Institut für

Unterirdische Infrastruktur

Bundesweite Umfrage zur

Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik mittels Beschichtungsverfahren

WISSENSCHAFTLICHE LEITUNG

Dr.-Ing. B. Bosseler

PROJEKTLEITUNG UND BEARBEITUNG

Dipl.-Ing. D. Homann

Dipl.-Ing. G. Kaltenhäuser

Auftragnehmer:

Institut für Unterirdische Infrastruktur
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Auftraggeber:

Ministerium für
Umwelt und **Naturschutz,**
Landwirtschaft und **Verbraucherschutz**
des Landes NRW

Gelsenkirchen, Juli 2001

INHALTSVERZEICHNIS ..... SEITE

1 VERANLASSUNG UND ZIELSTELLUNG 1

2 BUNDESWEITE UMFRAGE BEI NETZBETREIBERN 3

2.1 VORGEHENSWEISE 3

2.2 AUSWERTUNG DER ERMITTELTEN DATEN 4

2.3 EINSATZMÖGLICHKEITEN UND INVESTITIONEN FÜR SCHACHTBESCHICHTUNGEN 8

3 ZUR SCHACHTSANIERUNG EINGESETZTE BESCHICHTUNGSMATERIALIEN UND -VERFAHREN 11

3.1 BESCHICHTUNGSMATERIALIEN 11

3.2 BESCHICHTUNGSVERFAHREN 17

4 DOKUMENTATION UND BEWERTUNG AUSGEFÜHRTER SANIERUNGSBEISPIELE 23

4.1 ERFAHRUNGEN DER NETZBETREIBER MIT BESCHICHTUNGSVERFAHREN 23

4.2 SCHADENSARTEN FÜR DIE ANWENDUNG VON SCHACHTBESCHICHTUNGEN 26

4.3 ZUSTANDSKLASSEN VON SCHACHTBESCHICHTUNGEN 30

4.3.1 Beschichtungen aus mineralischem Mörtel 31

4.3.1.1 Beschichtungen ohne sichtbare Mängel 31

4.3.1.2 Beschichtungen mit sichtbaren Mängeln 32

4.3.2 Beschichtungen aus Polyurethan 41

4.3.2.1 Beschichtungen ohne sichtbare Mängel 41

4.3.2.2 Beschichtungen mit sichtbaren Mängeln 42

5 SCHLUSSFOLGERUNGEN/ZUSAMMENFASSUNG 45

6 LITERATUR 47

1 Veranlassung und Zielstellung

Bezogen auf die Gesamtlänge der öffentlichen Abwasserkanäle und unter Zugrundelegung üblicher Schachtabstände von 50 m kann die Gesamtzahl der Schächte in öffentlichen Verkehrsflächen der Bundesrepublik Deutschland auf ca.10 Mio. geschätzt werden.

Als einziger Zugang zum Kanalisationssystem dienen Schächte der Kontrolle, Reinigung und Sanierung der Kanäle sowie insbesondere der Belüftung des Abwassers auf seinem Weg zur Kläranlage.

Untersuchungen in der Stadt Düsseldorf [1] haben gezeigt, dass in Bereichen des Kanalnetzes, in denen keine Schächte vorhanden bzw. deren Abstände sehr groß sind, erhebliche Mengen an Schwefelwasserstoff aus dem Abwasser freigesetzt werden und somit die Entstehung biogener Schwefelsäure mit den bekannten Folgen der Betonkorrosion möglich wird. Darüber hinaus verschlechtert sich die Qualität des Abwassers erheblich, was dann zu einem erhöhten Aufwand für die Abwasserreinigung führt. Schächte sind folglich ein unverzichtbarer Bestandteil unseres Abwassernetzes und müssen von den Betreibern in einem funktionsfähigen Zustand erhalten werden.

Mit Inkrafttreten der „Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitungen von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal – SüwVKan [2]) am 1. Januar 1996 wurden die Kanalnetzbetreiber in Nordrhein-Westfalen verpflichtet, den baulichen und betrieblichen Zustand ihres Kanalnetzes sowie der mit diesem verbundenen Bauwerken der Ortsentwässerung bis spätestens zum 31.12.2005 erstmalig vollständig festzustellen. In Abhängigkeit des Inspektionsergebnisses sind dann entsprechende Betriebs- und Unterhaltungsmaßnahmen zu treffen, die in dem Runderlass [3] des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen vom 03.01.1995 vorgegeben werden. Bei Undichtigkeiten am Schachtkörper und bei schadhaftem Allgemeinzustand des Schachtes wird die Abdichtung und Instandsetzung gefordert. Hierzu bieten sich Beschichtungsverfahren an, die in vielen Fällen eine kostengünstige Alternative zur Erneuerung der schadhaften Schächte darstellen.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Bei den Netzbetreibern bestehen allerdings zum Teil Bedenken am Erfolg dieser Verfahren und der Dauerhaftigkeit der eingesetzten Materialien. Abgesehen von Firmenangaben stehen keine zuverlässigen Informationen zur Verfügung. Da Erfahrungen mit dem Einsatz von Beschichtungsverfahren bis heute nicht erhoben wurden, fehlen sichere Beurteilungskriterien und Prüfverfahren zur Bewertung von Beschichtungsverfahren für Schächte unter Betriebsbedingungen.

Vor diesem Hintergrund hat das Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalens das IKT - Institut für unterirdische Infrastruktur mit der Erstellung einer „Bundesweiten Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik mittels Beschichtungsverfahren“ beauftragt.

Ziel der Umfrage ist es, eine Übersicht über vorliegende praktische Erfahrungen im Bereich der Schachtsanierung mit Beschichtungsverfahren zu gewinnen, anhand derer festgestellt werden kann, ob die heute verfügbaren Beschichtungsverfahren

- zur Schachtsanierung grundsätzlich anwendbar sind,
- hinsichtlich ihrer Einsatzvoraussetzungen noch weiter zu prüfen sind. Dies betrifft insbesondere die Dichtheit unter Außenwasserdruck und die Dauerhaftigkeit unter Vekehrslasten.

Darüber hinaus soll mit dieser Studie der tatsächliche Anwendungsumfang und der zukünftige Bedarf von Beschichtungsverfahren für die Sanierung von Schächten in den Städten und Gemeinden in Nordrhein-Westfalen sowie in den übrigen Bundesländern erfaßt werden.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2 Bundesweite Umfrage bei Netzbetreibern

2.1 Vorgehensweise

Im gesamten Bundesgebiet wurden alle Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern in den 13 Bundesländern sowie den 3 Stadtstaaten nach ihren Erfahrungen mit Schachtbeschichtungen befragt. In einigen Bundesländern, wie z.B. in Brandenburg, in denen es keine oder nur sehr wenige Städte mit 100.000 Einwohnern gibt, wurden auch Städte mit weniger Einwohnern berücksichtigt. Kleinstädte und Gemeinden, von denen bekannt war, daß Beschichtungsverfahren angewandt werden, sind ebenfalls in die Studie einbezogen worden.

Insgesamt nahmen 94 Netzbetreiber, die das Abwasser von 25 Millionen Einwohnern entsorgen, an der Befragung teil. Die Summe der Kanalnetzlängen beträgt mehr als 100.000 Kilometer und repräsentiert nahezu ein Viertel der gesamten öffentlichen Kanäle im Bundesgebiet. Von den befragten Netzbetreibern sind ca. 2,5 Mio Schächte instand zuhalten.

Um neben den bisherigen Erfahrungen auch gleichzeitig den zukünftigen Bedarf für die Sanierung von Schächten mit Beschichtungsverfahren zu ermitteln, wurden die nachfolgenden Daten für jeden Netzbetreiber zusammengetragen:

- Anzahl bereits beschichteter Schächte,
- Alter, Werkstoff (mineralischer Mörtel bzw. Polyurethan) und Aufbringungsverfahren (Anschleuder- bzw. Aufspritzverfahren),
- Alter, Werkstoff, Randbedingungen und Schadensbild der Schächte vor der Sanierung,
- Anzahl der geplanten Schachtbeschichtungen für den verbleibenden Zeitraum im Jahr 2001,
- Einsatzmöglichkeiten für die Schachtsanierung mit Beschichtungsverfahren für die nächsten 15 Jahre,
- Bestehende Erfahrungen mit dem Einsatz von Beschichtungsverfahren zur Schachtsanierung und Bewertung der bisher ausgeführten Beschichtungen (sind die Sanierungsergebnisse zufriedenstellend oder gibt es Vorbehalte gegenüber der Anwendung aufgrund von Misserfolgen).

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Für die statistische Auswertung der angegebenen Informationen zu den Schachtsanierungen mit Beschichtungsverfahren wurde bei den Netzbetreibern weiterhin die Einwohnerzahl, die Länge des Kanalnetzes sowie die Gesamtzahl der Schächte erfragt.

Parallel zu der Befragung wurden Ortstermine bei Netzbetreibern zur Inspektion ausgeführter Schachtbeschichtungen vereinbart. Um ein ausgewogenes Bild über bereits durchgeführte Schachtsanierungen mit Beschichtungsverfahren zu erhalten, wurden sowohl zufriedenstellende Sanierungsergebnisse als auch Mißerfolge bzw. Schäden an Beschichtungen ausgewählt. Als Ergebnis der Ortstermine liegt eine Übersicht über die Schadensarten der Schächte vor der Sanierung sowie über die vorgefundenen Zustandsklassen von Beschichtungen vor, die im Abschnitt 4.2 und 4.3 dargestellt werden.

2.2 Auswertung der ermittelten Daten

Mit steigender Tendenz läßt bereits ein gutes Drittel aller befragten Netzbetreiber Schachtbeschichtungen ausführen. Es konnten 35 Netzbetreiber recherchiert werden, die bereits über erste praktische Erfahrungen mit Schachtsanierungen durch Beschichtungsverfahren verfügen. Im Regelfall ließen die Betreiber zunächst bis zu maximal 15 Schachtbeschichtungen innerhalb der letzten zwei Jahre von Sanierungsfirmen ausführen.

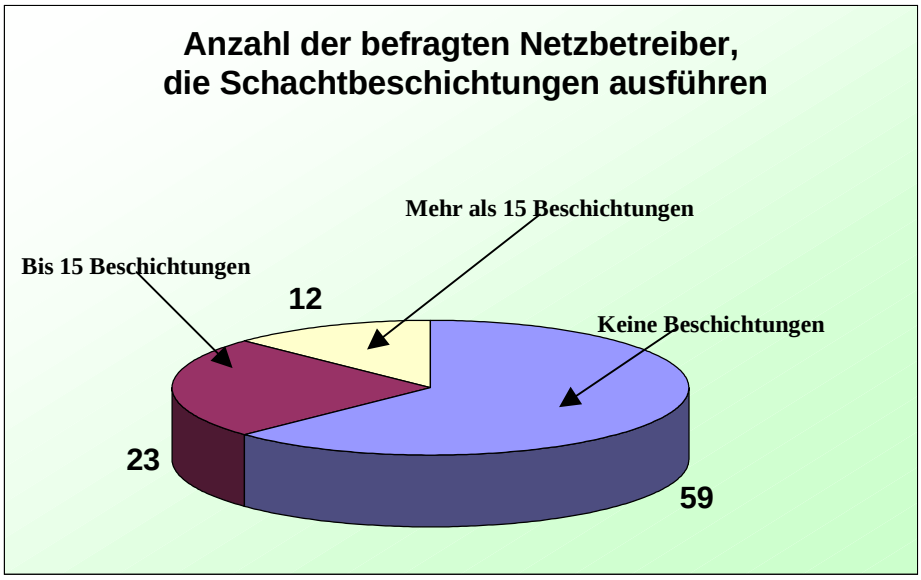


Bild 1: Anzahl der Netzbetreiber, die Schachtbeschichtungen ausführen

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Ursache für die geringe Anzahl der Maßnahmen war nach Angaben der Netzbetreiber in vielen Fällen, daß man zunächst einen Eindruck über die Funktionsfähigkeit der Verfahren und die Eignung der eingesetzten Materialien gewinnen wollte. In der Regel wird bei diesen Netzbetreibern der Erfolg der ausgeführten Sanierung mit Beschichtungsverfahren abgewartet, um auf dieser Basis die Investitionsentscheidung für weiter Maßnahmen zu treffen. Es konnten jedoch auch 12 Betreiber ermittelt werden, die bereits einen Schritt weiter gegangen sind und aufgrund positiver Erfahrungen im größeren Umfang Schachtbeschichtungen ausführen lassen.

Insgesamt wurden 551 ausgeführte Maßnahmen von den Netzbetreibern benannt. Mit 69 % nehmen die Beschichtungen von gemauerten Schächten den weitaus größten Anteil an den ausgeführten Maßnahmen ein, im Vergleich zu den Schächte aus Betonfertigteilen mit einem Anteil von 31 % (Bild 2).

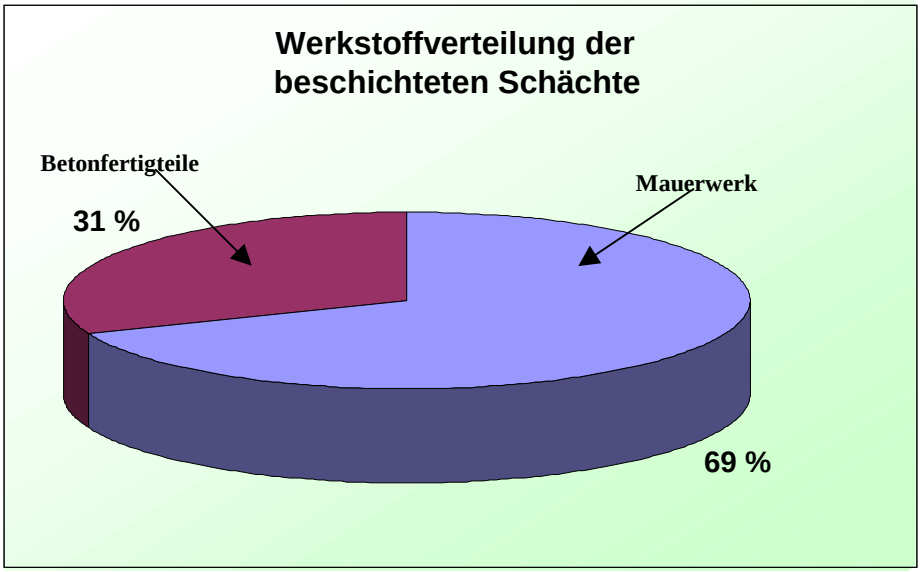


Bild 2: Werkstoffverteilung der beschichteten Schächte

Mehr als ein Drittel der Netzbetreiber, die eigene Erfahrungen mit Schachtbeschichtungen gesammelt haben, planen noch weitere Beschichtungsmaßnahmen für das Jahr 2001. Bis Ende dieses Jahres werden bei den befragten Netzbetreibern noch weitere 252 Schachtbeschichtungen ausgeführt, so daß sich allein in diesem Zeitraum die Anzahl der beschichteten Schächte um 46 % erhöhen wird.

Etwa die Hälfte der bisher ausgeführten Schachtbeschichtungen wurde erst in den zurückliegenden ein bis zwei Jahren ausgeführt. Mehr als 80 % der ausgeführten

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Beschichtungsmaßnahmen ist nicht älter als 5 Jahre, so daß die Frist zur Anmeldung von Gewährleistungsansprüchen im Schadensfall, die bei öffentlichen Ausschreibungen im Regelfall 5 Jahre beträgt, noch nicht überschritten ist. Lediglich 17 % der Beschichtungen in Schächten der öffentlichen Kanalisation ist bereits seit mehr als 5 Jahren den Betriebsbedingungen ausgesetzt (Bild 3).

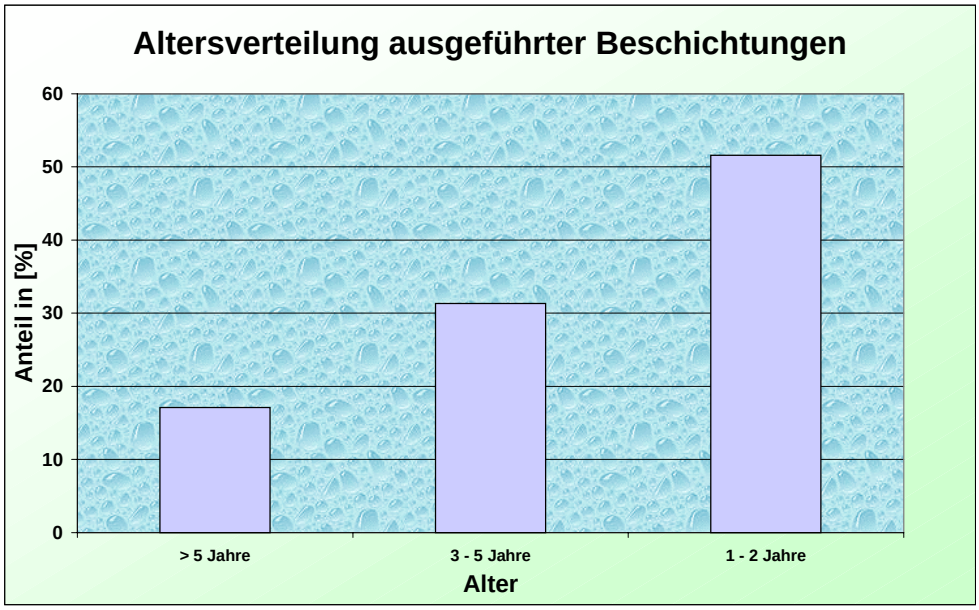


Bild 3: Altersverteilung der ausgeführten Beschichtungen

Ein Kontrolle des Sanierungserfolgs in Form von Dichtheitsprüfungen gemäß ATV-M 143, T. 6 [4] oder DIN EN 1610 [5] nach Abschluß der Sanierungsarbeiten oder nach Ablauf der Gewährleistungsfrist wird nur von 10 % der Netzbetreiber ausgeführt. 28 % geben sich mit einer optischen Kontrolle der Dichtheit zufrieden, obwohl bekannt ist, daß mit dieser Vorgehensweise lediglich Undichtigkeiten mit sichtbar eindringendem Grundwasser zu erkennen sind und ein zuverlässiger Nachweis der Dichtheit auf diesem Wege nicht möglich ist. Der weitaus größte Teil der Netzbetreiber (62%) verzichtet vollständig auf eine Überprüfung der Dichtheit von beschichteten Schächten (Bild 4).

Der geringe Umfang der Dichtheitsprüfung an beschichteten Schächten macht deutlich, daß die Aussagen der Netzbetreiber über vorliegende praktische Erfahrungen stark von subjektiven Eindrücken geprägt sind. Nachvollziehbare Kriterien für den Nachweis des Sanierungserfolges liegen in den meisten Fällen nicht vor.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

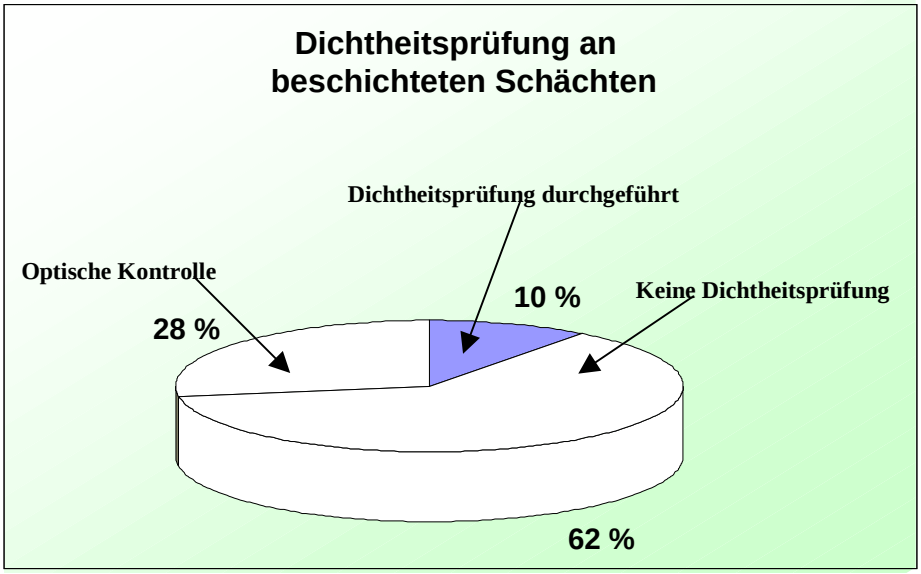


Bild 4: Ausgeführte Dichtheitsprüfungen an beschichteten Schächten

Die Altersverteilung sowie die in vielen Fällen geringe Anzahl der Schachtbeschichtungen von lediglich 15 Schächten je Netzbetreiber zeigt, daß sich der Markt für Beschichtungsverfahren in Schächten der öffentlichen Kanalisation noch in einer Startphase befindet. Hinzu kommt, daß die Netzbetreiber nur in wenigen Ausnahmefällen eine Überprüfung des Sanierungserfolges mit Hilfe von Dichtheitsprüfungen vorgenommen haben. Die Bewertung der Funktionsfähigkeit und Eignung von Verfahren und Materialien beruht daher auf optischen Eindrücken und subjektiven Einschätzungen der vor Ort tätigen Mitarbeiter. Eine stichhaltige Begründung für oder gegen die Anwendung von Beschichtungsverfahren ist auf der Basis des Datenmaterials, das den Netzbetreibern bis zum heutigen Zeitpunkt vorliegt, daher nicht möglich.

Knapp zwei Drittel der befragten Netzbetreiber hat nur wenig Kenntnisse und keinerlei Erfahrung mit diesem Schachtsanierungsverfahren. In der Befragung dieser Gruppe zeigte sich jedoch ein großes Interesse an kostengünstigen Sanierungsmöglichkeiten für Schächte. Den Betreibern fehlen jedoch Nachweise über die Einsatzmöglichkeiten und die Eignung der Beschichtungsverfahren.

Die nachfolgend dargestellte Tabelle 1 zeigt die im Rahmen dieser Umfrage ermittelten Daten der einzelnen Netzbetreiber noch einmal in einer Übersicht.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2.3 Einsatzmöglichkeiten und Investitionen für Schachtbeschichtungen

Eine Entscheidung für die Anwendung eines Sanierungsverfahren als Alternative zur Erneuerung eines Schachtes kann erst bei der konkreten Planung einer Baumaßnahme in Abhängigkeit der dann definierten Randbedingungen und aktuellen finanziellen Situation für den Einzelfall getroffen werden. Infolgedessen ist der Anwendungsbedarf für Beschichtungsverfahren zur Schachtsanierung mehrere Jahre im voraus nicht bekannt. Im Rahmen dieser Studie wurde daher nicht der konkrete Anwendungsbedarf sondern die aufgrund der vorliegenden Schäden realisierbare Einsatzmöglichkeit für Beschichtungsverfahren durch Befragung der Netzbetreiber abgeschätzt.

Auf die Frage, wie viele Schächte im Entwässerungsnetz ein Schadensbild aufweisen, das die Sanierung mittels Beschichtungsverfahren in geeigneter Weise zuläßt, konnten insgesamt 20 % der Netzbetreiber eine Auskunft geben. Von den insgesamt 527.380 Schächten in ihrem Zuständigkeitsbereich sind nach eignen Angaben 63.365 (12%) in einer Form geschädigt, dass eine Sanierung mittels Beschichtungsverfahren in Frage kommt.

Überträgt man die Schadensquote von 12 % auf das gesamte Bundesgebiet (ca. 10 Mio. Schächte), ist von einer Einsatzmöglichkeit bei 1,2 Mio. Schächten auszugehen. Das auf Basis dieser Zahlen resultierende Investitionsvolumen für Schachtbeschichtungen in der Bundesrepublik Deutschland wird nachfolgend ermittelt.

Investitionen für Schachtbeschichtungen

Die Kosten für die Ausführung der Schachtbeschichtung mit mineralischem Mörtel, einschließlich Erneuerung der Gerinne und Bankette sowie Entfernung alter und Einbau neuer Steigeisen, kann mit 1.000,- DM je Meter Schachttiefe abgeschätzt werden. Hierin nicht enthalten sind die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Gerinne und Bankette, die zusätzlich mit ca. 1000,- DM je Schacht angesetzt werden können. Für einen Schacht von 3,5 m Tiefe ergeben sich auf der Basis der genannten Schätzpreise Kosten für eine Sanierung mittels Beschichtungsverfahren, einschließlich Erneuerung der Gerinne und Bankette, in Höhe von 4.500,- DM. Für o. a. Einsatzmöglichkeiten von Beschichtungsverfahren (12% aller Schächte) ergibt sich somit ein Investitionsvolumen von **5,4 Mrd. DM**.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Aufgrund der gesetzlichen Fristen, die in den Eigenkontrollverordnungen der Länder - in Nordrhein Westfalen in der SüwVKan - angegeben sind, kann davon ausgegangen werden, daß alle im Bereich des Schachtkörpers schadhaften Schächte in dem Zeitraum bis 2015 saniert werden. Unter Zugrundelegung der o.a. 5,4 Mrd. DM würden die zu erwartenden Investitionen für Schachtsanierungen mit Beschichtungsverfahren für diesen Zeitraum ca. **400 Mio. DM/a** betragen.

In der BDE Studie [6] werden, bezogen auf den Zeitraum bis 2015, die gesamten Sanierungskosten im Bereich der öffentlichen Kanalisation in Höhe von 2,6 Mrd. DM/a (mittlere Schätzung) angegeben (s.a. Tabelle 2). Der Anteil für das Investitionsvolumen für die Schachtsanierung mit Beschichtungsverfahren beläuft sich somit auf **15 %** der prognostizierten jährlichen Investitionen für die Sanierung der öffentlichen Kanalisation in der Bundesrepublik Deutschland. Hierbei handelt es sich um eine konservative Schätzung, da für die alternativ mögliche Erneuerung der Schächte in der Regel höhere Investitionskosten erforderlich sind.

Tabelle 2: Investitionen im Bereich der öffentlichen Kanalisation 1996 bis 2015 für die Sanierung [6]

Kanalisationen	Bedarf in Km/a			Investitionskosten in Mrd. DM/a		
	1996 bis 2015			1996 bis 2015		
	Min	Max	mittel	min	Max	mittel
Reparatur	247	494	371	0,12	0,25	0,19
Renovierung	247	494	371	0,37	0,74	0,56
Erneuerung	494	988	741	1,24	2,47	1,86
Summe	988	1.976	1.482	1,73	3,46	2,60

Für eine Abschätzung der bisher getätigten Investitionen für die Schachtbeschichtung wird zunächst die Anzahl der bis Ende 2001 bei den befragten Netzbetreibern ausgeführten Maßnahmen auf alle Netzbetreiber in Deutschland hochgerechnet. Dies führt zu bundesweit 3.200 ausgeführten Beschichtungsmaßnahmen in Schächten. Unter Zugrundelegung der o.a. Kosten von 4.500,- DM je Schacht belaufen sich die bisher getätigten Investitionen somit auf 14.400.000 DM. Das entspricht lediglich einem Anteil von 0,26 % des

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Investitionsvolumens für die von den Betreibern erwarteten Einsatzmöglichkeiten der Schachtbeschichtungen.

Vergleicht man die zu erwartenden Investitionen für die Schachtbeschichtung mit den bis zum heutigen Zeitpunkt bei den befragten Netzbetreibern getätigten Investitionen in Höhe von 14.400.000 DM bzw. einem Anteil von 0,26% der zu erwartenden Investitionen, so wird noch einmal deutlich, daß sich der Markt für Beschichtungsverfahren erst in einer Startphase befindet.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

3 Zur Schachtsanierung eingesetzte Beschichtungsmaterialien und -verfahren

Bei Beschichtungsverfahren wird ein spezielles Beschichtungsmaterial auf die Schachtinnenwandung aufgebracht und erhärtet dort zu einer in sich zusammenhängenden Schicht. In Schächten der Ortsentwässerung dient die Beschichtung der Wiederherstellung der Wasserdichtheit und des Widerstandsvermögens gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion.

In einigen Fällen wird auch die statische Tragfähigkeit des Schachtbauwerkes durch eine Beschichtung mit mineralischem Mörtel wiederhergestellt. Dies ist insbesondere bei Schächten aus korrodiertem Mauerwerk der Fall, wo bereits durch das Füllen der Fugen und der fehlenden Klinker mit Beschichtungsmörtel die Tragfähigkeit des Schachtes, im Vergleich zum geschädigten Zustand, erhöht wird.

3.1 Beschichtungsmaterialien

Aufgrund der speziellen Beanspruchungen von Beschichtungen kommen für Sanierungszwecke in Schächten auch heute noch vorwiegend Mörtelbeschichtungen zum Einsatz. Daneben werden seit einigen Jahren auch vermehrt organische filmbildende Beschichtungen aus Polyurethan in Schächten eingesetzt. Die im Rahmen der bundesweiten Umfrage ermittelten Anteile dieser beiden Beschichtungsmaterialien an den ausgeführten Schachtbeschichtungen zeigt Bild 5.

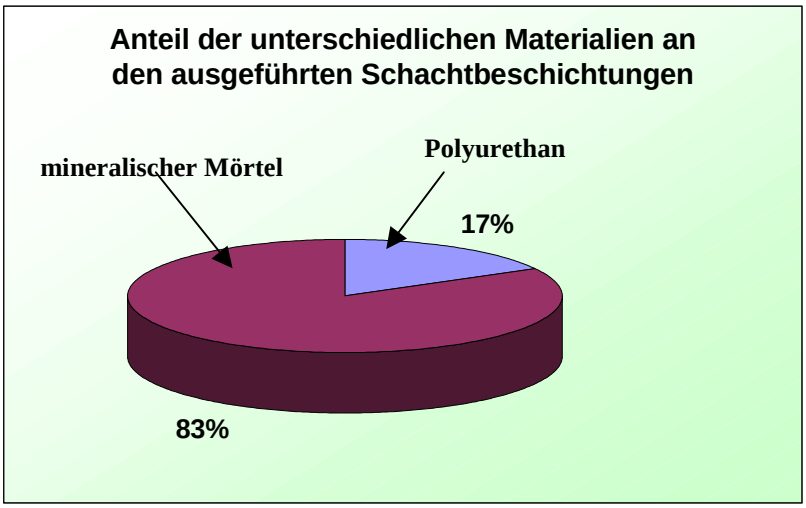


Bild 5: Anteile der Beschichtungsmaterialien an den ausgeführten Schachtbeschichtungen

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Filmbildende Beschichtungen können aus einer oder mehreren Schichten bestehen, die jeweils eine Dicke zwischen 0,1 mm und 0,3 mm besitzen. Art und Anzahl der einzelnen Schutzschichten richten sich nach der Schutzfunktion, die sich aus den Anforderungen und Beanspruchungen ergeben [7]. Filmbildende Beschichtungen werden ausschließlichen aus organischen Materialien hergestellt (z.B. Epoxidharze, Polyurethane, etc.). Von diesen Materialien wird für die Schachtbeschichtungen heute fast ausschließlich **Polyurethan** verwendet.

Die heute eingesetzten Polyurethansysteme bestehen aus den beiden Rohstoffkomponenten Polyisocyanaten und Polyolen. Ihre Verarbeitung kann auf Niederdruck- oder Hochdruckspritzmaschinen bei Raumtemperatur erfolgen, wobei die hohe Thixotropie der Reaktionsmischung ein Abfließen des Polyurethans unmittelbar nach dem Aufspritzen verhindert. Die zur Sanierung von Schächten konzipierte Zweikomponenten-Spritzanlage zeichnet sich durch einen verhältnismäßig kleinen, gut handhabbaren Mischkopf aus, in dem beide Komponenten vor Austritt aus der Düse vermischt werden. Das Zweikomponenten-Polyurethan besitzt eine hohe Reaktivität, so das in wenigen Minuten nach dem Aufspritzen bereits ein geschlossener Film vorliegt. [8]

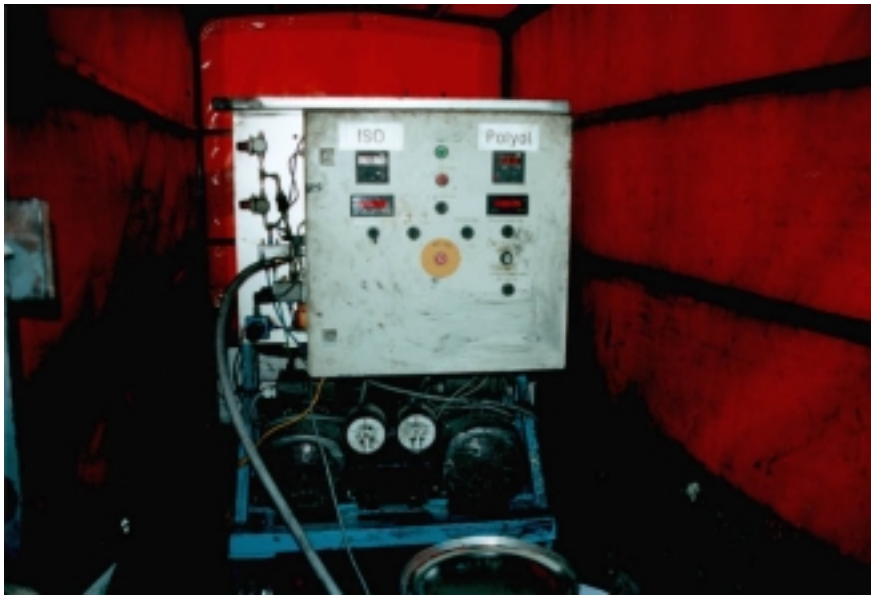


Bild 6: Auf einen PKW-Anhänger montierte Verarbeitungsmaschine MPS 20 für 2-Komponenten Polyurethansysteme [18]

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Nach Herstellerangaben können die wesentlichen Merkmale einer Polyurethan-beschichtung wie folgt zusammengefasst werden [8]:

- kurze Fertigungszeit durch hohe Reaktivität des Materials (Aushärtezeit wenige Minuten),
- gute Haftung auf Beton,
- Temperaturbeständigkeit,
- chemische Beständigkeit gegen saure und basische Medien,
- Witterungsbeständigkeit,
- hoher Wasserdampfdiffusionswiderstand und Wasserundurchlässigkeit,
- hohe Steifigkeit und Schlagzähigkeit.

Nahezu alle heute eingesetzten Polyurethane reagieren im nicht ausgehärteten Zustand, also während des Auftragens bis zum Abschluß des Abbindeprozesses, mit Wasser. Dies führt zu Blasenbildung und Aufschäumen des Polyurethans mit der Folge, daß kein Verbund zum Untergrund entsteht. Aus diesem Grund muß vor dem Auftragen eines Polyurethans immer die Feuchtigkeit des Untergrundes, z.B. mit einem CM-Gerät, bis in ca. 2 cm Tiefe gemessen werden. Die Untergrundfeuchtigkeit darf für die heute verwendeten Polyurethane in Abhängigkeit des verwendeten Systems nicht über 2 bis 8 % liegen.

Die in Schächten zur Beschichtung eingesetzten **mineralischen Mörtelsysteme** sind heute in der Regel kunststoffmodifiziert und werden als Trockenmörtel, z.B. in Säcken, auf die Baustelle geliefert, wo sie in der Regel nur noch mit Wasser unter Beachtung der vorgegebenen Mischzeit angemischt werden müssen. Die Verarbeitungszeit auf der Baustelle beträgt in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur, Wassergehalt und Förderdruck zwischen 30 und 45 Minuten. Die heute verwendeten Mörtelsysteme zeichnen sich aus durch ihre hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber einem starken chemischen Angriff. Nach Herstellerangaben sind pH-Bereiche angreifender Medien zwischen pH 3 und pH 11 langzeitig ohne schädigende Auswirkungen auf den Mörtel. Bei einem kurzzeitigen Angriff liegt der Bereich sogar zwischen pH 1 und 14 [9]. Wie bei allen mineralischen Mörteln muß der Untergrund vor dem Auftragen mattfeucht vorgenäßt werden. Darüber hinaus ist auch in Schächten eine mörtelübliche Nachbehandlung notwendig, um die gewünschte Mörtelqualität zu erzielen. Bereits 4 Stunden (bei

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

10°C) nach Verarbeitung des Mörtels darf das Abwasser wieder die Beschichtung belasten.

Der Richtwert für die kleinste Schichtdicke von Mörtelbeschichtungen beträgt nach [10] 5 mm für reaktionsharzgebundene Mörtel, 10 mm für kunststoffmodifizierte Mörtel und 20 mm für zementgebundene Mörtel. Die Schichtdicke sollte außerdem mindestens dem dreifachen Größtkorndurchmesser entsprechen.

Belastungen auf Beschichtungen

In Abhängigkeit von der Konstruktion sind für **organische filmbildende Beschichtungen** in Schächten folgende Beanspruchungen maßgeblich [11]:

- Osmotischer Druck hinter der Beschichtung bedingt durch das Bestreben zum Konzentrationsausgleich wasserlöslicher Substanzen sowie Diffusionsvorgänge von Schwefelwasserstoff mit Zerstörung der Beschichtung oder des Beschichtungsträgers durch Korrosion.
- Diffusionsvorgänge von Wasser mit verhältnismäßig geringen Drücken auf gering durchlässige oder dichte Beschichtungen. Maximal kann der hydrostatische Wasserdruck anstehen.
- Kapillardruck durch kapillaren Wassertransport in den Porenräumen des beschichteten Betons.

Zahlreiche vorliegende Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Beanspruchung durch osmotischen Druck in organischen Beschichtungen zur Bildungen zahlreicher kleiner Bläschen führen kann [12]. Dieses Schadensbild tritt allerdings vorwiegend bei sehr dünnen Beschichtungen auf und konnte im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen an Polyurethanbeschichtungen in Schächten, mit den dort üblichen Schichtdicken von mindestens ca. 1 mm, nicht festgestellt werden.

Neben den o.a. angeführten Beanspruchungen kann durch filmbildende Beschichtungen die Wasserdampfdurchlässigkeit des Untergrundes (Schachtwand) je nach Schichtdicke und Bindemittelart des Beschichtungssystems reduziert werden, d.h. Beschichtungen können einen nennenswerten Diffusionswiderstand gegen Wasserdampf besitzen. Hierdurch können u.U., je nach Ausbildung der

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

örtlichen Beanspruchungen infolge Feuchtigkeit, folgende Schadensmechanismen ausgelöst werden:

- Wasseranreicherung in der oberflächennahen Zone unmittelbar hinter der Beschichtung (Bildung wassergefüllter Blasen)
- Aufbau von gas- oder flüssigkeitsförmigem Druck aus der Schachtwand, der bei unzureichender Adhäsion zu Ablösungen der Beschichtung führen kann.

Bei Beschichtungen auf Zementbasis treten aufgrund ihres porösen Gefüges und ihrer Eigensteifigkeit derartige Belastungen nicht auf.

Die an Beschichtungsstoffe für **Mörtelbeschichtungen** zu stellenden Anforderungen richten sich nach den im Einzelfall zu erwartenden Beanspruchungen. Dabei ist immer zu trennen nach

- Beanspruchungen der Mörtelbeschichtung selbst (durch physikalischen, chemischen, biologischen oder biochemischen Angriff) und
- Beanspruchungen des Verbundsystems aus Mörtelbeschichtung und Untergrund, (in der Regel durch Eigenspannungen, z.B. infolge von Schwinden).

Die Beanspruchungen treten in der Praxis nicht einzeln, sondern in zeitlich veränderlichen Überlagerungen auf.

Die Dauerhaftigkeit von Mörtelbeschichtungen wird in den meisten Fällen begrenzt durch Adhäsionsversagen. Die Haftzone zum Untergrund wird durch Scherspannungen und Abreißzugspannungen (Schälspannungen) beansprucht, wobei die folgenden Einwirkungen dominieren (s.a. Bild 7):

- Schwinden des Beschichtungsmörtels
- Temperaturwechsel (jahreszeitliche Schwankungen, Heißwassereinleitung)
- Rißbewegung im Untergrund z.B. infolge dynamischer Beanspruchungen durch Verkehrslasten.

Die Adhäsionsfestigkeit kann dabei stark beeinträchtigt werden durch

- chemischen Angriff (biogene Schwefelsäurekorrosion)
- Feuchtigkeitszutritt aus dem Untergrund.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

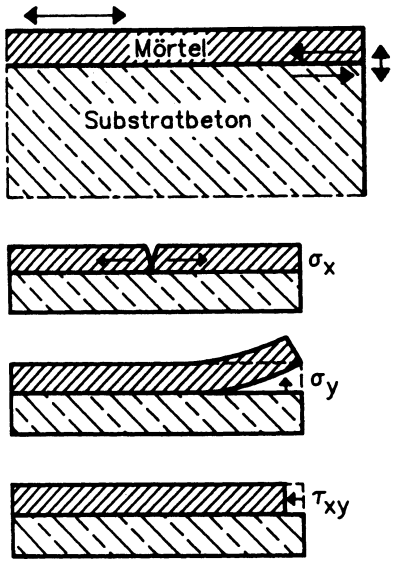


Bild 7: Versagensarten einer Mörtelbeschichtung auf einem Betonuntergrund infolge von Eigenspannungen aus Temperaturänderung und Schwinden

Bei allen Beschichtungsarbeiten kommt dem Untergrund und seiner Beschaffenheit eine wesentliche Bedeutung zu. Er muß z.B. Spannungen aus dem Schwinden der Beschichtungsstoffe und nach deren Aushärtung auch Eigenspannungen im Beschichtungssystem aus Temperatur- und Feuchteänderungen sowie die auf die Beschichtung einwirkenden äußeren Kräfte aufnehmen können. Bei einer zu beschichtenden Schachtinnenfläche ist in den meisten Fällen die hierfür erforderliche Voraussetzung nicht vorhanden, sondern muß durch eine entsprechende Oberflächenvorbereitung erst geschaffen werden.

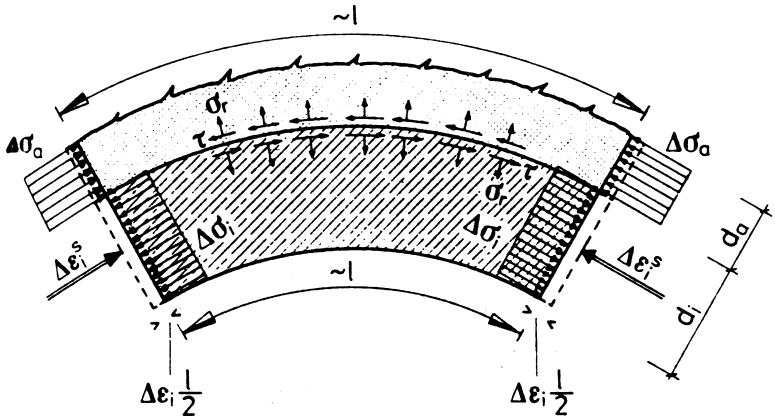


Bild 8: Spannungen in der Verbundfuge infolge des Schwindens der Beschichtung [13]

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Einen Überblick über die in der Verbundfuge auftretenden Beanspruchungen infolge Schwindens gibt Bild 8. Bei den gekrümmten Schachtinnenflächen treten zusätzlich zu den bei ebenen Flächen üblichen Schubspannungen in der Verbundfuge infolge von Schwinden auch Radialspannungen auf, die eine zusätzliche Beanspruchung für den Verbund zwischen Beschichtung und Untergrund darstellen und im Fall eines nicht ausreichenden Verbundes zu einem Abheben der Beschichtung vom Untergrund mit der Bildung eines Ringspaltes führen können. Voraussetzung hierfür ist allerdings, daß die Beschichtung selbsttragend ist und eine ausreichende Festigkeit besitzt, um die auftretenden Spannungen rissefrei aufzunehmen.

Sofern kein Versagen in der Verbundfuge auftritt, besteht - insbesondere bei dünnen Zementmörtelbeschichtungen - die Gefahr der Rissebildung aufgrund der genannten Beanspruchungen.

3.2 Beschichtungsverfahren

Vor dem Beginn von Beschichtungsarbeiten müssen der Untergrund im Hinblick auf die gewählten Beschichtungsmaterialien und die zu erwartenden Beanspruchungen beurteilt und entsprechende Maßnahmen zur Oberflächenvorbereitung ausgewählt werden. Nach Durchführung der Maßnahmen ist zu prüfen, ob die zu beschichtende Fläche die erforderlichen Eigenschaften besitzt. Das wichtigste Kriterium hierfür ist die Oberflächenzugfestigkeit (auch als Abreißfestigkeit bezeichnet) des Untergrundes. Bei Beschichtungen aus Polyurethan ist darüber hinaus das Einhalten der Grenzwerte für die Untergrundfeuchtigkeit von entscheidender Bedeutung.

In der Regel ist jeder Untergrund so vorzubereiten, daß zwischen ihm und der aufzubringenden Beschichtung ein fester und dauerhafter Verbund erzielt wird. Der Beschichtungsstoff muß die Oberfläche gut benetzen, fest auf ihr haften und sich mit ihr „verzahnen“ können. Insbesondere Schachtinnenflächen mit ihren spezifischen Verschmutzungen aus dem Abwasser sollten daher vor jeder Art von Beschichtung vorbereitet werden, um einen tragfähigen Untergrund sicherzustellen. Nach [14] muß ein Untergrund für eine Beschichtung

– frei sein von losen und mürben Teilen (z.B. auch von minderfesten Rißkanten) und von sich leicht ablösenden arteigenen Schichten (z.B. Zementhaut) und darf nicht abmehlen oder absanden,

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

– frei sein von Graten; in zu begründenden Fällen können sie belassen werden,

– eine dem zu verwendenden Beschichtungsstoff angepaßte Rauheit aufweisen,

– frei sein von artfremden Stoffen (wie Trennmittel, ungeeigneten Altbeschichtungen, **Ausblühungen**, Öl, Bewuchs u.ä.).

Ein besonderes Augenmerk ist möglichen Fettablagerungen zu widmen, die sich in der Regel nur sehr schwer entfernen lassen. Korrodierte Fugen, fehlende Klinker und andere Hohlstellen sind sachgerecht auszuarbeiten und auszufüllen.

Die an einen Betonuntergrund zu stellenden mechanischen Eigenschaften sind u.a. in [14] aufgeführt. Für Mörtelbeschichtungen und filmbildende Beschichtungen wird dort eine Oberflächenzugfestigkeit der Betonunterlage von im Mittel 1,5 N/mm^2 und einem kleinsten Einzelwert von 1,0 N/mm^2 gefordert. Die Übertragbarkeit dieser Werte auf Beschichtungen in Schächten ist fraglich, da insbesondere bei Mauerwerk diese Vorgaben in der Regel nicht erreicht werden. Nach Aussage eines Netzbetreibers konnten beispielsweise auf ca. 100 Jahre alten Schachtwänden lediglich Oberflächenzugfestigkeiten von 0,6 N/mm^2 gemessen werden.

Weist der Beton bzw. das Mauerwerk Schäden infolge eines chemischen Angriffs auf, so sind die Tiefe der Einwirkung und die Verteilung eventuell vorhandener Fremdstoffe zu ermitteln und die erforderliche Vorgehensweise (z.B. in Bezug auf den Abtrag des geschädigten Teils) festzulegen. Bei chemischen Reaktionen innerhalb der Schachtwand (z.B. Ausblühungen, Alkalitreiben) sind eingehende Untersuchungen über Art, Ursache und mögliche Auswirkungen erforderlich[14].

In Abhängigkeit von der Art der Aufbringung einer Beschichtung unterscheidet man folgende Spezialverfahren:

- Auftragen von Hand,
- Aufspritzverfahren,
- Anschleuderverfahren.

Das Auftragen von Hand wird heute immer noch zur Beschichtung von Schächten eingesetzt. Nach Angaben von Verfahrensanbietern lassen sich damit, im Vergleich mit den anderen Verfahren, Schachtbeschichtungen bis zu einer Tiefe von ca. 3,5 m wirtschaftlich ausführen. Ein Vorteil des Auftragens von Hand besteht darin, daß die Beschichtung mit einer Kelle aufgetragen und geglättet wird und somit immer eine

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

relativ glatte Oberfläche besitzt. Obwohl nach Herstellerangaben auch das glätten einer Beschichtung bei Ausführung des Anschleuderverfahrens prinzipiell möglich ist, wird hierauf heute in der Regel verzichtet [15].

Bild 9: Auftragen und Glätten einer Beschichtung von Hand [16]

Das Anschleuderverfahren wird heute fast ausschließlich zum Aufbringen von Beschichtungen aus mineralischem Mörtel eingesetzt, während das Aufspritzverfahren vorwiegend in Verbindung mit Polyurethan als Beschichtungsmaterial angewendet wird.

Bei beiden Verfahren sind Löcher, Fugen und Risse vor der Sanierung mit geeigneten Materialien zu profilieren, da die Beschichtung die Struktur der Oberfläche abbildet. Eindringendes Wasser ist zu stoppen.

Bei den Anschleuderverfahren wird der Beschichtungswerkstoff durch einen schnell rotierenden Schleuderkopf gegen die Schachtinnenwand geworfen. Nach Ansetzen und zentrieren des Schleuderkopfes an der Schachtöffnung wird das Gerät mit konstanter Geschwindigkeit von oben in den Schacht bis zur Sohle herabgelassen und wieder hoch gezogen. Dabei erfolgt das Anschleudern des Mörtels an die Schachtwand durch Rotation des Schleuderkopfes. Durch in diesem radial angeordnete und im Außenbereich kammartig ausgebildete Bleche wird der Mörtel fein verteilt. Die gewünschte Schichtdicke wird bei konstanter Mörtelzufuhr und Rotationsgeschwindigkeit des Schleuderkopfes und bei konstanter Ziehgeschwindigkeit durch die Anzahl der Übergänge schichtweise aufgebaut. Die Schichtdicke pro Übergang liegt etwa zwischen 0,5 und 1,3 mm. In der Regel beträgt

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

die Dicke der fertigen Beschichtung bis zu 20 mm. Es sind aber auch schon Beschichtungsdicken von 40 mm und mehr ausgeführt worden (s.a. Bild 10).

Die Oberflächen der so aufgebrachten Beschichtung besitzt eine gewisse Rauheit, die von Material- und Verfahrensanbietern mit der Struktur einer Apfelsinenhaut verglichen wird. Auf ein Glätten wird in der Regel verzichtet. Dies ergibt nach [15] die beste Qualität.

Alle mineralischen Mörtel sollten nach Abschluß der Arbeiten vor einem zu schnellen Austrocknen geschützt werden, da hierdurch das Schwinden begünstigt wird. Eine Nachbehandlung, z.B. durch Befeuchtung der Beschichtung wirkt sich günstig auf deren Schwindverhalten aus.

Da die Anwendung von Anschleuderverfahren nur für die Schachtwände möglich ist, muß die Beschichtung bzw. Reprofilierung im Bereich der Schachtsohle von Hand ausgeführt werden. Bei Anwendung des Anschleuderverfahrens ist darüber hinaus darauf zu achten, daß die Steigeisen der Schächte zur Vermeidung von Spritzschatten in diesen Bereichen vor Ausführung der Beschichtung entfernt werden müssen.

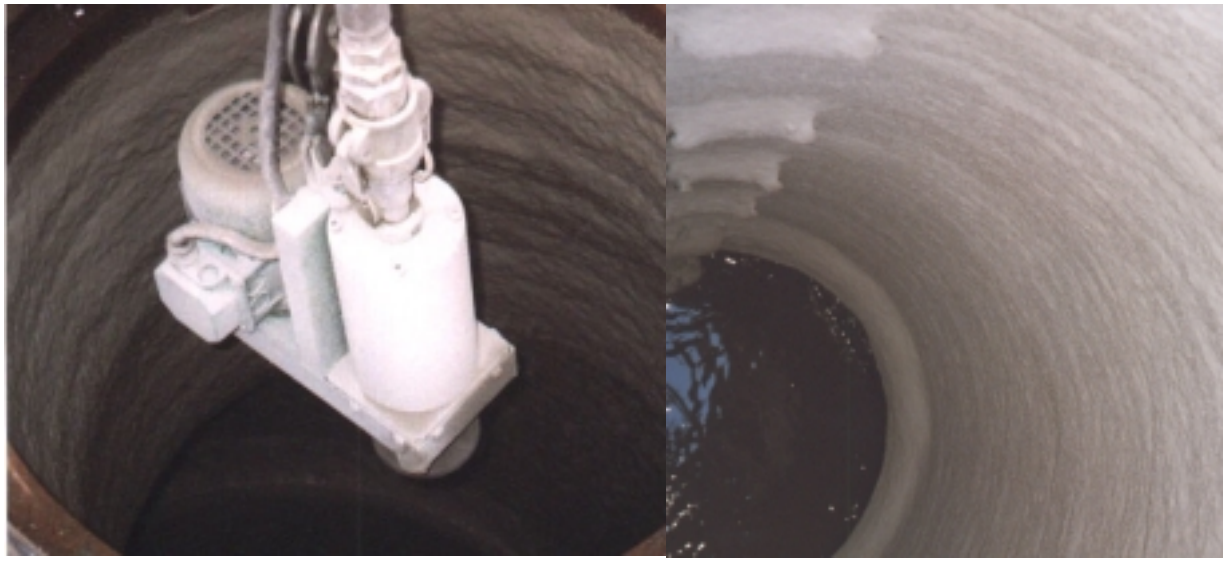


Bild 10: Im Anschleuderverfahren aufgebrachte Mörtelbeschichtung

links: *Anschleudermaschine für Schachtbeschichtungen*
rechts: *Beschichteter Schacht [16]*

Demgegenüber besteht ein Vorteil des Aufspritzverfahrens darin, daß es keine einheitliche Geometrie des Schachtbauwerkes erfordert, so daß auch die Beschichtung der Schachtsohle und der durch Steigeisen verdeckten Bereiche sowie von Versprüngen, Ecken und Kanten mit diesem Verfahren möglich ist (s.a. Bild 11).

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Bild 11: Im Aufspritzverfahren aufgebrachte Polyurethanbeschichtung

links: *Aufspritzen des Polyurethans*
rechts: *Beschichteter Schacht*

Für Polyurethan existiert darüber hinaus eine sogenannte Sprüh - Schleudertechnik, bei der das flüssige Polyurethan auf einen rotierenden Teller gespritzt und durch die Rotation auf die Schachtwand geschleudert wird (s.a. Bild 12). Hierbei gelten allerdings die gleichen Einschränkungen wie beim Anschleuderverfahren für mineralische Mörtel, so daß ein Teil der Beschichtung (z.B. Bereich der Steigeisen und Schachtsohle) immer mit dem Aufspritzverfahren aufgetragen wird.

Bild 12: Mit Sprüh - Schleudertechnik aufgebrachte Polyurethanbeschichtung

links: *Halterung und Führung der Schleuderscheibe MSS 1500*
rechts: *Schleuderscheibe mit Teller, Misch- und Aufsprüheinheit [17, 18]*

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Bei beiden Verfahren zum Auftragen von Polyurethan sind in Abhängigkeit der Randbedingungen umfrangreiche Maßnahmen erforderlich, um zumindest für die Dauer des Auftrags und der Aushärtung des Material einen trockenen Untergrund sicherzustellen. Die Restfeuchte des Untergrundes darf dabei in Abhängigkeit des verwendeten Systems bis in ca. 2 cm Tiefe nicht mehr als 2 - 8 % betragen (s.a. Abschn. 3.1).

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4 Dokumentation und Bewertung ausgeführter Sanierungsbeispiele

4.1 Erfahrungen der Netzbetreiber mit Beschichtungsverfahren

Die vorliegenden Erfahrungen der Netzbetreiber zeigen, daß Beschichtungsverfahren für die Sanierung von Schächten anwendbar sind. Dies wird insbesondere durch einzelne ausgeführte Schachtbeschichtungen belegt, die bereits seit mehreren Jahren den Betriebsbedingungen der Kanalisation ausgesetzt sind.

In Freiburg i.B. wurden bereits vor 9 Jahren 40 Schächte aus Betonfertigteilen mit mineralischem Mörtel beschichtet. Anlaß für die Sanierung war eine deutlich fortgeschrittene Korrosion der Schächte, die eine regelmäßige Erneuerung der Schachtringe alle 10 – 15 Jahre notwendig machte. Die Ursachen für die Korrosionserscheinungen in dem Kanalisationsabschnitt der betreffenden Schächte wurden nach Aussagen der Netzbetreiber bis heute nicht beseitigt. Die Beschichtung erfüllt somit seit 9 Jahren neben der Wiederherstellung der Dichtheit und Tragfähigkeit insbesondere eine Schutzfunktion für den Schacht.

Nach Ablauf der Gewährleistungsfrist von 5 Jahren konnten im Zuge einer visuellen Kontrolle keine Schäden festgestellt werden. Nach Aussage des verantwortlichen Mitarbeiters in Freiburg i.B. gibt es bis heute keinen Anlaß, die Funktionsfähigkeit der Beschichtung in Frage zu stellen. Eine objektive Überprüfung, wie z.B. eine Dichtheitsprüfung, wurde allerdings bisher nicht vorgenommen.

Vergleichbare empirische Erkenntnisse liegen einer Reihe von Netzbetreibern vor, allerdings bei einer deutlich geringeren Anzahl von Schächten und über einen kürzeren Zeitraum. Durch zahlreiche Versuchsbaustellen wird derzeit bei den Netzbetreibern versucht, Erfahrungen mit dem Einsatz von Beschichtungen zur Schachtsanierung zu gewinnen. Aufgrund des geringen Alters der ausgeführten Beschichtungen – etwa die Hälfte ist weniger als 2 Jahre alt – lassen sich aus den praktischen Erfahrungen der Netzbetreiber allerdings keine Aussagen bzgl. der Dauerhaftigkeit und langfristigen Funktionsfähigkeit von Schachtbeschichtungen ableiten.

Einige Netzbetreiber im Ruhrgebiet beklagen unzureichende Erkenntnisse bezüglich der Anwendungsgrenzen und Einsatzvoraussetzungen von Beschichtungsverfahren für ständig im Grundwasser stehende Schächte, deren Wände vollständig

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

durchfeuchtet sind und Undichtigkeiten mit strahlförmig eindringendem Grundwasser aufweisen. Abgesehen von Firmeninformationen sind keine gesicherten Erkenntnisse verfügbar. Für derartig extreme Einsatzrandbedingungen besteht Klärungsbedarf bzgl. der langfristigen Eignung der Verfahren und ob deren Anwendung wirtschaftlich sinnvoll ist.

Die erheblichen Unterschiede in den Abschreibungszeiträumen für Schachtbeschichtungen verdeutlichen die bestehenden Unsicherheiten bei den Netzbetreibern. Bei einem Teil der Netzbetreiber werden für Schachtbeschichtungen generell keine Abschreibungszeiträume angesetzt, während andere, wie z.B. der Stadtentwässerungsbetrieb Nürnberg, von Zeiträumen bis zu 30 Jahren ausgehen.

In Nürnberg wird seit ca. 1 Jahr eine Kombination von Schachterneuerung und Schachtbeschichtung eingesetzt. Aufgrund des schlechten Zustands des über 100 Jahre alten Mauerwerks der Schächte, muß der Bereich des Konus, der unter den dauernden Verkehrslasten nicht mehr standsicher ist, abgetragen und durch einen Betonfertigteilkonus mit 1000 mm Durchmesser ersetzt werden. Die Dichtheit und Tragfähigkeit des Schachtkörper, dessen Druchmesser 900 mm beträgt, wird dagegen mit einer Beschichtung wiederhergestellt. Die unterschiedlichen Abmessungen von Schachtkörper und Konus haben zur Folge, daß eine Übergangskonstruktion erforderlich ist. Die hierfür eingesetzte Sonderlösung ist im Bild 13 dargestellt.

Die Entscheidung für diese Vorgehensweise wurde getroffen, weil die zu sanierenden Schächte z.T. in unmittelbarer Nähe zu schützenswertem Kulturgut, wie z.B. Stadtmauern, stehen und nicht in offener Bauweise erneuert werden können.

Eine von dem Netzbetreiber durchgeführte Kostenvergleichsrechnung hat ergeben, daß die gewählte Vorgehensweise unter der Annahme eines Abschreibungszeitraums von 30 Jahren für Schachtbeschichtungen im vorliegenden Fall eine wirtschaftliche Alternative zur Erneuerung des Schachtes darstellt.

Die beschichteten Schächte, die alle ohne sichtbare Mängel waren, konnten im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen inspiziert werden. Beispielhaft ist einer dieser Schächte in Tabelle 3 (obere Bilder) dargestellt.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

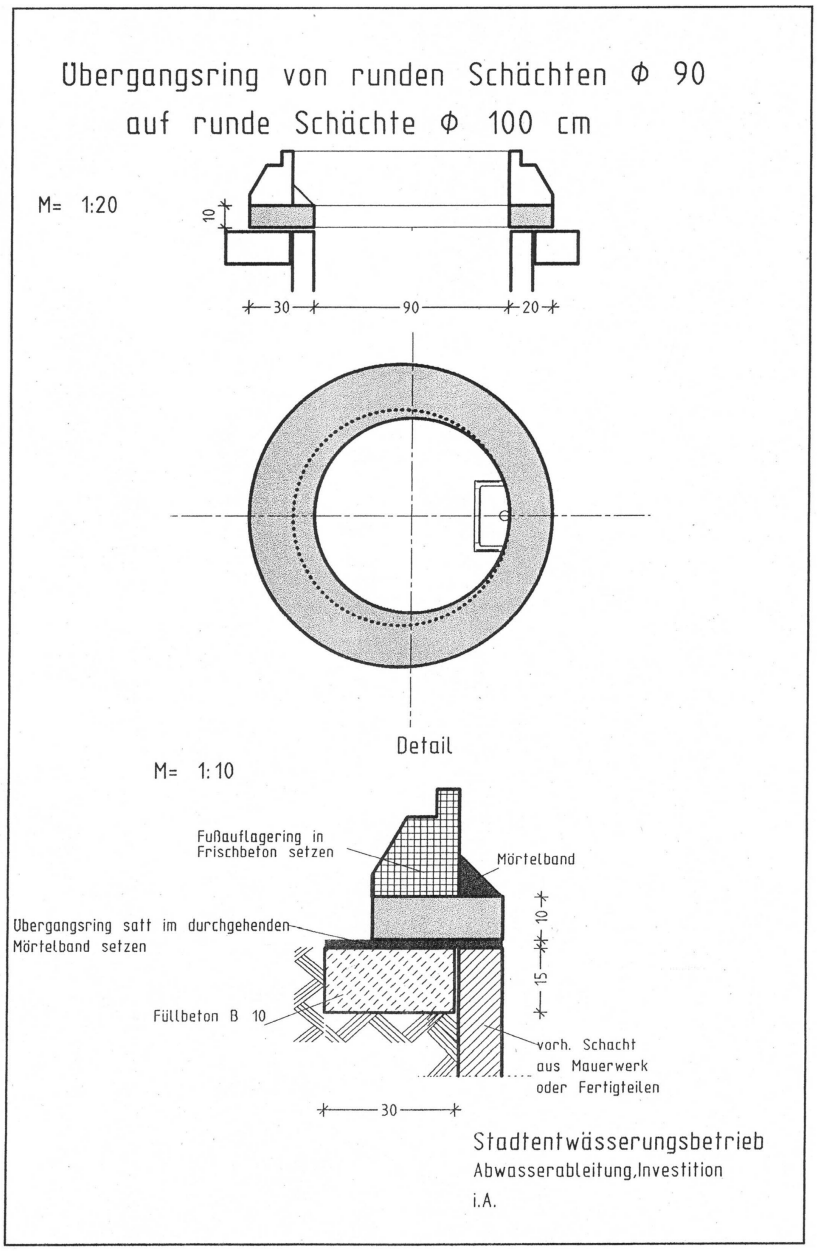


Bild 13: Ausbildung des Übergangs eines Schachtes ∅ 900 mm auf einen Konus ∅ 1000 mm

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.2 Schadensarten für die Anwendung von Schachtbeschichtungen

Nachfolgend wird dargestellt, bei welchem Schadensbild bisher eine Schachtsanierung mit Beschichtungsverfahren angestrebt wurde. Im Rahmen der Ortstermine bei den Netzbetreibern wurden hierzu Schächte vor einer Sanierung mit Beschichtungsverfahren inspiziert und das vorhandene Schadensbild aufgenommen.

Die Beschreibung dieser Schäden wird unter Zuhilfenahme der Zustandstexte für Schächte und Bauwerke der Ortsentwässerung des ATV-M 143, Teil 2 [19] getrennt für Schächte aus Betonfertigteilen und aus Mauerwerk aufgeführt. Folgende Schadensarten konnten ermittelt werden:

1. Schächte aus Betonfertigteilen:

a) Innenkorrosion

b) Schachtringverbindung undicht

c) Sichtbare Undichtigkeit im Anschluß an den Schacht (Rohreinbindung undicht)

d) Grundwasserinfiltration

e) Schachtgerinne und Bankette defekt

2. Schächte aus Mauerwerk:

a) Korrosion der Klinker und des Fugenmörtels

b) Fehlende Klinker

c) Sichtbare Undichtigkeit

- im Bereich der Schachtwandung
- im Anschluß an den Schacht (Rohreinbindung undicht)

d) Grundwasserinfiltration

e) Schachtgerinne und Bankette defekt

In den meisten Fällen treten Kombinationen von mehrerer Schäden gleichzeitig auf. Bei vielen Netzbetreibern wurde, z.B. in gemauerten Schächten, häufig eine Kombination aus Korrosion und Undichtigkeiten festgestellt. Zusätzlich waren in vielen Fällen die Schachtgerinne und Bankette defekt. Es ist folglich in der Regel

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

nicht möglich, eine einzige Schadensart als maßgebendes Kriterium für eine Sanierungsentscheidung zu benennen.

Nachfolgend werden einige typische Schadensbilder von Schächten dargestellt, die mit Beschichtungsverfahren saniert wurden bzw. für eine Sanierung vorgesehen sind. Hierbei ist zu beachten, daß die Schadensarten Undichtigkeit und Grundwasserinfiltration z.T. lediglich durch dunkle Verfärbungen der Schachtwände und –sohle zu erkennen sind. Die Ausmaße der Schäden zeigen sich deutlicher bei Regenereignissen und hohen Grundwasserständen, konnten aber unter diesen Randbedingungen nicht aufgenommen werden.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

1) Schächte aus Betonfertigteilen

a) Innenkorrosion

b) Schachtringverbindung undicht

c) Rohreinbindung undicht

d)Grundwasserinfiltration

e) Schachtgerinne und Bankette defekt bzw. nicht mehr vorhanden (linkes Bild)

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

2) Schächte aus Mauerwerk

a) Korrosion an Klinker u. Fugenmörtel

b) Fehlende Klinker

c) Undichtigkeit in der Schachtwand

d) Undichtigkeit in der Schachtwandung und Grundwasserinfiltration in der Sohle in einem gemauertern Schacht mit 5 mm Putz (ca. 100 Jahre alt)

e) Schachtgerinne und Bankette defekt bzw. nicht mehr vorhanden (rechtes Bild)

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.3 Zustandsklassen von Schachtbeschichtungen

Ergänzend zu den Informationen der Netzbetreiber wurden ausgeführte Schachtbeschichtungen inspiziert, um den aktuellen Zustand der Beschichtungen, die seit einigen Jahren den Betriebsbedingungen ausgesetzt waren, zu erfassen.

Neben augenscheinlich sachgerecht ausgeführten Beschichtungen, wurde im Rahmen der Ortstermine bei den Netzbetreibern auch eine Reihe von sichtbaren Mängeln an ausgeführten Schachtbeschichtungen festgestellt. Ob die Ursache für die festgestellten Mängel an Beschichtungen ausschließlich auf Ausführungsfehler zurückzuführen sind, oder ob die Anwendungsgrenzen der Verfahren erreicht wurden, konnte im Rahmen der durchgeführten Inspektion nicht ermittelt werden. Zu Klärung dieser Frage besteht weiterer Forschungsbedarf.

Die Vielzahl der nachfolgend dargestellten Mängel an Beschichtungen darf nicht zu der Annahme verleiten, daß der überwiegende Anteil der inspizierten Beschichtung schadhaft ist. Der Anteil der inspizierten Beschichtungen, an denen im Rahmen der Ortstermine sichtbare Mängeln festgestellt wurden, beträgt etwa 10 %. Inwiefern diese sichtbaren Mängel die Funktionsfähigkeit, Dauerhaftigkeit oder Dichtheit des sanierten Schachtes beeinflussen, konnte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht geklärt werden.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.3.1 Beschichtungen aus mineralischem Mörtel

4.3.1.1 Beschichtungen ohne sichtbare Mängel

Tabelle 3: Beschichtungen aus mineralischem Mörtel ohne sichtbare Mängel

Beschichtungen ohne sichtbare Mängel	
Zustandsbeschreibung: Bei der Begehung der Schächte wurden keine visuell erkennbaren Mängel an der Beschichtung festgestellt.	
Anmerkungen: Eine Prüfung der Beschichtung, z.B. hinsichtlich der Funktionsfähigkeit und Dichtheit, wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht durchgeführt. Es wurde lediglich eine Begehung der Schächte und eine optische Inspektion der Beschichtung durchgeführt.	

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.3.1.2 Beschichtungen mit sichtbaren Mängeln

Tabelle 4: Zustandsbeschreibung der Undichtigkeit einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Undichtigkeit der Beschichtung	
Zustandsbeschreibung: Grundwasserinfiltration in der Beschichtung im Bereich eines Steigeisens und im Bereich einer Injektionsbohrung.	
Denkbare Ursachen: 1. Die Einbindung des Steigeisens in der Beschichtung ist nicht wasserdicht ausgeführt worden. Es bestehen Hinterläufigkeiten für eindringendes Grundwasser. 2. Infiltrierendes Grundwasser wurde vor Ausführung der Beschichtung möglicherweise nicht vollständig abgedichtet, so daß Teile der nicht ausgehärteten Beschichtung ausgespült und ein Weg für eindringendes Wasser geschaffen wurde. Sofern dieser Schaden eintritt, ist er unmittelbar nach Ausführung der Beschichtung in Form von Durchfeuchtungen und Grundwassereintritt sowie Veränderungen der Oberfläche der Beschichtung erkennbar. 3. Mit Hilfe der Injektion wurde die Schachtwandung für die Dauer der Beschichtungsarbeiten abgedichtet, so daß die Beschichtung sachgerecht ausgeführt werden konnte. Erst zu einem späteren Zeitpunkt, nachdem die Injektion die Dichtheit der Schachtwandung nicht mehr sicherstellt, kommt es zu einem Außenwasserdruck direkt auf die Beschichtung. Sofern die Beschichtung für diese Belastung nicht ausgelegt ist, bzw. Fehlstellen aufweist, kommt es zu einer Grundwasserinfiltration.	

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 5: Zustandsbeschreibung der Undichtigkeit einer Anschlußfuge am Schachtboden und denkbare Ursachen

Undichtigkeit der Anschlußfuge am Schachtboden

Zustandsbeschreibung:

In vielen Fällen wird nur die Schachtwand beschichtet. Der Übergangsbereich zum Schachtboden wird dann häufig überhaupt nicht oder lediglich durch eine abgeschrägte Mörtelkante unzureichend abgedichtet. Der Übergang zwischen beschichteter Schachtwand und dem unbeschichteten Schachtboden ist nicht wasserdicht ausgeführt. Grundwasser, das durch den undichten Schacht auf die Beschichtung drückt, kann durch die Anschlußfuge in den Schacht gelangen.

Denkbare Ursachen:

Es fehlen bis heute praktikable Möglichkeiten, um den Übergang zu einem nicht beschichteten Schachtboden abzudichten.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 6: Zustandsbeschreibung der Durchfeuchtung einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Durchfeuchtung der Beschichtung

Zustandsbeschreibung:
Die Beschichtung ist flächig durchfeuchtet.

Denkbare Ursachen:
Schichtdicke der Beschichtung für den anstehenden Wasserdruck zu gering, um die Dichtheit sicherzustellen. Verarbeitungsfehler beim Anmischen und Auftragen der Beschichtung mit der Folge, daß in der Beschichtung Poren und Fehlstellen vorhanden sind, die ein Eindringen von Wasser ermöglichen. Die Wassereindringtiefe in der Beschichtung ist größer, als vom Materialhersteller angegeben.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 7: Zustandsbeschreibung von Rissen in der Beschichtung und denkbare Ursachen

Risse

Zustandsbeschreibung:

In der Beschichtung sind deutlich sichtbare Risse zu erkennen, die netzartig verteilt sind.

Denkbare Ursachen:

Die netzartige Verteilung der Risse läßt vermuten, daß sie infolge von Eigenspannungen in der Beschichtung durch Schwinden des Mörtels entstanden sind. Beschichtungen aus mineralischem Mörtel sind unmittelbar nach dem Auftragen vor zu schnellem Austrocknen zu schützen, da anderenfalls mit der Entstehung von Schwindrissen zu rechnen ist. In der Regel wird daher der Schacht mit einer Folie abgedeckt, um eine möglichst hohe Luftfeuchtigkeit im Schacht zu erzielen und die Beschichtung vor Zugluft zu schützen. Darüber hinaus ist der Untergrund vor dem Auftragen der Beschichtung zu befeuchten, damit das Wasser im Beschichtungsmörtel nicht vom Untergrund aufgesaugt wird.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 8: Zustandsbeschreibung des Abplatzens einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Abplatzen der Beschichtung	
Zustandsbeschreibung: Die Beschichtung ist in Teilbereichen vom Untergrund abgeplatzt.	
Denkbare Ursachen: Mangelnder Verbund der Beschichtung zum Untergrund und stoßartige, dynamische Belastung der Beschichtung in diesem Bereich. Da die Abplatzungen im oberen Bereich des Schachtes liegen, können dynamische Belastungen, die über die Schachtabdeckung in den Schachtkörper eingetragen werden, wie z.B. Verkehrslasten, die Ursache sein.	

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 9: Zustandsbeschreibung der Korrosion einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Korrosion

Zustandsbeschreibung:

Strukturveränderung des Beschichtungsmaterials mit der Folge von Materialabtrag und Wanddickenreduzierung. In den nachfolgend dargestellten Bildern ist die Beschichtung aufgeweicht und kann von Hand mit einem Spachtel abgekratzt werden.

Denkbare Ursachen:

Abgesehen vom Bereich des Schachtgerinnes findet ein direkter Angriff von aggressivem Abwasser auf die Beschichtung nur bei Überstauereignissen im Schacht statt, so daß er aufgrund der sehr geringen Häufigkeit als Schadensursche nicht maßgeblich sein kann. Für den Bereich der Schachtwandung kann daher von der Biogenen Schwefelsäure Korrosion als denkbare Ursache für eine Korrosion der Beschichtung ausgegangen werden.

Sofern das eingesetzte Beschichtungsmaterial nicht für den Einsatz in einem stark saurem Medium mit pH – Werten < 4,0 geeignet ist (d.h. ausreichend widerstandsfähig gegenüber einem chemischen bzw. biochemischen Angriff), kann es zu den oben gezeigten Materialschäden kommen. Darüber hinaus ist es auch denkbar, daß ein für diesen Anwendungsfall geeignetes Material auf der Baustelle unsachgerecht angemischt oder mit zu geringer Schichtdicke aufgetragen wurde und in der Folge die vom Hersteller zugesicherte Widerstandfähigkeit nicht erreicht.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 10: Zustandsbeschreibung von Ausblühungen an der Oberfläche einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Ausblühungen an der Oberfläche

Zustandsbeschreibung:

Aublühungen bzw. Salzbildungen, die vor Ausführung der Beschichtung auf der Schachtwand zu sehen waren, bilden sich nach Ausführung der Beschichtung erneut an der Oberfläche.

Denkbare Ursachen:

Ausblühungen bzwl. Salzbildungen an der Oberfläche der Schachtwandung wurden vor Auftragen der Beschichtung nicht vollständig entfernt. Dies kann eine Neubildung der Ausblühungen auf der Beschichtung zur Folge haben.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 11: Zustandsbeschreibung eines unzureichenden Materialauftrags in Teilbereichen und denkbare Ursachen

Unzureichender Materialauftrag in Teilbereichen

Zustandsbeschreibung:

In schwer zugänglichen Teilbereichen wie z.B. neben Steigeisen wird bereits während der Ausführung der Beschichtungsarbeiten kein Material aufgetragen oder es wird die angestrebte Schichtdicke nicht erreicht.

Denkbare Ursachen:

Die Steigeisen wurden vor Ausführung der Beschichtung nicht entfernt, so daß die Erreichbarkeit von Teilbereichen neben den Steigeisen nicht gegeben ist. Dies gilt insbesondere, wie im Foto gezeigt, beim Auftragen der Beschichtung mit einer Kelle bei eckigen Schächten. Aber auch bei Anwendung des Anschleuder – oder Aufspritzverfahrens können nicht entfernte Steigeisens zu Spritzschatten und somit zu fehlendem Materialauftrag in Teilbereichen führen.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 12: Zustandsbeschreibung für die unregelmäßige Ausbildung der Oberfläche einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Unregelmäßige Ausbildung der Oberfläche

Zustandsbeschreibung:

Die Beschichtung hat eine wellenförmige, sehr ungleichmäßige Oberflächenstruktur, eine stark unregelmäßige Wanddicke sowie eine rauhe Oberfläche.

Denkbare Ursachen:

Stark ungleichmäßiger Materialaufbau in den Ecken und geraden Seitenwänden bei nicht sachgerechter Anwendung des Anschleuderverfahrens in einem eckigen Schachtes.

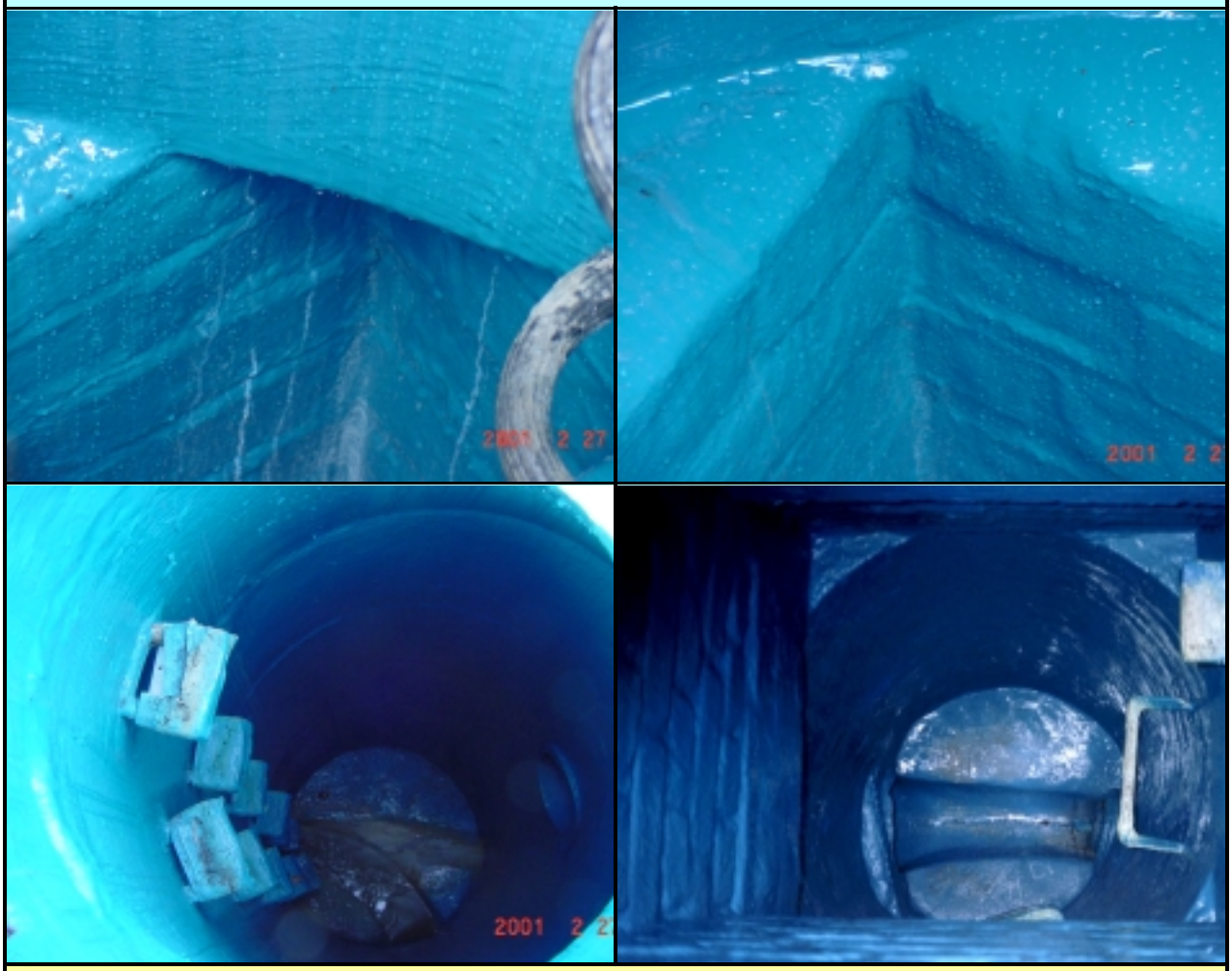
Eine „spritzrauhe“ Oberfläche ist bei Anwendung des Anschleuderverfahrens zum Teil unvermeidbar. Sehr rauhe Oberflächen können dagegen die Folge einer nicht sachgerechten Ausführung dieses Verfahrens sowie einer ungeeigneten Konsistenz des Beschichtungsmörtels während des Auftragens sein.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.3.2 Beschichtungen aus Polyurethan

4.3.2.1 Beschichtungen ohne sichtbare Mängel

Tabelle 13: Beschichtungen aus Polyurethan ohne sichtbare Mängel

Beschichtung ohne sichtbare Mängel
Zustandsbeschreibung: Bei der Begehung der Schächte wurden keine visuell erkennbaren Mängel an der Beschichtung festgestellt.

Anmerkungen: Eine Prüfung der Beschichtung, z.B. hinsichtlich der Funktionsfähigkeit und Dichtheit, wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen nicht durchgeführt. Es wurde lediglich eine Begehung der Schächte und eine optische Inspektion der Beschichtung durchgeführt.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

4.3.2.2 Beschichtungen mit sichtbaren Mängeln

Tabelle 14: Zustandsbeschreibung des Abplatzens bzw. Ablösens einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Abplatzen / Ablösen der Beschichtung

Zustandsbeschreibung:

Die Beschichtung ist in Teilbereichen vom Untergrund abgeplatzt. Im linken Foto ist eine Abplatzung an einer Schachtwand zu sehen während das Foto rechts ein Abplatzen bzw. Ablösen im Bereich des Sohlengerinnes am Übergang zum Schachteinlauf zeigt.

Denkbare Ursachen:

Mangelnder Verbund der Beschichtung zum Untergrund in Kombination mit starken Beanspruchungen der Beschichtung z.B. durch Außenwasserdruck, Kapillardruck oder dynamischen Verkehrslasten. Bei Beschichtungen im Sohlenbereich eines Schachtes kann auch die Beanspruchung durch das fließende Abwasser, insbesondere am Übergang zum nicht beschichteten Bereich, zu Ablösungen führen.

Ursache für einen nicht ausreichenden Verbund bei Beschichtungen aus Polyurethan ist häufig eine zu hohe Feuchtigkeit des zu beschichtenden Untergrundes. Dies führt zum Aufschäumen des Polyurethans auf der Schachtwandung während des Auftragens mit der Folge, daß kein fester Verbund zwischen Untergrund und Beschichtung entsteht.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 15: Zustandsbeschreibung der Blasenbildung in einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Blasenbildung in der Beschichtung

Zustandsbeschreibung:

Die Beschichtung hat sich in Teilbereichen vom Untergrund abgelöst. In diesen abgelösten Bereichen hat sich Wasser hinter der Beschichtung angesammelt. Es sind wassergefüllte Blasen von bis zu 40 cm Durchmesser entstanden.

Denkbare Ursachen:

Mangelnder Verbund der Beschichtung zum Untergrund in Kombination mit direkt auf die Beschichtung einwirkendem Außenwasserdruck.

Ursache für einen nicht ausreichenden Verbund bei Beschichtungen aus Polyurethan ist häufig eine zu hohe Feuchtigkeit des zu beschichtenden Untergrundes. Dies führt zum Aufschäumen des Polyurethans auf der Schachtwandung während des Auftragens mit der Folge, daß kein fester Verbund zwischen Untergrund und Beschichtung entsteht.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Tabelle 16: Zustandsbeschreibung für die unregelmäßige Ausbildung der Oberfläche einer Beschichtung und denkbare Ursachen

Unregelmäßige Ausbildung der Oberfläche

Zustandsbeschreibung:

Die Oberfläche der Beschichtung ist unregelmäßig ausgebildet. Es haben sich zahlreiche Fäden sowie wellenförmige Oberflächenstrukturen aus Polyurathan gebildet.

Denkbare Ursachen:

Das Polyurethan ist nicht unmittelbar nach dem Aufspritzen auf die Schachtwand ausgehärtet, sondern während der Erhärtungsphase die Schachtwand hinunter gelaufen. Hierfür kann eine nicht sachgerechte Vorgehensweise während des Materialauftrags oder eine ungeeignete Materialzusammensetzung, Temperatur und Konsistenz des Polyurethans ursächlich sein.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

5 Schlussfolgerungen/Zusammenfassung

Als Ergebnis der vorliegenden Studie kann zusammenfassend festgestellt werden, daß insgesamt etwa 37 % der Netzbetreiber heute bereits Beschichtungsverfahren einsetzen. Etwa 2/3 davon, also 25 % der Netzbetreiber, beschränkt sich dabei zunächst auf eine geringe Anzahl von maximal 15 Schachtsanierungen, um zunächst den Sanierungserfolg zu überprüfen. Die Bewertung des Sanierungserfolges beruht allerdings lediglich auf optischen Eindrücken und subjektiven Einschätzungen der Mitarbeiter. Objektiver Kriterien für eine Überprüfung liegen nicht vor. Eine Kontrolle des Sanierungserfolges in Form von Dichtheitsprüfungen wird nur von 10 % der Netzbetreiber durchgeführt.

Knapp zwei Drittel der befragten Netzbetreiber hat nur wenig Kenntnisse und keinerlei Erfahrung mit diesem Schachtsanierungsverfahren. In der Befragung dieser Gruppe zeigte sich jedoch ein großes Interesse an kostengünstigen Sanierungsmöglichkeiten für Schächte.

Etwa die Hälfte der bisher ausgeführten Schachtbeschichtungen wurde erst in den zurückliegenden ein bis zwei Jahren ausgeführt. Mehr als 80 % der bestehenden Schachtbeschichtungen ist nicht älter als 5 Jahre.

Mit 69 % nehmen die Beschichtungen von gemauerten Schächten den weitaus größten Anteil an den ausgeführten Maßnahmen ein, im Vergleich zu den Schächten aus Betonfertigteilen mit einem Anteil von 31 %. Als Schadensarten für eine Sanierung mit Beschichtungsverfahren konnten Korrosion, sichtbare Undichtigkeiten und Grundwasserinfiltration festgestellt werden.

Die Altersverteilung sowie die in vielen Fällen geringe Anzahl der Schachtbeschichtungen zeigt, daß sich der Markt für Beschichtungsverfahren in Schächten der öffentlichen Kanalisation noch in einer Startphase befindet. Hinzu kommt, daß die Netzbetreiber nur in wenigen Ausnahmefällen eine Überprüfung des Sanierungserfolges mit Hilfe von Dichtheitsprüfungen vorgenommen haben. Eine stichhaltige Begründung für oder gegen die Anwendung von Beschichtungsverfahren kann von den Netzbetreibern, auf der Basis der ihnen bis heute vorliegenden Daten, daher nicht gegeben werden.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

Bei einem Netzbetreiber konnte unter Annahme eines Abschreibungszeitraumes von 30 Jahren für Schachtbeschichtungen die Wirtschaftlichkeit der Anwendung dieses Verfahrens im Vergleich zur Erneuerung der Schächte nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie liefern darüber hinaus folgende Kernaussagen:

- Die heute verfügbaren Beschichtungsverfahren sind für die Schachtsanierung grundsätzlich anwendbar. Die älteste recherchierte Beschichtung aus mineralischem Mörtel war 9 Jahre alt und nach Angaben der Netzbetreiber ohne sichtbare Schäden. Bei der Mehrzahl der Netzbetreiber besteht allerdings noch Unsicherheit bezüglich der Dauerhaftigkeit der ausgeführten Beschichtungen unter Betriebsbedingungen, da wissenschaftlich gesicherte Erkenntnisse bisher fehlen.
- Die Anwendungsgrenzen der Beschichtungsverfahren sind nicht ausreichend bekannt. Dies gilt insbesondere für eine Sanierung von Schächten, die ständig im Grundwasser stehen.
- Neben sachgerecht ausgeführten Beschichtungen, wurde im Rahmen der Ortstermine bei den Netzbetreibern auch eine Reihe von nicht sachgerecht ausgeführten Schachtbeschichtungen festgestellt. Ob die Ursache für die festgestellten Mängel an Beschichtungen ausschließlich auf Ausführungsfehler zurückzuführen sind, oder ob die Anwendungsgrenzen der Verfahren erreicht wurden, konnte im Rahmen der Umfrage nicht ermittelt werden. Zu Klärung dieser Frage besteht weiterer Forschungsbedarf.
- Für das gesamte Bundesgebiet kann nach Einschätzung der befragten Netzbetreiber von einer Einsatzmöglichkeit für Schachtsanierungen mit Beschichtungsverfahren bei insgesamt **12 %** aller Schächte ausgegangen werden. Hieraus resultiert ein mögliches Investitionsvolumen von **5,4 Mrd. DM**. Bis heute wurden allerdings erst etwa 0,26 % dieses Investitionsvolumens für Schachtsanierungen mit Beschichtungsverfahren ausgegeben.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

6 Literatur

[1] Barenthien, L.: Schachtsanierung aus Sicht der kommunalen Auftraggeber. Vortrag anläßlich des IKT-Forums SCHACHT 2000. IKT – Institut für unterirdische Infrastruktur, Gelsenkirchen, 27. September 2000.

[2] Verordnung zur Selbstüberwachung von Kanalisationen und Einleitung von Abwasser aus Kanalisationen im Mischsystem und im Trennsystem (Selbstüberwachungsverordnung Kanal - SüwV Kan). - Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Nordrhein-Westfalen, 49 (Nr. 10): S. 64-67; Düsseldorf 1995

[3] Anforderungen an den Betrieb und die Unterhaltung von Kanalisationsnetzen - RdErl. D. Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft v. 03.01.1995 - Bekanntmachung im Ministerialblatt für das Land NRW – Nr. 14 vom 10. Februar 1995

[4] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen. Teil 6: Dichtheitsprüfungen bestehender, erdüberschütteter Abwasserleitungen und -kanäle und Schächte mit Wasser, Luftüber- und Unterdruck (06.98).

[5] DIN EN 1610: Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und –kanälen (10.97).

[6] Dohmann, M., Feyen, H.A., Dix, J., Ewringmann, D.: Die Entwicklung der Marktnachfrage nach Abwasserentsorgungsdienstleistungen in Deutschland. 1. Auflage, Friedhelm Merz Verlag GmbH & Co. KG, Bonn 1997.

[7] *Sasse, H.*: Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen unter Verwendung von Kunststoffen - Sachstandsbericht. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (1994), H. 443.

[8] Baytec RT - Das Hochreaktive Polyurethan-Spritzsystem. Firmeninformation der Bayer AG, Leverkusen.

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH

[9] Technisches Merkblatt Ergelit-Trockenmörtel Kombina KS 2. Firmeninformation der Fa. Ergelit, Alsfeld-Schwabenrod.

[10] Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze (08.90), Teil 2: Bauplanung und Bauausführung (08.90), Teil 3: Qualitätssicherung der Bauausführung (02.91). Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb), Beuth Verlag, Berlin.

[11] *Hillemeier, B.*: Ein korrosionssicheres Instandsetzungssystem für Abwassersammler aus Beton. Dokumentation II. Internationaler Kongreß Leitungsbau, Band II, S. II/249-II/257, Hamburg (1987).

[12] Stein, D.: Instandhaltung von Kanalisationen. 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1998.

[13] *Schmidt, A.*: Berechnung von zweischaligen Tunnelauskleidungen unter Berücksichtigung des Verbundes zwischen Spritz- und Pumpbeton. Bauingenieur 61 (1986), S. 63-72.

[14] Richtlinie für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen, Teil 1: Allgemeine Regelungen und Planungsgrundsätze (08.90), Teil 2: Bauplanung und Bauausführung (08.90), Teil 3: Qualitätssicherung der Bauausführung (02.91). Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb), Beuth Verlag, Berlin.

[15] Rainer Hermes: Schachtsanierung mit zementgebundenen, durch organische und anorganische Zusätze vergütete Werktrockenmörtel. Veröffentlicht unter http:// www.leitungsbau.de/.

[16] Firmeninformation der Fa. Rainer Hermes GmbH & Co KG, Schwerte.

[17] Firmeninformation der Fa. PUR-Technologie Hegemann, Hattingen.

[18] Firmeninformation der Fa. Loos PUR Technik, Neuenrade.

[19] ATV-M 143: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Abwasserkanälen und –leitungen. Teil 2: Optische Inspektion (04.99).

©2001 Alle Rechte vorbehalten GEK mbH