Bemessung Kaverne

Aufgrund der Größe des Querschnittsfläche wird die Kaverne in Kernbauweise errichtet. Es werden zuerst seitliche Ulmenstollen hergestellt und mittels temporären Kalottenstielen gesichert. Dann wird der Mittelstollen ausgebrochen und gesichert und die Kalottenstiele wieder abgebrochen. Die einzelnen Stollen selbst werden in Kalotte und Strosse aufgeteilt. Die Querschnittsaufteilung ist in Abb. 2-1 dargestellt. Es ist auch der zuvor errichtete TVM-Tunnel im FE-Modell berücksichtigt.

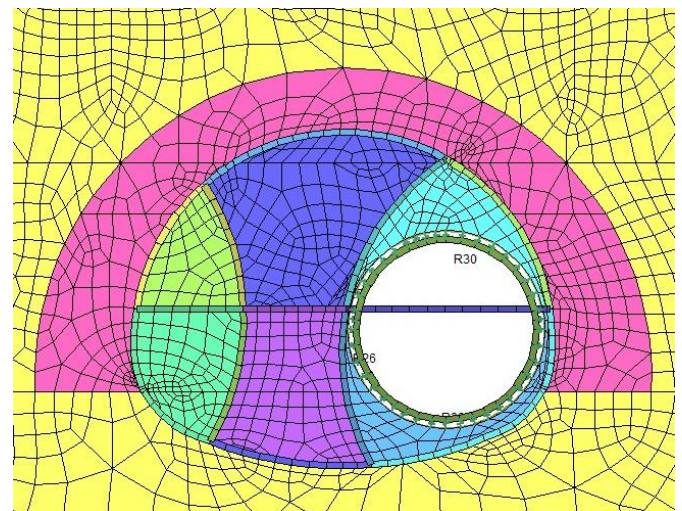


Abb. 2-1: Kavernenquerschnitt mit DSV-Schirm

Zur Reduzierung der Setzungen werden verschiedene Bodenverbesserungen, wie Vereisung und verschieden große DSV-

Schirme, untersucht. Nach Abwägung der Wirkung für die Setzungsreduzierung und des Aufwandes wird der in Abb. 2-1 dargestellte DSV-Schirm gewählt. Es treten Setzungen von 37 mm auf. Diese erfordern weitere Untersuchungen, da sie die Stabilität der bestehenden Gebäude gefährden könnte. Anschließend erfolgt die Bemessung des Kavernenquerschnitts.

## 2.2 BIM-Modell

Weiterer Schwerpunkt der Arbeit ist das BIM-Modell, die Bauablaufsimulation sowie die Schnittstelle zwischen BIM und FE-Berechnungen. In Abb. 2-2 ist das Bauwerksmodell zusehen. Gemeinsam mit dem Baugrundmodell bildet es das BIM-Modell. Die Parameter für das BIM-Modell wurden hinsichtlich späterer FE-Berechnungen gewählt (Material, Bewehrung etc.). Außerdem ist jedem Bauteil ein Parameter für die Phase der Konstruktion und für temporäre Bauteile auch für die Phase des Abbruchs zugeordnet. In einem Ablaufplan werden dieselben Parameter den einzelnen Prozessen des Bauablaufs zugewiesen. Durch die Verknüpfung dieses Ablaufplans mit dem BIM-Modell kann die Bauablaufsimulation erstellt werden.

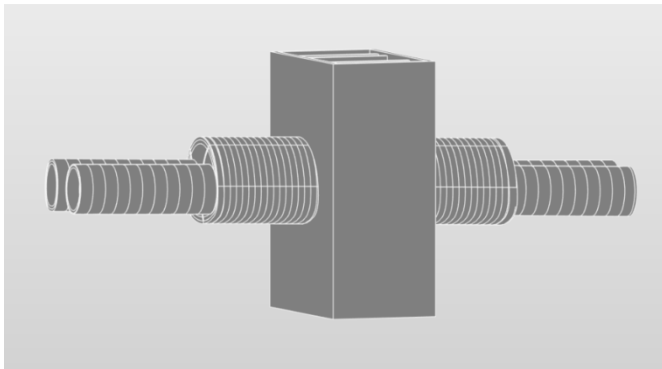


Abb. 2-2: fertiges BIM-Modell

Die Untersuchungen hinsichtlich der möglichen Verknüpfung von BIM-Modell und FE-Berechnungen ergeben, dass es prinzipiell technisch möglich ist auf verschiedene Weisen Informationen, z.B. zur Geometrie oder den Materialien, vom BIM-Modell in FE-Berechnungsprogramme zu übertragen. Jedoch müssen für das untersuchte Bauvorhaben zuerst die FE-Berechnungen geführt werden. Für spätere FE-Berechnungen kann aber das BIM-Modell als Grundlage dienen.

## 3 FAZIT

Das entwickelte Vortriebskonzept ist grundsätzlich machbar, dennoch ist es aufgrund verschiedener geotechnischer und baulogistischer Herausforderungen, wie z.B. die Setzungsreduzierung, die beengten Platzverhältnisse und die aufwendige Wasserhaltung, sehr komplex. Es handelt sich dabei weder in der Planung noch in der Bauausführung um eine herkömmliche Aufgabe. Deswegen ist eine detaillierte und sorgfältige Planung erforderlich. Zu dieser gehört auch die Abstimmung des Bauablaufs, die Ausarbeitung des Druckluftkonzepts, die Wahl der Geräte, die Schachtdimensionierung sowie die Entwässerungskonzept. Das BIM-Modell unterstützt dabei den Prozess durch die realitätsnahe Darstellung und Kollisionssprüfung in allen Bauphasen wesentlich.

In dieser Arbeit wurden die Kosten nicht bei der Wahl des Vortriebskonzepts nicht berücksichtigt. Diese wären jedoch aufgrund des aufwendigen Druckluftvortriebs und der umfangreichen Entwässerungsmaßnahmen sehr hoch, vor allem in

Relation zur vergleichsweise kleinen Bauwerksabmessung von nur 45 m Länge.

In den weiteren Planungsphasen sind weitere Untersuchungen erforderlich. Dazu gehören die Auswirkung der Setzungen auf die Tragfähigkeit der bestehenden Gebäude, weitere Untersuchungen für das Wasserhaltungskonzept hinsichtlich der Reichweiten der Brunnen und auch Untersuchungen für den DSV-Schirm.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Punkte bietet das entwickelte Vortriebskonzept eine solide Grundlage für die weiteren Planungsphasen.

## 4 AUSBLICK

FE-Berechnungen werden in der Praxis bereits standardmäßig durchgeführt. Dabei liegt der Fokus meist auf dem eigentlichen Tunnelausbau, also der Außen- und Innenschale. Für setzungsreduzierende Maßnahmen, vor allem Microtunneling-Rohrschirmtechnik, besteht gerade in der 2D-Berechnung Entwicklungsbedarf. Für 3D-Modelle existieren dafür bereits nur wenige Ansätze, aber diese sind aufwändiger als 2D-Modelle, die für eine Vorbemessung ausreichen würden.

In der Baubranche gewinnt die Umsetzung eines digitalen Zwillings eines Bauwerks immer mehr an Bedeutung. Um das Bauwerk in seinen gesamten Lebenszyklus abzubilden, müssen die Reaktionen sowohl des Bauwerkes als auch des Untergrundes auf äußere Einwirkungen oder Bauteilschäden berücksichtigt werden. Dafür ist die bidirektionale Schnittstelle von BIM-Modellen und FE-Berechnungen besonders hilfreich. Es gibt bereits Möglichkeiten zur Datenübertragung mittels verschiedener Dateitypen sowie vereinzelt auch direkte Schnittstellen zwischen zwei Programmen, aber für eine möglichst effiziente Nutzung müsste eine einheitliche Schnittstelle für verschiedene Programme geschaffen werden. Mit dieser sollen nicht nur Daten vom BIM-Modell ins FE-Modell übertragen werden, sondern auch die Rechenergebnisse ins BIM-Modell zurückgeführt werden.

Die allgemeine Entwicklung von künstlichen Intelligenzen (KI) kann auch in diesem Zusammenhang genutzt werden. Mögliche Anwendungen dafür sind unzählig, wie z.B. automatisierte Plausibilitätskontrollen durch Vergleiche mit anderen Berechnungen oder Gruppierung von Bauteilen je nach benötigter Bewehrung.

## 5 QUELLEN

- [1] H. Lessmann (Hrsg.). Moderner Tunnelbau bei der Münchner U-Bahn. Springer-Verlag, Wien, 1978
- [2] R. Osgoui, A. Poli, M. Pescara. Challenging features in design and execution of a low overburden underpass - A case history from Malaysia, PLUS North-South Highway, 2011.
- [3] I. Rudenko. Kompatibilität von BIM- und FE-Modellen für die Tragwerksanalysen, Technische Universität Hamburg, 2024.