

**Bundesanstalt für Straßenwesen**

# **RI-BWD-TU**

## **Richtlinie für Bergwasserdränagesysteme von Straßentunneln**

**Ausgabe: Dezember 2007**

Aufgestellt: **Bundesanstalt für Straßenwesen**  
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau



Inhalt	Seite	Seite	
<b>1 Einleitung</b> .....	5	<b>Anlage 1:</b> Grundsystem der Dränage bei Straentunnelbauwerken .....	17
1.1 Allgemeines .....	5	<b>Anlage 2:</b> Kürzelsystem für Kamerabefahrungen von Straentunnelentwasserungen .....	23
1.2 Anwendungsbereich .....	5	<b>Anlage 3:</b> Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage .....	33
<b>2 Planung von Bergwasserdränagesystemen</b> .....	5	<b>Anlage 4:</b> Arbeitsblatt zur Inspektionsdokumentation .....	36
2.1 Untersuchungen in der Planungsphase .....	5	<b>Anlage 5:</b> Formblatt für Revisionsschachtprotokolle .....	38
2.2 Grundsystem .....	5	<b>Anlage 6:</b> Beispiele für Beobachtungs- und Übersichtsplan (Pläne A und B) .....	40
2.3 Aufgewertetes Grundsystem mit Umleitungskonstruktionen .....	6	<b>Anlage 7:</b> Zusammenfassung der Verantwortlichkeiten .....	43
2.3.1 Umleitungskonstruktionen .....	7		
2.3.2 Konstruktive Zusatzmaßnahmen .....	7		
2.4 Sonstige qualitätssichernde Maßnahmen .....	8		
<b>3 Ausführung von Bergwasserdränagesystemen</b> .....	8		
3.1 Hydrogeologische Dokumentation .....	8		
3.2 Untersuchungen des Dränagesystems .....	9		
3.2.1 Untersuchungen in den Revisionsschächten .....	9		
3.2.2 Kamerabefahrungen .....	9		
3.3 Datenaufbereitung .....	9		
3.4 Datenübergabe .....	10		
3.5 Soll-Ist -Vergleich .....	10		
3.6 Qualitätssicherung in der Bauphase .....	10		
3.6.1 Optimierung des Bauverfahrens .....	10		
3.6.2 Einbau der Komponenten .....	11		
3.7 Erstinspektion .....	11		
3.7.1 Kamerabefahrung .....	11		
3.7.2 Untersuchungen in den Revisionsschächten .....	12		
3.7.3 Datenauswertung und -Übergabe .....	12		
<b>4 Betrieb von Bergwasserdranage- systemen</b> .....	12		
4.1 Allgemeines .....	12		
4.2 Inspektion und Wartung .....	12		
4.2.1 Datenerfassung in den Revisions- schächten und Inspektionsintervalle .....	12		
4.2.2 Kamerabefahrungen und Inspektionsintervalle .....	13		
4.2.3 Spülverfahren .....	13		
4.2.4 Wartungspersonal .....	13		
4.3 Dokumentation und Auswertung .....	14		
4.4 Analyse der Versinterungsursachen .....	14		
4.5 Konstruktive Verbesserungsmaßnahmen .....	14		
<b>5 Literatur</b> .....	15		



# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeines

Der Bau und Betrieb von Straßentunneln mit Bergwasserdränagesystemen stellt eine wirtschaftliche und funktionssichere Lösung dar. Versinterungserscheinungen und damit Ablagerungen in den Dränageleitungen können jedoch einen Spülaufwand zum Entfernen der Ablagerungen erfordern, der einen nicht unerheblichen Teil der Wartungskosten ausmacht.

Diese Richtlinie gibt daher detaillierte Vorgaben, sowohl für die Planung und Ausführung als auch für den Betrieb von Bergwasserdränagesystemen von Straßentunneln, mit dem Ziel, die Instandhaltungs- und versinterungsbedingten Wartungskosten der Dränagesysteme zu reduzieren. Für die Planung und Ausführung zukünftiger Tunnelbauwerke wird dabei ein funktionssicheres und wartungsarmes Grundsystem als Mindeststandard vorgegeben, bei dem alle wasserfassenden und -ableitenden Einzelkomponenten eine möglichst geringe Versinterungsneigung und hohe Robustheit gegen mechanische Beschädigungen besitzen.

Aber auch für das Gesamtsystem werden konstruktive und betriebstechnische Verbesserungen sowie die Möglichkeit zur Anpassung an objektspezifische Gegebenheiten berücksichtigt. Für den wirtschaftlichen Betrieb zukünftiger und bestehender Tunnelbauwerke werden Vorgaben zur Wartung und Instandsetzung gegeben. Die entsprechenden Formblätter und Wartungsanweisungen sind in dieser Richtlinie enthalten. Die Verantwortlichkeiten sind in Anlage 7 zusammengefasst.

## 1.2 Anwendungsbereich

Tunnel in geschlossener Bauweise (bergmännische Bauweise) mit Bergwasserdränagesystem. Für Tunnel in offener Bauweise sind die Vorgaben dieser Richtlinie sinngemäß anzuwenden.

# 2 Planung von Bergwasserdränagesystemen

## 2.1 Untersuchungen in der Planungsphase

Für eine Abschätzung des Gefährdungspotenzials der Dränagesysteme für Versinterungen sind während der Planungsphase eines Tunnelprojektes im Rahmen der geotechnischen Untersuchungen nach DIN 4020 [1] chemische Wasseranalysen durchzuführen. Dabei sind bei jeder Wasseranalyse versinterungsrelevante Messgrößen mit einzu beziehen. Hierzu zählen insbesondere die Bestimmung

- des Kalkgehaltes mit verdünnter Salzsäure nach DIN EN ISO 14688-1/14689-1 [14/15],
- der Kalklösekapazität nach DIN 4030 [2] (Betonaggressivität),
- der Calcitsättigung nach DIN 38404-10 [10] sowie
- der Gesamthärte und der Carbonathärte.

Die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen sind hinsichtlich der Versinterungsproblematik zu interpretieren und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu dokumentieren. Die Durchführung und Auswertung dieser Untersuchungen soll durch den Sachverständigen für Geotechnik erfolgen, der mit der Erstellung des geotechnischen Berichts beauftragt ist.

## 2.2 Grundsystem

Es ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen einer Versinterungsgefahr

- durch ausgelöste Baustoffe aufgrund erhöhter Aggressivität des Bergwassers und
- durch natürliche Kalkvorkommen im Gebirge.

Das im Folgenden beschriebene Grundsystem stellt die Mindestanforderung an Tunneldränagesysteme dar. Diese Mindestanforderungen sind nur bei nicht vorhandener oder geringer prognostizierter Versinterungsgefahr ausreichend. Bei einer erhöhten Versinterungsgefährdung durch aggressives Bergwasser bzw. natürliche Kalkvorkommen sind planmäßig Umleitungskonstruktionen vorzusehen und einzelne Komponenten des Grundsystems aufzuwerten (siehe Kapitel 2.3).

Das Grundsystem besteht aus einem Dränagesystem mit zwei Ulmendränageleitungen und einer außermittig angeordneten, tiefer liegenden Sohl-dränageleitung (entsprechend RIZ-ING: T Was 10 [19]).

Das Grundsystem ist in Anlage 1 a exemplarisch für die Querschnittsform „offene Sohle“ dargestellt. Für andere Querschnittsformen wie „Sohlplatte“ und „Sohlgewölbe“ kommt grundsätzlich das gleiche Grundsystem zur Anwendung.

Die folgenden Mindestanforderungen bestehen für die wasserfassenden und -ableitenden Komponenten des Grundsystems:

### 1. Spritzbetonaußenschale

Auslaugarmer Spritzbeton nach ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 [18], d.h.

- Verwendung alkaliarmer Zemente und

- Verwendung alkalifreier Erstarrungsbeschleuniger. Das  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent des Beschleunigers muss unter 1,0 M.-%, bezogen auf den Beschleuniger, liegen.

Das Gesamt  $\text{Na}_2\text{O}$ -Äquivalent des Spritzbetons muss unter 1,5 M.-%, bezogen auf die Zementmasse, liegen.

## 2. Dränagerohre

- kreisrunde Teilsickerrohre mit einer Wassereintrittsfläche von mind.  $100 \text{ cm}^2/\text{m}$  über  $220^\circ$ ,
- Vollwandrohre aus PE oder PE-HD nach DIN 8074/8075 [5/6] bzw. DIN 19537-3 [9] oder aus PVC-U nach DIN 8061/8062 [3/4] bzw. DIN EN 1401-1 [11] oder aus PP-R nach DIN 8077/8078 [7/8] bzw. DIN EN 1852 [12],
- kein Recyclingmaterial,
- Durchmesser  $\geq \text{DN } 200$ ,
- Mindestwanddicke:
  - a.) Durchmesser-/Wanddicken-Verhältnis  $\text{SDR} \leq 26$  (entspricht einer Wandstärke von  $\geq 7,7 \text{ mm}$  für DN 200) oder alternativ
  - b.) Mindeststringsteifigkeit SN 8 nach ISO 9969 [16] (im ungeschlitzten Zustand),
- innen glatt und eben,
- Schlitzbreiten von 5 oder 6 mm,
- Rohrscheitel deutlich und dauerhaft gekennzeichnet,
- erforderliche Einstecktiefe, entsprechend der verwendeten Muffe, deutlich und dauerhaft gekennzeichnet,
- Verbindung der Rohre mit Doppelsteckmuffen oder alternativ mit Elektroschweißmuffen. Elektroschweißmuffen bzw. Verbindungsmittel müssen aus demselben Material wie die Dränagerohre bestehen. Bei Verwendung eines ungebundenen Filters sind zwingend Elektroschweißmuffen zu verwenden (siehe aufgewertetes Grundsystem Kapitel 2.3),
- ausreichender Widerstand der Rohre und Stoßverbindungen gegen Einwirkungen bei Hochdruckspülungen (mindestens bis zu einem Spüldruck von 120 bar an der Düse).

## 3. Filterkies

- Filterkies der Körnung 16/32, gewaschen, ohne Unterkorn,
- kein Kalkstein oder Dolomit,
- bei gebundenem Filterkies: Bindemittel 100 kg CEM III je  $\text{m}^3$  Filterbeton,
- Bei Verzicht auf ein Bindemittel ist die Einbaubarkeit und eine verstärkte Qualitätssicherung

nachzuweisen (siehe auch aufgewertetes Grundsystem Kapitel 2.3). Zusätzlich sind Elektroschweißmuffen für die Verbindung der Dränagerohre zu verwenden.

- Verwendung eines formgebenden und stabilisierenden Bauteils in Form eines Blech- oder Kunststoffwinkels als quasi-verlorene Schalung. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung eines ungebundenen Filters.

## 4. Flächendränage im Ringspalt

- Geotextile Schutzschicht (Filamentvlies) mit mindestens  $900 \text{ g/m}^2$  Flächengewicht und einer Transmissivität von mindestens  $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$  unter 20 kPa im Ringspalt,
- Zonen mit starkem Wasserzutritt sind zusätzlich mit Noppenbahnen oder Dränmatten aus Geoverbundstoffen (z.B. Monofilamente mit Filtervlies) zu versehen (Anordnung streifenförmig auf der Außenschale).

## 5. Revisionsschächte der Bergwasserdränage (Ulmendränage)

- Abstände der Revisionsschächte max. 70 m,
- Schachtabdeckung Klasse B 125, tagwasserdicht, verriegelbar, klappbar, aus nicht rostendem Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4571),
- Verschraubungen der Schachtabdeckungen sind ebenfalls in nicht rostendem Stahl (Werkstoff-Nr. 1.4571) auszuführen.

## 6. Sonstige Anforderungen

- Ausreichend großes und gleichmäßiges Gefälle der Haltungen (mind. 0,5%),
- geradlinige Verlegung der Haltungen zwischen den Revisionsschächten,
- Richtungsänderungen / Verziehungen (z.B. im Bereich von Nischen oder Pannenbuchten) sind mit Formstücken auszuführen,
- bei nicht ausreichender Ebenheit des Unterbetons sind die Dränagerohre auf einer durchgehenden Schicht aus Auflagermörtel oder Magerbeton (mind. 50 mm dick) zu betten,
- Verwendung eines Fertigteils für den Übergang Revisionsschacht-Dränagerohr,
- keine unzugänglichen T-Abzweige und Blindrohre verwenden,
- Absturzbauwerke sind zu vermeiden.

## 2.3 Aufgewertetes Grundsystem mit Umleitungskonstruktionen

Bei einer erhöhten prognostizierten Versinterungsgefährdung sollten Umleitungskonstruktionen gemäß Anlage 1 b bereits bei der Planung berücksichtigt werden und das unter Kapitel 2.2 beschriebene Grundsystem durch konstruktive Zusatzmaßnahmen aufgewertet werden. Die Entscheidung zur Ausführung eines aufgewerteten Grundsystems mit Umleitungskonstruktionen wird vom Planer in Abstimmung mit dem Sachverständigen für Geotechnik sowie dem Auftraggeber getroffen.

### 2.3.1 Umleitungskonstruktionen

Durch die planmäßige Anordnung von Umleitungskonstruktionen können später einzelne mit stark calcitabscheidenden Dränagewässern belastete Haltungen von weniger belasteten getrennt werden. Dadurch kann ein geringeres Versinterungsverhalten des Gesamtsystems erreicht werden. Außerdem kann, während des Betriebes, die Spülung der einzelnen Haltungen des Dränagesystems optimiert werden (siehe auch Kapitel 4.5). Die Umleitungskonstruktion besteht im Wesentlichen aus 2 Komponenten:

1. Querleitungen für einen planmäßigen Abschlag des Dränagewassers der Ulmen in die Sohldränage in jedem 2. Revisionsschacht der Ulmendränage.
2. Zusätzlicher Revisionsschacht in der Sohldränage, an den die Querleitungen angeschlossen werden. Der zusätzliche Revisionsschacht in der Sohldränage wird dabei als Schlammfang ausgebildet.

Zur Sicherstellung der vorgesehenen Funktionsweise der Umleitungskonstruktion ist die Beachtung folgender Anforderungen notwendig:

- Die Schachtabdeckung des zusätzlichen Sohldränageschachtes muss die Anforderungen der Klasse D 400 erfüllen sowie tagwasserdicht und verriegelbar ausgeführt werden.
- Das Schachtunterteil wird ohne Gerinne ausgebildet.
- Die Haupt- bzw. Längsentwässerungsleitung muss geschlossen durch den Schacht geführt werden.
- Die Sohldränageleitung soll auf beiden Seiten bündig mit der Innenkante des Fertigteil-schachtes abschließen.
- Der Einlauf der Querleitung muss sich auf gleicher Höhenkote mit der Sohldränageleitung befinden.

- Für die Querleitung ist ein Vollwandrohr aus PE, PE-HD, PP-R oder PVC-U mit einem Mindestdurchmesser von DN 200 zu verwenden.
- Die Querleitung muss für den späteren Anschluss einer Siphonkonstruktion mindestens 5 cm in den Fertigteil-schacht hineinragen.
- Der Anschluss der Querleitung im Ulmendränageschacht muss wasserdicht ausgeführt werden, um einen Aufstau zu ermöglichen.
- Die bedarfsweise Aktivierung der Umleitungskonstruktion erfolgt später durch die Absper-rung der Ulmendränageleitung kurz hinter dem Ulmendränageschacht (z.B. durch einen aufblasbaren Absperrteller). Nicht aktivierte Querleitungen sind im Schacht mit einem Deckel luftdicht zu verschließen. Die Siphonkonstruktion wird erst bei Aktivierung der entsprechenden Querleitung eingebaut.

Zeichnerische Darstellungen der planmäßigen Umleitungskonstruktion mit zusätzlichem Sohl-dränageschacht (exemplarisch für die Querschnittsform „offene Sohle“) befinden sich in Anlage 1 b.

### 2.3.2 Konstruktive Zusatzmaßnahmen

Zusätzlich zu den planmäßig vorzusehenden Umleitungskonstruktionen sollte das unter Kapitel 2.2 beschriebene Grundsystem durch konstruktive Zusatzmaßnahmen aufgewertet werden. Hier ist wiederum zu unterscheiden, ob die Versinterungsgefährdung der einzelnen wasserfassenden und -ableitenden Komponenten auf Grund der Auslaugung der durchsickerten Baustoffe oder infolge des natürlichen Kalkgehaltes des Bergwassers gegeben ist.

#### 2.3.2.1 Versinterungsgefahr auf Grund ausgelöster Baustoffe

Bei aggressivem Bergwasser, d.h. beim mäßig bis starkem chemischen Betonangriff des Bergwassers gemäß DIN 4030 [2], sind insbesondere die zementhaltigen Einzelkomponenten des Grundsystems anzupassen. Dabei kommt es darauf an, planmäßig möglichst wenig Kontakt des Bergwassers mit dem Baustoff zuzulassen. Daher sind die Wasserfassungen nach Möglichkeit direkt an der Ausbruchslaibung herzustellen.

#### 1. Spritzbetonaußenschale

- Punktuelle starke Wasserzutritte sind direkt an der Zutrittsstelle mit Hilfe von Bohrungen und Schläuchen zu fassen und direkt über die Schläuche in die Dränageleitung einzuleiten.
- Bei linienförmigen Wasserzutritten muss das Wasser durch Dränagerinnen gefasst und zum Dränagerrohr abgeleitet werden (nur bei standfestem Gebirge).

- Bei einem homogenen Grundwasserleiter mit konstantem Wasserzutritt ist eine großflächige Wasserfassung durch regelmäßig angeordnete Noppenbahnstreifen in der unteren Hälfte der Ulmen vorzusehen. Die Noppenbahnstreifen sind bei standfestem Gebirge direkt auf der Felsoberfläche anzuordnen. Am Fuß der Noppenbahn wird das Wasser dann mit Hilfe von Schläuchen durch die Spritzbetonschale hindurch in die Dränageleitung eingeleitet. Bei nicht standfestem Gebirge werden Bohrungen durch die Spritzbetonaußenschale erforderlich und die Noppenbahnen werden systematisch auf der Innenseite der Spritzbetonschale angeordnet.

## 2. Filter- und Tragschichten

- Einsatz eines Filterkörpers ohne Bindemittel,
- Verwendung von Elektroschweißmuffen für die Dränagerohrstöße.

### 2.3.2.2 Versinterungsgefahr auf Grund natürlicher Kalkübersättigung des Bergwassers

Um einem Verschluss der Fließwege vorzubeugen und eine ausreichende Wasserwegigkeit zu gewährleisten, sind die folgenden Komponenten des Grundsystems anzupassen:

#### 1. Flächendränage im Ringspalt

- Bei homogenem Grundwasserleiter mit konstantem, flächigem Wasserzutritt ist die Transmissivität der Flächendränage im Ringspalt in Abhängigkeit vom Gefährdungsgrad und Wasserandrang zu erhöhen: Es ist ein Verlust der Transmissivität von 50% bis 75% bei der Dimensionierung zu berücksichtigen. Hier können z.B. kombinierte Schutz- und Dränschichten als Flächendränage im Ringspalt eingesetzt werden.
- Bei inhomogenen Grundwasserleitern sind die Fließwege lokal durch zusätzlich im Ringspalt angeordnete Noppenbahnen oder Dränmatten aus Geoverbundstoffen (z.B. Monofilamente mit Filtervlies) zu gewährleisten. Die Dimensionierung ist in Abhängigkeit von dem zu erwartenden Wasserandrang zu wählen.

#### 2. Filter- und Tragschichten

- Einsatz eines Filterkörpers ohne Bindemittel,
- Verwendung von Elektroschweißmuffen für die Dränagerohrstöße.

## 2.4 Sonstige qualitätssichernde Maßnahmen

Für die **Ausschreibung** von Dränagesystemen für Tunnelbauwerke sollten die folgenden Anforderungen durch den Entwurfsplaner formuliert werden:

- Einsatz von fachlich ausreichend geschultem Personal und gegebenenfalls Verankerung dieser Forderung in den ergänzenden technischen Bedingungen des Vertrages.
- Vermeidung von Verschmutzungen in den Dränagerohren und Schachtbauwerken während der Bauphase durch Forderung des Verschlusses sämtlicher Öffnungen, mit dafür vorzusehenden Abdeckungen (z.B. Schachtabdeckungen und Kappen für Dränagerohre).
- Einhaltung der korrekten Lage und eines gleichmäßigen Gefälles der Dränageleitungen. Übergänge und Anschlussstellen der Dränageleitung sind versatzfrei herzustellen.
- Verhinderung möglicher Verschmutzungen oder Beschädigungen der Dränageleitungen nach dem Einbau.
- Feststellung des korrekten Einbaus mit Hilfe der in den ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 [18] geforderten Kamerabefahrung und Nachweis durch ein entsprechendes Abnahmeprotokoll. Hierbei ist das straßentunnelspezifische Kürzelsystem zur Erfassung von Schäden und Versinterungen (siehe Anlage 2) zu verwenden.

## 3 Ausführung von Bergwasserdränagesystemen

Während der Herstellung des Dränagesystems sind die in der Planungsphase verwendeten versinterungsrelevanten Kennwerte durch entsprechende Messgrößen zu überprüfen. Die Aufnahme der versinterungsrelevanten Messgrößen sollte bereits mit den Ausbrucharbeiten und der Fertigstellung der Außenschale beginnen. Die Erfassung der ausgewählten Messgrößen muss mit Hilfe geeigneter Instrumente und Verfahren erfolgen, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden.

### 3.1 Hydrogeologische Dokumentation

Als Grundlage für alle weiteren Untersuchungen und Maßnahmen sind die hydrogeologischen Untersuchungen aus der Planungsphase im Zuge des Vortriebs durch eine lückenlose Dokumentation der vorhandenen Wasserzutritte zu ergänzen. Die folgenden Parameter sind im Rahmen der ingenieur-geologischen Dokumentation durch den Auftraggeber zu messen und zu dokumentieren:

- genaue Lage der Zutrittsstellen von Bergwasser,
- Zutrittsmengen von Bergwasser,
- Betonaggressivität des Bergwassers nach DIN 4030 [2],
- Temperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit des Bergwassers.

Die genaue Lage und die zutretende Wassermenge sind dabei für jede Zutrittsstelle zu dokumentieren, die Betonaggressivität und alle weiteren Messwerte sind alle 50 m zu bestimmen. Der Calciumgehalt und die Gesamthärte sind dabei nur bei erhöhter Versinterungsgefährdung zusätzlich zu bestimmen. Die Dokumentation ist vor Einbau des Abdichtungs- und Dränagesystems nochmals zu aktualisieren.

Bei der Probeentnahme ist darauf zu achten, dass keine Verunreinigung durch Fremdstoffe die Analyseergebnisse verfälscht.

Zur Bestimmung der Betonaggressivität nach DIN 4030 [2] können beispielsweise fertig eingerichtete Reagenziensätze, sogenannte Kompaktlabors verwendet werden.

Temperatur, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit können mit Messgeräten sofort am Ort der Probeentnahme bestimmt werden. Bei den Messgeräten zur Ermittlung des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit ist darauf zu achten, dass diese die Temperaturen kompensieren können. Der Calciumgehalt und die Gesamthärte lassen sich z.B. mit vorbereiteten Testsätzen über Titration bestimmen.

### 3.2 Untersuchungen des Dränagesystems

Das Versinterungsverhalten und der Zustand des Dränagesystems einschließlich der Revisions-schächte ist möglichst frühzeitig zu ermitteln, um eventuell erforderliche Systemverbesserungen noch vor der Verkehrsfreigabe des Tunnels durchführen zu können. Dabei ist das Versinterungsverhalten mit Hilfe von Wasseranalysen, Begutachtungen der Revisions-schächte und ggf. auch Kamerabefahrungen zu dokumentieren.

#### 3.2.1 Untersuchungen in den Revisions-schächten

In allen Revisions-schächten sind die folgenden Daten zu erfassen und zu beurteilen:

1. Wasserstandshöhe (in cm)
2. Versinterungshöhe (in cm)
3. Strömungszustand (strömend, fließend, stehend)

4. Wassertemperatur (in ° Celsius)
5. pH-Wert des Wassers
6. Elektrische Leitfähigkeit (in  $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Diese Untersuchungen sind jeweils direkt nach Fertigstellung der entsprechenden Abschnitte des Dränagesystems und danach halbjährlich bis zur Abnahme durch den Auftraggeber durchzuführen. Kurz vor Verkehrsfreigabe des Tunnels sind dann im Rahmen der Erstinspektion (siehe Kapitel 3.7) nochmals Untersuchungen in allen Schächten durchzuführen.

Bei den Datenerfassungen in den Revisions-schächten ist darauf zu achten, dass die Untersuchungsergebnisse nicht durch die Einleitung von Fremdwässern oder anderweitigen Fremdstoffen in das Dränagesystem verfälscht werden.

Im Falle sichtbarer Versinterungen, sonstiger Inkrustationen oder untypischer Besonderheiten, sind darüber hinaus fotografische Aufnahmen des jeweiligen Revisions-schachtes zu erstellen.

Zur einheitlichen Dokumentation sind die vor Ort gemessenen Werte in ein Formblatt (siehe Anlage 4) einzutragen. Die etwaig erstellten Fotografien und sämtliche Werte sind dann blockweise zu einem Revisions-schachtprotokoll (siehe Anlage 5) zusammenzufassen.

#### 3.2.2 Kamerabefahrungen

Bei unerwartet großen Versinterungen des Dränagesystems, die bereits während der Ausführung auftreten, sind die betroffenen Haltungen mit Kamerabefahrungen zu untersuchen. Mit Hilfe der Ergebnisse aus diesen Kamerabefahrungen können dann Abschnitte festgelegt werden, in denen nachträglich Umleitungskonstruktionen vorgesehen werden sollten bzw. in denen die planmäßig vorhandenen Umleitungskonstruktionen aktiviert werden können. Diese Kontrollbefahrungen sind unabhängig von den nach ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 [18] durchzuführenden zusammenhängenden Kamerabefahrungen im Zuge der Abnahme des gesamten Dränagesystems (siehe Kapitel 3.7) vorzusehen. Die Kamerabefahrungen sind durch den Auftraggeber zu beauftragen.

Die Anforderungen an die Kamera sowie die Dokumentation und Auswertung der Ergebnisse der Kamerabefahrungen sind in Kapitel 3.7 beschrieben.

### 3.3 Datenaufbereitung

Die Datenaufbereitung und –auswertung wird vom Auftraggeber durchgeführt bzw. beauftragt.

### Revisionsschächte

Anhand der Revisionsschachtprotokolle ist ein Beobachtungsplan (Plan A) mit den Parametern

- Wasserstand,
- Versinterungshöhe,
- Wassertemperatur,
- pH-Wert,
- elektrische Leitfähigkeit und
- Wasserzutritte / Geologische Beobachtungen während des Vortriebs

über den Verlauf der Dränageleitungen aufzustellen (siehe Beispiel in Anlage 6). Anhand des Versinterungsverhaltens, der Wasserführung sowie den Verläufen der Wassertemperatur, des pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit lassen sich Bereiche mit starken Versinterungen und signifikanten Änderungen lokalisieren.

### Kamerabefahrungen

Bei Vorliegen von Versinterungen und Schäden sind die einzelnen Befundblätter und digitalisierten Videoaufnahmen der Kamerabefahrungen in einem Übersichtsplan (Plan B) mit den Parametern:

- Versinterungen Schlitzte,
- Versinterungen Rohrsohle,
- Wasserzutritte und
- Schäden

zusammenzufassen (siehe Beispiel in Anlage 6).

### Datenauswertung

Mit Hilfe der Informationen aus den Plänen A und B lassen sich einerseits eventuell mögliche Verbesserungen erkennen. Andererseits liefern die Pläne bereits erste Erkenntnisse über den Zustand des Entwässerungssystems und die Versinterungsneigung. Die Pläne A und B sind anhand der im Zuge der Ausführung gesammelten Daten so früh wie möglich, spätestens im Zusammenhang mit der Erstinspektion (siehe Kapitel 3.7) zu erstellen. Der nur im Fall von Versinterungen zu erstellende Plan B wird in der Regel erst nach erfolgter Kamerabefahrung des gesamten Dränagesystems im Rahmen der Erstinspektion erstellt.

## **3.4 Datenübergabe**

Alle Daten der durchgeführten Untersuchungen aus der Erstinspektion des Dränagesystems (Revisionsschachtprotokolle, Befundblätter der Kamerabefahrungen, etc.) sind durch den Auftragnehmer nach der Erstinspektion, zusammenzustellen und an die örtliche Bauüberwachung zu übergeben. Alle Daten werden, zusammen mit den im Auftrag

des Auftraggebers angefertigten Plänen A und B nach Kapitel 3.3, umgehend durch die örtliche Bauüberwachung an den späteren Betreiber des Bauwerks übergeben. So kann ggf. noch während der Ausführungsphase der Einbau von konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen (z.B. nachträglich eingebaute Umleitungsstrukturen) vom Auftraggeber bzw. Betreiber veranlasst werden. Später können die Erkenntnisse aus der Bauphase zur Optimierung des Wartungskonzepts für die Betriebsphase genutzt werden. Die Pläne sind nach jeder Inspektion weiter fortzuschreiben (siehe Kapitel 4.3).

## **3.5 Soll-Ist-Vergleich**

Die Ergebnisse der im Zuge der Ausführung durchgeführten Untersuchungen liefern Aufschlüsse über das tatsächlich vorhandene Versinterungsrisiko des Dränagesystems. Auch bei einem vorwiegend sehr kleinen Versinterungsrisiko soll das Grundsystem (siehe Kapitel 2.2) als Minimalkonfiguration verbleiben. Eine Veränderung soll also nur in Richtung erhöhter Maßnahmen erfolgen. Bei erhöhtem Versinterungsrisiko sind, soweit nicht schon in der Planung vorgesehen, das Grundsystem während der Ausführungsphase durch den Auftraggeber aufzuwerten und Umleitungsstrukturen vorzusehen (Aufgewertetes Grundsystem mit Umleitungsstruktur: siehe Kapitel 2.3).

## **3.6 Qualitätssicherung in der Bau-phase**

Die Maßnahmen zur Qualitätssicherung während der Bauausführung lassen sich unterteilen in

- Optimierung des Bauverfahrens und
- Aspekte der Überwachung (Eigen- und Fremdüberwachung) bei der Ausführung.

### **3.6.1 Optimierung des Bauverfahrens**

Zur Optimierung des Bauverfahrens wird empfohlen, die folgenden Punkte zu berücksichtigen:

- Positionierung der Teilsickerrohre auf fester und ebener Unterlage (Unterbeton bzw. Magerbeton/Auflagermörtel, der bis an die Sickerschlitzte des Dränagerohres heranreicht).
- Die Richtungs- und Lagegenauigkeit der Dränageleitungen ist zu gewährleisten.
- Eine haltungsweise Verlegung der Dränageleitungen (also in der Taktung ‚Revisionsschacht-Haltung-Revisionsschacht-Haltung‘ etc.). Die gesamte Distanz zwischen zwei Schächten soll dabei möglichst in einem Arbeitsgang erstellt werden. Es ist zu vermeiden, halb fertig gestellte Dränagen direkt mit dem Filterkies zu überdecken. Durch dieses Vorgehen werden

- Lage- und Sohlungenauigkeiten, Leitungssackungen und Sprünge an den Anschlussstellen und Rohrstößen vermieden.
- Überdeckung der einzelnen Teilabschnitte (Haltungen) mit Filterkies, unmittelbar nach ihrer Fertigstellung.
  - Der Einbau der Dränagen soll der Erstellung der Bankette (bei Ulmendränagen) bzw. dem Einbau des Straßenoberbaus (bei Sohldränagen) nur maximal eine Haltungslänge (s.o.) vorausseilen. Bei Stagnation des Baufortschritts auf Grund äußerer Zwänge ist der Schutz der verlegten Dränagerohre durch geeignete Sicherungsmaßnahmen zu gewährleisten.
  - Einbau der Dränagen - wenn möglich - mit der Fließrichtung des Wassers: Eine Verlegung in Gefällerrichtung führt dazu, dass die fertig gestellten Dränageabschnitte ihre eigentliche Funktion direkt erfüllen. Ist eine solche Orientierung in Folge der Vortriebsrichtung oder verfahrenstechnischer Zwänge nicht möglich, so muss das Dränagerohr nach Verlegung durch geeignete Maßnahmen (z.B. Verschlusskappen oder Abdeckungen) vor der Verschmutzung durch einströmende und verunreinigte Wasser geschützt werden.

### 3.6.2 Einbau der Komponenten

Bei der ggf. erforderlichen Erstellung des Rohrauf-lagers (z.B. bei nicht ausreichend ebenen Unterbeton) ist zu beachten, dass

- die Rohre über ihre gesamte Länge vollständig auf Magerbeton/Auflagermörtel gebettet sind,
- die Schlitzte von Teilsickerrohren nicht durch die Bettung verstopft werden.

Die Anschlüsse an Revisionsschächte und alle Rohrstöße sind passgenau und möglichst Überganglos auszuführen:

- müssen die Dränagerohre geschnitten werden, ist der Schnitt gerade, sauber und ordentlich auszuführen. Die Kanten sind zu entgraten,
- Knicke in den Anschlüssen sind zu vermeiden,
- die erforderliche Einstecktiefe der Rohre in die Muffen muss eingehalten werden und ist durch die Bauüberwachung stichprobenartig zu prüfen,
- Muffenspalt in den Anschlüssen sind zu vermeiden,
- es ist darauf zu achten, dass nur in Größe und Form passende Systemrohre verwendet werden,
- erforderliche Biegungen und Knicke mit den passenden Formstücken hergestellt werden,

- Sohlunebenheiten, Gefälleungenauigkeiten sowie Höhenunterschiede und Winkel in den Anschlüssen vermieden werden,
- der Filterkies so eingebracht und verdichtet wird, dass die Dränagerohre nicht beschädigt oder in ihrer Position verändert werden.

Fertig gestellte Dränageabschnitte dürfen nicht verschmutzt werden. Zur Gewährleistung dieser Forderung sind folgende Punkte zu beachten:

- offene Rohrenden sind mit Kappen zu verschließen,
- Schächte sind mit den dafür vorgesehenen Abdeckungen zu verschließen,
- Auslaufenden sollten nicht verschlossen werden, da sich ansonsten die Bergwässer in der Dränage anstauen. Ausnahmen sollen dann getroffen werden, wenn nur mit geringem Wasserandrang, jedoch mit erheblichen Verschmutzungen zu rechnen ist.

## 3.7 Erstinspektion

Im Rahmen der Erstinspektion sind nach kompletter Fertigstellung des Dränagesystems und vor Inbetriebnahme des Tunnelbauwerks sämtliche versinterungsrelevanten Daten des Dränagesystems durch den Auftragnehmer zusammenhängend zu erfassen. Dazu gehören insbesondere die im Folgenden beschriebene Kamerabefahrung des gesamten Dränagesystems sowie die Untersuchungen in den Revisionsschächten. Der Auftraggeber ist rechtzeitig über die Durchführung der Erstinspektion zu unterrichten.

Die Ergebnisse der Erstinspektion müssen im Rahmen der Bauwerksprüfung nach RI-EBW-PRÜF [20] in den Prüfbericht zur ersten Hauptprüfung (H1) vor der Abnahme einfließen.

### 3.7.1 Kamerabefahrung

Nach kompletter Fertigstellung des Dränagesystems und der Betonage der Bankette sind sämtliche Haltungen mit der nach ZTV-ING, Teil 5, Abschnitt 1 [18] geforderten zusammenhängenden Kamerabefahrung zu untersuchen. Vor Durchführung der Kamerabefahrung ist das gesamte Dränagesystem, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, zu spülen.

Die Kamera zur Durchführung der Untersuchung muss mindestens Aufnahmen in Farbe erzeugen und mit einem schwenkbaren Kopf ausgerüstet sein, damit die Rohrwandung direkt inspiziert werden kann.

Zur weiteren Auswertung sind die Ergebnisse der Kamerabefahrung (Videoaufnahmen und Protokolle) mit Hilfe des straßentunnelspezifischen Kürzel-

systems (siehe Anlage 2) haltungsweise in Befundblättern (siehe Anlage 3) zu dokumentieren und eventuell vorhandene Schadstellen und Versinterungserscheinungen zu bewerten. Zusätzlich ist alle 5 m und bei Auffälligkeiten in noch geringem Abstand, eine Digitalisierung der Videoaufnahmen durchzuführen.

Die Klassifizierung von Schäden und Versinterungen kann durch die mit der Kamerabefahrung beauftragte Firma erfolgen, da das neue straßentunnelspezifische Kürzelsystem auf dem bereits im Abwasserbereich existierenden System nach ATV-M 143-2 [17] und DIN EN 13508-2 [13] aufbaut und daher hinsichtlich der Schadensklassifikation für diese Firmen größtenteils bekannt ist.

Der ordnungsgemäße Einbau des Dränagesystems ist mit einem Abnahmeprotokoll zu dokumentieren.

Bei vorhandenen Versinterungen sind die in den Befundblättern haltungsweise vorliegenden Versinterungsdaten in einem Übersichtsplan (Plan B), wie in Kapitel 3.3 beschrieben, zusammenzufassen.

### 3.7.2 Untersuchungen in den Revisions-schächten

In allen Revisions-schächten sind die versinterungsrelevanten Daten, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, zu erfassen.

### 3.7.3 Datenauswertung und -übergabe

Die erfassten Daten sind, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, mit Hilfe von Beobachtungs- und ggf. auch Übersichtsplänen auszuwerten und zu interpretieren. Die Erstellung des Beobachtungsplans (Plan A) und ggf. des optionalen Übersichtsplans (Plan B) sowie deren Auswertung und Interpretation ist durch den Auftraggeber durchzuführen bzw. zu beauftragen. Die Ergebnisse der Erstinspektion (Pläne A und B sowie deren Auswertung, Revisions-schachtprotokolle, Befundblätter der Kamerabefahrungen, etc.) sind, wie in Kapitel 3.4 beschrieben, an den späteren Betreiber des Tunnels zu übergeben.

## 4 Betrieb von Bergwasser-dränagesystemen

### 4.1 Allgemeines

Die Inspektionen und Wartungen der Entwässerungssysteme neuer und bestehender Straßentunnel sollen nach einheitlichen Wartungsrichtlinien erfolgen. Die Vorgehensweise wird in den folgenden Kapiteln beschrieben. Objektspezifische Randbedingungen sind ggf. zusätzlich zu berücksichtigen.

Je nach Versinterungsverhalten des Dränagesystems sind konstruktive Verbesserungsmaßnahmen, soweit nicht bereits planmäßig vorgesehen (siehe Kapitel 2.3), noch vor Fertigstellung des Tunnelbauwerks durchzuführen. Bei starker Versinterungsproblematik bestehender Straßentunnel sind ggf. auch nachträglich konstruktive Verbesserungsmaßnahmen (z.B. Umleitungskonstruktionen und zusätzliche Sohlschächte, siehe Kapitel 4.5) einzubauen.

Die Ergebnisse der Inspektion des Bergwasserdränagesystems sind im Rahmen der regelmäßigen Bauwerksprüfung der Tunnelbauwerke nach RI-EBW-PRÜF [20] zu berücksichtigen.

## 4.2 Inspektion und Wartung

Die Beauftragung bzw. Durchführung der notwendigen Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten erfolgt durch die für den Tunnelbetrieb zuständige Behörde (Betreiber des Tunnels).

Zur Ermittlung des Versinterungsverhaltens müssen, wie auch schon im Zuge der Herstellung des Dränagesystems geschehen (siehe Kapitel 3.2 und 3.7), regelmäßig Untersuchungen in den Revisions-schächten und Kamerabefahrungen in den Halungen durchgeführt werden. Diese Inspektion des Dränagesystems sollte, wenn möglich, unmittelbar vor oder zusammen mit einer turnusmäßigen Wartung durchgeführt werden.

### 4.2.1 Datenerfassung in den Revisions-schächten und Inspektionsintervalle

Im Zuge der regelmäßigen Wartungsarbeiten sind durch das Wartungspersonal in den Revisions-schächten Daten im Umfang, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, zu erfassen. Bei starken Versinterungen sind im Zuge einer Datenverdichtung zusätzlich

- die Gesamthärte (in °d) und
- der Calciumgehalt (in mg/l)

zu bestimmen. Die gemessenen Daten sind in das „Arbeitsblatt zur Inspektionsdokumentation“ (Anlage 4) einzutragen. Im Falle sichtbarer Versinterungen, sonstiger Inkrustationen oder untypischer Besonderheiten, sind darüber hinaus fotografische Aufnahmen des jeweiligen Revisions-schachtes zu erstellen.

Aus den ausgefüllten Arbeitsblättern und den Photographien sind blockweise Revisions-schachtprotokolle zu erstellen. Ein Formblatt für ein solches Protokoll befindet sich in Anlage 5.

Die Inspektionsfrequenz der Schächte muss hierbei halbjährlich sein, kann aber, im Falle stärkerer oder schwächerer Versinterungen oder sonstiger Schädigungen, durch die für den Tunnelbetrieb

zuständige Behörde der jeweiligen Situation angepasst werden. Hierbei ist anhand einer Analyse der Wirtschaftlichkeit ein angemessener Kompromiss zwischen Aufwand und Nutzen der Maßnahme anzustreben. Eine Inspektion der Schächte ist aber mindestens alle 3 bis 6 Jahre durchzuführen. Sollten Kamerabefahrungen durchgeführt werden, sind in diesem Zusammenhang auch Datenerfassungen in den Revisionsschächten durchzuführen.

#### 4.2.2 Kamerabefahrungen und Inspektionsintervalle

Sollten bei den regelmäßigen Inspektionen der Revisionsschächte Versinterungen festgestellt werden, so ist der Zustand des Dränagesystems zwischen den entsprechenden Revisionsschächten mit Hilfe einer Kamerabefahrung zu ermitteln und mit Videoaufnahmen zu dokumentieren. Anhand der Aufzeichnungen lassen sich Rückschlüsse über die genaue Position und Intensität von einzelnen Wasserzutritten und Versinterungen ziehen. Außerdem können eventuell vorhandene Schäden festgestellt und genau lokalisiert werden.

Nach jeder Kamerabefahrung sind die entsprechenden Haltungen, analog zu den Vorgaben in Kapitel 4.2.3, zu spülen. Bei starken Versinterungen empfiehlt es sich, den Spülerfolg durch eine nochmalige Kamerabefahrung zu kontrollieren.

Bei Vorliegen von Versinterungen ist spätestens drei Jahre nach Beginn des Betriebes des Tunnelbauwerkes eine Kamerabefahrung der versinterten Haltungen des Dränagesystems durchzuführen. Die Festlegung des Zeitpunktes erfolgt durch die für den Tunnelbetrieb zuständige Behörde. Die Ergebnisse der Kamerabefahrung sind mit der Erstinspektion im Rahmen der Abnahme des Dränagesystems während der Bauausführung (siehe Kapitel 3.7) zu vergleichen. Die Anforderungen an die einzusetzende Kamera sind ebenfalls in Kapitel 3.7 beschrieben.

Sollte im Rahmen der Datensichtung und Auswertung eine zusätzliche partielle Befahrung des Systems für nötig befunden werden, z.B. um die Entwicklung von Abschnitten mit starker Versinterung oder um Schadensbilder genauer zu erfassen und ihre langfristige Entwicklung zu dokumentieren, kann das 3-jährige Inspektionsintervall durch die für den Tunnelbetrieb zuständige Behörde jederzeit verkürzt werden. Da Kamerabefahrungen jedoch prinzipiell kostenintensiv sind, sind aus wirtschaftlichen Gründen explizit nur die versinterten Haltungen zu befahren. Sollte langfristig eine Stagnation der Versinterung einsetzen und Schädigungen am Dränagesystem ausbleiben, empfiehlt sich eine Verlängerung des 3-jährigen Intervalls für die Regelinspektionen, jedoch auf nicht mehr als 6 Jahre. Sollten bei den regelmäßigen In-

spektionen der Revisionsschächte keine Versinterungen festgestellt werden, kann aus wirtschaftlichen Gründen auf die Kamerabefahrungen verzichtet werden.

Die Auswertung der Bilder der Befahrungen ist mit Hilfe des in Anlage 2 dargestellten Kürzelsystems in einem Befundblatt (siehe Anlage 3) zu dokumentieren. Eventuell vorhandene Schadstellen und Versinterungserscheinungen sind zu bewerten. Diese Auswertungen und Dokumentationen sind jeweils durch die beauftragte Kanalkamerafirma vorzunehmen. Die richtige Bezeichnung von Versinterungen in Abhängigkeit von ihrem Volumen und die Klassifizierung von Schäden als versinterungsbegünstigend oder versinterungsneutral, bedarf dabei einer Erläuterung durch das Betriebspersonal.

#### 4.2.3 Spülverfahren

Die Spülung der Dränageleitungen darf grundsätzlich nur in Fließrichtung des Dränagewassers erfolgen. Der Spüldruck ist dabei dem Rohrmaterial anzupassen. Die entsprechenden Herstellerangaben sind zu beachten. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Beschädigungsneigung des Rohres auch vom Grad der Verschmutzung bzw. der Art der Ablagerung abhängen kann. Auf die Verwendung von Ketten oder Klopfdüsen ist generell zu verzichten, es sei denn, eine Reinigung ist bei Verzicht auf diese Verfahren nicht zu gewährleisten. Die maximale Spüldistanz ist auf 2 Haltungen zu begrenzen, so dass der Spüldruck in Folge der großen Distanzen einen angemessenen Wert nicht unterschreitet.

Falls keine anderweitigen Vorgaben oder Erkenntnisse vorliegen, sollte der Spüldruck allgemein auf maximal 100 bar am Spülkopf begrenzt bleiben.

Das gelöste Sintermaterial darf nicht durch das gesamte Dränagesystem bis zum Portal gespült werden, sondern muss direkt, oder in der nächsten Haltung abgepumpt werden (Saug-Spül-Kombination). Bei eingebauten Umleitungskonstruktionen erleichtern die zusätzlichen Revisionschächte diese abschnittsweise Spülung des Dränagesystems.

#### 4.2.4 Wartungspersonal

Für die Durchführung von Inspektions-, Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten sowie für die Kamerabefahrungen ist qualifiziertes Personal, welches im Umgang mit den eingesetzten Geräten vertraut ist, einzusetzen. Das eingesetzte Personal ist hinsichtlich der Begrifflichkeiten versinterungsneutraler und relevanter Schädigungen und in die Versinterungserfassung mit Hilfe des Kürzelsystems für die Beschreibung und Klassifizierung von Versinterungsschäden und mechanischer Schädigungen

durch die für den Tunnelbetrieb zuständige Behörde einzuweisen.

### 4.3 Dokumentation und Auswertung

Nach Abschluss eines jeden Wartungszyklus sind sämtliche erfassten Daten in Form der Befundblätter und/oder der Arbeitsblätter zu sammeln, die Ergebnisse der Proben einzuholen und mit Hilfe der Revisionsschachtprotokolle von der für den Tunnelbetrieb zuständigen Behörde in die Beobachtungspläne und nach Durchführung von Kamerabefahrungen auch in die Übersichtspläne (Pläne A und B, siehe Kapitel 3.3 sowie Beispiele in Anlage 6) zu überführen. Für eine übersichtliche Darstellung der Untersuchungsergebnisse sind dabei die Daten in jeweils separate Beobachtungs- bzw. Übersichtspläne zu den Untersuchungen in den Revisionsschächten und den Kamerabefahrungen aufzubereiten. Zusätzlich ist dabei zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse der Revisionsschachtanalysen natürlich nur lokale Ergebnisse liefern. Daher können die Ergebnisse zwischen zwei Schächten linear interpoliert werden.

Anhand der Beobachtungs- und Übersichtspläne lassen sich ursächliche Zusammenhänge und kritische Bereiche erkennen. In Abstimmung mit der beauftragten Spülfirma ist ggf. ein detaillierter Spülplan zur punktuellen Entfernung von lokalen Versinterungen zu erstellen. Außerdem bilden die so gewonnenen Erkenntnisse die Entscheidungsgrundlage dafür, ob weitere Maßnahmen zur Optimierung des Dränagesystems notwendig und möglich sind. Konstruktive Verbesserungsmaßnahmen wie z.B. Umleitungskonstruktionen sind im Kapitel 4.5 beschrieben.

Die Beobachtungs- und Übersichtspläne sowie alle Arbeitsblätter, Befundblätter und Protokolle sind durch die für den Tunnelbetrieb zuständige Behörde zu archivieren.

### 4.4 Analyse der Versinterungsursachen

Bei der Analyse des versinterungsbedingten Wartungsaufwandes durch die für den Tunnelbetrieb zuständige Behörde sind neben den eigentlichen Spülkosten auch die Entwicklungen des Aufwandes bzw. der Versinterungsneigung zu berücksichtigen. Dabei sollte möglichst ein Vergleich von Wasserwerten über einen Zeitraum von mehreren Jahren durchgeführt werden. Die vorhandenen Wasseranalysen aus der Bauzeit bilden dabei die Vergleichsbasis für eine Analyse der Versinterungsursachen. Daher ist es notwendig, die folgenden versinterungsrelevanten Sachverhalte aus der Bauzeit zu recherchieren:

- die geologische Situation während des Vortriebs wie z.B. Störzonen, Wasserzutritte etc.,

- die Zusammensetzung bzw. Rezeptur der verwendeten Baustoffe wie z.B. Spritzbeton und Filterschicht und
- besondere Vorkommnisse während des Vortriebs, wie z.B. Mehrausbruch, Umstellung von verwendeten Materialien etc..

Diese Aufzeichnungen müssen dann mit dem Versinterungsverhalten in Zusammenhang gebracht werden, um daraus Rückschlüsse auf die Versinterungsursachen ziehen zu können.

Zur Beurteilung der Aufwandsentwicklung und der Versinterungstendenzen sollte ebenfalls das Spülpersonal befragt werden. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse ist dann eine Kosten/Nutzen-Abschätzung durchzuführen und eine Entscheidung zu treffen, ob konstruktive Verbesserungsmaßnahmen (siehe folgendes Kapitel 4.5) wirtschaftlich sinnvoll sind.

### 4.5 Konstruktive Verbesserungsmaßnahmen

Je nach Ergebnis der Wartung und Inspektionen sowie der Bewertung des Versinterungsverhaltens sind ggf. konstruktive Verbesserungsmaßnahmen am Dränagesystem vorzunehmen, um den versinterungsbedingten Wartungsaufwand zu reduzieren. So kann beispielsweise durch eine nachträgliche Anordnung von Querleitungen von den Ulmen zur Sohldränageleitung eine Trennung von Haltungen mit stark calcitabscheidenden Wässern von denen mit geringer Belastung erreicht werden. Durch diese nachträglich angeordneten Umleitungskonstruktionen lässt sich der Wartungsaufwand über den Betriebszeitraum der Tunneldränage z. T. deutlich reduzieren. Voraussetzung dafür sind geeignete hydrogeologische und hydrochemische Verhältnisse am Tunnelbauwerk.

Durch die Unterteilung der Dränagestränge, die sich aus dem Einbau der Umleitungskonstruktionen ergibt, lassen sich zudem einzelne Abschnitte bzw. Haltungen in unterschiedlichen Intervallen spülen, wodurch eine zusätzliche Reduzierung des Wartungsaufwandes erreicht werden kann.

Der als Bestandteil der Umleitungskonstruktion in der Sohldränage einzubauende Revisionsschacht wird dabei als Schlammfang ausgebildet.

Zusätzlich wird durch einen verbesserten Zugang über die Revisionsschächte zur Sohldränage die Möglichkeit geschaffen, bei Bedarf herkömmliche Sanierungsverfahren und –geräte einzusetzen.

Die Anforderungen an Umleitungskonstruktionen sind in Kapitel 2.3 beschrieben. Zeichnerische Darstellungen der nachträglich eingebauten Umleitungskonstruktion mit zusätzlichem Sohldränage-

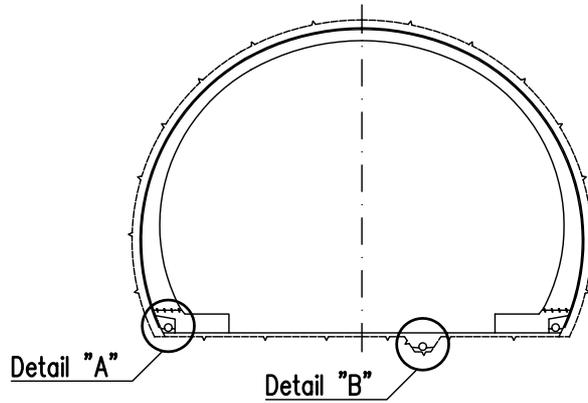
schacht (exemplarisch für die Querschnittsform „offene Sohle“) befinden sich in Anlage 1 b.

## 5 Literatur

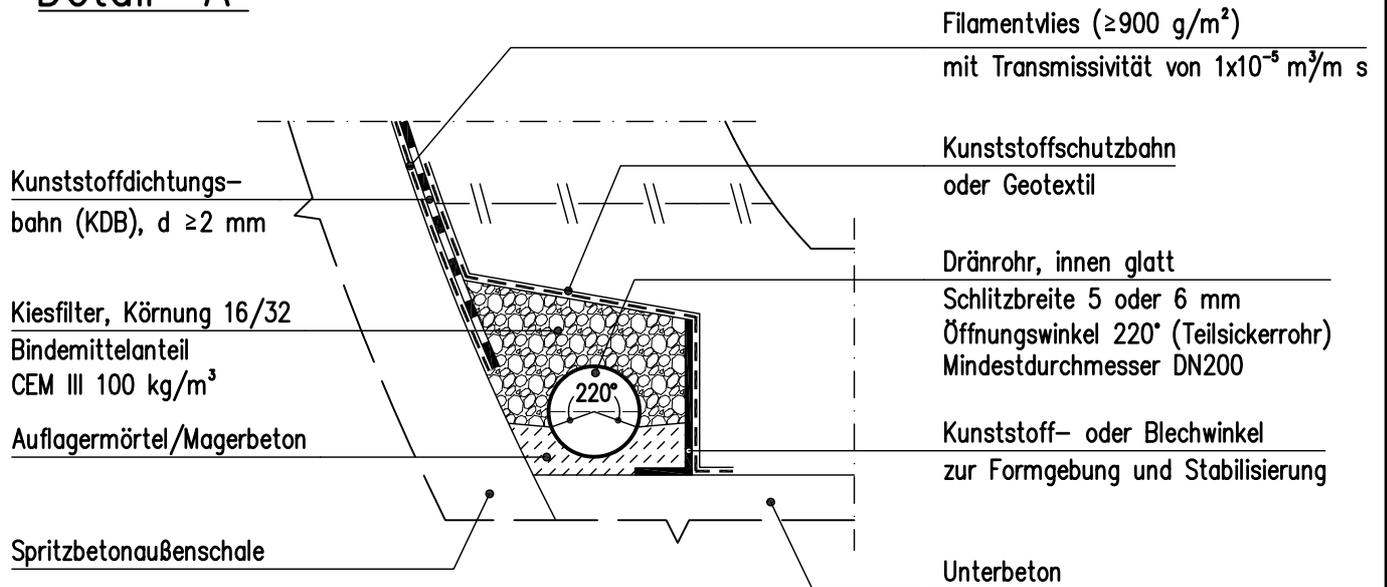
- [1] DIN 4020:  
Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke. Berlin, 09/2003
- [2] DIN 4030:  
Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase. Berlin 06/1991
- [3] DIN 8061:  
Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid, Allgemeine Qualitätsanforderungen. Berlin 08/1994
- [4] DIN 8062:  
Rohre aus weichmacherfreiem Polyvinylchlorid (PVC-U, PVC-HI), Maße. Berlin 11/1988
- [5] DIN 8074:  
Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Maße. Berlin 08/1999
- [6] DIN 8075:  
Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen. Berlin 08/1999
- [7] DIN 8077:  
Rohre aus Polypropylen (PP) – PP-H, PP-B, PP-R, PP-RCT - Maße. Berlin 05/2007
- [8] DIN 8078:  
Rohre aus Polypropylen (PP) – PP-H, PP-B, PP-R, PP-RCT - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung. Berlin 05/2007
- [9] DIN 19537-3:  
Rohre, Formstücke und Schächte aus Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) für Abwasserkanäle und –leitungen; Fertigschächte; Maße, Technische Lieferbedingungen. Berlin 11/1990
- [10] DIN 38404–10:  
Physikalische und physikalisch-chemische Stoffkenngrößen - Teil 10, Calcitsättigung eines Wassers. Berlin, 04/1995
- [11] DIN EN 1401-1 (Entwurf):  
Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte drucklose Abwasserkanäle und –leitungen – Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem. Berlin 05/2006
- [12] DIN EN 1852:  
Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und –leitungen - Polypropylen (PP). Berlin 04/2003
- [13] DIN EN 13508-2:  
Zustandserfassung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 2: Kodiersystem für die optische Inspektion. Berlin 09/2003
- [14] DIN EN ISO 14688-1:  
Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung. Berlin 01/2003
- [15] DIN EN ISO 14689-1:  
Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels - Teil 1: Benennung und Beschreibung. Berlin 04/2004
- [16] ISO 9969:  
Thermoplastische Rohre - Bestimmung der Ringsteifigkeit. Berlin 12/2007
- [17] ATV-Merkblatt 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen, Teil 2: Optische Inspektion, 1999
- [18] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt): ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Teil 5 Tunnelbau, Abschnitt 1 Geschlossene Bauweise, Verkehrsblatt Verlag, 2007
- [19] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr: RIZ-ING: Richtzeichnungen für Ingenieurbauten, Verkehrsblatt Verlag, 2007
- [20] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr: Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF), Verkehrsblatt Verlag, 2004
- [21] B. Maidl, D. Kirschke, B. Schockemöhle, F. Heimbecher:  
Abdichtungs- und Entwässerungssysteme bei Verkehrstunnelbauwerken, Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“ des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Heft 773, NW-Verlag, 1999
- [22] B. Maidl, F. Abel, A. Karroum, V. Stein:  
Experimentelle Untersuchungen zur Verbesserung der Dränagesysteme von Verkehrstunnelbauwerken, Schriftenreihe „Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik“ des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Heft 858, NW-Verlag, 2002

- [23] VÖEB, Verband Österreichischer Entsorgungsbetriebe:  
Widerstandsfähigkeit von Rohrleitungsteilen für Abwasserkanäle und Leitungen beim Hochdruckspülen – Prüfung mit beweglicher Düse, Stellungnahme des VÖEB, Juni 2004

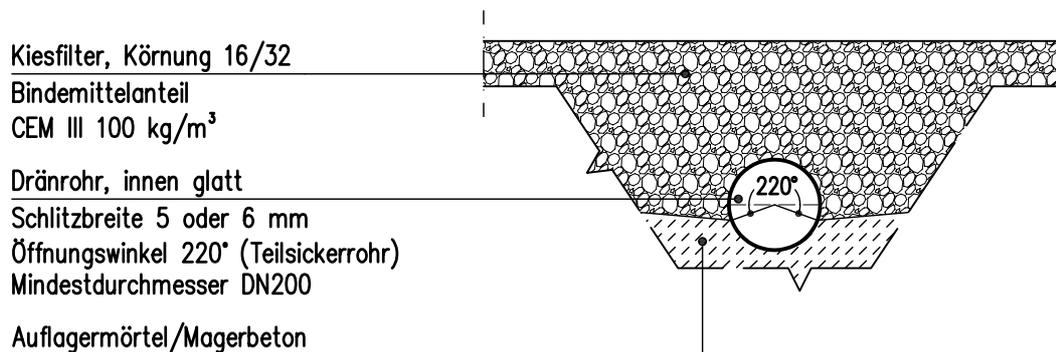
**Anlage 1: a.) Grundsystem der Dränage bei Straßentunnelbauwerken mit freier Entwässerung**



## Detail "A"



## Detail "B"

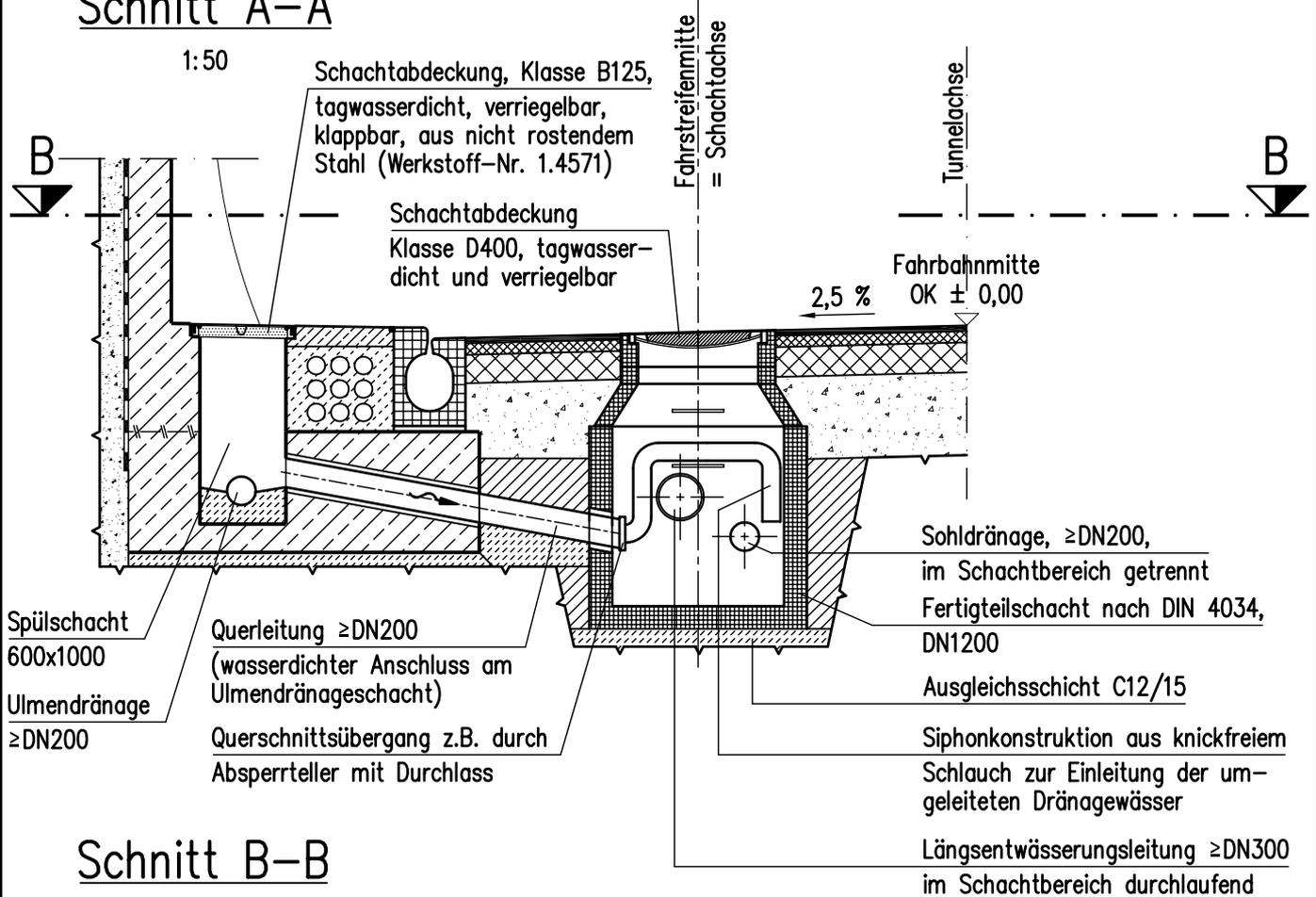


Anwendungsbereich: Tunnel in geschlossener Bauweise.

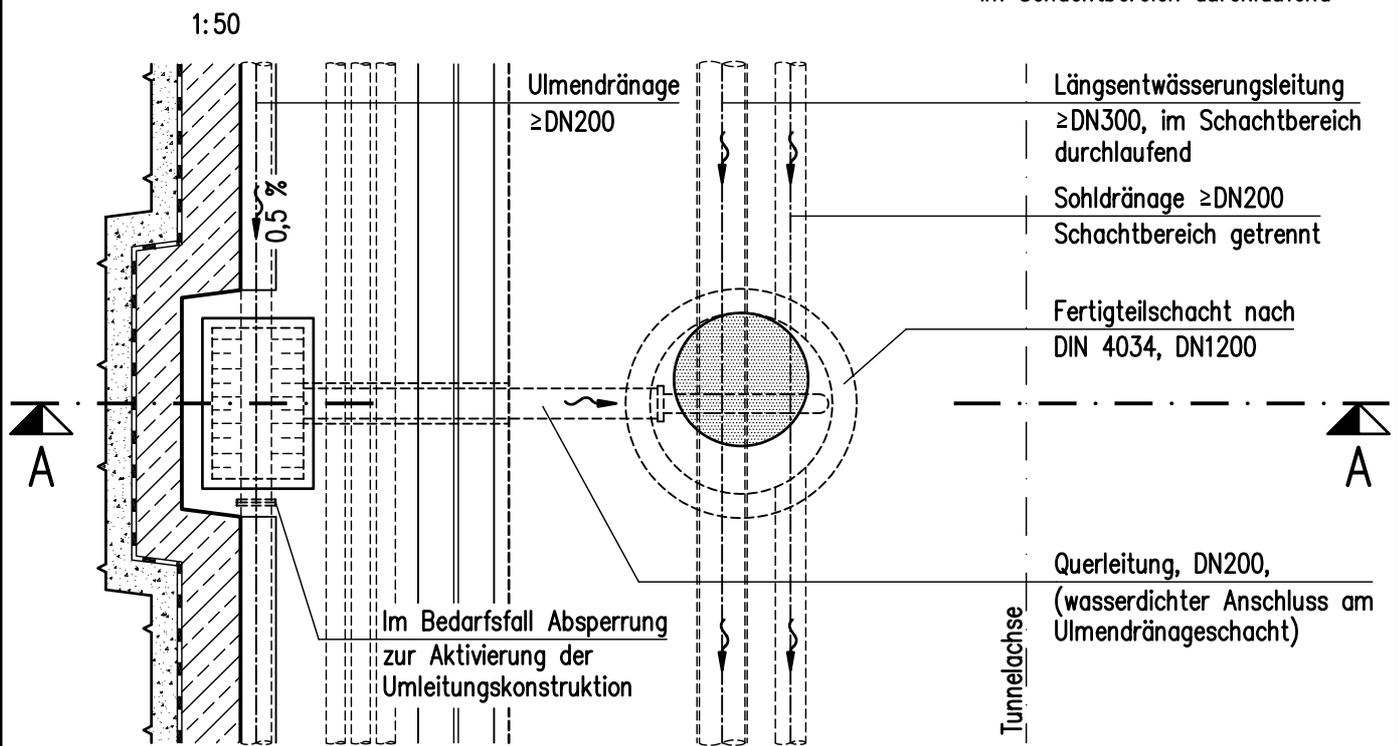
Grundsystem Bergwasserdrainage

**Anlage 1: b.) Umleitungskonstruktion für Dränagesysteme von  
Straßentunnelbauwerken**

# Schnitt A-A



# Schnitt B-B

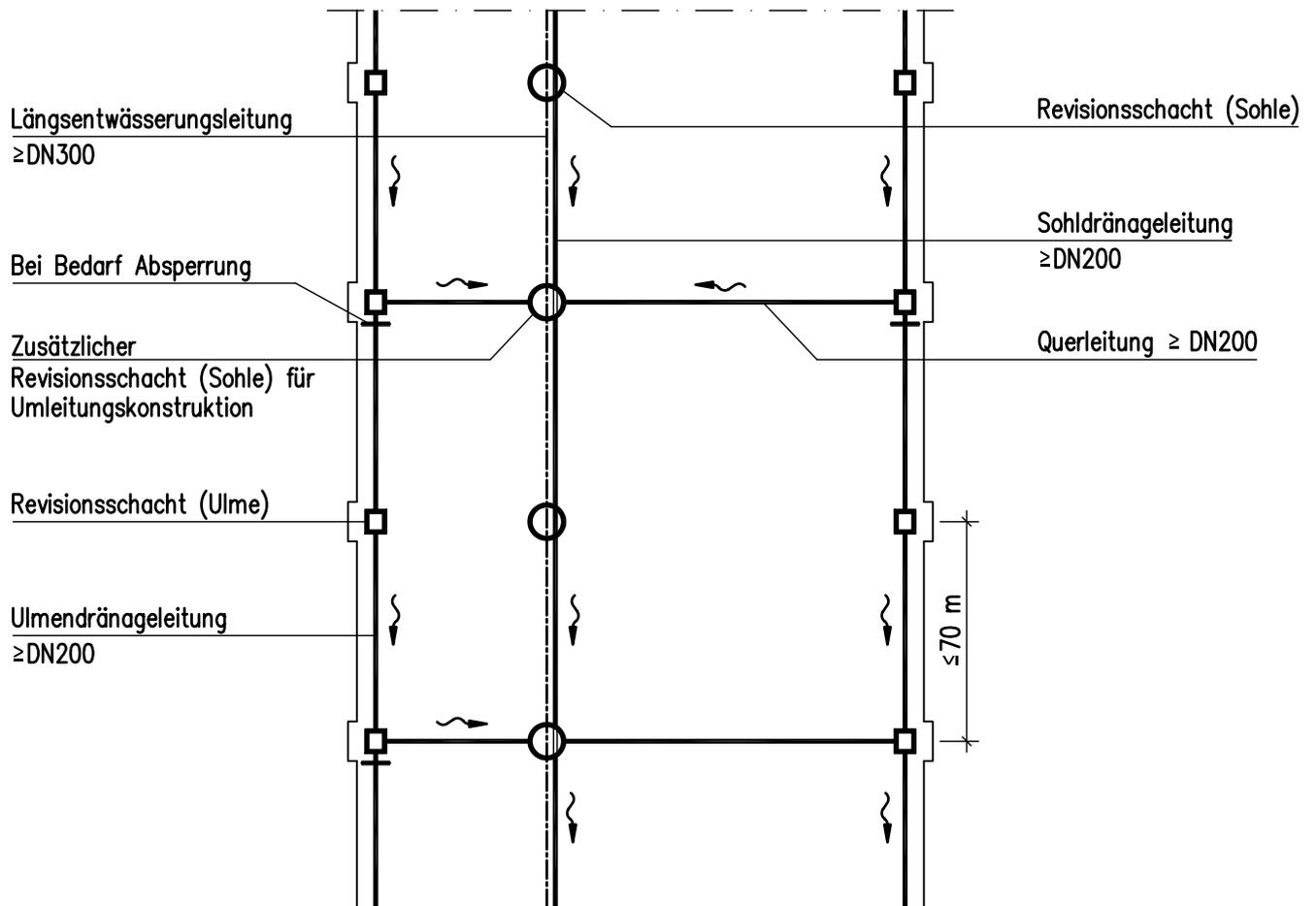


Anwendungsbereich: Tunnel in geschlossener Bauweise.  
 Querschnitt mit offener Sohle.  
 Werkstoffe: Fertigteilschacht nach DIN 4034, DN1200.  
 Querleitung,  $\geq$  DN200, aus PE, PE-HD oder PVC-U.  
 Hinweis: Bedarfsweise Inbetriebnahme der Umleitungsstruktur durch Absperrung (z.B. Absperrteller) der folgenden Haltung der Ulmendränageleitung. Die Siphonkonstruktion wird erst bei Inbetriebnahme der Querleitung eingebaut. Nicht aktivierte Querleitungen sind mit einem Deckel luftdicht zu verschließen.  
 Anschluss Querleitung gegenüberliegender Spülschacht entsprechend.

Tunnel geschlossen	
Umleitungsstruktur	
zur Trennung von Wasser	
mit verschiedenen	
Versinterungsneigungen	

# Draufsicht

## Planmäßige Umleitungskonstruktion



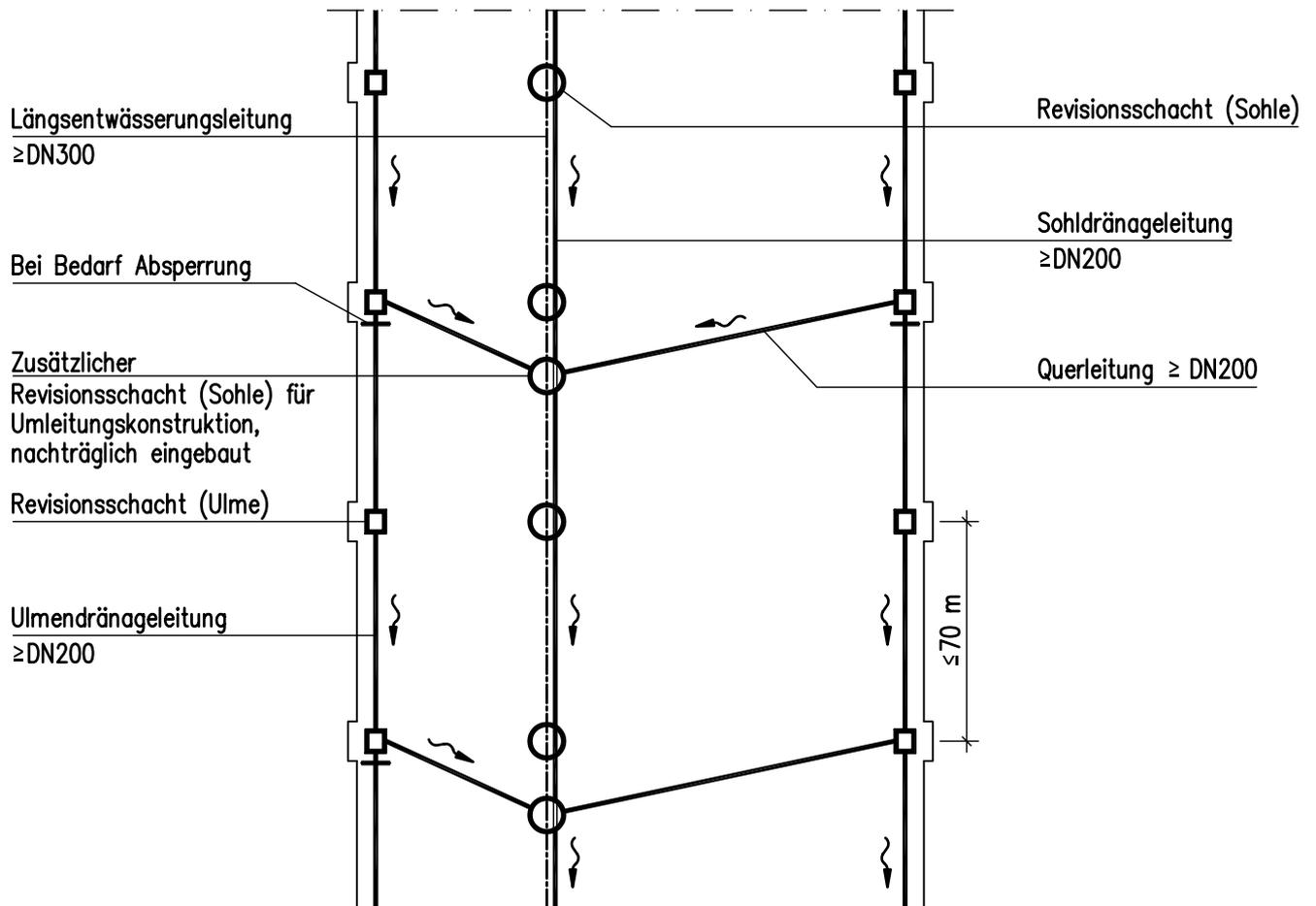
Anwendungsbereich: Tunnel in geschlossener Bauweise.  
Querschnitt mit offener Sohle  
Werkstoffe: Fertigteilschacht nach DIN 4034, DN1200.  
Querleitung, ≥ DN200, aus PE, PE-HD oder PVC-U.

Hinweis: Bedarfsweise Inbetriebnahme der Umleitungs-  
konstruktion durch Absperrung (z.B. Absperrteller) der  
folgenden Haltung der Ulmendränageleitung.

**Tunnel geschlossen  
Umleitungskonstruktion  
zur Trennung von Wasser  
mit verschiedenen  
Versinterungsneigungen**

# Draufsicht

## Nachträglich eingebaute Umleitungskonstruktion



Anwendungsbereich: Tunnel in geschlossener Bauweise.  
Querschnitt mit offener Sohle  
Werkstoffe: Fertigteilschacht nach DIN 4034, DN1200.  
Querleitung, ≥ DN200, aus PE, PE-HD oder PVC-U.

Hinweis: Bedarfsweise Inbetriebnahme der Umleitungs-  
konstruktion durch Absperrung (z.B. Absperrteller) der  
folgenden Haltung der Ulmendränageleitung.

Tunnel geschlossen  
Umleitungskonstruktion  
zur Trennung von Wasser  
mit verschiedenen  
Versinterungsneigungen

## Anlage 2: Kürzelsystem für Kamerabefahrungen von Straßentunnelentwässerungen mit Beispieldeklarationen und -klassifizierungen von Schäden und Versinterungen

### Dokumentationshilfen für Wartung und Inspektion

Zur einheitlichen Dokumentation der im Rahmen der Erstinspektion sowie der regelmäßigen Inspektionen geforderten Kamerabefahrungen des Dränagesystems, soll in Zukunft das im Folgenden beschriebene neue Kürzelsystem verwendet werden. Die Ergebnisse sind in Befundblättern für die Tunnelentwässerungsanlagen (TEA), getrennt nach Schäden und Versinterungen, zu dokumentieren (siehe Anlage 3). Es sind dabei, in Anlehnung an die ATV M-143 und DIN EN 13508-2, Kürzel für „Allgemeine Texte“ und „Zustandstexte“ zu verwenden. Das neue Kürzelsystem baut dabei auf der Dokumentation für die Kamerabefahrung von Abwasserkanälen nach ATV M-143 [17] und DIN EN 13508-2 [13] auf, so dass bereits bestehende Softwareprogramme zur Dokumentation von Videobefahrungen weiterhin genutzt werden können, bzw. nur geringfügig bezüglich des neuen Kürzelsystems geändert werden müssen. Die Ergebnisse der Inspektion des Bergwasserdränagesystems sind ebenfalls im Rahmen der regelmäßigen Bauwerksprüfung der Tunnelbauwerke nach RI-EBW-PRÜF [20] zu berücksichtigen.

### Kürzel für „Allgemeine Texte“

Die Kürzel der „Allgemeinen Texte“ sind nicht nach Stellen aufgebaut, sondern werden als fertige Kürzel, zwei- bis vierstellig, mit einer eventuell angehängten numerischen Angabe vorgegeben (z.B. QVN300 = Nennweitenveränderung auf DN 300).

### Steuerkürzel

HA	=	Haltungsanfang
EH	=	Haltungsende
HLn	=	Haltungslänge (n ist in m aus der Inspektion ermittelt)
PA	=	Rohranfang
PE	=	PE
PLn	=	Baulänge der Rohre (n ist in m aus der Inspektion ermittelt)
GE	=	Gegenseite erreicht
GEN	=	Gegenseite nicht erreicht
IG	=	Inspektion erfolgt von der Gegenseite
IGN	=	Inspektion von der Gegenseite aus nicht möglich
IAB	=	Abbruch der Inspektion
IR	=	Inspektion erst nach Reinigung möglich
IS	=	Inspektion erfolgt zu einem späteren Zeitpunkt
IA	=	Auftraggeber verzichtet auf weitere Untersuchungen
STn	=	Schachttiefe in m (n ist in m aus der Inspektion ermittelt)
SV	=	Verdeckter Schacht
SB	=	Schacht durch Fahrzeug blockiert
SP	=	Schacht nicht im Plan eingetragen
SZ	=	Zwischenschacht
SNA	=	Schacht nicht anfahrbar
TVR	=	Kamera rutscht
TVN	=	Kamera nicht einsetzbar
TVS	=	Kamera kann nicht weiter (Stop)
TVUW	=	Kamera unter Wasser, keine Sicht
TVSD	=	Schlechte Bildqualität
QVG	=	Querschnittsveränderung hinsichtlich Geometrie (die nachfolgende Profilart ist als Textzusatz abzulegen)

QVn	=	Nennweitenveränderung (n ist in mm als Testzusatz abzulegen)
WA	=	Wie Aufnahme
WV	=	Werkstoffveränderung (die nachfolgenden Änderungen sind als Textzusatz abzulegen)
EMN	=	Genaue Einmessung nicht möglich
GST	=	Gewünschte Station erreicht
FOTOn	=	Einzelaufnahme angefertigt (die Foto-Nr. als numerischer Zusatz)
OK	=	Keine optischen Mängel
II	=	(Code zur Übernahme freier Texte in die Datenbank)
Kn	=	Krümmen, Bogen (n ist in Grad gemessen/geschätzt anzugeben)

### Lage der Dränage

UR	=	Ulme rechts
UL	=	Ulme links
SO	=	Sohle

### Werkstoffe

BE	=	Beton
PE, PEHD	=	Polyethylen (HD = High Density)
PP	=	Polypropylen
PVC	=	Polyvinylchlorid
STZ	=	Steinzeug

### Bauwerke der Ortsentwässerung

ZES	=	Einsteigschacht
ZSS	=	Spülschacht

### Kürzel für „Zustandstexte“

Die Kürzel „Zustandstexte“ setzen sich in der Regel aus vier frei kombinierbaren Kürzelstellen zusammen, wobei sich theoretisch auch Kombinationen ergeben können, die in der Praxis nicht vorkommen. Zu unterscheiden ist bei der Verwendung der Kürzel zwischen mechanischen Schäden und Versinterungen, welche getrennt voneinander zu erfassen sind. Die einzelnen Kürzelstellen der Zustandskürzel beschreiben im Einzelnen:

#### 1. Kürzel = Zustandsgruppe

Hiermit soll festgelegt werden, um welche Unterkategorie (z.B. Hindernis, Deformation, Riss etc.) von Schaden es sich in dem speziellen Fall handelt

#### 2. Kürzel = Zustandsausprägung

Mit der 2. Kürzelstelle soll der vorliegende Schaden näher in seiner Art deklariert werden. So sind zum Beispiel Unterteilungen von Rissen in axialer- oder radialer Richtung möglich, andererseits aber z.B. auch eine Unterscheidung eines Hindernisses in „einbrechendes Filtermaterial“ oder „eingebrachtes Fremdmaterial“.

#### 3. Kürzel = Versinterungsrelevanz / Versinterungsgrad

Dieses neu entwickelte Kürzel dient der Klassifizierung von Schäden gleich zweifach. Einerseits ist es damit möglich, bestehende mechanische Schäden bezüglich einer versinterungsbegünstigenden / versinterungsneutralen Wirkung zu klassifizieren. Andererseits können bestehende Versinterungen näher deklariert werden, so dass ein klares Bild vom aktuellen Versinterungsstand der Tunneldränage ermittelt

werden kann. Die aus der 3. Stelle resultierenden Erkenntnisse sind anschließend zu erfassen und grafisch auszuwerten.

#### 4. Stelle = Lage im Profil / Sonstiges

Zuletzt bietet die 4. Kürzelstelle einerseits die Möglichkeit, auftretende Schäden näher bezüglich ihrer Lokalität im Rohr zu beschreiben, andererseits aber auch, Aussagen über einen möglichen Wasserrückstau zu treffen.

Die folgenden Kürzel stehen dabei in den einzelnen Gruppen zur Verfügung:

##### 1. Stelle: Zustandsgruppe:

A	=	Abzweig
B	=	Rohrbruch
E	=	Verschleiß
D	=	Deformation
H	=	Hindernis
L	=	Lageabweichung
M	=	Sanierungsmaßnahme
R	=	Riss
T	=	Fehlende Teile
V	=	Versinterung
Z	=	sonstiger Schaden

##### 2. Stelle: Zustandsausprägung

A	=	Anschluss an Rohr
B	=	Ausbiegung
C	=	Verbindung
F	=	Filtermaterial
H	=	Horizontal
I	=	Inkrustation
L	=	Längs-, Axial-
M	=	Fremdmaterial
N	=	Nicht fachgerecht ausgeführt
Q	=	Quer-, Radial-
R	=	Riss
S	=	Scherbe
T	=	Einsturz
V	=	Vertikal
W	=	Wandung
-	=	keine weitere Beschreibung

##### 3. Stelle: Folgeschäden/Versinterungsgrad

A	=	Leichte Versinterung („Schmierfilm“ in der Drainage)
B	=	Mittlere Versinterung (erkennbare, grobe Ablagerungen)
C	=	Starke Versinterung (große Ablagerungen, ggf. verfestigt)
D	=	Verstopfung
R	=	Versinterungsrelevant
N	=	Versinterungsneutral

**4. Stelle: Lage im Profil/Sonstiges**

A	=	Axial
C	=	Schlitze
H	=	Horizontal
L	=	Linker Kämpfer
O	=	Scheitel, oben
R	=	Rechter Kämpfer
S	=	Rückstau (in cm Wasserstand)
U	=	Sohle, unten
V	=	Vertikal
-	=	Gesamter Rohrumfang

Anhand voriger Definitionen ergeben sich folgende sinnvolle Konstellationen für Tunneldränagen:

**Abzweig**

AN	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Abzweig nicht fachgerecht eingebaut
A-	(N,R)	D	Abzweig verstopft
AR	(N,R)		Riss im Abzweig

**Rohrbruch / Rohrausbruch**

BA	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Fehlendes Rohrstück am Schacht, Bauwerksanschluss
BC	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Fehlendes Rohrstück im Verbindungsbereich
BT	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Einsturz
BW	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Loch, fehlendes Rohrwandungsstück

**Mechanischer Verschleiß**

E-	(N,R)	(L,O,R,U,-)	mechanischer Verschleiß allgemein
EC	(N,R)	(L,O,R,U,-)	mechanischer Verschleiß an der Rohrverbindung

**Deformation**

D-	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Deformation
----	-------	-------------	-------------

**Hindernisse**

H-	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Hindernis allgemein
HF	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Eingebrochenes Filtermaterial
HI	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Inkrustation
HM	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Fremdmaterial
HS	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Einragende Scherbe

**Lageabweichungen**

LB	(N,R)	(U)	Ausbiegung, Unterbogen
LB	(N,R)	(L,O,R)	Ausbiegung
LH	(N,R)	L	Versatz horizontal, links sichtbar
LH	(N,R)	R	Versatz horizontal, rechts sichtbar
LL	(N,R)	(-)	Versatz axial
LV	(N,R)	O	Versatz vertikal, oben sichtbar

LV	(N,R)	U	Versatz vertikal, unten sichtbar
----	-------	---	----------------------------------

**Sanierungsmaßnahmen**

M-	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Dränagesanierungsmaßnahme
----	-------	-------------	---------------------------

MN	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Sanierungsmaßnahme nicht fachgerecht ausgeführt
----	-------	-------------	---

**Risse**

RC	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Riss im Verbindungsbereich
----	-------	-------------	----------------------------

RL	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Längsriss
----	-------	-------------	-----------

RQ	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Querriss
----	-------	-------------	----------

RS	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Scherbenbildung
----	-------	-------------	-----------------

RX	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Risse von einem Punkt ausgehend, größte Rissbreite
----	-------	-------------	--

**Fehlendes Teil**

T-	(N,R)	(L,O,R,U,-)	Fehlendes Teil allgemein
----	-------	-------------	--------------------------

**Versinterungen**

V-	A	C	Leichte Versinterung Schlitze
----	---	---	-------------------------------

V-	B	C	Mittlere Versinterung Schlitze
----	---	---	--------------------------------

V-	C	C	Starke Versinterung Schlitze
----	---	---	------------------------------

V-	A	U	Leichte Versinterung Sohle
----	---	---	----------------------------

V-	B	U	Mittlere Versinterung Sohle
----	---	---	-----------------------------

V-	C	U	Starke Versinterung Sohle
----	---	---	---------------------------

VC	(A,B,C)	(L,O,R,U,-)	Versinterung an Rohrverbindung
----	---------	-------------	--------------------------------

VS	(A,B,C)	(L,O,R,U,-)	Versinterung an Scherbe
----	---------	-------------	-------------------------

**Sonstiger Schaden**

Z-	(D,N,R)	(L,O,R,U,-)	Sonstiger Schaden allgemein
----	---------	-------------	-----------------------------

Z-	(N,R)	S	Wasserrückstau
----	-------	---	----------------

**Beispiele zur Anwendung der Steuerkürzel**

Zur näheren Erläuterung werden im Folgenden einige Beispiele anhand von digital erstellten Bildern von Kamerabefahrungen gegeben, an denen das neue Kürzelsystem verdeutlicht werden soll. Betrachtet werden sollen dabei sowohl mechanische Schäden als auch Versinterungen verschiedener Art, da diese separat zu behandeln sind.

**Mechanische Schäden:****Bild 1: Deformation (D - R- )**

Bild 1 zeigt eine klassische Deformation des Dränagerohres (Kürzelpaar der 1. und 2. Stelle allgemein: „D -“) über den gesamten Querschnitt (4. Stelle „-“). Der Rohrquerschnitt ist stark beeinträchtigt und die durch die Ausbuchtung entstandenen Kanten bieten Impfkörpern die Gelegenheit sich in ihnen festzusetzen und die Versinterung zu fördern (3.Stelle „R“). Die Deklaration müsste also in diesem Fall lauten: **D - R -**

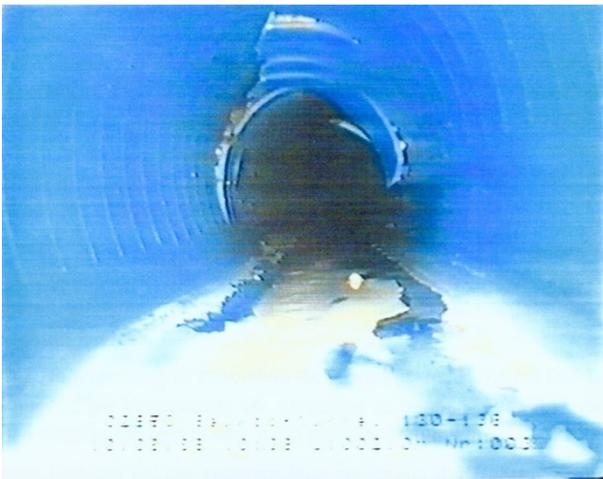
**Bild 2: Querrisse (R Q N O)**

Bild 2 zeigt Querrisse (1.Stelle „R“,2. Stelle „Q“) im Rohrrinnenbereich. Der Scheitel des Rohres ist wahrscheinlich durch Überlastung beim Einbau zerstört worden. Einbrechender Filterbeton ist nicht zu erkennen. Da der Riss allerdings im Scheitelbereich (4.Stelle „O“) auftritt, ist mit einer versinterungsbe günstigen Wirkung in diesem Fall nicht unbedingt zu rechnen (3.Stelle „N“). Es ergibt sich: **R Q N O**

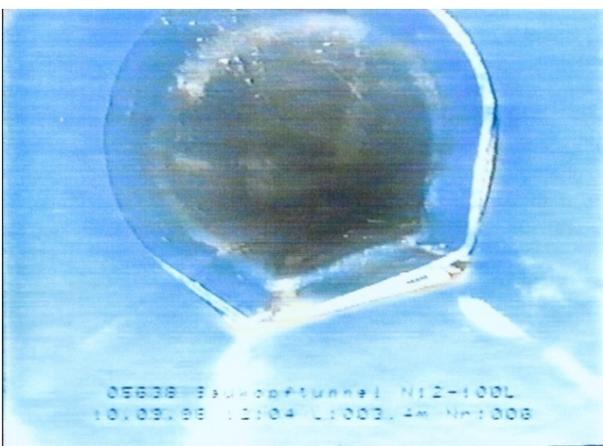
**Bild 3: Axialer Versatz (L L R - )**

Bild 3 dient als Beispiel für einen Rohrversatz im Anschlussbereich. Eine „axiale Lageabweichung“ erhält an 1. und 2.Stelle des Kürzels die Buchstaben „LL“ Die beiden Rohrstücke sind anscheinend beim Einbau gegeneinander verdreht worden, so dass eine Lücke zwischen ihnen klafft, die einen ordnungsgemäßen Wasserablauf verhindern und außerdem negativ zur Versinterung (3.Stelle „R“) an den sich ergebenden Spalten beiträgt. Da ein axialer Versatz den ganzen Querschnitt betrifft, ist als 4. Kürzel „-“ zu wählen: **L L R -**

**Bild 4: Vertikaler Rohrversatz (L V R O)**

Bild 4 zeigt ebenfalls einen Rohrversatz, dieses mal jedoch in vertikaler Richtung. Diese Lageabweichung erhält dementsprechend das Kürzelpaar „LV“ für die ersten beiden Stellen. Der Kreisquerschnitt ist deutlich verschoben. An der Sohle sind bereits deutliche Versinterungsspuren zu erkennen (3. Kürzel „R“) da der Versatz am oberen Rand zu erkennen ist, wird die 4. Stelle mit einem „O“ belegt. Das Kürzel lautet also: **L V R O**

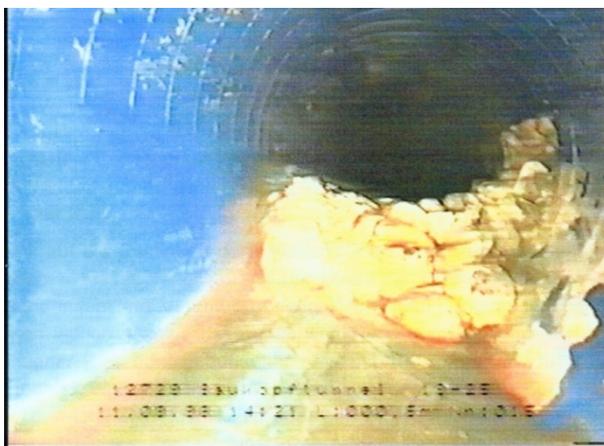
**Bild 5: Filterbetoneinbruch (H F R U)**

Bild 5 zeigt einen Filterbetoneinbruch im Rohr. Das Kürzelpaar für ein Hindernis durch Filterbetoneinbruch lautet „HF“. Während der Einbauphase ist das Rohr an dieser Stelle geplatzt und der Filterbeton konnte eindringen. Das Wasser wird somit massiv gestaut. Folge davon sind massive Versinterungen (3. Stelle „R“) im Einbruchsbereich, da sich das  $\text{CaCO}_3$  am Beton und im aufgestauten Wasser absetzen kann. Da der Filterbeton im Sohlbereich liegt, ist die 4. Stelle des Kürzels folglich ein „U“. Das Kürzel lautet somit: **H F R U**

### Anmerkung zur anschließenden Dokumentation

Die entdeckten mechanischen Schäden sind anschließend je nach Schweregrad in Schadensklassen (a, b, c, d) einzuteilen. Hierbei bedeuten:

- **a** = kein oder geringfügiger Schaden: Behebung langfristig erwünscht
- **b** = kleiner Mangel/Schaden: Behebung innerhalb des doppelten Inspektionsintervalls
- **c** = größerer Mangel/Schaden: Behebung spätestens innerhalb eines Inspektionsintervalls
- **d** = schwerer Mangel/Schaden: Erfordert unverzügliche Behebung

Aus Gründen der Gesamtübersichtlichkeit ist anschließend die gesamte Haltung aufgrund der in ihr vorherrschenden Schadensklasse mit einem Index von **A - D** zu versehen. Bei bereits einmaligem Auftreten eines Schadens der Klasse „d“ ist die Haltung allerdings unverzüglich der Klasse „D“ zuzuordnen.

Die hier betrachteten Schäden sind dabei hauptsächlich den Schadensklassen „b“ (Bild 2) oder „c“ (Bild 1,3,4) zuzuordnen. Eine besondere Ausnahme bildet dabei Bild 5. Ein Filterbetoneinbruch (Kürzelbeginn HF) zieht automatisch eine Klassifizierung in Schadensklasse „d“ nach sich. Die gesamte Haltung ist dabei ebenfalls automatisch dem Schadensgrad „D“ zuzuteilen, da Sofortmaßnahmen zum ordnungsgemäßen Betrieb der Drainage in diesem Fall unabdingbar sind. Als Beispiel sind die hier aufgeführten Schäden in das „Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage“ (siehe Anlage 3) eingetragen worden.

Alle erkannten Schäden mit Kürzel „R“ (mechanischer Schaden mit Versinterungsrelevanz) an der 3. Stelle (Bild 1,3,4,5) sind abschließend in einer schematischen Tunnelgesamtübersicht an ihrem jeweiligen Ort zu kennzeichnen (siehe Beispiel in Anlage 6).

Es soll an dieser Stelle noch mal ausdrücklich erwähnt werden, dass mechanische Schäden und Versinterungsschäden separat zu betrachten und zu dokumentieren sind. Die in den Bildern 1-5 ebenfalls zu erkennenden Versinterungen sind in Stärke und Art mit Hilfe des Kürzelsystems (Kürzelpaar der 1. und 2. Stelle „V -“) in der entsprechenden Tabelle auf dem dazu gehörigen Dokumentationsblatt (siehe Anlage 3) zu verzeichnen.

Die Unterteilungen der Versinterungen von Schlitzen und Sohle in „stark“, „mittel“, und „schwach“ obliegt dabei der kamerabefahrenden Stelle. Anhand von grafischen Beispielen soll eine Hilfestellung zu dieser Unterteilung gegeben werden. Das Augenmerk soll dabei auf der jeweils im Bild beschriebenen Versinterung liegen.

### Versinterung der Schlitze:

**Bild 6: Leichte Versinterung der Schlitze (V – A C)**

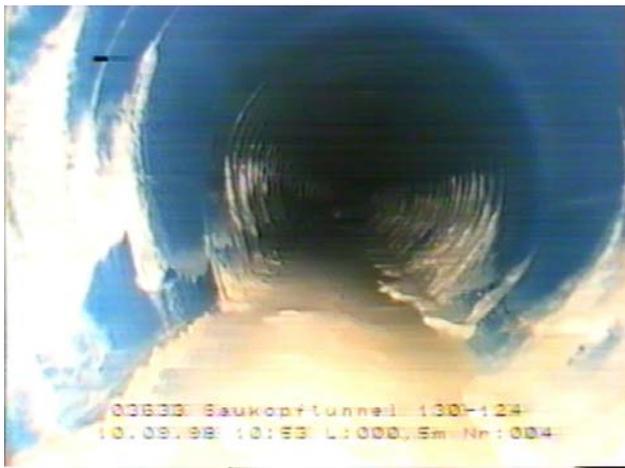


Man erkennt auf diesem Bild deutlich eine leichte „Schmierbildung“ von Calciumcarbonat auf den Schlitzen der Drainageleitung. Aushärtungen haben sich allerdings noch nicht gebildet, so dass die Funktion der Schlitze zwar nicht mehr reibungslos gewährleistet ist, aber immer noch Wasser durch die Schlitze in die Drainage fließen kann.

**Bild 7: Mittlere Versinterung der Schlitze (V – B C)**



Im links zu sehenden Bild soll besonderes Augenmerk auf die Schlitze auf der linken, oberen Seite gelegt werden. Diese sind zum Teil bereits vollständig mit Sinter ausgefüllt, so dass kein Bergwasser mehr durch die betroffenen Schlitze fließen kann. Die Konturen der Ablagerungen sind dabei klar zu erkennen.

**Bild 8: Starke Versinterung der Schlitzte (V – C C)**

Das 3. Beispiel schließlich zeigt eine starke Versinterung der Schlitzte. Diese sind komplett mit Sinter „verstopft“ und selbst die Schlitzzwischenräume sind teilweise schon flächig mit Calciumcarbonat überzogen. Das Bergwasser hat somit keine Möglichkeit mehr in die Drainage an dieser Stelle einzudringen.

**Versinterung der Sohle:**

**Bild 9: Leichte Versinterung der Sohle (V-AU)**

Auf der Sohle der hier zu sehenden Drainage haben sich bereits leichte Ablagerungen gebildet. Diese bilden zwar noch keinen Verbund, können aber bereits als „Impfkörper“ für neue Ausfällungen dienen.

**Bild 10: Mittlere Versinterung der Sohle (V – B U)**

Auf Bild 10 ist zu erkennen, dass bereits der gesamte Sohlbereich mit einer Sinterschicht überzogen ist. Der Querschnitt der Drainage ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht grundlegend reduziert, jedoch bietet sich hier bereits ein perfekter „Nährboden“ für neue Ausfällungen.

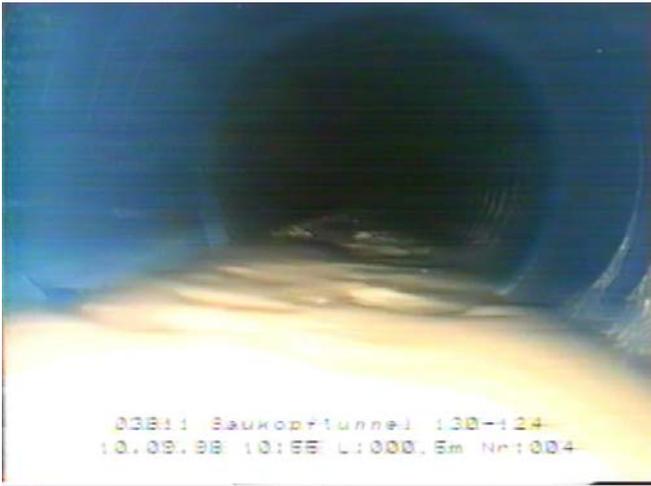
**Bild 11: Starke Versinterung der Sohle (V – C U)**

Bild 11 schließlich zeigt eine starke Versinterung des Sohlbereiches. Der Querschnitt der Drainage ist durch die Sinterschicht bereits merklich reduziert und das bereits ausgefallene Calciumcarbonat hat eine dicke Schicht gebildet, die einen ordnungsgemäßen Abtransport des Bergwassers praktisch unmöglich macht.

Die Versinterungen sind nun separat zu den mechanischen Schäden in das „Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage“ mit ihrer jeweiligen Länge einzutragen. Dabei ist in „Versinterung der Schlitzte“ und „Versinterung der Sohle“ zu unterscheiden. Die Situation von Bild 6-8 würde somit z.B. jeweils einen Eintrag des Kürzels „V-CC“ als auch „V-CU“ bekommen. Beispielhaft ist für diesen Fall das in Anlage 3 enthaltene Befundblatt ausgefüllt. Anhand aller relevanten Befundblätter sind dann bei Bedarf abschließend die Übersichtspläne (Plan B, Beispiel siehe Anlage 6) zu entwickeln.

---

## Anlage 3: Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage

### Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage

Zur Dokumentation der Inspektionsergebnisse ist zukünftig das „Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage“ (BfdT) zu verwenden. Dieses bietet die Möglichkeit, zwischen mechanischen Schäden und Versinterungserscheinungen zu unterscheiden. Der Versinterungsteil bietet weiterhin die Möglichkeit, eine schnelle Übersicht über die „Versinterung der Sohle“ und der „Versinterung der Schlitz“ zu liefern. Ziel ist es, bei entsprechend auftretenden Versinterungen, die tabellarische Aufstellung der Versinterungen im Anschluss an die Dokumentation in ein grafisches Balkenprofil umzusetzen (siehe Beispiel in Anlage 6). Weiterhin muss das BfdT eine Haltungsgrafik beinhalten, in der die verzeichneten, mechanischen Schäden näher zu deklarieren sind. Die Schadensklassifizierung der Einzelschäden (in Klassen „a“, „b“, „c“, „d“) sowie die Gesamtbeurteilung der Haltung („A“, „B“, „C“, „D“) erfolgt ebenfalls (nach den gegebenen Klassifizierungsregeln) im BfdT. Nähere Erläuterungen liefert das nachstehende Beispielblatt.

Die Ergebnisse der Inspektion der Tunnelentwässerungsanlage sind ebenfalls im Rahmen der regelmäßigen Bauwerksprüfung der Tunnelbauwerke nach RI-EBW-PRÜF [20] zu berücksichtigen.

## Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage (Beispiel)

Protokollnummer	1234	Datum	14.04.04
Haltungsnummer	R10	Länge	70 m
Von Schacht	R10	Nach Schacht	R12
Inspektionsrichtung	In Fließrichtung	Nennweite	DN 300
Rohrmaterial	PEHD	Maßstab	1/400
Videoband Nr.	1	Videokassette	1

Schadensklassifizierung (a, b, c, d)  
 Bereits einmaliges Auftreten der  
 SK „d“ führt zur Gesamtbeurteilung „D“

### Mechanische Schäden

Nr.	Wp	Kürzel				Sk
1	17,80	D	-	R	-	c
2	35,30	R	Q	N	O	b
3	42,60	L	L	R	-	c
4	51,16	L	V	R	O	c
5	68,90	H	F	R	U	d

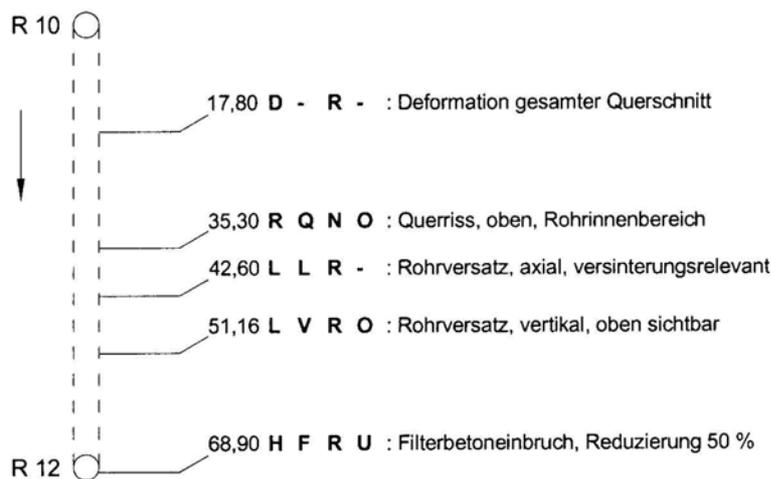
### Versinterungen

Sp	Ep	IC	IU
15,30	18,40	C	
18,45	43,40	B	
14,30	19,20		C

Besondere Aufmerksamkeit der 3. Indexstelle  
 (versinterungsneutral/-begünstigend). Bei Index  
 „R“ → separate Erwähnung im Übersichtsplan (Plan B)

Im Anschluss separate, grafische Auswertung  
 (Versinterung Schlitz / Sohle) im Übersichtsplan (Plan B)

### Haltungsgrafik:



### Gesamtbeurteilung

**D**

Zu wählen nach „vorherrschender“ Klassifizierung der mechanischen Schäden

Nr. = Fortlaufende Nummerierung  
 Sk = Schadensklasse [a,b,c,d,]  
 Ep = Endpunkt [m]  
 IU = Versinterungsintensität Sohle [A,B,C]

Wp = Wegpunkt [m]  
 Sp = Startpunkt [m]  
 IC = Versinterungsintensität Schlitz [A,B,C]

## Befundblatt für die Tunnelentwässerungsanlage

<b>Protokollnummer</b>	.....	<b>Datum</b>	.....
<b>Haltungsnummer</b>	.....	<b>Länge</b>	.....
<b>Von Schacht</b>	.....	<b>Nach Schacht</b>	.....
<b>Inspektionsrichtung</b>	.....	<b>Nennweite</b>	.....
<b>Rohrmaterial</b>	.....	<b>Maßstab</b>	.....
<b>Videoband Nr.</b>	.....	<b>Videokassette</b>	.....

Schadensklassifizierung (a, b, c, d)  
 Bereits einmaliges Auftreten der  
 SK „d“ führt zur Gesamtbeurteilung „D“

### Mechanische Schäden

Nr.	Wp	Kürzel	Sk

Besondere Aufmerksamkeit der 3. Indexstelle  
 (versinterungsneutral/-begünstigend). Bei Index  
 „R“ → separate Erwähnung im Übersichtsplan (Plan B)

### Versinterungen

Sp	Ep	IC	IU

Im Anschluss separate, grafische Auswertung  
 (Versinterung Schlitz / Sohle) im Übersichtsplan (Plan B)

### Haltungsgrafik:



### Gesamtbeurteilung

← Zu wählen nach „vorherrschender“ Klassifizierung der mechanischen Schäden

- |  |  |
|--|--|
| Nr. = Fortlaufende Nummerierung            | Wp = Wegpunkt [m]                            |
| Sk = Schadensklasse [a,b,c,d,]             | Sp = Startpunkt [m]                          |
| Ep = Endpunkt [m]                          | IC = Versinterungsintensität Schlitz [A,B,C] |
| IU = Versinterungsintensität Sohle [A,B,C] |  |

**Anlage 4: Arbeitsblatt zur Inspektionsdokumentation**

# Arbeitsblatt zur Inspektionsdokumentation

Protokollnummer:

Datum:

Lage der Dränage (Ulme rechts/links, Sohle):

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

Schachtnummer	
1	Wasserstandshöhe [cm]
2	Versinterungshöhe [cm]
3	Strömungszustand
4	Temperatur [°C]
5	pH-Wert
6	Elektr. Leitfähigkeit [ $\mu$ S/cm]
7	Gesamthärte [°d] *
8	Calciumgehalt [mg/l] *

\* Bei Bedarf

Anweisung: Die erforderlichen Messwerte der Punkte 1-6 **jedes** Schachtes sind, soweit nicht anders festgelegt, alle 6 Monate festzustellen und ordnungsgemäß und **leserlich** in die vorgesehenen Tabellen einzutragen.

**Anlage 5: Formblatt für Revisionschachtprotokolle**

## Block Nr.

Linker Ulimdränageschacht	Sohldränageschacht	Rechter Ulimdränageschacht
Versinterung & allgemeiner Zustand:	Versinterung & allgemeiner Zustand:	Versinterung & allgemeiner Zustand:
Wasserführung:	Wasserführung:	Wasserführung:
Temperatur [°C]:	Temperatur [°C]:	Temperatur [°C]:
pH-Wert [-]:	pH-Wert [-]:	pH-Wert [-]:
Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]:	Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]:	Elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]:
Gesamthärte [°d] *:	Gesamthärte [°d] *:	Gesamthärte [°d] *:
Calciumgehalt [mg/l] *:	Calciumgehalt [mg/l] *:	Calciumgehalt [mg/l] *:

Hinweis: Betrachtung in Richtung aufsteigender Blocknummern bzw. in Fahrtrichtung

\* Bei Bedarf

**Anlage 6: Beispiele für Beobachtungs- und Übersichtsplan (Pläne A und B)**





## Anlage 7: Zusammenfassung der Verantwortlichkeiten

Phase	Durchzuführende Dokumentation / Untersuchung	Zeitpunkt / Intervall	Verantwortlicher	Kap.
Planung	Chem. Wasseranalysen mit versinterungsrelevanten Messgrößen	Im Zuge der Planung	Sachverständiger für Geotechnik	2.1
	Entscheidung: Ausführung Grundsystem oder aufgewertetes Grundsystem mit Umleitungs-konstruktionen	Im Zuge der Planung	Planer/ Sachverständiger für Geotechnik / Auftraggeber	2.3
Ausführung	Hydrogeologische Dokumentation	Im Zuge des Vortriebes	<b>Auftraggeber</b>	3.1
	Untersuchungen in den Revisionsschächten bis zur Erstinspektion	halbjährlich	<b>Auftraggeber</b>	3.2.1
	Optionale Kamerabefahrung vor der Erstinspektion (nur bei größeren Versinterungen)	Nach Fertigstellung einzelner Haltungen	<b>Auftraggeber</b>	3.2.2
	Datenaufbereitung (Beobachtungs- und Übersichtspläne) und Auswertung / Interpretation	Sofort nach Vorliegen der entspr. Daten	<b>Auftraggeber</b>	3.3
	Entscheidung: Evtl. Aufwertung des Grundsystems durch konstruktive Zusatzmaßnahmen (z.B. Umleitungs-konstruktionen)	Im Zuge der Ausführung	<b>Auftraggeber</b>	3.5
	Erstinspektion (alle Revisionsschächte und Kamerabefahrung des gesamten Systems) gemäß ZTV-ING Teil 5 Abschnitt 1 vor Durchführung der 1. Hauptprüfung	Nach vollst. Fertigstellung des Dränagesystems	<b>Auftragnehmer</b>	3.7
Betrieb	Inspektion und Wartung		Tunnelbetreiber	4.2
	Inspektion der Revisionsschächte	halbjährlich alle 3-6 Jahre		4.2.1
	bei Versinterungen keine oder nur geringe Versinterungen			
	Spülung der Dränageleitungen (nur bei Versinterungen)	vor jeder Inspektion		4.2.3
	örtliche Kamerabefahrungen	alle 3-6 Jahre nicht erf.	4.2.1	
	bei Versinterungen keine Versinterungen			
	Dokumentation, Auswertung und Analyse der Inspektionsdaten	Nach Abschluss der Inspektion	Tunnelbetreiber / Auftraggeber	4.3
Entscheidung: Evtl. nachträgliche Aufwertung des Grundsystems durch konstr. Zusatzmaßnahmen (z.B. Umleitungs-konstruktionen)	Nach Auswertung / Analyse der Inspektionsergebnisse	Tunnelbetreiber / Auftraggeber	4.5	