



# Tunneldrainagen

Wirkungsweise von Mineralsalzlösungen zur  
Härtestabilisierung in Tunneldrainagen und  
Auswirkung auf die Ökologie im Pummersdorfer  
Tunnel

## Diplomarbeit

Sommersemester 2017

Harald Lehner, BSc

Et 1510694811

Fachliche Betreuung: Dipl.-Ing. Roman Heissenberger

Formale Betreuung: Dipl.-Ing. Thomas Preslmayr

## Vorwort

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich direkt oder indirekt, fachlich und persönlich bei der Erstellung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinem fachlichen Betreuer Dipl. Ing. Roman Heissenberger und meinem formalen Betreuer Dipl.-Ing. Thomas Preslmayr bedanken. Deren Unterstützung hat wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ein besonderer Dank auch an meine Lebensgefährtin. Ohne ihre Unterstützung und ihr Verständnis wäre die Erstellung dieser Diplomarbeit nicht möglich gewesen.

## Erklärung zur Veröffentlichung

Der Autor erklärt sich damit einverstanden, dass die FH St. Pölten die vorliegende Arbeit in geeigneter Weise unter Nennung des Autors bzw. in der vorliegenden Originalform als pdf-Datei oder in gedruckter Form veröffentlichen darf.

## Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

## Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit werden, basierend auf Literaturrecherchen, Expertengesprächen, ergänzenden Internetrecherchen, den Daten der Wasseranalysen, der Online-Monitoringstation, Feststoffanalysen, Kamerabefahrungen und der gewässerökologischen Beweissicherung die Problematik der Versinterung von Drainageleitungen untersucht.

Im Speziellen wird die Wirkungsweise von Mineralsalzlösungen zur Härtestabilisierung in den Tunneldrainagen des Pummersdorfer Tunnels sowie ihre Auswirkung auf die Ökologie betrachtet.

Da die Versinterungen bis zu 95 % aus Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) bestehen, und Carbonate empfindlich gegenüber Säuren sind, kam in der linken Ulmendrainage eine 30 %ige Phosphorsäure und in der rechten Ulmendrainage eine 10 %ige Salzsäure, mit dem Ziel der Lösung bestehender Versinterungen bzw. Vermeidung von neuen Versinterungen, zum Einsatz. Durch die Auswertung und Interpretation der gesammelten Daten konnten fundierte Aussagen über die Auswirkungen und die Wirkungsweise der beiden Säuren auf das Tunnelbauwerk und die Ökologie getroffen werden.

In dieser Studie wurden keine negativen Auswirkungen auf die Tunnelstruktur und auf die Ökologie der Pielach festgestellt. Daher wird die Verwendung von Salzsäure empfohlen.

## Abstract

This thesis deals with the analysis of problems related to the sintering of drainage pipes. The analysis and the interpretation was performed based on literature reviews, discussions with experts, supplementary internet searches, laboratory data from the drainage water, analysis of solid materials, online monitoring station, camera inspection as well as preservation evidence on the aquatic ecology.

A particular case study was performed on the Pummersdorfer tunnel. The study incorporates analysis of the mode of action of mineral salt solutions for hardening stabilization as well as its impacts on the ecology.

Sintering consists of up to 95 % calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ). Carbonates are sensitive to acidic depositions. Therefore, 30 % of phosphoric acid was applied to the left arch drainage and 10 % hydrochloric acid to right arch drainage to reduce existing sintering as well as to avoid new sintering. The analysis and interpretation of the data enabled to make a well-founded statements about the effects and the mode of action of the two acids on the tunnel structure and the ecology.

This study provides evidence showing that no negative impacts on the tunnel structure and the aquatic ecology on the Pielach. Therefore, the use of hydrochloric acid is recommended.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
1.1	Problemstellung.....	6
1.2	Ziel der Arbeit / Forschungsfragen.....	7
1.3	Methoden.....	7
1.4	Untersuchungszeitraum.....	8
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>9</b>
2.1	Konstruktionsarten im Tunnelbau.....	9
2.2	Arten der Entwässerung.....	12
2.2.1	Freie Entwässerung / druckwasserentlastet.....	13
2.2.2	Druckgeregelte Entwässerung / teilweise druckwasserentlastet.....	13
2.2.3	Ohne Entwässerung / druckwasserhaltend.....	13
2.3	Das Bergwasser.....	15
2.3.1	Einteilung der Bergwässer.....	15
2.3.2	Wasserführung im Gebirge.....	16
2.3.3	Einfluss des Bergwassers auf die Versinterung.....	18
2.3.4	Deszendentes vs. aszendentes Wasser.....	19
2.3.5	Anforderungen an Entwässerungssysteme.....	19
2.4	Die Tunneldrainage.....	20
2.4.1	Temporäre Drainagen.....	22
2.4.2	Permanente Drainagen.....	22
2.5	Aufbau und Anforderungen an die Tunneldrainage.....	22
2.5.1	Die Drainagerohre.....	24
2.5.2	Die Sinterpackung.....	25
2.5.3	Kontroll- und Putzschächte.....	26
2.5.4	Schachtabdeckungen.....	27
2.5.5	Bergwassersammelleitung.....	27
<b>3</b>	<b>Versinterungen</b> .....	<b>28</b>
3.1	Calciumcarbonat – CaCO <sub>3</sub> .....	29
3.2	Der Versinterungsprozess.....	31
3.2.1	Versinterung durch kalkübersättigtes Bergwasser.....	31
3.2.2	Versinterung durch Erhöhung des pH-Wertes des Bergwassers.....	31
3.2.3	Versinterung durch kohlen-saures (kalkaggressives) Bergwasser.....	32
3.2.4	Versinterung durch Calciumhydroxid-Lösung.....	32
3.2.5	Versinterung durch Mischwasserbildung.....	32
3.3	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht.....	34
3.3.1	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Abhängigkeit vom Gehalt an gelöstem anorganischen Kohlenstoff.....	34
3.3.2	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Abhängigkeit von der Temperatur.....	35

3.3.3	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Abhängigkeit vom Kohlendioxid-Gehalt der korrespondierenden Atmosphäre .....	36
3.3.4	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Abhängigkeit vom Absolutdruck .....	37
3.3.5	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Abhängigkeit vom pH-Wert .....	38
3.3.6	Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht in Abhängigkeit von der Verdunstung .....	40
3.4	Einfluss von zementgebunden Baustoffen .....	40
3.5	Postsedimentäre Verfahren zur Beseitigung der Versinterungen .....	41
3.5.1	Hydraulische Reinigungsverfahren .....	41
3.5.2	Hydromechanische Reinigungsverfahren .....	42
3.5.3	Mechanische Reinigungsverfahren .....	43
3.6	Presedimentäre Verfahren zur Vermeidung der Versinterungen .....	44
3.6.1	Wasserenthärter .....	45
3.6.2	Härtestabilisatoren .....	45
3.6.3	Dispergiermittel .....	47
<b>4</b>	<b>Härtestabilisierung im Pummersdorfer Tunnel .....</b>	<b>48</b>
4.1	Der Pummersdorfer Tunnel .....	49
4.2	Rechtliche Grundlagen und Grenzwerte .....	50
4.2.1	Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates .....	50
4.2.2	Allgemeine Abwasseremissionsverordnung .....	51
4.2.3	Indirekteinleiterverordnung .....	51
4.2.4	Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer .....	52
4.2.5	Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer .....	52
4.2.6	Wasserrechtsgesetz 1959 .....	53
4.2.7	Richtlinien / Verordnungen Naturschutz .....	54
4.3	Chlorwasserstoffsäure – HCl .....	54
4.4	Phosphorsäure – H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> .....	55
4.5	Die Versuchsanlage .....	55
4.5.1	Allgemeines .....	55
4.5.2	Dosierstationen .....	57
4.5.3	Rohrleitungen .....	58
4.6	Das Messprogramm .....	59
4.6.1	Kleines Messprogramm .....	60
4.6.2	Großes Messprogramm .....	61
4.6.3	Die Online-Monitoringstation .....	61
4.6.4	Gewässerökologische Beweissicherung .....	62
<b>5</b>	<b>Auswertungen und Analysen .....</b>	<b>63</b>
5.1	Wasseranalysen .....	63
5.1.1	Chlorid .....	63
5.1.2	pH-Wert .....	65
5.1.3	Phosphat .....	67
5.1.4	Elektrische Leitfähigkeit .....	68
5.1.5	Gesamthärte .....	69
5.1.6	Carbonathärte / Hydrogencarbonat .....	70

5.1.7	Abfiltrierbare Stoffe .....	71
5.1.8	Absetzbare Stoffe .....	71
5.1.9	Temperatur .....	72
5.1.10	Summe Kohlenwasserstoffe .....	72
5.2	Datenanalyse der Online-Monitoringstation .....	73
5.2.1	pH-Wert / Temperatur.....	73
5.2.2	Elektrische Leitfähigkeit.....	75
5.3	Feststoffanalysen .....	77
5.4	Kamerabefahrungen.....	79
5.5	Analyse der linken Ulmendrainage – Phosphorsäure .....	81
5.6	Analyse der rechten Ulmendrainage – Salzsäure .....	83
5.7	Messungen in der Pielach .....	84
5.7.1	Phytobenthos.....	85
<b>6</b>	<b>Conclusio .....</b>	<b>86</b>