

Ingenieurgeologische und geotechnische Aspekte von Suspensionsverlusten beim Schlitzwandaushub

Projekt S-Bahntunnel Erdinger Ringschluss Flughafen München

M.Sc. Annemarie Loidl, Dr.-Ing. Constantin Prins, CDM Smith Consult GmbH,
Dr. Marion Nickmann, Prof. Dr. Kuroschi Thuro, Technische Universität München

Beim Bauvorhaben des „S-Bahntunnels Erdinger Ringschluss“ am Flughafen München wurden während des Schlitzwandaushubs hohe Eindringverluste an Bentonitsuspension festgestellt. Durch detaillierte Aufnahmen des Baugrunds und der Verbrauchsdaten konnte ein detailgetreues Baugrundmodell erstellt werden. Das Resultat ist ein inhomogen aufgebauter quartärer Untergrund, der von Rollkieslagen unterschiedlicher Mächtigkeit und Ausdehnung durchzogen wird. Für diese grobkörnigen Lagen konnten anhand durchgeführter Laboruntersuchungen bodenmechanische Kennwerte ermittelt werden, die den Mehrverbrauch an Suspension erklären können. Daraus lassen sich Empfehlungen für die Baugrunderkundung vergleichbarer Projekte ableiten.

1 Einführung

Die überregionale Schienenverbindung aus dem Großraum München und anderen Teilen Bayerns an den Flughafen München soll verbessert werden. Dazu wird als Teil des Infrastrukturgroßprojekts „Erdinger Ringschluss“ am Flughafen München der bestehende S-Bahntunnel, der bisher in einem Kopfbahnhof endet, in östlicher Richtung nach Schwaigerloh erweitert. Danach soll in einem späteren Bauabschnitt der Ring bis Erding geschlossen werden (Abbildung 1–1) (ARGE 2017).



Abbildung 1–1: Übersicht über das Großprojekt „Erdinger Ringschluss“ mit thematisierten Bauabschnitt (schwarz) (nach www-01).

Derzeit befinden sich der ca. 1,5 km lange Tunnel und das 300 m lange Trogbauwerk im Bau (Abbildung 1–2). Diese waren Gegenstand der hier vorgestellten Untersuchungen.

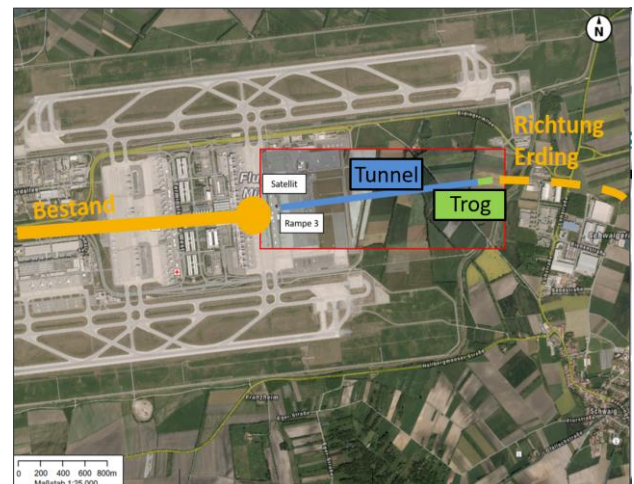


Abbildung 1–2: Übersicht über das Bauvorhaben (nach www-02).

1.1 Geologische Übersicht

Der vereinfachte geologische Längsschnitt in Abbildung 1–3 zeigt den Untergrundaufbau des Bauvorhabens mit dem Verlauf und der Tiefenlage des Tunnels. 10 m bis maximal 15 m unterhalb der Geländeoberkante stehen quartäre Kies-Sand-Gemische der Münchner Schotterebene an. Darunter folgt der Flinz der Oberen Süßwassermolasse, der sich aus glimmerreichen Tonen, Schluffen und Sanden zusammensetzt. Die Tunnelsohle liegt in ca. 20 m Tiefe unterhalb der schwankenden Quartär-Tertiär-Grenze.

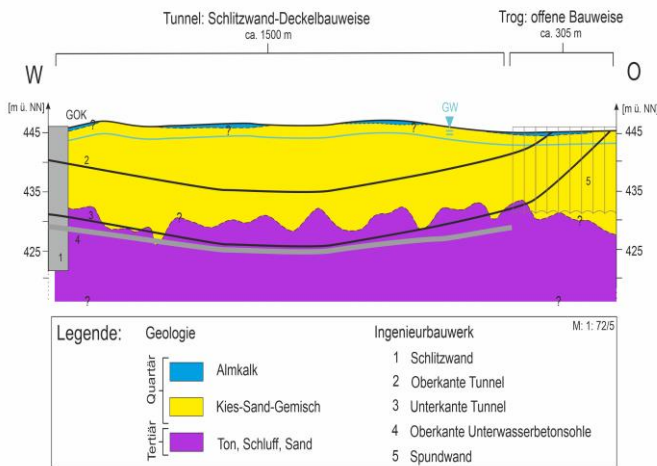


Abbildung 1–3: Schematisches Untergrundprofil des Bauvorhabens mit bautechnischer Umsetzung des Tunnels.

1.2 Bautechnische Ausführung

Der Tunnel wird in offener Schlitzwand-Deckelbauweise realisiert. Die Schlitzwände werden im Zweiphasen-Verfahren mit dem Schlitzwandgreifer hergestellt. In Phase 1 werden die Schlitze unter Stützung einer Bentonitsuspension lamellenweise ausgehoben, danach die Bewehrungskörbe eingestellt (Abbildung 1–4) (TRIANTAFYLIDIS 2004).

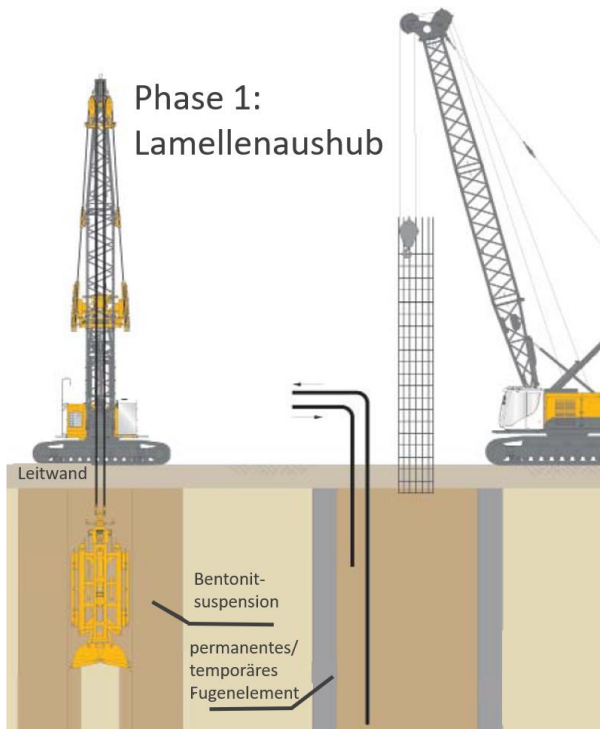


Abbildung 1–4: Schema Schlitzwandherstellung: Phase 1: Schlitzwandaushub (nach BAUER Spezialtiefbau GmbH 2015).

In Phase 2 werden die einzelnen Lamellen im Kontraktorverfahren betoniert. Dabei wird die Suspension durch Dichteunterschiede nach oben verdrängt (Abbildung 1–5) (MÖLLER 2016).

Phase 2: Betonage im Kontraktorverfahren

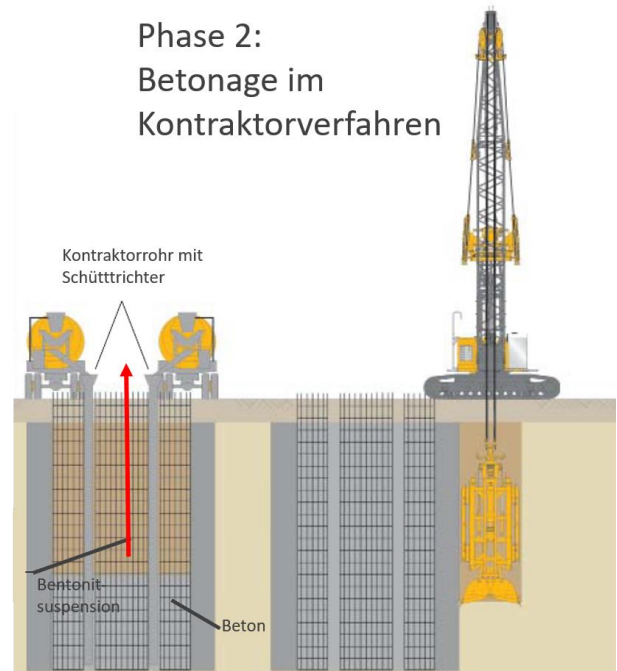


Abbildung 1–5: Schema Schlitzwandherstellung: Phase 2: Betonage (nach BAUER Spezialtiefbau GmbH 2015).

Eine wichtige Rolle während der Herstellung der Schlitzwandlamellen übernimmt die Bentonitsuspension. Sie ist das Stützmedium für den offenen Schlitz und gewährleistet dessen Standhaftigkeit während des Aushubs und der Betonage. Der Stützdruck und somit die Sicherheit des Systems sind umso größer, je weniger Suspension in den umgebenden Baugrund eindringt. Dafür ist es notwendig, dass die Suspension den vorherrschenden Baugrundverhältnissen angepasst wird. Relevante bodenmechanische Faktoren sind unter anderem die Wasserdurchlässigkeit des Bodens und dessen nutzbarer Porenanteil. Dieser korreliert mit dem d_{10} -Wert der Kornsummenkurve, der als der maximal wirksame Korndurchmesser innerhalb einer Bodenschicht gilt. Mit dem d_{10} -Wert werden die Suspensionsseigenschaften, vor allem die Fließfähigkeit bestimmt, anhand dieser die Suspension generiert wird (PRAETORIUS & SCHÖBER 2015).

2 Problemstellung

Bei der Herstellung der Schlitzwände am Flughafen München wurden hohe Eindringverluste der Suspension festgestellt. Daraus ergab sich die Fragestellung, woher diese Mehrverbrauchsmengen stammen und inwiefern sie mit dem geologischen Untergrund in Zusammenhang stehen.

3 Methodik

Daher wurden der geologische Untergrund am Standort und dessen bodenmechanische Eigenschaften untersucht. Für die Erstellung eines Baugrundmodells wurden die anstehenden Bodenschichten in Schürfen und Bohrungen erfasst sowie bodenmechanische Eigenschaften in Korngrößenverteilungen und Durchlässigkeiten ermittelt. Zusätzlich wurden aushubbegleitend Suspensionsdaten von rund 400 Schlitzwandlamellen erhoben, deren Soll- und Ist-Verbrauch analysiert und in Diagrammen gegenübergestellt. Da Zusammenhänge zwischen dem Eindringverhalten von Suspension und Beton im Untergrund vermutet wurden, erfolgte auch eine Auswertung der eingebauten Betonmengen für die Herstellung der Schlitzwandlamellen. Zudem wurden die Betonüberstände an den fertiggestellten Schlitzwandflächen anhand von Fotos und vorhandenen Vermessungsdaten analysiert (Abbildung 3–1).

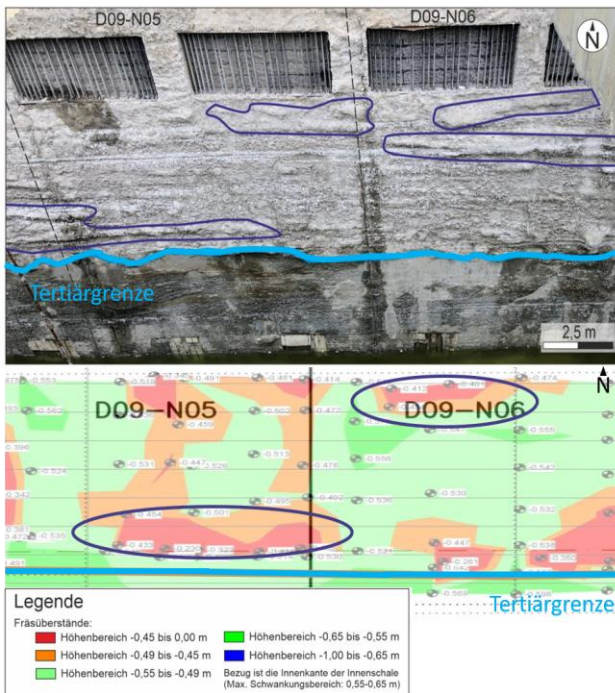


Abbildung 3–1: Vergleich von sichtbaren Betonüberständen an den fertiggestellten Schlitzwänden und zugehörige Vermessungsdaten.

4 Ergebnisse

4.1 Verteilung des Mehrverbrauchs

Die Auswertungen der Verbrauchsdaten ergaben, dass bei diversen Schlitzwandlamellen ein Mehrverbrauch an Suspension auftritt. Der Mehrverbrauch an Suspension schwankt dabei nicht nur kleinräumig, sondern auch zwischen der Nord- und der Südseite des Bauwerkes, die nur ca. 12 m voneinander entfernt liegen.

Ähnliches konnte beim Betonverbrauch festgestellt werden.

4.2 Geologischer Untergrundaufbau

Wie aus dem geologischen Längsschnitt in Abbildung 1–3 in Abschnitt 1.1 ersichtlich ist, umfasst der Großteil des Schlitzwandaushubs die quartären Bodenschichten der Münchner Schotterebene. Da diese insgesamt als stärker durchlässig gelten, lagen sie im Fokus bei der Auswertung des Suspensionsmehrverbrauchs.

Durch detaillierte Ansprache und Klassifikation der Bodenschichten konnten die quartären Ablagerungen als inhomogener Sedimentkörper charakterisiert werden. In diesem wurden bereichsweise ohne konkreten Tiefenbezug Rollkieslagen vorwiegend aus Fein- bis Mittelkies (2-20 mm) identifiziert. Folglich ergab sich ein inhomogenes, geschichtetes Baugrundmodell, das unregelmäßig und in unterschiedlicher Mächtigkeit sowie Ausdehnung von Grobkornlagen durchzogen wird.

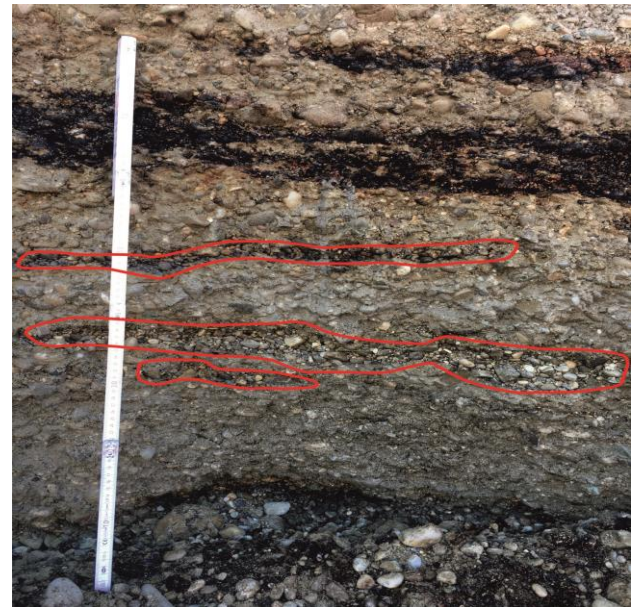


Abbildung 4–1: Geschichteter Untergrundaufbau der quartären Bodenschichten mit hervorgehobenen grobkörnigen Lagen.

5 Ursachen des Mehrverbrauchs

Die unterschiedlichen Lagen des Baugrunds wurden hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilungen und Durchlässigkeiten untersucht. Wie Tabelle 5-1 veranschaulicht, erzielt eine Mischprobe, entnommen über einen größeren Aufschlussbereich, die für Kies-Sand-Gemische typischen Durchlässigkeitsbeiwerte von 10^{-3} - 10^{-5} m/s. Die Rollkieslage dagegen erreicht mit 10^{-2} m/s einen bis zu 100-fach erhöhten k_f -Wert. Gleichzeitig besitzt diese im Vergleich zur Mischprobe mit 2,0 mm einen deutlich erhöhten d_{10} -Wert, der maßgebend für die Festle-

gung der Suspensionseigenschaften ist (vgl. Abschnitt 1.2). Dabei gilt: Je größer das Korn (= d_{10} -Wert), desto höher muss die Fließgrenze der Suspension sein, um optimale Stützwirkung zu erzielen

Tabelle 5-1: Durchlässigkeiten und d_{10} -Werte einer Mischprobe und einer Kieslage.

Kennwert	Mischprobe	Kieslage
k_f -Wert [m/s]	10^{-3} - 10^{-5}	10^{-2}
d_{10} [mm]	0,4	2,0

Wie in Abschnitt 1.2 beschrieben, korreliert der d_{10} -Wert mit dem nutzbaren Porenraum einer Bodenschicht. Ist also der maximal wirksamer Korndurchmesser erhöht, bedeutet dies ebenfalls einen erhöhten nutzbaren Porenraum. Durch diesen entstehen im Untergrund bevorzugte Wegigkeiten für die Suspension.

Werden die Eigenschaften der Suspension auf die durchschnittlichen d_{10} -Werte des Kies-Sand-Gemisches eingestellt, ist die Fließgrenze für die grobkörnigen Lagen des Untergrunds zu niedrig, die Suspension ist zu flüssig. Folglich kann sie erleichtert in die Rollkieslagen eindringen. Je nach deren Mächtigkeit und horizontaler Erstreckung, breitet sich die Suspension unterschiedlich weit im Untergrund aus.

Ähnliches gilt für den Beton, der ebenfalls die vorgezeichneten Fließpfade der Rollkiese für seine Ausbreitung nutzen kann, wodurch gleichermaßen Mehrverbrauch entsteht.

Warum sich Suspensions- und Betonmehrverbrauch nicht zwingend ähnlich verhalten, dafür ist vermutlich die Erstreckung der Rollkieslagen entscheidend. Abbildung 5–1 zeigt drei Fälle von verschieden ausgebildeten Rollkieslagen mit unterschiedlichen Mächtigkeiten und horizontalen Erstreckungen im Untergrund. Fall 2 verdeutlicht, dass bei ausgeprägt vorhandenen grobkörnigen Lagen nicht nur die Suspension, sondern auch der Beton in den umgebenden Baugrund weiter eindringen kann. Sind geringmächtige Kieslagen nur vereinzelt im Baugrund anzutreffen (Fall 1) oder ihre Poren bereits mit Suspension gefüllt (Fall 3), kann der Beton nicht bzw. nur bedingt in die grobkörnigen Lagen eindringen. Als Resultat ergibt sich kein bzw. nur ein geringer Mehrverbrauch an Beton.

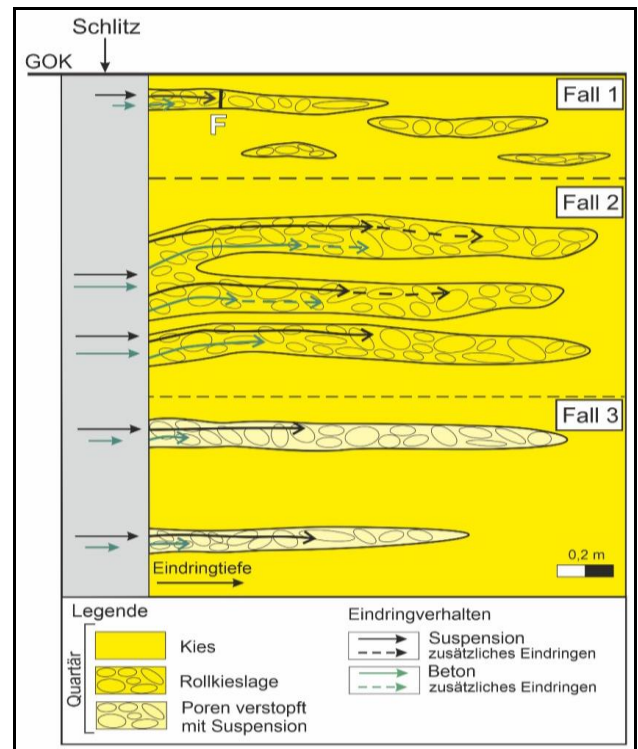


Abbildung 5–1: Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Ausprägung von Rollkieslagen und dem Eindringverhalten von Suspension und Beton.

6 Zusammenfassung und Empfehlung

Die Untersuchungen zeigen, dass die hohen Suspensionsmehrverbrauchsmengen auf die Anpassung der rheologischen Fließeigenschaften der Suspension zurückgeführt werden können. Werden dabei die gemittelten k_f - und d_{10} -Werte eines großmaßstäblichen Baugrundmodells verwendet, bei dem der inhomogene und lagenweise Untergroundaufbau der quartären Schichten vernachlässigt wird, wird die Suspension zu dünnflüssig für die grobkörnigen Rollkieslagen hergestellt. So kann sie vermehrt in diese eindringen, woraus Suspensionsmehrverbrauch resultiert.

Um diese Verluste zu reduzieren, gilt es, den Baugrund detaillierter aufzunehmen. Im Vorfeld durchgeführte Baugrunderkundungen geben nur punktuelle Aufnahmen des Baugrunds wider. Deshalb sollte im Rahmen der Bauausführung eine detailliertere Baugrunderkundung erfolgen. Dadurch ließen sich die hydraulischen und bodenmechanischen Eigenschaften der Bodenschichten besser erfassen, um eine optimal eingestellte Suspension herstellen zu können. So könnten Suspensionsverluste zwar nicht ausgeschlossen, aber minimiert werden. Wodurch sich die Stützwirkung der Suspension und damit die Baugrundstabilität deutlich verbessern lässt.

Literaturverzeichnis

ARGE GENERALPLANUNG EDR GMBH – ACT CONSULT AG (2017): Baubeschreibung Projekt B00596 S-Bahntunnel „Erdinger Ringschluss“ Vergabeeinheit VE 04. – 91 S.; Flughafen München, (unveröff.).

BAUER SPEZIALTIEFBAU GMBH (2015): Schlitz- und Dichtwände. – 15 S.; Schrobenhausen.

MÖLLER, G. (2016): Geotechnik – Grundbau. – 619 S.; Berlin (Wilhelm Ernst und Sohn).

PRAETORIUS, S. & SCHÖßER, B. (2015): Bentonit-handbuch – Ringspaltschmierung für den Rohrvortrieb. – 245 S.; Berlin (Wilhelm Ernst und Sohn).

TRIANAFYLLIDIS, T. (2004): Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau. – Teil 1: Schlitzwand- und Dichtwandtechnik. – 324 S.; Berlin (Wilhelm Ernst und Sohn).

WINDELSCHMIDT, B. (2003): Qualitätsverbesserung von Schlitzwand- und Düsenstrahlarbeiten unter besonderer Berücksichtigung der Baugrundverhältnisse im Zentralen Bereich Berlins. – In: SAVIDIS, S.A. (Hrsg.): Veröffentlichung des Grundbauinstitutes der Technischen Universität Berlin, Heft 36, 290 S.; Berlin.

www-01: www.cdmsmith.com

www-02: <https://geoportal.bayern.de/bayernatlas/>