

## **Entwicklung eines Prüfverfahrens für Schachtkopfmörtel**



Auftraggeber:



Ministerium für Umwelt und Naturschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Schwannstraße 3  
40476 Düsseldorf

Bearbeitung:



IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur  
Exterbruch 1  
45886 Gelsenkirchen



WISSBAU  
Beratende Ingenieurgesellschaft mbH  
Kruppstraße 82 – 100  
45145 Essen

---

#### WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. Bert Bosseler (IKT)  
Prof. Dr. Rainer Auberg (WISSBAU)

#### PROJEKTLÉITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. Thomas Brüggemann (IKT)  
Dipl.-Ing. (FH) Holger Arbeit (WISSBAU)

Wir danken folgenden Kanalnetzbetreibern für die weitreichende Unterstützung im Rahmen der Insitu-Untersuchungen:

- *Gemeinde Möhnese*
- *Münchener Stadtentwässerung*
- *NVV - Niederrheinische Versorgung und Verkehr AG, Mönchengladbach*
- *Remscheider Entsorgungsbetriebe*
- *Stadt Bad Salzuflen*
- *Stadt Bielefeld*
- *Stadt Dortmund*
- *Stadt Freudenberg*
- *Stadt Hilden*
- *Stadt Minden*
- *Stadtentwässerungsbetrieb Paderborn (STEB)*
- *Stadtentwässerungsbetriebe Düsseldorf*
- *Stadtwerke Neuenrade AöR*
- *Vlothoer Wirtschaftsbetriebe*

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>STAND DER TECHNIK</b>	<b>6</b>
2.1	EINSATZGEBIETE UND RANDBEDINGUNGEN .....	6
2.2	EINFLUSSFAKTOREN .....	11
2.3	ANFORDERUNGEN.....	13
2.3.1	<i>Festigkeit</i> .....	13
2.3.2	<i>Quell- und Schwindverhalten</i> .....	13
2.3.3	<i>Frostbeständigkeit / Frost-Tausalz-Widerstand</i> .....	14
2.3.4	<i>Chemische Beständigkeit</i> .....	14
2.3.5	<i>Verarbeitbarkeit</i> .....	14
2.3.6	<i>Prüfverfahren</i> .....	14
2.4	SANIERUNGSVERFAHREN.....	16
2.4.1	<i>Höhenregulierung ohne Ausbau</i> .....	16
2.4.2	<i>Höhenregulierung mit Ausbau</i> .....	18
2.5	SCHÄDIGUNGSPROZESSE.....	25
2.5.1	<i>Schädigung durch Sulfatangriff</i> .....	25
2.5.2	<i>Schädigung durch Frost- und Frost-Tausalz-Angriff</i> .....	25
2.5.3	<i>Schäden aus Verkehrslasten</i> .....	27
<b>3</b>	<b>FESTSTELLUNG DES IST-ZUSTANDES UND LABORUNTERSUCHUNGEN</b>	<b>28</b>
3.1	AUSWAHL VON SANIERUNGSMABNAHMEN .....	28
3.2	OPTISCHE INSPEKTION DER SCHACHTBAUWERKE.....	32
3.2.1	<i>Beurteilung der Einbindung des Schachtes</i> .....	33
3.2.2	<i>Beurteilung des Allgemeinzustandes des Schachtkopfes</i> .....	34
3.2.3	<i>Beurteilung des Zustandes der Mörtelfuge</i> .....	34
3.3	ULTRASCHALLUNTERSUCHUNGEN AM MÖRTEL (IN-SITU) .....	38
3.4	BOHRMEHLENTNAHME UND -ANALYSE.....	41
3.4.1	<i>Chlorid-Gehalt</i> .....	41
3.4.2	<i>Sulfat-Gehalt</i> .....	43
3.4.3	<i>Ettringit- und Thaumasit- Gehalt</i> .....	44
3.5	ERFASSUNG DES SCHACHTKLIMAS .....	45
3.6	PROBENENTNAHME UND DRUCKFESTIGKEITSUNTERSUCHUNGEN.....	50
3.7	FROST-TAUSALZ-PRÜFUNGEN AN AUSGEBAUTEN VERBUNDKREISSEGMENTEN .....	52
3.8	PRÜFUNG AUF HAFTZUGFESTIGKEIT AN AUSGEBAUTEN VERBUNDKREISSEGMENTEN .....	54
3.9	FROST-TAUSALZ-PRÜFUNGEN AN HERGESTELLTEN MÖRTELPRISMEN .....	55
3.10	HERSTELLUNG VON VERBUNDPROBEKÖRPERN UND FROST-TAUSALZ-PRÜFUNGEN .....	57
3.11	PRÜFUNG AUF HAFTZUGFESTIGKEIT AN HERGESTELLTEN VERBUNDPROBEKÖRPERN.....	59
3.12	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	61

<b>4</b>	<b>PROZESSANALYSE DER DERZEITIGEN EINBAUPRAXIS</b>	<b>65</b>
4.1	AUSWAHL VON SANIERUNGSVERFAHREN .....	65
4.2	BEGLEITUNG UND DOKUMENTATION DER SANIERUNGSVERFAHREN .....	66
4.3	BEOBACHTUNGEN .....	68
4.4	SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	73
<b>5</b>	<b>PRÜFVERFAHREN FÜR SCHACHTKOPFMÖRTEL</b>	<b>75</b>
5.1	EIGNUNGSPRÜFUNG .....	75
5.1.1	<i>Prüfung der Frischmörteleigenschaften</i> .....	75
5.1.2	<i>Prüfung der Festmörteleigenschaften</i> .....	78
5.1.3	<i>Prüfung auf Praxistauglichkeit (Einbau)</i> .....	82
5.1.4	<i>Zusammenfassung</i> .....	83
5.2	GÜTEPRÜFUNG .....	84
5.2.1	<i>Prüfung der Qualifikation des Anwenders</i> .....	84
5.2.2	<i>Überprüfung der Arbeitsschritte während der Bauausführung</i> .....	84
5.2.3	<i>Prüfung des Frischmörtels auf Verarbeitbarkeit</i> .....	86
5.2.4	<i>Probennahme und Überprüfung der Festmörteleigenschaften</i> .....	86
5.2.5	<i>Zusammenfassung</i> .....	87
5.3	ABNAHMEPRÜFUNG .....	88
5.3.1	<i>Optische Inspektion</i> .....	88
5.3.2	<i>Ultraschalluntersuchungen</i> .....	88
5.3.3	<i>Zusammenfassung</i> .....	89
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT</b>	<b>90</b>
<b>7</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>94</b>

## ANHANG

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Eine Vielzahl der Schachtabdeckungen in Kanalisationsnetzen sind beschädigt oder zum Teil sogar gänzlich zerstört. Ständige dynamische Belastungen, wechselnde Witterungsbedingungen in Kombination mit Frost-Tausalz-Angriffen im Winter sorgen für eine permanent hohe Beanspruchung und gegebenenfalls eine Zerstörung des Materials, insbesondere des eingesetzten Mörtels im Schachtkopfbereich. Mit Blick auf die zahlreichen Schachtbauwerke in Nordrhein-Westfalen (ca. 1,8 Mio.) ist demzufolge von einem immensen Sanierungsbedarf bei Schächten und Schachtabdeckungen auszugehen. Unter der Annahme einer Schadensquote von nur 1 % und durchschnittlichen Sanierungskosten von 500 € pro Schachtabdeckung betragen die Investitionskosten für zukünftige Sanierungen in NRW rund 9,0 Mio. €. Für das gesamte Bundesgebiet ergibt sich somit ein Investitionsvolumen von ca. 50 Mio. €. Die tatsächliche Schadensquote liegt voraussichtlich deutlich höher (vgl. [1]).

Die Dauerhaftigkeit der bisher durchgeführten Sanierungen an Schachtabdeckungen ist vielfach jedoch sehr gering. Erste Ansätze zur Lösung dieser Problematik werden in [2, 3, 4] aufgezeigt. Ziel der Untersuchungen in [2] war der Vergleich unterschiedlicher Sanierungsverfahren für Schachtabdeckungen im Hinblick auf eine dauerhafte Ableitung dynamischer Verkehrslasten unter Berücksichtigung der im Rahmen der europäischen Harmonisierung des Normen- und Regelwerkes geplanten Erhöhung der SLW-Radlasten. Ergänzend wurden in [3] die vorhandenen Sanierungsverfahren für Schachtabdeckungen unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten verglichen, bewertet und Vorschläge für ihre Modifizierung oder Neuentwicklung erarbeitet. Darüber hinaus konnten in [4] weitere Schwachstellen bei der Instandhaltung von Schachtabdeckungen identifiziert und Wege zur Erhöhung der Nutzungsdauer von Schachtabdeckungen aufgezeigt werden. Untersuchungsgegenstand in [2, 3, 4] waren schwerpunktmäßig die unterschiedlichen Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen, wie der Einsatz von Gussasphalt oder Elastomer-ringen sowie unterschiedliche Lastabtragsarten. Ergänzend wurde in [4] auch der Einfluss der Mörtelqualität auf das Sanierungsergebnis betrachtet. Es zeigte sich, dass viele der eingesetzten Mörtel oftmals nicht den hohen Anforderungen des Praxiseinsatzes genügen. Ursache hierfür ist das Fehlen einheitlicher Anforderungen an die Qualität von Mörteln zur Sanierung von Schachtabdeckungen. Vorhandene Eignungsprüfungen und Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel berücksichtigen außerdem lediglich vordefinierte Randbedingungen im Labor (vgl. [4]) und orientieren sich nicht am praxisorientierten Anwendungsfall. Es fehlt ein einheitliches, zuverlässiges Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel, das sicher Auskunft über die Eignung für den Einsatz im Straßenbau gibt.

Ohne aussagekräftige und zuverlässige Eignungsprüfungen bzw. Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel gehen die Netzbetreiber mit dem Einbau von „nicht praxisorientiert geprüften“ Mörteln ein hohes Investitionsrisiko ein. Insbesondere die Fragen der Dauerhaftigkeit und der Gewährleistung im Schadensfall sind bisher ungeklärt. Auch die Hersteller sehen sich durch die Produktion entsprechender Mörtel mit zahlreichen Unsicherheiten konfrontiert. Um die aufgezeigten Unsicherheiten auszuräumen ist es erforderlich und im Sinne der Netzbetreiber in NRW, ein zuverlässiges Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel zu entwickeln, das die besonderen Beanspruchungen und Anforderungen des Praxiseinsatzes berücksichtigt.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Entwicklung eines zuverlässigen Prüfverfahrens für Schachtkopfmörtel. Dieses Prüfverfahren soll den Netzbetreibern in NRW sichere Informationen über die Eignung und die Einsatzmöglichkeiten von Mörteln zur Sanierung von Schachtabdeckungen liefern. Dabei sollen insbesondere kritische Angriffsmuster, wie z.B. Frost-Tausalz-Angriff, Verkehrsbeanspruchungen und Verarbeitbarkeit unter Baustellenbedingungen Berücksichtigung finden. Vor dem Hintergrund unterschiedlicher Prüfanlässe und -zeitpunkte sind entsprechende Verfahren für die Eignungs-, die Güte- und die Abnahmeprüfung zu erarbeiten.

## 2 Stand der Technik

### 2.1 Einsatzgebiete und Randbedingungen

Mörtel, die bei Neubau und Sanierung von Abwässerschächten im Bereich des Schachtkopfes eingesetzt werden und besondere Anforderungen bezüglich Festigkeit, Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand erfüllen, werden laut [5] als *Schachtkopfmörtel* bezeichnet. Da diese Mörtel in der Regel bei Höhenregulierungen von Schachtabdeckungen Verwendung finden, werden sie auch als *Schacht-Regulierungsmörtel* bezeichnet.

Schachtkopfmörtel weisen in der Regel hohe Frühfestigkeiten auf, um bei einer Sanierung eine zügige Wiederfreigabe des Straßenverkehrs zu ermöglichen. Hohe Endfestigkeiten werden erreicht, um die permanent hohen Beanspruchungen infolge Verkehrslasten aufnehmen zu können.

Der Mörtel kann in folgenden Bereichen des Schachtkopfes angeordnet sein (vgl. Abb. 1):

- als Fuge zwischen Schachtrahmen und Ausgleichsring
- als Fuge zwischen zwei Ausgleichsringen
- als Fuge zwischen Ausgleichsring und Schachtkonus
- als Fuge zwischen Schachtrahmen und Schachtkonus (bei geringer Schachtkopfhöhe)
- als Ringraumverfüllung (Arbeitsraumverguss)
- als Mörtelbett für eine Umpflasterung

Die Mörtelfuge dient dazu, einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Schachtabdeckung bzw. Ausgleichsringen und Schachtkonus herzustellen. Bei abgesackten Schachtabdeckungen kann zudem mit Hilfe der Mörtelfuge der Höhenunterschied ausgeglichen wer-

den. Hierbei sind jedoch die von den Herstellern vorgesehenen minimalen Höhen einzuhalten, damit der kraftschlüssige Verbund des Mörtels nicht in Frage gestellt wird.

Mittels einer Ringraumverfüllung wird die Schachtabdeckung in den umgebenden Straßenoberbau eingebunden. Schachtkopfmörtel kann jedoch auch zusätzlich als Mörtelbett für eine nachträgliche Umpflasterung der Schachtabdeckung dienen. Bei dem beispielsweise von der Fa. Schacht + Trumme angebotenen SSU-System® erfolgt die Einbindung des Schachtes in die Straße mit speziellen Formsteinen, die in ein Mörtelbett aus Schachtkopfmörtel verlegt werden. Die Fugen werden anschließend mit einem bituminösen Material vergossen.

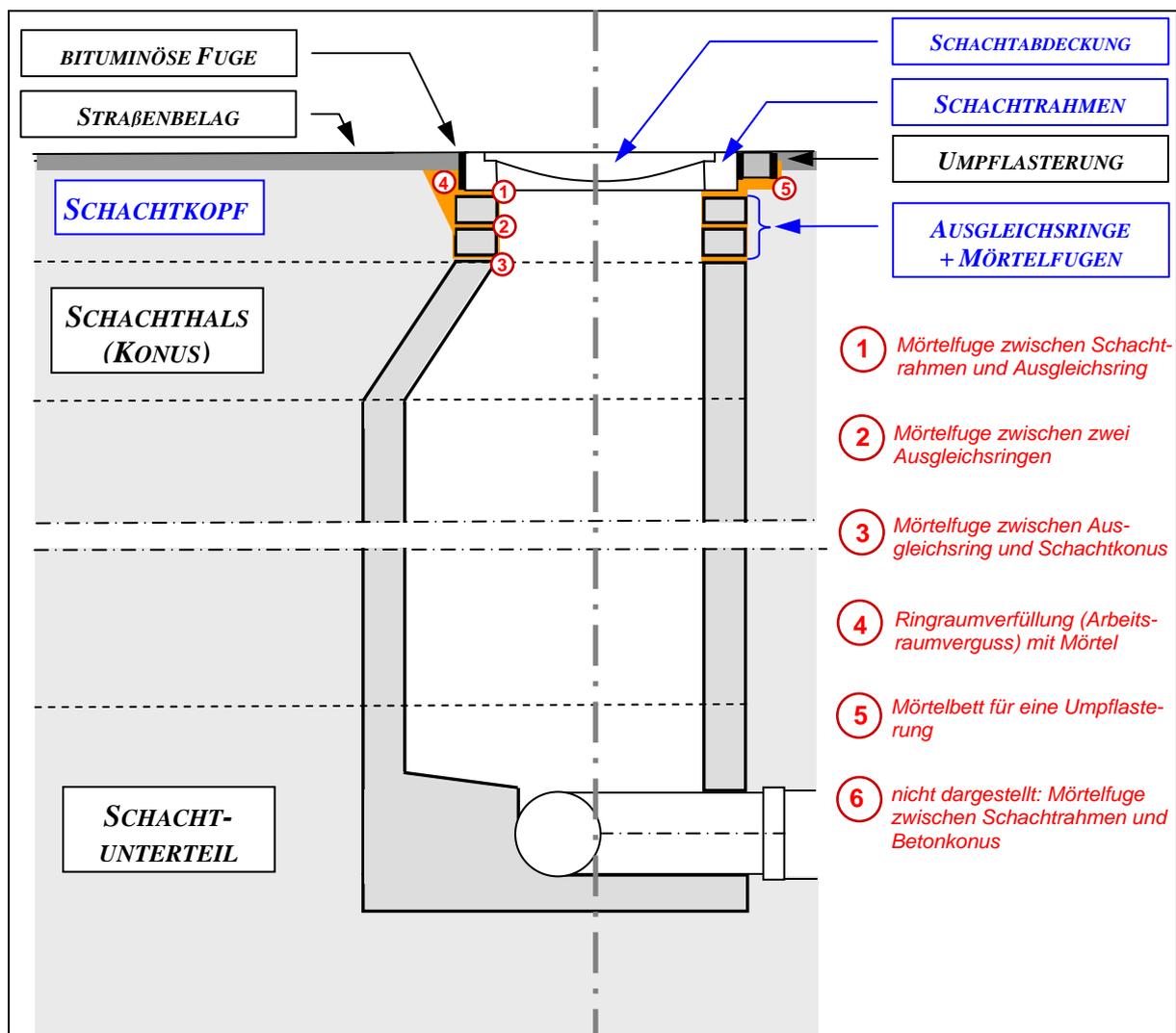


Abb. 1: Beispielskizze für die Anordnung von Schachtkopfmörtel bei einem Abwasserschacht, ohne explizite Darstellung des Straßenbelags, keine Einbauanleitung!

## 2.2 Mörtelarten und Eigenschaften

Für die Sanierung von Schachtabdeckungen werden verschiedene Mörtel angeboten, die sich hinsichtlich ihrer stofflichen Zusammensetzung und ihrer Eigenschaften unterscheiden können. In der Regel handelt es sich hierbei um werksseitig gemischte Trockenmörtel, die aus Zement, Zuschlägen, *organischen Zusätzen* (z.B. Kalkhydrat) bzw. *anorganischen Zusätzen* (z.B. pulverförmigen Polymeren) bestehen können.

Bei einer Unterteilung von Schachtkopfmörteln hinsichtlich ihrer Konsistenz kann zwischen *Vergussmörtel* und *plastischem Mörtel (Mauermörtel)* unterschieden werden.

*Vergussmörtel* ist in seiner Konsistenz fließfähig mit einem Größtkorn von maximal 8 mm [5]. Er wird zum Verfüllen von Bereichen verwendet, die nur von oben zugänglich sind. Aufgrund seines Eigengewichtes verteilt sich Vergussmörtel in die Hohlräume. Da es sich bei Schachtkopfmörtel um einen schnell erhärtenden Mörtel handelt, wird häufig auch die Bezeichnung *Schnellvergussmörtel* verwendet.

*Plastischer Mörtel (Mauermörtel)* ist in seiner Konsistenz plastisch mit einer Körnung  $\leq 4$  mm [5]. Die Verarbeitung erfolgt wie bei einem Mauermörtel mittels Kelle. Da dieser Mörtel auch in Bereichen verwendet werden kann, die nur von der Seite zugänglich sind, wird dieser auch als *Unterstopfmörtel* bezeichnet. So findet dieser Mörtel z.B. bei Schachtrahmenregulierungen Verwendung, bei denen die Schachtabdeckung lediglich angehoben und unterfüttert wird.

In einigen Schachtkopfmörteln sind *Kunststoff-Zusätze (Polymer-Zusätze)* enthalten, die eine Verbesserung bestimmter Eigenschaften (z.B. Steigerung der Biegezugfestigkeit [6]) bewirken sollen. Zement und Kunststoff übernehmen in diesem Fall beide die Bindemittelfunktion. Diese Mörtel werden auch als *kunststoffmodifizierte bzw. kunststoff-vergütete Mörtel (PCC)* bezeichnet. Gemäß der DAfStb-Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen [7] darf der Polymergehalt jedoch nicht über 5 % der Gesamttrockenmasse liegen.

Bei der Sanierung von Schachtabdeckung können auch sog. *Kunststoffmörtel* eingesetzt werden, die aus einem Kunststoff (Kunstharz bzw. Polymer) und dem Zuschlag bestehen. In diesem Fall übernimmt der Kunststoff die alleinige Bindemittelfunktion. Bei dem beispielsweise von der Firma Denso GmbH angebotenen Mörtel *DENSOLASTIC EM/EM-G* handelt es sich um einen zweikomponentigen Kunststoffmörtel auf Polyurethanbasis, dessen beide Komponenten auf der Baustelle miteinander verrührt werden. Gemäß Herstellerangaben ist der Mörtel für höchste statische und dynamische Belastungen geeignet, da er dauerhaft elastisch und schwingungsdämpfend ist [8].

Des Weiteren werden auch Schachtkopfmörtel angeboten, die *mit Fasern* versehen sind, um u. a. die Gefahr der Rissbildung während der Hydratation zu verringern. Von der Ergelit Trockenmörtel und Feuerfest GmbH wird beispielsweise der Trockenmörtel *ERGELIT-superfix 35F* angeboten, ein mit Stahlfasern modifizierter Vergussmörtel (vgl. Abb. 2). Laut Angaben des Herstellers führt der Einsatz der Stahlfasern zu einer hohen Rissicherheit und einem verbesserten Kantenschutz [9].

Mit Kunststofffasern versehener Trockenmörtel (siehe Abb. 3) wird von der IBW Baustoffe GmbH angeboten. Dieser faserverstärkte Mörtel ist sowohl als Vergussmörtel (*Superfix*,

SVM) als auch als plastischer Mörtel (SRM) erhältlich. Nach Angaben des Herstellers sorgen die Fasern für eine sofortige Unterstützung der Frühfestigkeitsphase [10].

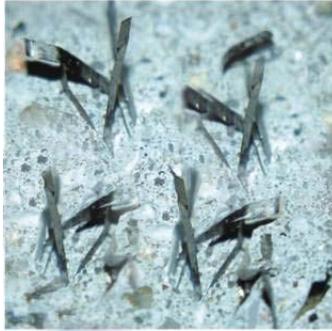


Abb. 2: *Stahlfasern des „ERGELIT-superfix 35F“ unter dem Mikroskop [9]*

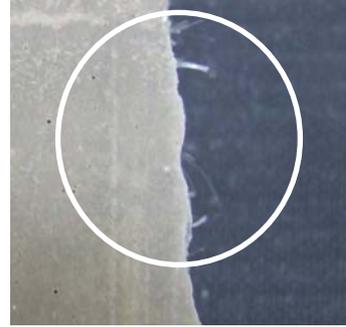


Abb.3: *Kunststofffasern an einer Sollbruchstelle nach einer Biegezugfestigkeitsprüfung am Mörtelprisma*

Die in Deutschland am Markt befindlichen Mörtel zur Sanierung von Schachtabdeckungen weisen laut Angaben der Anbieter in der Regel folgende Eigenschaften auf:

- *hohe Anfangs- und Endfestigkeit,*
- *eine schnelle Erhärtung*
- *hohe Frost- bzw. Frost-Tausalzbeständigkeit*

Beispiele für weitere Eigenschaften, mit denen die Anbieter dieser Mörtelprodukte zum Teil werben, sind nachfolgend aufgelistet:

- *chloridfrei*
- *elastisch*
- *verringerte Quell- und Schwindeigenschaften*
- *wasserundurchlässig*
- *gute Fließigenschaften (bei Vergussmörtel)*
- *schrumpffrei*
- *hochfließfähig, fließfähig, plastisch*
- *säure- und laugenresistent*
- *ölfest*
- *gute Haftfestigkeit*
- *hoher Widerstand gegen dynamische Belastungen*
- *hohe Rissicherheit*
- *verbesserter Kantenschutz*

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes konnten in Deutschland über 30 Anbieter von Mörtelprodukten identifiziert werden, die in ihrem Produktangebot u. a. Mörtel zur Sanierung von Schachtabdeckungen aufführen. Tabelle 1 enthält Beispiele für Mörtelprodukte der Anbieter, die zur Sanierung von Schachtabdeckungen eingesetzt werden können.

<b>Produktreihe</b>	<b>Anbieter</b>
<b>Aida®</b> Produkte	Remmers Baustofftechnik GmbH, Lönningen
<b>BETEC</b> Produkte	Grace Bauprodukte GmbH
<b>Betomor VGM</b> Produkte	KÖSTER BAUCHEMIE AG, Aurich
<b>Cerinol VM</b> Produkte	Maxit Deutschland GmbH (Marke Deitermann), Datteln
<b>Densolastic</b> Produktreihe	DENSO GmbH, Leverkusen
<b>Ebralit</b> Produktreihe	Beck GmbH, Bad Rappenau
<b>Epasit VM</b> Produkte	epasit GmbH Spezialbaustoffe, Ammerbuch
<b>Ergelit</b> Produktreihe	Ergelit Trockenmörtel und Feuerfest GmbH, Ailsfeld
<b>GLONIT</b> Produktreihe	Glombik GmbH, Stephanskirchen
<b>Henkel</b> Produkte	Henkel KGaA Bautechnik Deutschland
<b>Hevolit</b> Produktreihe	HV Kommunaltechnik GmbH, Bad Rappenau
<b>KERASAL® SVM</b> Produktreihe	KERASAL GmbH, Castrop-Rauxel
<b>MC-Vergussmasse FH bzw. Ombran</b>	MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop
<b>MS</b> Produktreihe	MS Mörtel-Spezial Technische Baustoffe GmbH, Düsseldorf
<b>PCI-Verguß-Fix</b> Produktreihe	PCI Augsburg GmbH
Produktreihe <b>VB3</b>	PAGEL SPEZIAL-BETON GmbH & Co. KG, Essen
<b>RAPID 03</b> Produkt	Vandex Isoliermittel-Gesellschaft mbH, Schwarzenbek
<b>SBM</b> und <b>S-Fix</b> Produkte	quick-mix Trockenbaustoffe GmbH, Osnabrück
Schacht-Vergussmörtel	Seifert-Spezialbaustoffe GmbH
<b>SEAL-TEC RM</b> Produkte	Seal-tec GmbH
<b>Sewament</b> u. <b>Mapegrout</b> Produktreihe	Mapei Deutschland GmbH, Erlenbach
<b>Shark SVM</b> , Plastofix	Shark Systembaustoffe GbR
<b>Sikagrout</b> Produktreihe	Sika Deutschland GmbH, Stuttgart
<b>Silifix Verguss</b> Produkte	Sikal GmbH & Co. KG, Mainhausen
<b>SIRIUS</b> Produktreihe	SIRIUS GmbH, Duisburg
<b>SK</b> Produktreihe	SAKRET Trockenbaustoffe Europa GmbH & Co. KG, Wiesbaden
<b>Superfix, SVM, SRM</b> - Produkte	IBW Baustoffe GmbH, Datteln
<b>Supralit</b> Produktreihe	Ingenieurbüro VBT, Greifenstein-Beilstein
Schnellverguss <b>SVN</b>	BASF Admixtures Deutschland GmbH
<b>Topolit</b> Produktreihe	P+T Technischer Mörtel GmbH, Neuss
<b>Viennalit</b>	Vienna GmbH
<b>Wipolit</b> Produktreihe	Wiebusch - Polymerbeton - Technik GmbH & Co.KG, Völklingen

Tab. 1: Anbieter von Schachtkopfmörtel und Produktbeispiele

### 2.3 Einflussfaktoren

Die Qualität von Schachtkopfmörtel ist von unterschiedlichen Einflussfaktoren abhängig. Mittels Rezeptur und Herstellungsprozess werden die Eigenschaften des Mörtels bereits durch den Mörtelhersteller maßgeblich beeinflusst. Entscheidend darüber hinaus ist die Lieferqualität der für die Herstellung des Mörtels benötigten Grundprodukte. Diese kann nur durch ständige Qualitätskontrollen seitens der Mörtelhersteller gewährleistet werden. Je nach Wahl der Rezeptur können bestimmte Eigenschaften des Mörtels verbessert werden. Dem gegenüber steht jedoch in der Regel eine Verschlechterung anderer Eigenschaften.

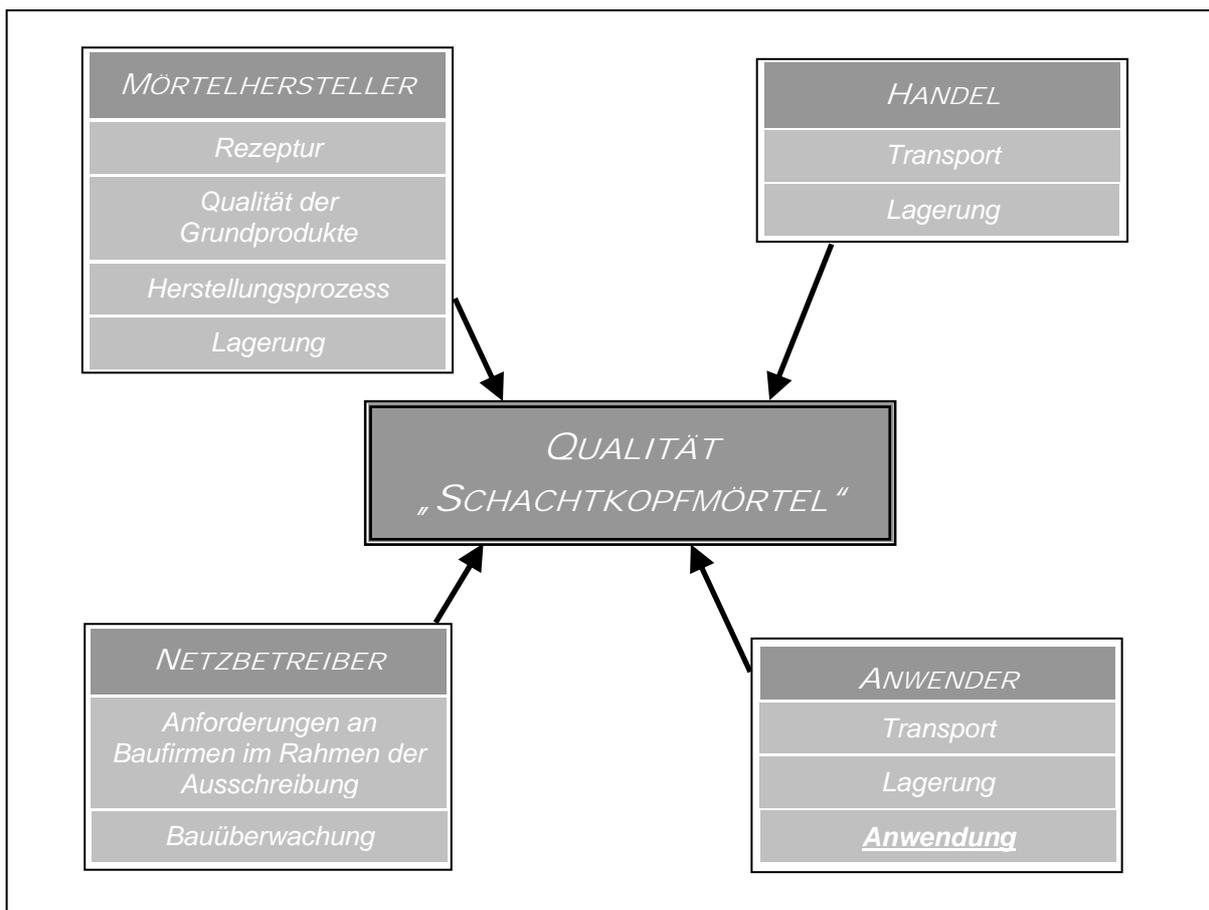


Abb. 4: Einflüsse auf die Mörtelqualität

Des Weiteren nimmt der Handel Einfluss auf die Qualität des Mörtels. Bei nicht ordnungsgemäßer Lagerung und Transport können die Eigenschaften des Trockenmörtels durch äußere Einwirkungen (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) negativ beeinflusst werden. So ist der Mörtel trocken zu lagern und sollte je nach Herstellerangaben innerhalb von 6 bis 12 Monaten nach Herstellungsdatum gemäß Chargenaufdruck aufgebraucht werden.

Der Netzbetreiber kann im Rahmen der Ausschreibung und Vergabe die Qualität der Bauausführung und die Qualität des Mörtels beeinflussen. Laut [4] sind zunächst in Abhängigkeit der Netzcharakteristik und unter Berücksichtigung von Kosten und Personalressourcen geeignete Sanierungsverfahren auszuwählen. Auch die zu verwendenden Bauteile und Werkstoffe wie z.B. ein Mörtel, der auf die örtlichen Randbedingungen (z.B. Art der Verkehrsbe-

lastung, verwendete Schachtabdeckung) abgestimmt ist, können seitens der Netzbetreiber im Rahmen einer Ausschreibung vorgeschrieben werden. Auch durch die Wahl der bauausführenden Firma kann gegebenenfalls die Qualität der Ausführung bzw. des Mörtels beeinflusst werden, indem bei der Vergabe folgende Fragestellungen berücksichtigt werden:

- *Verfügt die Baufirma über Erfahrungen im Umgang mit Schachtkopfmörteln?*
- *Welche Referenzen liegen vor?*
- *Handelt es sich um einen zertifizierten Betrieb (z.B. Zertifizierung nach Güteschutz Kanalbau)?*
- *Wurden die Mitarbeiter im Umgang mit Schachtkopfmörtel geschult (z.B. Schulung durch den Mörtelanbieter)?*

Des Weiteren kann der Netzbetreiber in der Funktion des Auftraggebers während der Bauphase bestimmte Qualitätssicherungsmaßnahmen durchführen, wie zum Beispiel stichprobenartige Baustellenbesuche oder Dokumentationen der Sanierungsmaßnahmen, um die Qualität des Mörtels zu überwachen.

Der Anwender vor Ort nimmt maßgeblich Einfluss auf die Qualität durch Mischen und Verarbeiten des Mörtels während der Bauausführung. Bei der Verwendung der Mörtel sind die Verarbeitungshinweise der Mörtelhersteller einzuhalten. Ein unsachgemäßer Umgang mit dem Mörtel kann beispielsweise zu starken Festigkeitsverlusten führen und somit die Dauerhaftigkeit des Mörtels beeinträchtigen. Einflussfaktoren auf die Mörtelqualität während der Bauausführung sind beispielsweise (vgl. [4]):

- *Witterungsbedingungen auf der Baustelle (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, etc.)*
- *verwendetes Mischungsverhältnis (Trockenmörtel zu Wasser)*
- *Mischdauer*
- *verwendetes Mischwerkzeug*
- *Dauer der Verarbeitung*
- *Art der Untergrundvorbereitung und Säuberung*
- *Werkstoffe verwendeter Bauteile (z.B. Betonausgleichsringe, Guss-Schachtabdeckung)*
- *verwendete Geräte für den Einbau (z.B. Nivellierahmen)*
- *Art der Nachbehandlung*

## 2.4 Anforderungen

### 2.4.1 Festigkeit

#### *DRUCKFESTIGKEIT*

In [4] wurde bereits festgehalten, dass die maximal auftretende Spannung unterhalb einer Schachtabdeckung als maßgebend für einen Schachtregulierungsmörtel anzunehmen ist. Als Grenze für die Verkehrsfreigabe wird von einem Wert von 10 N/mm<sup>2</sup> ausgegangen. Zudem empfiehlt sich für alle im Bereich des Schachtkopfes angeordnete Mörtel eine Mindestfestigkeit nach 28 Tagen, die der laut DIN 4281 [11] festgelegten Mindestfestigkeit von 45 N/mm<sup>2</sup> für Entwässerungsgegenstände aus Beton entspricht. Hiermit sind alle Entwässerungsgegenstände aus Beton gemeint, die im Gebrauch unmittelbar durch Verkehrslasten beansprucht werden können oder Frost-Tau-Wechseln oder starker mechanischer Beanspruchung ausgesetzt sein können.

In der Prüfrichtlinie für Mörtel im Sielbau [12] werden Mindestanforderungen an die Festmörteleigenschaften für Schachtkopfmörtel vorgegeben. Die Druckfestigkeit sollte nach 28 Tagen 20 bis 70 N/mm<sup>2</sup> betragen. Die Frühfestigkeit von Schachtkopfmörtel sollte bei Temperaturen von 20°C bis 30°C nach 2 Stunden einen Mindestwert von 10 N/mm<sup>2</sup> erreichen. Bei Temperaturen von 5° C ist nach 2 Stunden eine Mindestfestigkeit von 5 N/mm<sup>2</sup> vorgesehen.

In den GSTT-Informationen [5] wird hinsichtlich der Mindestfestigkeiten nach 28 Tagen zwischen plastischem Schachtkopfmörtel und flüssigem Schachtkopfmörtel (Vergussmörtel) unterschieden. Plastischer Mörtel sollte demnach nach 28 Tagen eine Mindestdruckfestigkeit von 45 N/mm<sup>2</sup> erreichen. Für Vergussmörtel wird eine Mindestdruckfestigkeit von 55 N/mm<sup>2</sup> gefordert.

#### *BIEGEZUGFESTIGKEIT*

Quantifizierte Anforderungen an die Mindestbiegezugfestigkeiten von Schachtkopfmörtel existieren nicht. Laut [4] sollten die Mörtel jedoch über eine dauerhafte Mindestbiegezugfestigkeit verfügen. Ein Abfallen der Festigkeitswerte während der Erhärtung ist zu vermeiden.

### 2.4.2 Quell- und Schwindverhalten

Mindestanforderungen an das Quell- und Schwindverhalten sind in [12] und [5] vorgegeben. Die im Rahmen der Untersuchung auf Quellen und Schwinden ermittelten Längenänderungen dürfen gemäß [5, 12] den Wert von 0,1% nicht überschreiten.

### 2.4.3 Frostbeständigkeit / Frost-Tausalz-Widerstand

Für eine Prüfung der Mörtel hinsichtlich des Frost-Tau- bzw. Frost-Tausalz-Widerstandes in Anlehnung an die Empfehlungen des DAfStb (Heft 422) wurden laut [4] keine eindeutigen Grenzkriterien bezüglich des Abwitterungsverhaltens festgelegt.

Beim CDF-Test [13] sind eindeutige Grenzkriterien bezüglich des Abwitterungsverhaltens festgelegt. Die mittlere Abwitterung darf einen Grenzwert von 1500 g/m<sup>2</sup> nicht überschreiten. Außerdem darf eine obere 5%-Fraktile von 1800 g/m<sup>2</sup> nicht erreicht werden [14].

Die innere Schädigung des Mörtels kann mit Hilfe des CIF-Tests [15,16] ermittelt werden. Hierbei wird der dynamische E-Modul vor und nach den Frost-Tau-Wechseln bestimmt. Für die innere Schädigung ist derzeit noch kein Grenzkriterium vorhanden. Die Prüfrichtlinie für Mörtel im Sielbau verweist hier lediglich auf die ÖNORM B 4200 Teil 10 [17]. Der dynamische E-Modul darf demnach nach 50 Frost-Tau-Zyklen um nicht mehr als 15 % abfallen.

### 2.4.4 Chemische Beständigkeit

Grenzkriterien für die chemische Beständigkeit werden in [5] nicht festgelegt. Hier wird lediglich darauf verwiesen, dass eine Prüfung auf Sulfatbeständigkeit erforderlich ist. Ein Nachweis der Beständigkeit gegen biogene Schwefelsäurekorrosion und gegen Einwirkung grundwasser-gefährdender Flüssigkeiten, sowie ein Nachweis der Undurchlässigkeit gegenüber wassergefährdender Flüssigkeiten wird hier nicht gefordert. Der in [5] geforderte Frost-Tausalz-Widerstand setzt jedoch Beständigkeit gegen Chloride voraus, da bei der Prüfung auf Frost-Tausalz-Widerstand eine NaCl-Lösung als Prüfmedium verwendet wird.

### 2.4.5 Verarbeitbarkeit

Mindestanforderungen an die Frischmörtel Eigenschaften wie Ausbreitmaß, Fließzeit und Verarbeitungszeit werden in [5] definiert. Für Vergussmörtel muss ein Ausbreitmaß von 30 cm und ein Fließmaß von 550 mm erreicht werden. Das Ausbreitmaß bei plastischem Mörtel sollte in einem Bereich von 10 bis 20 cm liegen. Die Verarbeitungszeiten bei 20 °C von 15 min bei plastischem Mörtel und 5 min bei Vergussmörtel dürfen nicht unterschritten werden.

### 2.4.6 Prüfverfahren

Normen, in denen Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel festgelegt werden, existieren zu Zeit nicht. Die Prüfung von Schachtkopfmörtel erfolgt in der Regel in Anlehnung an bereits bestehende Normen für herkömmliche Mörtel, Zemente und Betone. Nachfolgend sind beispielhaft einige Normen aufgeführt, die Prüfungen bzw. Prüfverfahren für Mörtel, Zement und Beton festlegen:

- **DIN 18 555**, Teil 1: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Allgemeines, Probenahme, Prüfmörtel, 1982
- **DIN 18 555**, Teil 2: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts, 1982
- **DIN 18 555**, Teil 3: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Festmörtel; Bestimmung der Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Rohdichte, 1982
- **DIN 18 555**, Teil 4: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Festmörtel; Bestimmung der Längs- und Querdehnung sowie von Verformungskenngrößen von Mauermörtel im statischen Druckversuch, 1986
- **DIN 18 555**, Teil 5: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Festmörtel; Bestimmung der Haftscherfestigkeit von Mauermörteln, 1986
- **DIN 18 555**, Teil 6: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Festmörtel; Bestimmung der Haftzugfestigkeit, 1987
- **DIN 18 555**, Teil 7: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Frischmörtel; Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens nach dem Filterplattenversuch, 1987
- **DIN 18 555**, Teil 8: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Frischmörtel; Bestimmung der Verarbeitbarkeitszeit und Korrigierbarkeitszeit von Dünnbettmörtel für Mauerwerk, 12987
- **DIN 18 555**, Teil 9: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemittel; Festmörtel; Bestimmung der Fugendruckfestigkeit, 1999
- **DIN 1048**, Teil 1: Prüfverfahren für Beton; Frischbeton, 1991
- **DIN 1048**, Teil 2: Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen, 1991
- **DIN 1048**, Teil 4: Prüfverfahren für Beton; Bestimmung der Druckfestigkeit von Festbeton in Bauwerken und Bauteilen; Anwendung von Bezugsgeraden und Auswertung mit besonderen Verfahren, 1991
- **DIN 1048**, Teil 5: Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper, 1991
- **DIN EN 196**, Teil 1: Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Festigkeit, 2005
- **DIN EN 196**, Teil 2: Prüfverfahren für Zement; Chemische Analyse von Zement, 2005
- **DIN EN 196**, Teil 3: Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit, 2005
- **DIN EN 196**, Teil 5: Prüfverfahren für Zement; Prüfung der Puzzolanität von Puzzolanzementen, 2005
- **DIN EN 196**, Teil 6: Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Mahlfeinheit, 1990
- **DIN EN 196**, Teil 7: Prüfverfahren für Zement; Verfahren für die Probenahme und Probenauswahl von Zement, 1990
- **DIN EN 196**, Teil 8: Prüfverfahren für Zement; Hydratationswärme - Lösungsverfahren, 1990
- **DIN 12 390**, Teil 1 – 6: Prüfung von Festbeton, 2006
- **DIN EN 1015**: Prüfverfahren für Mörtel und Mauerwerk, 1999
- **DIN EN 480**, Teil 1 - 5: Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren, 1997
- **DIN 52 450**: Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern, 1985
- **DIN ISO 8046**: Festbeton; Bestimmung der Ausziehfestigkeit, 1982
- **DIN 4051**: Kanalklinker – Anforderungen, Prüfung, Überwachung, 2002
- **DIN 18557**: Werkmörtel; Herstellung, Überwachung und Lieferung, 1997

## 2.5 Sanierungsverfahren

### 2.5.1 Höhenregulierung ohne Ausbau

Bei einer Höhenregulierung ohne Ausbau wird die vorhandene Schachtabdeckung mittels mechanisch oder hydraulisch betriebenen Schachtrahmenhebergerät durch Anheben oder Absenken an das Straßenniveau angepasst und mit Schachtkopfmörtel unterfüttert. Die Deck- bzw. Tragschicht der Straße im Umfeld der Schachtabdeckung wird nicht freigelegt, sondern bleibt bei diesem Sanierungsverfahren erhalten. Dieses Sanierungsverfahren wird eingesetzt, wenn lediglich Schäden im Bereich des Schachtkopfes, nicht jedoch im Bereich der umgebenden Straßendecke oder an der vorhandenen Schachtabdeckung vorzufinden sind. Zur Unterfütterung der Schachtabdeckung kann sowohl plastischer Mörtel als auch Vergussmörtel eingesetzt werden. Der Mörtel wird in diesem Fall nur in dem unterhalb der angehobenen Schachtabdeckung befindlichen Ringspalt angeordnet (Abb. 5).

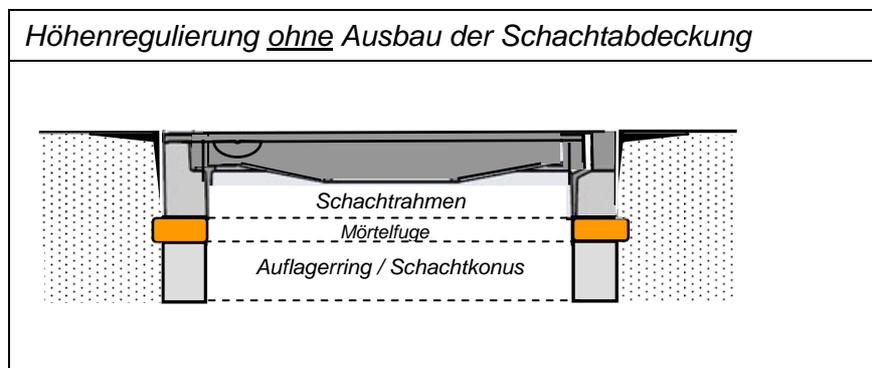


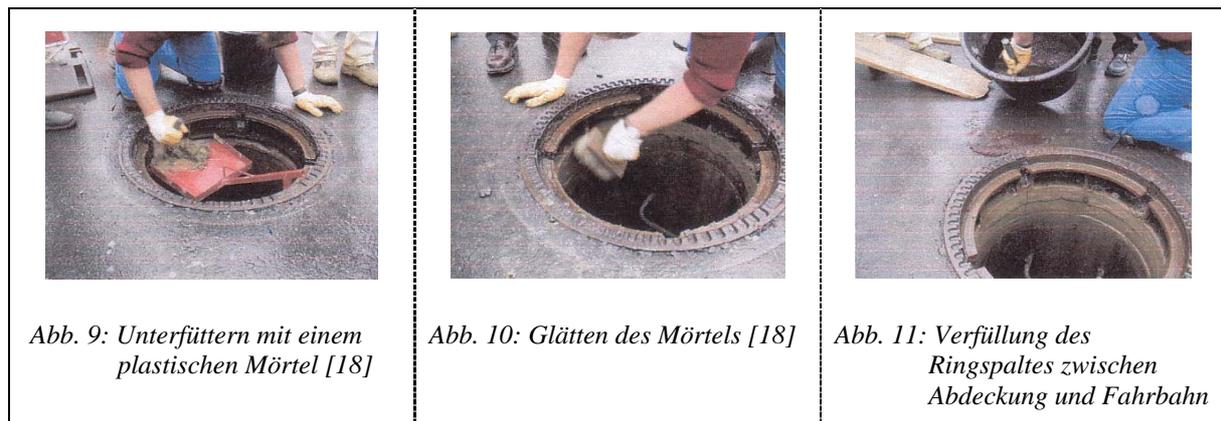
Abb. 5: Anordnung des Mörtels bei einer Höhenregulierung ohne Ausbau der Schachtabdeckung

Die Schachtabdeckung wird mit Hilfe eines zuvor in der Mörtelfuge verspannten Schachtrahmenhebergerätes vom Unterbau gelöst und angehoben (Abb. 6). Danach wird die Schachtabdeckung gegebenenfalls mit einer Justiervorrichtung bzw. einem Niveaualter an die Straßenhöhe angepasst (Abb. 7). Lose Teile bzw. Mörtelreste unterhalb der Schachtabdeckung werden entfernt.



**UNTERFÜTTERN MIT EINEM PLASTISCHEN MÖRTEL**

Die Unterfütterung mit einem plastischen Mörtel (Unterstopfmörtel) erfolgt mit Hilfe einer Kelle und einer Mörtelschaufel. Der Mörtel wird dabei in den Fugenspalt unterhalb der Schachtabdeckung zügig eingepresst (Abb. 9). Abschließend erfolgt eine Glättung der Fuge mittels Quast (Abb. 10). Der zwischen Schachtabdeckung und Fahrbahn entstandene Ringspalt wird mit einer Vergussmasse verfüllt (Abb. 11). Hierbei wird in der Regel ein bituminöses Verfüllmaterial verwendet.

**UNTERFÜTTERN MIT EINEM VERGUSSMÖRTEL**

Bei der Unterfütterung der Schachtabdeckung mit einem Vergussmörtel kommt eine Schlauchschalung, Luftmantelschalung oder Metallschalung zum Einsatz. Die Schalung dient dazu, ein Abfließen des Vergussmörtels ins Schachtinnere zu vermeiden. Bei der Verwendung einer Schlauchschalung erfolgt eine Luftbefüllung, nachdem diese innerhalb des Schachtes im Bereich des zu verfüllenden Ringspaltes positioniert wurde (Abb. 12). Über eine Einfüllöffnung wird der Vergussmörtel in den Fugenspalt eingebracht (Abb. 13). Nach der Erhärtung des Mörtels kann die Schlauchschalung entfernt werden (Abb. 14).



## 2.5.2 Höhenregulierung mit Ausbau

Bei einer Höhenregulierung mit Ausbau werden Bauteile im Bereich des Schachtkopfes (Schachtabdeckung, Auflageringe etc.) und Deck- und Tragschichten im Umfeld der Schachtabdeckung ausgebaut und erneuert. Bei Freilegung des Schachtkopfbereiches und Ausbau zu erneuernder Bauteile kann zwischen Stemmen, Bohren und Fräsen unterschieden werden. Unter Verwendung bestimmter Bauteile bzw. Werkstoffe und deren unterschiedliche Anordnungen kann der Lastabtrag im Bereich des Schachtkopfes verändert werden (Abb. 15).

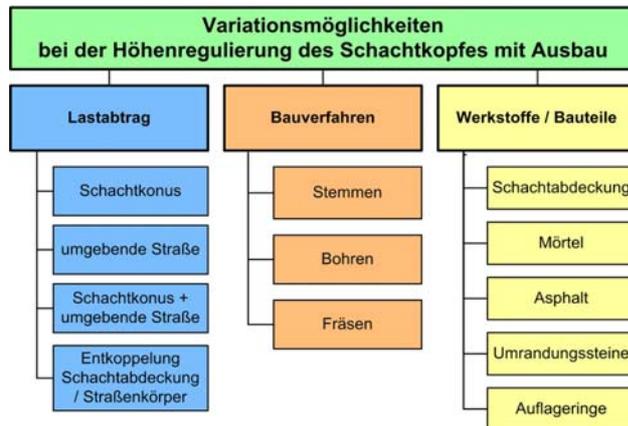


Abb. 15: Variationsmöglichkeiten bei der Höhenregulierung von Schachtabdeckungen [20]

Bei einer Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung kann der Mörtel in verschiedenen Bereichen angeordnet werden (Abb. 1). In Abbildung 16 ist beispielhaft die Anordnung des Mörtels bei einem senkrechten Ausbau der umgebenden Straßendecke mit anschließender Mörtelverfüllung des Arbeitsraumes dargestellt.

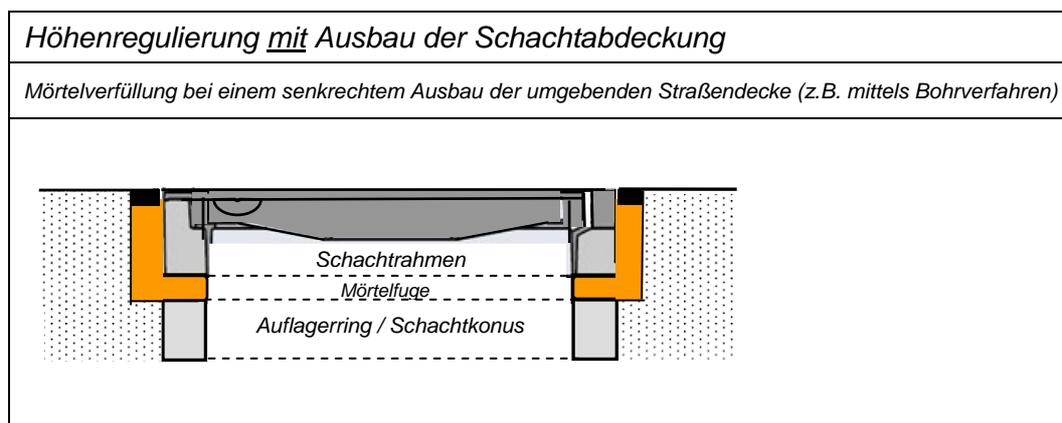


Abb. 16: Anordnung des Mörtels bei senkrechtem Ausbau

### 2.5.2.1 Ausbau

Beim konventionellen Ausbau der Schachtabdeckung wird zunächst die Fahrbahndecke im Bereich der Schachtabdeckung abgetragen. Mittels Trennschleifgerät oder Schachtrahmenschnidemaschine wird der Fahrbahnbereich im Umfeld der Schachtabdeckung durchtrennt, um die schadhafte Fahrbahndecke entfernen zu können.

STEMMEN (KONVENTIONELLER AUSBAU):

<b>BAUVERFAHREN: STEMMEN</b>			
<p><b>1. Arbeitsschritt:</b> Schneiden der Fahrbahndecke</p>			
	<i>mittels Trennschleifgerät</i>	<i>mittels Schachtrahmenschnidemaschine</i>	<i>mittels Kreisschneider RKS-20 T [21]</i>
<p><b>2. Arbeitsschritt:</b> Entfernen der schadhafte Fahrbahnoberfläche</p>			
	<i>rechteckiger Ausbruch</i>	<i>runder Ausbruch</i>	
<p><b>3. Arbeitsschritt:</b> Stemmen: Freilegen der Schachtabdeckung</p>			
	<i>mittels Presslufthammer</i>	<i>mittels elektrischem Meißel</i>	<i>mittels Spitzhacke</i>
<p><b>4. Arbeitsschritt:</b> Ausbau der Schachtabdeckung, Entfernen defekter Ausgleichsringe und loser Teile, Reinigung</p>			
	<i>ausgebaute Schachtabdeckung</i>	<i>Entfernen des Schachtrahmens</i>	<i>Entfernen loser Teile</i>
<b>VORTEILE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>kleine und großflächige Aufbrüche möglich</i></li> <li>➤ <i>rechteckige und runde Aufbrüche möglich</i></li> <li>➤ <i>geringe Anschaffungskosten für Arbeitsgeräte</i></li> <li>➤ <i>Form des Aufbruchs ist individuell anpassbar</i></li> </ul>		
<b>NACHTEILE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>hoher Arbeitsaufwand</i></li> <li>➤ <i>zeitintensiv</i></li> </ul>		

Abb. 17: Bauverfahren „Stemmen“

Die Größe des Ausbruchs kann variiert werden. Der Ausbruch sollte jedoch mindestens die Größe aufweisen, die erforderlich ist, um die schadhafte Fahrbahndecke im Bereich der

Schachtabdeckung entfernen zu können. Danach wird der Schachtkopf freigelegt, um einen Austausch der Schachtabdeckung und einen Austausch defekter Ausgleichsringe vornehmen zu können. Loses Ausbruchsmaterial und defekter Unterbau werden dabei entfernt.

**BOHREN:**

Beim Bohrverfahren wird die gesamte Straßendecke im Bereich der Schachtabdeckung mittels einer hydraulisch angetriebenen Kernbohrmaschine durchgeschnitten. Wenn die für die Schachtrahmensanierung erforderliche Bohrtiefe erreicht ist, wird der Schachtrahmen mit Hilfe einer innen liegenden hydraulischen Spreize verspannt. Danach wird das Bohrgerät mit dem aus Schachtrahmen und Straßenoberbau bestehenden Bohrkern angehoben und entfernt. Je nach Durchmesser der Schachtabdeckung und Größe des Schadens können Kernbohrmaschinen mit unterschiedlichen Durchmessern eingesetzt werden (750 bis 1500 mm).

<b>BAUVERFAHREN: BOHREN</b>			
<p><u>1. Arbeitsschritt:</u> Bohren mittels Schachtrahmenbohrmaschine</p>			
	<i>Ausrichten des Bohrkopfes</i>	<i>Setzen des Bohrkopfes</i>	<i>Bohren</i>
	<p><u>2. Arbeitsschritt:</u> Ausheben der Schachtabdeckung, Entfernen loser Teile, Reinigung</p>		
<i>Aushub des Bohrgutes</i>		<i>freigelegter Schachtkopf</i>	<i>freigelegter Schachtkopf nach Reinigung</i>
<b>VORTEILE</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>geringer körperlicher Arbeitsaufwand</i></li> <li>➤ <i>saubere Trennung des Straßenoberbaus</i></li> <li>➤ <i>geringer Personaleinsatz</i></li> <li>➤ <i>geringer Zeitaufwand für das Entfernen loser Teile</i></li> </ul>	
<b>NACHTEILE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>hohe Anschaffungskosten für Arbeitsgerät</i></li> <li>➤ <i>bei Schächten im Bereich von Bordsteinkanten nicht einsetzbar</i></li> </ul>		

Abb. 18: Bauverfahren „Bohren“

**FRÄSEN:**

Beim Fräsen wird die gesamte Straßendecke im Bereich der Schachtabdeckung mittels einer Kanaldeckelfräse durchtrennt. Die Kanaldeckelfräse wird hydraulisch angetrieben und ist in der Regel an Radlader, Kompaktlader, LKW mit Ladekran oder Bagger angebracht. Mit Hilfe sog. Planfräsesegmente, die seitlich an der Fräskrone montiert werden, lassen sich konische bzw. verbreiterte Fräsungen herstellen. Freigefräste und locker sitzende Fräskerne können mit Hilfe einer sog. Fräskernzange entfernt werden. Das übrige Fräsgut ist mittels Handwerkzeug zu entfernen.

<i>BAUVERFAHREN: FRÄSEN</i>			
<p><u>1. Arbeitsschritt:</u> <i>Fräsen mittels Kanaldeckelfräse</i></p>			
	<i>Fräse im Einsatz [22]</i>	<i>Ausrichten der Fräse [22]</i>	<i>Fräsen [22]</i>
<p><u>2. Arbeitsschritt:</u> <i>Aushub, Entfernung des Fräsgutes</i></p>			
	<i>freigefräste Schachtabdeckung</i>	<i>Entfernen des Fräsgutes [22]</i>	<i>Fräskernzange zum Entfernen des Schachtkopfes [23]</i>
<b>VORTEILE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>geringer Arbeitsaufwand</i></li> <li>➤ <i>konische Lasteinleitung möglich</i></li> <li>➤ <i>geringer Personaleinsatz</i></li> </ul>		
<b>NACHTEILE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <i>hohe Anschaffungskosten</i></li> <li>➤ <i>Entfernung des Fräsgutes erforderlich</i></li> <li>➤ <i>nicht überall einsetzbar (in Abhängigkeit von Untergrund und Lage)</i></li> </ul>		

Abb. 19: Bauverfahren „Fräsen“

**2.5.2.2 Einbau**

Beim Einbau von Bauteilen im Bereich des Schachtkopfes (Schachtabdeckung, Auflager- ringe, etc.) kann sowohl plastischer Mörtel als auch Vergussmörtel zum Einsatz kommen. Die zuvor ausgebauten defekten Bauteile werden hierbei durch neue Bauteile ersetzt. Je nach Zustand des Schachtkopfes müssen ein oder mehrere Bauteile erneuert werden. Im günstigsten Fall muss nur die Schachtabdeckung mit umgebender Straßendecke erneuert

werden. Im ungünstigsten Fall ist eine Erneuerung sämtlicher Bauteile (Schachtabdeckung, Auflagerringe, etc.) im Bereich des Schachtkopfes erforderlich.

#### *EINBAU MIT EINEM PLASTISCHEN MÖRTEL*

Beim Einbau von Bauteilen im Bereich des Schachtkopfes mit einem plastischen Mörtel wird der Mörtel kellegerecht hergestellt und auf die vorbehandelte Oberfläche mittels Kelle aufgetragen (Abb. 20). Direkt im Anschluss wird das Bauteil (Ausgleichsring oder Schachtabdeckung) in den Mörtel gesetzt (Abb. 21) und ausgerichtet. Die Schachtabdeckung wird in der Regel mittels Nivellierlatte an die Straßenhöhe angepasst. Danach wird der Mörtel mit Hilfe von Pinsel oder Handschuh geglättet (Abb. 22). Nach Erhärtung des Mörtels kann mit der Verfüllung des Arbeitsraumes (Ringraumes) und Wiederherstellung des Straßenoberbaus begonnen werden.



Abb. 20: Aufbringen des Mörtels



Abb. 21: Setzen der Schachtabdeckung



Abb. 22: Glätten der Mörtelfuge

#### *EINBAU MIT EINEM VERGUSSMÖRTEL*

Beim Einbau von Bauteilen im Bereich des Schachtkopfes mit Vergussmörtel kann eine Schlauchschalung, Luftmantelschalung oder Metallschalung eingesetzt werden. Nach dem Ausrichten des Bauteils wird die Schalung über den zu verfüllenden Ringspalt gesetzt. Die Höhenanpassung bzw. Ausrichtung einer Schachtabdeckung erfolgt mittels Nivellierahmen (Abb. 23). Schlauch- und Luftmantelschalungen werden nach dem Einsetzen mit Luft befüllt. Die Metallschalung wird innerhalb des Schachtes verspannt. Im Anschluss erfolgt eine Verfüllung der Fuge bzw. des Ringspaltes mit Vergussmörtel (Abb. 25). Nach der Erhärtung des Mörtels wird die Schalung entfernt und der Straßenoberbau im Umfeld der Schachtabdeckung kann hergestellt werden.



Abb. 23: Ausrichten der Schachtabdeckung mittels Nivellierahmen



Abb. 24: eingesetzte Schalung



Abb. 25: Verfüllung mit Vergussmörtel

### 2.5.2.3 Bauteile und Werkstoffe

Im Bereich des Schachtkopfes können verschiedene Bauteile und Werkstoffe eingesetzt werden (Abb. 1). Hierbei wird unterschieden zwischen Schachtabdeckungen, Mörtel, Asphalt, Umrandungssteinen und Auflagerringen.

Der Lastabtrag erfolgt in der Regel über den Schachtkonus. Vertikal einwirkende Lasten werden hierbei laut [4] in den Schachtkonus eingeleitet. Der Abtrag horizontaler Lasten erfolgt durch die Einbindung in den Straßenkörper, die beispielsweise in Gussasphalt, Asphaltbeton oder aus Formsteinen ausgeführt sein kann.

Durch eine Entkoppelung der Schachtabdeckung vom Schachtkonus werden die vertikalen Lasten beispielsweise über Betonplatten in den umgebenden Baugrund eingeleitet. Über die Einbindung der Schachtabdeckung in der Straßendecke werden die horizontalen Lasten aufgenommen.

Durch die Verwendung der konischen Schachtabdeckung Budaplan®, System Stehr, wird ein Lastabtrag über den Schachtkonus und gleichzeitig über die umgebende Straßendecke erreicht. Die konische Form des Schachtrahmens bewirkt, dass sich die Abdeckung bei Setzungen in der Fahrbahn verspannt.

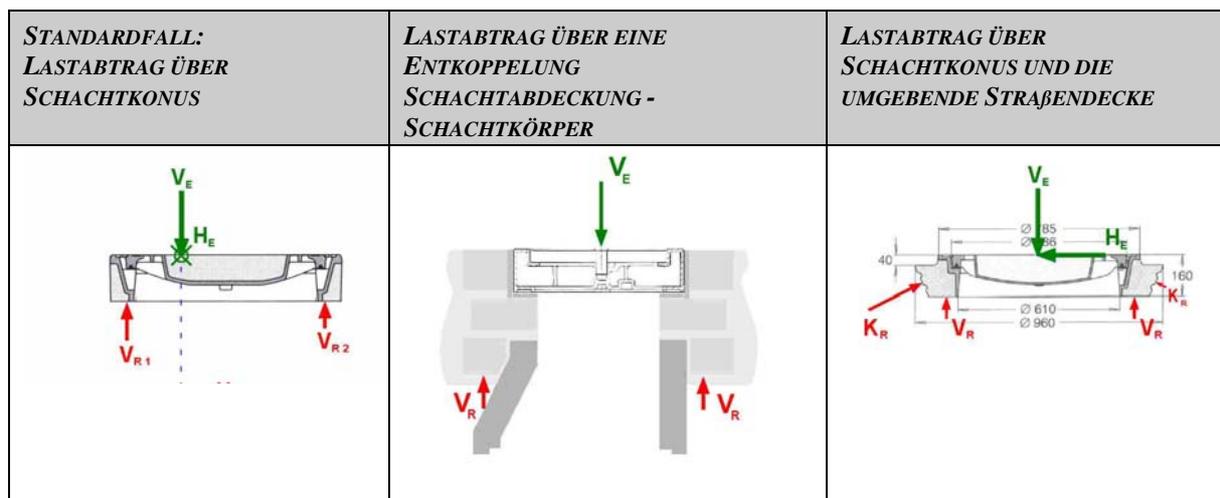


Abb. 26: Darstellung der Lasteinleitung und des Lastabtrages [4]

Bei einem Lastabtrag über die umgebende Straßendecke wird kein Schachtkopfmörtel eingesetzt, da die Schachtabdeckung zusammen mit dem heißen Asphalt eingewalzt wird. Bei dieser sog. schwimmend verlegten Schachtabdeckung werden die Verkehrslasten in die umgebende Fahrbahn eingeleitet.

Im Rahmen dieses Projektes waren jedoch nur die Systeme von Interesse, bei denen Schachtkopfmörtel verwendet wird. Bei einem Lastabtrag über den Schachtkonus werden die eingeleiteten Verkehrslasten u. a. zunächst von den Mörtelfugen im Schachtkopfbereich aufgenommen. Bei einem Lastabtrag über eine Entkoppelung Schachtabdeckung – Schachtkörper bzw. über die umgebende Straßendecke müssen von den Mörtelfugen im Schachtkopfbereich geringere Lasten aufgenommen werden als beim Standardfall.

Im Rahmen dieses Projektes wird im Wesentlichen zwischen Schachtabdeckungen mit einem Guss-Rahmen und Schachtabdeckungen mit Beton-Guss-Rahmen unterschieden, da Beschaffenheit und Werkstoff der Unterseite des Schachtrahmens die Verbundwirkung zwischen Schachtabdeckung und Mörtel beeinflussen können.

Bei Schachtabdeckungen mit einem Beton-Guss-Rahmen (Abb. 27, Abb. 28) besteht die Unterseite des Rahmens im Bereich der Kontaktfläche zum Mörtel in der Regel aus einer glatten Oberfläche aus Beton, die Innenseite des Rahmens demgegenüber aus Guss.

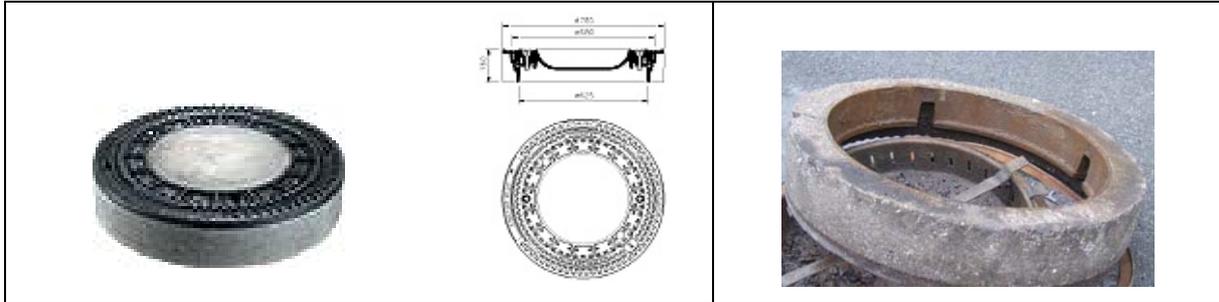


Abb. 27: Schachtabdeckung mit Beton-Guss-Rahmen [24]

Abb. 28: Unterseite eines Beton-Guss-Rahmens

Bei Schachtabdeckungen mit einem Guss-Rahmen besteht der Rahmenfuß im Bereich der Kontaktfläche zum Mörtel aus Guss. Die Unterseite des Rahmens kann von unterschiedlicher Beschaffenheit sein. Neben Schachtabdeckungen, die an der Unterseite des Guss-Rahmens eine glatte Oberfläche aufweisen (Abb. 29), werden u. a. auch Schachtabdeckungen angeboten, die an der Unterseite des Guss-Rahmens eine Verzahnung aufweisen (Abb. 30).



Abb. 29: Ausschnitt eines vertikal aufgerichteten Guss-Rahmens mit glatter Unterseite



Abb. 30: Ausschnitt eines vertikal aufgerichteten Guss-Rahmens einer VIATOP-Schachtabdeckung mit Verzahnung an der Unterseite



Abb. 31: Ausschnitt eines vertikal aufgerichteten Guss-Rahmens einer Hydrotec-Schachtabdeckung mit Öffnungen an der Unterseite

Mit Hilfe der Verzahnung an der Unterseite der Schachtabdeckungen sollen möglicherweise die Schubkräfte vom Schacht besser aufgenommen werden. Einem Abscheren des Schachtrahmens infolge horizontaler Lasten wird demnach entgegengewirkt.

Mit Hilfe von Öffnungen an der Unterseite des in Abbildung 31 dargestellten Guss-Rahmens kann ein besserer Verbund zwischen Schachtrahmen und Mörtelfuge unterhalb der Schachtabdeckung erreicht werden, da über die Öffnungen eine Verbindung der Mörtelfuge zur Mörtelverfüllung innerhalb des Schachtrahmens hergestellt werden kann.

## 2.6 Schädigungsprozesse

### 2.6.1 Schädigung durch Sulfatangriff

Ein Sulfatangriff kann im Mörtel und Beton einen treibenden Angriff verursachen. Das treibende Produkt ist der nadelförmig auskristallisierte Ettringit, der sich in der Porenlösung aus calciumaluminathaltigen Produkten ( $C_3A$ ) und Calciumsulfat bilden kann. Die treibende Reaktion kann je nach Dichtigkeit des Materials zu Oberflächenschäden oder zur vollständigen Gefügezerstörung führen (vgl. Abb. 32, 33).

Das zur Reaktion notwendige Calciumsulfat kann als innerer Sulfatpuffer aus einer Umwandlung von Trisulfat in Monosulfat oder Gipszusätzen vorliegen oder auch durch eine äußere Sulfatzufuhr über wässrige Lösungen eingetragen werden.

Der Sulfatangriff verstärkt sich mit der Konzentration an Sulfat in der Porenlösung, einem zunehmenden  $C_3A$ -Gehalt und  $C_4AF$ -Gehalt des Zementes und deren Verhältnis, bei sinkendem pH-Wert (Alterung) und zunehmender Kationen-Konzentration in der Porenlösung.



Abb. 32: unteres Kreissegment eines ausgebauten abwasserberührten Kanals einer Oberflächenschädigung durch Sulfatreiben

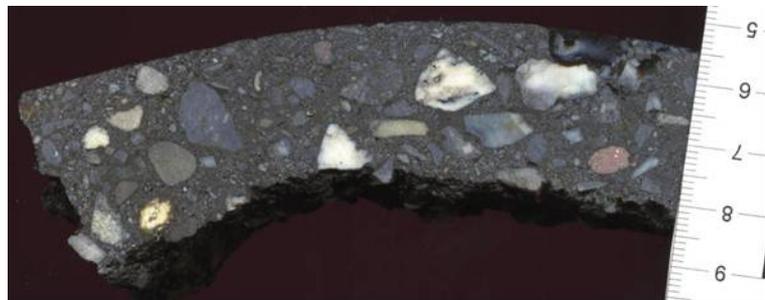


Abb. 33: Nahansicht aus Abbildung 32

### 2.6.2 Schädigung durch Frost- und Frost-Tausalz-Angriff

Ein Frost-Tau-Zyklus ist ein dynamischer thermischer Prozess, bei dem in der Gefrierphase eine Frostfront und in der Erwärmungsphase eine Taufront in den Beton eindringt. Ein Frost-Tau-Zyklus wirkt zunächst also als sog. Mikroeislinsepumpe [25], die den Beton weit über das Maß hinaus sättigt, das z. B. durch kapillares Saugen bei konstanter Temperatur erreicht wird. Erst wenn durch diesen Mechanismus ein kritischer Sättigungsgrad erreicht ist, dann wird der Beton durch die Gefrierausdehnung des Eises in wenigen Gefrierzyklen geschädigt.

Bei gleichzeitiger Einwirkung von Tausalzen wird der o.g. Mechanismus zum einen durch osmotische Effekte verstärkt und der erforderliche Sättigungsgrad bis zum Beginn einer Schädigung reduziert und zum anderen treten makroskopische Randspannungseffekte durch unterschiedliches Gefrierverhalten auf, die überlagernd zu einer verstärkten Oberflächenschädigung durch eine Abwitterung führen.

Die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel, die bei gegebener Randbedingung (Temperaturprofil, Eindringen der Wärmewellen, Angebot an Wasser und Tausalzen) erforderlich sind, um eine kritische Sättigung zu erreichen, hängt von der Struktur des Mörtels oder des Betons, d. h.

der Materialtechnologie ab. Betontechnologisch ist für Pumpkraft die Menge des ungefrorenen Wassers im Zementgel entscheidend, d. h. im Wesentlichen die Zementmenge und der Hydratationsgrad und damit Alter, Nachbehandlung, Art des Bindemittels etc. Die Pumpwirkung wird durch die Reibungsverluste, d. h. der Grad der Undurchlässigkeit, reduziert. Künstlich eingeführte Luftporen verbessern den Frost- und Frost-Tausalz-widerstand. Auch Verdichtungsporen können vergleichbar wirken, wenngleich sie überwiegend wesentlich größer als künstliche Luftporen sind und daher weniger effizient. Kapillarporen und Grobporen können durch drückendes Wasser gesättigt werden. Diesen Effekten überlagert sich die Sättigung durch die Mikroeislinsepumpe, die ebenso wie von außen drückendes Wasser auch grobe Poren füllen kann.

Die Richtlinien und Normen für die Betonherstellung enthalten Grenzwerte für die Betonzusammensetzung, die aufgrund langjähriger Erfahrung in der Regel einen erhöhten Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand gewährleisten – „Entwurfskonzept“ (DIN 1045, etc.). Die Angaben sind keineswegs einheitlich und variieren u. a. im Mindestzementgehalt, w/z-Wert und Anrechnung von Zusatzstoffen, so dass es zu Frost- und Frost-Tausalz-Schäden in der Praxis kommen kann, obwohl das Entwurfskonzept eingehalten wurde. Eine Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstands von Beton wird für den Straßenbau [26] und Wasserbau [15, 27] unabhängig von der Vorgabe an die Betonzusammensetzung gefordert.

Bei den Mörtelsystemen für die Schachtkopfsanierung existiert kein Entwurfskonzept, d.h., die Hersteller haben keine Vorgaben hinsichtlich der Zusammensetzung des Mörtels. Die Güte wird über die Festigkeit nachgewiesen. Eine Prüfung wird derzeit nicht durchgeführt.

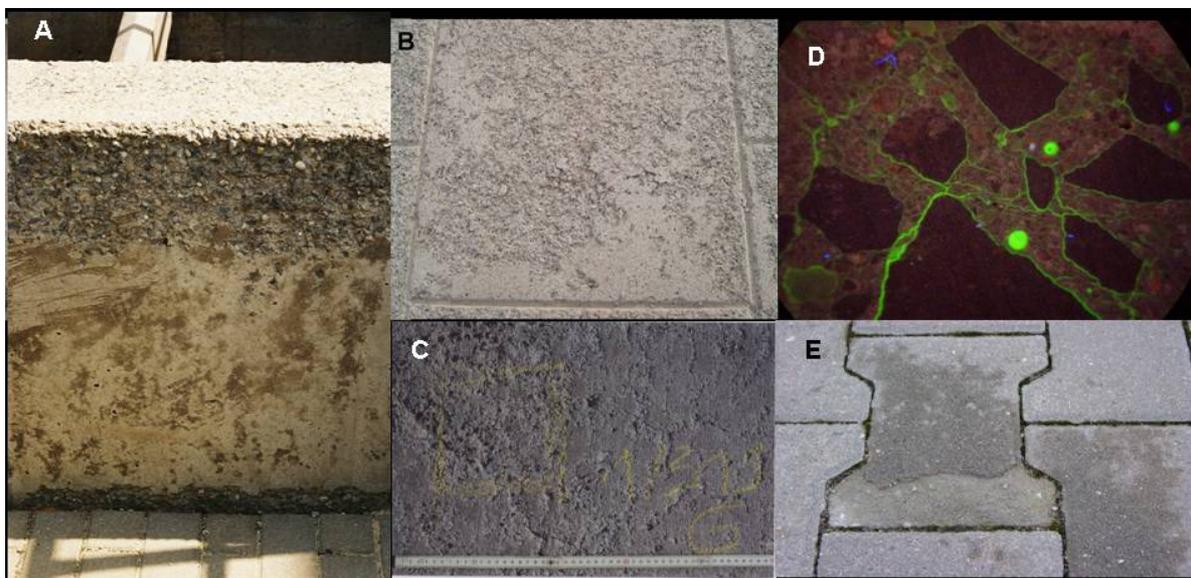


Abb. 34: Schädigungstypen aufgrund eines Frost- und Frost-Tausalz-Angriffs. A: Räumlerlaufbahn mit Tausalzschaden, B und C: Verkehrsflächen mit Tausalzschaden, D: Innerer Gefügeschaden durch Rissbildung verursacht durch Frostangriff und E: Verbundstörung bei Betonwaren

### 2.6.3 Schäden aus Verkehrslasten

Eine Schädigung durch Verkehrslasten kann durch den direkten mechanischen Angriff (also Abrieb- / Stoßbelastung) oder durch eine dynamische Beanspruchung aus Schwingungsbelastung mit Ermüdungsbruch entstehen. Direkt belastete Oberflächen zeigen Verschleißerscheinungen mit der Intensität der Belastung, wie Fahrspurrillen und Vertiefungen durch Bremsenwirkung. Bei Verbundsystemen, wie bei einem Schachtkopf, treten durch die Verkehrsbelastung Bauteilschwingungen auf. Entsprechend der materialspezifischen elastischen Eigenschaften treten Spannungen im Gefüge entsprechend der spezifischen Eigenfrequenz (Ermüdungsbruch bei Stahl) und an den Grenz- bzw. Verbundflächen durch Impedanzsprünge auf, die schädigend auf die Verbundeigenschaften einwirken können. Durch eine Schwingungsbelastung können erhebliche Schädigungen hervorgerufen werden. Hierbei treten sowohl ein akutes Versagen als auch langsam fortschreitende Gefügeschädigungen auf.

### 3 Feststellung des Ist-Zustandes und Laboruntersuchungen

#### 3.1 Auswahl von Sanierungsmaßnahmen

Um den Ist-Zustand an durchgeführten Sanierungsmaßnahmen erfassen zu können, wurde in einem ersten Schritt Kontakt zu interessierten Netzbetreibern aufgenommen. Im Rahmen einer telefonischen Befragung wurden zunächst allgemeine Informationen zu den im jeweiligen Netz durchgeführten Sanierungsmaßnahmen an Schachtabdeckungen erfasst. Von Interesse waren hierbei insbesondere Fragestellungen zu den eingesetzten Sanierungsverfahren, den verwendeten Mörteln, zur Bauausführung und zur Dauerhaftigkeit der Sanierungsmaßnahmen. Zudem wurden die Erfahrungen der Netzbetreiber bezüglich des Einsatzes von Sanierungsverfahren und Schachtkopfmörteln dokumentiert.

<b>Sanierungsverfahren</b>	<p>Erfolgt eine Höhenregulierung i. d. R. mit oder ohne Ausbau der Schachtabdeckung?          Welches Ausbaurverfahren (Stemmen, Bohren oder Fräsen) wird verwendet?          Wird der Ausbau bzw. das Anheben der Schachtabdeckung mit einem Schachtrahnenhebergerät durchgeführt?          Werden bei der Schachtsanierung bestimmte Bauteile oder Systeme verwendet wie z.B. SSU-System, Lastverteilungsplatte, Umrandungssteine, konische Schachtabdeckung?</p>
<b>Mörtel</b>	<p>Wird bei der Sanierung Schachtkopfmörtel oder herkömmlicher Mörtel (MG III) verwendet?          Wird plastischer Mörtel oder Vergussmörtel eingesetzt?          Welche Mörtel wurden bereits eingesetzt (Bezeichnung und Hersteller)?</p>
<b>Bauausführung</b>	<p>Wird die Schachtsanierung in Eigenarbeit durchgeführt oder werden Fremdfirmen beauftragt?          Welche Firmen führen die Arbeiten durch (Tiefbauunternehmen oder Schachtsanierungsfirmen)?          Erfolgt die Ausschreibung über Jahresverträge oder wird für bestimmte Sanierungsmaßnahmen ausgeschrieben?          Wie viele Schächte werden pro Jahr saniert?</p>
<b>Dauerhaftigkeit</b>	<p>Sind Schäden an bereits sanierten Schachtabdeckungen erkennbar?          Was für Schäden sind erkennbar (Risse, Abplatzungen, Ausblühungen)? Was sind möglicherweise die Ursachen (Verkehrsbelastungen, Qualität des Mörtels, Frost-Tausalzbelastungen etc.)?          Welche Erfahrungen wurden mit bestimmten Mörteln gemacht?</p>

Tab. 2: Allgemeiner Fragenkatalog

Im Rahmen weiterer Gespräche mit den Netzbetreibern wurden dann detaillierte Informationen zu den sanierten Schachtabdeckungen und den örtliche Randbedingungen erfasst. Hierzu war jedoch im Vorfeld in der Regel eine gründliche interne Nachforschung seitens der Netzbetreiber erforderlich, da diese Informationen meistens nicht sofort abgerufen werden konnten. So mussten beispielsweise Unterlagen gesichtet und das Betriebspersonal befragt werden. Folgende Kriterien wurden bei der Recherche und Auswahl der Schächte zu Grunde gelegt:

- Schachalter
- Alter der Sanierungsmaßnahme
- Schachtbauart (Mauerwerk, Beton, etc.)

- *verwendeter Mörtel (Mörtelart, Bezeichnung, Hersteller)*
- *eingesetztes Sanierungsverfahren*
- *Lage im Verkehrsraum (Fahrbahnmitte, Fahrbahnrand, im Bereich der Radlasten, Gehwegbereich)*
- *Gefälle*
- *Verkehrsbelastungen (viel befahrene Hauptverkehrsstraße, Nebenstraße, Straße im Gewerbe- oder Industriegebiet)*
- *örtliche klimatische Verhältnisse (geographische Höhe, Frostzone)*
- *Einsatz von Tausalzen*
- *Höhe der Mörtelfuge*
- *Verwendete Schachtabdeckung (Produktname, Hersteller)*

Es wurden insgesamt 22 Schachtbauwerke bei 13 kommunalen Netzbetreibern für eine Inspektion ausgewählt.

Mit Blick auf mögliche Frost- und Frosttausalz-Einwirkungen wurden bei der Auswahl auch Schächte aus Regionen berücksichtigt, in denen eine höhere Anzahl an Frost-Tau-Wechseln zu erwarten war. Hierbei wurde eine Frostzonenkarte [28] von Deutschland zu Grunde gelegt, die insbesondere im Straßenbau und Grundbau Verwendung findet. Drei der ausgewählten Schächte befinden sich in der Frostzone 3 gemäß Frostzonenkarte (*Abb. 61*), im Siegerland; ein weiterer Schacht befindet sich im südlichen Teil von Bayern (Frostzone 2 gemäß Frostzonenkarte). Laut Angaben der Netzbetreiber ist in diesen Regionen aufgrund der Witterungsbedingungen die Menge und Häufigkeit des Einsatzes von Tausalz größer als in Regionen mit geringeren Temperaturunterschieden. So werden beispielsweise bei einem in Südbayern befindlichen Abwasserschacht 20 bis 25mal im Jahr 10 – 40 g/m<sup>2</sup> Tausalz auf die Fahrbahn aufgebracht, während bei einem in der Region Niederrhein (Frostzone 1 gemäß Frostzonenkarte) befindlichen Abwasserschacht im relativ kalten Winter 2005/2006 lediglich 17mal 5 bis 10 g/m<sup>2</sup> auf die Fahrbahn aufgebracht wurde.

Bezüglich des zu untersuchenden Mörtels wurde bei der Zusammenstellung im Wesentlichen zwischen Vergussmörtel und plastischem Mörtel unterschieden, da beide Mörtel auf der Baustelle eine unterschiedliche Handhabung erforderlich machen und dies die Qualität der Ausführung wesentlich beeinflussen kann. Da in Deutschland von über 30 Mörtelherstellern mehr als 70 unterschiedliche Mörtel zur Sanierung von Schachtabdeckungen angeboten werden (*vgl. Kapitel 2.2*), konnten im Rahmen dieses Projektes nur ein Teil dieser Produkte untersucht werden. An den 22 inspizierten Schächten wurden insgesamt 12 unterschiedliche Mörtel vorgefunden. Bei der Auswahl der Schächte wurden zudem unterschiedlichste Verkehrsbelastungen zu Grunde gelegt. Die Bandbreite erstreckt sich von Schächten auf Straßen in Wohngebieten mit geringem Verkehrsaufkommen (*vgl. Abb. 35*) bis hin zu Schächten auf Hauptverkehrsstraßen mit hohem Verkehrsaufkommen (*vgl. Abb. 36*) und einem hohen Anteil an Bus- und LKW-Verkehr. Es wurden auch Schächte berücksichtigt, bei denen erhöhte Verkehrsbelastungen infolge von Abbrems- und Beschleunigungskräften zu erwarten sind (*vgl. Abb. 37*).



Abb. 35: Schachtabdeckung in einem Wohngebiet, geringes Verkehrsaufkommen



Abb. 36: Schachtabdeckung im Innenstadtbereich, hohes Verkehrsaufkommen



Abb. 37: Schachtabdeckung im Kurvenbereich unmittelbar vor der Einfahrt zu einem Werksgelände

Des Weiteren wurden bei der Zusammenstellung der Schächte unterschiedliche Sanierungsverfahren berücksichtigt. Hierbei wurde zunächst unterschieden, ob eine Schachtsanierung mit oder ohne Ausbau der Schachtabdeckung erfolgte. Bei einer Schachtrahmenregulierung ohne Ausbau der Schachtabdeckung wird die Abdeckung mittels Schachtrahmenhebergerät lediglich angehoben und mit Schachtkopfmörtel unterfüllt. Nach Rücksprache mit vielen Netzbetreibern wurde jedoch deutlich, dass in der Regel eine Schachtrahmenregulierung mit dem Ausbau der Schachtabdeckung verbunden ist, da z.B. defekte Ausgleichsringe oder defekte Schachtabdeckungen ausgetauscht werden müssen. Auch die Erneuerung einer beschädigten Fahrbahndecke im Umfeld der Schachtabdeckung macht einen Ausbau der Schachtabdeckung erforderlich. Bei einer Sanierung mit Ausbau der Schachtabdeckung wurde zwischen den drei Ausbaurverfahren Stemmen (konventioneller Ausbau), Bohren und Fräsen unterschieden (vgl. Kapitel 2.6.3.2).

Tab. 3: Übersicht zu den inspizierten Schächten

Nr.	Sanierungsverfahren	ausführende Firma	Mörtel	Höhe der Mörtelfuge [mm]	Jahr der Sanierung	System	Verkehrbelastungen	Schachtbauart	Höhe über NN [m]	Frostzone
1	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	Vergussmörtel	35 – 55	2004	RW	mäßiger Verkehr, Schwerlastverkehr (Industriegebiet)	Beton	74,62	1
2	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	Vergussmörtel	40 – 55	2006	SW	mäßiger Verkehr, Schwerlastverkehr (Werkseinfahrt, Gewerbegebiet)	Beton	78,97	1
3	konventioneller Ausbau	Fremdfirma	Vergussmörtel	ca. 5	2001	MW	Busverkehr (Wohngebiet mit Schulzentrum)	Beton	k. A.	3
4	konventioneller Ausbau	Fremdfirma	Vergussmörtel	45 – 70	2003	SW	geringes Verkehrsaufkommen, Nebenstraße (Wohngebiet)	Beton	K. A.	3
5	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	plastischer Mörtel	25 – 45	2002	RW	relativ viel Durchgangsverkehr (Wohngebiet)	Beton	45,70	1
6	Ausbau mittels Bohrverfahren	Fremdfirma	Vergussmörtel	ca. 35	2001	SW	relativ viel Durchgangsverkehr (Wohngebiet)	Beton	45,26	1
7	ohne Ausbau	Eigenleistung	Vergussmörtel	20 – 35	2004	SW	mäßiger Verkehr, Schwerlastverkehr (Industriegebiet)	Beton	74,72	1

Tab. 3 - Fortsetzung:

Nr.	Sanierungsverfahren	ausführende Firma	Mörtel	Höhe der Mörtelfuge [mm]	Jahr der Sanierung	System	Verkehrsbelastungen	Schachtbauart	Höhe über NN [m]	Frostzone
8	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	plastischer Mörtel	30 - 40	2000	MW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße, Schwerlastverkehr	Beton	520	2
9	Ausbau mittels Bohrverfahren	Fremdfirma	plastischer Mörtel	10 - 20	2005	SW	geringes Verkehrsaufkommen (Nebenstraße, Wendehammer, Gewerbegebiet), Schwerlastverkehr	Beton	172,58	1
10	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	plastischer Mörtel	ca. 30	-	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße (B229), 2-Spurig, Schwerlastverkehr	Mauerwerk + Beton	-	1
11	konventioneller Ausbau – Ausbau einer Umpflasterung	Fremdfirma	Vergussmörtel	20 - 30	2002	MW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße (B229), Schwerlastverkehr	Beton	328,02	2 - 3
12	konventioneller Ausbau	Fremdfirma	Vergussmörtel	ca. 30	2000	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße, Schwerlastverkehr	Beton	50,18	1
13	konventioneller Ausbau	Fremdfirma	plastischer Mörtel	80 - 110	1997	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße, Schwerlastverkehr	Mauerwerk	49,94	1
14	konventioneller Ausbau	Fremdfirma	Vergussmörtel	20 - 25	k. A.	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße, Schwerlastverkehr	Mauerwerk	51,14	1
15	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	plastischer Mörtel	15 - 20	2000	RW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße, Schwerlastverkehr, Straßenbahn, Busverkehr	Beton	93,51	1
16	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	plastischer Mörtel	20 - 30	2000	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße, Busverkehr	Beton	126,72	1
17	Ausbau mittels Fräse (Ausbau einer konischen Abdeckung)	Fremdfirma	Vergussmörtel	60 - 70	2000/2001	MW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße	Mauerwerk	-	1
18	ohne Ausbau	Fremdfirma	plastischer Mörtel	20 – 30	2000	MW	geringes Verkehrsaufkommen (Busverkehr)	Beton	-	1
19	Ausbau mittels Bohrverfahren	Fremdfirma	plastischer Mörtel	15 - 20	2004	RW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße	Beton	-	1
20	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	Vergussmörtel	bis 70	2005	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße	Beton	-	1
21	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	Vergussmörtel	ca. 60	2005	SW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße	Beton	-	1
22	konventioneller Ausbau	Eigenleistung	Vergussmörtel	ca. 30	2005	RW	stark befahrene Hauptverkehrsstraße	Beton	-	1

### 3.2 Optische Inspektion der Schachtbauwerke

Im Vorfeld der optischen Inspektion wurde vor Ort eine **LAGEÜBERPRÜFUNG** der zu inspizierenden Schachtbauwerke durch den Abgleich mit vorhandenen Bestandsplänen vorgenommen. Bei der anschließenden **DOKUMENTATION DER LAGE** des Schachtes wurden folgende Fragestellungen geklärt, um die Einwirkungen infolge vorhandener Verkehrsbelastungen abschätzen zu können:

<b><i>In welchem Bereich des Straßenquerschnittes befindet sich der Schacht?</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fahrbahnmitte</i></li> <li>• <i>Fahrbahnrand</i></li> <li>• <i>unmittelbar im Bereich der Radlasten</i></li> <li>• <i>im Bereich des Gehweges</i></li> <li>• <i>im Bereich eines Radweges</i></li> <li>• <i>innerhalb von Parkbuchten</i></li> <li>• <i>bei mehreren Fahrspuren: linke Fahrspur, mittlere Fahrspur, rechte Fahrspur</i></li> <li>• <i>im Bereich außerhalb des Verkehrsraumes (Feld, Wiese, etc.)</i></li> </ul>
<b><i>Liegt die Schachtabdeckung unmittelbar in einem Brems- und Beschleunigungsbereich?</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>vor einem Kreuzungspunkt</i></li> <li>• <i>vor einer Lichtsignalanlage</i></li> <li>• <i>im Bereich einer Kurve</i></li> <li>• <i>im Bereich von Zufahrten, Auffahrten, etc.</i></li> </ul>
<b><i>Welche Längsneigung der Straße ist im Bereich der Schachtabdeckung vorzufinden?</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Gefällestrecke</i></li> <li>• <i>Steigungsstrecke</i></li> <li>• <i>Längsneigung in %</i></li> </ul>
<b><i>Um was für eine Straße handelt es sich? Wie hoch ist die zulässige Höchstgeschwindigkeit?</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Straße in einem Wohngebiet, Anliegerstraße</i></li> <li>• <i>Straße in einem Gewerbe- bzw. Industriegebiet</i></li> <li>• <i>mehrspurige Straße</i></li> <li>• <i>Hauptverkehrsstraße</i></li> <li>• <i>innerorts / außerorts</i></li> </ul>
<b><i>Welche Verkehrsbelastung liegt im Abschnitt dieser Straße vor?</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>wenig befahren, stark befahren</i></li> <li>• <i>überwiegend nur PKW-Verkehr</i></li> <li>• <i>Schwerlastverkehr</i></li> <li>• <i>Busverkehr</i></li> <li>• <i>sonstiger Verkehr (z.B. Straßenbahn -&gt; mögliche Erschütterungen)</i></li> <li>• <i>landwirtschaftlicher Verkehr</i></li> </ul>

Tab. 4: Übersicht zu den Fragestellungen bzgl. Verkehrsbelastungen

Bei dem in *Abbildung 40* dargestellten Schacht Nr. 12 (vgl. *Tab. 4*) handelt es sich beispielsweise um einen Schacht auf einer stark befahrene Hauptverkehrsstraße mit Schwerlast- und Busverkehr im innerstädtischen Bereich. Laut Angaben des Netzbetreibers weist die Straße insbesondere in den frühen Morgen- und Abendstunden eine hohe Verkehrsdichte auf. Der zu untersuchende Schacht befindet sich in Straßenmitte und liegt direkt im Einflussbereich der Radlasten. Aufgrund der Position des Schachtes im Straßenraum ist davon auszugehen, dass der Schacht von der Mehrheit der Fahrzeuge auf diesem Fahrstreifen überrollt wird (*Abb. 39*). Besondere Belastungen infolge von Brems- und Beschleunigungskräften sind in diesem Bereich jedoch nicht zu erwarten, da kein Kreuzungspunkt o. ä. vorhanden ist.

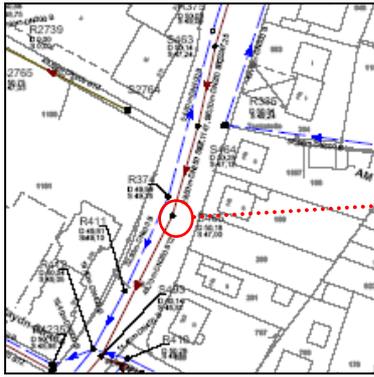


Abb. 38: Schachtdokumentation:  
Auszug aus dem Kanal-  
bestandsplan (Beispiel  
Schacht Nr. 12)

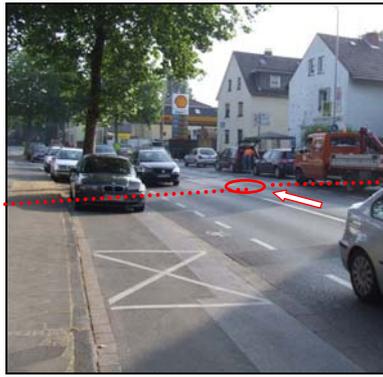


Abb. 39: Schachtdokumentation:  
Foto vom Straßenab-schnitt  
(Beispiel Schacht Nr. 12)

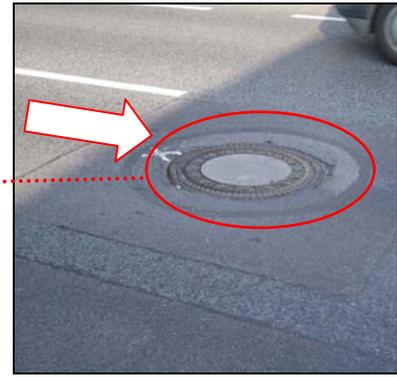


Abb. 40: Schachtdokumentation:  
Lage im Straßenquer-  
schnitt (Beispiel Schacht  
Nr. 12)

Die anschließende optische Inspektion des Schachtes wurde in drei Untersuchungsabschnitte eingeteilt. In einem ersten Untersuchungsabschnitt wurde die Einbindung des Schachtes in den Straßenraum beurteilt. In einem weiteren Schritt wurde der Allgemeinzustand des Schachtkopfes festgehalten und am Ende erfolgte die Beurteilung des Zustandes der Mörtelfuge.

### 3.2.1 Beurteilung der Einbindung des Schachtes

Die Beurteilung der Einbindung des Schachtes in den Straßenraum erfolgte in Anlehnung an den Zustandsbildkatalog Abwasserschächte gemäß [20]. Hierbei wurde beispielsweise untersucht, ob Setzungen des Schachtes oder defekte Fahrbahnbereiche im Umfeld des Schachtes zu erkennen waren. Mit Hilfe dieser Schadensbilder können erste Rückschlüsse auf mögliche Schadensursachen gezogen werden. So können beispielsweise Setzungen im Bereich des Schachtes auf die Einwirkungen infolge erhöhter Verkehrslasten, unzureichender Standsicherheit des Schachtbauwerkes bzw. unzureichender Druckfestigkeit der Bauteile zurückgeführt werden. Im Rahmen der Untersuchungen vor Ort wurde deutlich, dass bei Schächten, die im Bereich der Einbindung Schäden aufweisen, auch ein schadhafter Schachtkopf bzw. eine schadhafte Mörtelfuge vorzufinden ist.

Folgende Schadensbilder wurden bei der optischen Inspektion sämtlicher Einbindungen in den Straßenraum beobachtet:

- *Setzungen des Schachtes*
- *Setzungen und Risse in der Fahrbahnoberfläche im Umfeld der Schachtabdeckung*
- *Setzungen des Schachtes und der Fahrbahnoberfläche (Abb. 41)*
- *Setzungen des Schachtes und der Umpflasterung*
- *abgesenkter Schachtdeckel (durchgeriebene Elastomereinlage)*

### 3.2.2 Beurteilung des Allgemeinzustandes des Schachtkopfes

Nach dem Öffnen der Schachtabdeckung wurde zunächst der Aufbau des Schachtes detailliert dokumentiert, um die Einbaubedingungen festzuhalten. Folgende Angaben wurden hierbei festgehalten:

- Anzahl und Höhe vorhandener Mörtelfugen
- Hersteller und Produktbezeichnung der Schachtabdeckung
- Lastklasse der Schachtabdeckung
- Werkstoffe der an die Mörtelfuge angrenzenden Bauteile (z.B. Ausgleichsring aus Beton, Rahmen der Schachtabdeckung aus Guss)

Danach wurde der Allgemeinzustand des Schachtkopfes beurteilt. Hierzu wurden sowohl Bauteile wie Schachtrahmen, Ausgleichsringe, Mauerwerk als auch die Verbindungsbereiche der Bauteile inspiziert, um den Zustand beurteilen und dokumentieren zu können. Der Schachtkopf wurde sowohl hinsichtlich Schäden wie defekte Schachtrahmen, gerissene Auflageringe (Abb. 42) und sonstiger Auffälligkeiten als auch hinsichtlich unsachgemäß ausgeführter Arbeiten in Augenschein genommen. Der gemäß [20] in die Beurteilung miteinbezogenen Schmutzfänger wurde im Rahmen dieser Inspektionen nicht berücksichtigt, da dieser keinen Einfluss auf die Qualität des Mörtels hat.



Abb. 41: Einbindung - Setzungen des Schachtes und der Fahrbahn



Abb. 42: Schachtkopf: Ausgleichsring gerissen



Abb. 43: Mörtelfuge - Risse und Ausbruchsstellen im Mörtel

### 3.2.3 Beurteilung des Zustandes der Mörtelfuge

In einem weiteren Schritt erfolgte eine Inspektion der Mörtelfuge bzw. der Mörtelfugen im eingebauten Zustand. Bei Verschmutzungen der Oberfläche, die eine Inaugenscheinnahme der Mörtelfuge nicht ermöglichten, wurde eine Säuberung vorgenommen. Mit Hilfe eines Hochdruckreinigers wurden die besten Reinigungsergebnisse erzielt. Um die Lage der Schäden an der Mörtelfuge dokumentieren zu können, wurde der Schacht in vier Untersuchungsabschnitte (Viertelspunkte) unterteilt. Bei der augenscheinlichen Untersuchung hinsichtlich des Schadensbildes auf der Innenseite sind folgende Schäden zu nennen:

- Risse in horizontaler und vertikaler Richtung
- Abplatzungen
- Absandungen und Zersetzungserscheinungen des Mörtels
- sonstige Auffälligkeiten

Horizontale Risse zwischen Materialwechselln (Mörtel – Beton, Mörtel – Guss) lassen auf eine Verbundstörung zwischen Mörtel und angrenzender Materialien schließen.

Mit dieser optischen Inspektion konnten jedoch nur Schäden lokalisiert werden, die an der Oberfläche augenscheinlich erkennbar waren. Schäden im inneren Bereich des Mörtels oder ein unzureichender Verbund zwischen Mörtel und angrenzenden Materialien konnten in der Regel erst mit Hilfe einer Freilegung der Mörtelfuge entdeckt werden.

Um den Aufbau der sanierten Schachtabdeckungen analysieren und nicht sichtbare Schädigungen im Bereich der Mörtelfuge untersuchen zu können, wurden 20 der 22 inspizierten Schachtabdeckungen mit dem darunter befindlichen Mörtel freigelegt. Bei 14 Schächten wurde der Schachtkopf unter Verwendung herkömmlicher Werkzeuge wie Meißel, Presslufthammer und Spitzhacke freigelegt (Abb. 44). In einigen Fällen wurden Schachtrahmenhebergeräte verwendet, um den Ausbau der Schachtabdeckung zu erleichtern. Sechs der 20 Schächte wurden mit Hilfe einer Schachtrahmenbohrmaschine bzw. einer Kanaldeckelfräse freigelegt. In der Regel konnte während des Ausbaus der Schachtabdeckung überprüft werden, ob zwischen Mörtel und Schachtrahmen ausreichend Verbund vorhanden war. Konnte die Schachtabdeckung ohne größere Kraftanstrengung vom Mörtel gelöst werden, so war kein ausreichender Verbund mehr vorhanden. Nach Freilegung erfolgte eine Analyse des Aufbaus, indem der freiliegende Schachtkopfbereich inspiziert wurde. Hierbei konnte nun festgestellt werden, ob sich der Mörtel auch in nicht sichtbaren Bereichen befindet, z.B. hinter der Schachtwand oder unterhalb der Straßendecke im Umfeld der Schachtabdeckung.



Abb. 44: *Herkömmliche Freilegung einer Mörtelfuge durch Stemmen*



Abb. 45: *Inspektion einer freigelegten Mörtelfuge*



Abb. 46: *Freigelegte Mörtelfuge mit Rissen*

Nach Entfernung der Schachtabdeckung wurde die freigelegte Mörtelfuge hinsichtlich

- *einer Verbundstörung zwischen Mörtelfuge und Schachtabdeckung oder Ausgleichsring*
- *Schollenbildung / Zerlegung der Mörtelfuge*
- *sowie sonstiger Auffälligkeiten*

beurteilt (Abb. 45).

Im Rahmen der Untersuchungen wurden bei einigen Schachtabdeckungen Schäden entdeckt, die bei einer optischen Inspektion vor der eigentlichen Freilegung nicht zu erkennen waren (Abb. 46). Lediglich die im Rahmen der Ultraschalluntersuchung ermittelten Schalllaufzeiten wiesen in einigen Fällen auf eine nicht sichtbare Schädigung im Inneren der Mörtelfuge hin.

Aufgrund der aufgetreten Schadensbilder wurden die Mörtelfugen in vier Schadensklassen gemäß Tabelle 5 unterteilt.

Schadensklasse	Schädigung	Schadensbild des Mörtels	Bewertung
Schadensklasse 1	nicht bis leicht geschädigt	-	derzeit keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich
Schadensklasse 2	mäßige Schädigung	vereinzelte Risse, lokale Abplatzungen und/oder leichtes Absanden; keine Verbundstörung oder Schollenbildung bei Freilegung	der Schachtkopf ist funktionstüchtig
Schadensklasse 3	geschädigt	größere Abplatzungen und/oder umfangreiche Risse vorhanden, eventuell Absandungen; keine Schollenbildung bei Freilegung	der Schachtkopf ist eingeschränkt funktionstüchtig
Schadensklasse 4	stark geschädigt	starke Absandungen/ Zersetzungserscheinungen; viele Risse vorhanden; Schollenbildung oder Verbundstörungen nach Freilegung	der Schachtkopf ist nicht mehr funktionstüchtig

Tab.5: Einteilung der Schadensklassen im Rahmen der Untersuchungen

#### ERGEBNISSE:

Im Rahmen der augenscheinlichen Untersuchungen wurden bei den inspizierten Schächten, die Schädigungen aufwiesen, vielfältige und unterschiedliche Schadensbilder festgestellt. Von den 22 untersuchten Schächten wiesen im Schachtkopfbereich

- 14 Schächte Risse in vertikaler Richtung im Bereich des Mörtels,
- 10 Schächte eine Verbundstörung zwischen Mörtelfuge und Schachtabdeckung,
- 10 Schächte Abplatzungen im Bereich des Mörtels,
- 8 Schächte Risse in horizontaler Richtung im Bereich des Mörtels ,
- 8 Schächte Absandungen / Zersetzungserscheinungen am Mörtel (Abb. 47, Abb. 48),
- 7 Schächte eine Verbundstörung zwischen Mörtelfuge und Ausgleichsring,
- 6 Schächte eine Zerlegung der Mörtelfuge in Schollen (Schollenbildung) nach Freilegung und Abnahme der Schachtabdeckung (Abb. 49),
- 5 Schächte Risse im Ausgleichsring

auf. Zudem wurden Kalkausblühungen, eine durchfeuchtete Mörtelfuge, defekte Schachtabdeckungen und Verbundstörungen innerhalb der Mörtelfuge vorgefunden.

Da das Auftreten von Schäden in der Regel von vielen unterschiedlichen Faktoren abhängig ist (Einbaubedingungen, Mörtelqualität, Verkehrsbelastungen, Witterung, Alter etc.), lässt sich zwischen Verkehrsbeanspruchungen und Schadensklasse in Tabelle 6 kein eindeutiger Zusammenhang herstellen.

Bei einigen Schächten konnten bereits im Rahmen der Inspektion vor Ort die Ursachen für eine Schädigung eindeutig identifiziert werden. Die Ursachen für Schäden im Bereich des

Schachtkopfes bzw. im Bereich der Mörtelfuge sind in der Regel im Zusammenwirken unterschiedlicher Faktoren zu sehen.



Abb. 47: Absandungen im Bereich der Mörtelfuge



Abb. 48: Zersetzungser-scheinungen bzw. Aus-bruchsstellen im Bereich der Mörtelfuge



Abb. 49: Schollenbildung erkennbar nach Frei-legung der Mörtelfuge

Schacht Nr.	Entwässerungs-system	Verkehrs-belastung	Lage bzw. Art der Straße	Position im Straßenquerschnitt	Schadens-klasse
1	RW	gering	Industriegebiet	im Bereich der Radlasten	2
2	SW	gering	Industriegebiet	im Bereich der Radlasten, Kurvenbereich, vor der Einfahrt zu einem Werksgelände	2
3	MW	gering	Wohngebiet, Busverkehr	im Bereich der Radlasten, Gefälle	1
4	SW	sehr gering	Wohngebiet,	im Bereich der Radlasten, Gefälle	3
5	RW	mäßig	Wohngebiet, Durchgangs-verkehr	im Bereich der Radlasten, im Kreuzungsbe-reich	3
6	SW	mäßig	Wohngebiet, Durchgangs-verkehr	im Bereich der Radlasten	4
7	SW	gering	Industriegebiet	im Bereich der Radlasten	3
8	MW	hoch	2-spurig, innerorts	im Bereich der Radlasten	3
9	SW	gering	Industriegebiet	im Wendebereich, vor einer Werkszufahrt	1
10	SW	hoch	2-spurig, Bundesstraße	im Bereich der Radlasten	1
11	MW	hoch	Bundesstraße	im Bereich der Radlasten	4
12	SW	hoch	Hauptstraße	im Bereich der Radlasten	4
13	SW	hoch	Hauptstraße	Im Bereich der Radlasten	4
14	RW	hoch	Hauptstraße	Fahrbahnmitte	4
15	RW	mittlere	2-spurig, innerorts	Im Bereich der Radlasten	4
16	SW	mittlere	innerorts	Fahrbahnmitte	1
17	MW	sehr hoch	2-spurig, Stadtring	Fahrbahnmitte	1
18	MW	gering	Wohngebiet, Busverkehr	Fahrbahnmitte	4
19	RW	hoch	Bundesstraße	Fahrbahnmitte, vor der Einfahrt zu einer Tankstelle und zu einem Busdepot	4
20	SW	hoch	Industriegebiet	Fahrbahnmitte	4
21	SW	hoch	Industriegebiet	Im Bereich der Radlasten	2
22	SW	hoch	Industriegebiet	Im Bereich der Radlasten	4

Tab.6: Verkehrsbeanspruchungen und Schadensklassen

So wurden beispielsweise am Schacht Nr. 19 auf einer viel befahrenen Bundesstraße starke Risse und Abplatzungen im Bereich der Mörtelfuge an einer sanierten Schachtabdeckung beobachtet (Abb. 43), die auf unterschiedliche Ursachen zurückzuführen waren. Der Schacht befindet sich unmittelbar vor einer Zufahrt zu einem Gelände eines Busdepots und einer

Tankstelle und wird direkt von den Radlasten erfasst. In diesem Bereich wirken besonders hohe Kräfte, die durch das Abbremsen und Beschleunigen der Fahrzeuge hervorgerufen werden. Gravierende Schäden wurden demnach auch an der Stelle der Mörtelfuge identifiziert, die unmittelbar unter dem Bereich liegt, der von den Radlasten erfasst wird. Weitere Ursachen für die Schädigung der Mörtelfuge sind in diesem Fall in der unsachgemäßen Ausführung der Sanierungsmaßnahme und mangelnder Wartung der Schachtabdeckung zu sehen. Aufgrund des geringen Höhenunterschiedes zwischen Fahrbahn und Schachtkonus konnte bei der Sanierung lediglich eine Mörtelfuge mit geringer Höhe angeordnet werden, die nicht der vom Hersteller angegebenen Mindesthöhe entsprach. Zudem war die dämpfende Einlage in der Schachtabdeckung zum Teil schon „durchgerieben“, so dass Erschütterungen an das Bauwerk weiter gegeben wurden. Im Rahmen einer regelmäßigen Wartung von Schächten und Schachtabdeckungen sind dämpfende Einlagen gegebenenfalls zu erneuern.

### 3.3 Ultraschalluntersuchungen am Mörtel (in-situ)

Mit Hilfe einer vor dem Ausbau durchgeführten Ultraschallmessungen am Mörtel in Anlehnung an RiLi DAfStb, Heft 467 [29] konnte eine Aussage über die Qualität des Mörtels und über dessen Homogenität getroffen werden. Für die Messungen wurden Prüfköpfe mit Exponentialwandlern (*Abb. 53*) verwendet, da diese eine sichere Ankoppelung auch an raue Bauteiloberflächen ermöglichen. Das Ultraschallmessverfahren basiert darauf, dass Ultraschallwellen in einem homogenen Werkstoff an der Grenzfläche zu Inhomogenitäten reflektiert und umgeleitet werden. Hieraus resultiert eine Vergrößerung der Laufzeit. Aus Laufzeit und der Durchschallungstrecke wird die Ultraschallgeschwindigkeit ermittelt. Eine hohe Ultraschallgeschwindigkeit deutet auf eine hohe Dichte des Baustoffes hin. Das verwendete Ultraschallmessgerät besteht im Wesentlichen aus den Prüfköpfen (Sender und Empfänger), die eine Übertragung des Impulses auf das Bauteil gewährleisten, und der Laufzeitmessung, die in das Gerät integriert ist. Für die Ultraschallmessung wurde das in *Abbildung 50* dargestellte Messraster auf der Innenseite der Mörtelfuge verwendet. Es erfolgte die Durchschallung der Mörtelfuge mittels Ultraschallmessgerät (*Abb. 51*) in horizontaler Richtung, indem der Sender auf der Mörtelfuge am Ankopplungspunkt A in Fahrtrichtung und der Empfänger jeweils pro Messung von Punkt B fortlaufend im Uhrzeigersinn bis Punkt B` platziert wurde, so dass anschließend insgesamt sieben Messwerte der Schalllaufzeit protokolliert werden konnten (*Abb. 52, Tab. 7*).

Bei der Anwendung des Ultraschallverfahrens ist darauf zu achten, dass eine trockene Oberfläche vorhanden ist. Bei den Untersuchungen vor Ort wurde deutlich, dass Ultraschallmessungen bei stark geschädigten Oberflächen (große Risse, Ausbruchsstellen) nicht durchgeführt werden konnten, da in diesem Fall die Exponentialköpfe aufgrund der Unebenheiten nicht angesetzt werden konnten.

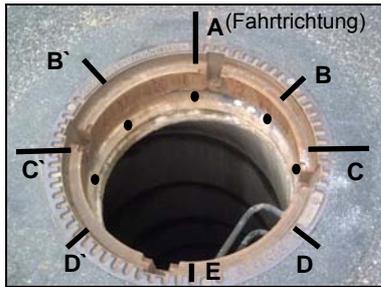


Abb. 50: Unterteilung des Schachtes in Achtelspanne



Abb. 51: Ultraschalluntersuchung mittels Ringmessung



Abb. 52: Protokollierung der Messwerte

	<i>Punkt</i>	<i>Strecke</i>	<i>Ultraschalllaufzeit [m/s]</i>
		A – B	a
	A – C	b	2000
	A – D	c	1700
	A – E	d	1800
	A – D'	g	1550
	A – C'	f	1550
	A – B'	e	1600

Tab. 7: Beispiel für eine Ultraschall-Untersuchung (Ringmessung) an einer Mörtelfuge des Schachtes Nr. 21

Testweise wurden auch Ultraschallmessungen an der Kontaktfläche einer freigelegten Mörtelfuge durchgeführt (Abb. 54), um die Werte aus dieser Messung mit den Werten aus der Messung in Ringrichtung miteinander vergleichen zu können. Dies kann jedoch nur an einer Mörtelfuge durchgeführt werden, die keinen Verbund mehr mit der darüber befindlichen Schachtabdeckung aufweist. Eine glatte, saubere und unbeschädigte Kontaktfläche ist Voraussetzung für die Anwendung der Ultraschallmessung. Eine Durchschallung des Mörtelfuge von außen nach innen (Abb. 55) kann nur bei einer unbeschädigten freigelegten Schachtabdeckung durchgeführt werden, bei der sich der Mörtel nur in der Schachtwand befindet. Mörtel, der sich bei einer Schachtsanierung nicht nur im Bereich der Schachtwand, sondern gleichzeitig auch in dahinter liegenden Bereichen verteilt hat, kann nicht von außen nach innen durchschallt werden, da in diesem Fall in der Regel keine schadensfreie Freilegung des Mörtels möglich ist.



Abb. 53: Ultraschallmessgerät mit Sender und Empfänger



Abb. 54: Ultraschallmessung an der Kontaktfläche einer freigelegten Mörtelfuge



Abb. 55: Durchschallung der Mörtelfuge von außen nach innen

### ERGEBNISSE:

Vergleicht man die Ultraschalllaufzeiten an Mörtelfugen der Schadensklassen 1 und 2 mit den Ultraschalllaufzeiten an Mörtelfugen der Schadensklassen 3 und 4 wird deutlich (Abb. 56), dass eine hohe Streuung der Ultraschalllaufzeiten bei einer Ringmessung an einer Mörtelfuge erkennbar ist. Hinsichtlich des Diagrammbildes lassen sich grundsätzlich drei verschiedene Kurvenverläufe beschreiben. Ein waagerechter Diagrammverlauf deutet auf einen gleichmäßig homogenen Mörtel hin. Da mit zunehmender Messstrecke auch die Messgenauigkeit abnimmt, ergeben sich für das angewandte Messraster mit einer ringförmigen Messstrecke Messreihen mit nach oben gerichteten Schenkeln. Diagrammverläufe mit einer oder mehreren Abweichungen bzw. nach unten gerichteten Schenkeln weisen auf lokale Inhomogenitäten (z.B. Risse) hin. Bei der Betrachtung der Ultraschalllaufzeiten an Mörtelfugen der Schadensklassen 3 und 4 ist darüber hinaus festzustellen, dass zum Teil sehr niedrige Ultraschalllaufzeiten ( $< 1000$  m/s) erreicht werden. Dies deutet darauf hin, dass in diesen Bereichen der Mörtelfugen Inhomogenitäten (Schacht 19, Schacht 15) vorhanden sind, welches auf Fehlstellen und Schädigungen zurückzuführen sein kann. An Mörtelfugen, die nach Inaugenscheinnahme der Schadensklassen 1 und 2 eingeordnet wurden, wurden die Ultraschalllaufzeiten von 1000 m/s nicht unterschritten. Zudem ist hier auch eine geringere Streuweite der Ultraschalllaufzeiten zu erkennen.

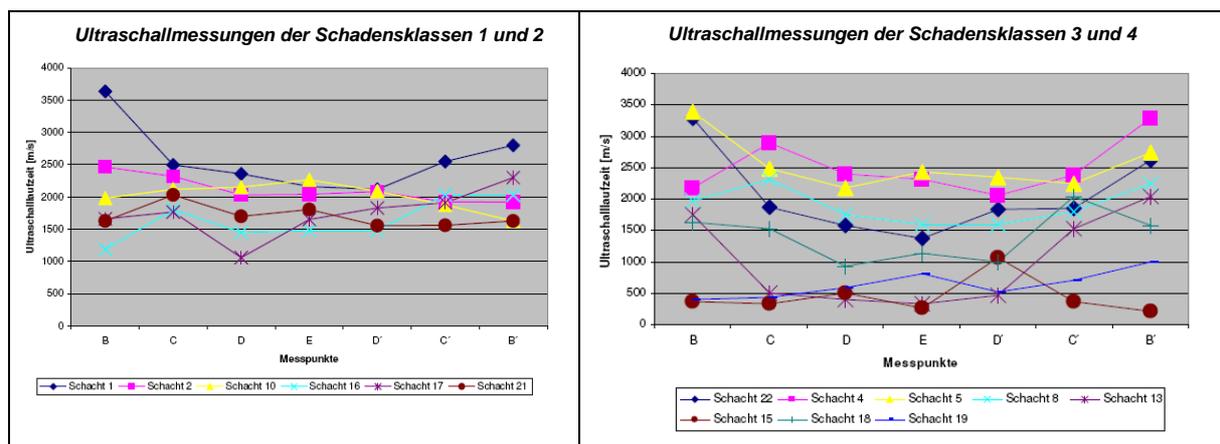


Abb. 56: Ultraschalllaufzeiten

### 3.4 Bohrmehlentnahme und -analyse

Zur Bestimmung der chemischen Beanspruchungen des Mörtels gegenüber Chloriden und Sulfaten wurden bei der Schachtinspektion Bohrmehlproben entnommen. Eine Probenahme vor Ort unter Einsatz der in Abbildung 57 dargestellten Kernbohrmaschine mit Saugvorrichtung konnte jedoch nur durchgeführt werden, wenn eine sichtbare Mörtelfuge mit einer Mindestdicke von 25 mm vorhanden war, da die Bohrkronen zur Probenentnahme einen Durchmesser von 20 mm aufweist. Konnte vor Ort keine Probe entnommen werden, wurden nach einer anschließenden Freilegung der Mörtelfuge aus Bruchstücken des freigelegten Mörtels im Labor Bohrmehlproben hergestellt.

Um die Eindringtiefe von Chloriden und Sulfaten ermitteln zu können, wurden bei der örtlichen Bohrmehlentnahme aus einer Tiefe von 0 bis 20 mm und 20 bis 40 mm Bohrmehlproben entnommen (Abb. 58).



Abb. 57: Entnahme von Bohrmehl



Abb. 58: Entnahme von Bohrmehl (Detail)



Abb. 59: Verschließbares Kunststoffgefäß zur Lagerung von Bohrmehlproben

Das Bohrmehl wurde in verschließbare Kunststoffgefäße abgefüllt (Abb. 59) und ins Labor transportiert. Nach jeder Probennahme wurde die Saugvorrichtung der Bohrmaschine gereinigt um ein Vermengen der unterschiedlichen Bohrmehlproben auszuschließen. Die Bohrlochtiefe wurde auf ca. 2 mm genau gemessen.

#### 3.4.1 Chlorid-Gehalt

Um abzuklären, ob ein Eintrag von Chloriden in den Festmörtel stattfindet, wurde der Chlorid-Gehalt von sämtlichen inspizierten Schächten ermittelt. Die Bestimmung des Chlorid-Gehaltes im Labor erfolgte mittels Ionenchromatograph gemäß [30]. Hierzu wurden die Proben analysefein aufbereitet (Korngröße < 0,063 mm). In sämtlichen entnommenen Bohrmehlproben wurden Chloride gefunden. Die Schächte Nr. 4, Nr. 6, Nr. 7, Nr. 8 und Nr. 11 wiesen erhöhte Chlorid-Werte auf. In diesen Fällen wurden auch die Proben aus einer Tiefe von 20 bis 40 mm untersucht. Die Tatsache, dass die Chloridbelastung mit zunehmender Tiefe abnimmt, zeigt, dass die Chloride im Winter über die Innenseite des Schachtes in Form von Taumitteln (Tausalzen) eingetragen werden. Nach Angaben der Netzbetreiber werden im Bereich dieser Schächte Tausalze eingesetzt.

Schacht-Nr.	Entwässerungs-system	Tiefe 0 bis 20 mm [M.-% Cl bez. auf Mörtel- einwaage]	Tiefe 20 bis 40 mm [M.-% Cl bez. auf Mör- teleinwaage]
1	Regenwasser	0,0430	-
2	Schmutzwasser	0,0190	-
3	keine Entnahme möglich		
4	Schmutzwasser	0,1480	0,201
5	Regenwasser	0,0600	-
6	Schmutzwasser	0,5639	0,544
7	Schmutzwasser	0,0970	0,033
8	Mischwasser	0,3960	0,282
9	Schmutzwasser	0,0026	-
10	Schmutzwasser	0,0780	-
11	Mischwasser	0,1300	0,590 *)
12	Schmutzwasser	0,0800	-
13	keine Entnahme möglich		
14	Regenwasser	0,0900	-
15	Regenwasser	0,0650	-
16	Schmutzwasser	0,0310	-
17	Mischwasser	0,0170	-
18	Mischwasser	0,0410	-
19	Regenwasser	0,0220	-
20	Schmutzwasser	0,0300	-
21	Schmutzwasser	0,0400	-
22	Schmutzwasser	0,0740	-
Referenzprobe Trockenmörtel 1		0,013	
Referenzprobe Trockenmörtel 2		0,036	

\*) Mörtelfuge war teilweise durchfeuchtet, möglicher Tausalzeintrag über die defekte Schachtaufpflasterung möglich

Tab. 8: Ergebnisse der Chloridbestimmung

Betrachtet man den Chloridgehalt der Referenzproben Trockenmörtel 1 und 2 ist davon auszugehen, dass Schachtkopfmörtel einen bestimmten Grundgehalt an Chloriden aufweisen.

Die untersuchten Referenzproben des Trockenmörtels wiesen allerdings einen relativ geringen Chlorid-Gehalt auf. In den Festmörtel eingedrungene Chloride sind die Ursache für den erhöhten Chlorid-Gehalt, der bei einigen Bohrmehlproben festgestellt wurde (Tab. 8).

Gemäß DIN 4030 [30] ist der Chloridgehalt auf den Zementgehalt zu beziehen. Da der Zementgehalt der jeweiligen Mörtel nicht bekannt ist, wurden in diesem Fall die prozentualen Angaben des Chloridgehaltes auf die in Tabelle 8 angegebene Mörtleinwaage bezogen (Tab. 8). In den EG-Sicherheitsdatenblättern gemäß 91/155/EWG [31] einiger Mörtelhersteller wird bei der chemischen Charakterisierung ein Mindestzementgehalt von 20 M.-% angegeben. Bezieht man nun den Chloridgehalt auf einen Zementgehalt (CEM)  $\geq 20$  M.-%, ist für die untersuchten Schachtkopfmörtel maximal von einem fünffachen Chloridgehalt auszugehen. Die untersuchten Referenzproben des Trockenmörtels weisen in diesem Fall einen Chloridgehalt von 0,065% und 0,18% (bezogen auf den Zementgehalt) auf. Sie liegen jedoch

unter dem in der DIN 1045, Teil 2 [32] aufgeführten Grenzwert von 1% für unbe-wehrten Beton.

### 3.4.2 Sulfat-Gehalt

Die Bestimmung des Sulfatgehaltes aus den entnommenen Bohrmehlproben im Labor erfolgt ebenfalls mittels Ionenchromatograph, nachdem die Proben analysefein aufbereitet wurden (Korngröße < 0,063 mm).

<i>Schacht-Nr.</i>	<i>Entwässerungs-system</i>	<i>Tiefe 0 bis 20 mm [M.-% SO<sub>4</sub> bez. auf Mör- teleinwaage]</i>	<i>Tiefe 20 bis 40 mm [M.-% SO<sub>4</sub> bez. auf Mör- teleinwaage]</i>
1	Regenwasser	2,888	-
2	Schmutzwasser	2,189	-
3	<i>keine Entnahme möglich</i>		
4	Schmutzwasser	0,853	-
5	Regenwasser	1,005	-
6	Schmutzwasser	0,988	-
7	Schmutzwasser	3,544	2,278
8	Mischwasser	2,226	1,349
9	Schmutzwasser	0,880	-
10	Schmutzwasser	1,659	-
11	Mischwasser	0,830	-
12	Schmutzwasser	0,910	-
13	<i>keine Entnahme möglich</i>		
14	Regenwasser	1,020	-
15	Regenwasser	0,760	-
16	Schmutzwasser	0,720	-
17	Mischwasser	2,400	-
18	Mischwasser	0,620	-
19	Regenwasser	0,670	-
20	Schmutzwasser	0,590	-
21	Schmutzwasser	0,610	-
22	Schmutzwasser	2,010	-
<i>Referenzprobe Trockenmörtel 1</i>		<i>1,440</i>	
<i>Referenzprobe Trockenmörtel 2</i>		<i>1,119</i>	

Tab. 9: Ergebnisse der Sulfatbestimmung

In allen vor Ort entnommenen Bohrmehlproben wurden Sulfate entdeckt. Eine erhöhte Sulfatbelastung liegt überwiegend bei den Schmutz- und Mischwassersystemen vor. In [33] wurde bereits festgestellt, dass der durchschnittliche Sulfatgehalt eines frisch erstellten Betons bei ca. 0,85 M-% liegt. Bei vielen der untersuchten Mörtel ist somit von einer erheblichen Sulfatbelastung auszugehen. Die Ursache für den hohen Sulfatgehalt bei vielen der untersuchten Proben (Tab. 9) ist möglicherweise auf einen Sulfatangriff zurückzuführen.

Hierbei wird gemäß [6] zwischen einem innerem und äußerem Sulfatangriff unterschieden. Ein innerer Sulfatangriff ist auf einen zu hohen Gipsgehalt im Zement oder den Kontakt des Gipses mit Zementmörtel zurückzuführen. Ein äußerer Sulfatangriff, bei dem die Sulfat-Ionen von außen auf den Mörtel einwirken, kann beispielsweise auf im Abwasser entstandene flüchtige Schwefelsäureverbindungen zurückzuführen sein, die in die Kanalatmosphäre aufsteigen und sich an der Schachtwandung ablagern. Auch durch den Straßenverkehr entstandene Aerosole bzw. Schwefeldioxid, die in der Luft enthalten sind, können einen Angriff durch Sulfat-Ionen hervorrufen [6]. Die Proben der Schächte Nr. 7 und Nr. 8 machen deutlich, dass ein Eintrag von Sulfationen von außen nach innen stattfindet, da der Sulfatgehalt mit zunehmender Tiefe abnimmt.

Da jedoch bei den beiden untersuchten Trockenmörteln (Referenzproben 1 und 2, Tab. 9) ein hoher Sulfatgehalt festgestellt wurde, ist davon auszugehen, dass viele der untersuchten Proben des Festmörtels bereits vor dem Einbau über einen relativ hohen Sulfatgehalt verfügen. Gemäß [34] können diese Bestandteile im Mörtel während der Nutzungsphase durch eine hohe Feuchtigkeit bzw. Kontakt mit Wasser gelöst werden und einen treibenden Angriff verursachen.

### 3.4.3 Ettringit- und Thaumazit- Gehalt

Da die Bohrmehlproben der Schächte Nr. 1, Nr. 2, Nr. 7 und Nr. 8 erhöhte Sulfatkonzentrationen aufwiesen, wurden die Proben auf die schädlichen Ettringit- und Thaumazitkristalle nach der röntgendiffraktometrischen Methode (XRD) untersucht. Für die Analysen wurden die entnommenen Proben mit einer Scheibenschwingmühle analysefein gemahlen.

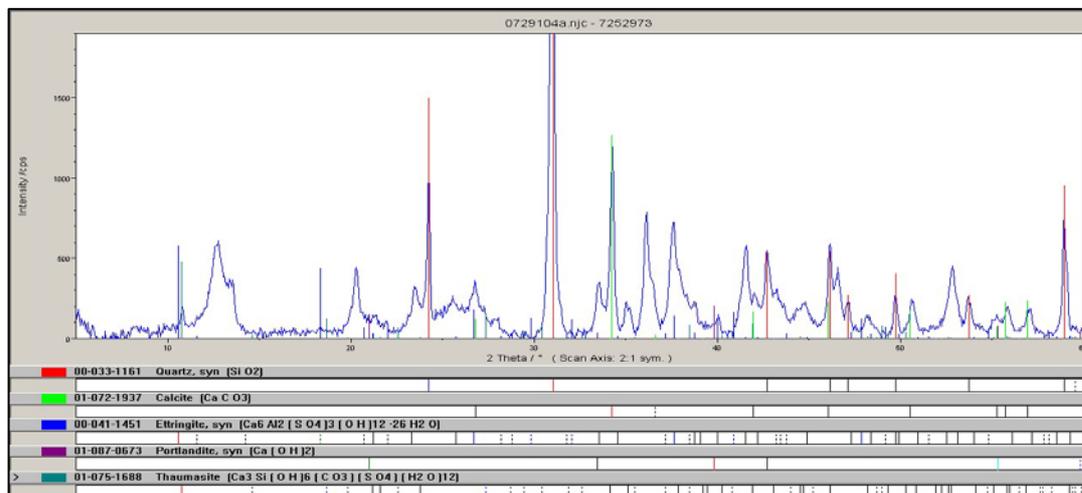


Abb. 60: Ergebnisse der röntgendiffraktometrischen Untersuchungen am Beispiel der Probe aus Schachtes Nr.8

Die röntgendiffraktometrische Untersuchung liefert in erster Linie eine qualitative Aussage bezüglich der chemischen Bestandteile. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem möglichen Auftreten von Ettringit- und Thaumazitkristallen.

Gemäß [35] kann durch sulfatangreifende Medien eine Neubildung sulfathaltiger Treibminerale wie Ettringit im Mörtel hervorgerufen werden (vgl. Kapitel 2.6.1). Neben Ettringit kann

sich auch das ettringitähnliche, komplex aufgebaute Calciumsilikat-Carbonat-Sulfat-Hydrat „Thaumasit“ bilden.

Die nachgewiesenen Ettringit- und Thaumasitmengen sind bei allen vier Proben so gering, dass sie als nicht schädlich eingestuft werden können. Auch im Rahmen der optischen Inspektion wurden am Mörtel keine Korrosionserscheinungen an diesen Schächten festgestellt.

### 3.5 Erfassung des Schachtklimas

Zur Ermittlung der typischen Umweltbedingungen (Temperatur und Luftfeuchtigkeit), denen der Schacht ausgesetzt ist, wurden an ausgewählten Schächten Messfühler zur Erfassung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit angebracht. Bei der Auswahl der Schächte wurden unterschiedliche Klimaregionen gemäß Frostzonenkarte [28] in Deutschland berücksichtigt. Zwei am Niederrhein gelegene Schächte wurden mit Messtechnik versehen, um das Schachtklima in dieser Region zu erfassen. Die beiden Schächte befinden sich in der Frostzone 1, in der die Frosteinwirkung als gering einzustufen ist. Des Weiteren wurden zwei im Siegerland gelegene Schächte mit Messtechnik versehen, um das Schachtklima in der Frostzone 3 zu erfassen, in der die stärkste Frosteinwirkung vorhanden ist. Die Frostzone 2 ist gekennzeichnet durch eine mittlere Frosteinwirkung. Ein Abwasserschacht in München wurde zur Erfassung des Schachtklimas in der Frostzone 2 genutzt.

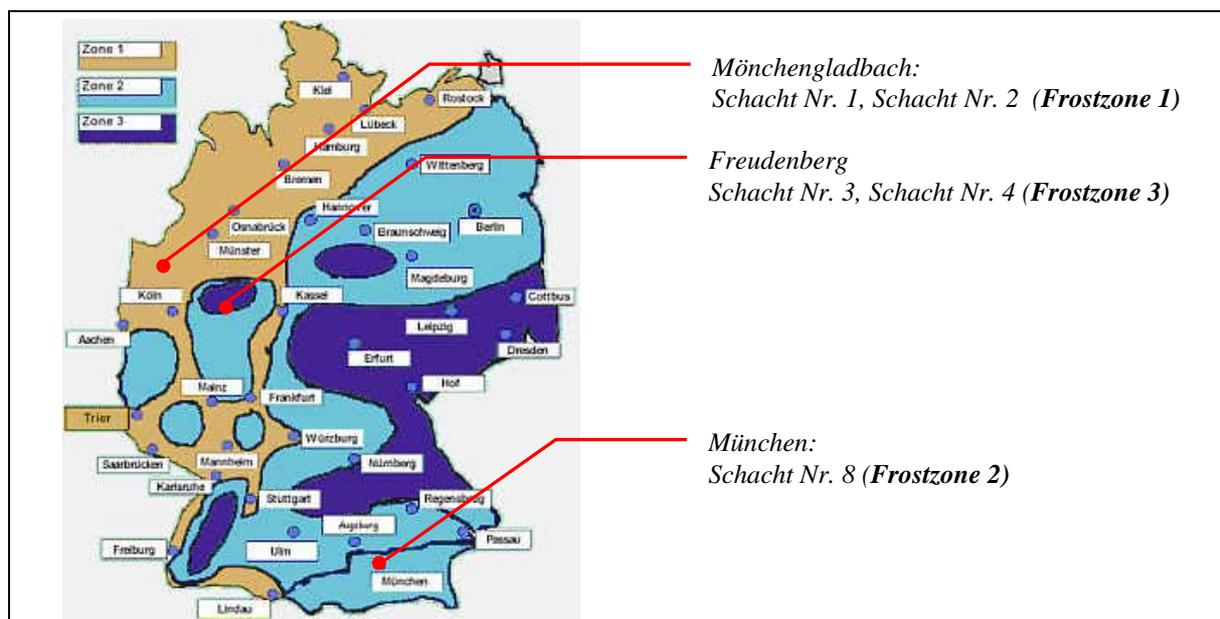


Abb. 61: Standorte zur Erfassung des Schachtklimas (Frostzonenkarte von Deutschland) [24]

Insbesondere in den höher gelegenen Regionen Deutschlands, dem Siegerland und dem Voralpenland, ist davon auszugehen, dass die Anzahl vorhandener Frost-Tau-Wechsel wesentlich höher ist als in den niedrigeren Regionen.

Im Zuge der optischen Inspektion wurden diese Schächte mit Messfühlern versehen. Hierbei wurde meist ein direkt unterhalb der Mörtelfuge befindlicher Ausgleichsring (Abb. 63) mittels Bohrmaschine mit einer Bohrung und einem Dübel versehen, um dort den Messfühler anzuschrauben. Hierbei wurde ein Hygrochron iButton verwendet, ein in ein Edelstahl-gehäuse

gekapselter Datenlogger. Eine Kunststoffabdeckung dient als Schutz vor Regenwasser. In jedem Schacht wurden zwei Messfühler installiert, um bei einem Ausfall eines Messfühlers ersatzweise die Aufzeichnungen des zweiten Messfühlers für eine Auswertung zu Grunde legen zu können.



Abb. 62: Installation des Messfühlers



Abb. 63: Messfühler mit Abdeckung



Abb. 64: Auslesen der Messdaten

#### ERGEBNISSE:

Im Rahmen der Auswertung der Messdaten wurde deutlich, dass in allen fünf Schächten keine Temperaturen unter  $0^{\circ}\text{C}$  zu verzeichnen waren, obwohl in allen untersuchten Regionen im Winter Außentemperaturen unterhalb von  $0^{\circ}\text{C}$  gemessen wurden.

Für die Außentemperaturen wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes [36] zurückgegriffen, die an den jeweiligen Messstationen 2 m über dem Grund stündlich aufgezeichnet werden. Hierbei wurden Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes gewählt, die sich in räumlicher Nähe zu den jeweiligen Schächten befinden. Für die Außentemperaturen im Bereich der in Mönchengladbach gelegenen Schächte Nr. 1 und Nr. 2 wurde auf Daten der Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in der Nachbarstadt Tönisvorst zurückgegriffen. Die Schachttemperaturen der in Freudenberg gelegenen Schächte Nr. 3 und Nr. 4a wurden mit den Außentemperaturen der Wetterstation in der Nachbargemeinde Reichshof-Eckenhagen verglichen. Die Außentemperaturen in München wurden an der Wetterstation München-Stadt (WEWA) gemessen.

Beim Vergleich der Schachttemperaturen im Bereich der Mörtelfuge mit den Außentemperaturen für den Monat Januar wird deutlich (Abb. 65, 66, 67), dass bei Regenwasserschächten als auch bei Schmutz- und Mischwasserschächten eine Abhängigkeit zwischen Schachttemperaturen und Außentemperaturen vorhanden ist. Es wird deutlich, dass bei niedrigen Außentemperaturen ( $< 6$  bis  $10^{\circ}\text{C}$ ) höhere Schachttemperaturen und bei hohen Außentemperaturen ( $> 6$  bis  $10^{\circ}\text{C}$ ) niedrigere Schachttemperaturen zu beobachten sind. An den Frosttagen, bei denen bis zu  $-9^{\circ}\text{C}$  zu verzeichnen sind, liegen die Lufttemperaturen unterhalb der Schachtabdeckung über dem Gefrierpunkt.

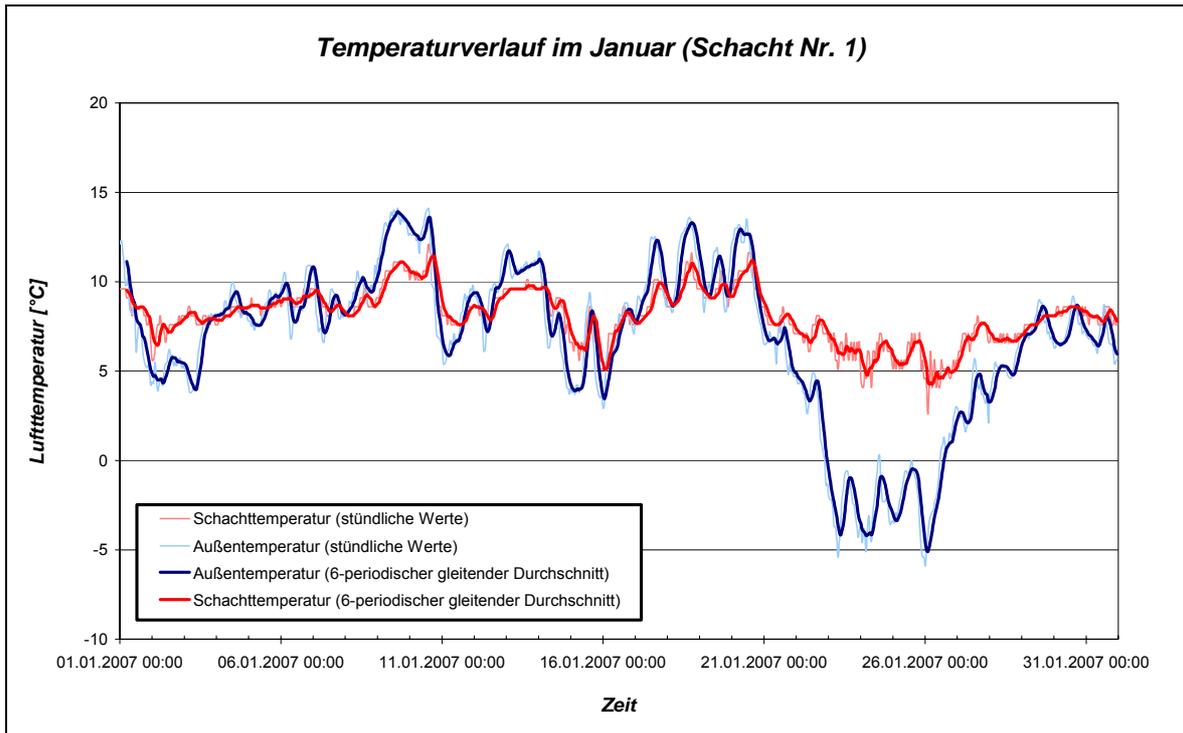


Abb. 65: Beispiel für den Temperaturverlauf (außen und innen) im Bereich eines Regenwasserschachtes im Wintermonat Januar

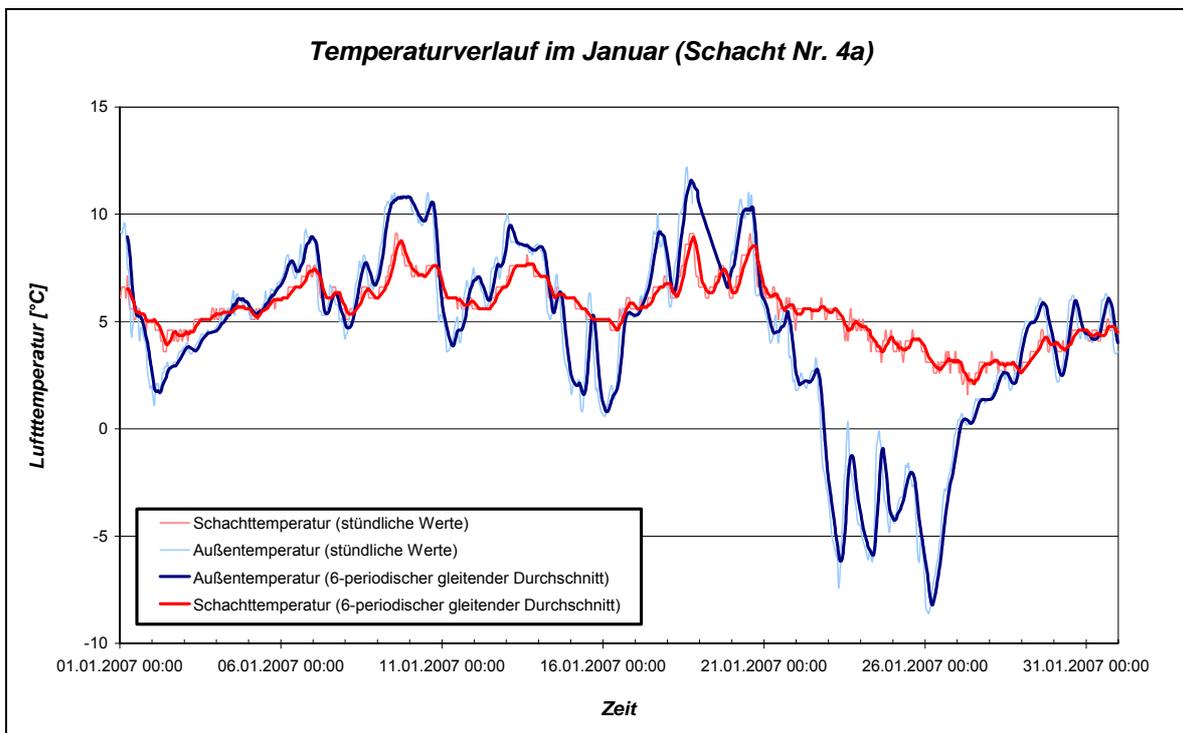


Abb. 66: Beispiel für den Temperaturverlauf (außen und innen) im Bereich eines Schmutzwasserschachtes im Wintermonat Januar

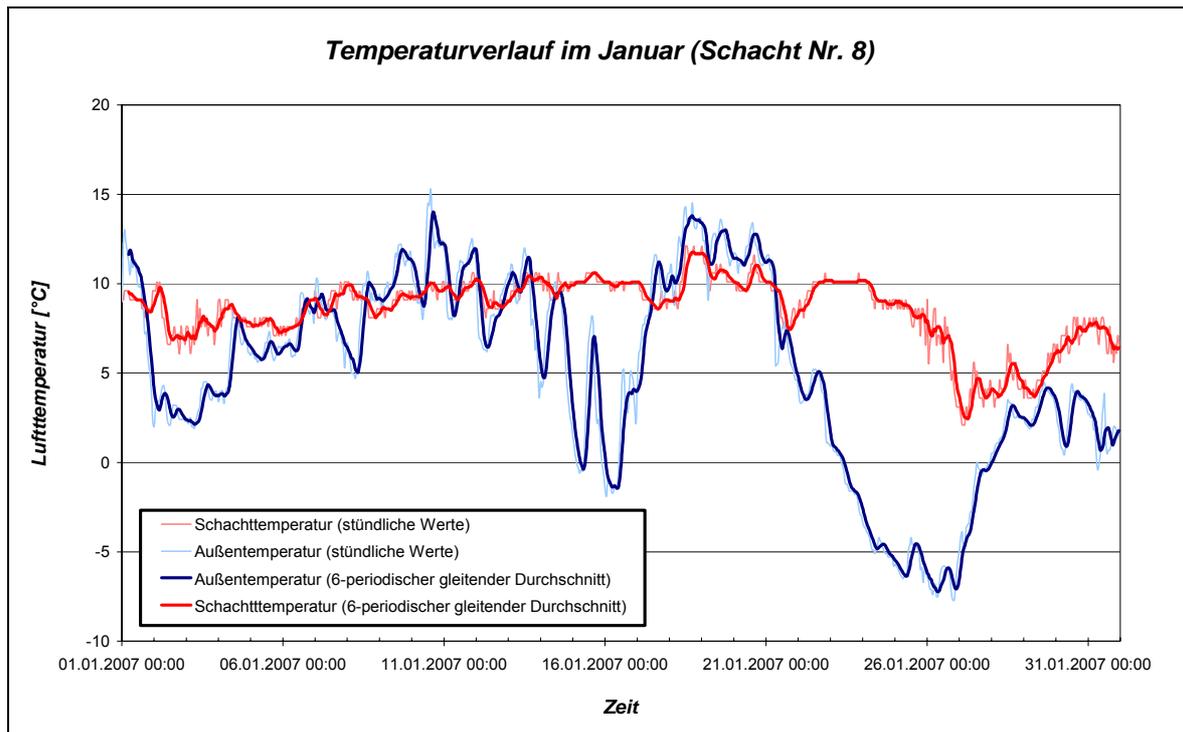


Abb. 67: Beispiel für den Temperaturverlauf (außen und innen) im Bereich eines Mischwasserschachtes im Wintermonat Januar

Die Temperaturschwankungen im Bereich der Mörtelfuge orientieren sich am Außenklima, weisen jedoch eine geringere Schwankungsbreite als die Außentemperaturen auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Temperaturen im Bereich der Mörtelfuge zusätzlich anderen Einflüssen unterliegen. In [34] wurde bereits festgestellt, dass bei Schmutzwasserschächten die Lufttemperaturen im Schacht zusätzlich von der Tiefe des Schachtes und von der Stärke der Volumenströme des Abwassers im Gerinne beeinflusst werden. Zudem bietet die Schachtabdeckung inklusive Schmutzfänger möglicherweise Schutz vor sehr hohen und sehr niedrigen Außentemperaturen, so dass auch dies zu einer geringeren Schwankungsbreite der Schachttemperaturen führt. Des Weiteren ist zu beachten, dass sich die Mörtelfuge in einem Bereich befindet, der möglicherweise eine höhere Lufttemperatur infolge Verkehr (Abgase, Abrieb etc.) aufweist, als im Bereich der Wetterstationen, bei denen die Lufttemperatur in 2 m Höhe über dem Grund aufgezeichnet wird.

Die Schachttemperaturen folgen den Schwankungen der Außenluft mit einer Phasenverschiebung, das heißt die Schachttemperatur reagiert verzögert auf eine Temperaturänderung der Außenluft. Bei einer Veränderung der Außenlufttemperatur macht sich die Temperaturänderung im Schacht innerhalb weniger Stunden bemerkbar.

An Frosttagen treten Temperaturunterschiede zwischen den Spitzen der Außentemperatur und der Schachttemperatur von ca. 10°C auf. Es scheint wahrscheinlich, dass sich erst bei einer Außentemperatur unter -10°C die Frost-Tau-Wechsel im Schacht bemerkbar machen. Tabelle 10 enthält die Anzahl der Frosttage und die Anzahl der Tage mit Temperaturen ausgewählter Regionen in Deutschland im Zeitraum von 1997 bis 2006 [37].

Jahr	Hamburg		Düsseldorf		Dresden		München	
	Frosttage < 0 [°C]	Tage < -10° [C]						
1997	101	9	79	8	111	10	149	11
1998	79	6	59	5	87	12	129	19
1999	77	5	54	3	97	8	120	19
2000	61	3	50	0	64	4	98	7
2001	113	7	73	2	110	10	114	13
2002	89	8	68	3	108	15	126	10
2003	131	20	112	10	132	26	162	35
2004	105	7	105	1	111	12	148	18
2005	119	9	89	1	119	13	146	45
2006	102	13	94	9	111	25	138	29
Mittel	<b>98</b>	<b>9</b>	<b>78</b>	<b>4</b>	<b>105</b>	<b>14</b>	<b>133</b>	<b>21</b>

Tab.10: Frosttage und Tage mit Temperaturen unterhalb von -10°C ausgewählter Regionen im Zeitraum von 1997 bis 2006 [37]

Anhand dieser Tabelle wird deutlich, dass die Anzahl der Tage, an denen eine Temperatur unter -10°C zu verzeichnen ist, deutlich niedriger ist, als die Anzahl der Frosttage. Die Anzahl der im Schacht auftretenden Frost-Tau-Wechsel wird demnach niedriger sein als im Außenbereich.

Die Schachttemperatur ist nicht nur von der Außentemperaturen an den Frosttagen abhängig ist, sondern wird möglicherweise auch von der Dauer einer Frostperiode beeinflusst. Die Abbildungen 65, 66 und 67 machen deutlich, dass bei längeren Frostperioden die Schachttemperatur allmählich sinkt. Es scheint wahrscheinlich, dass die Schachttemperaturen bei einer längeren Dauer der Frostperiode unter den Gefrierpunkt sinken. Aufgrund des milden Winters 2006/2007 konnten jedoch keine längeren Frostperioden an den Wetterstationen beobachtet werden, die zu einem Absinken der Schachttemperaturen unter den Gefrierpunkt führten. Längere Frostperioden, die die Schachttemperaturen dauerhaft unter den Gefrierpunkt sinken lassen, führen jedoch zu einer geringeren Anzahl von Frost-Tau-Wechseln im Bereich der Mörtelfuge. Berücksichtigt man jedoch den Einfluss von Tausalzen, ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Frost-Tau-Wechsel auch bei längeren Frostperioden mit Temperaturen, die dauerhaft unter -10° C liegen, relativ hoch ist.

Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit lag innerhalb der Winterperiode 2006/2007 in den Schmutz- und Mischwasserschächten nahezu immer bei 100%. Im Regenwasserschacht wurde eine durchschnittliche Luftfeuchtigkeit über den betrachteten Zeitraum von 96,8 % gemessen. Im Gegensatz zu den Schmutz- und Mischwasserschächten wurden bei dem Regenwasserschacht größere Schwankungen der Luftfeuchtigkeit verzeichnet. Im Bereich von Schmutz- und Mischwasserschächten ist eine höhere Luftfeuchtigkeit als in Regenwasserschächten vorzufinden, da durch die aufsteigende Feuchtigkeit aus dem Volumenstrom des Schmutz- bzw. Mischwassers im Gerinne die relative Luftfeuchtigkeit ansteigt.

### 3.6 Probenentnahme und Druckfestigkeitsuntersuchungen

Im Anschluss an die Insitu-Untersuchungen an der freigelegten Mörtelfuge (*Kapitel 3.2.3.*) wurde der Schachtkopf soweit freigelegt, dass eine Entnahme von Mörtelproben erfolgen konnte. In Abhängigkeit vom Zustand der Mörtelfuge und der darunter liegenden Bauteile wurde der Mörtel entweder in Bruchstücken (*Abb. 68*) oder als komplett erhaltener Ring entnommen. Die zerstörungsfreie Entnahme eines komplett erhaltenen Mörtelringes (*Abb. 70*) war in der Regel jedoch nur möglich, wenn dieser Mörtelring im Verbund mit einem darunter befindlichen Ausgleichsring entnommen werden konnte. Bei stark geschädigten Mörteln oder Mörteln, die sich direkt auf dem Schachtkonus befinden, ist in der Regel nur eine Entnahme von Bruchstücken möglich. Auch ein guter Verbund zwischen Schachtrahmen und darunter befindlichem Mörtel kann beim Entfernen der Schachtabdeckung zu einer Zerstörung der Mörtelfuge führen und somit Bruchstücke entstehen lassen.



Abb. 68: Markierte Bruchstücke einer Mörtelfuge



Abb. 69: Ausgebohrte Schachtabdeckung mit Mörtelfuge und Ausgleichsring



Abb. 70: Mörtelfuge mit darunter liegendem Ausgleichsring

Die entnommenen Mörtelproben wurden nach dem Ausbau entsprechend ihrer Lage im Schacht markiert und für den Transport in Folie eingewickelt. Mit Hilfe einer feststehenden Kreissäge mit geschlossenem Sägeblatt wurden im Labor, in Abhängigkeit von Zustand und Größe der entnommenen Proben, Probewürfel mit den Kantenlängen von 20 mm bis 50 mm hergestellt, um nach der Bestimmung der Rohdichte Druckfestigkeitsprüfungen durchführen zu können. Bei den Druckfestigkeitsuntersuchungen im Labor konnten lediglich zehn Schächte berücksichtigt werden, da aus einigen entnommenen Mörtelbruchstücken aufgrund der Abmessungen und des Zustandes keine Probewürfel hergestellt werden konnten.

Schacht Nr.	Schadensklasse	Kantenlänge: ca. [mm]	Rohdichte	Einzelwert 1	Einzelwert 2	Einzelwert 3	Mittelwert
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	2	25	<b>1,98</b>	82,3	49,3	70,2	<b>67,3</b>
4*	3	25	<b>2,03</b>	21,0	24,1	29,0	<b>24,7</b>
5	3	30	<b>2,20</b>	65,4	60,5	66,9	<b>64,3</b>
9	1	25	<b>2,18</b>	69,5	83,0	79,7	<b>77,4</b>
10	1	30	<b>2,09</b>	56,4	48,3	61,6	<b>55,4</b>
14	4	30	<b>2,09</b>	87,9	90,6	81,6	<b>86,7</b>
15	4	20	<b>2,14</b>	58,1	53,9	52,2	<b>54,7</b>
17	1	50	<b>2,15</b>	71,9	68,3	63,6	<b>67,9</b>
18	4	20	<b>2,17</b>	90,5	87,2	87,3	<b>88,3</b>
20	4	45	<b>2,17</b>	43,3	52,9	46,3	<b>47,5</b>

\* Mörtel mit Faserzugabe

Tab. 11: Ergebnisse zur Würfeldruckfestigkeit



Abb. 71.1/71.2/71.3: Würfelserien der Schächte 4, 10 und 20 nach der Druckfestigkeitsprüfung

#### ERGEBNISSE:

Bei der Betrachtung der Ergebnisse (Tab. 11) wird deutlich, dass die meisten der untersuchten Proben des Festmörtels eine Druckfestigkeit aufweisen, die höher ist als die laut [5] geforderte Mindestdruckfestigkeit von 55 N/mm<sup>2</sup> (Vergussmörtel) bzw. 45 N/mm<sup>2</sup> (plastischer Mörtel) nach 28 Tagen. Auch viele Mörtel aus Schächten, deren Mörtelfugen im Rahmen der optischen Inspektion in die Schadensklassen 3 bis 4 eingestuft wurden, erreichen bei den Druckfestigkeitsuntersuchungen die Mindestdruckfestigkeiten. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die entnommenen Proben ein Alter von mindestens einem Jahr aufweisen. Zudem sollte laut [38] das kleinste Maß des Probekörpers mindestens das Vierfache des Größtkorndurchmessers der verwendeten Zuschläge betragen, da die Größe und Gestalt des Probekörpers die Festigkeit beeinflussen. Geht man bei den untersuchten Vergussmörteln und plastischen Mörteln von einem Größtkorn von 8 mm bzw. 4 mm aus (siehe Kapitel 2.2), so sind Probekörper mit Mindestabmessungen von 32 mm bzw. 16 mm zu verwenden. Die Druckfestigkeit von Beton ist gemäß DIN 1048, Teil 5 [39] sogar an Würfeln mit den Kantenlängen 100, 150 und 200 durchzuführen. Aufgrund des Zustandes und der Abmessungen entnommener Bruchstücke konnten die Druckfestigkeiten jedoch nur an Würfeln mit einer Kantenlänge von 20 mm bis maximal 50 mm durchgeführt werden.

Dass zwischen den Probekörpern aus Schächten der Schadensklassen 1 und 2 und den Probekörpern aus Schächten der Schadensklassen 3 und 4 keine großen Festigkeitsunterschiede zu beobachten sind, ist darauf zurückzuführen, dass nur aus denjenigen Bruchstücken Probekörper geschnitten wurden, bei denen keine Schädigung (Risse o. ä.) vorzufinden war. Dies war jedoch nur bei den Schächten möglich, die nur lokale Schädigungen aufwiesen, nicht jedoch strukturelle.

Schädigungen wie Risse und Abplatzungen im Bereich einer Mörtelfuge sind nicht immer auf unzureichende Druckfestigkeiten zurückzuführen, sondern die Ursachen hierfür sind immer auch im Zusammenwirken des Gesamtsystems „Schacht“ zu betrachten. Schädigungen wie Setzungen im Bereich des Schachtes, unzureichender Verbund zwischen den Bauteilen sowie klappernde Schachtabdeckungen können auch dann zu Schäden im Bereich der Mörtelfuge führen, wenn diese die erforderliche Mindestdruckfestigkeit aufweist. Zudem können die Schäden auch auf vorzeitige Belastungen unmittelbar nach Herstellung der Mörtelfuge zurückzuführen sein, wenn zu diesem Zeitpunkt die Druckfestigkeit noch nicht ausreichend war.

Bei zwei von zehn untersuchten Mörtelproben (Schacht Nr. 4 und Schacht Nr. 20), die laut Angaben der Netzbetreiber aus Vergussmörtel bestehen, liegt die ermittelte Druckfestigkeit unter der erforderlichen Mindestdruckfestigkeit von 55 N/mm<sup>2</sup> für Vergussmörtel. Bei der Mörtelprobe von Schacht Nr. 4 wird die Mindestdruckfestigkeit sogar deutlich unterschritten.

Dies ist möglicherweise auf die örtlichen Randbedingungen bei der Verarbeitung des Mörtels während der Schachtsanierung zurückzuführen. Das „Nicht-Einhalten“ der Herstellerangaben bei der Mörtelherstellung kann beispielsweise zu Festigkeitsverlusten führen.

### 3.7 Frost-Tausalz-Prüfungen an ausgebauten Verbundkreissegmenten

Die entnommenen Proben des Ausgleichringes mit anhaftender Mörtelfuge (Abb. 70) von drei Schächten wurden im Labor in Kreissegmente gesägt und als Probekörper für die Frostprüfung sowohl nach dem CDF-Verfahren mit 3%-NaCl-Lösung [13] als auch nach einem modifizierten CDF-Verfahren mit 1%-NaCl-Lösung verwendet. Beim CDF-Verfahren werden die Probekörper in einem Taumittel (z.B. NaCl-Lösung) gelagert und 28 Frost-Tau-Wechseln ausgesetzt. Danach wird der Frost-Tau-Widerstand anhand der Summe der Abwitterungsmenge beurteilt. Die Bewitterung der Probekörper erfolgt dabei lediglich über eine Seite des Probekörpers. Die übrigen Seiten werden beim CDF-Test mit aluminium-beschichtetem Kleband versehen. In den Abbildungen 72 bis 77 sind beispielhaft für zwei Schächte die ausgebauten Verbundkreissegmente vor und nach den Frost-Tau-Wechseln in einer 3%igen und 1%igen NaCl-Lösung dargestellt.



Abb. 72: Serie Schacht 5 vor Frost-Tau-Wechsel (FTW)



Abb. 73: Serie Schacht 5 nach 28 FTW in 3%iger NaCl-Lösung



Abb. 74: Serie Schacht 5 nach 28 FTW in 1%iger NaCl-Lösung



Abb. 75: Serie Schacht 9 vor FTW



Abb. 76: Serie Schacht 9 nach 28 FTW in 3%iger NaCl-Lösung



Abb. 77: Serie Schacht 9 nach 28 FTW in 1%iger NaCl-Lösung

#### ERGEBNISSE:

Die Frost-Tausalz-Untersuchungen in 3%iger NaCl-Lösung an den ausgebauten Verbundprobekörpern im Labor machen deutlich, dass die verwendeten Schachtkopfmörtel ein stark unterschiedliches Abwitterungsverhalten aufweisen. Am untersuchten Mörtel des Schachtes Nr. 5 wurde beispielsweise schon nach 28 Frost-Tau-Wechseln (FTW) eine starke Abwitterung festgestellt (Abb. 78), die mit 3000 g/m<sup>2</sup> deutlich über dem definierten Grenzkriterium

von 1500 g/m<sup>2</sup> liegt. Die Abwitterung am Mörtel des Schachtes Nr. 9 (Abb. 80) bleibt hingegen sogar nach 56 Frost-Tau-Wechseln (FTW) mit einem Wert von 500 g/m<sup>2</sup> deutlich unter dem Maximum von 1500 g/m<sup>2</sup>. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Mörtel des Schachtes Nr. 5 aufgrund der Lage und des Alters vor dem Ausbau möglicherweise einer stärkeren Bewitterung (hohe Anzahl von FTW) ausgesetzt war, als der Mörtel des Schachtes Nr. 9.

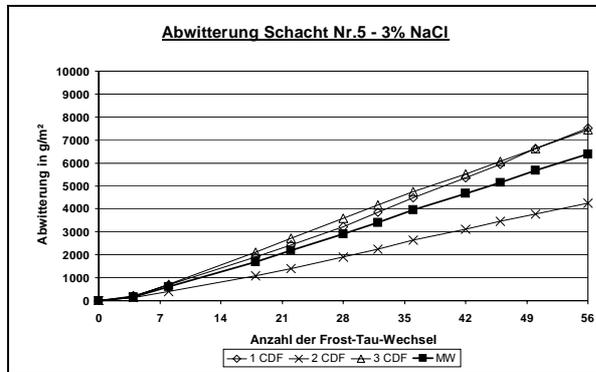


Abb. 78: Abwitterung des Prüfkörpers aus Schacht Nr.5 nach CDF-Test in 3%er NaCl-Lösung nach 56 FTW

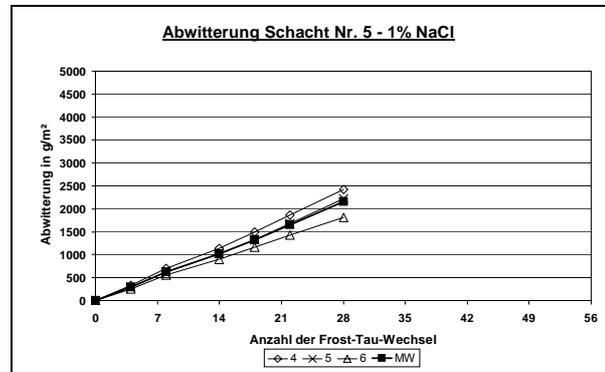


Abb. 79: Abwitterung des Prüfkörpers aus Schacht Nr.5 nach CDF-Test in 1%er NaCl-Lösung nach 28 FTW

Bei der Verwendung von 1%-NaCl-Lösung als Prüfmedium wurde bei den untersuchten Mörteln eine etwas geringere Abwitterung festgestellt (vgl. Abb. 79, Abb. 81). Die Abwitterung des Mörtels am Schacht Nr. 5 beträgt beispielsweise nur noch 2.200 g/m<sup>2</sup> nach 28 Frost-Tau-Wechsel, liegt jedoch immer noch über dem Grenzkriterium von 1.500 g/m<sup>2</sup>.

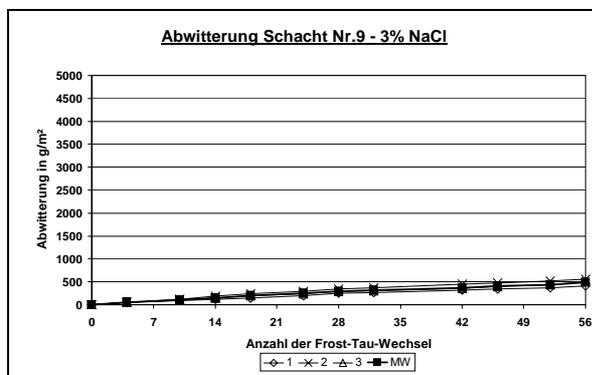


Abb. 80: Abwitterung des Prüfkörpers aus Schacht Nr.9 nach CDF-Test in 3%er NaCl-Lösung nach 56 FTW

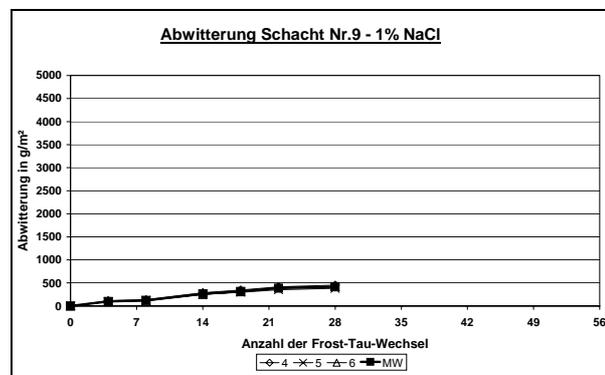


Abb. 81: Abwitterung des Prüfkörpers aus Schacht Nr.9 nach CDF-Test in 1%er NaCl-Lösung nach 28 FTW

### 3.8 Prüfung auf Haftzugfestigkeit an ausgebauten Verbundkreissegmenten

Bei der optischen Inspektion mit anschließender Freilegung wurde insbesondere der Kontaktbereich Mörtel-Beton bzw. Mörtel-Guss als Schwachstelle identifiziert. Bereits in [4] wurde angeführt, dass der Wasserentzug im Kontaktbereich Mörtel-Beton die Festigkeitsentwicklung im Mörtelgefüge beeinträchtigen kann. Für die Verbundeigenschaften zwischen dem Betonausgleichring und der Mörtelfuge wurde nun die Haftzugfestigkeit entsprechend im Verbund geprüft (Abb. 82, 83). Zur Prüfung der Haftzugfestigkeit wurde gemäß DIN 1048, Teil 2 [40] ein Zugprüfgerät der Klasse 2 nach DIN 51 220 [41] verwendet. Die Prüfstempel mit einem Durchmesser von 50 mm wurden nach der Ausbildung einer Ringnut auf den vorbereiteten Untergrund aufgeklebt. Hierzu wurde ein 2 – komponentiger Polyurethanharz – Kleber verwendet. Das Ziehen der Stempel erfolgte entsprechend DIN 1048 mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 100 N/s.

Es wurden Haftzugwerte an ausgebauten Verbundkreissegmenten nach im Labor durchgeführten Frost-Tau-Bewitterungen (CDF-Verfahren [13] mit 3%er NaCl-Lösung) und ohne eine im Labor durchgeführter Frost-Tau-Bewitterung ermittelt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die ausgebauten Verbundprobekörper während der Winterperiode(n) im Schacht bereits Frost-Tau-Belastungen unterlagen.

#### ERGEBNISSE:

Tabelle 12 macht deutlich, dass die Haftzugwerte der ausgebauten Kreissegmente starke Unterschiede aufweisen. Bei den Prüfkörpern aus Schacht Nr. 3 wurden beispielsweise Einzelwerte von 0,47 N/mm<sup>2</sup> ermittelt, während bei den Prüfkörpern aus Schacht Nr. 8 Einzelwerte von bis zu 3,21 N/mm<sup>2</sup> ermittelt wurden. Bei den Proben aus Schacht Nr. 5 und Nr. 8 ist jedoch eine relativ hohe Streubreite der Haftzugwerte festzustellen.

Mörtel	Prüfkörper	Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchverhalten
Schacht Nr. 3	FR – 1	0,47	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	FR – 2	0,96	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	FR – 3	0,60	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
Schacht Nr. 5	MI – 1	3,21	Bruch erfolgte zu 80% im Mörtel, zu 20% im Kleber.
	MI – 2	1,96	Bruch erfolgte zu 80% im Mörtel, zu 20% im Kleber.
	MI – 3	0,87	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
Schacht Nr. 9	VL – 1	1,05	Bruch erfolgte zu 50% im Mörtel, zu 50% im Kleber.
	VL – 2	2,76	Bruch erfolgte zu 10% im Mörtel, zu 90% im Kleber.
	VL – 3	3,10	Bruch erfolgte zu 80% im Mörtel, zu 20% im Kleber.

Tab. 12: Haftzugprüfung ausgebauter Kreissegmente ohne Bewitterung im Labor

Vergleicht man Tabelle 12 mit Tabelle 13 wird deutlich, dass nach einer Bewitterung (CDF-Test mit 3%iger NaCl-Lösung) bei dem Prüfkörper aus Schacht Nr. 5 geringere Haftzugwerte zu verzeichnen sind. Bei dem Prüfkörper aus Schacht Nr. 9 sind hingegen höhere Haftzugwerte festzustellen. Aufgrund der relativ hohen Streubreite der Haftzugwerte kann in diesem Fall kein Zusammenhang zwischen Bewitterung und Verbundwirkung an den Probekörpern

festgestellt werden. Es ist jedoch festzuhalten, dass jeweils an einem Verbundprobekörper aus Schacht Nr. 5 und Schacht Nr. 9 keine Haftzugprüfung nach der Bewitterung durchgeführt werden konnte, da kein Verbund mehr zwischen Mörtel und Beton gegeben war. Aufgrund der hohen Abwitterung an den Prüfkörpern aus Schacht Nr. 3 konnte der Prüfstempel in diesem Fall nicht aufgeklebt werden, so dass auf eine Haftzugprüfung verzichtet werden musste.

Mörtel	Prüfkörper	Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchverhalten
Schacht Nr. 3	Aufgrund der hohen Abwitterung war eine Haftzugprüfung nicht möglich.		
	Aufgrund der hohen Abwitterung war eine Haftzugprüfung nicht möglich.		
	Aufgrund der hohen Abwitterung war eine Haftzugprüfung nicht möglich.		
Schacht Nr. 5	MI – 1	0,85	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	MI – 2	0,70	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	Kein Verbund		
Schacht Nr. 9	VL – 1	3,71	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	VL – 2	2,97	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	Kein Verbund		

Tab. 13: Haftzugprüfung ausgebauter Kreissegmente nach Bewitterung (CDF-Test mit 3%er NaCl-Lösung)



Abb. 82: Haftzugprüfungen an bewitterten Probekörpern



Abb. 83: Haftzugprüfungen an ausgebauten Kreissegmenten

### 3.9 Frost-Tausalz-Prüfungen an hergestellten Mörtelprismen

Mit vier exemplarisch ausgesuchten Schachtkopfmörteln (Mörtel A, B, C und D) wurden an laborhergestellten Proben der Frost-Tausalz-Widerstand mit dem Prüfverfahren CDF-Test mit einer 3%igen und modifiziert mit einer 1%igen NaCl-Lösung geprüft (vgl. Abb. 88 -91). Die Prüfkörperherstellung erfolgte abweichend von der CDF-Prüfvorschrift mit Normprismenschalung, so dass Prüfkörper der Geometrie 40 x 40 x 160 mm entstanden. Aufgrund der geringen Korngröße der verwendeten Gesteinskörnung – Sand – ist eine Reduzierung einer Seitenlänge vertretbar und wegen der ergänzenden Prüfung im Rahmen der Eignungs- und Güteprüfungen – Druck- und Biegezugfestigkeit - ist die Verwendung dieser Geometrie vorteilhaft.

Um die Wiederholbarkeit, d.h. den Einfluss der Geometrie und des Mörtels auf die Präzision des Prüfverfahrens, zu überprüfen, wurden für einige Prüfserien mit der Regelprüflösung bzw. der modifizierten Prüflösung jeweils Doppelprüfungen (Wiederholprüfungen) durchgeführt. Bei diesen Vergleichsuntersuchungen wurden die Prismenprüfkörper mit einer neuen Mischung des Mörtels zeitversetzt um zwei Wochen hergestellt. Die beiden Prüfergebnisse beinhalten somit die Prüfstreuung aus Herstellung, Lagerung und Prüfung.

**ERGEBNISSE:**

Die Ergebnisse der CDF-Prüfungen für den Mörtel A (plastischer Mörtel) und den Mörtel C (Vergussmörtel) sind in den folgenden Diagrammen dargestellt, wobei im Vergleich jeweils zuerst die Regelprüfung in 3%iger NaCl-Lösung (vgl. Abb. 84, 86), anschließend die Wiederholprüfung und abschließend für den jeweiligen Mörtel die modifizierte Prüfung mit einer 1%igen NaCl-Lösung wiedergegeben werden (vgl. Abb. 85, 87).

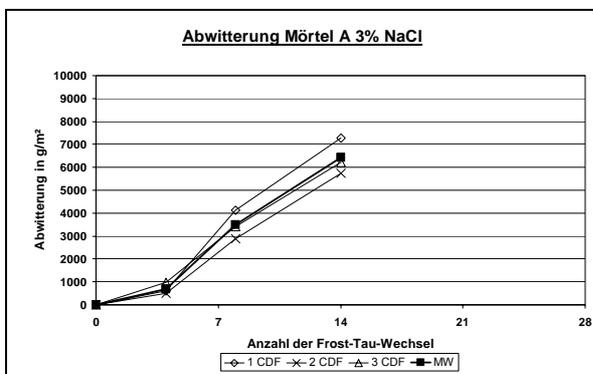


Abb. 84: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Mörtels A in 3%iger NaCl-Lösung (14FTW)

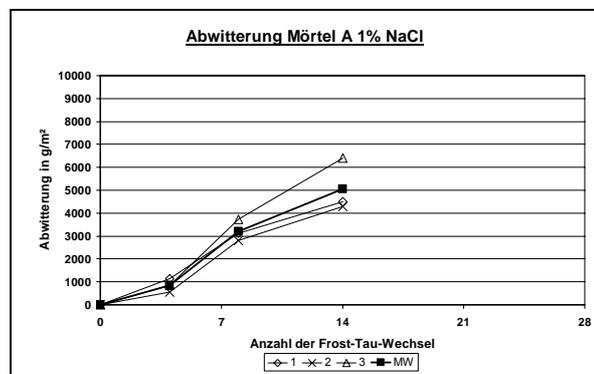


Abb. 85: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Mörtels A in 1%iger NaCl-Lösung (14 FTW)

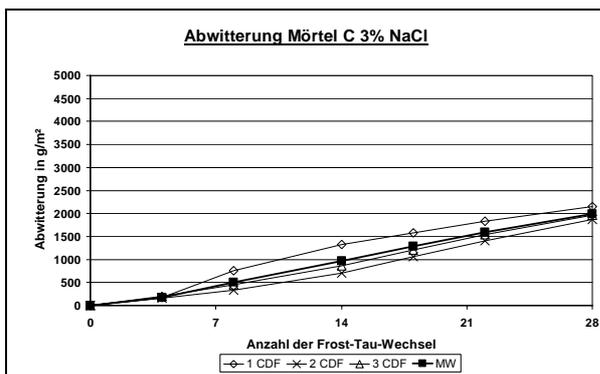


Abb. 86: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Mörtels C in 3%iger NaCl-Lösung (28 FTW)

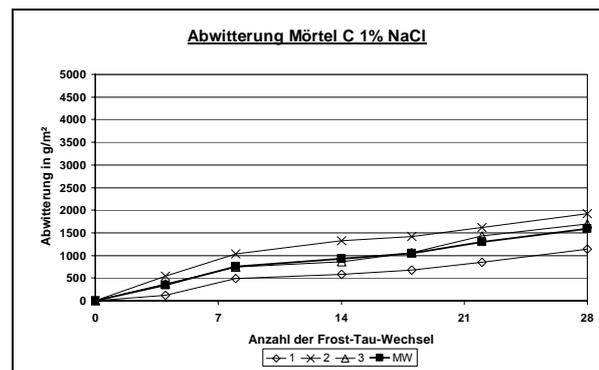


Abb. 87: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Mörtels C in 1%iger NaCl-Lösung (28 FTW)

Die im Labor hergestellten Mörtelprismen zeigen ein stark unterschiedliches Witterungsverhalten (Abb. 84, Abb. 86). Mörtel A weist bereits nach 14 Frost-Tau-Wechseln in einer 3%igen NaCl-Lösung eine Abwitterung von mehr als 6000 g/m<sup>2</sup>, während Mörtel C erst nach 28 Frost-Tau-Wechseln eine Abwitterungsmenge von 2000 g/m<sup>2</sup> aufweist. Auch bei einer CDF-Prüfung der Mörtel A und C in einer 1%igen NaCl-Lösung wird das Grenzkriterium von 1500 g/m<sup>2</sup> überschritten (Abb. 85, Abb. 87).

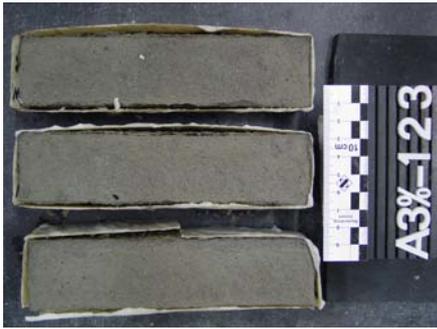


Abb. 88: Serie Mörtel A nach 14 FTW  
in 3%iger NaCl-Lösung



Abb. 89: Serie Mörtel A nach 14 FTW  
in 1%iger NaCl-Lösung



Abb. 90: Serie Mörtel C nach 28 FTW  
in 3%iger NaCl-Lösung



Abb. 91: Serie Mörtel C nach 28 FTW  
in 1%iger NaCl-Lösung

### 3.10 Herstellung von Verbundprobekörpern und Frost-Tausalz-Prüfungen

Gemäß [4] kann es im Kontaktbereich Mörtel-Beton zu Wasserentzug und somit zu unterschiedlichen Festigkeitsentwicklungen im Schachtkopfmörtel kommen. Auch die Untersuchungen an sanierten Schächten im Rahmen der Erfassung des Ist-Zustandes haben gezeigt, dass sich der Kontaktbereich Mörtel-Beton als Schwachpunkt erweisen kann. Um das Verbundverhalten von Mörtel und Beton nach einer Bewitterung überprüfen zu können, wurde zusätzlich eine Prüfung auf Frost-Tausalz-Widerstand an im Labor hergestellten Verbundprobekörpern mit den Abmessungen 165 \* 95\* 100 mm durchgeführt, die aus einer 5 cm dicken Mörtelschicht und Betonschicht bestehen (Abb. 93, 94). Bei dem Verbundprobekörper handelt es sich um einen idealisierten Probestück, das in etwa den Abmessungen einer Mörtelfuge entspricht. Mit Hilfe dieses Verbundkörpers können die Einbaubedingungen vor Ort berücksichtigt werden. Die in [4] aufgeführte Kreissegmentform des Verbundkörpers wurde im Rahmen dieses Projektes als Rechteckform idealisiert, um im Rahmen einer Eignungsprüfung eine vereinfachte Probekörperherstellung zu erreichen.



Abb. 92: Herstellung der Probekörper mittels Rahmenkonstruktion



Abb. 93: Verbundprobekörper (Seitenansicht) nach Herstellung



Abb. 94: Verbundprobekörper (Draufsicht) nach Herstellung

Bei der Herstellung wurde auf eine im Labor hergestellte schalglatte Oberfläche aus Beton eine 5 cm dicke Schicht aus den vier gleichen Mörteltypen (Mörtel A, B, C, D) der Prismenuntersuchungen (vgl. Kapitel 3.10) aufgebracht (Abb. 92). Der Beton entspricht den Anforderungen der DIN 4281 „Beton für werkmäßig hergestellte Entwässerungs-gegenstände“ [11]. Gleichzeitig wurde hierbei der Einfluss einer Oberflächenbehandlung berücksichtigt. Die Verbundfläche wurde bei den Proben x.1 und x.2 ohne Haftbrücke mit Vorreinigung und Anfeuchten der Betonfläche und bei den Proben x.4 und x.5 mit einer Haftbrücke hergestellt. Die im Labor hergestellten Verbundprobekörper wurden anschließend mittels modifizierten CDF-Test (1%ige NaCl-Lösung) auf Frost-Tausalz-Widerstand überprüft.

#### ERGEBNISSE:

Die Prüfergebnisse der Abwitterung zeigen, dass die Reihung der Mörtelgüten vergleichbar ist wie bei der Prismenprüfung. Es wurde bei allen Prüfserien nach 14 Frost-Tau-Wechseln eine leicht höhere Abwitterung festgestellt. Die leicht erhöhte Abwitterung gegenüber der Prismenprüfung kann darauf zurückgeführt werden, dass eine abgeriebene Mörteloberseite und keine geschaltete Mörtelfläche geprüft wurde. In Abbildung 95 und 97 ist das Abwitterungsverhalten der Mörtel A und C ohne Haftbrücke im Verbundbereich des Probekörpers dargestellt. Die Abbildungen 96 und 98 zeigen den Abwitterungsverlauf der Mörtel A und C unter Verwendung einer Haftbrücke im Verbundbereich des Probekörpers.

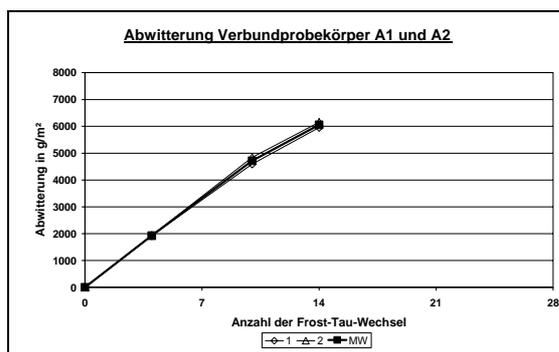


Abb. 95: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Verbundkörper Mörtels A in 1%iger NaCl-Lösung (14 FTW) ohne Haftbrücke

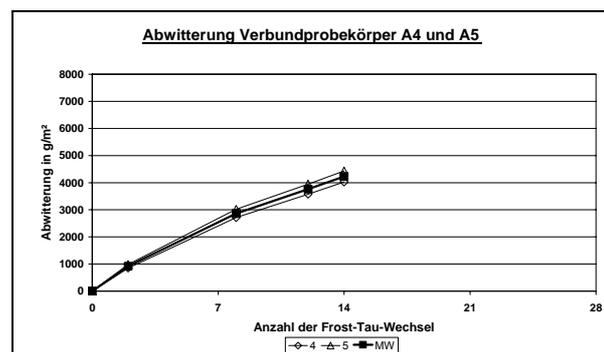


Abb. 96: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Verbundkörper Mörtels A in 1%iger NaCl-Lösung (14 FTW) mit Haftbrücke

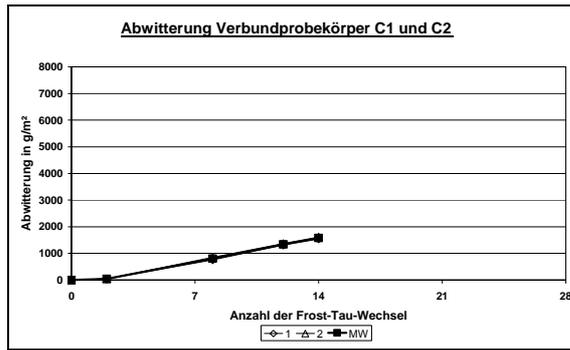


Abb. 97: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Verbundkörper Mörtels C in 1%iger NaCl-Lösung (14 FTW) ohne Haftbrücke

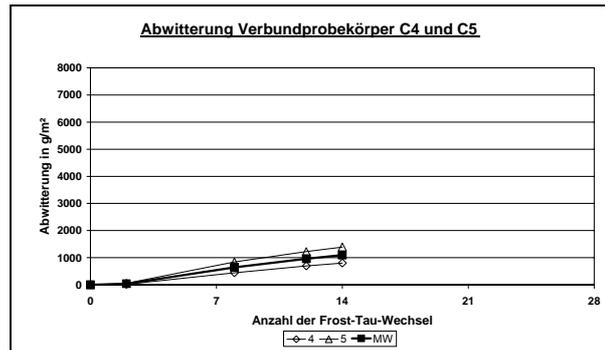


Abb. 98: Abwitterungsverlauf der CDF-Prüfung Verbundkörper Mörtels C in 1%iger NaCl-Lösung (14 FTW) mit Haftbrücke

Erwartungsgemäß ist kein Einfluss der Haftbrücke auf die Oberflächenabwitterung erkennbar. Die Prüfung wurde jedoch schon nach 14 Frost-Tau-Wechseln abgebrochen, um sicherzustellen, dass bei den stärker geschädigten Serien eine Verbundprüfung über den Haftzugwert möglich ist.

Die Messung der inneren Schädigung mittels CIF-Test (16] zeigte einen beginnenden Abfall im relativen dynamischen E-Modul bei den Serien mit höherer Abwitterung. So ist beispielsweise bei der Mörtelprobe B ein Abfall des relativen dynamischen E-Moduls von ca. 10 % zu beobachten. Dies deutet auf eine innere Schädigung hin.

### 3.11 Prüfung auf Haftzugfestigkeit an hergestellten Verbundprobekörpern

Im Anschluss an die Frost-Tausalz-Untersuchungen (Kapitel 3.10) wurden die zuvor bewitterten Probekörper auf Haftzugfestigkeit im Verbund geprüft. Um den Einfluss der Bewitterung auf die Verbundeigenschaften des Mörtels untersuchen zu können, wurden zum Vergleich auch nicht bewitterte Probekörper auf Haftzugfestigkeit im Verbund überprüft. Zudem wurde der Einfluss der Haftbrücke bei den Untersuchungen berücksichtigt. Die Prüfung der Haftzugfestigkeit wurde analog zu Kapitel 3.8 gemäß DIN 1048, Teil 2 [40] durchgeführt.

Die Haftzugwerte zeigen zwischen den vier Mörtelsystemen Unterschiede auf. Es wurden Mittelwerte von 0,85 N/mm<sup>2</sup> bis 4,39 N/mm<sup>2</sup> ermittelt (vgl. Tab. 14, 15). Richtwerte für Instandsetzungssysteme im Betonbau liegen bei 1,0 bis 1,5 N/mm<sup>2</sup>.

Die Streubreiten der Prüfergebnisse zum Verbund sind signifikant, insbesondere da ca. 1/3 der Probekörper nicht prüfbar war, da bei der Ringnusterstellung ein Verbundversagen auftrat. Ein signifikanter Unterschied bei den Haftzugwerten zwischen den Proben mit und ohne Haftbrücke und den Nullproben zu den befestigten Proben wurde nicht festgestellt. Für einen Signifikanztest ist die Streuung zu hoch. Es lässt sich jedoch eine Trend erkennen. Befroste Verbundprobekörper (vgl. Tab. 16, 17) zeigen eher ein Versagen im Mörtel als unbefroste Probekörper. Bei Verbundprobekörpern mit Haftbrücke treten in der Verbundschicht weniger Brüche auf.

Mörtel	Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchverhalten
A3	1,01	0,85	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	0,68		Bruch erfolgte zu 100% in der Verbundfuge.
B3	1,72	1,71	Bruch erfolgte zu 30% im Mörtel, zu 70% im Kleber.
	1,69		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
C3	4,27	4,39	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	4,52		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
D3	1,66	1,76	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,85		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.

Tab. 14: Haftzugprüfung an Verbundkörper ohne Haftbrücke (ohne Bewitterung)

Mörtel	Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchverhalten
A6	1,43	1,62	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,82		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
B6			Versagen beim Bohren
			Versagen beim Bohren
C6			Versagen beim Bohren
			Versagen beim Bohren
D6	2,38	2,13	Bruch erfolgte zu 100% im Kleber.
	1,87		Bruch erfolgte zu 100% im Kleber.

Tab. 15: Haftzugprüfung an Verbundkörper mit Haftbrücke (ohne Bewitterung)

Mörtel	Einzelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Mittelwert [N/mm <sup>2</sup> ]	Bruchverhalten
A1	0,15	0,33	Bruch erfolgte zu 30% im Mörtel, zu 70% in der Verbundfuge.
	n. V.		Versagen beim Bohren
A2	n. V.		Versagen beim Bohren
	0,50		Bruch erfolgte zu 100% in der Verbundfuge.
B1	1,41	1,46	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,65		Bruch erfolgte zu 100% in der Verbundfuge.
B2	1,38		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,38		Bruch erfolgte zu 100% in der Verbundfuge.
C1	1,73	1,74	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,96		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
C2	1,62		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,66		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
D1	1,41	2,06	Bruch erfolgte zu 90% im Mörtel, zu 10% im Kleber.
	1,95		Bruch erfolgte zu 50% im Mörtel, zu 50% im Kleber.
D2	2,70		Bruch erfolgte zu 95% im Mörtel, zu 5% im Kleber.
	2,19		Bruch erfolgte zu 90% im Mörtel, zu 10% im Kleber.

Tab. 16: Haftzugprüfung an Verbundkörper ohne Haftbrücke (Bewitterung in 1%iger NaCl)

<b>Mörtel</b>	<b>Einzelwert</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Mittelwert</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Bruchverhalten</b>
A4	0,75	1,08	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,39		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
A5	1,10		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,09		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
B4	0,17	0,64	Bruch erfolgte zu 80% im Mörtel, zu 20% in der Verbundfuge.
	n. v.		Versagen beim Bohren
B5	1,00		Bruch erfolgte zu 100% in der Verbundfuge.
	0,75		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
C4	2,83	2,11	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	n. v.		Versagen beim Bohren
C5	1,98		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	1,53		Bruch erfolgte zu 100% in der Verbundfuge.
D4	2,58	2,01	Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	2,30		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
D5	1,05		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.
	2,12		Bruch erfolgte zu 100% im Mörtel.

Tab. 17: Haftzugprüfung an Verbundkörper ohne Haftbrücke (Bewitterung in 1%iger NaCl)

### 3.12 Schlussfolgerungen

#### **OPTISCHE INSPEKTION:**

Für die optische Inspektion im Rahmen einer Abnahmeprüfung empfiehlt es sich, die Vorgehensweise gemäß Kapitel 3.2. zu wählen. Demnach ist diese Untersuchung in drei Arbeitsschritte einzuteilen. In einem ersten Arbeitsschritt wird die Einbindung des Schachtes beurteilt; danach wird der Allgemeinzustand des Schachtkopfes untersucht. Zum Schluss erfolgt die Beurteilung des Zustandes der Mörtelfuge.

Bei der Inaugenscheinnahme der Mörtelfuge im Rahmen der optischen Inspektion wurde festgestellt, dass Schäden am Mörtel in der Regel nicht sofort erkennbar sind. Feine Haarrisse (Abb. 101) im Mörtel konnten erst bei genauerer Betrachtung durch Nässen und Anschleifen der Oberfläche (Abb. 100) identifiziert werden, da sich die Feuchtigkeit beim Nässen in den Rissen abgesetzt hatte. Im Rahmen einer Abnahmeprüfung sollte bei der optischen Inspektion in jedem Fall diese Vorgehensweise gewählt werden, da hiermit insbesondere oberflächennahe Mikrorisse sichtbar gemacht werden können.



Abb. 99: verschmutzte Mörtelfuge



Abb. 100: Anschleifen der Oberfläche



Abb. 101: Haarrisse im Mörtel

#### ULTRASCHALLUNTERSUCHUNGEN:

Mit Hilfe des Ultraschallverfahrens kann beispielsweise im Rahmen einer Abnahmeprüfung eine Aussage über die Qualität des Mörtels und über dessen Homogenität getroffen werden. Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass insbesondere nicht sichtbare größere Risse und Fehlstellen mit Hilfe des Verfahrens aufgespürt werden konnten. Bei einer „horizontalen Ultraschall-Ringmessung“ wurden in diesen Bereichen in der Regel starke Abweichungen von den übrigen Werten der Schalllaufzeit festgestellt. Mit Hilfe der anschließenden Freilegung der Mörtelfuge im Rahmen der Untersuchungen konnte belegt werden, dass der Mörtel in diesen Bereichen tatsächlich Schädigungen aufwies. Es empfiehlt sich allerdings während der Bauüberwachung bzw. Güteprüfung Proben des Frischmörtels zu nehmen und in Mörtelprismen abzufüllen, um für die Abnahmeprüfung und insbesondere für eine spätere Gewährleistungsabnahme mittels Ultraschall Referenzmessungen am Mörtelprisma durchführen zu können. Auch eine Referenzmessung an der frisch hergestellten Mörtelfuge ist möglich. Durch den Vergleich der Schalllaufzeit des Mörtelprismas mit der Schalllaufzeit der Mörtelfuge lässt sich dann z. B. feststellen, ob eine nachträgliche Schädigung durch äußere Einwirkungen eingetreten ist.

#### RÜCKPRALLVERFAHREN:

Die Vorgehensweise bei den Untersuchungen mit dem Rückprallverfahren, das bei einigen Schächten zum Einsatz kam, wird in diesem Bericht nicht erläutert, da kein Zusammenhang zwischen dem Rückprall und den Schädigungen im Mörtel hergestellt werden konnte. Der Rückprall wird möglicherweise zu stark von anderen an die Mörtelfuge angrenzenden Materialien beeinflusst (z.B. Schachtabdeckung, Ausgleichsring, Straßenunterbau). Zudem ist bei der Prüfung mit dem Rückprallhammer gemäß DIN 1048, Teil 2 [40] bzw. DIN EN 12504, Teil 2 [42] die Bauteilgeometrie von Bedeutung. Diese kann in der Regel jedoch bei eingebauten Mörteln vorher nicht bestimmt werden. Das Rückprallverfahren ist daher als Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel nicht zu empfehlen.

#### CHLORID-GEHALT:

Bei der Untersuchung von Bohrmehlproben des Schachtkopfmörtels wurde festgestellt, dass bei Schächten, in deren Bereich höhere Mengen Tausalz eingesetzt wurden, hohe Chlorid-Werte vorhanden sind. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Chloride durch die Einwirkung von Tausalzen (z. B. Natriumchlorid – NaCl) eingedrungen sind. Hohe Chlorid-Werte wurden

zudem bei einem Mörtel entdeckt, bei dem während der optischen Inspektion bereits starke Zersetzungserscheinungen festgestellt worden waren (*Tab. 8*).

Laut [6] können die im Mörtel enthaltenen Phasen des Zementklinkers Chloride bei der Hydratation binden. Die Chlorid-Ionen können jedoch, z.B. bei einer Carbonatisierung des Mörtels, aktiviert werden und Schädigungsprozesse im Zementstein hervorrufen. Ein dichtes Gefüge des Mörtels kann den Transport von Chlorid-Ionen reduzieren.

Seitens Mörtelhersteller und –anwender ist somit dafür zu sorgen, dass der Mörtel über ein ausreichend dichtes Gefüge verfügt, um mögliche Schädigungsprozesse durch eindringende Chlorid-Ionen zu vermeiden.

Aufgrund der gefundenen Chloride in den vor Ort entnommenen Proben erscheint es sinnvoll, im Rahmen einer Eignungsprüfung den Mörtel einer kombinierten Frost-Tausalz-Bewitterung (CDF-Verfahren [13]) zu unterziehen. Eine reine Bewitterung (Lagerung in Wasser) wird den Einbaubedingungen vor Ort nicht gerecht.

#### **SULFAT-GEHALT:**

Bei vielen der untersuchten Mörtel wurden nach der Analyse der Bohrmehlproben zum Teil stark erhöhte Sulfat-Werte festgestellt (*Tab. 9*). Es ist somit bei Misch- und Abwasser-schächten im Bereich des Schachtkopfes mit einer Sulfatbelastung zu rechnen, insbesondere bei unbelüfteten Schächten (Schachtabdeckung ohne Lüftungsöffnungen).

Da die untersuchten Referenzproben des Trockenmörtels hohe Sulfatkonzentrationen aufweisen, kann auch darauf zurückzuführen sein, dass die aus den Schächten entnommenen Proben vor dem Einbau einen höheren Sulfatgehalt hatten. Ein zu hoher Sulfatgehalt im Mörtel, zurückzuführen auf die Verwendung einer zu hohen Menge an Calciumsulfat bei der Mörtelherstellung, kann zu Ettringitbildung führen und Gefüge-schädigungen hervorrufen, die man auch als innere Schädigung bezeichnet [35]. Calciumsulfat wird dem Zementklinker zur Erstarrungsregelung zugegeben [35].

Eine mögliche Carbonatisierung des Mörtels, die durch das Einwirken von in der Luft enthaltenem Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  verursacht wird, führt gemäß [34] zu einer Erhöhung des Widerstandes gegen Sulfatangriff. Bei einer Carbonatisierung wird das im Beton bzw. Mörtel enthaltene Calciumhydroxid  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  mit Hilfe von Kohlendioxid in Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$  umgewandelt. Eine Carbonatisierung tritt bei allen Betonen und Mörteln auf, die der Atmosphäre ausgesetzt sind, und stellt lediglich für bewehrte Betone eine Gefahr dar, da es in diesem Fall zu einer Korrosion der Bewehrung kommen kann.

#### **ETTRINGIT UND THAUMASIT:**

In den stark sulfathaltigen Proben aus den inspizierten Schächten wurden nur geringe Mengen an Ettringit und Thaumasit festgestellt, die als nicht schädlich eingestuft werden können. Bei sämtlichen untersuchten Schächten waren jedoch Schachtabdeckungen mit Lüftungsöffnungen vorhanden (s. o.). Aufgrund der Sulfatbelastungen in den Misch- und Abwasserkanälen ist bei unbelüfteten Kanälen mit hoher Sicherheit davon auszugehen, dass ein biogener Schwefelsäureangriff stattfindet, bei dem die schädlichen Kristalle Ettringit und Thaumasit im Mörtel gebildet werden.

Es ist zu empfehlen, Schachtkopfmörtel im Rahmen einer Eignungsprüfung auf Sulfatbeständigkeit zu prüfen.

### **SCHACHTKLIMA:**

Die im Bereich des Schachtkopfes dauerhaft vorgefundene hohe Luftfeuchtigkeit von ca. 100% und der direkte Kontakt des Mörtels zum ablaufenden Wasser und gelöster Tausalze begünstigen einen Frost-Tausalz-Angriff. Da in den mit Messtechnik ausgestatteten Schächten Lufttemperaturen im Bereich der Mörtelfuge gemessen wurden, die gegenüber der Außentemperatur deutlich gepuffert ist, ist allerdings mit weniger Frosttagen und geringeren Tieftemperaturen im Winter zu rechnen. Die tatsächliche Anzahl der Frost-Tau-Wechsel in diesem Bereich wird demnach geringer sein, als die Anzahl der Frost-Tauwechsel im Außenbereich. Im Rahmen einer Eignungsprüfung für Schachtkopfmörtel sollte daher ein modifiziertes CDF-Prüfverfahren angewendet werden, bei dem ein verminderter Frostangriff Berücksichtigung findet.

### **DRUCKFESTIGKEIT:**

Die Untersuchung auf Druckfestigkeit macht deutlich, dass auf der Baustelle die von den Mörtelherstellern angegebene Endfestigkeit nicht immer erreicht wird. Dies ist im Wesentlichen auf einen unsachgemäßen Umgang bei der Verarbeitung des Mörtels zurückzuführen. Im Rahmen einer Eignungsprüfung ist zunächst die Druckfestigkeit von Schachtkopfmörtel zu ermitteln, um zu überprüfen, ob der Mörtel den Einbaubedingungen gerecht wird und ob die vom Mörtelhersteller angegebenen Festigkeiten erreicht werden. Mit Hilfe einer Güteprüfung wird auf der Baustelle der sachgemäße Umgang kontrolliert, in dem Mischvorgang und Verarbeitung des Mörtels mit den Arbeitsanweisungen der Mörtelhersteller abgeglichen werden. Durch die Entnahme von Frischmörtelproben während der Verarbeitung kann im Labor die Druckfestigkeit überprüft werden.

### **FROST-TAUSALZ-UNTERSUCHUNGEN**

Die Frost-Tausalz-Untersuchungen mit dem CDF-Test gemäß bestehender Prüfvorschrift (3%ige NaCl-Lösung, 28 Frost-Tau-Wechsel) an sowohl vor Ort entnommenen Proben als auch an im Labor hergestellten Proben zeigen, dass die Mörtel die Anforderungen des Straßen- und Wasserbaus hinsichtlich Witterungsverhalten größtenteils nicht erfüllen. Es wird deutlich, dass die bestehende Prüfvorschrift mit den vorhandenen Abnahmekriterien – auch vor dem Hintergrund der o.a. Ausführungen zum Schachtklima - für die Bewertung von Schachtkopfmörteln zu scharf ist. Im Rahmen einer Eignungsprüfung ist der Frost-Tausalz-Widerstand daher mit einem modifizierten CDF-Test, bei dem eine 1%ige NaCl-Lösung verwendet wird, zu untersuchen.

### **HAFTZUGPRÜFUNGEN**

Eine Prüfung an Verbundprobekörpern im Rahmen einer Eignungsprüfung scheint sinnvoll, um Anhaltswerte zum Vergleich einzelner Mörtelprodukte und Einsatzfälle zu erhalten. Aufgrund der hohen Streuung der Haftzugwerte sollten jedoch keine Grenzwerte formuliert werden.

## 4 Prozessanalyse der derzeitigen Einbaupraxis

### 4.1 Auswahl von Sanierungsverfahren

Um die derzeitige Einbaupraxis für Schachtkopfmörtel analysieren zu können, wurden 11 unterschiedliche, aktuelle Sanierungsmaßnahmen ausgewählt und begleitet (vgl. Tab. 18). Bei der Zusammenstellung von Sanierungsmaßnahmen wurden insbesondere Unterscheidungen vorgenommen hinsichtlich Sanierungsverfahren, Ausbauverfahren, Schachalter und Mörtelart (Vergussmörtel oder plastischer Mörtel). Zudem war bei der Auswahl auch von Interesse, von wem die Arbeiten durchgeführt werden. Hierbei wird unterschieden zwischen Personal des Netzbetreibers und Mitarbeitern von Fremdfirmen, die mit der Schachtsanierung beauftragt werden, da möglicherweise auch hier Qualitätsunterschiede in der Ausführung der Arbeiten zu erwarten waren.

<i>Sanierung Nr.</i>	<i>Sanierungsverfahren</i>	<i>Art des Ausbaus</i>	<i>ausführende Firma</i>	<i>Mörtel</i>
1	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung und des Auflagering</i>	<i>konventionell</i>	<i>Eigenleistung</i>	<i>Vergussmörtel</i>
2	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung und des Auflagering</i>	<i>konventionell</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>Vergussmörtel</i>
3	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung mit Hilfe des Stahlplattensystems</i>	<i>mittels Schachtrahmbohrmaschine</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>plastischer Mörtel; Ringraumverfüllung: Vergussmörtel</i>
4	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung und des Auflageringes</i>	<i>konventionell</i>	<i>Eigenleistung</i>	<i>plastischer Mörtel</i>
5	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung</i>	<i>konventionell – Einsatz einer Schachtrahmenschneidemaschine</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>Vergussmörtel</i>
6	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung und des Auflageringes</i>	<i>konventionell – Einsatz einer Schachtrahmenschneidemaschine</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>Vergussmörtel</i>
7	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung</i>	<i>Konventionell – Ausbau der SSU-Umpflasterung</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>Vergussmörtel</i>
8	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung</i>	<i>konventionell</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>Vergussmörtel</i>
9	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung und des Auflageringes</i>	<i>konventionell</i>	<i>Eigenleistung</i>	<i>plastischer Mörtel</i>
10	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der konischen Schachtabdeckung</i>	<i>mittels Fräse (konisch, Stehr-Fräse)</i>	<i>Fremdfirma</i>	<i>Vergussmörtel</i>
11	<i>Höhenregulierung mit Ausbau der Schachtabdeckung</i>	<i>konventionell</i>	<i>Eigenleistung</i>	<i>Vergussmörtel</i>

Tab. 18: Tabellarische Zusammenstellung der ausgewählten Sanierungsmaßnahmen

Des Weiteren wurde bei der Auswahl der Sanierungsverfahren zwischen plastischem Mörtel und Vergussmörtel unterschieden, da sich diese hinsichtlich ihrer Verarbeitung unterscheiden und demnach unterschiedliche Arbeitsschritte im Zuge der Sanierung erfordern. Außerdem war von Interesse, welche und wie viele Bauteile im Bereich des Schachtkopfes erneuert werden mussten, da dieses unter Umständen zu mehreren Arbeitsgängen bei der Verarbeitung des Mörtels führte.

Im Rahmen der Prozessanalyse der Einbaupraxis wurden Netzbetreiber und Anwender sowie Betriebspersonal bezüglich ihrer Erfahrungen mit der Sanierung von Schachtköpfen und der Anwendung von Mörteln interviewt.

## 4.2 Begleitung und Dokumentation der Sanierungsverfahren

In einem ersten Schritt wurde die Lage des zu sanierenden Schachtes erfasst und die vom Anwender bzw. Betriebspersonal durchgeführte Verkehrssicherung dokumentiert. In Abhängigkeit der jeweiligen Verkehrssituation war eine mehr oder weniger aufwendige Verkehrssicherung erforderlich. So wurden beispielsweise für eine Absicherung einer Baustelle in einem Wohngebiet lediglich ein Baustellenfahrzeug und Leitkegel verwendet (Abb. 102). Für die Absicherung einer Nachtbaustelle auf einer viel befahrenen Hauptverkehrsstraße wurden hingegen eine Leuchttafel mit Beschilderung und mehrere Leitkegel verwendet (Abb. 103). Eine den Vorschriften gemäß [43] entsprechende Beschilderung der Baustelle (Abb. 104) wurde jedoch nicht bei allen Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. Aus Gründen der Arbeitssicherheit ist eine entsprechende Absicherung der Baustelle und ein ausreichender Sicherheitsabstand zwischen dem Arbeitsraum und dem vorbeifahrenden Verkehr erforderlich.



Abb. 102: Absicherung einer Baustelle in einer 30er-Zone eines Wohngebiet



Abb. 103: Absicherung einer Nachtbaustelle auf einer Hauptverkehrsstraße (4-spurig)



Abb. 104: Aufstellen der Beschilderung auf einer Hauptverkehrsstraße (innerorts)

In einem weiteren Schritt wurden allgemeine Angaben wie Datum, Uhrzeit, Schachtnummer laut Kanalkataster und eine Lagebeschreibung schriftlich festgehalten. Zudem wurden Angaben wie ausführende Firma, Anzahl der Mitarbeiter und vorhandene bzw. einzusetzende Gerätschaften protokolliert.

Danach erfolgte eine detaillierte Dokumentation der Freilegung und des Ausbaus der Schachtabdeckung und gegebenenfalls des Ausbaus von Schachtausgleichsringen. Hierbei war insbesondere von Interesse, ob sämtliche geschädigte Bauteile im Bereich des Schachtkopfes und geschädigter Straßenoberbau im Umfeld der Schachtabdeckung entfernt wurden. Nur bei einer kompletten Erneuerung schadhafter Bauteile kann die Dauerhaftigkeit der Mörtelfuge und des Systems Schachtkopf gewährleistet werden.

In einem weiteren Schritt wurde nun der Mischvorgang und die Verarbeitung des Mörtels auf der Baustelle detailliert dokumentiert. Hierbei wurde insbesondere überprüft, ob die Vorgaben und Empfehlungen des Mörtelherstellers in den Verarbeitungshinweisen eingehalten werden. Zudem wurden hierbei die lokalen Randbedingungen erfasst, da diese die Qualität des Mörtels stark beeinflussen können. So können beispielsweise niedrige Außentemperaturen den Erhärtungsprozess des Mörtels verzögern; hohe Außen-temperaturen führen in der Regel hingegen zu einer Beschleunigung des Erhärtungsprozesses. Die klimatischen Randbedingungen wie Außentemperatur und relative Luft-feuchte wurden auf der Baustelle mit Hilfe einer mobilen Wetterstation erfasst. Da die vom Hersteller vorgeschriebene Verwendung bestimmter Mischwerkzeuge, die Einhaltung des Mischungsverhältnisses Trockenmörtel zu Anmachwasser sowie die Einhaltung von Misch- und Verarbeitungszeit für die Mörtelqualität von großer Bedeutung sind, wurden diese Angaben vor Ort überprüft und protokolliert.

Nachdem die neuen Bauteile (Auflagerringe, Schachtabdeckungen, etc.) im Bereich des Schachtkopfes ausgerichtet worden waren, konnte mit dem Mischen und Verarbeiten des Mörtels begonnen werden. Bei der Anwendung des Mörtels konnten drei wesentliche Arbeitsschritte identifiziert werden, die im Rahmen der Prozessanalyse detailliert überprüft und dokumentiert wurden:

1. Arbeitsschritt: Arbeitsvorbereitung (Abb. 105)

- *Untergrundvorbereitung (Säubern, Vornässen, etc.)*
- *Abschätzung bzw. Ermittlung der benötigten Menge an Mörtel*
- *Wiegen, Abmessen und Bereitstellen der für das Mischungsverhältnis erforderliche Mengen an Trockenmörtel und Anmachwasser*

2. Arbeitsschritt: Mischvorgang (Abb. 106)

- *Mischen von Trockenmörtel und Anmachwasser mit dem vom Hersteller empfohlenen Mischwerkzeug (Quirl, Kelle, etc.) unter Einhaltung der vorgegebenen Mischzeit*

3. Arbeitsschritt: Verarbeitung / Nachbehandlung (Abb. 107)

- *zügige Verarbeitung des Mörtels unter Berücksichtigung der vorgegebenen Verarbeitungszeit*
- *ggf. Entfernen von Schalungselementen nach Erhärtung des Mörtels*
- *ggf. Nachbehandlung (Schutz der Oberflächen durch Folie etc.)*



Abb. 105: 1. Arbeitsschritt:  
Arbeitsvorbereitung



Abb. 106: 2. Arbeitsschritt:  
Mischvorgang



Abb. 107: 3. Arbeitsschritt:  
Verarbeitung

Im Anschluss an die Dokumentation der Verarbeitung des Mörtels wurden nachfolgende Arbeitsschritte, wie beispielsweise das Verfüllen des Ringraumes im Umfeld der Schachtabdeckung und das Aufbringen bituminöser Tragschichten protokolliert. Hierbei wurde insbe-

sondere festgehalten, ob der Schachtkopf beispielsweise frühzeitigen Belastungen bzw. Erschütterungen infolge der Nacharbeiten ausgesetzt ist.

### 4.3 Beobachtungen

#### *LAGERUNG / TRANSPORT*

Nach den Vorgaben der Mörtelhersteller ist der Mörtel trocken, ungeöffnet und bei bestimmten Temperaturen zu lagern. Die Lagerungsdauer wird je nach Hersteller mit 6 bis 12 Monaten angegeben. Herstellungsdatum und die Chargennummer sind auf den Verpackungen zu erkennen.

Im Rahmen der Prozessanalyse wurde beobachtet, dass häufig zuerst angebrochene Verpackungen des Schachtkopfmörtels aufgebraucht wurden, bevor neue Verpackungen geöffnet wurden. Dies erscheint jedoch vor allem dann problematisch, wenn die geöffneten Verpackungen bereits über einen längeren Zeitraum gelagert wurden, da in diesen Fällen die Eigenschaften des Mörtels durch die Luftfeuchtigkeit beeinträchtigt werden können. Eine Überschreitung der vom Mörtelhersteller angegebenen Lagerungsdauer ungeöffneter Verpackungen wurde jedoch nicht beobachtet.

#### *UNTERGRUNDVORBEREITUNG*

Um einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Mörtel und dem Untergrund (i. d. R. Beton, Mauerwerk) zu gewährleisten, ist laut Mörtelhersteller eine entsprechende Untergrundvorbereitung durchzuführen. Dieses bedeutet u. a. die Beseitigung von fehlerhaftem Beton, defekten Ausgleichsringen, Öl, Schmutz, Staub und anderen losen Bestandteilen. Es ist zu empfehlen, den Untergrund mit Hilfe von Druckluft oder mittels Hochdruck-Reiniger zu säubern. Eine Reinigung mit Handfeger oder gar Handschuhen erscheint unzureichend. Dennoch wurde bei vielen der begleiteten Sanierungsmaßnahmen der Untergrund lediglich mit Handfegern oder Handschuhen gereinigt. Stehendes Wasser ist bei der Untergrundvorbereitung zu entfernen, um eine Verschlechterung der Mörtel Eigenschaften in diesem Bereich zu vermeiden.

Eine Vornässung des Untergrundes sollte gemäß Angaben einiger Mörtelhersteller durchgeführt werden, um zu vermeiden, dass dem Mörtel Anmachwasser entzogen wird. Es wird empfohlen den Untergrund bis zur Sättigung vorzuwässern. Ein Mörtelhersteller schreibt sogar eine 6-stündige Vornässung des Untergrundes vor, um eine Sättigung zu erzielen. Dies scheint jedoch aufgrund höherer Kosten und einer längeren Beeinträchtigung des Verkehrs in der Praxis kaum durchführbar.

Bei einigen der begleiteten Sanierungsmaßnahmen wurde durch den Anwender auf eine Vornässung des Untergrundes verzichtet.

#### *AUSRICHTEN DER SCHACHTABDECKUNG*

Beim Ausrichten des Schachtrahmens sollte in der Regel mit einem Niveaualter gearbeitet werden, damit der Rahmen vollflächig und tragfähig auf dem Mörtel liegt. In vielen Fällen

wurde jedoch beobachtet, dass der Schachtrahmen unsachgemäß mit Bruchstücken des Ausbruchsmaterials oder Klinkersteinen unterfüttert wird (Abb. 108), um eine Niveauerhöhung zu erreichen. Da in diesen Fällen eine vollflächige Unterfütterung des Schachtrahmens mit Mörtel nicht möglich ist, kann die Tragfähigkeit beeinträchtigt werden. In [44] wird festgestellt, dass beim Mauerwerksbau durch unvollständig vermörtelte Lagerfugen Spannungsspitzen entstehen. Abbildung 109 zeigt beispielhaft die Spannungsverteilung bzw. den Verlauf der Druck- und Zugtrajektorien bei einer nicht vollflächigen Ausführung der Lagerfuge, die zu Schäden infolge von Spannungen infolge von Biegung.



Abb. 108: unsachgemäße Unterfütterung einer Schachtabdeckung

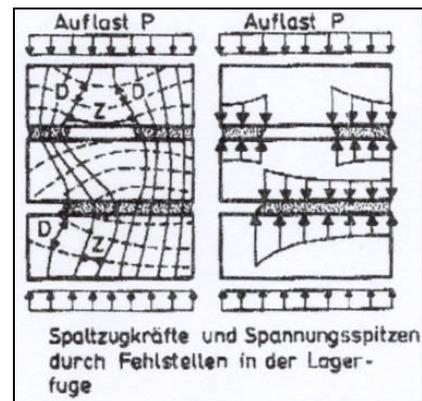


Abb. 109: Spannungsverteilung im Wandquerschnitt [44]

Die Verwendung von Werkstoffen mit unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften (z.B. Elastizitätsmodul, Schwind-, Quell- und Kriechneigung) in der Mörtelfuge kann ebenfalls zu derartigen Spannungsspitzen führen. Insbesondere die im Rahmen vieler Sanierungsmaßnahmen verwendeten Bruchstücke des Ausbruchsmaterials weisen im Vergleich zum eingebrachten Frischmörtel starke Unterschiede bezüglich des Quell- und Schwindverhalten auf. Das Quell- und Schwindverhalten von Klinkersteinen kann als vernachlässigbar angesehen werden.

### ANMACHEN / MISCHEN

Beim Mischen bzw. Verarbeiten des Mörtels sind neben den örtlichen klimatischen Randbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte) auch Mischungsverhältnis, Mischdauer und die Art des verwendeten Mischwerkzeuges für die Qualität des Mörtels von großer Bedeutung. In Tabelle 19 sind die vor Ort ermittelten Außentemperaturen und relativen Luftfeuchten sowie die verwendeten Mischwerkzeuge festgehalten.

Bei vielen der begleiteten Sanierungsmaßnahmen wurden die Mengen an Wasser und Mörtel, die für das vom Hersteller angegebene Mischungsverhältnis benötigt werden, nur per „Augenmaß“ ermittelt. Eine detaillierte Mengenermittlung mittels Messgefäß oder Waage, um das vom Hersteller vorgegebene Mischungsverhältnis einhalten zu können, wurde in vielen Fällen nicht durchgeführt.

Bei Vergussmörtel sind Trockenmörtel und Wasser laut Herstellerangaben mittels Mörtelmischer, Zwangsmischer oder Quirl zu mischen. Bei einigen Herstellern wird darauf verwiesen, ein langsam laufendes Rührgerät zu verwenden (300 bis 400 U/min) und die vorgegebene

Mischzeit einzuhalten, um eine homogene und fließfähige Konsistenz zu gewährleisten. In einem Fall (Tab. 19) wurde jedoch von der ausführenden Firma für die Herstellung der Mischung lediglich eine Kelle benutzt, obwohl vom Mörtelhersteller die Verwendung eines elektrischen Rührgerätes ausdrücklich empfohlen wurde. Bei der anschließenden Verarbeitung des Mörtels war eine deutliche Erstarrungsverzögerung (>30 min) zu beobachten. Dies ist möglicherweise auch auf diesen unsachgemäßen Umgang beim Mischen zurückzuführen.

Sanierung Nr.	Mörtel	verwendetes Mischwerkzeug	Außentemperatur	relative Luftfeuchte
1	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	18 °C	86 %
2	Vergussmörtel	Kelle	10 °C	83 %
3	plastischer Mörtel; Ringraumverfüllung; Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	10 °C	83 %
4	plastischer Mörtel	elektrisch betriebener Handrührer	15 °C	71 %
5	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	11 °C	77 %
6	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	10°C	83 %
7	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	16 °C	67 %
8	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	24 °C	69 %
9	plastischer Mörtel	elektrisch betriebener Handrührer	20°C	75 %
10	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	21 °C	75 %
11	Vergussmörtel	elektrisch betriebener Handrührer	23 °C	68 %

Tab. 19: Tabellarische Zusammenstellung der Randbedingungen beim Anrühren des Mörtels

Um die vom Mörtelhersteller vorgegebenen Mischzeit einhalten zu können, ist die Verwendung von Hilfsmitteln (Uhr, Stoppuhr o. ä.) erforderlich. Obwohl diese Hilfsmittel bei den begleiteten Sanierungsmaßnahmen nicht verwendet wurden, wurde die Mischzeit in der Regel weitgehend eingehalten. Dies ist möglicherweise auf die Erfahrung der Anwender im Umgang mit den Mörteln zurückzuführen.

Da der unsachgemäße Umgang mit Mörteln zu Festigkeitsverlusten führen kann, wurden bei insgesamt sechs der begleiteten Baumaßnahmen Proben des vom Baustellenpersonal hergestellten Frischmörtels entnommen. Der Frischmörtel wurde dabei in Prismenformen aus Stahl mit den Abmessungen 40 x 40 x 160 mm gefüllt und anschließend für Druckfestigkeitsuntersuchungen ins Labor transportiert. Die Lagerung bzw. Erhärtung der Baustellenproben erfolgte unter Laborbedingungen (Normklima: 20° C, 65 % relative Luftfeuchte). Anschließend wurden die im Labor ermittelten Druckfestigkeiten der Baustellenproben mit den jeweiligen vom Mörtelhersteller angegebenen Druckfestigkeiten verglichen. Abbildung 110 macht deutlich, dass fünf der insgesamt sechs auf der Baustelle entnommenen Mörtel die vom Hersteller angegebene 28d-Druckfestigkeit nicht erreicht wird. Die Druckfestigkeit der Baustellenprobe Nr. V liegt sogar um mehr als 30 % unter der vom Hersteller angegebenen Druckfestigkeit. Lediglich bei einer der untersuchten Baustellenproben (Probe VII) wurde eine höhere Druckfestigkeit festgestellt als vom Hersteller angegeben.

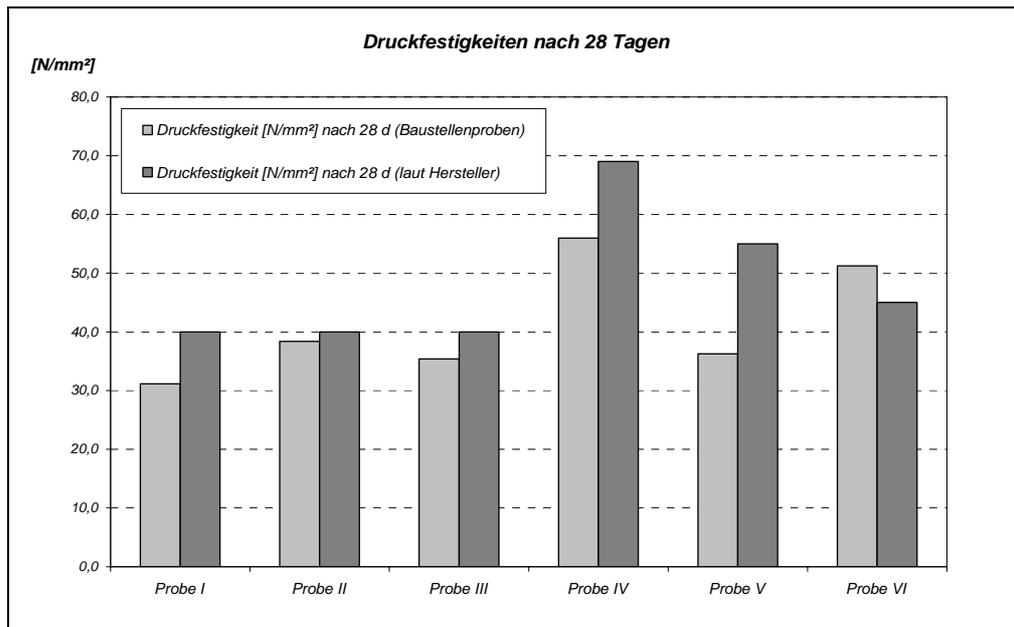


Abb. 110: Druckfestigkeiten (28d)

## VERARBEITUNG

Für eine Sanierungsmaßnahme wird in der Regel immer relativ viel Vergussmörtel benötigt, da sich der Mörtel auch in nicht sichtbaren Hohlräumen verteilt. Da Schachtkopfmörtel in der Regel eine sehr kurze Verarbeitungszeit hat, sollte jedoch nur die Menge an Material angebracht werden, die innerhalb dieser Zeit verarbeitet werden kann. In der Regel ist es sehr schwierig abzuschätzen, wie viel Material für die jeweilige Schachtsanierung benötigt wird. Um dem Anwender das Ermitteln benötigter Mengen an Mörtel zu erleichtern, wird beispielsweise in [45] für Schachtrahmenregulierungen mit „Ergelit“-Mörteln die für das Mischungsverhältnis benötigte Menge an Mörtel und Wasser in Abhängigkeit des vorhandenen Spaltmaßes unterhalb der Schachtabdeckung angegeben.

Von vielen Mörtelherstellern wird darauf hingewiesen, dass eine Verarbeitung in zwei Arbeitsgängen (Chargen) unzulässig ist, da hierdurch die kraftschlüssige Lastübertragung beeinträchtigt werden kann. Dies ist jedoch in der Baupraxis häufig dann ein Problem, wenn für eine Sanierungsmaßnahme relativ viel Mörtel benötigt wird. In diesen Fällen wird der Mörtel häufig in zwei oder mehr Arbeitsgängen verarbeitet, da die benötigte Menge nicht bei einem Mischvorgang angerührt werden kann.

Bei der Verarbeitung des Mörtels ist zu berücksichtigen, dass sich bei höheren Außentemperaturen die Verarbeitungszeiten verkürzen, da die Erstarrung beschleunigt wird. Niedrigere Temperaturen hingegen verzögern die Erstarrung. Um diesem Problem zu entgehen, wird z.B. von der Münchner Stadtentwässerung in den Sommermonaten ein Mörtel verwendet, der etwas langsamer erhärtet als der Mörtel, der in den Wintermonaten eingesetzt wird. Von einigen Mörtelherstellern wie z. B. Firma VBT [46] werden in Abhängigkeit der Außentemperaturen unterschiedliche Mischungsverhältnisse empfohlen.

Aufgrund der hohen Schwind- und Quellverformungen von Schachtkopfmörteln, die bereits in [4] festgestellt wurden, erscheint der Einsatz größerer Mengen an Mörtel zur Herstellung

dickerer Bauteile problematisch. Der beschleunigte Erhärtungsprozess von Schachtkopfmörtel ist in der Regel mit einer erhöhten Wärmeentwicklung im Mörtelgefüge verbunden. Gemäß [47] entstehen durch das Temperaturgefälle zwischen dem erwärmten Beton und der Umgebung Zugspannungen, die bei Überschreitung der Zugfestigkeit zu Rissbildungen führen können. Es ist davon auszugehen, dass dieser Prozess durch niedrige Umgebungstemperaturen noch verstärkt wird. Auch Schwind- und Quellverformungen können diesen Prozess möglicherweise noch verstärken. Bei der Prozessanalyse der derzeitigen Einbaupraxis in situ wurde festgestellt, dass seitens der Anwender für das Unterfüllen von Schachtabdeckungen und insbesondere für das Verfüllen dahinter liegender Bereiche im Umfeld der Schachtabdeckung zum Teil große Mengen Mörtel verwendet werden. Bei der Verwendung großer Mengen wurde zum Teil Rissbildung unmittelbar nach Einbringen des Mörtels beobachtet (Abb. 111, 112). Laut [38] können insbesondere bei dickeren Bauteilen während der Hydratation Risse entstehen, da hier der Wärmeabfluss behindert ist. Es ist zu befürchten, dass sich mit zunehmenden Verarbeitungsmengen die Wärmeentwicklung im Mörtelgefüge entsprechend erhöht und so die Gefahr der Rissbildung weiter verstärkt wird.



Abb. 111: Rissbildung unmittelbar nach Verguss



Abb. 112: Rissbildung (Detail)

### NACHBEHANDLUNG

Um die freiliegende Oberfläche des eingebrachten Mörtels vor zu schnellem Austrocknen zu schützen, wird von den Mörtelherstellern in der Regel eine Nachbehandlung vorgeschrieben. Die Oberfläche ist laut Hersteller mit einer Folie (Verdunstungsschutz) zu schützen. Feuchter Sand, der mittels Hand auf die Oberfläche aufgebracht wird, oder aber die Verwendung von Nachbehandlungsmitteln werden von einigen Mörtelherstellern als Schutz gegen Verdunstung empfohlen. Trotz der Vorgaben seitens der Mörtelhersteller wurde bei keiner der begleiteten Sanierungsmaßnahmen eine Nachbehandlung durchgeführt, da solche Maßnahmen laut Anwender aufgrund der kurzfristigen Wiederinbetriebnahme auch nur unvollständig umsetzbar gewesen wären.

### VERKEHRSFREIGABE

In den meisten Fällen wurde das System unmittelbar nach Entfernen der Schlauchschalung durch das Einsetzen der Schachtabdeckung oder aber durch die Nacharbeiten am Asphalt (z.B. den Einsatz einer Walze) mit Erschütterungen belastet. Von den Mörtelherstellern wird jedoch angegeben, dass der Mörtel frühestens erst nach 30 bis 60 min belastet werden darf.

#### 4.4 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der Prozessanalyse der Einbaupraxis wurde deutlich, dass die Erhärtungsgeschwindigkeit des Mörtels stark von den Außentemperaturen abhängig ist. Bei niedrigen Temperaturen tritt eine Erstarrungsverzögerung auf; hohe Temperaturen bewirken eine Beschleunigung der Erstarrung. Da der Mörtel in der Regel schon nach kurzer Zeit belastet wird, sollte im Rahmen einer Eignungsprüfung der Verlauf der Druckfestigkeit innerhalb der ersten Stunden nach Verarbeitung bei unterschiedlichen Temperaturen ermittelt werden. Da seitens vieler Mörtelhersteller Anwendungstemperaturen von 5°C bis 30°C angegeben werden, bietet es sich an den Erhärtungsverlauf bei 5°C, 10°C, 20°C und 30°C zu ermitteln.

Da es sich bei Schachtkopfmörtel um einen schnell erhärtenden Mörtel handelt, sollten bei einer Eignungsprüfung die Festigkeiten nach (30 min), 1 h und 2 h ermittelt werden. Durch einen Abgleich der ermittelten Druckfestigkeiten mit der für eine Verkehrsfreigabe erforderlichen Druckfestigkeit wird die Zeit ermittelt, bei welcher der Mörtel frühestens belastet werden kann.

Von vielen Mörtelherstellern wird eine Nachbehandlung des eingebrachten Mörtels verlangt. Die Oberfläche ist laut Hersteller mit einer Folie (Verdunstungsschutz) zu schützen. Feuchter Sand, der mittels Hand auf die Oberfläche aufgebracht wird, oder aber die Verwendung von Nachbehandlungsmitteln werden von einigen Mörtelherstellern als Schutz gegen Verdunstung empfohlen. Trotz der Vorgaben seitens der Mörtelhersteller wurde bei keiner der begleiteten Sanierungsmaßnahmen eine Nachbehandlung durchgeführt, da diese dem Anwender vor Ort zu aufwendig erscheint. Die Flächen wurden vor Ort lediglich durch die neu eingesetzte Schachtabdeckung geschützt. Zudem ist eine längere Nachbehandlungsphase bei kurzfristiger Verkehrsfreigabe nicht umsetzbar. Eine Wasserlagerung von Mörtelprismen gemäß [48] im Rahmen einer Eignungsprüfung stellt eine Erhärtung mit Nachbehandlung dar. Um eine Erhärtung ohne Nachbehandlung abzubilden, sollte eine Eignungsprüfung zusätzlich auch eine Lagerung der Mörtelprismen im Normalklima nach DIN 50014-23/50-2 [49] beinhalten, da diese Form der Lagerung stärker dem Praxiseinsatz entspricht.

Um die Qualität der Sanierungsmaßnahme vor Ort zu gewährleisten, ist seitens der Netzbetreiber im Rahmen einer Güteprüfung eine detaillierte Überwachung der Sanierungsarbeiten erforderlich. Nur durch eine Überprüfung folgender Arbeitsschritte wird gewährleistet, dass sich die Anwender an die Vorgaben der Mörtelhersteller halten:

- *Ausbau der defekten Bauteile (z.B. Schachtabdeckung, Mörtelfugen, Ausgleichsringe)*
- *Untergrundvorbereitung*
- *Anmachen / Mischen des Mörtels*
- *Verarbeitung des Mörtels*
- *Einbau neuer Bauteile (Schachtabdeckung, Ausgleichsringe)*
- *Nachbehandlung*
- *Freigabe der Schachtabdeckung*

Um Verarbeitungsfehler zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass die Vorgaben der Mörtelhersteller beim Mischvorgang und bei der Verarbeitung des Frischmörtels genauestens ein-

gehalten werden. Bei der Prozessanalyse der Einbaupraxis wurde deutlich, dass bei unsachgemäßer Verarbeitung, wie z.B.

- *Nicht-Einhaltung des Mischungsverhältnisses,*
- *Unterschreitung oder Überschreitung der Mischzeit,*
- *Verwendung andere Werkzeuge,*
- *Überschreitung der Verarbeitungszeit,*

die Qualität des Mörtels gefährdet wird.

Auch durch eine Prüfung der Frischmörteleigenschaften und durch eine Entnahme von Frischmörtelproben für Festigkeitsuntersuchungen kann überprüft werden, ob die geforderten Eigenschaften des Mörtels erreicht werden.

Im Rahmen einer Eignungsprüfung ist zudem eine Untersuchung auf Quellen und Schwinden durchzuführen. Hierbei sollten bereits unmittelbar nach Erhärtung des Mörtels (1h bzw. 2h) Quell- und Schwindmessungen durchgeführt werden, da bereits in [4] festgestellt wurde, dass bei schnell erhärtenden Mörteln die größte Volumenverringerng innerhalb der ersten 24 h erfolgt. Die DIN 52450 [50] sieht lediglich Quell- und Schwindmessungen nach 24 h vor. Auch die im Rahmen der Prozessanalyse beobachtete Rissbildung unmittelbar nach Verguss des Mörtels ist möglicherweise auf Schwind- und Quellverformungen zurückzuführen.

## 5 Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel

Das entwickelte Prüfkonzept für die Prüfung von Schachtkopfmörteln besteht aus einer Eignungs-, Güte- und Abnahmeprüfung. Es dient dazu den Netzbetreibern sichere Informationen über Eignung und Einsatzmöglichkeiten von Mörteln zur Sanierung von Schachtabdeckungen zu liefern. Hierbei werden insbesondere die im Rahmen der Feststellung des Ist-Zustandes und der Prozessanalyse der Einbaupraxis ermittelten Anforderungen berücksichtigt.

### 5.1 Eignungsprüfung

Bei einer Eignungsprüfung wird der Mörtel hinsichtlich seiner Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck geprüft. Es wird überprüft, ob die Anforderungen an die Eigenschaften des Schachtkopfmörtels eingehalten werden. Das Prüfkonzept für eine Eignungsprüfung sieht eine Unterteilung der Eignungsprüfungen in drei Prüfabschnitte vor. Zuerst erfolgt eine Prüfung der Frischmörteleigenschaften im Labor. Nach einer Laborprüfung der Festmörteleigenschaften erfolgt eine Prüfung des Mörtels hinsichtlich seiner Praxistauglichkeit. Dabei wird der Mörtel unter Baustellenbedingungen angerührt und zur Sanierung einer Schachtabdeckung verwendet.

#### 5.1.1 Prüfung der Frischmörteleigenschaften

Die Prüfung der Frischmörteleigenschaften erfolgt im Labor und orientiert sich in der Regel an bestehenden Prüfvorschriften für Mörtel und Vergussmörtel. Die Frischmörteleigenschaften sind insbesondere von großer Bedeutung, da Schachtkopfmörtel in der Regel eine sehr kurze Verarbeitungszeit aufweisen. Eine Prüfung der Frischmörteleigenschaften dient im Wesentlichen dazu, die Verarbeitbarkeit des Mörtels zu überprüfen.

#### *MISCHEN DES MÖRTELS*

Der Mörtel sollte unter Beachtung der Arbeitsanweisung des Mörtelherstellers angerührt werden, da die Eigenschaften des Mörtels ansonsten deutlich von den geforderten Qualitäten abweichen können. So ist zum Beispiel auf das vom Hersteller angegebene Mischungsverhältnis Trockenmörtel zu Wasser und die angegebene Mischdauer zu achten. Zudem sind die vom Hersteller empfohlenen Mischwerkzeuge zu verwenden. Für den Einsatz von elektrischen Rührwerkzeugen empfehlen einige Hersteller darüber hinaus minimale bzw. maximal zulässige Drehzahlen. Gemäß [4] sind die Prüfungen am Frischmörtel mit dem laut Hersteller minimal bzw. maximal zulässigen Flüssigkeits-zugabemengen durchzuführen.

Im Rahmen einer Eignungsprüfung ist somit die Arbeitsanweisung des Mörtelherstellers vorzuhalten. Diese befindet sich in der Regel auf der Rückseite der Verpackung des Trockenmörtels. Sind keine oder nur unzureichende Angaben auf der Verpackung vorhanden, so ist die Arbeitsanweisung beim Hersteller anzufordern.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden im Labor beispielhaft vier gängige Trockenmörtel untersucht, die bei der Schachtsanierung eingesetzt werden. Hierbei handelt es

sich um drei Vergussmörtel und einen plastischen Mörtel. Im Folgenden werden die Mörtel mit den Kennbuchstaben A, B, C und D bezeichnet:

- **Mörtel A:** Plastischer Mörtel; kunststoffvergütet; Färbung nach dem Erstarren: gräulich; Kornzusammensetzung: Sandanteile im unteren Bereich mit einem Größtkorn kleiner 1mm
- **Mörtel B:** Vergussmörtel; Färbung nach dem Erstarren: sandfarben; Kornzusammensetzung: Sandanteile im unteren Bereich mit einem Größtkorn kleiner 1 mm
- **Mörtel C:** Vergussmörtel; Färbung nach dem Erstarren: hell sandfarben; Kornzusammensetzung: Sandanteile im unteren Bereich mit einem Größtkorn kleiner 1mm
- **Mörtel D:** Vergussmörtel; Färbung nach dem Erstarren: gräulich; Kornzusammensetzung: Sandanteile mit einem Größtkorn bis 4 mm

Die Mörtel wurden mit dem vom Hersteller vorgegebenen Wasser/Feststoff-Verhältnis und entsprechender Mischdauer mit einem Zwangsmischer (DIN EN 196 - Teil 1 [51]) hergestellt.

### KONSISTENZ

Die Konsistenz von Schachtkopfmörtel ist anhand des Ausbreitmaßes nach DIN 18555, Teil 2, Abschnitt 3 [52] zu bestimmen. Das Ausbreitmaß wird mit dem Ausbreittisch nach DIN 1060, Teil 3 [53] mit Setztrichter und Stampfer bestimmt. Bei der Verwendung von Vergussmörtel sollte dieser Versuch jedoch ohne Hubschläge durchgeführt werden, da sonst eine Bestimmung der Konsistenz nicht möglich ist. Die Bestimmung des Ausbreitmaßes mittels Ausbreittisch erfolgt hier in Anlehnung an das DBV-Merkblatt [54]. Das Ausbreitmaß für Vergussmörtel soll lediglich Anhaltswerte für eine Baustellenprüfung liefern, die im Rahmen der Güteprüfung durchzuführen ist (Kapitel 5.2.3).

Bei den vier beispielhaft untersuchten Mörteln wurde jeweils folgendes Ausbreitmaß ermittelt (Tab. 20):

	Ausbreitmaß [cm]
Mörtel A	14,0
Mörtel B*	26,5
Mörtel C*	25,5
Mörtel D*	23,5

\*in Anlehnung an das DBV-Merkblatt

Tab. 20: Ausbreitmaß der beispielhaft untersuchten Frischmörtel



Abb. 113: Ermittlung des Ausbreitmaßes bei einem plastischem Mörtel (Mörtel A)



Abb. 114: Ermittlung des Ausbreitmaßes bei einem Vergussmörtel (Mörtel C)

Die Überprüfung des Vergussmörtels auf Verarbeitbarkeit ist zudem mit Hilfe einer Fließrinne (Abb. 115) in Anlehnung an das DBV-Merkblatt [54] durchzuführen. Gemäß [5] sollte das ermittelte Fließmaß  $\geq 550$  mm betragen. Da es sich bei Schachtkopfmörtel um einen schnell erhärtenden Mörtel handelt, der in der Regel sehr kurze Verarbeitungszeiten aufweist, sollte

der Mörtel zur Bestimmung des Fließmaßes unmittelbar nach dem Anmachen in den Trichter der Fließwanne gefüllt werden. Das Fließmaß kann aufgrund der schnellen Erstarrung in der Regel nur nach 5 min ermittelt werden, nicht jedoch nach 30 min.

In Tabelle 21 ist das Fließmaß der drei exemplarisch untersuchten Vergussmörtel dargestellt.

	Maß der Verarbeitbarkeit nach 5 min [cm]
Mörtel B*	> 85,0
Mörtel C*	84,0
Mörtel D*	77,0

\*in Anlehnung an das DBV-Merkblatt

Tab. 21: Fließmaß der beispielhaft untersuchten Vergussmörtel nach 5 min



Abb. 115: Ermittlung des Fließmaßes mittels Fließrinne (Mörtel B)

### ROHDICHTE UND LUFTGEHALT

Die Bestimmung von Rohdichte und Luftgehalt erfolgt in Anlehnung an DIN 18 555, Teil 2 [52]. Bei der Verdichtung des plastischen Mörtels sollte laut [48] das Vibrationsverfahren angewendet werden. Bei Vergussmörtel ist auf eine Verdichtung zu verzichten. Die Rohdichte errechnet sich aus der Masse des Frischmörtels durch das Volumen, das der Mörtel nach der Verdichtung einnimmt. Das im Frischmörtel vorhandene Luftvolumen wird als Luftgehalt des Frischmörtels definiert.

### ERSTARRUNGSVERHALTEN

Das Erstarrungsverhalten von Schachtkopfmörtel wird mit dem Vicat-Nadelgerät in Anlehnung an die DIN EN 196, Teil 3 [55] bestimmt.

	Beginn [min]	Ende [min]	Skalenwert [mm]
Mörtel A	13,0	16,0	5
Mörtel B	14,0	15,5	9
Mörtel C	43,0	44,0	9
Mörtel D	10,0	11,0	9

Tab. 22: Erstarrungszeiten untersuchter Frischmörtelproben

Aufgrund der hohen Anfangsfestigkeit liegen Erstarrungsbeginn und Erstarrungsende dicht beieinander. Tabelle 22 zeigt beispielhaft die Erstarrungszeiten von vier untersuchten Schachtkopfmörteln.

### ENTMISCHEN

Bei der Herstellung von Mörtelprismen ist der Frischmörtel auf Entmischungen (Bluten, Absondern von Zuschlag) zu beurteilen.

Bei den vier beispielhaft untersuchten Mörtelproben wurden im Rahmen der optischen Beurteilung auf Entmischungserscheinungen folgende Beobachtungen gemacht:

- *Mörtel A: keine Entmischungserscheinungen, kein Anzeichen von Bluten*
- *Mörtel B: keine Entmischungserscheinungen, kein Anzeichen von Bluten*
- *Mörtel C: keine Entmischungserscheinungen, kein Anzeichen von Bluten*
- *Mörtel D: Der Mörtel wies eine erhöhte Entmischung und starkes Bluten auf. Dazu fand eine auffällige Absonderung von Farbpigmenten statt. Schwere Bestandteile setzten sich nach dem Mischvorgang am Boden ab.*

#### **ANFORDERUNGEN AN DIE FRISCHMÖRTELEIGENSCHAFTEN**

Laut [5] werden folgende Mindestanforderungen an die Frischmörteleigenschaften von Schachtkopfmörteln festgelegt:

Mindestanforderungen an die Frischmörtel	Schachtkopfmörtel	
	steif-plastisch	flüssig
Ausbreitmaß [cm], DIN 18 555	10-20	> 30 ohne schocken
Fließmaß / Marshzeit (DIN EN 13395-2/ NF P18-507)	-	Fließmaß > 550 mm
Verarbeitungszeit [min] bei 20°C	> 15	> 5

Tab. 23: Mindestanforderungen an die Frischmörteleigenschaften für Schachtkopfmörtel [5]

Bei der Betrachtung der Mindestanforderungen wird deutlich, dass das geforderte Ausbreitmaß von 30 cm für die beispielhaft untersuchten Schachtvergussmörtel nicht erreicht wird. Da das Ausbreitmaß laut [54] nur zu ermitteln ist, um Vergleichswerte für Kontrollprüfungen im Rahmen von Baustellenuntersuchungen vorzugeben, kann gegebenenfalls auf die Ermittlung des Ausbreitmaßes für Vergussmörtel verzichtet werden. Durch die Ermittlung des Fließmaßes nach DBV-Merkblatt [54] kann die Verarbeitbarkeit von Vergussmörtel besser beurteilt werden. Das Fließmaß der hier untersuchten Vergussmörtel (vgl. Tab. 21) liegt deutlich über den Mindestanforderungen gemäß [5].

### **5.1.2 Prüfung der Festmörteleigenschaften**

#### **PRÜFUNG AUF QUELLEN UND SCHWINDEN**

Die Untersuchung des Mörtels auf Quellen und Schwinden erfolgt in Anlehnung an DIN 52450 [50]. Dabei können Längenänderungsmessungen an Mörtelprismen, die mit Messzapfen versehen sind, im Alter von 1 d, 3 d, 7 d, 14 d und 28 d sowie nach 3, 6 und 12 Monaten durchgeführt werden. Da es sich bei den zu untersuchenden Mörteln um schnell erhärtende

Mörtel handelt, werden ergänzend zur DIN 52450 [50] auch Messungen unmittelbar nach dem Erhärtungsbeginn durchgeführt. Die Ausgangsmessung (Referenzmessung) erfolgt nach dem Entformen der Probekörper direkt im Anschluss an die vom Mörtelhersteller angegebene Erhärtungszeit, bei der der Mörtel bereits belastet werden kann. Weitere Messungen werden dann im Abstand von 2 h und 3 h nach dem Anmachen des Mörtels durchgeführt.

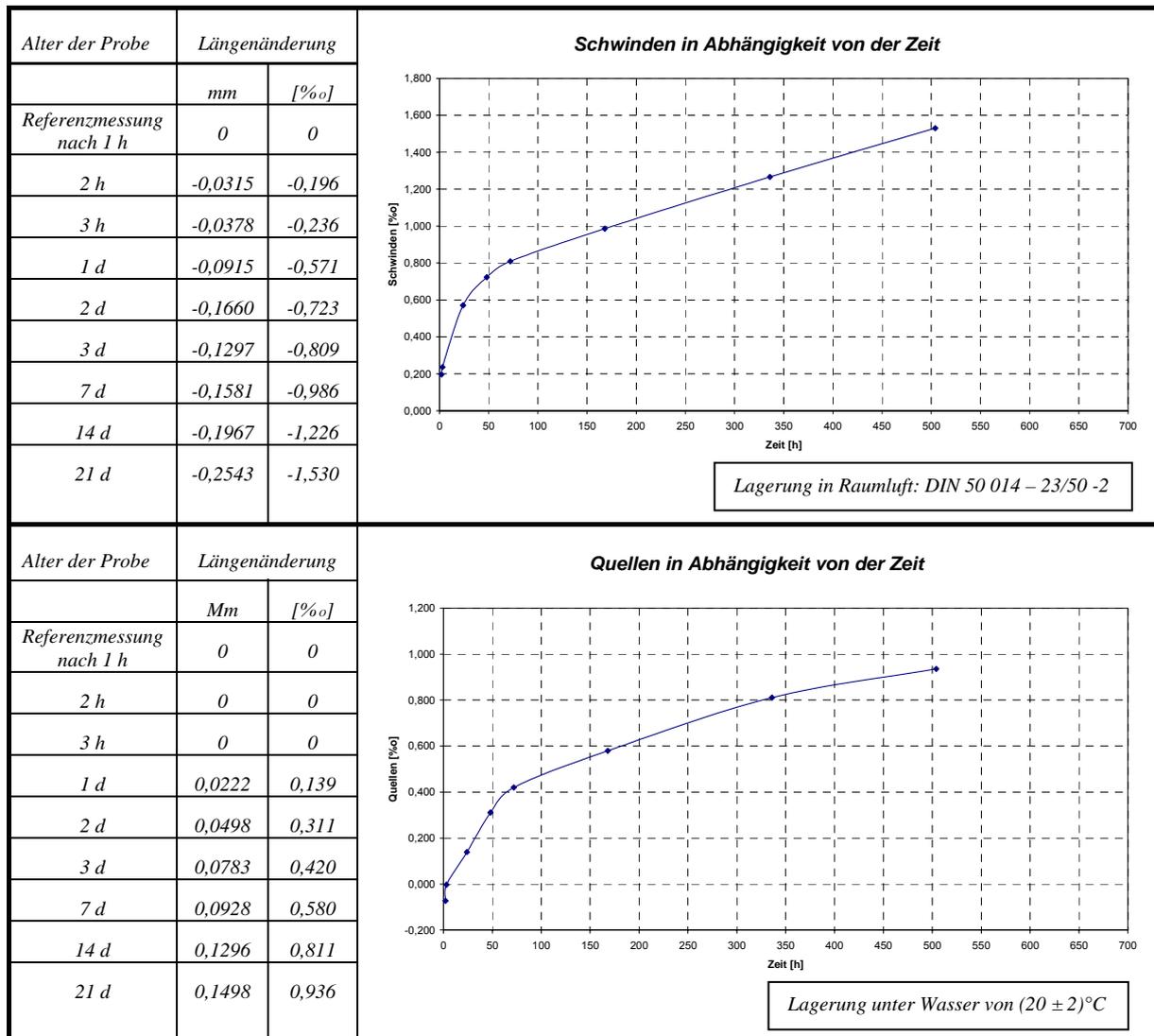


Abb. 116: Längenänderungsmessungen bei einem Vergussmörtel (Beispiel)

In [4] wurde bereits festgestellt, dass bei der Ermittlung des Schwindverhaltens in den ersten Stunden nach der Erhärtung die größte Volumenverringering stattfindet. In Abbildung 116 ist ein Beispiel für Längenänderungsmessungen innerhalb von 28 Tagen im Rahmen von Quell- und Schwinduntersuchungen an einem Schachtkopfmörtel festgehalten.

**ERMITTLUNG DER BIEGEZUG- UND DRUCKFESTIGKEITEN**

Die Ermittlung der Biegezug- und Druckfestigkeit erfolgt in Anlehnung an DIN EN 196-1 [51] an Mörtelprismen mit den Maßen 40 x 40 x 160 mm. Aufgrund der schnellen Erhärtungszeiten erfolgt die Prüfung auf Biegezug- und Druckfestigkeit analog zu den Untersuchungen nach Quellen und Schwinden abweichend von der DIN EN 196-1 [51] nach 30 min, 1 h, 2 h, 1 d, 7d und 28d. Der Mörtel wird entsprechend der Arbeitsanweisung des Herstellers hergestellt und zügig in die Prismenformen vergossen. Danach erfolgt eine Abdeckung der Proben mit einer Glasplatte, um diese vor dem Austrocknen zu schützen. Die Proben für die Druck- und Biegezugfestigkeitsuntersuchungen nach 30 min, 1 h, 2 h und 24 h werden in der Prismenform gelagert und unmittelbar vor der jeweiligen Prüfung aus der Form entnommen. Die Proben für die Druck- und Biegezugfestigkeitsuntersuchungen nach 7 d und 28 d werden gemäß DIN EN 196-1 [51] nach 24 h aus der Form entnommen und danach wahlweise unter Wasser oder im Normklima gelagert. Die Lagerung im Normklima entspricht eher dem Praxiseinsatz. In diesem Fall trocknet die Oberfläche des Mörtels schneller aus. Wird jedoch vom Mörtelhersteller im Rahmen einer Schachtsanierung eine Nachbehandlung ausdrücklich empfohlen, so können näherungsweise auch Druck- und Biegezugfestigkeitsprüfungen an Proben durchgeführt werden, die in Wasser gelagert wurden. Diese Lagerung entspricht der maximal möglichen Wasserzufuhr bei Nachbehandlung. Zudem ist der Mörtel jeweils bei 5°C und 30°C Labortemperatur unmittelbar nach dem Anrühren zu lagern und zu prüfen, um zu überprüfen, ob die geforderte Festigkeit auch bei niedrigeren bzw. höheren Temperaturen erreicht wird. Mit diesen Prüfungen werden die beim Praxiseinsatz vorherrschenden klimatischen Randbedingungen berücksichtigt.



Abb. 117: Mischen des Mörtels



Abb. 118: Herstellung von Mörtelprismen



Abb. 119: Druckfestigkeitsprüfung gemäß DIN EN 196, Teil 1 [51]

An den vier beispielhaften untersuchten Mörteln wurden folgende Biegezug- und Druckfestigkeiten nach 28 Tagen ermittelt:

- **Mörtel A:**  $\beta_{BZ, 28d} = 7,84 \text{ N/mm}^2$      $\beta_{D, 28d} = 35,57 \text{ N/mm}^2$
- **Mörtel B:**  $\beta_{BZ, 28d} = 9,29 \text{ N/mm}^2$      $\beta_{D, 28d} = 34,66 \text{ N/mm}^2$
- **Mörtel C:**  $\beta_{BZ, 28d} = 16,57 \text{ N/mm}^2$      $\beta_{D, 28d} = 53,34 \text{ N/mm}^2$
- **Mörtel D:**  $\beta_{BZ, 28d} = 6,75 \text{ N/mm}^2$      $\beta_{D, 28d} = 34,12 \text{ N/mm}^2$

Abbildung 120 zeigt exemplarisch die Druckfestigkeitsentwicklung bei einem Vergussmörtel und einem plastischen Mörtel unter Normklima. Es ist deutlich zu erkennen, dass insbesondere in den ersten 24 h nach dem Anrühren des Mörtels die Druckfestigkeit steigt.

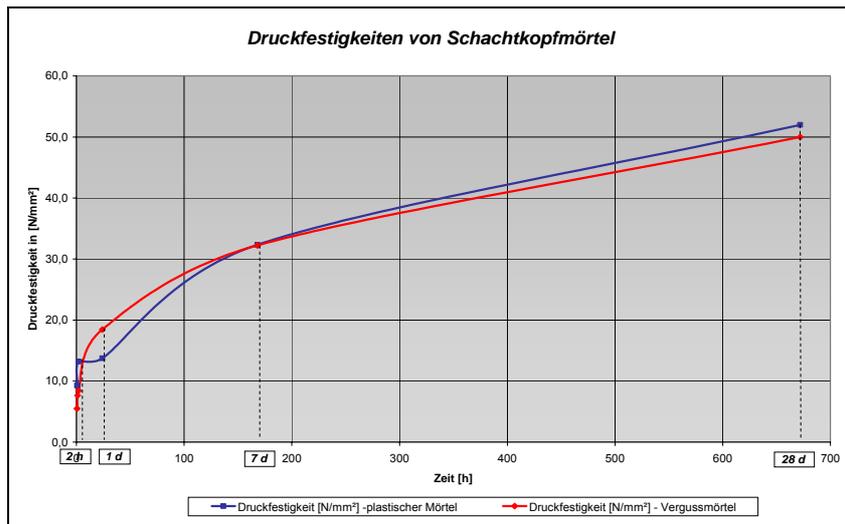


Abb. 120: Beispiel für die Druckfestigkeitsentwicklung an einem Vergussmörtel und plastischen Mörtel

Die Mindestanforderungen an die Druckfestigkeit werden in [5] wie folgt angegeben (Tab. 25).

Mindestanforderungen an die Festmörtel	Schachtkopfmörtel	
	steif-plastisch	flüssig
Druckfestigkeit $\beta_D$ [MPa], DIN EN 196	$\beta_{D, 28d} > 45$ $\beta_{D, 2h, 20^\circ C} > 10$ $\beta_{D, 2h, 5^\circ C} > 5$	$\beta_{D, 28d} > 55$ $\beta_{D, 2h, 20^\circ C} > 10$ $\beta_{D, 2h, 5^\circ C} > 5$

Tab. 24: Mindestanforderungen an die Festmörteleigenschaften für Schachtkopfmörtel [5]

Laut [4] werden 10 N/mm<sup>2</sup> als Grenzwert für die Verkehrsfreigabe angegeben. Betrachtet man nun Tabelle 24, kann man davon ausgehen, dass Schachtkopfmörtel spätestens 2 Stunden nach dem Anrühren belastbar sein sollte.

Im DBV-Merkblatt für Vergussmörtel [54] ist zudem angegeben, dass Vergussmörtel nach 24 h eine Mindestdruckfestigkeit von 25 N/mm<sup>2</sup> aufweisen sollte.

**PRÜFUNG AUF FROST- TAUSALZWIDERSTAND**

Die Prüfung auf Frost-Tausalzbeständigkeit erfolgt entsprechend der Prüfvorschrift für das CDF-Verfahren [13]. Anstelle einer 3%-Natriumchlorid-Lösung als Prüfmedium wird eine 1%-Natriumchlorid -Lösung verwendet (vgl. Kapitel 3.9). Als Prüfkörper werden Mörtelprismen (40x40x160 mm) verwendet, die bei Regelprüfung zur Festigkeit verwendet werden. Die Bewitterung der Mörtelprismen erfolgt dabei über eine Seite mit den Abmessungen 40x160 mm. Die übrigen Seiten werden vor der Lagerung im Prüfmedium mit aluminium-beschichtetem Kleband versehen.

Die innere Schädigung wird in Anlehnung an den CIF-Test [15, 16] durch die Messung der Änderung des relativen dynamischen Elastizitätsmoduls bestimmt.

### *PRÜFUNG AUF HAFTZUGFESTIGKEIT*

Die Prüfung auf Haftzugfestigkeit wird gemäß DIN 1048, Teil 2 [40] durchgeführt (vgl. Kapitel 3.11). Als Prüfkörper werden Verbundkörper eingesetzt, die aus Beton und Schachtkopfmörtel bestehen. Die Herstellung der Probekörper erfolgt analog zu Kapitel 3.10.

### *PRÜFUNG AUF SULFATBESTÄNDIGKEIT*

Bei der Prüfung auf Sulfatbeständigkeit kann das Wittekind-Verfahren [56] oder das Koch-Steinegger-Verfahren [57] angewendet werden. Bei beiden Verfahren werden Flachprismen aus Mörtel 56 Tage in sulfathaltiger Lösung ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) gelagert und anschließend untersucht. Beim Wittekind-Verfahren wird die Längenänderung der Mörtelprismen erfasst und mit der Längenänderung von Probekörpern verglichen, die in Wasser gelagert wurden. Die Dehnungsdifferenz darf bei hoch sulfatbeständigen Mörteln nach 56 Tagen Sulfatlagerung höchstens 0,5 mm/m betragen.

Beim Koch-Steinegger-Verfahren wird die Biegezugfestigkeit an in Sulfatlösung und Wasser gelagerten Mörtelprismen ermittelt. Der Mörtel kann als hoch sulfatbeständig eingestuft werden, wenn das Biegezugfestigkeitsverhältnis  $\beta_{Z,\text{Sulfatlösung}} / \beta_{Z,\text{Wasser}}$  mindestens 0,7 beträgt.

Im Anschluss sind die Probekörper analog zu Kapitel 3.4.3 nach der röntgendiffraktometrischen Methode (XRD) auf die schädlichen Ettringit- und Thaumasitkristalle zu untersuchen, die sich während der Sulfatlagerung im Mörtelgefüge gebildet haben können.

### **5.1.3 Prüfung auf Praxistauglichkeit (Einbau)**

Bei der Prüfung des Mörtels auf Praxistauglichkeit wird der Mörtel auf der Baustelle unter Praxisbedingungen hergestellt und zur Höhenregulierung einer Schachtabdeckung verwendet. Im Rahmen der Prüfung erfolgt die Dokumentation des Mischen und Verarbeitens analog zu Kapitel 4. Bei dieser Prüfung wird untersucht, ob der Mörtel unter Baustellenbedingungen verarbeitet werden kann. Beim Anrühren und Verarbeiten des Mörtels sind die Vorgaben der Mörtelhersteller einzuhalten. Im Rahmen dieser Überprüfung können zudem Schwachstellen in den Verarbeitungshinweisen der Mörtelhersteller identifiziert werden. Vom Frischmörtel sind Proben zu nehmen, um Biegezug- und Druckfestigkeit des Mörtels anschließend im Labor gemäß DIN EN 196-1 untersuchen zu können.

5.1.4 Zusammenfassung

Abbildung 121 fasst die Prüfverfahren im Rahmen einer Eignungsprüfung zusammen:

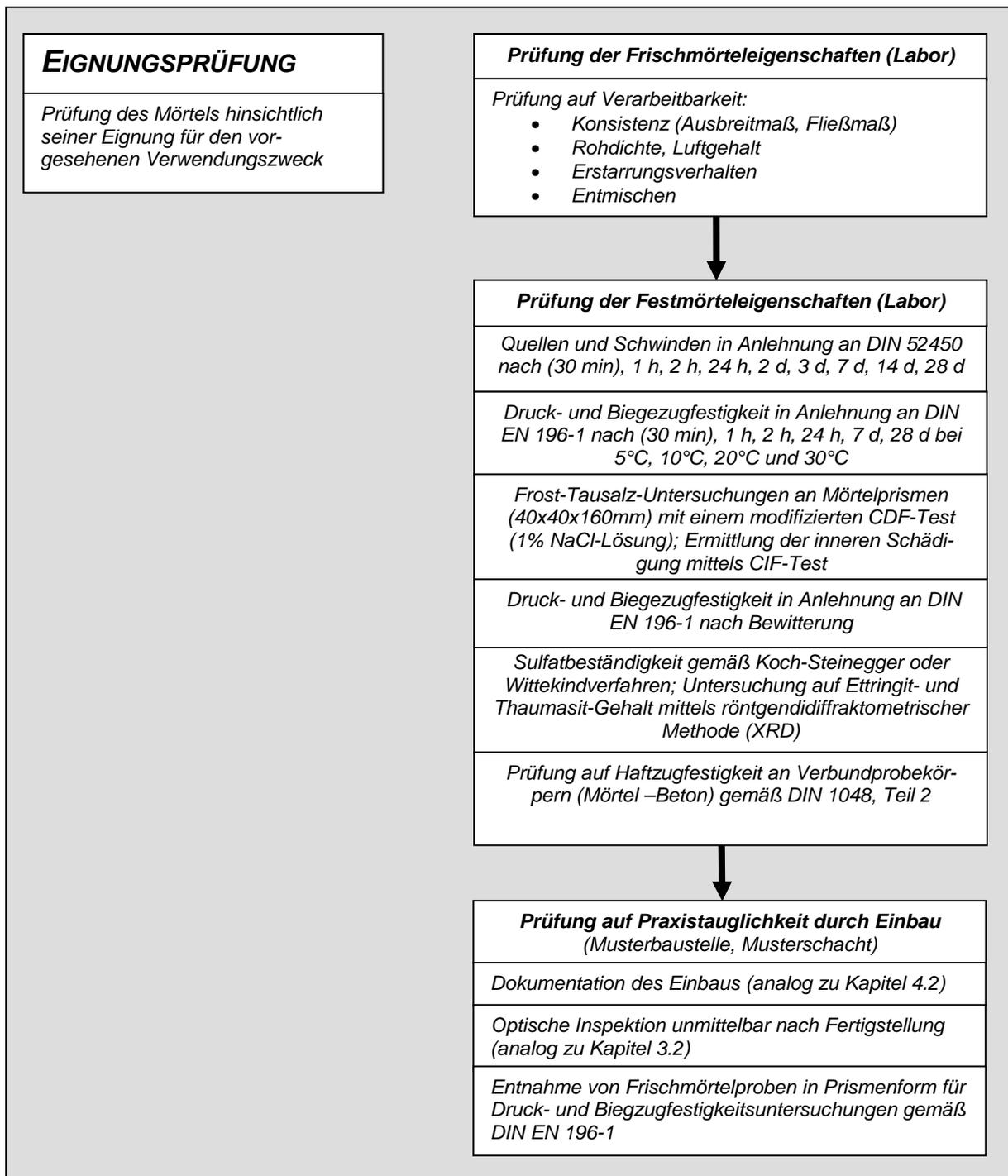


Abb. 121: Schaubild „Eignungsprüfung“

## 5.2 Güteprüfung

Die Güteprüfung wird während der Bauausführung durchgeführt, um den Nachweis zu erbringen, dass die geforderten Eigenschaften des Mörtels auch im Einzelfall erreicht werden. Im Rahmen der Prozessanalyse der Einbaupraxis wurde beobachtet, dass insbesondere die Güteprüfung im Rahmen der Qualitätssicherung von hoher Bedeutung ist. Werden die Vorgaben der Mörtelhersteller vom Anwender auf der Baustelle nicht eingehalten, kann es sehr schnell zu einer Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit des Mörtels kommen.

Das Prüfkonzept für eine Güteprüfung sieht eine Unterteilung in vier Prüfabschnitte vor. Der erste Prüfabschnitt sieht eine Prüfung der Qualifikation des Anwenders vor, die im Vorfeld der eigentlichen Prüfung während der Bauausführung durchzuführen ist. Danach erfolgte eine Prüfung der Arbeitsschritte während der Schachtsanierung analog zu Kapitel 4.2. Der dritte Prüfabschnitt, die Prüfung des Frischmörtels auf Verarbeitbarkeit ist während der Überprüfung und Dokumentation der Arbeitsschritte durchzuführen. Der vierte Prüfabschnitt sieht eine Entnahme von Frischmörtelproben unmittelbar nach dem Anrühren des Mörtels vor, um diese im Labor auf Quellen und Schwinden bzw. Druck- und Biegezugfestigkeit untersuchen zu können.

### 5.2.1 Prüfung der Qualifikation des Anwenders

Mit Hilfe einer Befragung des Anwenders wird im Vorfeld die Qualifikation des Anwenders überprüft. Hierbei sind insbesondere folgende Fragestellungen von Bedeutung:

- *Ist der Betrieb zertifiziert (z.B. Güteschutz Kanalbau)?*
- *Wurden die Mitarbeiter im Umgang mit Schachtkopfmörteln und den Bauteilen des Schachtkopfes (Schachtabdeckung etc.) geschult? Können die Mitarbeiter eine berufliche Ausbildung im Handwerk nachweisen (Maurer, Polier, Kanalfacharbeiter, etc.)?*
- *Welche Referenzen liegen vor?*
- *Werden die vorhandenen Arbeitsgeräte regelmäßig kontrolliert?*
- *Wie viele Mitarbeiter werden für eine Schachtkopfsanierung eingesetzt? Wie viel Zeit nimmt die Sanierung eines Schachtkopfes i. d. R. in Anspruch?*

Die Ergebnisse der Befragung sind zu protokollieren. Hierzu kann das Formblatt „Qualitätssicherung Schachtkopfmörtel auf der Baustelle“ (s. *Anhang*) verwendet werden.

### 5.2.2 Überprüfung der Arbeitsschritte während der Bauausführung

Im Rahmen der Güteprüfung wird zunächst die Qualität der Ausführung auf der Baustelle überprüft. Hierbei wird insbesondere überprüft, ob die Sanierung gemäß technischer Merkblätter bzw. Verarbeitungshinweise der Mörtelhersteller erfolgt. Da für einige Schachtabdeckungen Einbauanleitungen existieren, ist gegebenenfalls auch zu überprüfen, ob der Einbau der Schachtabdeckungen nach Herstellerangaben durchgeführt wird (vgl. [58]). Im Vorfeld sollte zudem geprüft werden, ob das Sanierungsverfahren auf den jeweiligen Anwendungsfall abgestimmt ist.

Um einen Abgleich mit den Herstellerangaben im Rahmen der Bauüberwachung durchführen zu können, sollten die entsprechenden technischen Merkblätter und Einbauanleitungen seitens der Anwender bereitgehalten werden.

Folgende Angaben sind während der Baumaßnahme zu erfassen und im Formblatt „Qualitätssicherung Schachtkopfmörtel auf der Baustelle“ (s. *Anhang*) anzugeben:

<b>Allgemeine Angaben</b>	<i>Datum und Uhrzeit Schachtnummer laut Kanalkataster, ausführende Firma. Anzahl der Arbeiter</i>
<b>Klimatische Randbedingungen</b>	<i>Außentemperatur [°C], relative Luftfeuchte [%], Witterung</i>
<b>Angaben zum Untergrund</b>	<i>Werkstoff des Untergrundes (Beton, Mörtel, Guss), Art der Säuberung (HD-Reiniger, Besen, Luftdruck,...), Art der Untergrundvorbereitung (Vornässen, etc.)</i>
<b>Angaben zu den verwendeten Bauteilen</b>	<i>Lastklasse Schachtabdeckung, Hersteller Schachtabdeckung, Bezeichnung Schachtabdeckung, Werkstoff an der Kontaktfläche Schachtrahmen (Guss, Beton), Anzahl und Höhe der Auflagerringe</i>
<b>Angaben zum Mörtel</b>	<i>Mörtelhersteller, Bezeichnung, Chargen-Nummer / Herstellungsdatum, Menge des verwendeten Mörtels, Menge des verwendeten Anmachwassers, Mischungsverhältnis, Mischdauer, verwendetes Mischwerkzeug, Zeitraum der Verarbeitung, Anzahl der Arbeitsgänge, Anzahl der Fugen, Schichtdicken</i>
<b>Angaben zur Nachbehandlung und Verkehrsfreigabe</b>	<i>Art der Nachbehandlung, Dauer der Nachbehandlung, Zeitpunkt der Verkehrsfreigabe</i>

Abb. 122: Schaubild „Qualitätssicherung auf der Baustelle“

Bei der Bauüberwachung ist außerdem darauf zu achten, dass die für das Mischungsverhältnis benötigten Mengen an Trockenmörtel und Anmachwasser mit Waage bzw. Messbecher erfasst werden. Zudem ist im Rahmen der Güteprüfung zu gewährleisten, dass keine angebrochenen Verpackungen mit Trockenmörtel bei der Verarbeitung verwendet werden.

### 5.2.3 Prüfung des Frischmörtels auf Verarbeitbarkeit

Unmittelbar nach dem Anmachen bzw. Mischen des Mörtels erfolgt eine visuelle Überprüfung des Frischmörtels hinsichtlich seiner Konsistenz. Um die Hohlräume unterhalb der Schachtabdeckung problemlos verfüllen zu können, sollte Vergussmörtel eine fließfähige Konsistenz aufweisen. Plastischer Mörtel sollte eine Konsistenz aufweisen, die eine kellen-gerechte Verarbeitung auf der Baustelle ermöglicht. Gegebenenfalls ist vor Ort eine Prüfung mit dem Ausbreittisch in Anlehnung an DIN 1048, Teil 1 [59] durchzuführen. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Prüfung unter Baustellenbedingungen erfolgt. Die im Rahmen der Überprüfung der Arbeitsschritte dokumentierte Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit auf der Baustelle sind daher von großer Bedeutung. Als Grundlage für die Prüfung des Frischmörtels auf Verarbeitbarkeit dient das Formblatt „Qualitätssicherung Schachtkopfmörtel auf der Baustelle“ (s. *Anhang*).

### 5.2.4 Probennahme und Überprüfung der Festmörteleigenschaften

Um den auf der Baustelle hergestellten Mörtel hinsichtlich der Festmörteleigenschaften Quellen- und Schwinden sowie Druck- und Biegezugfestigkeit überprüfen zu können, werden unmittelbar nach dem Anrühren Mörtelproben entnommen. Die Mörtelproben werden dabei in herkömmliche Stahlformen (*Abb. 123*) mit den Abmessungen 40 x 40 x 160 mm gefüllt. Für die Untersuchungen hinsichtlich Druck- und Biegezugfestigkeit sind insgesamt drei Serien an Mörtelprismen herzustellen, um im Labor die Festigkeiten nach 1 d, 7 d und 28 d gemäß DIN EN 196, Teil 1 [51] überprüfen zu können. Das Formblatt „Qualitätssicherung Schachtkopfmörtel auf der Baustelle“ (s. *Anhang*) sollte jedoch mit dem Hinweis versehen werden, dass die Probennahme unter Baustellenbedingungen erfolgt.

Für die Untersuchungen auf Quellen und Schwinden werden bei der Probennahme Stahlformen mit den Abmessungen 40 x 40 x 160 mm verwendet, die an den Stirnseiten mit Messzapfen versehen sind. Die Untersuchung auf Quellen und Schwinden im Labor erfolgt in Anlehnung an DIN 52450 [50] nach 1 d, 2 d, 3 d, 7 d, 14 d und 28 d. Hierbei ist jedoch auch wieder zu beachten, dass die Probennahme unter Baustellenbedingungen erfolgt. Für die Untersuchungen bezüglich Schwinden werden drei Serien an Mörtelprismen benötigt; für die Untersuchungen auf Quellen werden sechs Serien benötigt.

Um ein Austrocknen der Oberfläche der Mörtelprismen zu vermeiden, werden die Mörtelprismen unmittelbar nach Herstellung für den Transport mit Hilfe einer Glasplatte abgedeckt.



Abb. 123: Stahlformen



Abb. 124: Anrühren des Mörtels unter Baustellenbedingungen



Abb. 125: Mit Mörtel verfüllte Stahlformen

5.2.5 Zusammenfassung

Abbildung 126 fasst die Prüfverfahren im Rahmen einer Güteprüfung zusammen:

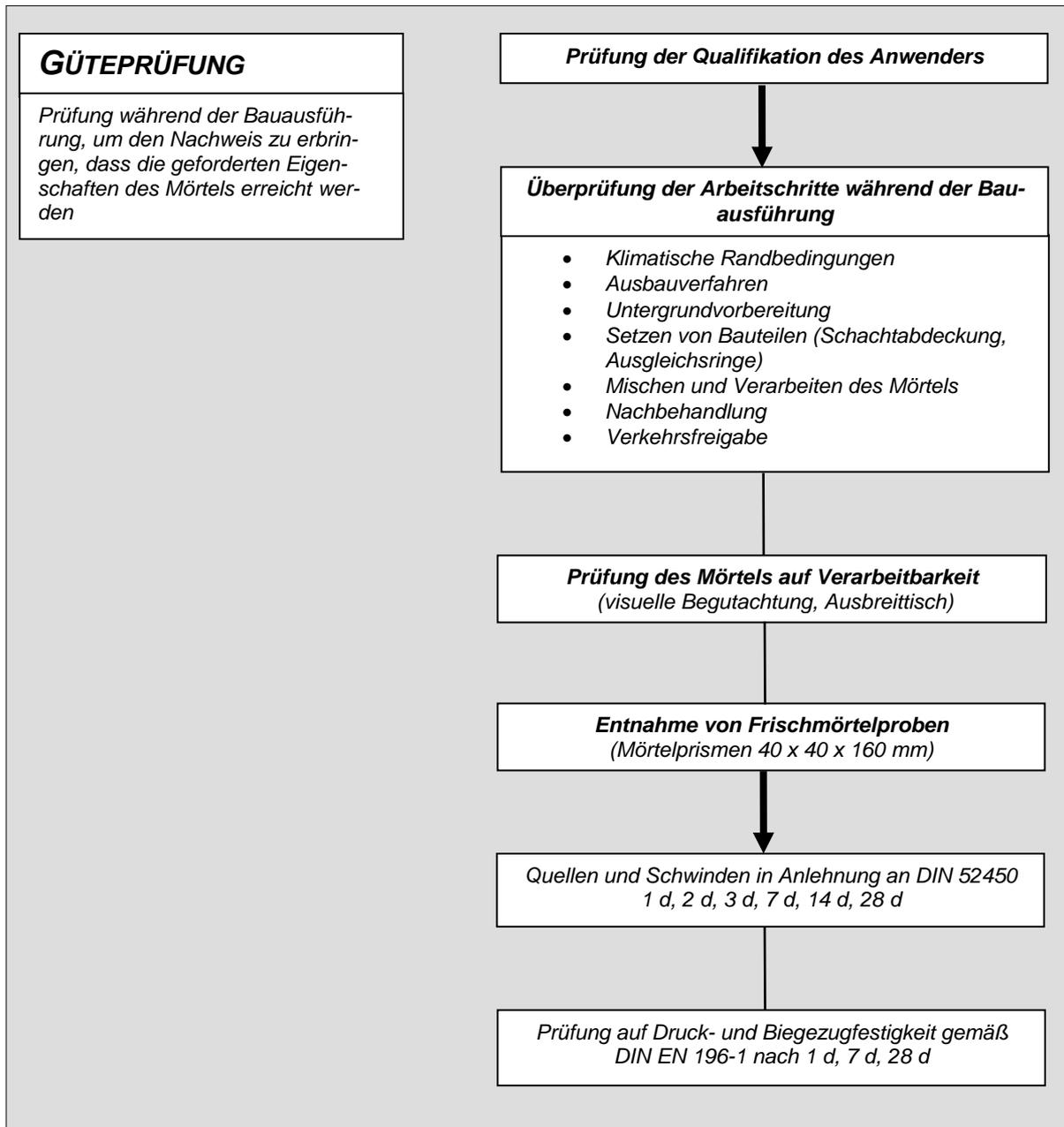


Abb. 126: Schaubild „Güteprüfung“

### 5.3 Abnahmeprüfung

Die Abnahmeprüfung dient dazu, nach einer Bauausführung den Nachweis zu erbringen, dass die geforderten Eigenschaften des Mörtels erreicht wurden. Das Prüfkonzept der Abnahmeprüfung ist in zwei wesentliche Prüfabschnitte unterteilt. Im ersten Schritt erfolgt die optische Inspektion des Schachtes. In einem zweiten Schritt können im Bereich der Mörtelfuge Ultraschallmessungen zur Überprüfung der Homogenität des Mörtels durchgeführt werden.

#### 5.3.1 Optische Inspektion

Die optische Inspektion des Schachtes im Rahmen einer Abnahmeprüfung erfolgt analog zu Kapitel 3.2. Zunächst erfolgt eine Inaugenscheinnahme der Einbindung des Schachtkopfes in den Straßenraum. Hierbei wird insbesondere überprüft, ob die Schachtabdeckung auf Straßenniveau angehoben wurde. Diese Überprüfung kann mit Hilfe einer Nivellierlatte und eines Zollstocks vorgenommen werden. Außerdem wird der Übergangsbereich Schachtabdeckung - Straßenbelag inspiziert, um z.B. die Ausbildung möglicher Fugen zu überprüfen.

In einem weiteren Schritt erfolgt die Inspektion des Schachtkopfes. Die Dokumentation des Allgemeinzustandes umfasst im Wesentlichen die Überprüfung dieses Bereiches auf Einbaufehler (z.B. unsachgemäß verwendete Bauteile) und mögliche Schäden.

Zum Schluss sind die vorhandenen sichtbaren Mörtelfugen im Schachtkopfbereich zu inspizieren. Von Interesse sind hierbei Einbaufehler und Schäden am Mörtel, wie zum Beispiel Risse, die während der Hydratation des Mörtels entstanden sind. Durch Vornässen und Anschleifen der Oberfläche des Mörtels können feine Haarrisse sichtbar gemacht werden, da sich die Feuchtigkeit beim Vornässen in den Rissen absetzt. Beim Anschleifen der Oberfläche wird eine herkömmliche Schwingschleifmaschine verwendet.

#### 5.3.2 Ultraschalluntersuchungen

Die Ultraschalluntersuchungen im Bereich der Mörtelfuge werden analog zu Kapitel 3.3 mit einem Ultraschallmessgerät mit Exponentialköpfen in Anlehnung an RiLi DAfStb, Heft 467 [29] durchgeführt. Mit Hilfe der Ultraschallmessungen kann eine Aussage über die grundsätzliche Qualität und Homogenität des verwendeten Mörtels gemacht werden. Dieses Verfahren bietet jedoch keine Garantie, dass sämtliche Fehlstellen und Risse im Mörtel lokalisiert werden. Durch einen Vergleich der vor Ort gemessenen Schalllaufzeiten mit den Schalllaufzeiten, die an im Labor hergestellten Mörtelprismen gemessen werden, kann man Rückschlüsse auf die Qualität des unter Baustellenbedingungen hergestellten Mörtels ziehen.

### 5.3.3 Zusammenfassung

Abbildung 127 fasst die Prüfverfahren im Rahmen einer Güteprüfung zusammen:

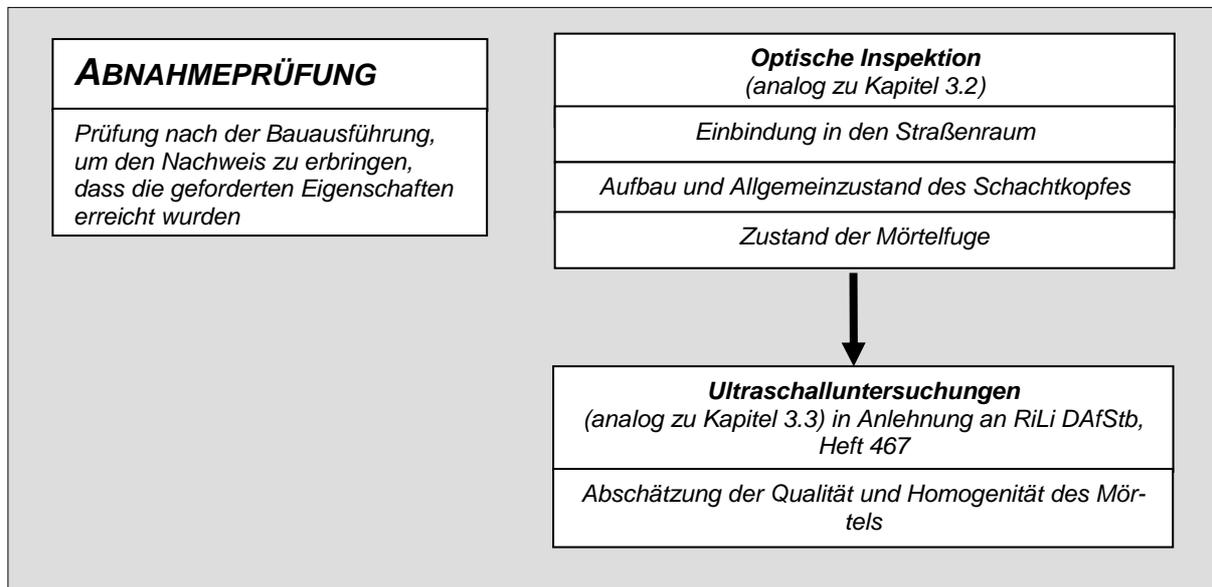


Abb. 127: Schaubild „Abnahmeprüfung“

## 6 Zusammenfassung und Fazit

Bei der Sanierung von Schachtabdeckungen werden in der Regel Schachtkopfmörtel eingesetzt, die sich durch besondere Eigenschaften auszeichnen, wie zum Beispiel hohe Früh- und Endfestigkeiten und einen hohen Frost-Tausalz-Widerstand. Viele der sanierten Schachtabdeckungen weisen dennoch nach kurzer Zeit wieder Schäden auf. In [4] zeigte sich bereits, dass viele der eingesetzten Mörtel nicht den hohen Anforderungen des Praxis-einsatzes genügen. Vorhandene Eignungsprüfungen berücksichtigen bisher auch nur typische Laborbedingungen und sind auf übliche im Hoch- und Tiefbau zu erwartende Einsatzfälle ausgerichtet. Ziel des Forschungsvorhabens war es nun, ein einheitliches Prüfkonzept der Eignungs-, Güte und Abnahmeprüfung zu entwickeln, mit dem die Entwicklung und der Einsatz von Schachtkopfmörteln, speziell für den Straßen- und Kanalbau, zuverlässig begleitet werden kann.

In Kapitel 2 wird ein Überblick zum Stand der Technik von Schachtkopfmörteln, Sanierungsverfahren und Prüfverfahren gegeben. Anschließend wird in Kapitel 3 die Erfassung des Ist-Zustandes an insgesamt 22 bereits sanierten Schachtabdeckungen beschrieben. Hierbei wurden wesentliche Einflussgrößen auf den Mörtelzustand und die Mörtelqualität erkannt und Erkenntnisse zur Qualität der eingesetzten Mörtel sowie Rückschlüsse auf die Eignung und Aussagekraft bzw. Schwächen vorhandener Prüfverfahren für Schachtkopfmörtel abgeleitet. Dazu wurden u. a. optische Inspektionen (Sichtprüfungen), Ultraschallmessungen, Rückprallhammerprüfungen, Bohrmehlentnahmen sowie Probenentnahmen an vor Ort freigelegten Schachtköpfen durchgeführt.

Sofern vor Ort ausreichend große Proben aus dem geschädigten Schachtkopfmörtel gewonnen werden konnten, wurden diese in ergänzenden Laboruntersuchungen auf ihre Festigkeit, den Fremdsalzgehalt (Chlorid- und Sulfatgehalt) und den Frost-Tausalz-Widerstand geprüft. Auffällig war bei allen Proben, dass unabhängig vom Schädigungsgrad des Schachtkopfes die Druckfestigkeit an Kleinproben hohe Werte zeigt, somit in diesen Fällen eine Gefügeschädigung im Mikrosystem des Kerns nahezu ausgeschlossen werden kann. Die vorgefundenen Schäden sind hier vorwiegend Schädigungen auf makroskopischer Ebene, d. h. Risse-, Schollenbildung und Ablösungen, somit eher mechanischer Ursache aus Verkehrsbelastung und Bewegung bzw. Verformung.

Die im Rahmen der Ist-Analyse durchgeführten Luftfeuchtemessungen (*Kapitel 3.5*) zeigen, dass im Bereich des Schachtkopfmörtels fast permanent eine Luftfeuchtigkeit von 100 % vorliegt und zudem das ablaufende Flächenwasser in direktem Kontakt zum Schachtkopfmörtel steht. Auf Grund der Temperaturmessungen kann man sicher von einem Frostangriff am Schachtkopf ausgehen. Die Temperaturbelastung ist gegenüber der Lufttemperatur jedoch deutlich gepuffert, so dass weniger Frosttage und geringere Tieftemperaturen im Winter auftreten. Dies konnte bei allen Messstellen unabhängig der Lage gezeigt werden. Eindeutig zeigen die Ergebnisse, dass sich bei einer Streusalzstreuung der Straße eine deutliche Chloridbelastung im Schachtkopfmörtel einstellt. Somit ist bei diesen Straßen mit einem Frost-Tausalz-Angriff am Schachtkopfmörtel zu rechnen.

Wie bereits in [4] festgestellt wurde, entspricht die Bewitterung beim CDF-Verfahren über nur eine Seite des Prüfkörpers eher der Realität als eine allseitige Bewitterung bei einer Prüfung in Anlehnung an die Empfehlungen des DAfStb [60]. Die Untersuchungen mit dem CDF-Test [13] gemäß bestehender Prüfvorschrift an den ausgebauten Schachtkopfmörteln mit einer

3%igen-Lösung über 28 Frost-Tausalz-Wechsel zeigte, dass keine Prüferie das strenge Grenzwertkriterium des Straßen- und Wasserbaus bestand. Hier wird davon ausgegangen, dass Betonbauteile durch stehende Taumittellösungen über einen längeren Zeitraum beansprucht werden (z. B. Pfützenbildung bei Betonstraßen). Eine im Schachtkopfbereich angeordnete Mörtelfuge wird jedoch nur kurzzeitig durch abfließendes Wasser bzw. Taumittellösungen beansprucht. Das Prüfregime scheint für die Anwendung und die Belastung des Schachtkopfmörtels zu scharf zu sein. Aus diesem Grund wurden zusätzliche Untersuchungen mit einem modifizierten CDF-Test an Laborproben aus vier verschiedenen Schachtkopfmörteln vorgenommen. Bei diesem Test wurden Veränderungen hinsichtlich Prüfkörpergeometrie, Prüfkörperart und Prüflösung vorgenommen. Die Ergebnisse der Frost-Tausalz-Prüfung mit den bestehenden und modifizierten Prüfverfahren CDF-Test zeigen, dass der bestehende CDF-Test hinsichtlich Prüfbedingungen und Abnahmekriterien für den vorliegenden Anwendungsfall zu scharf ist und eine Reduzierung der Konzentration der Prüflösung bei gleichen Prüfkriterien (1500 g/m<sup>2</sup> nach 28 Frost-Tau-Wechseln) vorgeschlagen werden muss. Zur CDF-Prüfung wurde auf Mörtelprismen zurückgegriffen. Zur Bestimmung der Verbundfestigkeit wurde die Haftzugfestigkeit gemäß DIN 1048, Teil 2 [40] an im Labor hergestellten rechteckigen Verbundprobekörpern geprüft, die aus Beton und Schachtkopfmörtel bestehen.

Mit Blick auf die Dauerhaftigkeit von Schachtkopfmörteln lassen sich die Anforderungen an deren Eigenschaften für die Phasen der Herstellung und Nutzung getrennt beschreiben. Für die Herstellung sind dies die Schwindneigung bzw. Rissneigung im Ringeinbau, die notwendige Untergrundvorbereitung sowie die Festigkeitsentwicklung. Während der Nutzung sind insbesondere die Verbundfestigkeit, der Frost-Tausalz-Widerstand und der Sulfatwiderstand von Bedeutung.

Im Rahmen der in Kapitel 4 beschriebenen Prozessanalyse der derzeitigen Einbaupraxis wurden 11 aktuelle Sanierungsmaßnahmen begleitet und dokumentiert, um typische Randbedingungen während des Einbaus zu identifizieren. Hierbei wurden die relevanten Einflussfaktoren für die Mörtelqualität ermittelt und auf dieser Basis Prüfkriterien und -bedingungen für das in Kapitel 5 dargestellte Prüfkonzept erarbeitet.

Das Prüfkonzept umfasst definierte Prüfkriterien und Prüfverfahren, die zielgerichtet in der Eignungs-, Güte- und Abnahmeprüfung herangezogen werden. Im Einzelnen wird dabei auf folgende Prüfkriterien bzw. Prüfverfahren zurückgegriffen:

- Um die **Verarbeitbarkeit** des Mörtels unter Baustellenbedingungen zu gewährleisten, ist der Schachtkopfmörtel im Rahmen einer Eignungsprüfung auf Verarbeitbarkeit zu überprüfen. Bei plastischen Mörteln ist das Ausbreitmaß zu ermitteln; Vergussmörtel werden durch das Fließmaß beschrieben. Da es sich bei Schachtkopfmörtel in der Regel um schnell erhärtende Mörtel handelt, ist insbesondere das Erstarrungsverhalten zu untersuchen, um eine Aussage über die Verarbeitungszeit zu erhalten. Dem Anwender vor Ort muss ausreichend Verarbeitungszeit zur Verfügung stehen, damit eine sachgemäße Verarbeitung des Mörtels erfolgen kann.
- Die Untersuchung von Schachtkopfmörteln auf **Quellen und Schwinden** ist an die Erhärtungsgeschwindigkeit des Mörtels anzupassen, da insbesondere innerhalb der ersten 24 h starke Quell- und Schwindverformungen auftreten können. Es ist daher ergänzend zur DIN 52 450 [50], die eine erste Messung nach 24 h

vorschreibt, unmittelbar nach dem Erhärten des Prüfkörpers eine erste Messung durchzuführen. Hierfür ist der Zeitpunkt zu wählen, bei dem nach Angaben des Mörtelherstellers eine Belastung des Mörtels, z.B. durch Verkehrsfreigabe, möglich ist.

- Die **Biegezug- und Druckfestigkeit** von Schachtkopfmörtel ist im Rahmen einer Eignungsprüfung an jeweils drei Mörtelprismen in Anlehnung an DIN EN 196-1 [51] zu ermitteln. Hierbei werden Probekörper mit den Abmessungen 40 x 40 x 160 mm verwendet, da diese aufgrund der gedungenen Form der Geometrie einer Mörtelfuge am nächsten kommen. Aufgrund der schnelleren Erhärtung des Mörtels wird die Biegezug- und Druckfestigkeitsprüfung ergänzend zur DIN EN 196-1 nach (30 min), 1h, 2h, 1 d, 7 d und 28 d durchgeführt. Die Probekörper werden 24h feucht (z.B. in einem Feuchtkasten) und nach dem Entschalen im Normalklima nach DIN 50014-23/50-2 [49] gelagert. Mit dieser Lagerungsart wird eine Erhärtung ohne Nachbehandlung dargestellt, die dem Praxiseinsatz vor Ort entspricht. Um die Festigkeitsentwicklung bei unterschiedlichen Baustellentemperaturen abbilden zu können, sind zusätzlich jeweils drei Probekörper unmittelbar nach dem Anrühren bei Temperaturen von 5°C, 10°C und 30°C in einem Wärme- bzw. Kälteschrank zu lagern und anschließend auf Biegezug- und Druckfestigkeit zu prüfen. Auch bei diesen Temperaturen müssen die Anforderungen an die Festigkeit eines Schachtkopfmörtels erfüllt werden.  
Eine Prüfung auf Druck- und Biegezugfestigkeit im Rahmen einer Güteprüfung erfolgt analog zu [4] in Anlehnung an DIN EN 196-1 [51]. Im Unterschied zur Eignungsprüfung werden die Probekörper bis zur Prüfung durch Glasplatten geschützt in der Normalschalung gelagert.
- Der **Frost-Tausalz-Widerstand** ist im Rahmen einer Eignungsprüfung mit dem **modifizierten CDF-Test** zu untersuchen, bei dem anstelle einer 3%igen Tausalzlösung eine 1%ige Tausalzlösung eingesetzt wird. Die Prüfungen sind an Mörtelprismen mit den Abmessungen 40x40x160 mm durchzuführen. Die Messung der inneren Schädigung erfolgt mittels CIF-Test [16].
- Eine Prüfung der **Haftzugfestigkeit von Verbundprobekörpern** (Mörtel – Beton) scheint im Rahmen einer Eignungsprüfung sinnvoll, um Anhaltswerte zum Vergleich einzelner Mörtelprodukte und Einsatzfälle zu erhalten. Aufgrund der hohen Streuung der Haftzugwerte sollten jedoch keine Grenzwerte formuliert werden.
- Die Ergebnisse zeigen, dass bei Mischwasser- und Abwasserschachtköpfen trotz vorhandener Be- und Entlüftungsöffnungen mit einer Sulfatbelastung zu rechnen ist. Bei geschlossener Schachtabdeckung (unbelüftet) ist ein biogener Schwefelsäureangriff mit hoher Sicherheit zu erwarten. Eine Prüfung hinsichtlich **Sulfatbeständigkeit** kann mit Hilfe des Wittekind-Verfahrens [56] oder Koch-Steinegger-Verfahrens [57] durchgeführt werden. Mit Hilfe der röntgendiffraktometrischen Methode (XRD) können im Anschluß schädlichen Ettringit- und Thaumasilkristalle identifiziert werden, die sich während der Sulfatlagerung im Mörtelgefüge gebildet haben können.
- Um den unter Laborbedingungen geprüften Mörtel hinsichtlich seiner **Praxistauglichkeit** zu überprüfen, werden im Rahmen der Eignungsprüfung Mischvor-

gang und Verarbeitung unter Baustellenbedingungen exemplarisch an einer Sanierungsmaßnahme getestet. Hierbei sind die Vorgaben des Mörtelherstellers hinsichtlich Herstellung und Verarbeitung des Mörtels einzuhalten. Im Rahmen dieser Überprüfung können Schwachstellen in den Verarbeitungshinweisen der Mörtelhersteller identifiziert werden.

- Durch eine Überprüfung der **Qualifikation des Anwenders** im Vorfeld einer Güteprüfung kann die Gefahr von Einbaufehlern verringert werden. So zeigte die Prozessanalyse der Einbaupraxis, dass viele Schäden auf einen unsachgemäßen Umgang mit den Mörteln zurückzuführen sind. Ursachen hierfür sind häufig mangelnde Erfahrung und unzureichende Qualifikation der Anwender.
- Im Rahmen der Prozessanalyse wurde festgestellt, dass die Vorgaben der Mörtelhersteller bezüglich der Anwendung des Mörtels vielfach nicht eingehalten wurden. Durch eine intensive **Baustellenüberwachung** inklusive augenscheinlicher Überprüfung der Frischmörteleigenschaften und die Entnahme von Frischmörtelproben für Druckfestigkeitsuntersuchungen kann dem entgegen gewirkt werden. Da seitens der Auftraggeber in der Regel eine intensive Baustellenüberwachung nicht in jedem Einzelfall durchführbar ist, empfiehlt es sich, zumindest stichprobenartige Kontrollen durchzuführen.
- Die **optische Inspektion im Zuge der Abnahmeprüfung** sollte die drei Untersuchungsabschnitte „Einbindung des Schachtes in den Straßenraum“, „Allgemeinzustand Schachtkopf“ und „Zustand der Mörtelfuge“ umfassen. Um den Zustand der Mörtelfuge beurteilen zu können, ist eine gründliche Reinigung der Oberfläche erforderlich. Die besten Reinigungsergebnisse wurden mit Hilfe eines Hochdruckreinigers erzielt. Mikrorisse im Mörtel können durch Vornässen und Anschleifen der Oberfläche sichtbar gemacht werden.
- Mit Hilfe des **Ultraschallverfahrens** können bei einer Abnahmeprüfung, bei dem die Mörtelfuge vor Ort durchschallt wird, Aussagen über die Homogenität der Mörtelfuge getroffen werden. Es empfiehlt sich in diesem Zusammenhang schon im Zuge der Güteprüfung Rückstellproben des Frischmörtels (Mörtelprismen mit den Abmessungen 40x40x160 mm) zu gewinnen, um für eine Gewährleistungsabnahme Probekörper für Referenzmessungen vorzuhalten.

Im Gesamtblick bleibt festzustellen, dass mit dem im Rahmen dieses Forschungsprojektes entwickelten Prüfkonzept eine umfassende Qualitätssicherung von Schachtkopfmörteln möglich ist. Es steht erstmalig eine in sich abgestimmte Vorgehensweise für die Eignungs-, Güte- und Abnahmeprüfung zur Verfügung. Die Dauerhaftigkeit der verwendeten Schachtkopfmörtel kann so verbessert und das Schadensrisiko nach einer Schachtkopfsanierung verringert werden.

## 7 Literatur

- [1] Bosseler, B.; Birkner, T.; Sokoll, O.; Brüggemann, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW; im Auftrag des Ministeriums für Umweltschutz und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen; Dezember 2003.
- [2] Stein, D.; Falk, C.; Liebscher, M.: Sanierung schadhafter Schachtabdeckungen; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen; Abschlussbericht, November 1995 (unveröffentlicht).
- [3] Stein, D.; Falk, C.: Einstiegsschächte für Abwasserkanäle, Entwicklung eines neuen Bau- und Sanierungsverfahrens für die Verbindung des Rahmens der Schachtabdeckung zum Schachthals; IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen; Abschlussbericht, Juni 1998 (unveröffentlicht).
- [4] Bosseler, B.; Bennerscheidt, C; Bartel, M.: Eignungsprüfung von Verfahren zur Sanierung von Schachtabdeckungen; IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen; November 2002.
- [5] GSTT-Informationen: Anforderungen an Mörtel für Abwasserkanäle und Bauwerke der Ortsementwässerung, Teil 1: Zementgebundene Mörtel; Dezember 2003.
- [6] Diming, A.: Einflüsse von Polymeren auf die Mikrostruktur und die Dauerhaftigkeit kunststoffmodifizierter Mörtel (PCC); Dissertation; Weimar, Mai 2002.
- [7] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton: Richtlinie für Schutz- und Instandsetzung von Betonbauteilen, Berlin, Köln, Beuth Verlag GmbH, 2001.
- [8] Produktdatenblatt der Denso GmbH, Leverkusen.
- [9] Technisches Merkblatt ERGELIT-superfix 35F, Firmeninformation der HERMES Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte.
- [10] Firmeninformation der IBW Baustoffe GmbH, Datteln .
- [11] DIN 4281: Beton für werksmäßig hergestellte Entwässerungsgegenstände; Herstellung, Anforderungen, Prüfungen und Überwachung; August 1998.
- [12] Frank L., Oly M., Pinsler F.: Prüfrichtlinie für Mörtel im Sielbau; TIS 4/97, S. 19 – 23.
- [13] RILEM recommendation: CDF test - Test method for freeze-thaw resistance of concrete –tests with sodium chloride solution (CDF). TC 117FDC freeze-thaw and deicing resistance of concrete, Materials and Structures, 1996, 29, S. 523-528.
- [14] Auberg, R.: Zuverlässige Prüfung des Frost- und Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem CDF- und CIF-Test. Mitteilungen aus dem Institut für Bauphysik und Materialwissenschaft; Heft 6. Juli 1998.
- [15] ZTV-W LB 219: Zusätzliche technische Vertragsbedingungen – Wasserbau für Schutz und Instandsetzung der Betonbauteile von Wasserbauwerken; 1997.
- [16] RILEM recommendation: CIF-Test – Capillary suction, Internal damage and Freeze thaw Test, Reference method and alternative methods A and B, Material and Structures, 2001, 34, 515 – 525.
- [17] ÖNORM B 4200-100: Beton – Herstellung, Verwendung und Gütenachweis, 1. Juli 1996.
- [18] Firmeninformation WIEBUSCH - POLYMERBETON - TECHNIK GmbH & Co. KG, 34471 Volkmarsen.

- [19] Firmeninformation ERGELIT Trockenmörtel und Feuerfest GmbH, 36304 Alsfeld.
- [20] Puhl, R.; Handbuch Schacht 2007; IKT, Gelsekirchen, Januar 2007.
- [21] Firmeninformation der HERMES Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte.
- [22] Firmeninformation Dr.-Ing. A. HAENLEIN GmbH & Co., 80939 München.
- [23] Firmeninformation STEHR- Baumaschinen GmbH, 36318 Schwalmtal.
- [24] Firmeninformation HYDROTEC Technologies AG, 27793 Wildeshausen.
- [25] Setzer, M.J.: Frostscha den – Grundlagen und Prüfung. Beton und Stahlbeton. 97, S. 350 – 359, 2002.
- [26] RV 2/2000 des TLStB: Rundverfügung „Straßen- und Brückenbau“, Thüringer Landesamt für Straßenbau, Nr. 02/2000 – Anlage RV: Prüfvorschriften: CDF-Test (Rilem Recommendation) von Setzer, M.J., et. al. Und CIF-Test von Setzer, M.J. und Auberg, R.
- [27] ZTV-W LB 215: Zusätzlich technische Vertragsbedingungen – Betonbauwerke im Wasserbau, 2004.
- [28] Frostzonenkarte Deutschland; Entstehung und Verhütung von Frostscha den an Straßen. Forschungsarbeiten aus dem Straßenwesen, Heft 105, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1994/9.
- [29] Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), Heft 467, 1996
- [30] DIN 4030; Bestimmung des Chlorid- und Sulfatgehaltes; 2006
- [31] EG-Sicherheitsdatenblätter gemäß 91/155/EWG der Firmen Ergelit, Wipoton, P&T Technische Mörtel.
- [32] DIN 1045, Teil 2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; 2001.
- [33] Koch, A; Steinegger, H.: Ein Schnellprüfverfahren für Zemente auf ihr Verhalten bei Sulfatangriff . Zement-Kalk-Gips, 1990, Nr. 7, S. 317-324.
- [34] Bosseler B., Puhl R.: Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten, IKT, Februar 2005.
- [35] Mulenga D. M.: Zum Sulfatangriff auf Beton und Mörtel einschließlich der Thaumasitbildung, Dissertation, Bauhaus-Universität Weimar, 2002.
- [36] Aufzeichnung des Deutschen Wetterdienstes; Temperatur und Luftfeuchtigkeit; Wetterstation Tönisvorst, Reichshof-Eckenhagen und München-Stadt (WEWA), Oktober 2006 bis Juni 2007.
- [37] Aufzeichnung des Deutschen Wetterdienstes; Lufttemperaturen in Hamburg, Düsseldorf, Dresden und München, 1997 bis 2006.
- [38] Wesche, K.; Baustoffe für tragende Bauteile, Teil 2, Beton und Mauerwerk, 3. Auflage, Wiesbaden und Berlin, 1993.
- [39] DIN 1048, Teil 5: Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper, 1991.
- [40] DIN 1048, Teil 2: Prüfverfahren für Beton; Festbeton in Bauwerken und Bauteilen, 1991.
- [41] DIN 51220, Werkstoffprüfmaschinen - Allgemeines zu Anforderungen an Werkstoffprüfmaschinen und zu deren Prüfung und Kalibrierung, 2003.
- [42] DIN EN 12504, Teil 2: Prüfung von Beton in Bauwerken - Teil 2: Zerstörungsfreie Prüfung; Bestimmung der Rückprallzahl, 2001.

- [43] RSA - Richtlinie für die Sicherheit an Arbeitsstellen 95, ZTV – SA 97, Verkehrssicherung an Baustellen, 1997.
- [44] Pohl, Schneider, Wormuth: Mauerwerksbau. Werner Verlag, 1996
- [45] Schachtrahmenregulierung mit ERGELIT, Qualitätssicherungs-Handbuch, Fa. Hermes Technologie GmbH & Co. KG.
- [46] Firminformation Ingenieurbüro VBT, Verarbeitungshinweise für den Mörtel Supralit Top.
- [47] Technisches Merkblatt; Verband deutscher Stahlfaserhersteller e.V.; Risse in Betonflächen; Datteln. 1999.
- [48] DAfStb-Richtlinie, Teil 1 bis Teil 4: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Instandsetzungsrichtlinie); Oktober 2001.
- [49] DIN 50014: Normalklimate, Klimate und ihre technische Anwendung. Juli 1985.
- [50] DIN 52450: Prüfung anorganischer nichtmetallischer Baustoffe; Bestimmung des Schwindens und Quellens an kleinen Probekörpern, 1985.
- [51] DIN EN 196, Teil 1: Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Festigkeit, 2005.
- [52] DIN 18555, Teil 2: Prüfung von Mörteln mit mineralischen Bindemitteln; Frischmörtel mit dichten Zuschlägen; Bestimmung der Konsistenz, der Rohdichte und des Luftgehalts, 1982.
- [53] DIN 1060, Teil 3 (Entwurf 1982): Baukalk; Physikalische Prüfverfahren.
- [54] DBV-Merkblatt Vergussmörtel; Merkblatt für die Anwendung von Werkgemischten Vergussmörtel, 2006.
- [55] DIN EN 196, Teil 3: Prüfverfahren für Zement; Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit, 2005.
- [56] Wittekind, W., Sulfatbeständige Zemente und ihr Prüfung.- Zement-Kalk-Gips 13 (1960). Nr.12, S. 565-572.
- [57] Koch, A.; Steinegger, H.: ein Schnellprüfverfahren für Zemente auf ihr Verhalten bei Sulfatangriff. Zement-Kalk-Gips (1990), Nr. 7, S. 317-324.
- [58] Einbau- und Bedienungsanleitung für VIATOP-Schachtabdeckungen, Saint-Gobain Gussrohr GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Dezember 2004
- [59] DIN 1048, Teil 1: Prüfverfahren für Beton; Frischbeton, 1991.
- [60] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 422: Prüfung von Beton, Empfehlungen und Hinweise als Ergänzung zur DIN 1048, Beuth Verlag GmbH. Ausgabe 1991.

**Anhang**

**Formblatt „Qualitätssicherung Schachtkopfmörtel auf der Baustelle“**

<b>1. Angaben zum Anwender</b>			
Name der bauauführenden Firma bzw. bauausführenden Betriebes:			
Anschrift der bauauführenden Firma bzw. bauausführenden Betriebes:	Straße, Hausnummer:		
	PLZ:		
	Ort:		
Liegt eine Zertifizierung des Betriebes vor?	ja:	<input type="checkbox"/>	Art der Zertifizierung:
	nein	<input type="checkbox"/>	
Anzahl der Mitarbeiter, die bei der Schachtkopfsanierung eingesetzt werden (Ausbau und Einbau)?			
berufliche Ausbildung der Mitarbeiter:			
Wurden die Mitarbeiter im Umgang mit Schachtkopfmörtel und anderen Bauteilen geschult?	ja	<input type="checkbox"/>	Von wem? (z.B. Mörtelhersteller)
	nein	<input type="checkbox"/>	
Welche Referenzen liegen vor?			

<b>2. Allgemeine Angaben zur Sanierungsmaßnahme</b>			
Schachtnummer laut Kanalkataster:		Datum:	
		Uhrzeit:	
Lage des Schachtes (Straße, Höhe Hsnr.,			
Sanierungsverfahren	<input type="checkbox"/>	Sanierung ohne Ausbau der Schachtabdeckung	
	<input type="checkbox"/>	Sanierung mit Ausbau der Schachtabdeckung	
	<input type="checkbox"/>	Sanierung mit Ausbau der Schachtabdeckung und darunter liegender Bauteile (Augleichsringe, Mauerwerk, etc.) im Schachtkopfbereich	
<b>3. Angaben zu den klimatische Randbedingungen</b>			
Außentemperatur [°C]		relative Luftfeuchte [%]	
Witterung (Niederschlag etc.)			

<b>4. Angaben zu den verwendeten Bauteilen im Schachtkopfbereich</b>					Schachtnummer:	
					Datum der Sanierung:	
<b>Schachtabdeckung</b>						
Lastklasse:		Hersteller:		Bezeichnung:		
Höhe:		Durchmesser:				
Werkstoff an der Unterseite des Schachtrahmens:	Beton:	<input type="checkbox"/>	Beschaffenheit der Unterseite des Schachtrahmens:	glatte Oberfläche:	<input type="checkbox"/>	
	Guss:	<input type="checkbox"/>		glatte Oberfläche mit Öffnungen:	<input type="checkbox"/>	
Schachrahmen mit Öffnungen, Flansch oder Steg zum Vermörteln:	ja	<input type="checkbox"/>		Verzahnung:	<input type="checkbox"/>	
	nein	<input type="checkbox"/>		Sonstiges:		
<b>Bauteile unterhalb der Schachtabdeckung:</b>						
Mauerwerk	<input type="checkbox"/>					
Schachtausgleichsringe AR-V nach DIN 4034 - 1	<input type="checkbox"/>	Höhe 6 cm (Stückzahl):				
		Höhe 8 cm (Stückzahl):				
		Höhe 10 cm (Stückzahl):				
<b>5. Angaben zur Untergrundvorbereitung</b>						
Sind lose und defekte Teile entfernt worden?		ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	
Art der Säuberung des Untergrundes:	mittels Wasserstrahl:		<input type="checkbox"/>			
	mittels Luftdruck:		<input type="checkbox"/>			
	mittels Handfeger:		<input type="checkbox"/>			
	Sonstiges:		<input type="checkbox"/>			
Erfolgte eine Vornässung des Untergrundes?		ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	
Erfolgte eine Vornässung der Bauteile?		ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	

<b>6. Angaben zum Mörtel</b>				Schachtnummer:	
				Datum der Sanierung:	
<b>Allgemeine Angaben</b>					
Mörtelart:	Vergussmörtel	<input type="checkbox"/>	plastischer Mörtel	<input type="checkbox"/>	
Mörtelhersteller:			Produktbezeichnung:		
Chargen-Nummer:			Herstelldatum:		
<b>Angaben zum Mischen und Verarbeiten</b>					
Mischungsverhältnis			Anzahl der Arbeitsgänge		
verwendetes Mischwerkzeug					
<b>1. Arbeitsgang</b>					
Menge des verwendeten Mörtel [kg]			Mischdauer		
Menge des Anmachwassers [l]			Verarbeitungsdauer		
<b>2. Arbeitsgang</b>					
Menge des verwendeten Mörtel [kg]			Mischdauer		
Menge des Anmachwassers [l]			Verarbeitungsdauer		
<b>3. Arbeitsgang</b>					
Menge des verwendeten Mörtel [kg]			Mischdauer		
Menge des Anmachwassers [l]			Verarbeitungsdauer		
<b>4. Arbeitsgang</b>					
Menge des verwendeten Mörtel [kg]			Mischdauer		
Menge des Anmachwassers [l]			Verarbeitungsdauer		
<b>5. Arbeitsgang</b>					
Menge des verwendeten Mörtel [kg]			Mischdauer		
Menge des Anmachwassers [l]			Verarbeitungsdauer		
<b>Angaben zur Anordnung des Mörtels</b>					
Mörtelfuge zwischen Schachtrahmen und Ausgleichsring/Mauerwerk	<input type="checkbox"/>	Höhe der Mörtelfuge (Schichtdicke) [mm]:			
Mörtelfuge zwischen Ausgleichsringen	<input type="checkbox"/>	Anzahl der Fugen			
		Schichtdicke Mörtelfuge 1 [mm]:			
		Schichtdicke Mörtelfuge 2 [mm]:			
		Schichtdicke Mörtelfuge 3 [mm]:			
Mörtelfuge zwischen Ausgleichsring und Schachtkonus	<input type="checkbox"/>	Höhe der Mörtelfuge (Schichtdicke) [mm]:			
Ringraumverfüllung (Arbeitsraumverguss) mit Mörtel	<input type="checkbox"/>	Breite [mm]:		senkrechter Ausbau:	<input type="checkbox"/>
		Höhe [mm]:		konischer Ausbau:	<input type="checkbox"/>
Mörtelbett für eine Umpflasterung	<input type="checkbox"/>	Breite [mm]:			
		Höhe [mm]:			
Mörtelfuge zwischen Schachtrahmen und Schachtkonus	<input type="checkbox"/>	Höhe der Mörtelfuge (Schichtdicke) [mm]:			

<b>7. Angaben zur Nachbehandlung</b>				Schachtnummer:		
				Datum der Sanierung:		
Wurde eine Nachbehandlung des Mörtels durchgeführt?	ja	<input type="checkbox"/>	Art:		Dauer [min]:	
	nein	<input type="checkbox"/>				
<b>8. Angaben zur Verkehrsfreigabe</b>						
Zeitraum zwischen Fertigstellung des Schachtkopfes und Verkehrsfreigabe [min]:						

<b>9. Prüfung des Mörtels und Probenentnahme</b>				Schachtnummer:	
				Datum der Sanierung:	
<b>Prüfung des Frischmörtels auf Verarbeitbarkeit</b>					
Sind Entmischungen im Mörtel erkennbar?	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	
Ausbreitmaß (mittels Haegerman-Tisch, DIN 1048, Teil1) in [cm]:					
<b>Prüfung des verarbeiteten Mörtels</b>					
Sind Risse erkennbar?	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>	
Sonstige Auffälligkeiten erkennbar?	ja	<input type="checkbox"/>			
	nein	<input type="checkbox"/>			
<b>Probennahme</b>					
Außentemperatur [°C]		relative Luftfeuchte [%]			
Anzahl entnommener Serien für Druck- und Biegezugfestigkeiten (Mörtelprismen 40x40x160 mm):					
Anzahl entnommener Serien für Quell- u. Schwindmessungen (Mörtelprismen 40x40x160 mm, inkl. Messzapfen):					