

DMS-Nr.: LZ01-117581

Gotthard Basistunnel
Teilabschnitt Bodio
Los 452/554, Tunnel Bodio

Härtestabilisation Versuchsstrecke TA Bodio

Schlussbericht

Auftrags-Nr.: 5453.6

Datum: 13.04.2007

Erstellt:

Kontrolliert:

Genehmigt:

Gub/Luc, 02.08.2006

Fa/Fer, 13.04.2007

ATG, L Apr, 18.09.07

Geändert:

A:

A:

A:

B:

B:

B:

C:

C:

C:

Bericht-Nr.: LO-5453.6-R-8



Ingenieurgesellschaft Gotthard - Basistunnel Süd

LOMBARDI AG
BERATENDE INGENIEURE

 **PÖYRY**

 **AMBERG**
ENGINEERING

c/o Lombardi AG, via R. Simen 19, Postfach 1535, 6648 Minusio/Schweiz, Tel.: +41-91-744 60 30; Fax: +41-91-743 97 37

Inhaltsverzeichnis

Kapitel & Titel	Seite
1. Einleitung	5
1.1 Gegenstand des vorliegenden Berichtes	5
1.2 Grundlagen	5
2. Konzept der Versuchsstrecke	7
2.1 Beteiligte Stellen und Organisation	7
2.2 Ziele der Versuchsstrecke TA Bodio	8
2.2.1 Allgemeine Zielsetzung	8
2.2.2 Ziel 1: Studium der Versinterungsmechanismen	8
2.2.3 Ziel 2: Prüfstand für Härtestabilisationsmassnahmen	9
2.2.4 Ziel 3: Definition der Kriterien für den Einbau	9
3. Resultate der Versuchsstrecke	10
3.1 Beobachtungsfenster	10
3.1.1 Konzept und Einbau	10
3.1.2 Öffnung und Erkenntnisse	13
3.2 Inspektionen der Gewölbedrainageleitung mit TV-Kamera	14
3.2.1 Konzept	14
3.2.2 Durchführung	14
3.2.3 Resultate und Erkenntnisse aus den Inspektionen vom 08./14.03.2006	14
3.3 Reinigungsprobe der Gewölbedrainageleitungen	16
3.3.1 Konzept	16
3.3.2 Ausführung	16
3.3.3 Ergebnisse	16
3.4 Messung der Wasserführung	17
3.4.1 Konzept und Ausführung	17
3.4.2 Resultate	17
3.5 Rückführungssystem	18
3.5.1 Konzept	18
3.5.2 Einbau, Ausrüstung und Inbetriebnahme des Rückführungssystems	18
3.5.3 Ausgeführte Kontrolle der Anlagen für das Rückführungssystem	18
3.5.4 Ergebnisse und festgestellte Probleme	19
3.5.5 Aktueller Stand der Probestrecke des Rückführungssystems	19
3.6 Probenentnahme	20
3.6.1 Allgemein	20
3.6.2 Programm	20
3.6.3 Lagerung der Rückstellproben	20
3.6.4 Entnahmemenge	20
3.7 Analyse des Bergwasserchemismus	21
3.7.1 Allgemein	21
3.7.2 Resultate der Bergwasseranalyse	21
3.7.3 Schlussfolgerung der Bergwasseranalyse	22

Kapitel & Titel	Seite
3.8 Bestimmung der Wirkstoffkonzentration	22
3.8.1 Wirkstoffkonzentration in der Versuchsstrecke	23
3.8.2 Schlussfolgerung betreffend Wirkstoffkonzentration	24
4. Schlussfolgerungen	25
4.1 Allgemeine Schlussfolgerungen	25
4.2 Schlussfolgerungen betreffend Versinterung	25
4.3 Schlussfolgerungen betreffend Härtestabilisationsmassnahmen	26
5. Gegenüberstellung Ziele gemäss Konzept und Resultate	27
5.1 Ziel 1: Studium der Versinterungsmechanismen	27
5.2 Ziel 2: Prüfstand für Härtestabilisationsmassnahmen	28
5.3 Ziel 3: Definition der Kriterien für den Einbau	29
6. Folgen für das Ausführungsprojekt TA Bodio	30
7. Weiteres Vorgehen	31

Anhang

Nr. & Titel

1. Allgemeine Fotodokumentation Versuchsstrecke
 2. Beobachtungsprotokolle vom 02.02.2006
 3. Fotoaufnahmen der Befahrung der Drainageleitung vom 08.03.2006, Weströhre
 4. Fotoaufnahmen der Befahrung der Drainageleitung vom 14.03.2006, Oströhre
 5. Dokumentation Reinigungsprobe vom 14./15.03.2006
 6. Begehungen RFS, Dokumentation Büro M.C. Wegmüller GmbH
 7. Schema der eingebauten Anlagen für das Rückführungssystem
 8. Kontrollplan Anlagen Rückführungssystem
 9. Resultate Wasseranalyse Büro M.C. Wegmüller GmbH
-

Beilagen

Nr. & Titel

1. Schematische Darstellung Versuchsstrecke West
 2. Schematische Darstellung Versuchsstrecke Ost
-

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
ATG	AlpTransit Gotthard AG
BF	Beobachtungsfenster
CBT	Ceneri-Basistunnel
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
GBT	Gotthard-Basistunnel
GSW	Gewölbedrainageschacht Weströhre
IG GBT Süd	Ingenieurgemeinschaft Gotthard-Basistunnel Süd
LO	Lombardi AG
MCW	Ing.-Büro M.C. Wegmüller GmbH
öBL	örtliche Bauleitung
PI	Projektingenieur
RFS	Rückführungssystem
QS	Querschlag
SI	Stabilitätsindex nach Rhyznar
SIOP	Sicherheitsorientierte Prüfung
TA	Teilabschnitt

1. EINLEITUNG

1.1 Gegenstand des vorliegenden Berichtes

Der vorliegende Bericht gibt Aufschluss über die durchgeführten Untersuchungen im Rahmen der Versuchsstrecke Härtestabilisation im TA Bodio des GBT. Für jede durchgeführte Tätigkeit wird zuerst das Konzept kurz erläutert und die Realisierung beschrieben. Dann werden die gewonnenen Erkenntnisse erläutert. Weiterhin liefert der vorliegende Bericht eine Bewertung der durchgeführten Bergwasseranalysen. Zuletzt werden die Schlüsse gezogen und das weitere Vorgehen für das Härtestabilisationskonzept TA Bodio definiert.

1.2 Grundlagen

Folgende Grundlagen wurden berücksichtigt:

- [1] Werkvertrag Los 452/554, Tunnel Bodio vom 10.10.2001 (insbesondere Vertragsbestandteil IIIA, Besondere Bestimmungen Pos. 617.500 und Anhang IIIA8, Verhinderung von Versinterungen)
- [2] IG GBT Süd, Bericht LO-5419.2-R-22: „Konzept Härtestabilisation Gewölbedrainage, Anweisung an die örtliche Bauleitung“ vom 23.12.2003
- [3] IG GBT Süd, Bericht LO-5419.2-R-38: „Vorgaben zum Einbau der Gewölbedrainageleitung, Anweisung an die örtliche Bauleitung“ vom 23.12.2003
- [4] Ing.-Büro M.C. Wegmüller GmbH: Bericht „Neues Konzept zur Bergwasserkonditionierung im GBT“ (LZ01-#58339 und #58340) vom 26.04.2004
- [5] IG GBT Süd, Bemerkungen betreffend dem neuen Konzept zur Bergwasserkonditionierung GBT (Wegmüller) vom 07.05.2004
- [6] SIOP-Team: Bericht „Versuchsstrecke Bergwasserkonditionierung“ (LZ01#60002-v1), vom 20.05.2004
- [7] IG GBT Süd, Bemerkungen betreffend dem Vorschlag der SIOP zur Versuchsstrecke Bergwasserkonditionierung TA Bodio vom 16.06.2004
- [8] ATG AG, Protokoll der PI-Sitzung Rohbau 2 und Betriebslüftung Nr. 9 (LZ01#49085-v18) vom 08.07.2004
- [9] IG GBT Süd, Bericht LO-5453.6-R-01: „Bergwasserkonditionierung; Versuchsstrecke TA Bodio & Umsetzung der Projektänderung „Rückführungssystem“ im TA Bodio; Antrag/Angaben der IG GBT Süd“ vom 20.07.2004
- [10] IG GBT Süd, Ausführungsplan LO-5419.7-313A: „Gewölbedrainage, Einbau Rückführungssystem, TA Bodio“ vom 20.09.2004
- [11] IG GBT Süd, Ausführungsplan LO-5419.7-314A: „Beobachtungsfenster, Versuchsstrecke Härtestabilisation, TA Bodio“ vom 23.09.2004
- [12] IG GBT Süd, Ausführungsplan LO-5419.7-315A: „Lage Beobachtungsfenster, Versuchsstrecke Härtestabilisation, TA Bodio“ vom 23.09.2004.
- [13] IG GBT Süd, Bericht LO-5453.6-R-02: „Bergwasserkonditionierung; Versuchsstrecke TA Bodio, Konzept“ vom 28.09.2004
- [14] IG GBT Süd, Bericht LO-5453.6-R-06: „Bergwasserkonditionierung; Versuchsstrecke TA Bodio, Stand der Arbeiten, Ende April 2005“ vom 02.05.2005
- [15] IG GBT Süd, Bericht LO-5453.6-R-07: „Bergwasserkonditionierung; Versuchsstrecke TA Bodio, Stand der Arbeiten, Ende September 2005“ vom 20.10.2005
- [16] ATG AG, Stellungnahme zum 1. Prüfaxemplar des vorliegenden Berichtes (LZ01-123490-v1) vom 16.02.2007

- [17] SIOP-Team: Stellungnahme 554/1098A vom 20.07.2007
- [18] ATG AG, Stellungnahme zum 2. Prüfaxemplar des vorliegenden Berichtes (LZ01-136399-v1) vom 30.07.2007, inkl. Begleitschreiben ATG (LZ01-136638-v1) vom 02.08.2007
- [19] ATG AG, Freigabeschreiben zum vorliegenden Bericht (LZ01-139164-v1) vom 18.09.2007

2. KONZEPT DER VERSUCHSSTRECKE

2.1 Beteiligte Stellen und Organisation

Folgende Stellen und Personen sind gemäss Organigramm in **Abbildung 1** beteiligt worden:

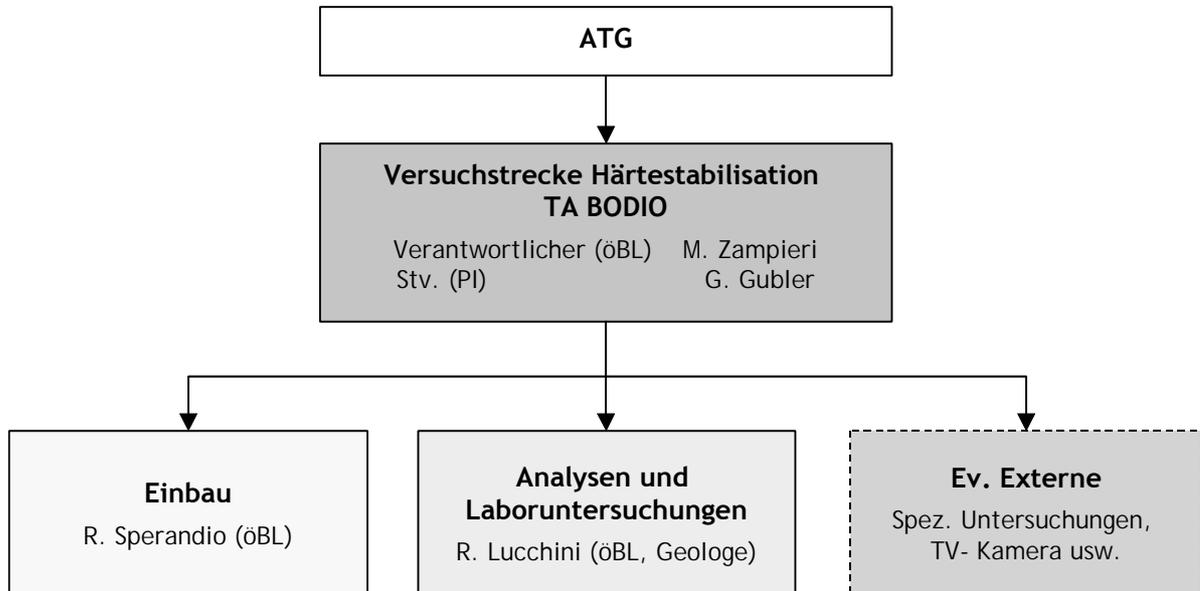


Abbildung 1, Organigramm Versuchsstrecke Härtestabilisation im TA Bodio

- Bauherr (ATG):
Wurde über die Resultate laufend informiert.
- Projektingenieur (PI):
Verantwortlicher für die Erstellung des Versuchskonzeptes und für die Erarbeitung der nötigen Pläne und Unterlagen zur Nachtragsofferte des Unternehmers (welche auch die Umsetzung der Projektänderung „Rückführungssystem“ enthalten). Während der Versuchsperiode und bei der Festlegung eventueller Optimierungsmöglichkeiten wurde der Projektingenieur einbezogen. Nach Vorliegen der Resultate war er für die Erstellung des Schlussberichtes verantwortlich.
- Örtliche Bauleitung (öBL):
Verantwortliche für den Einbau der Versuchsstrecke und für die Durchführung der vorgesehenen Versuchstätigkeiten (Planung, Organisation und Durchführung der Analysen, Beobachtungen und Untersuchungen) → die örtliche Bauleitung verfügte über die nötige Erfahrung und Kompetenz.
Die örtliche Bauleitung übernahm die Leitung der Projektorganisation für die Versuchsstrecke. Dies war durch ihre ständige Präsenz auf der Baustelle und durch die nahe Lage zur Versuchsstrecke gerechtfertigt.
- Baustellengeologe (Mitglied der örtlichen Bauleitung):
Verantwortlicher für die Entnahme der Proben und für die Ausführung der Bergwasseranalysen resp. für die Organisation der externen Laboruntersuchungen. Die Interpretation der Resultate erfolgte durch den baubegleitenden Geologen in Zusammenarbeit mit dem Projektleiter und mit dem Projektingenieur. Er war für die Sammlung der Resultate zur Erstellung des Schlussberichtes zuständig.

- **Ev. Externe:**
Externe wurden für spezielle Untersuchungen und für den Einsatz von speziellen Geräten (wie TV-Kamera usw.) eingesetzt.
- **Unternehmer:**
Der Unternehmer wurde für die Realisierung der Versuchsstrecke beauftragt. Dies erfolgte in der Form eines Nachtrags zum Werkvertrag. Die Grundlagen dazu lieferte der Projektingenieur.
- **Lieferanten von Härtestabilisationsmassnahmen:**
Nach Bedarf wurde die Lieferanten der Härtestabilisationsmassnahmen beim Einbau resp. bei der Inbetriebnahme ihrer Produkte bzw. ihres Systems involviert. Bei der Optimierung der Versuche und bei der Interpretation der Resultate wurden die Lieferanten miteinbezogen.

2.2 Ziele der Versuchsstrecke TA Bodio

2.2.1 Allgemeine Zielsetzung

Im Rahmen der Arbeitsgruppe „Bergwasserkonditionierung“ wurde vorgeschlagen, eine Versuchsstrecke im TA Bodio zu realisieren. Zielsetzung für die Versuchsstrecke Bodio war:

- Studium von Ablauf, Ausmass und Einflussfaktoren der Versinterungen.
- Versinterungspotential des Spritzbetons untersuchen.
- Wirkung der Härtestabilisationsmittel untersuchen.
- Gefahr von Schimmelpilz- und Schleimbildungen sowie von anderen Nebeneffekten untersuchen.
- Gegenüberstellung verschiedener Produkte (Wirksamkeit und Wirkungsdauer) testen.
- Umsetzbarkeit des Rückführungssystems bestätigen.
- Definition der Kriterien zur Aufteilung des Tunnels in „trockene“ resp. „nasse“ Bereiche:
→ Entscheidend für die daraus entstehenden Einbaukosten.

2.2.2 Ziel 1: Studium der Versinterungsmechanismen

Ziel 1 wurde in [13] folgendermassen definiert:

Das erste Ziel der Versuchsstrecke ist das generelle Verständnis der Versinterungsmechanismen und es fasst somit die folgenden Punkte um:

- *Beobachtung des Ablaufes, der Ausbildung und des Ausmasses der Versinterungen.*
- *Untersuchung der Einflussfaktoren der Versinterungen:*
 - *Temperatur, Wassermenge, Bergwasserchemismus, Luftdruck usw.*
 - *Spezielle Baumassnahmen und -materialien (z.B. die Auswaschung von Spritzbeton).*

2.2.3 Ziel 2: Prüfstand für Härtestabilisationsmassnahmen

Ziel 2 wurde in [13] folgendermassen definiert:

Die Durchführung von Einbauversuchen inkl. Betrieb der zur Verfügung stehenden Massnahmen ist für die richtige Ausführungsplanung sowie für eine problemlose und angemessene Verwendung der Härtestabilisationsmassnahmen unerlässlich.

Das zweite Ziel der Versuchsstrecke ist die Abklärung der Tauglichkeit und der Wirksamkeit der festen und flüssigen Härtestabilisationsmassnahmen.

Folgende Punkte sind zu prüfen:

- *Effektive Wirkung und Wirkungsdauer der Depotsteine (Auflösungsgeschwindigkeit, Wirkstoffkonzentration).*
- *Gegenüberstellung verschiedener Produkte (Wirksamkeit und Wirkungsdauer).
Depotsteine: M.C. Wegmüller / Baypure DSP (Bayer Chemicals)*
- *Effektive Wirkung der Zugabe von Konditionierungsmitteln in der Sickerpackung.*
- *Gefahr von Schimmelpilz- und/oder Schleimbildungen sowie anderer Nebeneffekten.*
- *Umsetzbarkeit des Rückführungssystems (Stauung, Pumpenbetrieb, Verschlamungsfahr usw.).*
- *Reinigungsaufwand mit und ohne Härtestabilisationsmassnahmen.*

2.2.4 Ziel 3: Definition der Kriterien für den Einbau

Ziel 3 wurde in [13] folgendermassen definiert:

Gemäss neuem Konzept zur Bergwasserkonditionierung im GBT werden die Tunnelröhre in „trockene“ resp. „nasse“ Bereiche aufgeteilt. Für die trockenen Bereiche sind keine Massnahmen vorgesehen, während für die nassen Bereiche der Einbau von Depotsteinen zusammen mit der Zugabe von flüssigem Konditionierungsmittel mit sogenanntem „Rückführungssystem“ geplant ist.

Das dritte Ziel der Versuchsstrecke ist die Definition der Kriterien zur Bestimmung dieser Aufteilung.

Die Resultate der Versuchsstrecke und insbesondere die Kriterien zur Bestimmung der Aufteilung werden für die Optimierung des Härtestabilisationskonzeptes in den anderen Teilabschnitten (und z.T. auch im TA Bodio) umgesetzt. In diesem Zusammenhang ist aber zu beachten, dass die Situation im TA Bodio keinen abschliessende und umfassenden Überblick der Versinterungsproblematik am GBT allgemein darstellen kann. Das Vorhandensein in den anderen Teilabschnitten von Bergwasser mit unterschiedlichem Chemismus bzw. die Verwendung von speziellen Baumasshilfemassnahmen (wie z.B. zementöse Injektionen) resp. die Ausführung von dicken Spritzbetonschalen könnte die Übertragung der Resultate der Versuchsstrecke teilweise entkräften.

3. RESULTATE DER VERSUCHSSTRECKE

3.1 Beobachtungsfenster

3.1.1 Konzept und Einbau

Um eine Beobachtungsmöglichkeit der Sickerpackung nach erfolgten Verkleidungsarbeiten zu ermöglichen, wurden entlang beider Tunnelröhren gemäss Versuchskonzept [13] zehn Aussparungen in den Gewölbefuss eingebaut. In diesen Aussparungen wurden abschraubbare Beobachtungsfenster in die Abdichtungsbahn montiert. Diese Beobachtungsfenster (BF) wurden so angeordnet, dass verschiedene Kombinationen von Bergwassermenge und Härtestabilisationsmassnahmen berücksichtigt wurden.

Definitionen:

- Wenig Wasser: < 0.1 l/s.
- Viel Wasser: > 0.1 l/s.

Die nachfolgenden Tabellen erfassen die Lage und die Merkmale der einzelnen Beobachtungsfenster:

Lage:	Weströhre, km 253'980, Seite Ost.
Einbaudatum:	08.10.2004, Ausrüstung am 15.12.2004
Eingebaute HS-Massnahme:	Depotsteine Typ B (Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S (siehe Bild 2, Anhang 1), Dosierung 0.5 kg/m ³).
Bemerkungen:	Viel Wasser

Tabelle 1: Beobachtungsfenster Nr. 1

Lage:	Weströhre, km 253'962, Seite Ost.
Einbaudatum:	08.10.2004, Ausrüstung am 15.12.2004.
Eingebaute HS-Massnahme:	Depotsteine Typ B (Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S (siehe Bild 2, Anhang 1), Dosierung 0.5 kg/m ³).
Bemerkungen:	Wenig Wasser

Tabelle 2: Beobachtungsfenster Nr. 2

Lage:	Weströhre, km 253'685, Seite West.
Einbaudatum:	03.11.2004, Ausrüstung am 15.12.2004.
Eingebaute HS-Massnahme:	Keine Massnahmen.
Bemerkungen:	Viel Wasser

Tabelle 3: Beobachtungsfenster Nr. 3

Lage:	Weströhre, km 253'643, Seite West.
Einbaudatum:	08.11.2004, Ausrüstung am 15.12.2004.
Eingebaute HS-Massnahme:	Keine Massnahmen.
Bemerkungen:	Wenig Wasser

Tabelle 4: Beobachtungsfenster Nr. 4

Lage:	Oströhre, km 153'741, Seite West.
Einbaudatum:	02.12.2004, Ausrüstung am 15.03.2005.
Eingebaute HS-Massnahme:	Dosierleitungen für Rückführungssystem, keine Depotsteine.
Bemerkungen:	Wenig Wasser

Tabelle 5: Beobachtungsfenster Nr. 5

Lage:	Oströhre, km 153'739, Seite Ost.
Einbaudatum:	02.12.2004, Ausrüstung am 15.03.2005.
Eingebaute HS-Massnahme:	Keine Massnahmen.
Bemerkungen:	Viel Wasser

Tabelle 6: Beobachtungsfenster Nr. 6

Lage:	Oströhre, km 153'645, Seite Ost.
Einbaudatum:	16.12.2004, Ausrüstung am 15.03.2005.
Eingebaute HS-Massnahme:	Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523 (siehe Bild 1, Anhang 1), Dosierung 0.5 kg/m').
Bemerkungen:	Wenig Wasser

Tabelle 7: Beobachtungsfenster Nr. 7

Lage:	Oströhre, km 153'545, Seite West.
Einbaudatum:	25.01.2005, Ausrüstung am 15.03.2005.
Eingebaute HS-Massnahme:	Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523 (siehe Bild 1, Anhang 1), Dosierung 0.5 kg/m'. Dosierleitungen für Rückführungssystem.
Bemerkungen:	Viel Wasser

Tabelle 8: Beobachtungsfenster Nr. 8

Lage:	Oströhre, km 153'490, Seite West.
Einbaudatum:	27.01.2005, Ausrüstung am 15.03.2005.
Eingebaute HS-Massnahme:	Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523 (siehe Bild 1, Anhang 1), Dosierung 0.5 kg/m'. Dosierleitungen für Rückführungssystem.
Bemerkungen:	Wenig Wasser

Tabelle 9: Beobachtungsfenster Nr. 9

Lage:	Oströhre, km 153'474, Seite Ost.
Einbaudatum:	01.02.2005, Ausrüstung am 15.03.2005.
Eingebaute HS-Massnahme:	Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523 (siehe Bild 1, Anhang 1), Dosierung 0.5 kg/m'.
Bemerkungen:	Viel Wasser

Tabelle 10: Beobachtungsfenster Nr. 10

In den **Beilagen 1** und **2** ist die schematische Situation der Versuchsstrecke Härtestabilisation TA Bodio (West- bzw. Oströhre) mit Lage der Beobachtungsfenster dargestellt.

3.1.2 Öffnung und Erkenntnisse

Am 02.02.2006 (d.h. ca. 12 bis 16 Monate nach ihrem Einbau) wurden alle Beobachtungsfenster geöffnet und untersucht. Die Arbeiten erfolgten gemäss Versuchskonzept [13] und wurden in Beobachtungsprotokollen registriert und mit Fotoaufnahmen dokumentiert (siehe **Anhang 2**).

Die Situation in den Beobachtungsfenstern (BF) kann unter folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Bei keinem der Beobachtungsfenster war eine Versinterung an der Oberfläche der Sickerpackung erkennbar. Der Sickerkies war sauber und ohne sichtbare Verkalkung.
- Unter der Sickerpackung, auf der Einlauffläche aus Mörtel, hat man keine relevanten Kalkablagerungen gefunden. In einzelnen Fällen wurde eine leichte Verklebung des Kieses durch einen sehr dünnen Kalkfilm (< 1mm) festgestellt. Das Vorhandensein von Kalk wurde mittels HCl-Test (Salzsäuretest) bestätigt.
- Die sichtbaren Schlitze der Gewölbedrainageleitung waren bei allen Beobachtungsfenstern 100%-ig frei und ohne relevante Versinterungsanzeichen.
- Die durch die Schlitze einsehbare Gewölbedrainagerohrsohle hatte einen variablen Zustand. In einigen Beobachtungsfenstern war die Leitung sauber und ohne Versinterung, in anderen waren dünne Ablagerungen deutlich ersichtlich.
- In den Beobachtungsfenstern Nr. 7 und 9 wurden Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523) angetroffen. Die Position der Depotsteine in der Sickerpackung war ähnlich in beiden Beobachtungsfenstern; die „Stangen“ lagen unter dem Sickerkies leicht über der Sickerfläche. Die Depotsteine sahen sehr wenig ausgelöst aus und die Oberfläche war z.T. mit einer dünnen schwarz-rotfarbigen Schicht bedeckt. Es wurden keine Schimmelpilze oder andere Nebeneffekte aufgefunden. Die Depotsteine in den Beobachtungsfenstern Nr. 8 und 10 konnten nicht gefunden werden (sehr wahrscheinlich wurden sie nicht im Bereich der Aussparung verlegt).
- In den Beobachtungsfenstern Nr. 1 und 2 wurden Depotsteine Typ B (Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S) gefunden. In beiden BF war das Aussehen der Netzsäcke, trotz verschiedenen Wasservorkommnissen, ähnlich; die Tabletten waren z.T. gelöst und z.T. weich geworden. Vom Anfangsvolumen war ca. 40-60% noch vorhanden. Es wurden keine Schimmelpilze oder andere Nebeneffekte aufgefunden.¹
- In den Beobachtungsfenstern mit Zugabe von flüssigem Konditionierungsmittel mittels des Rückführungssystems (BF 5, 8 und 9) wurden keine Besonderheiten beobachtet.

Nach der Kontrolle wurde die Sickerpackung in jedem Beobachtungsfenster wiederhergestellt und wieder mit den bereits vorhandenen Abdeckungen dicht verschlossen.

Die definitive Schliessung der Beobachtungsfenster (Ergänzung der Abdichtungsbahn und Betonieren der Aussparung) ist zu einem späteren Zeitpunkt, kurz vor dem Einbau der Bankette vorgesehen.

¹ Aufgrund der Messungen und Beobachtungen ist nicht möglich mit Genauigkeit/Sicherheit zu bestimmen, bis wann die Depotsteine 100%-ig aufgelöst sind. Unter Berücksichtigung der im TA Bodio herrschenden Verhältnisse (Geologie, Hydrogeologie, Ausbau, usw.) kann jedoch – unter Annahme einer konstant bleibenden Auflösung in der Zeit – von einer Wirksamkeit der festen Härtestabilisierung von max. 2 Jahren ausgegangen werden.

3.2 Inspektionen der Gewölbedrainageleitung mit TV-Kamera

3.2.1 Konzept

Um den Zustand zu bestimmen und die Entwicklung der Versinterungserscheinungen überwachen zu können, wurden die Gewölbedrainageleitungen innerhalb der Versuchsstrecke gemäss Versuchskonzept [13] periodisch mittels TV-Kamera inspiziert.

3.2.2 Durchführung

Im Februar/März 2005 bzw. im September 2005 wurden die Gewölbedrainageleitungen im Bereich der Versuchsstrecke zum ersten bzw. zweiten Mal mit der TV-Kamera befahren. Die Resultate der Inspektionen wurden bereits in den Berichten [14] und [15] vom 02.05.2005 bzw. 20.10.2005 vorgestellt.

Am 08.03.2006 und am 14.03.2006 wurden die Gewölbedrainageleitungen erneut mit einer TV-Kamera inspiziert. Mit der Befahrung vom 08.03.2006 wurden die Gewölbedrainageleitungen der Weströhre vom Querschlag B11 bis zum Querschlag B09 (ca. 2 x 625 m) kontrolliert. Am 14.03.2006 wurden die Drainageleitungen der Oströhre vom Querschlag B11 bis zum Querschlag B10 (ca. 2 x 312 m) inspiziert.

Diese dritte Befahrung erfolgte ca. 13 bis 17 Monate nach dem Einbau der Sickerpackung und ca. 6 Monate nach der letzten Inspektion.

Die Firma Notter Kanalservice AG, Boswil, wurde mit den Arbeiten beauftragt. Als Geräte kamen eine Rohrinspektionskamera „Astec SK 80“ mit Steuerpult und ein Videorekorder zum Einsatz (siehe **Bild 3** und **4**, **Anhang 1**).

Die örtliche Bauleitung Bodio hat einen Bericht und eine Videoaufnahme der Befahrungen (DVD) erhalten.

3.2.3 Resultate und Erkenntnisse aus den Inspektionen vom 08./14.03.2006

In der **Beilage 1** und **2** werden die befahrenen Strecken dargestellt und der beobachtete Zustand der Leitungen kurz beschrieben. Im **Anhang 3** und **4** sind Fotoauszüge des Videobandes ersichtlich, welche die allgemeinen bzw. die wesentlichen Situationen wiedergeben.

Während der Inspektionen wurden folgende allgemeine Situationen festgestellt, welche bereits bei den vergangenen Befahrungen angetroffen wurden:

- In den befahrenen Drainageröhren liegen diverse Baustoffreste. Diese Fremdkörper bildeten nicht nur eine Störung für die Inspektionsarbeiten, sondern auch Abflusshindernisse, an denen sich das Bergwasser aufstaut und die Kalkablagerungen anreichern.
- In einigen Strecken sind regelmässige Mörtel Eindringungen durch die Drainageschlitze vorhanden. Der Mörtel kommt mutmasslich aus einer fehlerhaften Verlegung resp. mangelhaften Bettung der Drainageleitung (ungenauere Erstellung der seitlichen Einlauf- fläche oder der seitlichen Bettung auf Seite der Tunnelsohle).
- Der Wasserstand innerhalb der Leitung ist in einigen Abschnitten sehr unterschiedlich. Diese Veränderlichkeit ist durch die oben genannten Abflusshindernisse und/oder durch Ungenauigkeiten bei der Verlegung der Leitungen verursacht.
- Bei den Inspektionen wurden keine relevanten Nebeneffekte der Härtestabilisation (Schimmelpilz-, Schleimbildung, usw.) entdeckt.

Hinsichtlich der Versinterungen konnte mit den Inspektionen folgende Situation festgestellt werden:

- Auf der Rohrsohle der Gewölbedrainageleitung sind verschiedene Arten von Kalkablagerungen vorhanden. Je nach Leitungsabschnitt, Lage, Wassereintritten, Wasserspiegellhöhe und Wasserfluss wurden verschiedene Versinterungen beobachtet.

Dort, wo die Rohrsohle sichtbar war, hat man die folgenden typischen Ablagerungen beobachtet:

- dünne, harte und fast trockene Kalkablagerung (siehe **Bild 3, Anhang 4**)
 - schlammartige Schicht aus Kalk und anderen Feinanteilen (siehe **Bild 15, Anhang 3**)
 - weiche Kalkpaste ohne Verbund mit den Rohrwänden (siehe **Bild 14, Anhang 3**)
 - lose, im Wasser schwimmende Blattablagerungen (siehe **Bild 12, Anhang 3**)
 - mit Kalkschicht versinterter Mörtel- oder Betonreste (siehe **Bild 10, Anhang 4**)
- Im Allgemeinen sind die beobachteten Kalkablagerungen auf der Rohrsohle dünn und grossteils weich. Die daraus folgende Behinderung für den Wasserfluss ist deswegen wenig relevant und stellt derzeit keine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit dar. Die Schlitze auf der gesamten Länge der befahrenen Strecke sind frei und von Kalkablagerungen sehr wenig betroffen. Örtlich ist unter den Drainageschlitzen eine „Nase“ vorhanden, wo eine Verkalkung sichtbar ist (siehe **Bild 11, Anhang 4**). Oft bestehen diese kegelförmigen Ablagerungen aus Mörtel (siehe Kap 2.2.3), welcher nur mit einer dünnen Kalkschicht bedeckt ist. Die Drainagewirkung der Schlitze ist hierdurch nicht gefährdet.
 - Der Vergleich der drei durchgeführten Inspektionen zeigt, dass die Entwicklung der Kalkablagerungen in den letzten 13 bis 17 Monaten in beiden Tunnelröhren insgesamt mässig war. Die Versinterungserscheinungen haben eine gewisse Zunahme gezeigt, ohne jedoch derzeit die Gebrauchstauglichkeit der Gewölbedrainageleitungen einzuschränken.
 - Die Suche nach einem Zusammenhang zwischen den eingebauten Härtestabilisationsmassnahmen und den aufgetretenen Kalkablagerungen innerhalb eines Leitungsabschnittes erweist sich als sehr schwierig und korreliert kaum. Die Wechselhaftigkeit und die Vielfältigkeit der Versinterungserscheinungen sowie die uneinheitlichen und wechselhaften Verhältnisse (Wassereintritte, Stauen/Fliessen von Wasser, Vorhandensein von Fremdkörpern) lassen keine Definition von klaren Beziehungen „Ursache-Wirkung“ zu.

Auf Grundlage der Erkenntnisse der Inspektionen kann die Wirkung der verschiedenen Härtestabilisationsmassnahmen nicht abschliessend beurteilt werden.

- In den Kontrollschächten der Gewölbedrainageleitung wurden je nach Bereich dünne Kalkschichten (bis ca. 5 mm) auf dem Schachtboden und eine blättrige Kalkkruste über der Wasseroberfläche gefunden. In den Kontrollschächten entlang der Probestrecke für das Rückführungssystem wurde schwimmender „Kalkbrei“ gefunden.

3.3 Reinigungsprobe der Gewölbedrainageleitungen

3.3.1 Konzept

Um den Reinigungsaufwand abschätzen zu können, wurde eine Reinigungsprobe durchgeführt. Anschliessend, zur Feststellung des Resultates, wurden die gespülten Gewölbedrainageleitungen nochmals mit der TV-Kamera befahren und gefilmt.

3.3.2 Ausführung

Die Reinigungsprobe erfolgte am 14./15.03.2006 in der Weströhre zwischen Tm 2'710 und Tm 3'330 ca. Die Firma Notter Kanalservice AG, Boswil, wurde mit der Reinigung beauftragt.

Zum Einsatz kam ein Hochdruck-Spüler „HD 160/110 Proptec“ mit 2 verschiedenen Düsentypen. Die Gewölbedrainageleitung auf der östlichen Seite wurde mit einer festen Düse Typ „Granat-Bombe“ gespült, diejenige auf der westlichen Seite mit einer „Halbradial-Rotierdüse nach hinten (HRH)“ (siehe **Anhang 5**). Der Arbeitsdruck betrug ca. 150 bar mit Spitzenwerten bis zu 200 bar.

Die Haltungen (Abschnitte zwischen 2 Kontrollschächten, L= 100 bzw. 110 m) wurden einzeln, eine nach der anderen gespült. Zuerst wurde die Düse vorwärts geschoben (steigend) und dann abwärts zurückgezogen bis zum Startschacht. Je nach austretender Menge an Schmutzmaterial wurde jede Haltung 1 bis 3 Mal gespült.

3.3.3 Ergebnisse

Die nach der Spülung mit der TV-Kamera durchgeführte Inspektion hat folgendes gezeigt:

- Der Grossteil der Kalkablagerungen, Mörtelreste und Schlammablagerungen auf der Rohrsohle konnte entfernt werden. Örtlich sind noch dünne Kalkablagerungen vorhanden.
- Auf den Rohrwänden, in Höhe des damaligen Wasserspiegels, sind Ablagerungsreste geblieben. Die grössere Festigkeit dieser „Streifen“ und der bessere Verbund mit den Rohrwänden hat ihre Entfernung verhindert. Grund: in diesem Bereich ist ein höheres Sauerstoffkontakt vorhanden, welches eine bessere Aushärtung zulässt als dies im Bereich ständig unter Wasser der Fall ist.
- Unter den Rohrschlitzten sind die „Nasen“ aus Mörtel und Kalk grossteils entfernt worden.
- Ein klarer Unterschied in den Resultaten der Reinigungsprobe zwischen den Leitungsabschnitten mit und ohne Depotsteinen bzw. mit Depotsteinen Typ A oder B ist nicht ersichtlich. Die Situation ist uneinheitlich und wechselhaft (auch innerhalb von Abschnitten mit gleicher Härtestabilisationsmassnahme) und der Einfluss von anderen Faktoren (Wassermenge, Vorhandensein von Abflusshindernissen) auf die Versinterungerscheinungen spielt eine grosse Rolle.
- Ein deutlicher Unterschied der Wirksamkeit zwischen den beiden in der Reinigungsprobe eingesetzten Düsentypen konnte nicht festgestellt werden.

Im **Anhang 4** sind drei kennzeichnende Fotoauszüge des Videobandes ersichtlich, in welchen die gleiche Stelle vor und nach der Reinigung sichtbar ist.

3.4 Messung der Wasserführung

3.4.1 Konzept und Ausführung

Um die Gewölbedrainageleitungsabschnitte anhand der Wasserführung charakterisieren zu können, wurde die Wassermenge in den Strecken mit den Beobachtungsfenstern mehrmals während der Versuchsperiode gemessen.

Die Messung des Wasserabflusses in den Gewölbedrainageleitungen der Versuchsstrecke TA Bodio erfolgte mit Hilfe eines Dreiecküberfallwehrs nach Thomson (eine direkte Messung war aufgrund der geometrischen Verhältnisse des Kontrollschachtes nicht möglich (siehe **Bild 5, Anhang 1**).

Nach der Abschottung einer Haltung von ca. 100/110 m Länge mittels der Schliessung der zuströmenden Einmündung im Kontrollschacht durch eine Kappe wurde die Stabilisierung des Wasserflusses abgewartet und die Messung durchgeführt.

3.4.2 Resultate

Die Resultate der durchgeführten Messungen sind in der **Tabelle 11** wiedergegeben.

EST	Abschnitt mit BF Nr.	Wasserführung [l/s] pro Leitungsabschnitt (101 bzw. 111 m)				
		17.02.2005	08.04.2005	18.05.2005	21.04.2006	18.07.2006
West	BF1, BF2	0.25	0.2	0.3	-	0.25
	BF3	0.15	0.15	0.15	-	0.1
	BF4	0.1	0.05	0.05	-	0.0
Ost	BF5	-	0.3	0.3	RFS in Betrieb	
	BF6	0.15	0.15	0.15	0.1 - 0.15	-
	BF7	0.3	1.0	0.2	0.15 - 0.2	-
	BF8, BF9	-	0.2	0.15	RFS in Betrieb	
	BF10	-	0.35	0.3	0.3	-

Tabelle 11: Resultate der Wasserführungsmessung (RFS: Rückführungssystem)

Die Werte, welche mit einer gewissen Ungenauigkeit der Messmethode belastet sind², zeigen eine relative Zeitkonstanz der Wasserführung, was auf stabile und konstante Bergwassereintritte in die Gewölbedrainageleitungen hinweist.

In den Leitungsabschnitten mit den Beobachtungsfenstern Nr. 7 und 4 hat man einen Rückgang der Wasserführung festgestellt. In keinem BF wurde eine Zunahme der Wasserführung registriert.

² Aus diesem Grunde wurden die Werte zur Wasserführung [l/s] auf 0.05 gerundet.

3.5 Rückführungssystem

3.5.1 Konzept

Zur Prüfung der Umsetzbarkeit und der Wirksamkeit des Rückführungssystems (RFS) (siehe Bericht Ing.-Büro M.C. Wegmüller GmbH, [4]) war gemäss Versuchskonzept [13] eine Probestrecke auf der westlichen Seite der Oströhre zwischen den Querschlägen Nr. B10 und B11 zu installieren, in Betrieb zu nehmen und während einer Versuchsperiode von 12 Monaten zu überwachen.

3.5.2 Einbau, Ausrüstung und Inbetriebnahme des Rückführungssystems

Die vorgesehene Dosierleitung wurde gemäss Ausführungsplan [10] zusammen mit der Sickerpackung verlegt und an den Kontrollschächten angeschlossen.

Die Ausrüstungsarbeiten des RFS erfolgten am 12./13.07.2005. Die Bestandteile des Rückführungssystems (provisorische Härtestabilisationsanlage, Tauchpumpe, Siphon, Verschlusskappen usw.) wurden montiert und das System in Betrieb gesetzt. Die Arbeiten benötigten 2 Mitarbeiter während etwa 2 bis 3 Stunden, erfolgten reibungslos und waren mit keinerlei Schwierigkeiten verbunden.

Das komplett montierte Rückführungssystem ist im **Anhang 7** dargestellt.

3.5.3 Ausgeführte Kontrolle der Anlagen für das Rückführungssystem

Während der Versuchsperiode hat der Hauptunternehmer Los 452/554 (ARGE TAT) monatliche Kontrollen der Anlagen gemäss dem vom Lieferanten definierten Kontrollplan (siehe **Anhang 8**) durchgeführt.

Die Kontrollen umfassten die folgenden Punkte:

- Provisorische Härtestabilisationsanlage (Dosierpumpe) im QS B11: Stromanschluss, Betrieb der Pumpe, Frequenz Tropfenbildung.
- Steuerung Tauchpumpe im Kontrollschacht beim QS B10: Funktionskontrolle, Einstellungen, Anschlüsse.
- Tauchpumpe im Kontrollschacht beim QS B10: Anschlüsse, Pumpenleistung (Wasserzufuhr am Ende der Dosierleitung).
- Zustand der Kontrollschächte der Gewölbedrainageleitung: Einstauhöhe, Verschmutzung, Ablagerung, Dichtigkeit der Kupplungen.

Darüber hinaus erfolgten am 14.12.2005, 01.03.2006 und 20.04.2006 drei gemeinsame Begehungen der öBL mit Vertretern des Systemlieferanten (Büro M.C. Wegmüller GmbH). Anlässlich der Begehungen wurden, zusätzlich zu den oben genannten Kontrollen, folgende Tätigkeiten durchgeführt:

- Am 14.12.2005 wurden die Pumpeneinstellungen geändert. Die Zyklusintervalle wurden von 30 min. (5 min. Betrieb, 25 min. Pause) auf 6 min. (1 min. Betrieb, 5 min. Pause) umgestellt.
- Bei jeder Begehung wurden Wasserproben jedes Leitungsabschnittes entnommen und zur Analyse eingeschickt.
- Bei jeder Begehung wurde die Wasserführung in der Dosierleitung in Korrespondenz des Gewölbedrainageschachtes gemessen (Tauchpumpe in Dauerbetrieb). Die Resultate sind im **Anhang 6** aufgelistet.

- Nach der Feststellung der ungenügenden Wasserführung in der Dosierleitung wurde am 20.04.2006 die Tauchpumpe im Kontrollschacht beim QS B10 durch eine neue ersetzt (siehe Kap 2.5.4).

3.5.4 Ergebnisse und festgestellte Probleme

Die Überwachung der Einbauarbeiten und des Betriebs der Probestrecke für das Rückführungssystem hat folgende positive Punkte gezeigt:

- Die Ausrüstung des Rückführungssystems erfolgte problemlos und erforderte nur geringen Zeitaufwand.
- Die Kompatibilität mit den bereits eingebauten Elementen (Dosierleitungen und Kontrollschächte) hat sich als sehr gut erwiesen.
- Die Dosierpumpe im QS B11 hat störungsfrei über die 11 Monate funktioniert und die geplante Dosiermenge eingehalten (ca. 250 l/Jahr).

Folgende Aspekte haben sich hingegen als problematisch erwiesen:

- Ca. 7-8 Monate nach der Inbetriebnahme des Rückführungssystems haben die Messungen eine ungenügende Wasserführung in der Dosierleitung gezeigt. Das Problem wurde bereits Anfang März 2006 erkannt und hatte sich bis Ende April 2006 noch verstärkt. Der Ersatz der Tauchpumpe im QS B10 (am 20.04.2006) hat bestätigt, dass die ungenügende Wasserführung im Wesentlichen durch eine Leistungssenkung der Tauchpumpe bedingt war.

Die Ursachen dieser Leistungssenkung sind zurzeit nicht klar, und somit die langfristige Wirksamkeit des Systems über 300 m ist mit dem aktuellen Tauchpumpenmodell nach den heutigen Kenntnissen als nicht gewährleistet zu betrachten.

Im **Anhang 6** sind detaillierte Resultate der während der Begehung durchgeführten Messungen ersichtlich.

- Die Probestrecke hat gezeigt, dass trotz provisorischer Abdeckung der Kontrollschächte das Rückführungssystem stark mit Staub und Feinanteilen belastet war. Dazu addierte sich die Verschmutzung aus den Einbauarbeiten, die bereits im Drainagesystem vorhanden war. Diese Materialien zusammen mit dem „Kalkbrei“ wurden mit dem Bergwasser transportiert und sammelten sich, wegen der Siphonierung, in den Kontrollschächten an.

Langfristig bilden diese Ablagerungen eine gravierende Gefährdung für die Funktionstüchtigkeit des Systems während der Bauphase (Verschlammung, Verstopfung der Dosierleitungen).

3.5.5 Aktueller Stand der Probestrecke des Rückführungssystems

Ende Mai 2006 hat die öBL nach Rücksprache mit dem Systemlieferanten die Ausserbetriebnahme der provisorischen Härtestabilisationsanlage (Dosierpumpe) angeordnet (Ende der Versuchsperiode und entleerter Konditionierungsbehälter). Am 17.06.2006 hat der Hauptunternehmer Los 452/554 den Strom ausgeschaltet und die Dosierpumpe mit einem Plastiksack abgedeckt.

Um die Leistung der neuen Tauchpumpe beim QS B10 (Einbaudatum 20.04.2006) in den nächsten Monaten nochmals kontrollieren zu können, wurde zusammen mit dem Systemlieferanten entschieden, die Pumpe im Betrieb zu behalten. Die monatliche Kontrolle dieser Teilinstallation wird der Hauptunternehmer Los 452/554 bis zur Ausserbetriebnahme fortsetzen.

3.6 Probenentnahme

3.6.1 Allgemein

Die Wasserprobenentnahme erfolgt durch einen Schlauch, der durch das Abdichtungssystem bis zum Auffangbecken unter dem Spezialstück verlegt ist. Dieser Schlauch ermöglicht die Wasserprobenentnahme ohne das Beobachtungsfenster zu öffnen, und bleibt normalerweise hermetisch geschlossen (siehe **Bilder 1** und **3**, **Anhang 1**). Zum Ansaugen der Wasserprobe wird eine 60 ml Spritze mit angeschlossener Entnahmeleitung verwendet.

3.6.2 Programm

Die Wasserprobenentnahme aus den Beobachtungsfenstern (mit Messung der Leitfähigkeit, des pH-Wertes, der Karbonathärte, der Gesamthärte und der gelösten Wirkstoffkonzentration), sowie die Einschickung der Proben an die Firma BMG in Schlieren/Zürich zur Messung der gelösten Hauptelemente und der chemisch-physikalischen Parameter (elektrischen Leitfähigkeit bei 20°C und bei 25°C, pH-Wert, Karbonathärte, Gesamthärte, CO₂, Ca, K, Mg, Na, Fe, Cl, F, SO₄) war seitens der Baustellengeologen monatlich vorgesehen.

Da die Analysen konstante Ergebnisse lieferten, wurde nach einigen, monatlichen Wasserprobenentnahmen der Zeitintervall zwischen zwei Probenentnahmen variiert, um auf 5-6 Probenentnahmen auf das Jahr verteilt zu kommen. Es wurde ebenfalls beschlossen, einige Wasserprobenentnahmen aus den Wasserschächten vorzunehmen, um zu prüfen, ob sich Abweichungen zwischen Analysen des Bergwassers aus den Beobachtungsfenstern resp. aus den Schächten ergaben. Dies ebenso im Falle der Oströhre zwischen QS B10 und QS B11, um die Wirkstoffkonzentration nach Inbetriebnahme des Rückführungssystems zu messen.

Einige Wasserproben aus den Beobachtungsfenstern sowie aus den Kontrollschächten sind dem Institut für Bauplanung und Baubetrieb der ETHZ (Herr Gamisch) und Büro M.C. Wegmüller GmbH zugeschickt worden, um die Werte der im Bergwasser gelösten Wirkstoffkonzentrationen parallel prüfen zu können.

3.6.3 Lagerung der Rückstellproben

Sämtliche Wasserproben sind in einem Container bei der Bauleitung Bodio als Beweissicherung gelagert. Auch wenn diese sich nicht mehr in ihrer ursprünglichen Umgebung befinden und sich pH-Wert, Karbonathärte und Gesamthärte verändert haben, sollte sich die Wirkstoffkonzentration dagegen nicht verändern haben.

3.6.4 Entnahmemenge

Die Entnahmemenge der Wasserprobe war von den jeweiligen Verhältnissen bei den einzelnen Beobachtungsfenstern abhängig. War Bergwasser vorhanden, wurden ca. 2 x 0.5 l – in Extremfällen jedoch auch nur 0.2 l – entnommen. Bei der Probenentnahme wurde das Vorhandensein von Fremdluft in den Probengefässen ausgeschlossen.

3.7 Analyse des Bergwasserchemismus

3.7.1 Allgemein

Während der Probenentnahme im Tunnel erfolgte die Temperaturmessung, die Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit sowie die Bestimmung des pH-Wertes mittels Teststreifen.

Die Wasserproben wurden übertage unverzüglich durch die Baustellengeologen auf Karbonathärte, Gesamthärte, Sulfatgehalt und Wirkstoffkonzentration mittels Photometer (PF-11 von Macherey-Nagel) untersucht.

Die Wasserproben aus dem Vortrieb, in Kontakt mit Spritzbeton (wo möglich), und die ersten beiden Wasserprobenentnahmen aus den Beobachtungsfenstern sind ebenfalls an das Labor BMG in Schlieren/Zürich geschickt worden. Da die ersten beiden Fensteranalysen, wie auch die folgenden Analysen seitens der Bauleitung, konstant waren, hat man sich aus Kostengründen dafür entschieden, keine weiteren Wasserproben an das Labor BMG in Schlieren/Zürich zu schicken.

3.7.2 Resultate der Bergwasseranalyse

Beobachtungsfenster mit viel Wasser (Beobachtungsfenster Nr. 1, 6, 8, 10):

Die Beobachtungsfenster mit „viel Wasser“ zeigen keine grossen chemischen Veränderungen zwischen den Wasserproben aus dem Vortrieb und dem Bergwasser hinter des Abdichtungssystems. In Beobachtungsfenster Nr. 6 ist ein eher markanter Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit zu verzeichnen, wahrscheinlich durch die Auffüllung der Überprofile mit Spritzbeton bedingt, die in diesem Abschnitt bedeutender waren als anderswo. In den anderen Beobachtungsfenstern steigt die elektrische Leitfähigkeit kaum, beim Beobachtungsfenster Nr. 8 wurde sogar eine Senkung festgestellt.

Die Elemente, die um so mehr zunehmen, sind Ca und Na.

Der Stabilitätsindex nach Rhyznar (SI) bleibt bei Werten für aggressive Bergwässer ($SI \geq 7$) konstant.

Auch der pH-Wert bleibt bei leicht basischen Bergwässern konstant; die pH-Werte liegen zwischen $pH = 7$ und $pH = 8.5$.

Anmerkung: nach Inbetriebnahme des Beobachtungsfensters Nr. 3, im Bereich "viel Wasser" angesiedelt, bemerkte man, dass das Bergwasser einen anderen Verlauf eingeschlagen hatte und im Beobachtungsfenster nur noch wenig Bergwasser floss. Aus diesem Grunde wurde das Beobachtungsfenster Nr. 3, als ein solches mit „wenig Wasser“ behandelt.

Beobachtungsfenster mit wenig Bergwasser (Beobachtungsfenster Nr. 2, 3, 4, 5, 7, 9):

Die Resultate der Proben aus den Beobachtungsfenstern mit „wenig Wasser“ zeigen grosse Veränderungen zwischen dem am Vortrieb entnommenem Bergwasser, mit dem mit Spritzbeton in Kontakt gekommenem Bergwasser und mit dem Bergwasser hinter dem Abdichtungssystem.

Die Unterschiede in der elektrischen Leitfähigkeit waren bei den Beobachtungsfenstern Nr. 2 und 3 auch extrem, mit Werten über $10'000 \mu S/cm$; diese Beobachtungsfenster haben auch sehr bedeutende Veränderungen in der elektrischen Leitfähigkeit. Diese Beobachtungsfenster mit extrem wenig Wasser haben vermutlich Phasen der Wasserverdunstung in den Wannen, die zu solchen hohen Ionen-Konzentrationen führen. Diese beiden Beobachtungsfenster waren für das Bergwasser hinter dem Abdichtungssystem als nicht repräsentativ zu betrachten.

In den anderen Beobachtungsfenstern stieg die elektrische Leitfähigkeit bis auf 1'400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mit einem Anstieg insbesondere von Ca, welches durch die aggressiven Bergwässer in Kontakt mit Spritzbeton gelöst wurde. Dies führte zu einem Anstieg sowohl von der Karbonathärte als auch der Gesamthärte. Der pH-Wert wurde basisch, mit Werten bis zu $\text{pH} = 12$.

Der Stabilitätsindex nach Rhyznar (SI) in den Beobachtungsfenstern erreichte Werte für kalkhaltiges Bergwasser mit $\text{SI} < 7$.

3.7.3 Schlussfolgerung der Bergwasseranalyse

Die Bergwässer im Vortriebsbereich sind mit SI-Werten zwischen 8.7 und 9.6 als aggressiv zu bezeichnen. Beim Kontakt mit Spritzbeton nehmen sie bis zur Sättigung Ionen auf, welche beim Ausscheiden von Kalk zu Versinterung führen (in der Folge wird dieses Prozess mit dem Ausdruck „versinterungsgefährdend“ bezeichnet). In den Beobachtungsfenstern mit „viel Wasser“ ist die Verweildauer in Kontakt mit dem Spritzbeton nicht ausreichend, um die Bergwässer chemisch zu verändern und „versinterungsgefährdend“ zu machen, während in den Beobachtungsfenstern mit „wenig Wasser“ der langsame Durchfluss im Kontakt mit dem Spritzbeton ausreicht, um die Bergwässer „versinterungsgefährdend“ zu machen \rightarrow mit Absinken des SI-Wertes zwischen 7.0 und 2.5.

3.8 Bestimmung der Wirkstoffkonzentration

Für die Analysen der Wirkstoffkonzentration in den Bergwässern der Beobachtungsfenster und der Kontrollschächte wurde ein Photometer des Typs PF-11 der Firma Macherey-Nagel verwendet. Es wurde die Wassertrübung mit Einführung von durch die Büro M.C. Wegmüller GmbH gelieferten Reagenzien gemessen. Die Korrelation zwischen Trübung und Wirkstoffkonzentration ist mit bekannten von der Büro M.C. Wegmüller GmbH gelieferten Konzentrationen für die Depotsteine Typ A und von der Firma Bayer für die Seifen Typ B von Baypure durchgeführt worden.

Da der Wirkstoff der beiden Depotsteine nicht identisch ist, ergaben sich zwei Korrelationskurven.

Depotsteine Typ A, Produkt M.C. Wegmüller:

$$C_{\text{Wirkstoff}} = 34.69 \times e$$

mit:

- $C_{\text{Wirkstoff}}$ = Wirkstoffkonzentration in ppm
- e = Trübung der Lösung (Durchlässigkeit), Messwert des Photometers.

Depotsteine Typ B, Produkt Baypure:

$$C_{\text{Wirkstoff}} = 41.30 \times e$$

mit:

- $C_{\text{Wirkstoff}}$ = Wirkstoffkonzentration in ppm
- e = Trübung der Lösung (Durchlässigkeit), Messwert des Photometers.

3.8.1 Wirkstoffkonzentration in der Versuchsstrecke

Die bisher über die Trübung und Korrelationsfunktion (gemäss Korrelationsfunktion Kap. 3.8.1) ermittelten Wirkstoffkonzentrationen in Bergwasserproben aus den Beobachtungsfenstern sind in der nachfolgenden **Tabelle 12** wiedergegeben.

Fenster	02.03.05	03.03.05	14.04.05	02.06.05		21.07.05	13.10.05		26.01.06	Firma
	PF-11	PF-11	PF-11	PF-11	ETHZ	PF-11	PF-11	ETHZ	PF-11	
1	2.0		2.0	< 0.5	< 1.0		< 0.5	< 1.0	< 0.5	Bayer
2	71.0		69.0	32.0	79.0					Bayer
3				8.0	132.0		12.0	58.0	< 0.5	Keine
4				< 0.5	6.0		< 0.5	5.0	< 0.5	Keine
5				< 0.5	< 1.0	< 0.5	< 0.5	1.0	0.5	Keine
6				< 0.5	< 1.0	< 0.5	< 0.5	< 1.0	< 0.5	MCW
7				11.0	6.0	19.3	22.3	3.0	23.5	MCW
8		3.0	8.0	< 0.5	< 1.0	0.50	< 0.5	< 1.0	< 0.5	MCW
9		4.0	15.0	6.0	16.0	29.0	23.7	5.0	28.6	MCW
10		< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 1.0	< 0.5	< 0.5	< 1.0	< 0.5	MCW

Tabelle 12: Wirkstoffkonzentrationen in ppm in den Beobachtungsfenstern

Anhand der Resultate erkennt man folgendes:

- Die Konzentrationen hängen stark von der Bergwassermenge ab. Bei geringem Bergwasseranfall wurden sehr hohe Konzentrationen gemessen (z.B. ca. 70 ppm in der Wasserprobe aus Beobachtungsfenster Nr. 2). In den Wasserproben aus Beobachtungsfenstern mit hohem Wasseranfall wurden tiefere bzw. ungenügende Konzentrationen gemessen (z.B. < 0.5 ppm in der Wasserprobe aus Beobachtungsfenstern Nr. 1, 8, 10).
- Die Entnahme von Wasserproben aus einem Beobachtungsfenster stellt eine lokale, punktuelle Situation in der Sickerpackung (mit lokalen Einflussfaktoren) dar. Eine Ausdehnung der Resultate auf eine ganze Strecke ist deswegen wenig glaubwürdig. Es ist geplant, Wasserproben bei den Kontrollschächten der Gewölbedrainage zu entnehmen, um einen Vergleich mit den lokalen Analysen durchführen zu können.
- Die Werte der Wirkstoffkonzentrationen variieren manchmal beträchtlich zwischen den von der Bauleitung und der ETHZ durchgeführten Analysen. Die beiden Messmethoden bedienen sich unterschiedlicher Methoden; die eine basiert auf der Trübung in Kontakt mit der Sättigung eines Reagents, während die Methode der ETHZ auf der Fluorometrie basiert. Wie man in den Beobachtungsfenstern Nr. 3 und 4 feststellen konnte, die keine Depotsteine enthielt, ergeben sich nach der Methode der ETHZ sogar höhere Wirkstoffkonzentrationen.
- In jedem Falle ist die Bestimmung der Wirkstoffkonzentration eher qualitativ als quantitativ zu betrachten. Nach Angaben von Büro M.C. Wegmüller GmbH läge eine optimale Konzentration zwischen 5 und 20 ppm, in den Beobachtungsfenstern mit „wenig Wasser“ und einem SI < 6 ist die Konzentration ausreichend. In den Beobachtungsfenstern mit „viel Wasser“ ist der Wirkstoff nicht vorhanden, aber der SI > 7 deutet auf ein Bergwasser an, das keine Versinterungen bilden dürfte.
- In den Beobachtungsfenstern mit „wenig Wasser“ zeigt die Wirkstoffkonzentration an, dass sich die Depotsteine optimal auflösen, um eine Vorbeugemassnahme gegen Versinterungen zu bilden.

- In den Beobachtungsfenstern mit „viel Wasser“ ist die Anzahl der verwendeten Depotsteine nicht ausreichend, um eine ausreichende in den Bergwässern der Beobachtungsfenster zu messende Konzentration zu erhalten. Aber da der SI > 7 liegt gibt es keine Verkalkungsprobleme.

Es sind zudem Wasserprobennahmen in den Kontrollschächten vor und nach Inbetriebnahme der Dosierungsleitungen für das Rückführungssystem durchgeführt worden. In den Abschnitten der Kontrollschächte GSW10.1 gibt es keine Depotsteine und die Werte der Wirkstoffkonzentration sind gleich Null; im Abschnitt des Kontrollschachtes GSW10.2 ist die durch die Depotsteine abgegebene Wirkstoffkonzentration nicht ausreichend, während im Abschnitt des Kontrollschachtes GSW10.3 die Konzentration ausreichend ist. Nach Inbetriebnahme der Dosierungsleitungen für das Rückführungssystem ist ein Anstieg der Wirkstoffkonzentration in allen Abschnitten mit optimalen Werten und in wesentlich konstanterer Form zu beobachten als in den Beobachtungsfenstern (siehe die nachfolgende **Tabelle 13**). Die Dosierung des Rückführungssystems scheint in der Versuchsstrecke zu funktionieren.

Schacht	11.07.05	12.07.05	13.07.05	21.07.05	13.10.05	14.12.05	26.01.06	01.03.06
	PF-11	MCW	MCW	PF-11	PF-11	MCW	PF-11	MCW
GSW10.1	< 0.5	4.4	27.2	7.0	7.2	13.0	5.8	10.8
GSW10.2	1.0	2.8	22.0	10.0	13.6	17.0	7.2	32.0
GSW10.3	9.0	8.0	40.0	12.0	14.8	24.0	13.5	23.2
GSW11.1			44.0	22.0	16.3	36.0	17.4	15.2

Tabelle 13: Wirkstoffkonzentrationen in ppm in den Kontrollschächten

3.8.2 Schlussfolgerung betreffend Wirkstoffkonzentration

Die Bergwässer sind aggressiv und in Kontakt mit Spritzbeton laden sie sich mit Ionen auf. Wo viel Bergwasser ist, lädt sich das Bergwasser wenig auf und bleibt aggressiv. Wo hingegen wenig Bergwasser ist, lädt sich das Bergwasser stärker auf, es sättigt sich und wird „versinterungsgefährdend“. Der Wirkstoff verändert nicht den Chemismus des Bergwassers der Beobachtungsfenster, aber hindert die Kalzium- und/oder Aragonitkristalle daran, Versinterungen zu bilden, indem ein feines Kalzium- und/oder Aragonitpulver gebildet wird.

Die Depotsteine lösen sich in den Beobachtungsfenstern mit „wenig Wasser“ und dort, wo das Bergwasser „versinterungsgefährdend“ ist, relativ gut auf, während die Auflösung in den Beobachtungsfenstern mit „viel Wasser“ nicht ausreichend ist, da in diesen Beobachtungsfenstern die Bergwässer nicht „versinterungsgefährdend“ sind.

Im Abschnitt, wo die Dosierungsleitungen für das Rückführungssystem installiert sind, ist die Wirkstoffkonzentration optimal.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1 Allgemeine Schlussfolgerungen

Aufgrund der im Rahmen der Versuchsstrecke gewonnenen Erfahrungen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Das Vorhandensein von Verschmutzungen aus den Einbauarbeiten in den Gewölbedrainageleitungen wurde als ein kritischer Punkt erkannt. Die mit den Kamera-Befahrungen festgestellten Baustoffreste stören den normalen Abfluss des Bergwassers und verstärken die Bildung von Kalkablagerungen. Bei der Inbetriebnahme des Rückführungssystems könnten diese Baustoffreste eine Verstopfung der Öffnungen in der Dosierleitung verursachen und somit die Funktionstüchtigkeit des Systems gefährden. Zusätzliche Massnahmen und Prozeduren zur Problemlösung wurden bereits im Bericht [14] (Kap 4.1) vorgestellt und werden z.Z. erfolgreich vom Hauptunternehmer Los 452/554 in die Praxis umgesetzt.
- Die durchgeführten Messungen des Wasserflusses in den Leitungsabschnitten (siehe Kap. 3.4) haben gezeigt, dass die Wassereintritte in den Gewölbedrainageleitungen zeitkonstant bleiben. Eine plötzliche Änderung der Wasserzutritte kann daher ausgeschlossen werden.

4.2 Schlussfolgerungen betreffend Versinterung

Aufgrund der im Rahmen der Versuchsstrecke gewonnenen Erfahrungen können hinsichtlich der Versinterung folgende Schlüsse gezogen werden:

- Der Gesamteindruck aus den Erfahrungen der Versuchsstrecke TA Bodio lässt im Allgemeinen geringfügige Versinterungserscheinungen erwarten. Nach ca. 1 Jahr bilden die Kalkablagerungen kein Problem für die Gebrauchstauglichkeit des Drainagesystems. Die bis heute beobachtete Entwicklung erfolgt langsam und bereitet keine Sorge für die Zukunft (die „Auswaschung“ des Spritzbetons wird mit der Zeit abnehmen).
- In den Gewölbedrainageleitungen wurden sehr unterschiedliche Verhältnisse mit verschiedenen Ablagerungsarten angetroffen. Die Intensität der Versinterungen war aber immer mässig. Die Reinigungsprobe hat gezeigt, dass diese grösstenteils mit relativ geringem Aufwand entfernt werden können.
- Die Untersuchung der Beobachtungsfenster (ca. 12 bis 16 Monate nach ihrem Einbau) hat keine signifikanten Kalkablagerungen in den Sickerpackungen gezeigt. Es ist deswegen vermutbar, dass sich unter den vorhandenen Randbedingungen die Versinterungen tendenziell erst in der Drainageleitung bilden. Allerdings geben die Beobachtungsfenster nur einen stichprobenartigen Einblick in die Sickerpackungen. Es ist nicht auszuschliessen, dass unter geringfügig anderen Verhältnissen die Situation variieren könnte.
- Das Studium der Einflussfaktoren der Versinterungen sowie die Bestimmung von Korrelationen zwischen den beobachteten Versinterungserscheinungen und den Resultaten der Wasseranalysen war aus mehreren Gründen nicht möglich. Zahlreiche Faktoren, wie z.B. die herstellungsbedingten Beeinträchtigungen (Verschmutzung, Hindernisse usw.) und die beobachteten unterschiedlichen und wechselhaften Versinterungserscheinungen verhindern die Festlegung von schlüssigen Zusammenhängen sowie das abschliessende Verstehen der Abläufe.

4.3 Schlussfolgerungen betreffend Härtestabilisationsmassnahmen

Aufgrund der im Rahmen der Versuchsstrecke gewonnenen Erfahrungen können hinsichtlich der getesteten Härtestabilisationsmassnahmen folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Analyseergebnisse der in den Beobachtungsfenstern gefundenen Depotsteine zeigen, dass die Depotsteine Typ A vom Büro M.C. Wegmüller (Haichem PS-523) eine geringe Auflösungsgeschwindigkeit (und daher eine längere Standzeit und eine langsamere Freigabe von Wirkstoff) aufweisen als die Depotsteine Typ B des Produktes Baypure (DSP Tabs 130 S). Dieser Unterschied ist auf physikalische Gründe zurückzuführen, weil die Depotsteine Typ A aus zylinderförmigen Einzelstücken bestehen und deswegen kleinere Kontaktflächen mit dem Bergwasser aufweisen als jene des Typs B, welche in Form von Tabletten produziert werden. Der Einfluss der Menge des fließenden Bergwassers und die Lage der Depotsteine in der Sickerpackung darf aber nicht unterschätzt werden.
- Die Wasseranalysen bestätigen, dass beide Depotsteintypen durch ihre Auflösung genügend Wirkstoff freigegeben, wenn die Bergwassermenge „gering“ und wenn das Bergwasser „versinterungsgefährdend“ ist. Die Konzentration der Wirkstoffe ist sehr klein und aufgrund der Wasseranalysen sind sämtliche Parameter bzgl. Einleitung des Wassers in offene Gewässer eingehalten. Weitergehende Aussagen zu allfälligen Umwelteinflüssen und zu einer allfälligen Wassergefährdung der Wirkstoffe können aufgrund der bisherigen Analysen nicht formuliert werden³.
- In den Beobachtungsfenstern mit Depotsteinen wurden keine relevanten Nebeneffekte beobachtet. Nur auf der Oberfläche der Depotsteine Haichem PS-523A war z.T. eine dünne schwarz-rotfarbige Schicht (Schimmelpilzbildung) ersichtlich. Eine Verstopfung der Sickerpackung aufgrund dieses organischen Stoffes ist auszuschliessen.⁴
- Aussagekräftige Vergleiche über die Wirksamkeit der beiden Depotsteintypen können aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren und der beobachteten unterschiedlichen und wechselhaften Versinterungserscheinungen nicht formuliert werden.
- Die Umsetzbarkeit des Rückführungssystems hat sich als gut geeignet erwiesen. Die Elemente sind einfach und schnell montierbar. Die Bergwasseranalysen und Beobachtungen haben bestätigt, dass das Konditionierungsmittel erfolgreich und ohne Nebeneffekte dosiert werden kann.

Schwachpunkt des getesteten Rückführungssystems ist die Tauchpumpe, welche, aus derzeit unbekanntem Gründen eine ungenügende langfristige Leistungsfähigkeit gezeigt hat. Zur Gewährleistung der dauerhaften Funktionstüchtigkeit des Systems muss dieser Mangel behoben werden (z.B. mit einem anderen, stärkeren Pumpentyp).

Bei der Inbetriebnahme des Rückführungssystems während der Bauphase ist die Problematik der Verschmutzung zu beachten. Regelmässige Spülung und Reinigung von Schächten, Drainage- und Dosierleitungen zur Entfernung von Schlamm und Kalkbrei, erwiesen sich als unerlässlich.

- Die Wirksamkeit der Dosierung von flüssigem Konditionierungsmittel gegen Versinterungen ist auf Grundlage der Versuchsergebnisse schwer nachweisbar.

³ Weitere Untersuchungen zu allfälligen Umwelteinflüssen und zu einer allfälligen Wassergefährdung der Wirkstoffe können im Rahmen einer allfälligen weiteren Versuchsstrecke durchgeführt werden.

⁴ Gemäss Konzept Versuchsstrecke TA Bodio war nur die Wirkung der eingesetzten Produkte und das Vorhandensein von allfälligen Nebeneffekten gegenüberzustellen, jedoch nicht ihre Chemie. Aus diesem Grunde sind keine Informationen zur Chemie der eingesetzten Produkte im vorliegenden Schlussbericht aufgeführt.

5. GEGENÜBERSTELLUNG ZIELE GEMÄSS KONZEPT UND RESULTATE

Im vorliegenden Kapitel werden die Ziele gemäss Konzept Versuchsstrecke (siehe Kap. 2) und die gewonnen Resultate (und Erfahrungen) gegenübergestellt.

5.1 Ziel 1: Studium der Versinterungsmechanismen

In der nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellung sind die Punkte vom Ziel 1 aufgrund der Resultate kommentiert:

Ziel	Resultat	Fazit
<i>Beobachtung des Ablaufes, der Ausbildung und des Ausmasses der Versinterungen</i>	In den Gewölbedrainageleitungen wurden sehr unterschiedliche Verhältnisse mit verschiedenen Ablagerungsarten angetroffen. Die Intensität der Versinterungen war aber immer mässig. Nach ca. 1 Jahr stellen die Kalkablagerungen kein Problem für die Gebrauchstauglichkeit des Drainagesystems dar.	Ziel erfüllt
<i>Untersuchung der Einflussfaktoren der Versinterungen: Temperatur, Wassermenge, Bergwasserchemismus, Luftdruck usw. resp. Spezielle Baumassnahmen und -materialien (z.B. die Auswaschung von Spritzbeton).</i>	Das vorgesehene Studium der Einflussfaktoren der Versinterungen erwies sich als ein sehr hochgestecktes Ziel. Die zahlreichen externen bzw. baustellenbedingten Einflussfaktoren (Verschmutzung, Ungenauigkeit und Veränderlichkeit des Einbaus usw.) haben die Resultate negativ beeinflusst resp. diese Untersuchung verunmöglicht. Die trotzdem gewonnen Resultate deuten an, dass vorwiegend Bereiche mit bescheidenen Wassereintritten für das Thema Versinterung relevant sind, während Bereiche mit grösserem Wasseranfall eher nicht.	Ziel nur teilweise erfüllt.

Tabelle 14: Ziel 1, Studium der Versinterungsmechanismen

Aufgrund der obigen Zusammenstellung, wurde das Ziel 1 nur teilweise erfüllt.

5.2 Ziel 2: Prüfstand für Härtestabilisationsmassnahmen

In der nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellung sind die Punkte vom Ziel 2 aufgrund der Resultate kommentiert:

Ziel	Resultat	Fazit
<i>Effektive Wirkung und Wirkungs-dauer der Depotsteine (Auflösungsgeschwindigkeit, Wirkstoffkonzentration).</i>	Die Wasseranalysen bestätigen, dass beide Depotsteintypen durch ihre Auflösung genügend Wirkstoff freigeben. Die Auflösungsgeschwindigkeit ist durch verschiedene Faktoren beeinflusst und konnte in der Versuchsstrecke nicht eindeutig bestimmt werden. Die effektive Wirkung der Depotsteine konnte aufgrund der geringfügigen Versinterungserscheinungen und der zahlreichen Einflussfaktoren mit der Versuchsstrecke nicht bewiesen werden.	Ziel nur teilweise erfüllt
<i>Gegenüberstellung verschiedener Produkte (Wirksamkeit und Wirkungs-dauer).</i>	Aussagekräftige Vergleiche über die Wirksamkeit der beiden Depotsteintypen konnten aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren und der beobachteten unterschiedlichen und wechselhaften Versinterungserscheinungen nicht formuliert werden.	Ziel nicht erfüllt
<i>Effektive Wirkung der Zugabe von Konditionierungsmitteln in der Sickerpackung.</i>	Die Versuchsstrecke hat bestätigt, dass das Konditionierungsmittel erfolgreich dosiert werden kann. Einige Anzeichen lassen vermuten, dass das Konditionierungsmittel eine positive Wirkung hat. Die Versuche haben aber keine deutlichen Nachweise der Wirksamkeit erbracht.	Ziel nicht erfüllt
<i>Gefahr von Schimmelpilz- und/oder Schleimbildungen sowie anderer Nebeneffekten</i>	In den Tunnelabschnitten mit Härtestabilisationsmassnahmen wurden keine relevanten Nebeneffekte beobachtet. Eine Verstopfung der Sickerpackung/Drainagerohre aufgrund von Schimmelpilz- und/oder Schleimbildungen ist auszuschliessen.	Ziel erfüllt
<i>Umsetzbarkeit des Rückführungssystems (Stauung, Pumpenbetrieb, Verschlammungsgefahr usw.).</i>	Die Umsetzbarkeit des Rückführungssystems hat sich als gut geeignet erwiesen. Die Versuchsstrecke hat die Anerkennung von Schwachpunkten (ungenügende langfristige Leistungsfähigkeit der Tauchpumpe) ermöglicht und die Notwendigkeit von periodischen Spülungen und Reinigungen des Systems hervorgehoben.	Ziel erfüllt
<i>Reinigungsaufwand mit und ohne Härtestabilisationsmassnahmen</i>	Die Reinigungsprobe hat gezeigt, dass die nach ca. 1 Jahr vorhandenen Ablagerungen grösstenteils mit relativ geringem Aufwand entfernt werden können. Eine Gegenüberstellung der Tunnelstrecken mit und ohne Härtestabilisationsmassnahmen war aber aufgrund der zahlreichen Einflussfaktoren nicht möglich.	Nur teilweise erfüllt

Tabelle 15: Ziel 2, Prüfstand für Härtestabilisationsmassnahmen

Aufgrund der obigen Zusammenstellung, wurde das Ziel 2 nur teilweise erfüllt.

5.3 Ziel 3: Definition der Kriterien für den Einbau

In der nachfolgenden tabellarischen Zusammenstellung sind die Punkte vom Ziel 3 aufgrund der Resultate kommentiert:

Ziel	Resultat	Fazit
<i>Tunnelröhre in „trockene“ resp. „nasse“ Bereiche aufgeteilt: Definition der Kriterien zur Bestimmung dieser Aufteilung</i>	Aufgrund der Resultate aus der Versuchsstrecke war nicht möglich, eine Definition der Kriterien zur Bestimmung dieser Aufteilung zu formulieren.	Ziel nicht erfüllt

Tabelle 16: Ziel 3: Definition der Kriterien für den Einbau

Aufgrund der obigen Zusammenstellung, wurde das Ziel 3 nicht erfüllt.

Da keine neue Definition der Kriterien zur Bestimmung der Aufteilung trocken/nass bestimmt werden konnte, wurde im TA Bodio die folgende vor Realisierung der Versuchsstrecke festgelegte qualitative Definition verwendet (hier kurz zusammengefasst):

A) Erste Aufnahme im Vortriebsbereich:

Beurteilung aufgrund der Datenerfassung im SISO.

Es galt „Nass“, falls eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

Tropf:

>25% der Strecke in Stufe 1 (Dichte 1-3 Tropfstellen pro 10 m Tunnel)

>10% der Strecke in Stufe 2 (Dichte >3 Tropfstellen pro 10 m Tunnel)

>0% der Strecke in Stufe 3 (starker Tropf pro 10 m Tunnel)

Nässe:

>10% der Strecke in Stufe 2 (vorwiegend Nass)

>0% der Strecke in Stufe 3 (durchgehend Nass)

Quellen:

- mehr als 3 Quellen <0.1 l/s

- mehr als 0 Quellen >0.1 l/s

B) Spätere Erfassung (nach ca. 1 Jahr, vor Einbau der Verkleidung):

Trocken falls:

- Tunnelröhre trocken

- einzelne feuchte oder nasse Flecken, einzelne Tropfstellen, vereinzelte Sickerstellen am Fusse des Paramentes mit geringem Zufluss (<0.1 l/s)

Nass falls:

- zahlreiche nasse Flecken

- flächenhaftes Sickers über Paramente oder am Paramentfuss

- mehrere (>3) Quellen <0.1 l/s, eine oder mehrere Quellen >0.1 l/s (meist abgeleitet und aus Drainagen am Paramentfuss austretend).

- Vorhandensein von fliessendem Bergwasser am Ende des betrachteten Rigolenabschnittes (vor Einbau der Gewölbedrainage). Dieses zusätzlichen Kriterium wurde auf der Baustelle Bodio eingeführt und nur dort angewendet, wo die Rigole sauber war (d.h. in der Regel nicht angewendet).

6. FOLGEN FÜR DAS AUSFÜHRUNGSPROJEKT TA BODIO

Aufgrund der im Rahmen der Versuchsstrecke gewonnenen Erfahrungen können hinsichtlich der Bauausführung im TA Bodio folgende Schlüsse gezogen werden:

- Einerseits ist die Wirksamkeit der getroffenen Härtestabilisationsmassnahmen gegen Versinterung auf Grundlage der Versuchsergebnisse schwer nachweisbar, andererseits aber sind keine nachteiligen Auswirkungen beobachtet worden.
- Umfassend betrachtet kann bestätigt werden, dass die getroffenen Härtestabilisationsmassnahmen für den TA Bodio (aufgrund der vorhandenen hydrogeologischen Verhältnisse) genügend waren. Es fehlen gesicherte und stichhaltige Resultate, welche für eine Reduktion sprechen resp. „Korrektur nach unten“ der getroffenen Härtestabilisationsmassnahmen gerechtfertigen.
- Auf Grundlage der Versuchsergebnisse ist eine Anpassung des bestehenden von ATG freigegebenen Ausführungsprojektes TA Bodio nicht erforderlich resp. nicht möglich.

7. WEITERES VORGEHEN

Aufgrund der im Rahmen der Versuchsstrecke gewonnenen Resultate und Erfahrungen, unter Berücksichtigung der Gegenüberstellung der Ziele und Resultate, empfiehlt die IG GBT Süd der ATG, dem nachfolgenden Antrag zum weiteren Vorgehen zuzustimmen:

- Die bestehenden von ATG freigegebenen Kriterien für die Festlegung der Härtestabilisationsmassnahmen (Verlegung von Depotsteinen resp. Einbau der Leitungen für das Rückführungssystem) für die verbleibenden zu verkleidenden Tunnelabschnitte TA Bodio weiterhin für gültig zu erklären.
- Die bestehenden von ATG freigegebenen Kriterien für die Festlegung der Härtestabilisationsmassnahmen (Verlegung von Depotsteinen resp. Einbau der Leitungen für das Rückführungssystem) für andere Tunnelabschnitte des GBT resp. des CBT mit ähnlichen hydrogeologischen Verhältnissen und vergleichbaren aufgebrachten Sicherungsmassnahmen (insbesondere Spritzbeton) wie im TA Bodio für gültig zu erklären.
- In Tunnelabschnitte des GBT resp. des CBT – mit ungünstigeren hydrogeologischen Verhältnissen resp. mit deutlich umfangreicherer Spritzbetonapplikation als im TA Bodio – eine 2. Versuchsstrecke (mit reduziertem Programm) einrichten, um eine Bestätigung der bisherigen Erfahrungen zu gewinnen resp. neue Erkenntnisse zu erfahren. Bis zum Vorliegen allfälliger neuer Erkenntnisse sind u.E. die bestehenden von ATG freigegebenen Kriterien für die Festlegung der Härtestabilisationsmassnahmen auch für diese Tunnelabschnitte weiterhin für gültig zu erklären.⁵
- Die Zuverlässigkeit des neu eingesetzten Tauchpumpenmodells weiter zu beobachten, um die mit dem ersten Tauchpumpenmodell festgestellten Mängel (Leistungssenkung) ausschliessen zu können. Siehe dazu Kap. 3.5.5.
- Die Erkenntnisse aus dem TA Bodio betreffend baubedingter Verschmutzung der Entwässerungsleitungen für die anderen Tunnelabschnitte des GBT resp. für den CBT gebührend zu berücksichtigen. Die jeweiligen örtlichen Bauleitungen – soweit noch nicht erfolgt – sind darüber im Detail zu orientieren.
- Im Bezug auf den allfälligen Einsatz des Rückführungssystems (flüssige Härtestabilisierung) in der Betriebsphase GBT resp. bereits während der Bauphase GBT wird die IG GBT Süd einen separaten Massnahmeplan aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse erarbeiten.⁶

IG GBT Süd
Lombardi AG
G. Gubler
D. Fabbri
A. Ferrari (QM)

Geolog.ch AG
R. Lucchini

⁵ Das Konzept für eine 2. Versuchsstrecke (mit reduziertem Programm) wird nach Bestellung der ATG Gegenstand eines separaten Bereiches.

⁶ Diesbezüglich wurde eine Pendeuz anlässlich der PI-Sitzung GBT Süd festgelegt.

Anhang 1, Allgemeine Fotodokumentation Versuchsstrecke

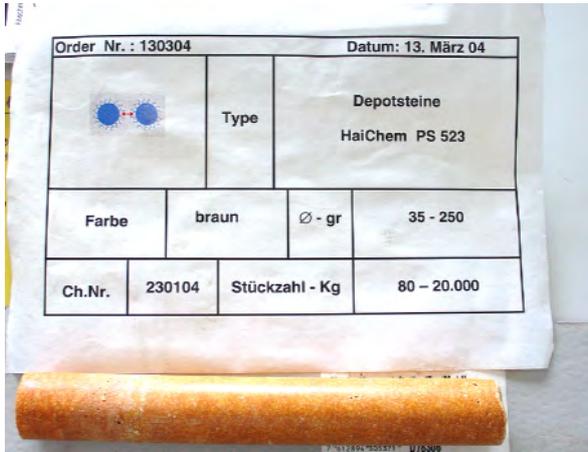


Bild 1: Depotstein Typ A (Produkt: M.C. Wegmüller Haichem PS-523)



Bild 2: Depotsteine Typ B (Produkt: Baypure® DSP Tabs 130 S), Komplettensicht und Detail



Bild 3: Rohrinspektionskamera „Astec SK 80“ im Gewölbedrainageschacht



Bild 4: Steuerpult und Videorekorder

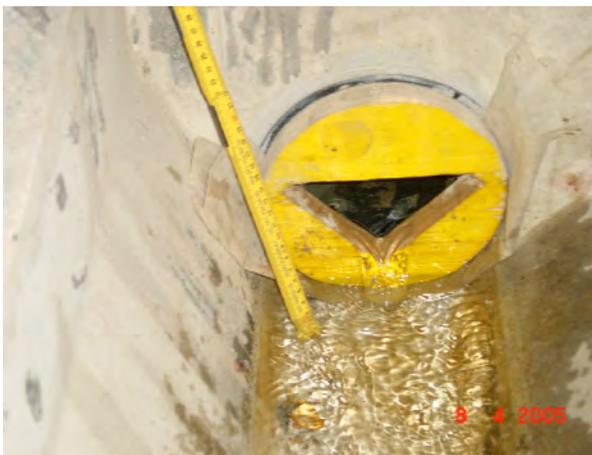


Bild 5: Durchflussmessung mit Dreiecküberfallwehr im Gewölbedrainageschacht



Bild 6: Lage der Depotsteine Typ A in der Sikkerpackung der Gewölbedrainageleitung

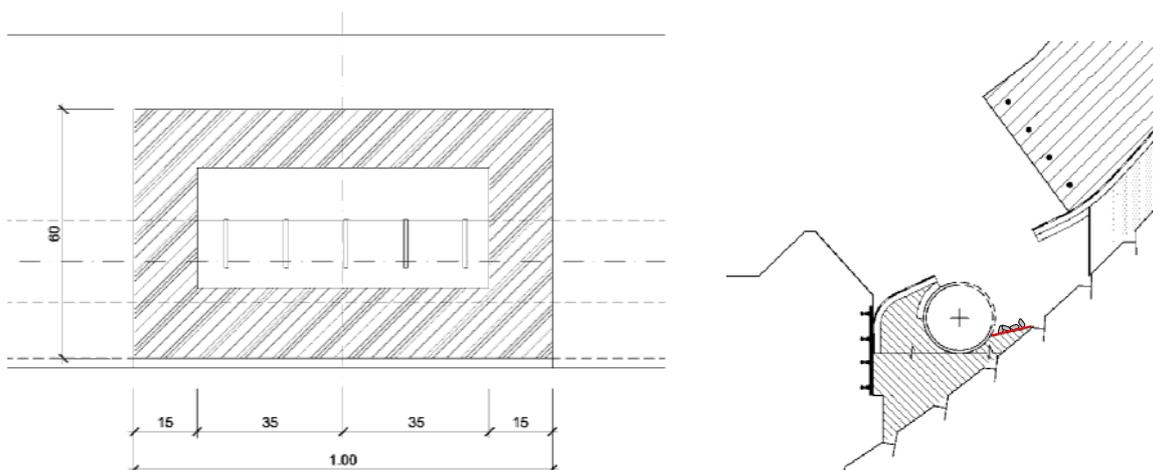
Anhang 2, Beobachtungsprotokolle vom 02.02.2006

Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 1	Datum Einbau: 08.10.2004 Lage: Tkm 253'980 (Weströhre, Seite Ost) Lage: Tm 2'830, Block FW 105
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- ein konstanter Wasserzutritt ist sichtbar
- auf der Einlauffläche aus Mörtel bemerkt man eine leichte Verklebung des Kieses durch einen sehr dünnen Kalkfilm
- die Sickerschlitze sind frei und ohne Versinterung
- innerhalb des Drainageleitung ist eine dünne weissfarbige Schicht auf der Rohrsohle erkennbar. Das Wasser fliesst konstant und ohne Stauung
- unterhalb des Spezialstückes zur Entnahme der Wasserproben liegen keine Ablagerungen.

Skizze:



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- es wurden 2 Netzsäcke mit Depotsteinen Typ B (Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S) vorgefunden. Die Tabletten haben sich aufgelöst und sind z.T. weich geworden. Auf der Oberfläche ist z.T. eine schwarze Schicht sichtbar (siehe Bild 4)
- Lage der Depotsteine in der Sickerpackung: siehe Bilder 2 und 3
- ca. 60% der Tabletten ist noch vorhanden.

Andere Bemerkungen:

- der HCl-Test (Salzsäuretest) bestätigt das Vorhandensein von Kalk (beträchtliches Aufschäumen).

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen: HCl-Test

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 1



Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Sickerpackung mit Depotsteinen



Bild 3: Detail der Sickerpackung mit Depotsteinen



**Bild 4: Netzsäcke von Depotsteinen Typ B
(Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S)**



Bild 5: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



**Bild 6: Wassereintritt auf der Einlauffläche aus
Mörtel**

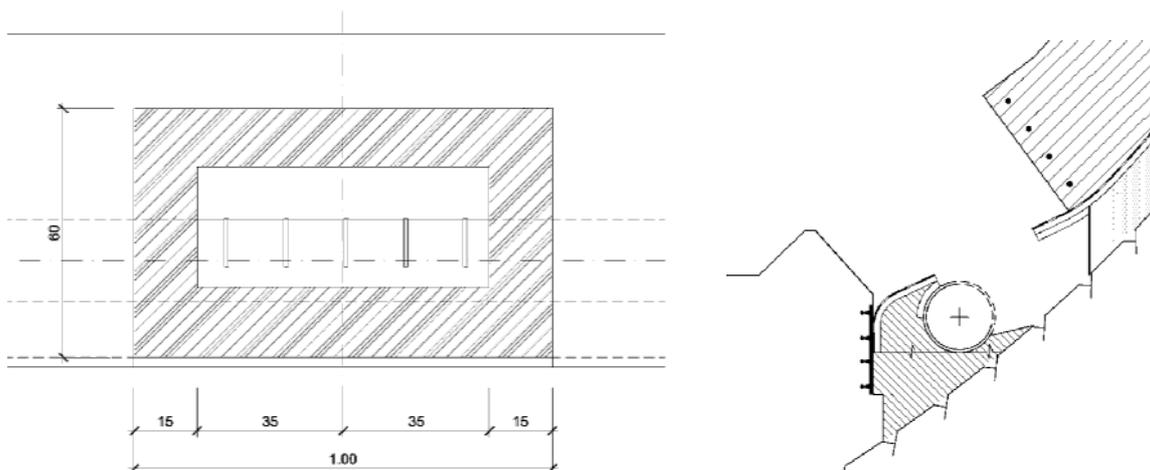
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 2	Datum Einbau: 08.10.2004 Lage: Tkm 253'962 (Weströhre, Seite Ost) Lage: Tm 2'848, Block FW 106
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber, trocken und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- kein fließendes Wasser
- auf der Einlauffläche aus Mörtel sind keine Kalkablagerungen sichtbar
- die Sickerschlitze sind frei und ohne Versinterungen
- die Rohrsohle der Drainageleitung ist sauber und ohne Anzeichen von Versinterung.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- es wurde 1 Netzsack mit Depotsteinen Typ B (Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S) gefunden. Die Tabletten haben sich aufgelöst und sind sehr weich geworden. (siehe Bild 4)
- Lage der Depotsteine in der Sickerpackung: siehe Bild 2
- ca. 40% der Tabletten ist noch vorhanden
- die Dosierleitung wird zur Zeit nicht benutzt (Rückführungssystem nicht ausgerüstet).

Andere Bemerkungen:

- keine.

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen:

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 2



Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Sickerpackung mit Depotsteinen



Bild 3: Netzsäcke von Depotsteinen Typ B (Produkt Baypure® DSP Tabs 130 S)



Bild 4: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 5: Detail des Spezialstückes für Entnahme der Wasserproben mit Depotsteinen



Bild 6: Detail der Einlauffläche aus Mörtel mit Depotsteinen

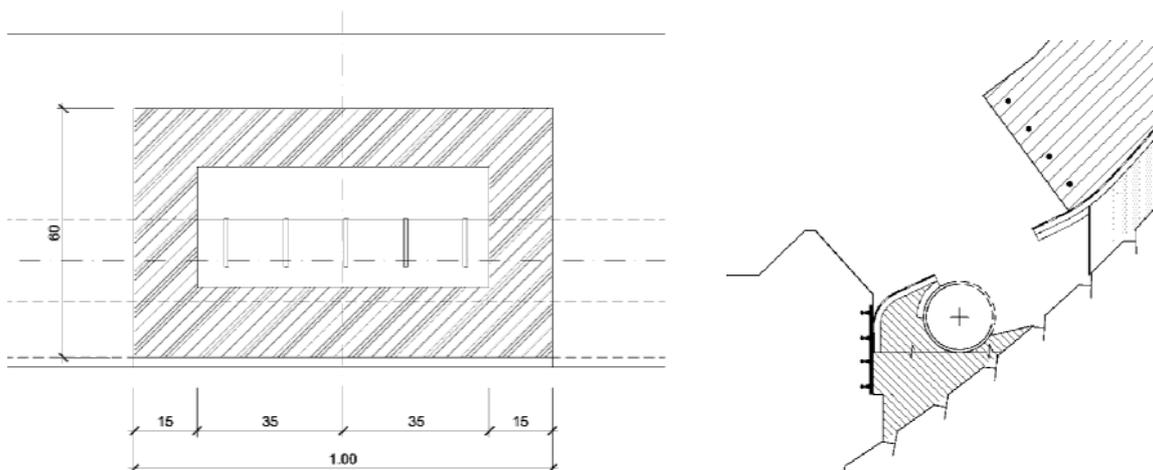
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 3	Datum Einbau: 03.11.2004 Lage: Tkm 253'685 (Weströhre, Seite West) Lage: Tm 3'125, Block FW 129
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber, trocken und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- sehr wenig Wasser
- auf der Einlauffläche sind keine Kalkablagerungen sichtbar
- die Sickerschlitze sind frei und ohne Versinterung
- die Rohrsohle der Drainageleitung ist sauber und ohne Anzeichen von Versinterung.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- in diesem Bereich wurden keine Härtestabilisationsmassnahmen eingebaut. Die Dosierleitung wird zur Zeit nicht benutzt (Rückführungssystem nicht ausgerüstet).

Andere Bemerkungen:

- keine.

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen:

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 3



Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung

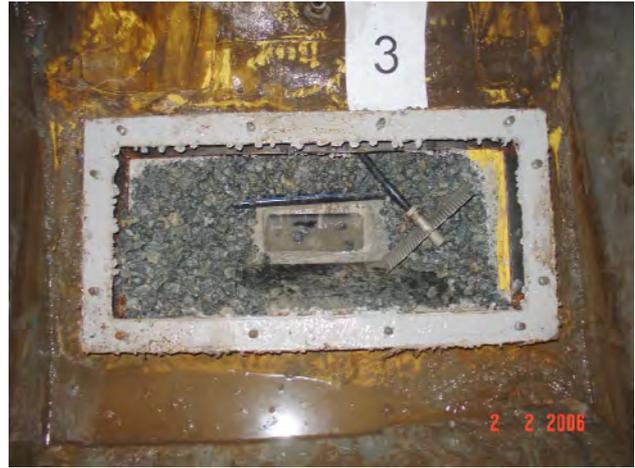


Bild 2: Beobachtungsfenster mit Vertiefung und Spezialstück für Entnahme von Wasserproben



Bild 3: Detail der Vertiefung für Entnahme von Wasserproben und Dosierleitung.

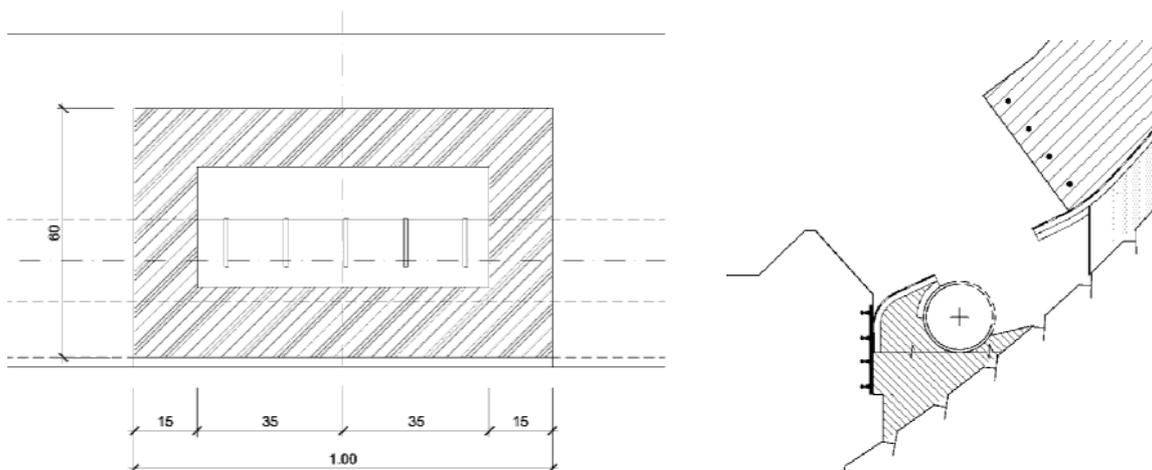
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 4	Datum Einbau: 08.11.2004 Lage: Tkm 253'643 (Weströhre, Seite West) Lage: Tm 3'167, Block FW 133
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber, trocken und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- wenig Wasser
- auf der Einlauffläche ist eine dünne Schicht von Kalkablagerungen sichtbar
- die Sickerschlitze sind frei und ohne Versinterung
- die Rohrsohle der Drainageleitung ist sauber und ohne Anzeichen von Versinterung.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- in diesem Bereich wurden keine Härtestabilisationsmassnahmen eingebaut. Die Dosierleitung wird zur Zeit nicht benutzt (Rückführungssystem nicht ausgerüstet).

Andere Bemerkungen:

- der HCl-Test (Salzsäuretest) bestätigt das Vorhandensein von Kalk (geringes Aufschäumen).

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen: HCl-Test

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 4

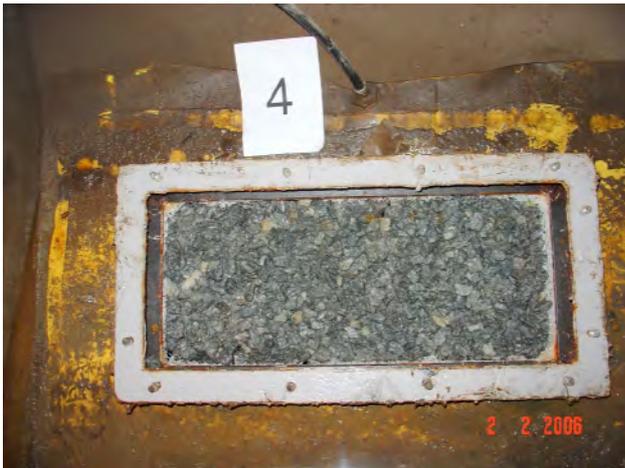


Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 3: Detail des Spezialstückes für Entnahme von Wasserproben. Dünne Kalkablagerungen auf der Einlauffläche



Bild 4: Detail des Spezialstückes für Entnahme von Wasserproben. Dünne Kalkablagerungen auf der Einlauffläche

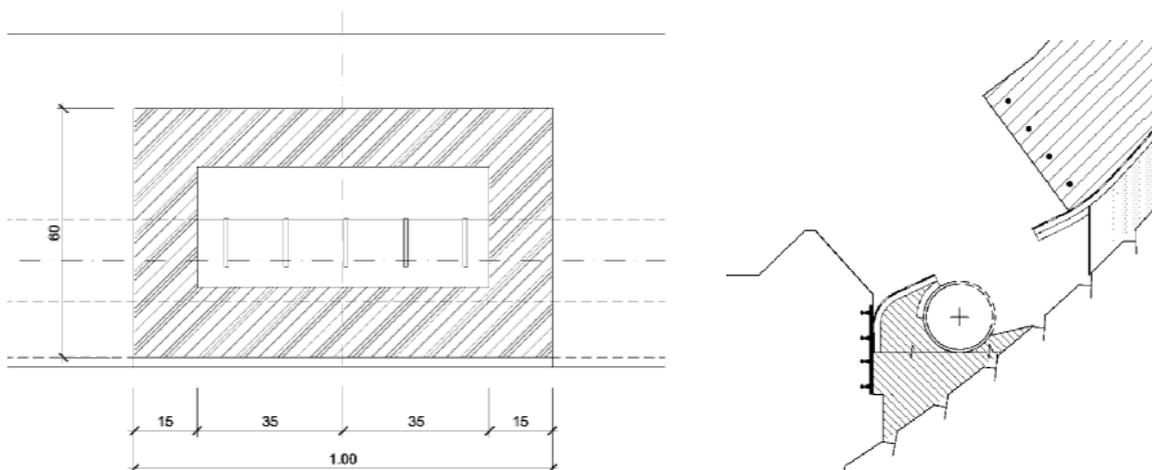
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 5	Datum Einbau: 02.12.2004 Lage: Tkm 153'741 (Oströhre, Seite West) Lage: Tm 3'089, Block FO 48
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- wenig Wasser
- die Sickerschlitze sind 100% frei
- auf der der Rohrsohle der Drainageleitung sind wenige dünne Ablagerungen erkennbar. Das Wasser fließt konstant und ohne Stauung
- die Betonoberfläche ist rotfarbig wegen Korrosion der Ausbruchsicherung (Anker, Netze und/oder Stahlbögen).

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- in diesem Bereich wurden keine Depotsteine verlegt
- das Beobachtungsfenster Nr. 5 befindet sich auf der Teststrecke des Rückführungssystems (d.h. Rückführungssystem ausgerüstet und in Betrieb). Auf dieser Strecke wurden 2 Dosierschläuche verlegt (D= 20 und 25 mm). Nur die Dosierleitung 25 mm wurde an das Rückführungssystem angeschlossen. Im Bereich des Beobachtungsfensters wurde aber kein Dosierloch gefunden.

Andere Bemerkungen:

- unterhalb des Spezialstückes für die Entnahme von Wasserproben haben sich Feinanteile (wahrscheinlich durch Auswaschung von Baumaterialien) abgelagert (siehe Bild 5).

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen:

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 5



Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 3: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 4: Detail der Dosierschläuche.



Bild 5: Detail der Situation unterhalb des Spezialstückes für Entnahme von Wasserproben.

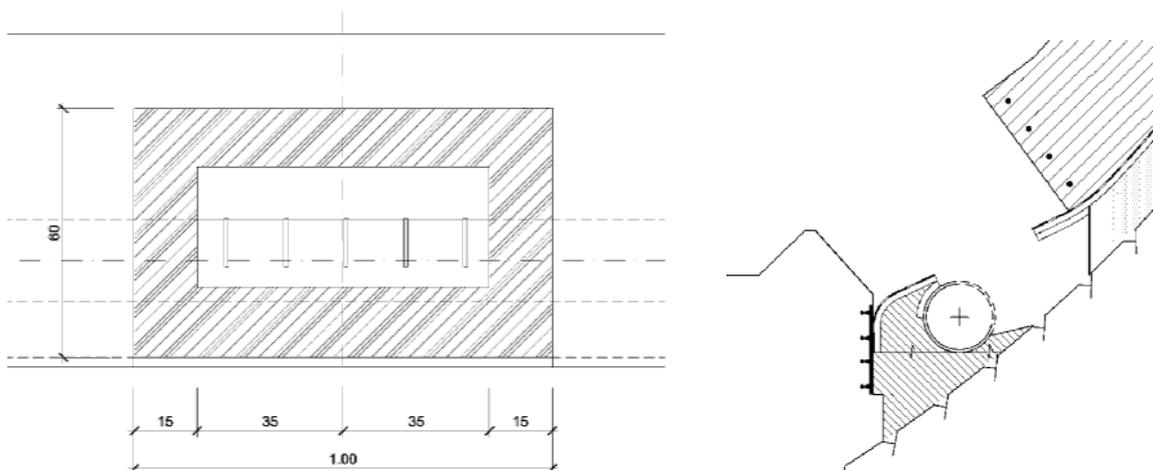
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 6	Datum Einbau: 02.12.2004 Lage: Tkm 153'738.5 (Oströhre, Seite Ost) Lage: Tm 3'091.5, Block FO 49
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- kleiner und konstanter Wasserzutritt
- auf dem Grund der Vertiefung für die Entnahme von Wasserproben ist eine dünne Schicht von Kalkablagerungen mit einer leichten Verklebung des Kiesel sichtbar
- die Sickerschlitze sind 100% frei
- die Rohrsohle der Drainageleitung weist keine relevante Versinterung auf.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- in diesem Bereich wurden keine Härtestabilisationsmassnahmen eingebaut. Die Dosierleitungen werden zur Zeit nicht benutzt (Rückführungssystem nicht ausgerüstet).

Andere Bemerkungen:

- der HCl-Test (Salzsäuretest) bestätigt das Vorhandensein von Kalk (geringes Aufschäumen).

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen: HCl-Test

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 6



Bild 1: Geschlossene Beobachtungsfenster



Bild 2: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 3: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 4: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 5: Detail der Vertiefung für Entnahme der Wasserproben



Bild 6: Detail des verklebten Sickerkieses

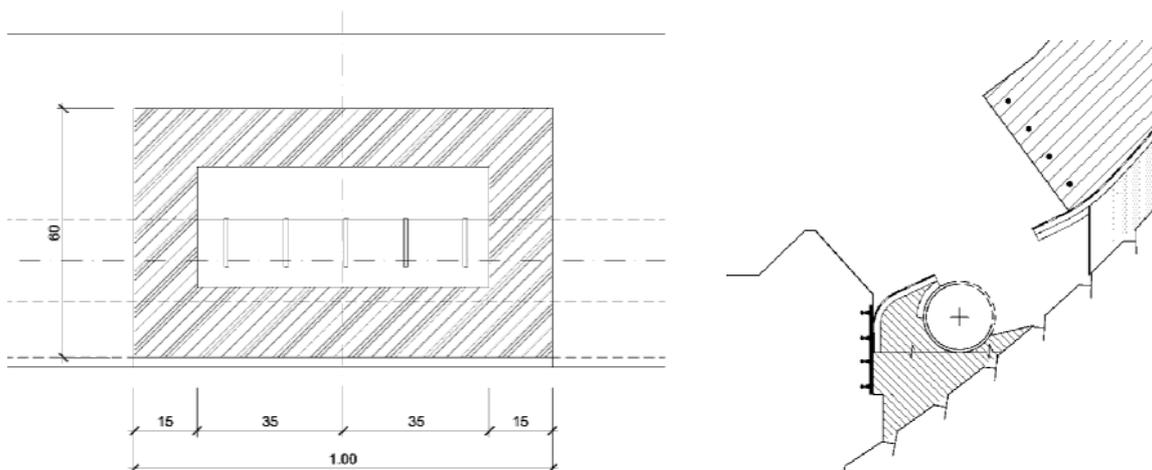
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 7	Datum Einbau: 16.12.2004 Lage: Tkm 153'645 (Oströhre, Seite Ost) Lage: Tm 3'185, Block FO 56
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung ist keine Versinterung erkennbar. Der Sickerkies ist sauber und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- sehr wenig Wasser
- auf der Einlauffläche ist eine dünne Schicht (ca. 1 mm) von Kalkablagerungen sichtbar
- die Sickerschlitze sind 100% frei
- die Rohrsohle der Drainageleitung weist keine relevante Versinterung auf.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- es wurden 3 Stück Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523) gefunden (siehe Bild 3). Die Depotsteine weisen ein Durchmesser von ca. 37 mm und eine Gesamtlänge von ca. 40 cm auf
- das Volumen der Depotsteine hat sich nicht reduziert (sehr wenige Auflösung). Auf der Oberfläche ist z.T. eine schwarzliche Schicht sichtbar
- Lage der Depotsteine in der Sickerpackung: siehe Bild 2
- die Dosierleitungen werden zur Zeit nicht benutzt (Rückführungssystem nicht ausgerüstet).

Andere Bemerkungen:

- der HCl-Test (Salzsäuretest) bestätigt das Vorhandensein von Kalk (geringes Aufschäumen).

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen: HCl-Test

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 7

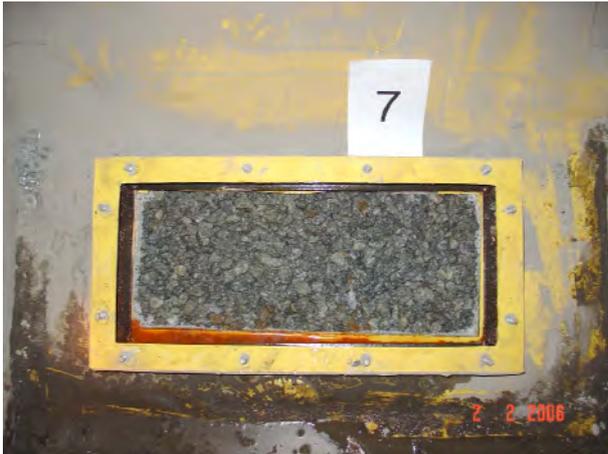


Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Sickerpackung mit Depotsteinen



Bild 3: Depotsteine Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523)



Bild 4: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 5: Detail der Vertiefung für Entnahme der Wasserproben



Bild 6: Detail der Einlauffläche aus Mörtel

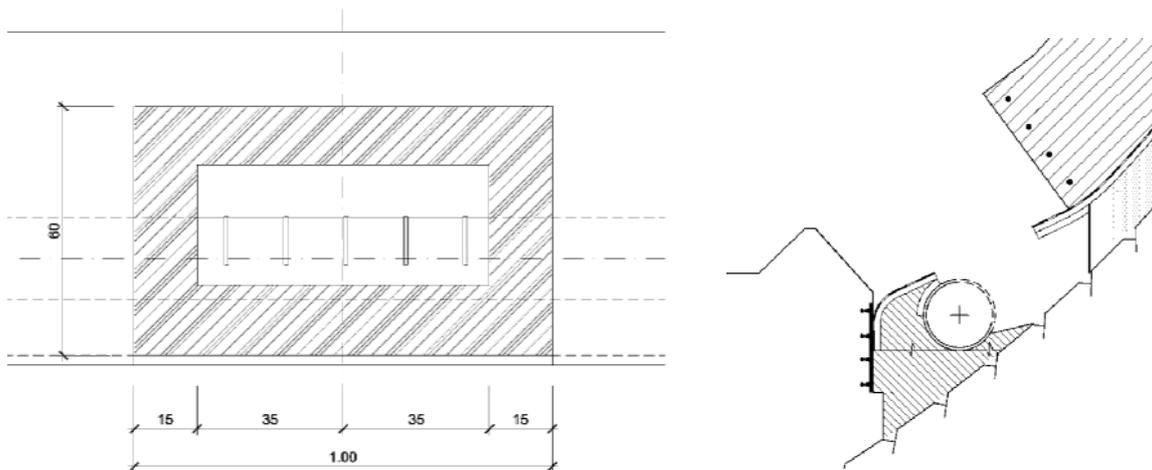
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 8	Datum Einbau: 25.01.2005 Lage: Tkm 153'545 (Oströhre, Seite West) Lage: Tm 3'285, Block FO 65
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- erheblicher und konstanter Wasserzutritt
- auf der Einlauffläche aus Mörtel sind keine Kalkablagerungen sichtbar
- die Sickerschlitze sind 100% frei
- die Rohrsohle der Drainageleitung weist keine Versinterung auf.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- es wurden keine Depotsteine gefunden
- das Beobachtungsfenster Nr. 8 befindet sich auf der Teststrecke des Rückführungssystems (d.h. Rückführungssystem ausgerüstet und im Betrieb). Auf dieser Strecke wurden 2 Dosierschläuche verlegt (D= 20 und 25 mm). Nur die Dosierleitung 25 mm wurde an das Rückführungssystem angeschlossen. Im Bereich des Beobachtungsfensters wurde aber kein Dosierloch gefunden.

Andere Bemerkungen:

- keine.

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen:

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 8

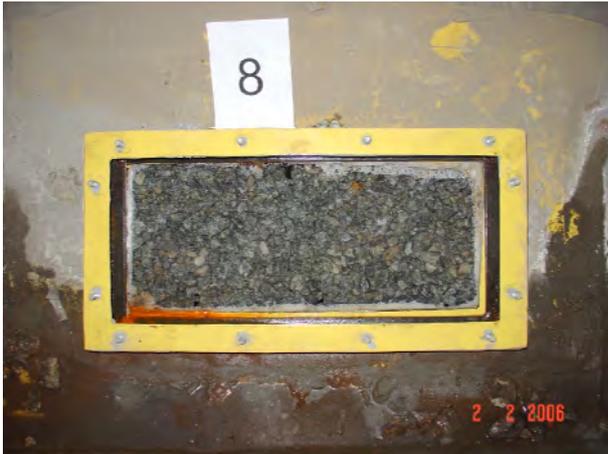


Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 3: Detail der Dosierleitungen und der Vertiefung für die Entnahme von Wasserproben.



Bild 4: Detail Schlitz der Gewölbedrainageleitung

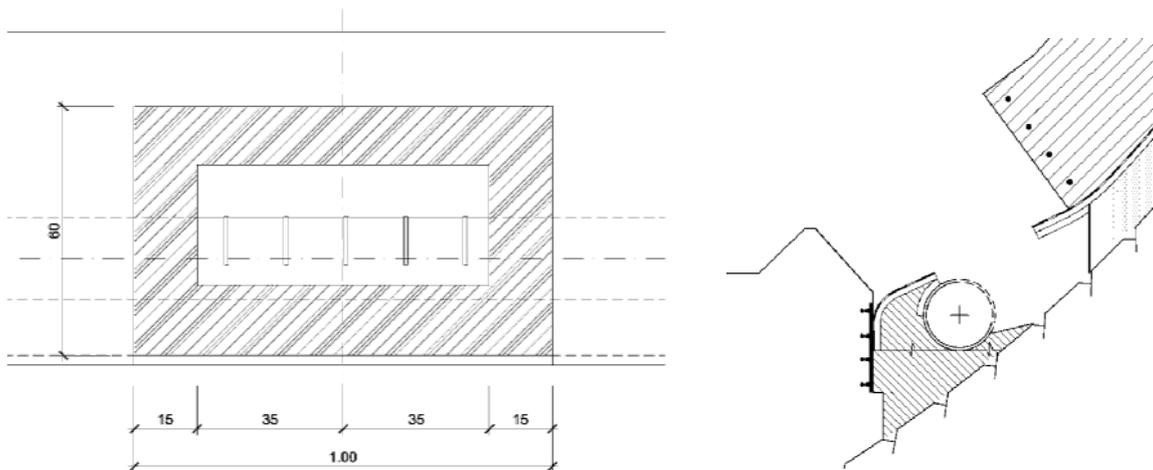
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 9	Datum Einbau: 27.01.2005 Lage: Tkm 153'490 (Oströhre, Seite West) Lage: Tm 3'340, Block FO 69
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- die Situation weist seit der letzten Beobachtung vom 12.07.2005 keine Veränderungen auf
- es sind keine besonderen Versinterungen erkennbar
- im Sickerkies sind keine Versinterungen vorhanden. Auf der Einlauffläche aus Mörtel ist nur eine sehr dünne, weissliche Schicht erkennbar
- die Sickerschlitze sind frei und ohne Versinterung
- innerhalb des Rohres erkennt man eine dünne, weissliche Schicht auf der Rohrsohle
- unterhalb des Spezialstücks zur Entnahme der Wasserproben wurden harte Kalkablagerungen mit einer Stärke von ca. 1 cm vorgefunden.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- im Sickerkies wurde ein Depotstein Typ A (Produkt M.C. Wegmüller, Haichem PS-523) vorgefunden
- der ermittelte Durchmesser des Depotsteins beträgt ca. 37 mm, die Konsistenz ist bröckelig und weich
- das Loch in der Dosierleitung ist frei und zeigt keine Versinterung.

Andere Bemerkungen:

- der HCl-Test (Salzsäuretest) bestätigt das Vorhandensein von Kalk (geringes Aufschäumen)

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen: HCl-Test

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- Fotoaufnahmen

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 9



Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 3: Detail des Beobachtungsfensters ohne Sickerkies



Bild 4: Detail der Einlauffläche



Bild 5: Detail der Einlauffläche mit leichter Versinterung



Bild 6: Detail der Dosierleitung mit Loch

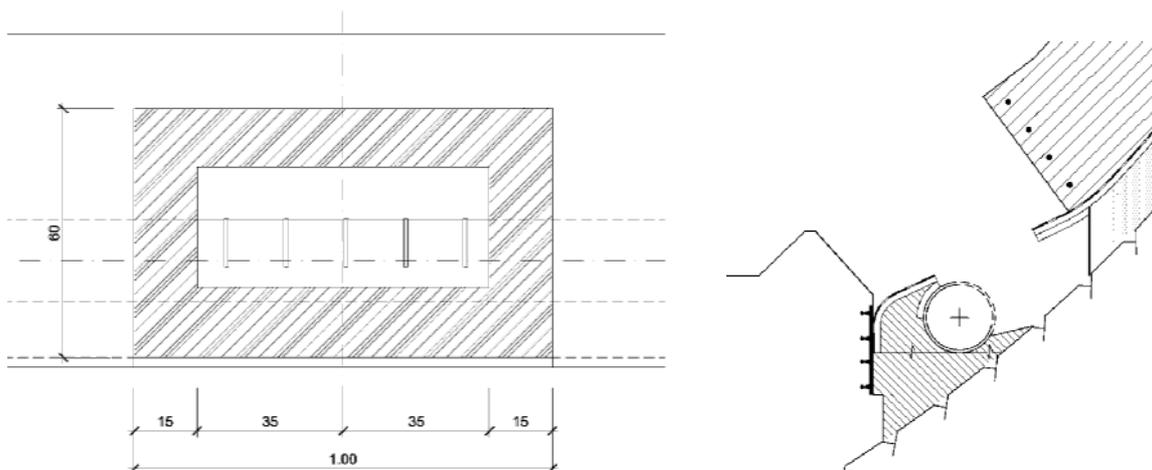
Beobachtungsprotokoll Fenster Nr. 10	Datum Einbau: 01.02.2005 Lage: Tkm 153'474 (Oströhre, Seite Ost) Lage: Tm 3'356, Block FO 71
Datum: 02.02.2006	Blatt Nr. 1/3

Beschreibung Situation:

- an der Oberfläche der Sickerpackung sind keine Versinterungen erkennbar. Der Sickerkies ist sauber und ohne sichtbare Ablagerungen (siehe Bild 1)
- erheblicher und konstanter Wasserzutritt
- auf der Einlauffläche aus Mörtel bemerkt man keine Versinterung
- die Betonoberfläche ist rotfarbig wegen Korrosion der Ausbruchsicherung (Anker, Netze und/oder Stahlbögen)
- die Sickerschlitze sind 100% frei
- die Rohrsohle der Drainageleitung ist sauber und ohne Versinterung.

Skizze:

- keine Besonderheiten. Siehe Fotos.



Analyse Härtestabilisationsmassnahmen:

- es wurden keine Depotsteine vorgefunden
- die Dosierleitungen werden zur Zeit nicht benutzt (Rückführungssystem nicht ausgerüstet).

Andere Bemerkungen:

- keine

Durchgeführte Arbeiten:

- Entnahme Wasserproben: am 26.01.2006 durch Baustellengeologe
- Fotoaufnahme: siehe Beilage
- Andere Untersuchungen/Analysen:

Visum Verantwortlicher (öBL): Gub

Visum Baustellengeologe: Sca

Beilagen:

- *Fotoaufnahmen*

Fotoaufnahmen Beobachtung vom 02.02.2006, Beobachtungsfenster Nr. 10



Bild 1: Oberfläche der Sickerpackung



Bild 2: Beobachtungsfenster ohne Sickerkies



Bild 3: Detail des Spezialstückes für die Entnahme von Wasserproben



Bild 4: Detail der Vertiefung für die Entnahme von Wasserproben

Anhang 3.1, Fotoaufnahmen der Befahrung der Drainageleitung vom 08.03.2006, Weströhre

[Lage der Fotoaufnahmen, siehe Beilage 1]



Bild 1: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 2: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 3: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt,
leichte Verkalkung unter den Schlitzen



Bild 4: Wassereintrittsstelle



Bild 5: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 6: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt

Anhang 3.2, Fotoaufnahme der Befahrung der Drainageleitung vom 08.03.2006, Weströhre

[Lage der Fotoaufnahmen, siehe Beilage 1]



Bild 7: Ende Befahrung, Einmündung in Gewölbedrainageschacht.



Bild 8: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 9: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 10: Trockener Leitungsabschnitt, dünne Kalkablagerungen auf der Rohrsohle



Bild 11: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 12: Lose „Blatt-Ablagerung“ unter Wasser

Anhang 3.3, Fotoaufnahme der Befahrung der Drainageleitung vom 08.03.2006, Weströhre

[Lage der Fotoaufnahmen, siehe Beilage 1]



Bild 13: Abflusshindernis aus harter Ablagerung mit Holzstück

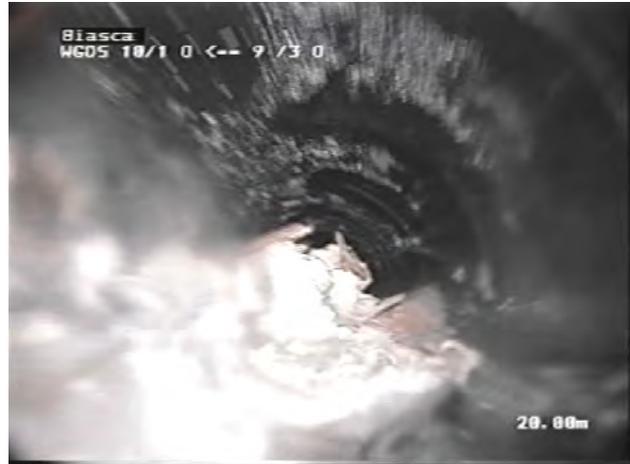


Bild 14: Weiche, dicke Kalkablagerung



Bild 15: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 16: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt

Anhang 4.1, Fotoaufnahmen der Befahrung der Drainageleitung vom 14.03.2006, Oströhre

[Lage der Fotoaufnahmen, siehe Beilage 2]



Bild 1: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 2: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 3: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 4: Dünne Ablagerungen auf der Rohrsohle



Bild 5: Verkalkung unter den Schlitzen



Bild 6: Zustand unter Wasser (aufgrund Stauung für Rückführungssystem)

Anhang 4.2, Fotoaufnahme der Befahrung der Drainageleitung vom 14.03.2006, Oströhre

[Lage der Fotoaufnahmen, siehe Beilage 2]



Bild 7: Leichte Verkalkung unter den Schlitzten



Bild 8: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 9: Allgemeinzustand Leitungsabschnitt



Bild 10: Betonreste auf der Rohrsohle mit Verkalkung der Rohrwände

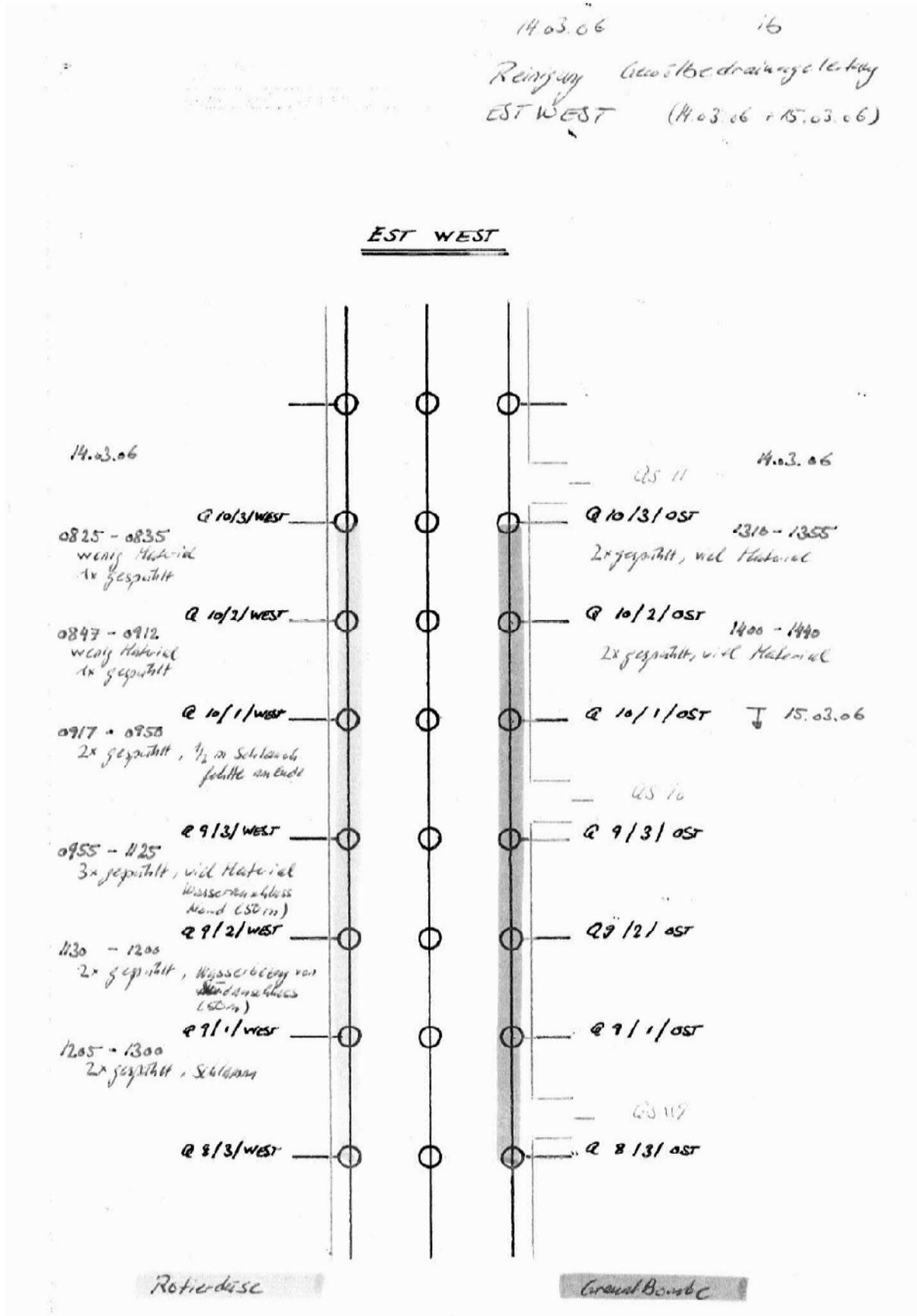


Bild 11: Mit Kalkablagerung abgedeckte Mörtelreste unter einem Schlitz



Bild 12: Ablagerungen unterhalb des Wasserspiegels

Anhang 5.1, Dokumentation Reinigungsprobe vom 14./15.03.2006



Anhang 5.2, Dokumentation Reinigungsprobe vom 14./15.03.2006

NOTTER[®]
KANALSERVICE

Ein Unternehmen der **ISS**-Gruppe

NOTTER KANALSERVICE AG

Wohlerstrasse 2
5623 Boswil

www.notterkanal.ch
www.iss.ch

UNTERHALT:

Tel: 056 678 80 00
Fax: 056 678 80 01

SANIERUNG:

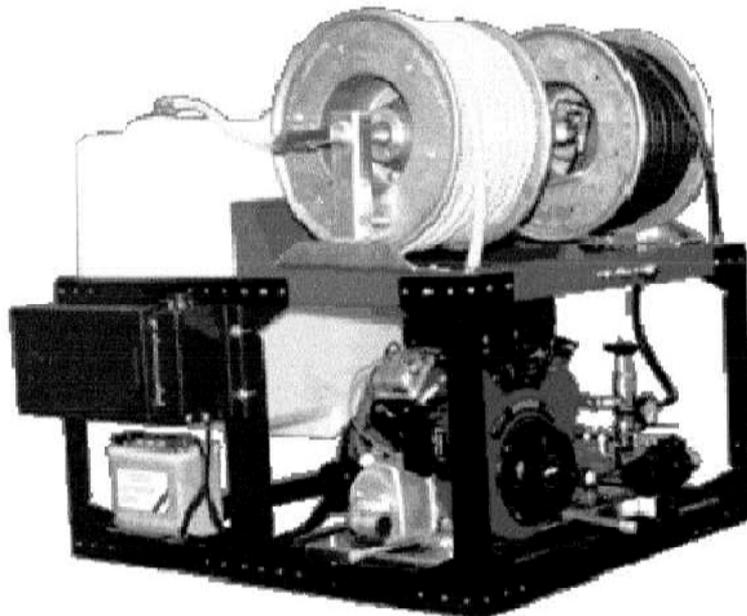
Tel: 056 678 90 90
Fax: 056 678 90 91

NOTTER[®]
KANALSERVICE

Ein Unternehmen der **ISS**-Gruppe

Hochdruck-Spüler HD 160/110 Proptec

0- 160 bar – 110l/min
EURO3/EURO4
800 Liter Tank
Schallgedämmt
100m ¾" Schlauch
800 Kg



Anhang 5.3, Dokumentation Reinigungsprobe vom 14./15.03.2006

Produkte/Rotierdüsen/HRH



HRH Halbradial-Rotierdüse nach hinten.

Die universelle Standard-Rotierdüse zum Ausspülen von Leitungen vor der TV-Untersuchung. Sie bietet gute Reinigungs- gepaart mit guten Spüleigenschaften. Weichwurzeln werden problemlos entfernt. Anwendung ø40-1000 mm, Dimension ø28-150 mm, Durchfluss 8-700 l/min.

Druck max. 280 bar



02.050A	1/2"
02.050B	3/4"
02.050AS	1/2"
02.050BS	3/4"

100-200mm

40 l/min

Rotation: 4xM6
 Schub: 3xM6 (nur AS,BS)

Ø50x100 mm
 1.10 kg

Produkte/Feste Düsen/Granat-Bomben



Granat-Bomben

Zur Beseitigung von losem Geröll, Schotter und Sealhäuten Geeignet auch zur Vorreinigung bei Kettenschleuder und Fräsarbeiten. Anwendung Ø70-1000mm, Dimension Ø48-108mm, Durchfluss 50-700 l/min.

Druck max. 280 bar



42.075 3/4"

ab 100mm

100 l/min

4xM10 @ 10°
 4xFanJet @ 30°
 Frontstrahl M10

Ø58x104mm
 1.45kg

enz golden jet®

Anhang 5.4, Dokumentation Reinigungsprobe vom 14./15.03.2006

Fotoaufnahmen der Befahrungen der Drainageleitung vom 08.03.06 bzw. 14./15.03.06 (vor bzw. nach der Reinigung), Weströhre.



Bild 1: EST West, Tm 3'120 ca., Seite Ost vor der Reinigung



Bild 2: EST West, Tm 3'120 ca., Seite Ost nach der Reinigung



Bild 3: EST West, Tm 2'996 ca., Seite Ost vor der Reinigung



Bild 4: EST West, Tm 2'996 ca., Seite Ost nach der Reinigung



Bild 5: EST West, Tm 3'042 ca., Seite West vor der Reinigung



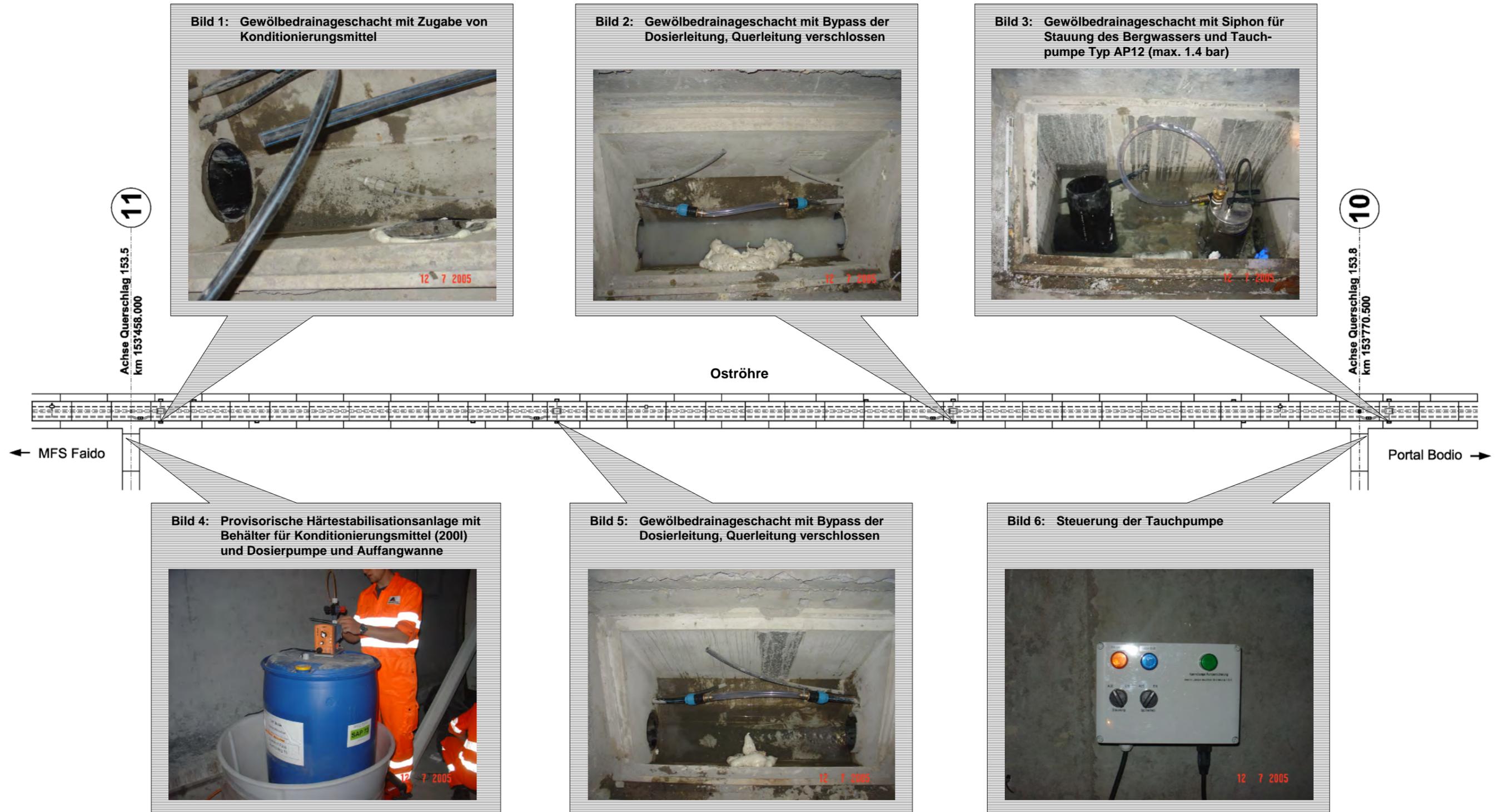
Bild 6: EST West, Tm 3'042 ca., Seite West nach der Reinigung

Anhang 6, Begehungen RFS, Dokumentation Büro M.C. Wegmüller GmbH

Inbetriebnahme/Kontrolle vom 13. Juli 2005
Kontrolle 14.12.2005
Kontrolle 01.03.2006
Kontrolle 20.04.2006

Härtestabilisationsanlage QS 11	Pumpeneinstellung	Hub. 100% Freq. 50% (ca. alle 12 Sec. ein Hub)	
	Verbrauch an Konditionierungsmittel	ca. 250 l / Jahr	
Tauchpumpe beim QS 10	Betriebsphase	bisher (13.7.05): 5 min.	neu 14.12.05: 1 min.
	Pause	25 min.	5 min.
	Intervalllänge	30 min.	6 min.
Syphonierung der Gewölbedrainage	Syphonhöhe	bis Ende 2005	25cm (QS10/11/12)
		1.3.2006:	25cm (QS 10+11) 20cm (QS 12)
Verschliessen der Querleitung	Verschliessen der Querleitung	QS 10 + QS 12	
Wassermengen in den Schlauchleitungen bei Betrieb der Tauchpumpe	Wassermengenmessung am 12./13. Juli 2005	QS 10 Pumpe QS 10 + 1/3 QS 10 + 2/3 QS 11 (Ende)	Q = 30-35 l/min Q = 24 l/min Q = 13 l/min Q = 1.4 l/min
	Wassermengenmessung am 15. Dezember 2005	QS 10 Pumpe QS 10 + 1/3 QS 10 + 2/3 QS 11 (Ende)	Q = 28-30 l/min Q = 25.5 l/min Q = 11 l/min Q = 1.6 l/min
	Wassermengenmessung am 1. März 2006	QS 10 Pumpe QS 10 + 1/3 QS 10 + 2/3 QS 11 (Ende)	Q = keine Messung Q = 18 l/min Q = 10 l/min Q = 0.5 l/min
	Wassermengenmessung am 20. April 2006	QS 10 Pumpe QS 10 + 1/3 QS 10 + 2/3 QS 11 (Ende)	Q = ungenaue Messung Q = 17 l/min Q = 8 l/min Q = 0.0 l/min
	Wassermengenmessung am 20. April 2006 neue Pumpe	QS 10 Pumpe QS 10 + 1/3 QS 10 + 2/3 QS 11 (Ende)	Q = 33-35l/min Q = 20-22l/min Q = 10-11l/min Q = 1.1 l/min
Kontrollfenster	Wassermenge aus der Dosieröffnung im Kontrollfenster am 12./13. Juli 2005	Q = 0.9 - 1 l/min (Bohrung Ø 3mm in den Schlauch)	

Anhang 7, Schema der eingebauten Anlagen für das Rückführungssystem



Anhang 8, Kontrollplan Anlagen Rückführungssystem

M.C. Wegmüller
 Ingenieurbüro

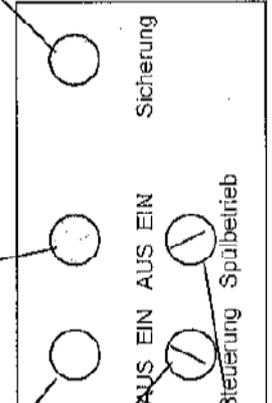
Erlensträsschen 79
 CH-4125 Riehen
 Nafel 079 66 55 905

Telefon 061 26 41 42
 Telefax 061 26 41 42

AlpTransit Los Bodio

Versuchsstrecke Härtestabilisation Rückführungssystem Kontrolle der Anlagen durch TAT

Periodischer Abstand der Kontrollen: 1 Monat

<p>Härtestabilisations- anlage Standort: QS 11</p>	<p>Kontrolle an der Dosierpumpe ob Strom vorhanden ist. (grüne LED leuchtet!) Ist die Pumpe in Betrieb? 1 Hub (Klopfen der Pumpe hörbar) ca. alle 12 Sekunden. Kontrolle der Tropfenbildung bei der Dosterstelle im Gewölbdrainageschacht. Zeitdauer von Tropf zu Tropf: ca. Sekunden. Kontrolle der Dosierleitung auf Leckstellen. Ist die Dosierleitung dicht?</p> <p>Falls <input checked="" type="checkbox"/> Nein, Begründung:.....</p>	<p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p>
<p>Steuerung (RFS) Rückführungssystem Standort: QS 10</p>	<p>Funktionskontrolle der Steuerung (gem. Skizze): Punkte 1-5 i.O. ?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="774 1321 893 1568" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>1. Im Betrieb muss Kontrolllampe gelb leuchten.</p> </div> <div data-bbox="774 1008 893 1254" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>3. Kontrolllampe leuchtet nur (blau) wenn die Tauchpumpe in Betrieb ist.</p> </div> <div data-bbox="774 728 893 974" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>2. Kontrolllampe für Sicherung muss dauernd grün leuchten!</p> </div> </div>  <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="933 1366 1053 1612" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>4. Schalterstellung: Steuerung muss auf EIN stehen.</p> </div> <div data-bbox="1061 1366 1181 1612" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>5. Schalterstellung: Spülbetrieb muss im Normalbetrieb auf AUS stehen.</p> </div> </div> <p>Falls <input checked="" type="checkbox"/> Nein, Begründung:.....</p>	<p>1. <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein 2. <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein 3. <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein 4. <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein 5. <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p>

<p>Gewölbedrainagen und Schächte QS 10 bis QS 12</p>	<p>Messen der Einstauhöhe in den Gewölbedrainageschächten bei QS 10, QS 11 und QS 12. QS10.....cm, QS11.....cm, QS12.....cm</p> <p>QS 10 - QS 12: optische Kontrolle der Gewölbedrainageschächten; Es dürfen keine Feinanteile, Ablagerungen und kein Schmutz vorhanden sein. Kontrolle der Verbindungsstücke der Schlauchleitungen in den Schächten zwischen QS 10 - QS 11 (2 Stk.) und der Endkappe beim QS 11. Sind die Kupplungen dicht?</p> <p>Falls <input checked="" type="checkbox"/> Nein, Begründung:.....</p>	<p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p>
<p>Schlauchleitungen (RFS) QS 10 bis QS 11</p>	<p>Bei Betrieb der Tauchpumpe in QS 10 muss am Ende der Schlauchleitung bei QS 11 (ohne Endkappe - Entfernen zur Kontrolle) ein Wasserfluss von 1-2 l/min zu beobachten sein. Endkappe danach wieder befestigen.</p> <p>Tauchpumpe im Schacht der Gewölbedrainage beim QS 10: Betriebsphase der Tauchpumpe: 5min Betrieb, 25 min Pause Lauff die Tauchpumpe während der Betriebsphase ohne Störung? (Wird Wasser abgepumpt?) Ist genügend Bergwasser im Schacht ? (Pumpe sollte nicht trocken laufen!)</p> <p>Falls <input checked="" type="checkbox"/> Nein, Begründung:.....</p>	<p><input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p>

Datum: Riehen, am 25. Juli 2005

M. C. Wegmüller Ingenieurbüro

Verteiler: - Bauleitung, Ingenieurbüro Lombardi AG, Casella postale 15, 6742 Pollegio; HH M. Walder, Zampieri (4 Expl.)
 - Consozio TAT, Tunnel AlpTransit-Ticino, Casella postale 5, 6742 Pollegio; HH J. Mielenz, H.Ch. Jünger (3. Expl.)

Anhang 9, Resultate Wasseranalyse Büro M.C. Wegmüller GmbH

Entnahme von Wasserproben

	pH-Wert	el. Leitfähigkeit	Gehalt an Härtestabilisator
		[μ S/cm]	[mg/l]
12.07.2005 vor der Inbetriebnahme des Rückführungssystem			
WP 1 QS 10	10.7	640	4.4
WP 2 QS 10 1/3	11.2	510	2.8
WP 3 QS 10 2/3	10.6	380	8.0
WP 4 QS 11	11.3	620	16.4
WP 5 QS 12	10.5	370	38.0
13.07.2005 nach der Inbetriebnahme des Rückführungssystem			
WP 6 QS 9 2/3	11.0	640	34.0
WP 7 QS 10	10.8	590	27.2
WP 8 QS 10 1/3	10.8	520	22.0
WP 9 QS 10 2/3	10.5	510	40.0
WP 10 QS 11	10.8	530	44.0
WP 11 QS 11 2/3	9.7	710	44.0

	pH-Wert	el. Leitfähigkeit	Gehalt an Härtestabilisator
		[μ S/cm]	[mg/l]
14.12.2005			
WP 12 QS 9 2/3	9.6	482	15
WP 13 QS 10	9.0	523	13
WP 14 QS 10 1/3	9.0	460	17
WP 15 QS 10 2/3	9.0	459	24
WP 16 QS 11	9.5	521	36
WP 17 QS 11 1/3	9.2	526	16
WP 18 QS 11 2/3	10.2	713	10
WP 19 QS 12	10.0	548	15

	pH-Wert	el. Leitfähigkeit	Gehalt an Härtestabilisator
		[μ S/cm]	[mg/l]
1.3.2006			
WP 20 QS 10	9.4	550	10.8
WP 21 QS 10 1/3	9.4	520	32
WP 22 QS 10 2/3	9.6	470	23.2
WP 23 QS 12	6.3	520	15.2