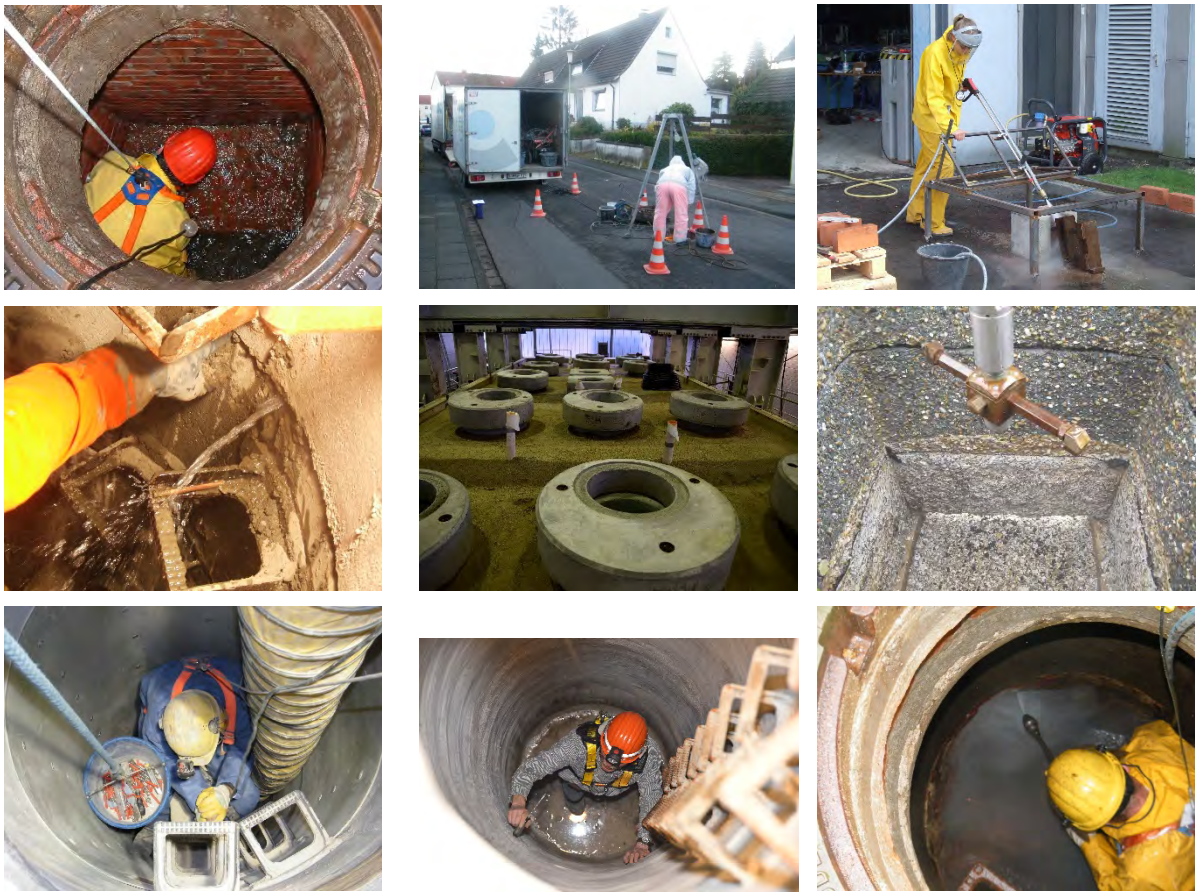
IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur,
Gelsenkirchen
www.ikt.de

neutral
unabhängig
gemeinnützig

Vergleichende Produkt- und Verfahrensbewertung von Auskleidungs- und Beschichtungssystemen zur Sanierung von Abwasserschächten

- IKT-Warentest Schachtsanierung -

(**Langfassung**)



Gillar, M.; Liebscher, M.; Ulutaş, S.

Gelsenkirchen, März 2016

Endbericht zum Forschungsvorhaben:

Vergleichende Produkt- und Verfahrensbewertung von Auskleidungs- und Beschichtungssystemen zur Sanierung von Abwasserschächten – IKT-Warentest Schachtsanierung
AZ: 54.04.02.03/914000/03.13

Fördermittelgeber:

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

Projektantragsteller/Auftraggeber:

Wirtschaftsbetrieb Hagen – WBH (AöR)
Eilper Straße 132-136
58091 Hagen

Auftragnehmer:

IKT - Institut für Unterirdische Infrastruktur gGmbH
Exterbruch 1
45886 Gelsenkirchen

Bearbeitung:

Wissenschaftliche Leitung:	Prof. Dr.-Ing. habil. B. Bosseler
Projektleitung und -bearbeitung:	Dipl.-Ing. M. Gillar
	Dipl.-Ing. M. Liebscher
	Dipl.-Ing. (FH) S. Ulutaş, MBA
	Sebastian Busch, B.Sc.
	Mirko Salomon, B.Sc.
	Julia Timmer, B.Sc.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Danksagung:

Wir danken den kommunalen Netzbetreibern für die finanzielle Unterstützung sowie deren Vertretern für die fachliche Begleitung dieses Projektes im Lenkungskreis der Netzbetreiber:

Abwasserbetrieb der Stadt Willich	Hr. Reiche
Abwasserbetrieb Troisdorf	Fr. Kolvenbach
Abwasserwerk der Stadt Emsdetten	Hr. Erndt
Gemeente Arnhem	Hr. Laurentzen, Hr. Stuivenberg
Kemptener Kommunalunternehmen	Hr. Lakeberg
Stadt Euskirchen	Hr. Conrad
Stadt Iserlohn	Hr. Kunze
Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen	Hr. Palz
Stadtentwässerung Backnang	Hr. Dohmann
Stadtentwässerung Kiel	Hr. Bäzner
Stadtentwässerungsbetriebe Köln	Hr. Korczak, Hr. Spiwoks
Städtische Betriebe Minden	Hr. Höppner
Stadtwerke Bad Oeynhausen	Hr. Schwarze
Stadtwerke Essen	Hr. Leufgen, Hr. Strozyk, Hr. Statetzni
Technische Werke Burscheid	Hr. Grauvogel, Hr. Hildebrand
Wirtschaftsbetrieb Hagen	Hr. Bihs, Hr. Greive, Hr. Kapust, Fr. Rabe, Hr. Kaiser
Zweckverband Wasser Abwasser Vogtland	Hr. Donath

Darüber hinaus gilt unser Dank weiteren Netzbetreibern für den Informationsaustausch und die Leistungen in Partnerprojekten, die durch das geförderte Vorhaben nicht abgedeckt waren:

Gemeente Almere (NL) (Untersuchungen an korrodierten Abwasserschächten)	Hr. Bloedjes, Hr. Hof, Hr. Kuijpers
Göttinger Entsorgungsbetriebe (Auftriebsmessungen an einem Kunststoffschacht)	Fr. Schenk
Tiefbauamt Stadt Bochum (Schachtinspektionen mittels Spezialkamera)	Hr. Breitbarth, Hr. Großklags
VLARIO (B) (Schachtsanierung in Belgien)	Fr. Francken

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Raupach und Herrn Dipl.-Ing. R. Schulte Holthausen, Institut für Bauforschung Aachen, RWTH Aachen, danken wir für die umfangreichen Untersuchungen zum Alterungsverhalten der eingesetzten Materialien.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Seite

Inhaltsverzeichnis ..... **IV**

1 EINLEITUNG **1**

2 PROBLEMSTELLUNG, ZIELSETZUNG UND GESAMTKONZEPT **3**

3 AUFGABENSTELLUNG UND UNTERSUCHUNGSPROGRAMM **6**

4 VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN VON VERFAHREN ZUR UNTERGRUND-VORBEREITUNG **10**

4.1 PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG 10

4.2 HOCHDRUCK-WASSERSTRAHLEN, STAND DER TECHNIK 11

4.2.1 Ziele der Untergrundvorbereitung *11*

4.2.2 Einflussgrößen auf das Hochdruckwasserstrahlen *14*

4.3 HÄNDISCHE DURCHFÜHRUNG VON STRAHLARBEITEN AN PROBEKÖRPERN AUS BETON UND MAUERWERKSKLINKERN 15

4.3.1 Versuchsrandbedingungen *15*

4.3.2 Durchführung der Laborversuche *20*

4.3.3 Versuchsprogramm *22*

4.3.4 Versuchsauswertung *22*

4.3.5 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse *26*

4.4 AUTOMATISCHE VERFAHREN ZUR UNTERGRUNDVORBEREITUNG 28

4.4.1 Arbeitssicherheit bei der Untergrundvorbereitung in Abwasserschächten *28*

4.4.2 Versuchsrandbedingungen *28*

4.4.3 Durchführung der Versuche *30*

4.4.3.1 MRT-Blasting Unit 30

4.4.3.2 PNEUCOMAT Wasserfräse 31

4.4.4 Versuchsprogramm *32*

4.4.5 Versuchsauswertung *33*

4.4.6 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse *38*

4.5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 39

5 VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN VON MATERIALIEN ZUR ABDICHTUNG MIT SCHNELL ABBINDENDEN MÖRTELSYSTEMEN **42**

5.1 ABDICHTUNGSMAßNAHMEN AN ABWASSERSCHÄCHTEN 42

5.1.1 Anforderungen an das Abdichtungsmaterial *42*

5.1.2 Mineralische Abdichtungsmaterialien zur händischen Verarbeitung *43*

5.1.3 Technologie der schnell abbindenden Abdichtungsmörtel *44*

5.2 SANIERUNGSAUFGABE 45

5.2.1 Versuchsaufbau und Schadensbilder *46*

5.2.1.1 Schäden am Versuchsaufbau 46

5.2.1.2 Schadensbilder 48

5.2.2 Vorversuche und Prüfprogramm *51*

5.2.2.1 Vorversuch 51

5.2.2.2 Anpassung und Abstimmung des Prüfprogramms 54

5.3 VERGLEICHENDE MATERIALUNTERSUCHUNGEN 58

5.3.1 Auswahl der Abdichtungsmörtel *58*

5.3.2 Bautechnische Umsetzung *60*

5.3.3 Xypex Patch´n Plug *63*

5.3.4 Ergelit 10SD und 10F rapid *65*

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5.3.5 Puder-Ex ... *68*
5.3.6 IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF ... *71*
5.3.7 Ombran W und IW ... *74*
5.3.8 KA-S Stopfmörtel ... *77*
5.3.9 Rapidhärter ... *80*
5.3.10 xPress ... *83*
5.3.11 Stopfmörtel rapid und Wasserstopper ... *86*
5.4 ZUSAMMENFASSUNG DER VERSUCHE ... 90
5.5 IN-SITU-EINSATZ DER VERFAHREN ... 97
5.5.1 Überblick ... *97*
5.5.2 Xypex Patch´n Plug ... *97*
5.5.3 10SD und 10F rapid ... *98*
5.5.4 Puder-EX ... *99*
5.5.5 IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF ... *100*
5.5.6 Ombran W und Ombran IW ... *101*
5.5.7 KA-S Stopfmörtel ... *102*
5.5.8 Rapidhärter ... *103*
5.5.9 xPress ... *104*
5.5.10 Stopfmörtel rapid und Wasserstopper ... *105*
5.5.11 Fazit der In-situ-Untersuchungen ... *106*
5.6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK ... 107

6 VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN VON SCHACHTAUSKLEIDUNGEN UND -BESCHICHTUNGEN SOWIE KUNSTSTOFFSCHÄCHTEN ... 109
6.1 ÜBERBLICK ... 109
6.2 SANIERUNGSMAßNAHMEN IM GROßVERSUCHSSTAND ... 109
6.2.1 Beitrag von Sanierungssystemen zu Dicht-, Schutz- und Tragwirkung ... *109*
6.2.2 Versuchsaufbau und Prüfprogramm ... *110*
6.2.3 Ergänzende Untersuchungen an Rechteckschächten ... *119*
6.2.4 Sanierung mit Auskleidungen ... *122*
6.2.4.1 Übersicht zu den Auskleidungssystemen ... 122
6.2.4.2 Bautechnische Umsetzung ... 123
6.2.4.3 Versuchsergebnisse GfK-Innenschacht-System (Hobas) ... 123
6.2.4.4 Versuchsergebnisse PE-HD-Segmentauskleidung (Schacht + Trumme) ... 128
6.2.4.5 Versuchsergebnisse GfK-Segmentauskleidung, rückverankert und überlaminiert (Aarsleff) ... 132
6.2.4.6 Versuchsergebnisse GfK-Handlaminat (Sekisui SPR Germany) ... 137
6.2.5 Sanierung mit Mörtelbeschichtungen ... *144*
6.2.5.1 Bautechnische Umsetzung bei Sanierung von runden Betonfertigteilschächten ... 144
6.2.5.2 Versuchsergebnisse Betofix R4 SR ... 145
6.2.5.3 Versuchsergebnisse Ergelit KS 1 ... 152
6.2.5.4 Versuchsergebnisse Kanal-Reprofiliermörtel ... 158
6.2.5.5 Versuchsergebnisse Nanocret R4 ... 164
6.2.5.6 Versuchsergebnisse Ombran MHP ... 169
6.2.5.7 Versuchsergebnisse Silicate R ... 174
6.2.5.8 Bautechnische Umsetzung bei Sanierung von rechteckigen Betonfertigteilschächten ... 179
6.2.5.9 Versuchsergebnisse Ergelit KS-ASS ... 180
6.2.5.10 Versuchsergebnisse Ombran MHP-SP ... 185
6.2.6 Sanierung mit Kunststoffbeschichtungen ... *190*

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.6.1 Bautechnische Umsetzung ... 190
6.2.6.2 Versuchsergebnisse Oldodur WS 56 ... 191
6.2.6.3 Versuchsergebnisse Spectrashield ... 196
6.2.6.4 Versuchsergebnisse Ultracoat ... 202
6.2.7 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse ... 208
6.3 KUNSTSTOFFSCHÄCHTE IM MAßSTAB 1:1 (GROßVERSUCHE IM MFV) ... 213
6.3.1 Veranlassung, Zielstellung und Prüfprogramm ... 213
6.3.2 Prüfung von Kunststoffschächten ohne umgebenden Boden ... 214
6.3.3 Prüfung von Kunststoffschächten mit umgebendem Boden ... 218
6.3.3.1 Vorbeifahrt eines LKW ... 218
6.3.3.2 MAC-Versuche zur Verdichtungskontrolle ... 222
6.3.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse ... 223
7 KONTROLLE DER LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON SANIERUNGS- UND NEUBAUSYSTEMEN DURCH IN-SITU-PRÜFUNGEN ... 224
7.1 SANIERUNG VON SCHÄCHTEN ... 224
7.2 SCHACHTSANIERUNG IN SITU MIT AUSKLEIDUNGSSYSTEMEN ... 225
7.2.1 GfK-Innenschacht-System (Hobas) ... 225
7.2.2 PE-HD-Segmentauskleidung (Schacht + Trumme) ... 229
7.2.3 GfK-Segmentauskleidung, rückverankert und überlaminiert (Aarsleff) ... 232
7.2.4 Handlaminat aus GfK (Sekisui SPR Germany) ... 233
7.3 SCHACHTSANIERUNG IN SITU MIT MÖRTELBESCHICHTUNGEN ... 237
7.3.1 Betofix R4 SR ... 237
7.3.2 Ergelit KS 1 ... 241
7.3.3 Ergelit KS 1 (KS-ASS) ... 245
7.3.4 Kanal-Reprofiliermörtel ... 249
7.3.5 Nanocret R4 ... 250
7.3.6 Ombran MHP ... 254
7.3.7 Ombran MHP-SP ... 258
7.3.8 Silicate R ... 262
7.4 SCHACHTSANIERUNG IN SITU MIT KUNSTSTOFFBESCHICHTUNGEN ... 266
7.4.1 Polyurethanbeschichtung Oldodur WS 56 ... 266
7.4.2 Polyharnstoff-Sandwich-Beschichtung Spectrashield ... 270
7.4.3 Epoxidharzbeschichtung Ultracoat ... 274
7.5 ZUSAMMENFASSUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE ... 278
7.6 REPARATUR VON SCHADHAFTEN PE-HD-SCHÄCHTEN IN SITU ... 280
7.6.1 Ausgangssituation ... 280
7.6.2 Durchführung der Reparaturarbeiten ... 281
7.6.3 Nachkontrolle der reparierten Schächte ... 283
7.6.4 Bewertung der ausgeführten Maßnahmen ... 284
8 UNTERSUCHUNGEN ZU MITTRAGWIRKUNG UND ALTERUNG ... 286
8.1 ÜBERBLICK ... 286
8.2 MITTRAGWIRKUNG ... 286
8.2.1 Veranlassung und Vorgehensweise ... 286
8.2.2 Internationale Forschungsergebnisse ... 286
8.2.3 Das MAC-System ... 288
8.2.4 Versuchsprogramm ... 291

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

8.2.5 Versuchsergebnisse ... *292*
8.2.6 Bewertung und Fazit ... *294*
8.3 ALTERUNG ... 294
8.3.1 Veranlassung ... *294*
8.3.2 Ansätze zur Materialalterung ... *295*
8.3.2.1 Allgemeines ... 295
8.3.2.2 Prüfungen ... 295
8.3.2.3 Zusammenfassung ... 299
8.3.3 Alterungsverhalten von Abwasserschächten ... *299*
8.3.3.1 Schadenmechanismen von Abwasser auf relevante Baustoffe ... 300
8.3.3.2 Instandsetzung geschädigter Abwasserbauwerke aus Beton ... 300
8.3.3.3 Besondere Belastung auf Beschichtungen zur Instandsetzung von Abwasserschächten ... 301
8.3.4 Untersuchungsprogramm ... *302*
8.3.5 Einlagerungsversuche ... *302*
8.3.5.1 Versuchsprogramm ... 302
8.3.5.2 Versuchsdurchführung ... 302
8.3.5.3 Versuchsergebnisse ... 303
8.3.6 Kombinierte chemische und mechanische Belastung ... *304*
8.3.6.1 Versuchsprogramm ... 304
8.3.6.2 Versuchsdurchführung ... 304
8.3.6.3 Versuchsergebnisse ... 305
8.3.7 Haftung auf vorgeschädigten Untergründen ... *307*
8.3.7.1 Versuchsprogramm ... 307
8.3.7.2 Versuchsdurchführung ... 307
8.3.7.3 Versuchsergebnisse ... 308
8.3.8 Bewertung und Fazit ... *309*
9 WARENTEST ... 310
9.1 KONZEPT DES IKT-WARENTESTS ... 310
9.2 BETEILIGTE NETZBETREIBER ... 311
9.3 SANIERUNGSAUFGABE UND PRÜFPROGRAMM ... 312
9.4 VERGABE DER SANIERUNGSLOSE ... 313
9.4.1 Methodik ... *313*
9.4.2 Marktrecherche und Priorisierung ... *314*
9.4.3 Vergabe ... *316*
9.5 BEWERTUNGSSCHEMA ... 316
9.5.1 Überblick ... *316*
9.5.2 Systemprüfungen ... *317*
9.5.3 Qualitätssicherung der Anbieter ... *327*
9.5.4 Baustellenuntersuchungen ... *329*
9.6 TESTERGEBNISSE SCHACHTSANIERUNGEN ... 330
9.6.1 Testtabelle IKT-Warentest „Schachtsanierung“ ... *330*
9.6.2 Systemprüfungen ... *333*
9.6.2.1 Fremdwasser-Dichtheit ... 334
9.6.2.2 Tragwirkung ... 337
9.6.2.3 Robustheit ... 341
9.6.2.4 Abnahme-Eindruck ... 344
9.6.2.5 Schutzwirkung ... 346

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.6.2.6 Zusatzinformationen ... 347
9.6.3 Qualitätssicherung der Anbieter ... 349
9.7 WARENTEST-PRÜFZEUGNISSE ... 351
9.7.1 Hobas Rohre GmbH mit GfK – Innenschacht ... 352
9.7.2 PCI Augsburg GmbH mit Nanocret R4 ... 353
9.7.3 Schacht + Trumme Sielregulierungen W.Schwarz GmbH mit PE-HD – Segmentauskleidung ... 354
9.7.4 Sika Deutschland GmbH mit Kanal-Reprofiliermörtel ... 355
9.7.5 Aarsleff Rohrsanierung GmbH mit GfK – Rückverankert ... 356
9.7.6 PSL Handels GmbH mit Oldodur WS 56 ... 357
9.7.7 Hermes Technologie GmbH & Co. KG mit Ergelit KS 1 ... 358
9.7.8 Source One Environmental UK (S1E) mit ULTRACOAT ... 359
9.7.9 Remmers Baustofftechnik GmbH mit Betofix R4 SR ... 360
9.7.10 SEKISUI SPR Germany GmbH mit GfK – Adhäsiv ... 361
9.7.11 Remmers Baustofftechnik GmbH mit Silicate R ... 362
9.7.12 MC Bauchemie Müller GmbH & Co. KG mit Ombran MHP ... 363
10 AUSSCHREIBUNGSTEXTE UND ZUSÄTZLICHE TECHNISCHE VERTRAGSBEDINGUNGEN (ZTV) FÜR DIE SCHACHTSANIERUNG ... 364
10.1 ÜBERBLICK – ARBEITSHILFEN UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ... 364
10.2 MUSTER-LEISTUNGSTEXTE UND MUSTER-ZTV ... 366
10.3 AUSWAHL VON VERFAHREN ZUR SCHACHTSANIERUNG - ENTSCHEIDUNGSHILFEN ... 367
10.3.1 Hintergrund ... 367
10.3.2 Leitfäden und Handbücher ... 367
10.3.3 Computergestützte Entscheidungshilfesysteme ... 368
10.3.4 Fazit ... 370
11 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK ... 371
12 LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS ... 375

Anhang 1: Auswahlliste für Abdichtungsmörtel

Anhang 2: Auswahllisten für Sanierungssysteme

Anhang 3: Stellungnahmen der Materialhersteller

Anhang 4: Muster-ZTV

Anhang 5: Muster-Leistungstexte

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

1 Einleitung

Schächte sind ein wichtiger Bestandteil der Entwässerungsinfrastruktur: Allein in Nordrhein-Westfalen beläuft sich die Zahl der Schächte auf etwa zwei Millionen. Davon sind laut Erhebungen, die im Rahmen der Selbstüberwachung durchgeführt wurden, etwa 150.000 bis 200.000 schadhaft und sanierungsbedürftig (vgl. [1]). Die Gesamtzahl der Abwasserschächte in öffentlichen Verkehrsflächen lässt sich für die Bundesrepublik Deutschland mit ca. 10 Mio. abschätzen (vgl. [2], [3]).

Der Zustand der Abwasserschächte hat eine besondere Bedeutung für den Umweltschutz. Durch undichte Schächte exfiltriert nicht nur Abwasser; bei anstehendem Grundwasser können auch erhebliche Fremdwassermengen infiltrieren und so die Reinigungsleistung von Kläranlagen und Regenbecken beeinträchtigen. Ein konkreter Handlungsdruck ergibt sich für die Netzbetreiber in Nordrhein-Westfalen aus der Selbstüberwachungsverordnung Abwasser (SüwVO Abw) [4], welche die vollständige Aufnahme des baulichen und betrieblichen Zustands des Kanalnetzes sowie der mit diesem verbundenen Bauwerke der Ortsentwässerung fordert. Werden Undichtheiten am Schachtkörper oder ein schadhafter Allgemeinzustand des Schachtes festgestellt, sind gemäß dem Runderlass [5] des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen Abdichtungs- und Instandsetzungsmaßnahmen vorzunehmen. Diese können z. B. mittels Beschichtungs- und Auskleidungsverfahren erfolgen, welche zur Wiederherstellung der (Fremd-)Wasserdichtheit, der Standsicherheit und des Widerstandsvermögens gegenüber biogener Schwefelsäurekorrosion oftmals eine kostengünstige Alternative zur Erneuerung schadhafter Schächte darstellen.

Beschichtungs- und Auskleidungsverfahren werden am Markt in zahlreichen Varianten angeboten. Voraussetzung für einen effektiven und effizienten Einsatz der Verfahren sind Kenntnisse über die Qualität sowie die Vor- und Nachteile der verfügbaren Sanierungssysteme und -materialien. Allerdings ist gerade dieses Wissen kaum vorhanden, da die überwiegende Mehrzahl der Verfahren bisher nicht unter vergleichbaren Randbedingungen untersucht worden ist. Damit können Netzbetreiber die Stärken und Schwächen sowie Einsatzmöglichkeiten und -grenzen der angebotenen Verfahren und Materialien, über deren Einbau sie in großem Umfang Entscheidungen treffen, nicht hinreichend beurteilen. Aus diesem Grund werden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens ausgewählte Sanierungssysteme zur Auskleidung und Beschichtung einer vergleichenden Produktprüfung unterzogen (IKT-Warentest „Schachtsanierung“), die auch den größten Anteil des gesamten Projektumfangs ausmacht.

Bereits in [6] und [7] zeigte sich, dass die Qualität der ausgeführten Beschichtungen häufig nicht den Anforderungen entsprach. Inwieweit Verarbeitungsfehler und/oder aber materialbedingte Unzulänglichkeiten (Qualitätskriterium „Robustheit“, vgl. [7]) ausschlaggebend waren, war jedoch nicht in allen Fällen zweifelsfrei feststellbar. Bei näherer Betrachtung konnte dennoch gefolgert werden, dass zumindest einzelne Arbeitsschritte im Rahmen der Sanierungen wesentlichen Anteil an der erzielbaren Qualität der Gewerke haben. So ist dies zum einen die Qualität der Untergrundvorbereitung, zum anderen aber auch das (unzureichende) Ergebnis einer ggf. durchgeführten Vorabdichtung.

Für beide Arbeitsschritte ist daher jeweils zu hinterfragen, welche Leistungsfähigkeit die eingesetzten bzw. auf dem Markt verfügbaren Produkte besitzen und ob die zur

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Verfügung stehende Leistung darüber hinaus als ausreichend für effizient durchführbare Arbeiten angesehen werden kann.

Neben diesen Untersuchungsschwerpunkten werden das Alterungsverhalten von Renovierungsmaterialien sowie deren Beiträge zur Mittragwirkung untersucht.

Alternativ zur Sanierung können auch Kunststoffschächte zur Erneuerung eingesetzt werden. Mit Blick auf diese Produkte ist zu ermitteln, wie robust diese sind und ob ggf. erforderliche Reparaturen an geschädigten Kunststoffschächten ausführbar sind.

Wesentliche Ergebnisse der Untersuchungen werden projektbegleitend mit dem Lenkungskreis diskutiert und abgestimmt sowie für die Darstellung im Rahmen des Projektberichtes und einer ergänzenden Muster-ZTV aufbereitet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

2 Problemstellung, Zielsetzung und Gesamtkonzept

Aufgrund der beachtlichen Zahl von schadhaften Abwasserschächten (vgl. [1]), müssen Netzbetreiber kurz- bzw. mittelfristig handeln. Die Sanierung von Abwasserschächten nimmt demzufolge für die Betreiber von Kanalisationsnetzen einen hohen Stellenwert ein. Netzbetreiber benötigen hierzu Informationen. Aus den am Markt verfügbaren Verfahren und Materialien zur Sanierung von Schächten müssen Netzbetreiber das für die jeweilige Sanierungssituation geeignete Verfahren auswählen. Dieser Aufgabe können Netzbetreiber nur gerecht werden, wenn die Qualität der Verfahren und Materialien bekannt sind. Andernfalls ist zu erwarten, dass Entscheidungen mit negativen Auswirkungen für den Gewässerschutz und die Gebührenzahler getroffen werden.

Im Bereich der Abwassertechnik sind bislang vor allem einzelne Untersuchungen zur Anwendung von mineralischen Beschichtungssystemen in Abwasserkanälen durchgeführt worden (vgl. z.B. [8].) Darüber hinaus werden in [9] und [10] Anforderungen an Mörtel für Abwasserkanäle und Bauwerke der Ortsentwässerung genannt. In einer bundesweiten Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken mittels Beschichtungsverfahren [1] wurde zunächst die Bedeutung des Themas für den Bereich der Abwassertechnik näher betrachtet. Ziel dieser Umfrage war es, einen Überblick über vorliegende praktische Erfahrungen im Bereich der Schachtsanierung und die grundsätzliche Relevanz von Beschichtungsverfahren zu bekommen.

In [6] wurden dann erstmalig am Markt verbreitete bzw. innovative Produkte, Verfahren und Werkzeuge ausgewählt, deren Einsatz bei 42 Beschichtungsmaßnahmen in situ begleitet und umfangreiche Qualitätsprüfungen durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass Beschichtungen grundsätzlich geeignet sein können, die Dichtheit und Funktionsfähigkeit sowohl von Mauerwerksschächten als auch von Schächten aus Betonfertigteilen wiederherzustellen. Allerdings zeigte sich in der Mehrzahl der untersuchten Fälle eine nur geringe Sanierungsqualität.

Dies konnte auch im Rahmen von Untersuchungen in [7] zum Teil bestätigt werden. Ziel war es hier, die relevanten Einflussfaktoren für die Qualität einer Schachtsanierung zu erkennen. Entsprechend wurden die äußeren Randbedingungen und Belastungen über alle Versuchskörper variiert und auch mögliche Anwendungsfehler praxisnah in unterschiedlicher Weise simuliert. Die entsprechenden Systeme wurden damit sehr unterschiedlichen Versuchsabläufen ausgesetzt. Vergleichend getestet und bewertet wurden diese Produkte jedoch nicht. Im Ergebnis konnte dennoch erstmalig erkannt werden, dass große Unterschiede in der Robustheit der Verfahren gegenüber wechselnden Randbedingungen und Ausführungsfehlern zu erwarten sind.

Das Qualitätskriterium „Robustheit“ wurde damit in 1:1-Versuchen erstmalig wissenschaftlich belegt. Offen ist allerdings noch die Frage, welche der auf dem Markt verfügbaren Produkte zur Schachtbeschichtung tatsächlich ein gutes Sanierungsergebnis - gerade auch mit Blick auf die „Robustheit“ - zuverlässig erwarten lassen und welche nicht. Entsprechend werden die Prüfungen an Beschichtungs- und Auskleidungssystemen im Rahmen dieses Projektes unmittelbar auf die tatsächlich für die Praxis qualitätsrelevanten Einflussfaktoren ausgerichtet. Damit wird erstmalig ein direkter Vergleich der Produktqualität in 1:1-Versuchen möglich, d.h. die Grundlage für einen praxisnahen IKT-Warentest „Schachtsanierung“ für Beschichtungen und Auskleidungen ist gegeben. Zudem zeigten Erfahrungen aus vergangenen IKT-Warentests, dass

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Verfahrensanbieter oftmals die Testergebnisse zum Anlass für Produktverbesserungen nehmen.

Als typische Auskleidungssysteme werden z. B. Handlaminate, Innenschachtsysteme und Segmente eingebaut. Hier bestehen auf Seiten der Netzbetreiber z. T. erhebliche Unsicherheiten bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit und Robustheit bei einem Einbau in Abwasserschächten. Da wesentliche Anforderungen an Beschichtungssysteme aus Mörtel oder Kunstharzen, z. B. die Außenwasserdruckbeständigkeit bzw. Fremdwasserdichtheit, auch auf Auskleidungssysteme übertragbar sind, bietet sich die gemeinsame Untersuchung beider Verfahren im Rahmen eines Warentestes an. Erstmalig wird somit auch die Leistungsfähigkeit von Auskleidungsverfahren im Vergleich zu Beschichtungsverfahren wissenschaftlich untersucht, dargestellt und bewertet.

Die Versuche beinhalten vergleichende Tests im IKT-Großversuchsstand und darüber hinaus den In-situ-Einsatz der ausgewählten Sanierungsverfahren auf Baustellen des Projektantragstellers (Wirtschaftsbetrieb Hagen – WBH (AöR)). Zusätzlich werden Untersuchungen an diesen Sanierungssystemen mit Blick auf deren Mittragwirkung bzw. zur Verbesserung des statischen Allgemeinzustandes der Schächte durchgeführt. Ergänzende Hinweise aus Versuchen zur Überprüfung der Materialien unter Betriebsbelastungen (Alterung) runden den thematischen Schwerpunkt des Vorhabens – Auskleidungs- und Beschichtungssysteme – ab.

Zur Berücksichtigung wesentlicher Verfahrensschritte beim Einbau dieser Sanierungssysteme, stehen darüber hinaus Verfahren zur Untergrundvorbereitung und (Vor-)Abdichtung von Schächten ebenfalls im Fokus dieses Projektes. Dazu wird das Potential von Hochdruckwasserstrahl-Geräten mit unterschiedlichen Leistungsstufen zur Untergrundvorbereitung – die im Rahmen von Renovierungsmaßnahmen für nahezu jedes einzubauende System erforderlich ist – überprüft und praxisgerecht dargestellt.

Ebenfalls vergleichend untersucht werden schnell abbindende Stopfmörtel, deren wesentlicher Einsatzzweck in der vergleichsweise unkomplizierten und schnellen Abdichtung von Abwasserbauwerken zu sehen ist. Die ausgewählten Materialien stellen eine Bandbreite der auf dem Markt verfügbaren Mörtel dar und werden insbesondere auf ihren Abdichtungserfolg, aber auch mit Blick auf ihre Auswirkungen auf ggf. nachfolgende Sanierungen hin untersucht.

Ist eine Sanierbarkeit mittels o. g. Verfahren nicht möglich, besteht als letzte Option der Neubau von Schächten. Auch hier existiert eine große Bandbreite von Materialien (Betonfertigteile mit und ohne werksseitig hergestellter Auskleidung, Kunststoffschächte aus PVC, PP, PE etc.).

Der Neubau von Schächten mit Betonfertigteilen ist vergleichsweise weit verbreitet und die Herstellung der Materialien normativ geregelt. Darüber hinaus ist eine Vielzahl von Betonfertigteil-Schächten seit Jahrzehnten in Betrieb, so dass Erfahrungen bzgl. Bau, Betrieb und Unterhaltung vorliegen. Anders verhält es sich mit Blick auf Kunststoffschächte, die in nennenswerter Anzahl erst in den letzten Jahren eingebaut worden sind. Der Erfahrungshorizont ist somit von deutlich geringerer Weite. Folgt man den Herstellerangaben, lassen sich Kunststoffschächte einfach einbauen und bieten dauerhaften Korrosionsschutz. Jedoch zeigten sich bei einigen der im Netz des Projektantragstellers eingebauten Kunststoffschächte schon nach kurzer Zeit Schwachstellen (im Wesentlichen Ausbeulen und Risse im Material). Möglicherweise sind dies Auswirkungen unzureichender Information über Einsatzbereiche der Kunststoffschächte. In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, wie die Schäden entstanden sind und wie

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

sie mit vertretbarem Aufwand behoben werden können, d. h. ohne Ausbau der defekten Schächte. Vor dem Hintergrund einer steigenden Anzahl von Neubauten aus Kunststoffen bietet es sich an, bereits schon jetzt diese Fragestellungen zu untersuchen, um diese festgestellten Schäden an Schächten aus PE-HD mit vertretbarem Aufwand reparieren und zukünftig vermeiden zu können.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

3 Aufgabenstellung und Untersuchungsprogramm

Marktgängige Beschichtungs- und Auskleidungsverfahren werden nach einem durch die vorangegangenen Forschungsarbeiten ([6], [7]) abgesicherten Prüfprogramm praxisnah und vergleichend in 1:1-Versuchen getestet. Bei der Auswahl stehen die Marktverbreitung der eingesetzten Produkte und die tatsächliche Bedeutung für die Netzbetreiber (Lenkungskreis-Wertung) im Vordergrund, denn die Palette der angebotenen Verfahren hat sich - auch aufgrund bisheriger Forschungsergebnisse - fortlaufend verändert und weiterentwickelt. Die Produkte werden dabei nach dem IKT-Warentest-Konzept Untersuchungen mit drei Schwerpunkten unterzogen:

- **Systemprüfungen**, zur Bestimmung und Bewertung der Qualität unter realitätsnahen Bedingungen in reproduzierbaren 1:1-Laborversuchen.
- **Qualitätssicherung**, zur Bestimmung und Bewertung der Qualitätssicherungs-Maßnahmen des Herstellers, z.B. durch Schulungsangebote, Verfahrenshandbücher, Fremdüberwachung.
- **Baustellen-Untersuchungen**, zur Überprüfung der Plausibilität des Einsatzes unter den o. a. Laborbedingungen. Hinterfragt wird insbesondere, inwieweit die im Rahmen der Systemprüfungen eingesetzten Methoden und Verfahren der tatsächlich in der Praxis üblichen Vorgehensweise entsprechen.

Untersucht werden klassische Beschichtungssysteme aus mineralischem, kunststoffvergütetem Mörtel sowie Mörtel mit silikatischen Bindemitteln und Kunststoffsysteme beispielsweise aus Polyurethan, Polyharnstoff, Epoxidharz oder Polymer-Silikatharz. Bei den Auskleidungssystemen sind insbesondere Handlaminate, Innenschachtsysteme und Segmente von Interesse.

Ergänzend hierzu werden vergleichende Untersuchungen verschiedener Verfahren zur Untergrundvorbereitung durchgeführt, da diese für die Qualität der ausgeführten Beschichtungen und ggf. auch Auskleidungen von entscheidender Bedeutung sind. In [7] konnte die Mehrzahl der eingesetzten Verfahren zur Untergrundvorbereitung den vorhandenen Betonuntergrund nicht erkennbar bearbeiten.

Schnell abbindende Stopfmörtel finden eine breite Anwendung insbesondere im Vorfeld weitergehender Renovierungsarbeiten. Inwieweit sich ein Abdichtungserfolg einstellt und welche weiteren Qualitätseinflüsse von Belang sind, wird mit Hilfe der vergleichenden Untersuchungen ermittelt.

Darüber hinaus werden Schächte aus Kunststoff als Neubauten mit in das Untersuchungsprogramm aufgenommen. Ziel ist es mit Blick auf die baulichen Anforderungen an die Kunststoffschächte, Ansätze für deren Leistungsfähigkeit beispielhaft zu ermitteln. Qualitätsanforderungen bzw. einzuhaltende Randbedingungen im Einbauzustand können überprüft und die Auswirkungen dargestellt werden. Im Weiteren werden In-situ-Versuche zur Sanierung neuer, schadhafter Kunststoffschächte - ohne deren Austausch - durchgeführt.

Untersuchungen zur statischen Mittragwirkung und zum Alterungsverhalten der unterschiedlichen Materialien runden das Programm ab. Im Einzelnen werden die nachfolgend aufgelisteten Untersuchungsschwerpunkte bearbeitet (Arbeitspakete = AP).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Vergleichende Untersuchungen von Verfahren zur Untergrundvorbereitung (AP 1)

Um Abwasserschächte beschichten oder auskleiden zu können, ist eine fachgerechte und den Randbedingungen angepasste Untergrundvorbereitung durchzuführen. Hierzu sind Geräte bzw. Verfahren für das Hochdruck-Wasserstrahlen auf dem Markt verfügbar, die sich im Wesentlichen in ihren Leistungsstufen bzgl. Wasserdruck und -durchfluss sowie Zugabemöglichkeit von Abrasivstoffen unterscheiden. Darüber hinaus kann das Feststoff-Strahlen (umgangssprachlich: Sandstrahlen) als weitere Option angewendet werden.

Die vergleichenden Untersuchungen von ausgewählten Verfahren erfolgen mit Hilfe von Normbetonplatten unterschiedlicher Festigkeiten. Diese Vorgehensweise beinhaltet die Variation von Untergrundfestigkeiten, um die Leistungsfähigkeit bzw. Einsatzgrenzen der einzelnen Verfahren aufzuzeigen.

Das Ergebnis dieser Untersuchungen ermöglicht den Netzbetreibern die zielgerichtete Ausschreibung von Untergrundvorbereitungsverfahren in Abhängigkeit der vorherrschenden Randbedingungen.

Vergleichende Untersuchungen von Materialien zur Abdichtung mit schnell abbindenden Mörtelsystemen (AP 2)

Abdichtungsmaterialien auf Mörtelbasis, z. B. sogenannte Stopf- und Flächenmörtel, werden von nahezu jeder Sanierungsfirma bzw. Sanierungskolonne zur schnellen Abdichtung von undichten Schächten vorgehalten. Um die Leistungsfähigkeit ausgewählter Abdichtungsmaterialen darzustellen, werden diese unter vergleichbaren Randbedingungen und unter Berücksichtigung ihrer Handhabbarkeit getestet. Im Rahmen der Versuche sollen weitgehend nur die Materialien variiert werden, daher wird der Versuchsaufbau reproduzierbar gestaltet und die Durchführung der Arbeiten von stets denselben Personen durchgeführt.

Im Ergebnis zeigt sich die Praxistauglichkeit und Wirksamkeit der untersuchten Materialien und Netzbetreiber erhalten Entscheidungshilfen für deren Verwendung.

Vergleichende Untersuchungen von Schachtauskleidungen und -beschichtungen sowie Kunststoffschächten (AP 3)

Unter vergleichbaren Randbedingungen werden Auskleidungs- und Beschichtungssysteme für die Sanierung von Abwasserschächten getestet. Dafür werden die entsprechenden Probekörper im Großversuchsstand des IKT eingebaut. Die von den Mitgliedern des Projektbeirates ausgewählten Sanierungssysteme werden in planmäßig vorgeschädigte Schachtbauwerke von Fachfirmen eingebaut und unter stationären Grundwasserbedingungen im Großversuchsstand des IKT über einen Zeitraum von fünf Monaten beobachtet und untersucht. Zustandsveränderungen werden dokumentiert und ggf. eindringendes Wasser (Infiltrationen) quantitativ gemessen. Nach Abschluss der mehrmonatigen Belastung durch Außenwasserdruck auf die Sanierungssysteme schließen sich weitere Qualitätsprüfungen, wie z. B. Haftzugprüfungen und die Vermessung von Flächen ohne Materialverbund zum Untergrund, an.

Um Aussagen über die Leistungsfähigkeit bzw. Robustheit von Kunststoffschächten (für den Neubau) zu erhalten, werden verschiedene Produkte im mittelformatigen Versuchsstand des IKT eingebaut. Im Rahmen des Einbaus werden, wie bereits im Netz des Projektantragstellers in situ geschehen, übliche Belastungssituationen während

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

des Einbaus im Rahmen von Neubaumaßnahmen simuliert, um die jeweiligen Systemreserven, d.h. Sicherheitsreserven bei möglichen Fehlbelastungen im Baustellenbetrieb zu erforschen.

Mit den Ergebnissen des Vorhabens stehen den Netzbetreibern umfangreiche Informationen zu den Stärken und Schwächen einzelner Sanierungssysteme sowie Produkte für den Neubau zur Verfügung, die eine zielgerichtete Kanalnetzinstandhaltung ermöglichen können.

Kontrolle der Leistungsfähigkeit von Sanierungs- und Neubausystemen durch In-situ-Prüfungen (AP 4)

Um die ausgewählten Verfahren auch unter alltäglichen Sanierungsrandbedingungen untersuchen und bewerten zu können, werden diese auf Baustellen der Netzbetreiber intensiv begleitet und die Vorgehens- bzw. Arbeitsweisen der Sanierungskolonnen dokumentiert. Darüber hinaus dienen diese Baustellenuntersuchungen der Qualitätssicherung und dem Abgleich mit der Arbeitsweise beim Einbau der Sanierungssysteme im Großversuchsstand des IKT.

Die schadhaften Kunststoffschächte im Netz des Antragstellers werden, sofern möglich, vom Hersteller repariert. Diese Arbeiten werden begleitet und dokumentiert, um im Ergebnis Maßnahmen aufzuzeigen, um Netzbetreibern eine Hilfestellung bei vergleichbaren Problemfällen zu bieten.

Untersuchungen zu Mittragwirkung und Alterung (AP 5)

Insbesondere die mit Mörtelsystemen oder mit Auskleidungen sanierten Schächte können unter Umständen als statisch ertüchtigtes Bauwerk angesehen werden. In welchem Maße dies der Fall ist, soll mit dem modifizierten MAC-Verfahren erstmalig in sanierten Schächten untersucht werden. Dies wird an Probekörpern der Großversuche erfolgen, da hier insbesondere die vorherrschenden Randbedingungen bekannt und für alle Schachtbauwerke nahezu gleich sind.

Der Einsatz des MAC-Verfahrens - das für die Untersuchung von Kanalhaltungen bzw. -rohren entwickelt worden ist - muss jedoch im Vorfeld auf den Einsatz in Schachtbauwerken angepasst und ggf. modifiziert werden. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden Vorher-Nachher-Vergleiche zur Bestimmung der ggf. unterschiedlichen Bauwerkssteifigkeiten durchgeführt. Darüber hinaus kann der Einsatz dieser zerstörungsfreien Prüfmethode wertvolle Hinweise zur generellen Sanierbarkeit von Abwasserschächten geben.

Einen weiteren Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes bilden Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Sanierungsmaterialien. Dazu werden zunächst Informationen aus anderen Infrastrukturbereichen (z. B. Tunnelbau, Versorgungseinrichtungen, etc.) recherchiert und, sofern möglich, auf die Anforderungen für Abwasserbauwerke übertragen.

In einem weiteren Schritt wird das Alterungsverhalten unter Betriebsbeanspruchungen untersucht. Hier liegt der Fokus auf der Fortentwicklung von bereits vorhandenen Schäden bei weiterer Einwirkung der Schadensursachen.

Projektbegleitende Arbeitssitzungen des kommunalen Lenkungskreises (AP 6)

Das Vorhaben wird fachlich von den Projektteilnehmern bzw. Betreibern öffentlicher Kanalisationsnetze über die gesamte Projektdauer begleitet. Entsprechend dem Arbeitsprogramm werden sieben Arbeitssitzungen des Lenkungskreises durchgeführt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Der Projektverantwortliche des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur leitet die jeweiligen Veranstaltungen und bereitet diese entsprechend vor und nach. Im Rahmen von Fachvorträgen stellt der Projektleiter des IKT in jeder Sitzung den derzeitigen Stand der Bearbeitung dar und erläutert das geplante Vorgehen und das entwickelte Arbeitsprogramm. In Diskussion und Abstimmung mit den Teilnehmern werden das weitere Vorgehen und der Projektablauf im Lenkungskreis gemeinsam festgelegt bzw. bei Bedarf angepasst. Durch die Abstimmung des Arbeitsprogramms mit den Lenkungskreisteilnehmern und Einbindung von Netzbetreibern in die Projektbearbeitung wird gewährleistet, dass die aus Betreibersicht maßgeblichen Problemstellungen aufgegriffen werden und eine praxisgerechte Lösung erzielt wird. Die Ergebnisse jeder Sitzung werden in Ergebnisprotokollen schriftlich fixiert und den Teilnehmern der Sitzung zur Kenntnisnahme bzw. Abstimmung vorgelegt.

Wissenschaftlicher Endbericht zur Ergebnisdarstellung und -bewertung (AP 7)

Der Projektverlauf und die -ergebnisse des Vorhabens werden in dem vorliegenden wissenschaftlichen Endbericht zusammenfassend dargestellt, einschließlich Bewertung der Verfahren und Materialien zur Schachtsanierung.

Erarbeitung von Ausschreibungstexten und zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen (Muster-ZTV) für die Schachtsanierung (AP 8)

Zur Nutzung der erzielten Ergebnisse in der praktischen Umsetzung werden Arbeitshilfen sowie Handlungsempfehlungen zur Ausschreibung und Qualitätssicherung von Schachtsanierungssystemen erarbeitet, die den Netzbetreibern bei der Sanierung von Abwasserschächten eine Hilfestellung sein sollen. Darüber hinaus werden in Abstimmung mit den Lenkungskreismitgliedern Mustertexte für zusätzliche technische Vertragsbedingungen (Muster-ZTV) für Schachtsanierungsmaßnahmen in Arbeits- und Redaktionssitzungen formuliert, um zukünftig einen einheitlichen, qualitativ hochwertigen Sanierungs-Standard zu erzielen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

4 Vergleichende Untersuchungen von Verfahren zur Untergrundvorbereitung

4.1 Problem- und Zielstellung

Um Abwasserschächte beschichten oder auskleiden zu können, ist eine fachgerechte und damit den Randbedingungen sowie Materialien angepasste Untergrundvorbereitung durchzuführen. Im Rahmen von Schachtsanierungsmaßnahmen zeigte sich bereits in [8] und [9], dass die Mehrzahl der Sanierungsfirmen das Hochdruckwasserstrahlverfahren für die Vorbereitung der Untergründe aus Beton und Mauerwerk einsetzte. Hierzu waren und sind Geräte bzw. Verfahren auf dem Markt verfügbar, die sich im Wesentlichen in ihren Leistungsstufen bzgl. Wasserdruck und -durchfluss sowie den eingesetzten Düsenarten unterscheiden. Des Weiteren zeigte sich bereits im Rahmen dieser abgeschlossenen Projekte, dass die Untergrundvorbereitung häufig nur unzureichend ausgeführt worden ist und in der Folge zu Auffälligkeiten an den Beschichtungen führte, z. B. Hohllagen, Risse, etc.. Somit wurde festgestellt, dass die Ausführungsqualität der mit Wasserhochdruck durchgeführten Strahlarbeiten in vielen Fällen nicht den Vorgaben in technischen Merkblättern von Materialherstellern sowie üblichen Regelwerken entsprach. Hier wird i.d.R. gefordert, dass die Oberflächen nicht nur über eine ausreichende Festigkeit und Sauberkeit verfügen müssen, sondern auch über eine entsprechende Rauigkeit. So wiesen in [9] die gestrahlten Untergründe aus Betonfertigteilen zwar stets eine ausreichende Festigkeit auf, jedoch war ein signifikantes Aufrauen durch Freilegen des oberflächennahen Korngerüstes weitgehend nicht erfolgt.

Vor diesem Hintergrund ist die Frage nach den einflusswirksamen Parametern bei der Ausführung dieser Arbeiten zu stellen (vgl. Abschnitt 4.2). In der Folge ist somit auch von Interesse, ob mit der üblicherweise eingesetzten bzw. verfügbaren Technik eine ausreichende Untergrundvorbereitung – von Hand und/oder automatisch – zielführend durchführbar ist.

Es wurde ein Prüfprogramm entwickelt und durchgeführt, welches in Abschnitt 4.3 einschließlich der erzielten Ergebnisse dargestellt ist. Die vergleichenden Untersuchungen von Verfahren und Geräten wurden mit Normbetonplatten unterschiedlicher Festigkeiten und mit Mauerwerksklinkern durchgeführt. Diese Vorgehensweise beinhaltet u. a. die Variation von Untergrundfestigkeiten, um die Leistungsfähigkeit bzw. Einsatzgrenzen der einzelnen Geräte aufzuzeigen. Darauf aufbauend und mit Blick auf die generelle Durchführbarkeit von Strahlarbeiten in Abwasserschächten unter Berücksichtigung der Arbeitssicherheit sind auch (teil-)automatische Verfahren untersucht worden (vgl. Abschnitt 4.4). Mit diesen wurden nicht nur weitgehend glatte, unstrukturierte Oberflächen bearbeitet, sondern auch stark strukturierte, wie sie üblicherweise bei Bauwerken vorzufinden sind, die durch biogene Schwefelsäure-Korrosion geschädigt worden sind.

Welche Ergebnisse einzelne Verfahren zur Untergrundvorbereitung in der baupraktischen Umsetzung liefern können, zeigen die In-situ-Untersuchungen in Abschnitt 7.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

4.2 Hochdruck-Wasserstrahlen, Stand der Technik

4.2.1 Ziele der Untergrundvorbereitung

Zahlreiche Baustellenuntersuchungen der IKT-Prüfstelle und die Ergebnisse aus [7] zeigten, dass im Rahmen von Schachtsanierungsarbeiten vielfach eine Untergrundvorbereitung durchgeführt und beendet wurde, ohne jedoch die nachfolgend aufgeführte Anforderung nach einem „festen und dauerhaften Verbund“ zu erfüllen. Mit Blick auf die *Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV-ING)* [11] wird das Ziel der Oberflächenvorbereitung (Untergrundvorbereitung auf Betonoberflächen) wie folgt definiert:

„*Die Betonunterlage ist so vorzubereiten, dass zwischen dem aufzubringenden Betonersatz- oder Oberflächenschutz-System (OS) und der Betonunterlage ein fester und dauerhafter Verbund erzielt wird. Hierzu muss die Betonunterlage gleichmäßig fest und frei von trennenden Substanzen, scharfen Schalungskanten und Graten sein.*“

Werner [12] unterscheidet bei den Arbeiten mit einem Hochdruckwasserstrahl, bezogen auf die Abtragsdicke, zwischen

< 1 mm = Reinigen,
1 – 3 mm = Aufrauen und
> 3 mm = Abtragen

der Oberfläche.

Das „Reinigen“ umfasst das Entfernen fremder, unerwünschter Materialien von Grund- bzw. Trägermaterial, wobei Fremdmaterialien Verschmutzungen oder Altbeschichtungen sind. Dabei können die Reinigungsarbeiten grundsätzlich zwischen dem einfachen Reinigen als Beitrag zur Ästhetik und dem vorbereitendem Reinigen – für Erst- oder Wiederbeschichtungen – unterschieden werden [108]. Tatsächlich sind die oben erwähnten Ergebnisse zahlreicher Untergrundvorbereitungsmaßnahmen in die Kategorie „Reinigen“ einzuordnen.

Das „Aufrauen“ von Betonflächen umfasst das Entfernen arteigener Materialien, z. B. der Zementhaut, von der Betonoberfläche [12]. Die *ZTV-ING* [11] stellt bezüglich des Einsatzes verschiedener Betonersatzsysteme hohe Anforderungen an das Vorbereitungsziel. Für Beton lautet dies wie folgt: „*Der Feinmörtel ist soweit abzutragen, dass der Betonersatz am Grobkorn haften kann*.“

Das „Abtragen“ von Betonschichten beschreibt das Entfernen eines relativ großen Volumens an Beton. Es handelt sich dabei um beschädigte oder in der Festigkeit beeinträchtigte Betonschichten [12].

Druckwasserstrahltechnik

Ein Hochdruckwasserstrahl entsteht durch die Beschleunigung von Wasser mit hoher Leistung. Nach DIN 8200 [13] können zur verstärkenden Wirkung der Flüssigkeit Strahlmittel, Inhibitoren und Reinigungsmittel beigemengt werden. In Abhängigkeit der eingestellten Systemparameter kann jeder beliebige Werkstoff bearbeitet und geschnitten werden, was das Hochdruckwasserstrahlen in den meisten modernen Industriezweigen zu einem universell einsetzbaren Werkzeug macht [14].

Ein Einsatzbereich sind Instandsetzungsmaßnahmen eines geschädigten Betons oder Mauerwerks. Unter anderem ist dazu eine Oberflächenvorbehandlung notwendig, wel-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

che durch die Schaffung eines tragfähigen Untergrundes die Applikation eines Instandsetzungssystems ermöglicht. Der Umfang der Instandsetzungsmaßnahmen ist an den Schädigungsgrad des Untergrundwerkstoffes gebunden und reicht von einfachen optischen Ausbesserungen bis hin zur tiefgreifenden Beseitigung geschädigten Materials (vgl. Bild 1) [14].

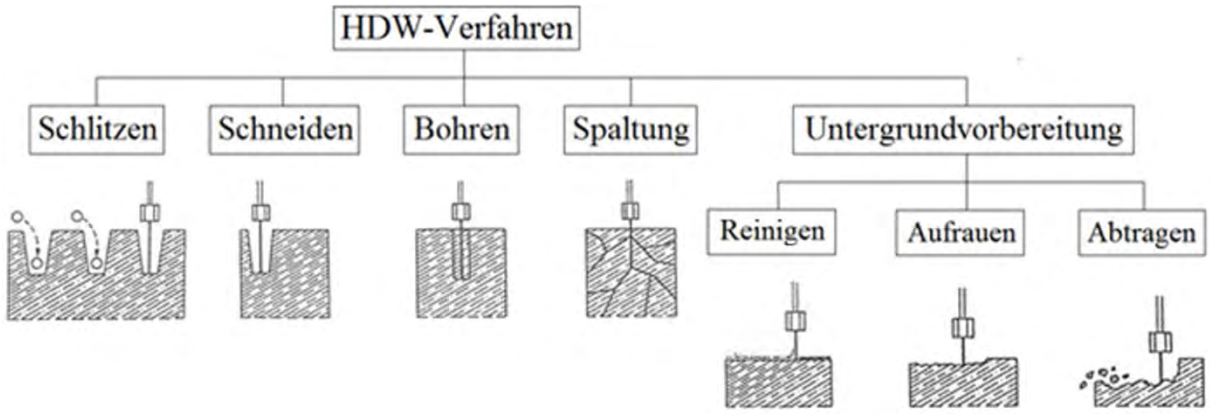


Bild 1 Einsatzmöglichkeiten des Hochdruckwasserstrahls im Rahmen von Betoninstandsetzungsarbeiten (vgl. [14])

Die Gesamtbeanspruchung eines Hochdruckwasserstrahls beim Reinigen, Aufrauen oder Abtragen von Beton setzt sich außer aus statischen und dynamischen Beanspruchungen seitens des Strahls auch noch aus der Summe vieler Einzelereignisse wie Erosion, Kavitation und Abrasion zusammen. Bisher sind zwar die Wirkungen dieser Erscheinungen innerhalb des Betons bekannt, wie genau und in welchem detaillierten Ausmaße sie zum Betonabtrag beitragen, ist allerdings noch umstritten [108].

Erzeugung und Aufbau eines kontinuierlichen Hochdruckwasserstrahls

Die Voraussetzung zur Nutzung des Hochdruckwasserstrahls als erosiv wirkendes Werkzeug ist der Energieumwandlungsprozess innerhalb einer Düse, in dessen Verlauf potentielle Strömungsenergie (Druckenergie) in kinetische Strahlenergie umgewandelt wird. Ein kontinuierlicher Hochdruckwasserstrahl ist ein direkt aus der Düse austretender, von außen unbeeinflusster Wasserstrahl.

Der Flüssigkeitsstrahl verlässt die Düse mit einer über den Düsenquerschnitt konstanten Geschwindigkeit und beginnt sich sofort mit dem umgebenden Medium zu vermischen. Die Durchmischungszone weitet sich dabei mit zunehmender Lauflänge radial auf und gleichzeitig vergrößert sich auch mit wachsendem Düsenabstand die belastende Fläche [15]. Weiterhin erfolgt mit wachsendem Strahlabstand aufgrund der Reibung zwischen den beiden Medien an der Randzone des Strahls ein Energieaustausch, welcher zur Veränderung der Wasserstrahlgeschwindigkeit führt. Die Geschwindigkeit in der Randzone nimmt ab, der Strahl wird dadurch instabil und zerfällt schließlich [16].

Durch die zuvor beschriebenen Wechselwirkungen und aufgrund strahlinterner Kräfte kann der Hochdruckwasserstrahl in drei verschiedene axiale Strahlzonen unterteilt werden, den Primär-, Haupt- und Endbereich [17].

Der **Primärbereich** schließt unmittelbar an die Düse an und bildet annähernd die Form eines Kegels.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Der **Hauptbereich** umschließt die Kernstrahlzone und setzt sie axial fort. In der Reibungsgrenzschicht findet ein Impulsaustausch mit der Umgebungsluft statt, aufgrund dessen sich der Strahl aufweitet. Daher nehmen innerhalb dieser Zone zum Randbereich hin und mit zunehmendem Abstand zur Düsenöffnung die Strahlgeschwindigkeit und der Druck aufgrund von Reibungsverlusten zwischen den unterschiedlichen Medien ab.

Im **Endbereich** existiert kein zusammenhängender Strahlanteil mehr. Dieser Bereich besteht nur noch aus Einzeltropfen und kann keinen entscheidenden Beitrag zur Untergrundvorbehandlung leisten [18].

Betonabtrag mit einem Hochdruckwasserstrahl

Es ist bekannt, dass die Bearbeitung von Beton mittels Hochdruckwasserstrahlen eine Kombination mehrerer z.T. gleichzeitig wirkender, aber auf verschiedenen Prinzipien beruhender Belastungsvorgänge darstellt. Der Gesamtwiderstand des Materials bildet somit die Summe aus den einzelnen Widerstandskennwerten Bruchzähigkeit (Rissausbreitungswiderstand), Erosionswiderstand (Permeabilität), Kavitationswiderstand und Abrasionswiderstand [19].

Beton ist ein spröder, inhomogener, mehrphasiger Werkstoff, dessen wesentliche festigkeitsspezifische Merkmale ein vorwiegend elastisches Verhalten sowie das Fehlen eines ausgeprägten Wöhlerverhaltens sind [18].

Nach *Wiedermeier* [20] sind bruchmechanische Vorgänge verantwortlich für die Reaktion spröder Werkstoffe auf die Hochdruckwasserstrahlbelastung. Seiner Meinung nach ist der Prozess der Rissbildung der entscheidende Belastungs- und Zerstörungsmechanismus (*vgl.* [19]).

Infolge der Belastung durch einen kontinuierlichen Wasserstrahl setzt nach dem Überschreiten eines materialspezifischen Schwellendruckes nahezu verformungslos eine Rissbildung ein, die letztendlich auch den Materialabtrag hervorruft. Ein großer Druckgradient und die damit verbundene Zugspannungen auf der Betonoberfläche – erzeugt im Moment des Strahlaufschlages (Staudruckimpuls) und/oder durch abgelöste Flüssigkeitstropfen (Tropfenschlag) – sind verantwortlich für die erste Risseinleitung (vgl. Bild 2b). Der darauf folgende weitere Rissfortschritt kann im Wesentlichen auf die hydrodynamische und hydrostatische Druckverstärkung in Kerben und Spalten zurückgeführt werden, welche vom Staudruckniveau abhängt. Da der Hochdruckwasserstrahl mit einer gewissen Vorschubgeschwindigkeit über die Oberfläche geführt wird, entsteht eine große Anzahl an sich auszubreitenden Rissen (vgl. Bild 2c). Treffen nun mehrere Risse aufeinander, so brechen Werkstoffpartikel aus der Struktur heraus und es ist ein erster Materialabtrag zu verzeichnen (vgl. Bild 2d). Die Summe derartiger sehr kleiner Abträge erscheint dann als makroskopischer, vergleichsweise großflächiger Materialausbruch ([18], [108]).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

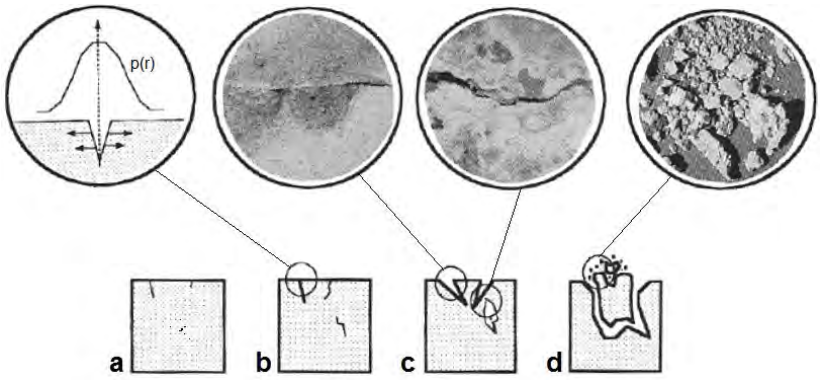


Bild 2 Betonzerstörung durch Druckwasserstrahlen [108]

Des Weiteren erleichtern bereits vorhandene Mikrorisse, Gefügefehler, Versetzungen oder Korngrenzen (*vgl.* Bild 2a) den schädigenden Risseintrag durch den Wasserstrahl (*vgl.* [18] *zitiert aus* [21]).

Der Abrasiv- Hochdruckwasserstrahl

Der Abrasiv- Hochdruckwasserstrahl ist durch die Zugabe eines feinkörnigen Feststoffes zum Flüssigkeitsstrahl gekennzeichnet.

Der Vorgang der Werkstoffzerstörung kann in seiner Komplexität momentan noch nicht eindeutig beschrieben werden. Teilweise ist es sogar umstritten, in wieweit das Wasser neben dem eingesetzten Strahlgut am Materialabtrag beteiligt ist. Sicher ist jedoch, dass durch den Flüssigkeitsstrahl die Abrasivpartikel mehrmals auf den Untergrund aufschlagen können. Durch den Rückprall von der Oberfläche gelangen die Partikel wieder in den Strahl und werden nochmals beschleunigt. Außerdem wirkt das Wasser als Transportmittel und schwämmt gelöste Materialien und den Abrasivstoff aus dem Kerbgrund ([18], [108]).

4.2.2 Einflussgrößen auf das Hochdruckwasserstrahlen

Das Ergebnis von Untergrundvorbereitungsarbeiten mittels Hochdruckwasserstrahlen ist von vielen Faktoren abhängig. Das nachfolgende Bild 3 zeigt die wesentlichen Einflussgrößen bei der Anwendung des Hochdruckwasserstrahlens.

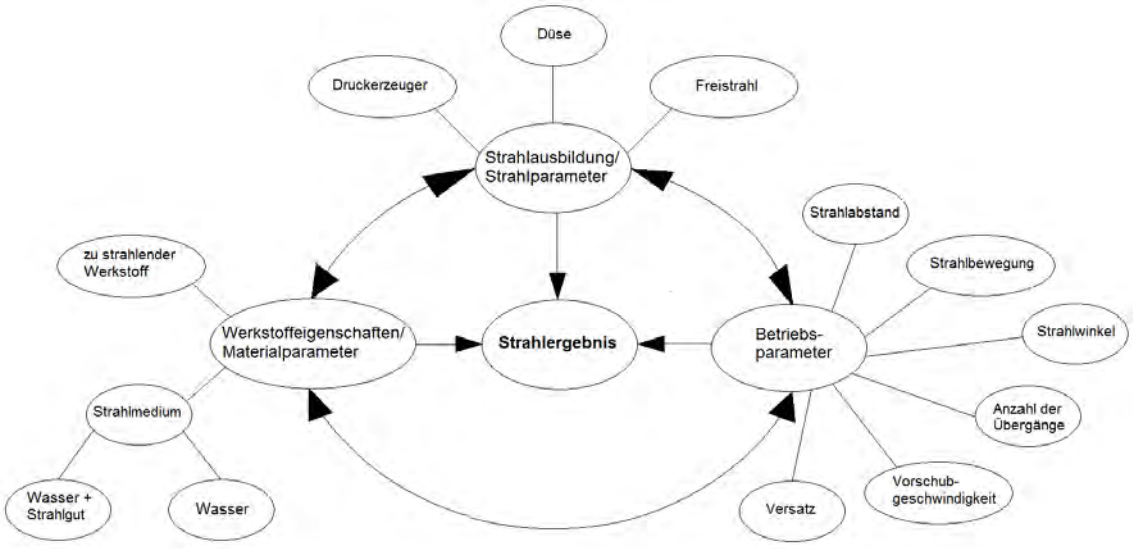


Bild 3 Prozessparameter beim Hochdruckwasserstrahlen (vgl. [20], [14])

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Für das Strahlergebnis ist die Kenntnis über das Zusammenwirken der Strahlparameter und Betriebsparameter sowie ihr Einfluss auf die Materialparameter Grundvoraussetzung (vgl. Bild 3). Die Werkstoffeigenschaften sind in der Regel nicht beeinflussbar, im Gegensatz zu den Systemparametern (Strahlparameter und Betriebsparameter), die dem Operateur zur Abtragsteuerung zur Verfügung stehen.

4.3 Händische Durchführung von Strahlarbeiten an Probekörpern aus Beton und Mauerwerksklinkern

4.3.1 Versuchsrandbedingungen

Mit Blick auf die in der Literatur beschriebenen Untersuchungen im Bereich der Hochdruckwasserstrahltechnik sowie unter Berücksichtigung von Erfahrungen aus der Praxis werden die für die Versuchsreihe wesentlichen System-, Betriebs- und Materialparameter identifiziert und ausgewählt (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1 Zusammenstellung der untersuchten System- und Materialparameter für die händisch durchgeführten Versuche

Zu strahlende Werkstoffe	Versuchsrandbedingungen
Beton	
Probekörpermaße [cm]	30 x 30 x 10
Probekörperalter	> 28 Tage
Betonfestigkeitsklasse	C 20/25, C 35/45 → Unterscheidung in geschalte (gs) und ungeschalte (ug) Seite
mittlere Druckfestigkeit (Rückprallhammer) C 20/25 [N/mm²]	ug: 21 gs: 42
mittlere Druckfestigkeit (Rückprallhammer) C 35/45 [N/mm²]	ug: 34 gs: 52
Mauerwerksklinker	
Probekörpermaße [cm]	L=24,0, B=11,5, H=7,1
Probekörperalter	unbekannt
Druckfestigkeit nach Norm [N/mm²] (DIN 4051 [22])	45
mittlere Druckfestigkeit (Rückprallhammer) [N/mm²]	44,3

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Betriebs-/ Strahlparameter	Versuchsrandbedingungen
Wasserdruck p, Druckerzeuger [bar]	300, 400, 500, 1000
Düsenart [-]	Punktstrahldüse, Flachstrahldüse, Rotationsdüse, Kombinationsdüse Wasser/Strahlgut, passend zur Leistung des Druckerzeugers
Fördervolumen Druckerzeuger [l/min]	17-22
Anzahl der Übergänge n [-]	3 bzw. 10, 15, 20
Strahlabstand [cm]	5, 10, 15
Strahlwinkel φ [°]	20, 30, 45, 65, 90

Für gezielte Aussagen über die wechselseitigen Einflüsse der Parameter auf die Abtragsergebnisse war es in den Versuchen erforderlich, die Kombinationen der Parametereinstellungen zu variieren. Im Folgenden werden die einzelnen Einstellungen der Strahl- und Betriebsparameter aufgezeigt und erläutert.

Strahlparameter

Die Wahl der Bereiche des **Pumpendrucks** erfolgte unter anderem in Anlehnung an das Merkblatt 6.2 des Rohrleitungssanierungsverbandes (RSV), in dem ein Wasserdruck ≥ 300 bar zur Untergrundvorbehandlung gefordert wird [23]. Weiterhin konnte in [7] beobachtet werden, dass mit den hier durchgeführten Strahlarbeiten bei Druckbereichen von ca. 300 bis zu ca. 500 bar nicht die gewünschten bzw. erforderlichen Ergebnisse bzgl. der Untergrundvorbereitung erzielt wurden. Offen blieb allerdings, inwieweit durch eine Verlängerung der einzelnen Strahlarbeiten ein besseres Ergebnis hätte erzielt werden können. Die im Rahmen dieser Untersuchungen durchgeführten Strahlarbeiten erfolgten bei eingestellter Maximalleistung der einzelnen Druckerzeuger. Zu den eingesetzten Druckerzeugern lieferte der Hersteller die zugehörigen und üblicherweise bei Schachtsanierungsarbeiten eingesetzten **Düsenarten** – Punkt- und Flachstrahl- sowie Rotations- und Ringdüsen – mit.

Betriebsparameter

Der senkrechte Abstand zwischen dem Strahlaustrittspunkt der Düse und der Materialoberfläche ist i. a. als **Strahlabstand** definiert. In Anlehnung an die gewählten Größen aus der Literatur [12] sowie Hinweisen von Sanierern und des Druckerzeuger-Herstellers wurden Abstände von 5, 10 und 15 cm gewählt.

Die Abstände können aufgrund der beengten Platzverhältnisse innerhalb eines Schachtbauwerks allerdings nicht beliebig groß gewählt werden. In Abhängigkeit der Länge der Lanze kann es unter Umständen möglich sein, dass vor allem bei einem senkrecht auf die Schachtwandung auftreffenden Strahl erforderliche Abstände aufgrund der beengten Platzverhältnisse ggf. nicht zu realisieren sind. In den Untersuchungen wird der Strahlabstand bei Mehrfachüberfahrten nicht verändert, sondern wächst mit zunehmender Kerbtiefe an. In der Praxis ist eine handgeführten Lanze von Vorteil, sodass der Strahlabstand sehr einfach korrigiert werden kann.

Der **Strahlwinkel** bildet den Winkel zwischen Werkstoffoberfläche und dem Hochdruckwasserstrahl. Mit diesem ist es möglich, die Intensität der horizontalen und vertikalen Strahlanteile zu variieren. Die Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen (vgl. [24], [25], [12]) werden genutzt, um plausibel erscheinende Winkeleinstellungen vorzunehmen. Angemessen erscheinen die Winkeleinstellungen 20°, 30°, 45°, 65° und

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

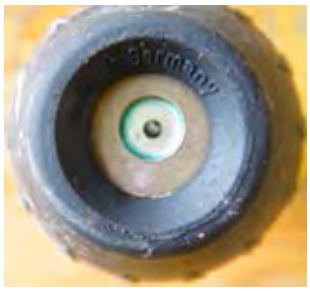
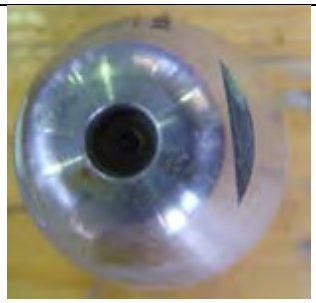
90°. Unter einem 90°-Winkel trifft der Wasserstrahl senkrecht auf die Probekörperoberfläche auf. Die Einstellungen eines 20° und 30°-Winkels wurden lediglich vorgenommen, um sich einen Überblick über das Abtragsbild zu schaffen. Der Bereich zwischen einem 45°- und 90°-Winkel wird i. a. zur Erzielung höherer Abtragsraten als entscheidend angesehen.

Die **Vorschubgeschwindigkeit** bezeichnet die Geschwindigkeit des Hochdruckwasserstrahls relativ zur Werkstoffoberfläche. Die Strahlarbeiten wurden unter Berücksichtigung der Erkenntnis von Werner [12] durchgeführt, die besagt, dass ein besseres Ergebnis durch mehrmaliges Passieren eines Ortes mit erhöhter Vorschubgeschwindigkeit erzielt wird als nur mit einer Überfahrt bei gleichzeitig geringerer Vorschubgeschwindigkeit.

Überfährt der Hochdruckwasserstrahl mehrmals den gleichen Ort, so wird das als **Mehrfachüberfahrt** bezeichnet. Eine Überfahrt beschreibt die Bewegung des Strahls über die Probekörperoberfläche in eine Richtung. In Anlehnung an die Versuchsergebnisse von Werner [12] wurden somit zunächst drei Überfahrten für die Versuchsdurchführung gewählt. Er erkannte in seinen Untersuchungen, dass die zweite und dritte Überfahrt eine deutliche Zunahme der Kerbtiefe hervorruft. Im Vergleich ist die Kerbtiefenzunahme aller weiteren Überfahrten deutlich geringer, da zum einen die Belastungsintensität abnimmt und zum anderen evtl. die Reibungsverluste an den Kerbwänden einen kritischen Wert übersteigen [25].

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 2 Übersicht zu den überwiegend im Rahmen der Versuche eingesetzten Düsen

zu HD-Geräten (rechts) zugehörige Düsen (unten)	**Hochdruckreiniger E 400**	**Hochdruckreiniger E 500-17**	**Hochdruckreiniger E 1000**
Flachstrahldüse			
Rotationsdüse			
Ringdüse (Abrasivstrahlen)			Kein Einsatz von Strahlgut bei diesem Druckerzeuger

Für den jeweiligen Düsentyp und eingestellten Druck wurde mit drei Überfahrten die optimale Kombination zwischen Strahlabstand und Winkel ermittelt. Anschließend erfolgte unter der für diesen Fall optimalen Betriebsparameterkombination eine zehn, fünfzehn und zwanzigmalige Überfahrt, da auf diese Weise nach den Ergebnissen von Werner [12] eine technisch sinnvolle Grenztiefe erreicht werden kann. Damit eine Beschichtung auf dem Untergrund haften kann, ist i.d.R. ein Abtrag von 1 bis 3 mm notwendig. Dieser kann jedoch in Abhängigkeit der vorhandenen Zementüberdeckung des Zuschlages variieren. Ein vergleichsweise sicherer Hinweis bzgl. eines ausreichenden Materialabtrags ist gegeben, wenn das oberflächennahe Zuschlagskorn bereits kuppenartig freigelegt werden konnte.

Als **Probekörper** wurden für die Versuche Betonblöcke unterschiedlicher Festigkeiten und Mauerwerksklinker verwendet (vgl. Bild 4, rechts). Die Betonprobekörper hatten eine ungeschalte (ug) Oberseite und eine geschalte (gs) Unterseite (vgl. Bild 4, links

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

und mittig). Bei den Versuchen wurden beide Seiten als unabhängige Probekörper behandelt. Um kurzfristig Aussagen über die Druckfestigkeit des Betons zu erhalten, ist diese mit einem Rückprallhammer nach DIN 1048, Teil 2 [26] an allen Probekörpern bestimmt worden. Zur Abschätzung der Druckfestigkeit von Mauerwerksklinkern wurde diese ebenfalls mittels Schmidthammer – obwohl dessen Einsatz nur für die Bestimmung von Betonfestigkeiten bestimmt ist – stichprobenhaft an zehn Probekörpern auf der glatten Seite ermittelt. Angaben zur ermittelten Festigkeit sind in Tabelle 1 dargestellt.

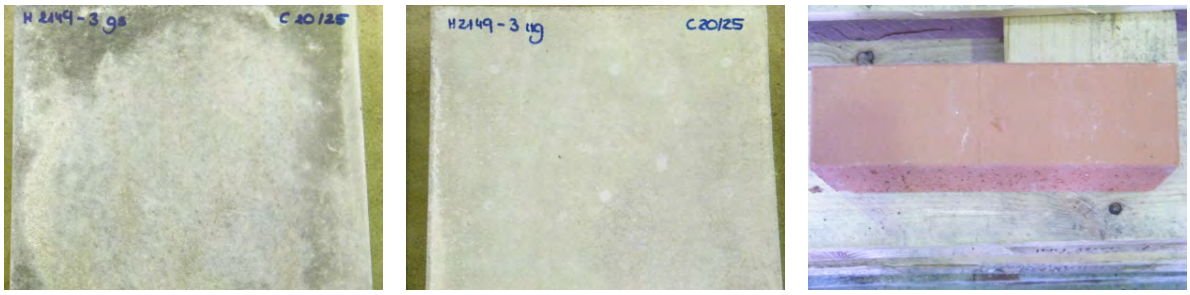


Bild 4 Ansicht der Probekörper von links nach rechts: Beispiel für eine geschalte und ungeschalte Betonprobekörper-Seite sowie einen Mauerwerksklinker

Bei den Untersuchungen wurden vier verschiedene Hochdruckpumpen (**Druckerzeuger**) mit ihrem maximal erreichbaren Arbeitsdruck und ihrer maximalen Fördermenge eingesetzt. Um sicherzustellen, dass die technischen Angaben der Produktdatenblätter den jeweiligen Hochdruckpumpen entsprechen, wurden während der Versuche der Druck an der Düse sowie die Durchflussmenge gemessen.

Die nachfolgende Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Soll- und Istwerte. Mit der zur Verfügung stehenden kalibrierten Druckmesssonde konnten nur Drücke bis zu einem Druckbereich von 500 bar gemessen werden. Darüber hinaus war es von Seiten des Herstellers unzulässig, die Hochdruckeinrichtung so zu modifizieren, um den Anschluss der Messtechnik zu ermöglichen. Die Istwerte konnten daher beim Druckerzeuger E 1000 nicht ermittelt werden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 3 Übersicht über die Soll- und Istwerte der Druckerzeuger

Betriebsparameter Druckerzeuger	**Gerätetypbezeichnung**			
	E 320	**E 400**	**E 500 - 17**	**E 1000**
Nomineller Betriebsdruck[1)] [bar]:	330	405	530	1050
Soll-Arbeitsdruck[1)] [bar]:	310	385	500	1000
Arbeitsdruck am Gerät[2)] [bar]:	nicht erfasst	370	440	1070
Druck an der Düse[3)] [bar]:	281	330	393	nicht erfasst
Soll-Fördermenge[1)] [l/min]:	22	22	17	18
gemessene Fördermenge[3)] [l/min]:	17	17	16	nicht erfasst

1) Gemäß Herstellerangaben (Fa. Von Oertzen GmbH)

2) Abgelesener Wert

3) Gemessener Wert

4.3.2 Durchführung der Laborversuche

Versuchsaufbau

Für die Laborversuche wurde eine Versuchseinrichtung konstruiert, mit der es möglich war, die Probekörper in der vorgesehenen Weise zu strahlen. Das Hauptelement der Versuchseinrichtung bildete das Grundgestell mit der darauf montierten Lanzenhalterung (vgl. Bild 5, links). Das Grundgestell bestand aus einem ausgesteiften U-Profil mit angeschraubten Rollen. Das Gerüst der Lanzenhalterung ist starr auf dem Wagen montiert. Die Lanzenhalterung selbst konnte zwischen den Winkeln 0°, 20°, 30°, 40°, 45°, 65° und 90° in Vorschubrichtung variiert werden. Die Fixierung erfolgte mit Schrauben. Der Abstand des Probekörpers zur Düse wurde durch Unterlegen weiterer Steine eingestellt.

Im Mittel konnten in Abhängigkeit der eingesetzten Düsenart an einem Betonprobekörper drei bis fünf Einzelversuche erfolgen. Auf den Mauerwerksklinkern wurde, bedingt durch deren geringe Fläche, jeweils nur eine Kerbe gestrahlt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 5 Ansicht des Versuchsaufbaus (links) und der Messeinrichtung für die Abtragsbestimmung (rechts)

Messungen der Kerbtiefe

Vor Beginn des Strahlens mussten die Oberflächen an den Stellen der Strahl-Spuren vermessen werden. Als Messeinrichtung wurde hier diejenige der Darmstädter Kipprinne verwendet (vgl. Bild 5, rechts). Diese ist üblicherweise eine Versuchseinrichtung zur Ermittlung des Abriebs von Rohren und Rohr-Rehabilitationsmaterialien. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Messeinrichtung ist eine Schiene, entlang derer eine kalibrierte Messuhr bewegt werden kann. Unter diese Schiene wird der Probekörper gelegt.

Nach Beendigung der Strahlarbeiten erfolgte nach dem zuvor beschriebenen Prinzip die Ermittlung der Kerbtiefe. Nun wurde an denselben Stellen wie vor Beginn des Strahlens die Kerbtiefe gemessen und notiert. Aus Differenzen- und anschließender Mittelwertbildung ergaben sich die erzielten Kerbtiefen. War diese Messweise nicht möglich, da der Materialabtrag höher war als der Messbereich der Uhr, wurden diese Werte mittels Schieblehre relativ zur ungestrahlten Betonoberfläche gemessen.

Strahlen der Probekörper

Nachdem die erste Messung der Kerbtiefe in der Versuchshalle abgeschlossen wurde, erfolgte das Strahlen der Probekörper im Freien. Hierbei wurde beachtet, dass der Strahl mittig über die Messlinie verläuft. Für alle eingesetzten Düsenarten war der Versuchsablauf stets gleich. Während der Überfahrten wurde die Zeit mit einer Stoppuhr gemessen.

In einer weiteren Untersuchung wurde die gesamte Strahldauer gemessen, in welcher eine Betonprobekörper-Oberfläche so lange gestrahlt wird, bis die Gesteinskörnung freigelegt war. Zuvor wurde auf vier Linien auf der Probekörperoberfläche die Kerbtiefe bestimmt, sodass nach dem Strahlen die Differenz dazu gebildet werden konnte. Insgesamt konnte somit an 20 Punkten die Kerbtiefe ermittelt und gemittelt werden.

Im Rahmen dieser Untersuchungen sollte unter anderem die Effektivität der einzelnen Düsen näher betrachtet werden. Bei Schachtbauwerken handelt es sich i. d. R. um vergleichsweise große zu bearbeitenden Flächen, sodass nicht nur die Kerb- bzw. Abtragstiefe sondern auch die Zeit, in der dieser Abtrag erfolgen kann, von Bedeutung ist.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

4.3.3 Versuchsprogramm

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden durch Variation der Prozessparameter (vgl. Tabelle 4) insgesamt 333 Strahl-Versuche durchgeführt. Nachstehende Tabelle zeigt die berücksichtigten Prozessparameter (vgl. dazu auch Bild 3), deren Variation auch mit Blick auf die Umsetzbarkeit in Abwasserschächten sinnhaft scheint. Tabelle 1 gibt Auskunft über die quantitativen Werte der Prozessparameter.

Tabelle 4 In den Versuchen berücksichtigte und variierte Prozessparameter

Materialparameter	Strahlparameter	Betriebsparameter
zu strahlende **Werkstoffe** (Beton u. Mauerwerksklinker) **Anzahl:3**	**Druckerzeuger** (Pumpendruck und -durchfluss) **Anzahl: 4**	**Strahlabstand** **Anzahl: 3**
zu strahlende **Oberflächen** (geschalt/ungeschalt) **Anzahl:3**	**Düsen** (Düsenarten) **Anzahl: 10**	**Strahlwinkel** **Anzahl: 5**
Strahlmedien (Wasser mit und ohne Granulat) **Anzahl: 2**	-	Anzahl der **Übergänge** **Anzahl: 4**

Mit Blick auf die „Hardware“ zur Variation der Strahlparameter standen vier unterschiedliche Druckerzeuger und vier verschiedene Düsentypen zur Verfügung. Der Hochdruckreiniger E 1000 war für eine kombinierte Anwendung mit Strahlgut nicht konzipiert, sodass unter dieser „Druck-Düsenkombination“ eine Untersuchung der gewählten Parametereinstellungen nicht möglich war.

Weiterhin erfolgten die Versuche an zwei Betonprobekörpern unterschiedlicher Festigkeit (C 20/25 und C 35/45) und Oberflächenbeschaffenheit sowie an Mauerwerksklinkern. Die gewählten Parameterkombinationen werden unter einem Druck von 300 bar und 400 bar auf der ungeschalten Seite untersucht und auf der geschalten Seite mit Drücken von 500 bar und 1000 bar. Die Mauerwerksklinker wiesen bereits bei Drücken von 500 bar vergleichsweise große Kerbtiefen bzw. Materialabträge auf, sodass hier auf den Einsatz des E 1000 verzichtet wurde. Im Folgenden werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchungen dargestellt, zunächst für Betonprobekörper und im Anschluss für die Mauerwerksklinker.

4.3.4 Versuchsauswertung

Erste Versuche umfassten die Untersuchungen mit einem Hochdruckreiniger der Leistungsstufe von 300 bar. Diese hatten den Charakter von Vorversuchen, in denen nicht nur das Prüfprogramm umgesetzt wurde, sondern auch die Handhabung und Durchführbarkeit der Versuche mit dem vergleichsweise leistungsschwachen Gerät. Ein Ergebnis mit der erst- und einmalig verwendeten Punktstrahldüse ist in Bild 6 dargestellt, ebenso wie das Strahlergebnis bei Verwendung einer Flachstrahldüse. In beiden Fällen ist unter Berücksichtigung der Erscheinung der gestrahlten Oberfläche sowie der

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

ermittelten Kerbtiefen von ca. 0,3 mm und 1,1 mm (Punktstrahldüse mit einer Strahlbreite von ca. einem Zentimeter und Flachstrahldüse mit einer Strahlbreite von ca. 3,5 cm, vgl. Bild 6) erkennbar, dass unter den gegebenen Voraussetzungen eine effektive Untergrundvorbereitung einen unrealistischen Arbeits- und Zeitaufwand bedeuten würde.

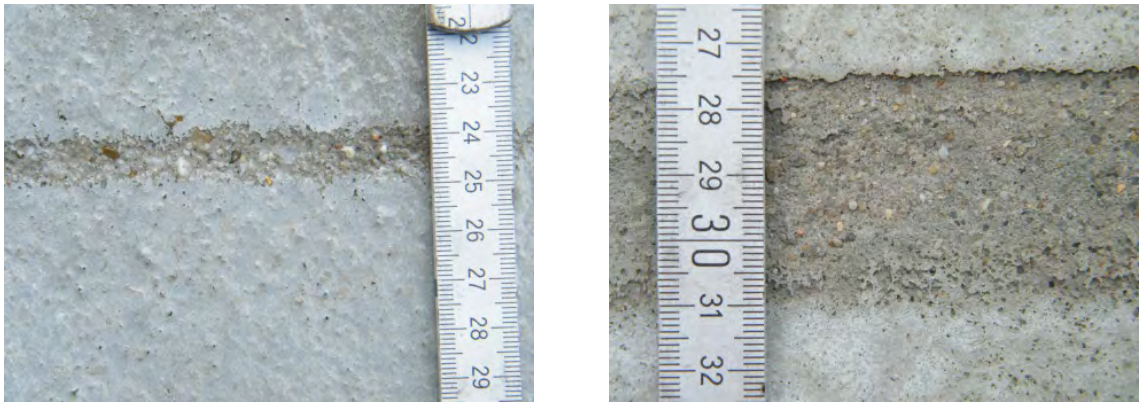


Bild 6 Abtragsbild einer Punktstrahldüse (links) und einer Flachstrahldüse (rechts) auf Beton C20/25 bei einem Strahlwinkel von 90° und einem Düsenabstand von 5 cm auf der ungeschalten Oberfläche

Aus der Vielzahl der Strahlversuche sind in Tabelle 5 diejenigen Versuchsergebnisse dargestellt, welche Aussagen zur Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technik bzgl. Kerbtiefe je Strahldauer bei gegebenen Randbedingungen – Betonfestigkeit, Oberflächenstruktur, Düsenart und Druckerzeuger-Leistung – ermöglichen.

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 5 dargestellten Ergebnisse wird deutlich, dass durch den Einsatz der Flachstrahl- und Rotationsdüsen – die in weiteren Versuchen auf Beton annähernd gleiche Kerbtiefen erreichten – kaum eine zufriedenstellende Abtrags-Zeitkombination zu erreichen ist. Legt man des Weiteren zugrunde, dass die hier gestrahlten Flächen eine Ausdehnung von etwa 0,0625 m² besitzen und rechnet den zeitlichen Aufwand auf eine zu bearbeitende Schachtwandungsfläche von bspw. 10 m² hoch, ergeben sich Strahldauern von bis zu ca. 14 Stunden für eine Abtragstiefe von ca. 3,7 mm bei Geräten mit einem Druckbereich von 400 bis 500 bar und Zugabe von Abrasivstoffen. Überschlägig ergeben sich in diesen Fällen benötigte Mengen an Strahlgut in der (realitätsfernen) Größenordnung von 1,7 t bis 3,0 t.

Bei Betrachtung der erzielten Oberflächenstrukturen bei Einsatz des 1000 bar-Druckerzeugers wird deutlich, dass dieser eine offensichtlich ausreichende Leistungsfähigkeit besitzt, die oberflächennahe Gesteinskörnung freizulegen. Auffällig ist hier, dass die ermittelte Kerbtiefe vergleichsweise gering ist. Hier scheint die Zementleimschicht an dem Probekörper von geringerer Dicke ein Grund zu sein.

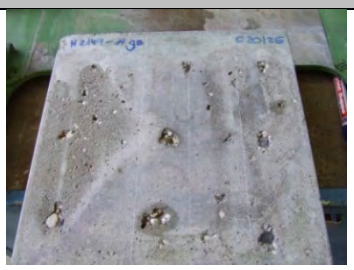
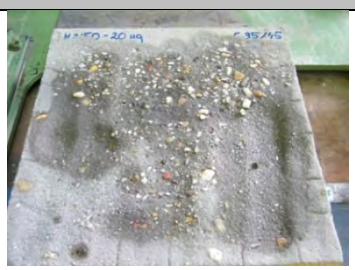
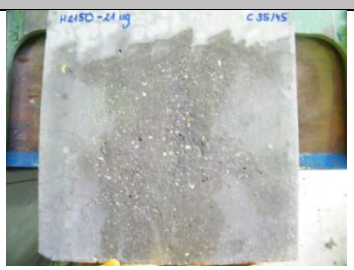
Ebenfalls auffällig ist der Einsatz der Rotationsdüse auf einem C 20/25- Probekörper unter einem Druck von 500 bar. Bereichsweise sind Ausbrüche in der Oberfläche zu erkennen. Aufgrund der rotierenden Bewegung, wurden offensichtlich einige Bereiche mehrmals gestrahlt, so dass an diesen höhere Ausbrüche die Folge sind. An den Punkten, die nur selten vom Strahl beansprucht wurden, konnte mit einem Druck von 500 bar kein Abtrag erzielt werden. Hier erscheint eine weitere Druckerhöhung erforderlich. Unter einem Druck von 1000 bar ist ein deutlich höherer Abtrag zu verzeich-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

nen. Zu berücksichtigen ist hier nicht nur die doppelt so hohe Leistung des Druckerzeugers, sondern auch die Bauform der Rotationsdüse: So verfügt die Rotationsdüse des 1000-bar-Gerätes über vier rotierende Punktstrahldüsen, im Gegensatz dazu besitzt die zum 500-bar-Druckerzeuger zugehöriger Rotationsdüse nur einen rotierenden Punktstrahl.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 5 Vergleich der Düsenarten bzgl. der Strahldauer und der Kerbtiefe

C 20/25, ug, 400 bar		**Abrasivstrahlen**		**Flachstrahldüse**	
	Kerb-tiefe [mm]:	3,65		1,53	
	Zeit [min]:	5,29		5,53	
C 20/25, gs, 500 bar		**Abrasivstrahlen**		**Rotationsdüse**	
	Kerb-tiefe [mm]:	1,14		0,05	
	Zeit [min]:	3,56		3,56	
C 20/25 gs, 1000 bar		**Abrasivstrahlen**		**Rotationsdüse**	
	Kerb-tiefe [mm]:	-	Der Einsatz von Strahlgut in Kombination mit dem E 1000 ist nicht möglich.	0,61	
	Zeit [min]:	-		1,45	
C 35/45, ug, 400 bar		**Abrasivstrahlen**		**Flachstrahldüse**	
	Kerb-tiefe [mm]:	4,22		0,4	
	Zeit [min]:	10,02		10,02	
C 35/45, gs, 500 bar		**Abrasivstrahlen**			
	Kerb-tiefe [mm]:	1,52		-	nicht durchgeführt
	Zeit [min]:	5,36		-	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die erzielten Oberflächenstrukturen bei den Mauerwerksklinkern lassen weitgehend eindeutig die verwendeten Düsen bzw. Stahlmittel erkennen. Das Abrasivstrahlen erreicht auf den Klinkersteinen (vgl. Bild 7, rechts) bei einem gering eingestellten Abstand von 5 cm unter einem Druck von 500 bar eine vergleichsweise hohe Kerbtiefe. Zudem zeigt sich innerhalb der roten Markierung eine deutliche Vertiefung ähnlich einem „Einschuss-Loch“. Hier sind offensichtlich Druckbereiche < 400 bar völlig ausreichend, um das gewünschte Abtragsergebnis auf Mauerwerksklinkern zu erzielen (vgl. Bild 7, links).

Bild 7 Abtragsbilder nach Strahlen mit Abrasivstoffen und einem Druckerzeuger mit 400 bar (links) und 500 bar (rechts) mit einer deutlichen Vertiefung innerhalb der roten Markierung

Allerdings konnte auch mit der Flachstrahldüse bei Drücken von 500 bar ein vergleichbares Abtragsergebnis erreicht werden (vgl. Bild 8, links). Aufgrund zusätzlich anfallender Kosten für Beschaffen und Entsorgen des Strahlguts bietet sich daher für diese Arbeiten der Einsatz einer Flachstrahldüse an.

Bild 8 Abtragsbilder einer Flachstrahl- (links) und einer Rotationsdüse (rechts) auf Klinkern bei einem Strahlwinkel von 90° und einem Düsenabstand von 5 cm bei Einsatz eines Druckerzeugers mit 500 bar

Der Einsatz der Rotationsdüse zum Aufrauen der Mauerwerksklinker erzielte das höchste Abtragsergebnis unter einem geringen Abstand von 5 cm (vgl. Bild 8, rechts). Die Energie des rotierenden Punktstrahls ist hier offensichtlich so groß, dass er sich unter einem Druck von 500 bar in den Stein hereinfräst und ihn sogar zerstört. Die gemessenen Kerbtiefen unter einem Druck von 400 bar sind ebenfalls auch noch zu hoch. Daher ist in diesem Fall eine deutliche Druckreduzierung zur Bearbeitung der Mauerwerksklinker mit der Rotationsdüse zu empfehlen. Andererseits nimmt die Kerbtiefe auch durch eine Vergrößerung des Abstandes deutlich ab, so dass der Einsatz der Rotationsdüse wieder gerechtfertigt werden kann, wenn die Randbedingungen bzw. Platzverhältnisse dies zulassen.

4.3.5 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Basierend auf den Untersuchungsergebnissen ist der geforderte Aufrauh-Effekt generell mit allen drei Düsenarten – Flachstrahl-, Rotationsdüse und Kombinationsdüse für das Abrasivstrahlen – zu erreichen, insbesondere wenn die Druckerzeuger einen

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Druck von ≥ 400 bar aufweisen. Jedoch sind die einzelnen Strahlarbeiten unterschiedlich zeit- und damit auch kostenintensiv. In Abhängigkeit der eingesetzten Düsenart ist es darüber hinaus erforderlich, zwischen den zu bearbeitenden Werkstoffen – Beton und Mauerwerksklinkern – zu differenzieren.

Der Einsatz der **Flachstrahldüse** auf Beton erweist sich aus wirtschaftlicher Sicht als nicht sinnvoll, da im Vergleich zu den anderen Düsenarten ein enormer Zeitaufwand infolge der hohen Anzahl an Mehrfachüberfahrten notwendig wäre, um ein Abtragsergebnis von mindestens 1 mm zu erreichen. Hingegen können unter einem ausreichend hoch eingestelltem Druckbereich von 500 bar auf den Mauerwerksklinkern ausreichende Ergebnisse erzielt werden.

Auf den Betonprobekörpern zeigt der Einsatz der **Rotationsdüse** unerwartet lediglich Kerbtiefenergebnisse wie bei dem Einsatz der Flachstrahldüse. Als Ursache sind Inhomogenitäten bei den Betonprobekörpern denkbar oder aber auch das Messverfahren. Gemessen wurde nämlich i.d.R. eine festgelegte Linie, die jedoch nicht zwingend diejenige mit dem höchsten Materialabtrag darstellen muss.

Auf den Mauerwerksklinkern wurden deren Oberflächen bei Einsatz der Rotationsdüse in Abhängigkeit des eingestellten Druckbereichs vereinzelt sogar zerstört. Hier sind somit Drücke < 400 bar für einen Abtrag von 1 mm offensichtlich ausreichend.

Bedingt durch die höhere Dichte des Strahlguts zu Wasser wird beim **Abrasivstrahlen**, unabhängig vom Werkstoff, ein zu den anderen beiden Düsenarten vergleichbarer Abtrag deutlich schneller erzielt. In allen Fällen wird auf Beton die Gesteinskörnung freigelegt und die notwendige Mindestkerbtiefe von 1 mm (Aufrauen) erreicht oder sogar überschritten. Allerdings ist mit steigender Betondruckfestigkeit auch ein bereits kritischer Zeitaufwand zu verzeichnen. Daher kann hier nur ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz bei geringen Festigkeitsbereichen erfolgen. Im Vergleich zum rein kontinuierlichen Wasserstrahl werden die geforderte Kerbtiefen schneller erreicht und deutlich geringere Drücke können gewählt werden. Auf den Mauerwerksklinkern ist ebenfalls ein Druckbereich von < 400 bar ausreichend. Allerdings ist bei dieser Technik zu berücksichtigen, dass hier zusätzliche Kosten für das benötigte Strahlgut sowie für dessen Entsorgung anfallen.

Als optimaler Betriebsparameter erweist sich ein (Düsen-)**Abstand** zur Oberfläche von 5 cm unter einem Winkel von 65°. Ob diese „Einstellungen“ jedoch im gesamten Schacht umsetzbar sind, ist fraglich. Mit steigendem Strahlabstand nehmen in gleicher Bearbeitungszeit erwartungsgemäß die erzielbaren Kerbtiefen ab.

Mit Blick auf den zur Verfügung stehenden „**Druck an der Düse**“ sollte berücksichtigt werden, dass die Nennleistung des Druckerzeugers offensichtlich am Pumpenausgang anliegt, diese Leistung aber bis zur Düse u. U. erkennbar reduziert wird.

In Abhängigkeit der Schachtgröße erstrecken sich, in Bezug zur gewählten Düsenart, die Strahlarbeiten für eine Aufrauhtiefe von 1 bis 3 mm ggf. über einen Zeitraum von mehreren Stunden. Inwieweit diese Arbeiten von einer Kolonne – i.d.R. bestehend aus zwei Arbeitern – mit der gewünschten Sorgfalt und Effizienz sowie unter Einhaltung der erforderlichen Unfallverhütungsvorschriften durchgeführt werden können, ist fraglich (vgl. Abschnitt 4.4.1). Ob automatische Reinigungseinrichtungen die gewünschten Ergebnisse erzielen können, ist im nachfolgenden Abschnitt 4.4 dargestellt. Auch sollte hinterfragt werden, welche Qualität der Untergrundvorbereitung auch mit Blick auf die Abtragstiefe für das jeweilige Sanierungssystem erforderlich ist.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

4.4 Automatische Verfahren zur Untergrundvorbereitung

4.4.1 Arbeitssicherheit bei der Untergrundvorbereitung in Abwasserschächten

Sofern Abwasserschächte mehr als nur mit einem einfachen Wasserstrahl gesäubert werden sollen, wird für Untergrundvorbereitungsarbeiten häufig das Wasserhochdruckstrahlverfahren eingesetzt. Hier sind erfahrungsgemäß Druckerzeuger im Einsatz, die Arbeitsdrücke von etwa 300 bis 500 bar, vereinzelt auch bis zu 1000 bar, entwickeln. Dabei wird ein Volumenstrom an Wasser gefördert, der bei diesen Geräten üblicherweise in einem Bereich von etwa 15 bis 30 Litern je Minute liegt. Kommen für diese Arbeiten Handlanzen zum Einsatz, beträgt deren Länge i.d.R. 80 Zentimeter oder mehr.

Legt man für die überwiegende Mehrzahl der in Deutschland vorhandenen Abwasserschächte einen Durchmesser von einem Meter bzw. eine Grundfläche von 1 x 1 Meter (ggf. für Mauerwerkschächte) sowie Tiefen von etwa zwei bis fünf Metern zugrunde, sind somit die wesentlichen Randbedingungen für die zu bearbeitenden Schachtinnenflächen beschrieben.

Mit Blick auf geltende Unfall-Verhütungsvorschriften stellt sich nunmehr die Frage, ob die Arbeiten zur Untergrundvorbereitung in einem Schachtbauwerk von einem Arbeiter mittels Handlanze vorschriftenkonform ausgeführt werden können. Wesentliche Hinweise für den Einsatz von Flüssigkeitsstrahlern finden sich in den Richtlinien der DGUV, Regel 100-500 (vormals BGR 500) in Kapitel 2.36 „Arbeiten mit Flüssigkeitsstrahlern“ [27]. Darüber hinaus wurde diese Thematik mit einem Mitarbeiter der Berufsgenossenschaft Bau behandelt, dessen Sachgebiet im Bereich Trocken- und Flüssigkeitsstrahlern liegt]. Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass händisch ausgeführte Strahlarbeiten mit Wasserhochdruck in großen Bereichen von Schächten vorschriftenkonform grundsätzlich nicht möglich sind.

Dies betrifft folgende Aspekte:

- Arbeiten in umschlossenen Räumen
- Sicherer Standplatz bei Ausführung der Strahlarbeiten
- Sicht- und Geräuschverhältnisse
- Hygienische Bedingungen

Abhilfe kann durch Einsatz maschineller Verfahren – z. B. (teil)automatisch arbeitende, rotierende Reinigungsdüsen – geleistet werden, welche somit große Wandungsbereiche in den Schachtbauwerken vorbereiten können. Bereiche, die von den Maschinen nicht erreicht werden können, müssen allerdings ebenfalls vorbereitet werden. Hier können für diese „Restarbeiten“, nach Erstellen einer Gefährdungsabschätzung ggf. im Einvernehmen mit der entsprechenden Berufsgenossenschaft, sodann auch händisch geführte Strahleinrichtungen zum Einsatz kommen. Hier müssen im Ergebnis allerdings die Sicherheit und der Gesundheitsschutz des Ausführenden gewährleistet sein. Ist dies der Fall, kann das Risiko für den Ausführenden somit als vertretbar eingestuft werden. Wie es um die Leistungsfähigkeit der auf dem Markt bereits verfügbaren Produkte bestellt ist, findet sich in den nachfolgenden Abschnitten.

4.4.2 Versuchsrandbedingungen

Im Rahmen der Versuche wurden zwei unterschiedliche Systeme zur (teil-)automatisierten Untergrundvorbereitung mit Blick auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht, die vom Lenkungskreis u. a. aufgrund ihrer unterschiedlichen Leistungsstufen ausgewählt

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

worden sind. Dabei handelte es sich um die MRT-Blasting Unit der Fa. HDT – Hochdruck-Dosier-Technik GmbH, Bottrop, und die PNEUCOMAT Wasserfräse der Fa. Octopus Coating GmbH, Langenhagen. Im Wesentlichen steht das erzielbare Reinigungs- bzw. Materialabtrags-Ergebnis je benötigtem Zeitaufwand im Fokus der Untersuchungen. Die dem Untersuchungsprogramm zugrunde liegenden System-, Betriebs- und Materialparameter sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6 Zusammenstellung der untersuchten System- und Materialparameter für die (teil-)automatisch durchgeführten Versuche

Zu strahlende Werkstoffe	Versuchsrandbedingungen
Beton	
Probekörpermaße [cm]	30 x 30 x 10
Probekörperalter	> 28 Tage
Betonfestigkeitsklasse	C 20/25, C 35/45 → Unterscheidung in geschalte (gs) und ungeschalte (ug) Seite
mittlere Druckfestigkeit (Rückprallhammer) C 20/25 [N/mm²]	ug: 27, gs: 41
mittlere Druckfestigkeit (Rückprallhammer) C 35/45 [N/mm²]	ug: 36, gs: 50
Mauerwerksklinker	
Probekörpermaße [cm]	L=24,0, B=11,5, H=7,1
Probekörperalter	unbekannt
Druckfestigkeit nach Norm [N/mm²] (DIN 4051 [22])	45
mittlere Druckfestigkeit (Rückprallhammer) [N/mm²]	44,3

Betriebs-/ Strahlparameter	Versuchsrandbedingungen
max. Wasserdruck p, Druckerzeuger [bar]	500 / 1000
Düsenart [-]	Kombinationsdüse Wasser-Strahlgut / Punktstrahldüse
Fördervolumen Druckerzeuger [l/min]	ca. 15 / 50
Strahlabstand [cm]	5, 10, 12 (Maximum wg. vorh. Steigeisen) / 17 (fix in Abhängigkeit des verwendeten Düsenarms)
Stahldauern [min]	1, 2, 3 / ca. 1,5 bis 9,2
Strahlwinkel φ [°]	90 / 90 ± 15 (gegenläufig)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Für gezielte Aussagen über die wechselseitigen Einflüsse der Parameter auf die Abtragsergebnisse war es in den Versuchen erforderlich, die Kombinationen der Parametereinstellungen zu variieren. Da die verwendeten Systeme weitgehend aus Komponenten bestehen, welche die Hersteller aufeinander abgestimmt haben, liegen die Möglichkeiten zur Parameter-Variation bei dem MRT-System in der Einstellung des Strahlabstandes sowie der Strahldauer. Aufgrund der vorhandenen Abmessungen der Düsenarme des PNEUCOMAT (vgl. Bild 9, rechts) ergibt sich hier ein nicht veränderbarer Strahlabstand. Somit sind die Versuchsrandbedingungen unter Berücksichtigung von Tabelle 6 vollständig erläutert.

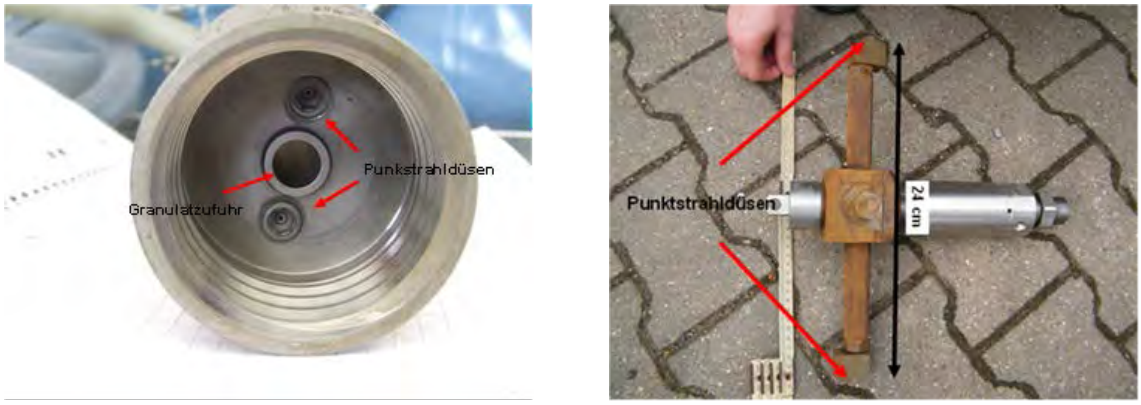


Bild 9 Düsenkopf der MRT-Blasting Unit (links) des PNEUCOMATen (rechts)

4.4.3 Durchführung der Versuche

Bei der Versuchsdurchführung wurden in beiden Fällen sowohl die aus Abschnitt 4.3 dargestellten Probekörper aus Beton und Mauerwerk verwendet als auch ein ca. 1,5 Meter hoher Rechteckschacht aus Beton, dessen Innenflächen starke Korrosionserscheinungen aufwies. Dieser wurde zunächst mit der MRT-Blasting Unit gestrahlt, die erzielten Abtragstiefen ermittelt und im Anschluss die Oberflächenzugfestigkeit im Abreißversuch bestimmt.

Im Rahmen der Versuche mit dem PNEUCOMAT wurde die bereits mit der MRT-Blasting Unit gestrahlte Fläche erneut gestrahlt, sodann der weitere Materialabtrag bestimmt und abermals die Oberflächenzugfestigkeit gemessen.

Die wesentlichen Ergebnisse dieser Versuche sind in den nachfolgenden Abschnitten dargestellt.

4.4.3.1 MRT-Blasting Unit

Mit dem MRT-System wurden insgesamt 56 Einzelversuche durchgeführt zzgl. des gestrahlten Rechteckschachtes. Die Versuchsaufbauten können Bild 10f entnommen werden.

Bei dem automatischen System MRT-Blasting Unit handelt es sich um ein Produkt der Fa. HDT – Hochdruck-Dosier-Technik, Bottrop, das im Weiteren zur Verarbeitung von Materialien der Ombran-Reihe der Fa. MC-Bauchemie, Bottrop, eingesetzt werden kann. Bei dem für die Versuche eingesetzten Fahrzeug, in das alle erforderlichen Systemkomponenten eingebaut sind, handelte es um ein Vorführfahrzeug.

Nach Auffüllen des Wasser- und Granulattanks und Einrichten des Kranes für die Reinigungseinrichtung im Schacht wurden die Versuche begonnen (vgl. Bild 10).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 10 Versuchsaufbau für die MRT-Blasting Unit mit Rundschacht als Spritzschutz für die Aufnahme der Probekörper aus Beton und Mauerwerk (links) und Ansicht der aufgestellten Probekörper (rechts)

Der Versuchsablauf sah vor, dass zunächst alle Betonprobekörper gestrahlt werden, mit und ohne Granulatzugabe bei maximal eingestellter Leistung des Druckerzeugers. Im Anschluss wurden die Klinkersteine und der korrodierte Rechteckschacht gestrahlt (vgl. Bild 11).

Bild 11 Beispiel für die Ansicht der korrodierten Innenflächen des Rechteckschachtes (links) und im Probekörper-Schacht hängende Strahleinrichtung der MRT-Blasting Unit (rechts)

4.4.3.2 PNEUCOMAT Wasserfräse

Mit der PNEUCOMAT Wasserfräse wurden insgesamt 21 Einzelversuche durchgeführt zzgl. des gestrahlten Rechteckschachtes. Die Versuchsaufbauten können Bild 12f entnommen werden.

Bei dem teil-automatischen Sanierungssystem PNEUCOMAT handelt es sich um ein Produkt der Fa. Octopus coating GmbH mit Sitz in Langenhagen bei Hannover. Für die Untergrundvorbereitung wird bei diesem System die PNEUCOMAT Wasserfräse eingesetzt, die mithilfe von Wasserhochdruck bis zu ca. 1000 bar die zu sanierenden Schächte reinigt bzw. hier die Probekörper strahlt. Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung befand sich das System noch in der Entwicklungsphase. So wurde die Einrichtung noch mithilfe einer handkurbelbetriebenen Seilwinde bedient, die auf nachfolgenden Baustelleneinsätzen durch einen automatisierten Kettenzug ersetzt werden soll. Aufgrund des Versuchsaufbaus und der Tatsache, dass das System nicht über

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

einen ausfahrbaren Kran bedient werden konnte, musste die Teleskoplanze über bzw. in die aufgebauten Schächte gesetzt werden (vgl. Bild 12, rechts).

Bild 12 Druckerzeuger des PNEUCOMAT im LKW eingebaut (links) und Abmessen des Strahlabstandes der Düse zum Probekörper im Rundschacht (rechts)

Der Durchlauf begann jeweils nach einer kurzen Anlaufphase, in der die Pumpe die Maximalleistung erreichen sollte. Es stellte sich jedoch heraus, dass sich während der Versuche nur ein maximaler Druck von 900 bar erreichen ließ. Während dieser Anlaufphase befanden sich die Düsen in einer Position, in der sie die Probekörper nicht bestrahlen konnten.

In der Reihenfolge des Versuchsablaufs wurden zunächst die Betonprobekörper gestrahlt, im Anschluss daran die Klinkersteine und zuletzt der korrodierte Rechteckschacht.

Bild 13 Ansicht der mittels PNEUCOMAT zu strahlenden, korrodierten Innenflächen des Rechteckschachtes (links) und Ansicht während des Strahlens mit deutlich verfärbtem Wasserabfluss (rechts)

4.4.4 Versuchsprogramm

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden durch Variation möglicher Prozessparameter insgesamt 77 Strahl-Versuche durchgeführt. Darüber hinaus wurde der korrodierte Rechteckschacht-Probekörper ebenfalls mit beiden Systemen gestrahlt. Es kamen zwei Druckerzeuger mit maximal 500 und 1000 bar zum Einsatz. Bei dem leistungsschwächeren Gerät konnte zusätzlich ein Abrasivmittel zum Hochdruckwas-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

serstrahl zugegeben werden, das leistungsstärkere Gerät hingegen ist dafür nicht ausgelegt. Tabelle 7 zeigt die berücksichtigten Prozessparameter (vgl. dazu auch Bild 3). Tabelle 6 gibt Auskunft über die quantitativen Werte der Prozessparameter.

Tabelle 7 In den Versuchen berücksichtigte und variierte Prozessparameter

Materialparameter	Strahlparameter	Betriebsparameter
zu strahlende **Werkstoffe** (Beton u. Mauerwerksklinker) **Anzahl:3**	**Druckerzeuger** (Pumpendruck und -durchfluss) **Anzahl: 2**	**Strahlabstand** **Anzahl: 4**
zu strahlende **Oberflächen** (geschalt/ungeschalt/ korrodiert) **Anzahl:3**	**Düsen** (Düsenarten) **Anzahl: 3**	**Strahlwinkel** **Anzahl: 2**
Strahlmedien (Wasser mit und ohne Granulat) **Anzahl: 2**	-	Anzahl der **Übergänge** **Anzahl: 3**

Die unter Variation o. g. Parameter erhaltenen Ergebnisse sind im nachfolgende Abschnitt dargestellt.

4.4.5 Versuchsauswertung

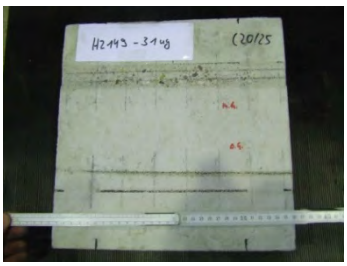
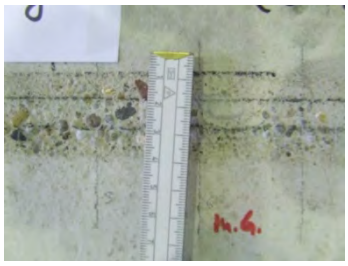
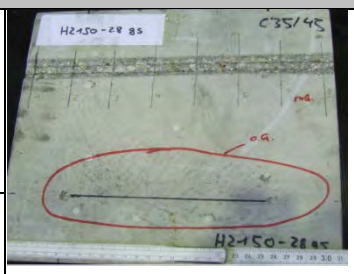
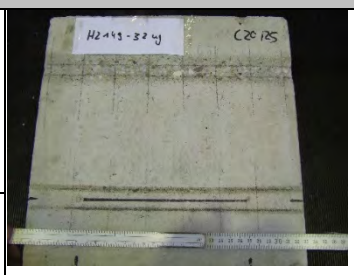
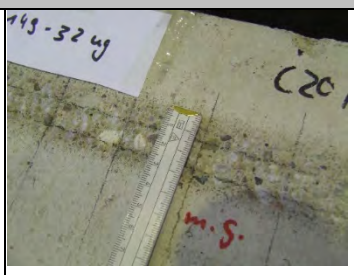
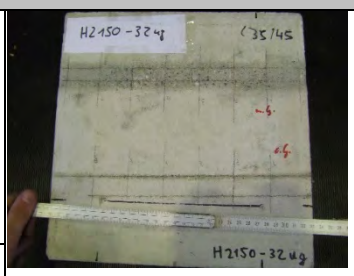
Laborversuche mit Probekörpern

Aus der Vielzahl der Strahlversuche sind in nachstehender Tabelle 8 ausgewählte Versuchsergebnisse dargestellt, welche die Aussagen zur Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technik bzgl. Kerbtiefe je Strahldauer bei gegebenen Randbedingungen – Betonfestigkeit, Oberflächenstruktur, Düsenart und Druckerzeuger-Leistung – verdeutlichen.

Dabei sind zunächst die Ergebnisse für die Betonprobekörper nach Strahlen mit der **MRT-Blasting Unit** und nachfolgend mit der PNEUCOMAT Wasserfräse dargestellt. Im Anschluss daran finden sich wesentliche Ergebnisse für die Mauerwerksklinker aufgeführt in gleicher Reihenfolge der Geräte.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 8 Vergleich der Kerbtiefen anhand von Strahldauer, Strahlabstand und Beton-Festigkeitsklasse für das MRT-System

C 20/25, ug, 500 bar Strahlabstand: 5cm				
	Kerbtiefe [mm]:			
	m.G.*	1,83		
	o.G.*	0,75		
	Zeit [min]:	2,00		
C 35/45, gs, 500 bar Strahlabstand: 5cm				
	Kerbtiefe [mm]:			
	m.G.*	1,11		
	o.G.*	-		
	Zeit [min]:	2,00		
C20/25, ug, 500 bar Strahlabstand: 10cm				
	Kerbtiefe [mm]			
	m.G.*	1,73		
	o.G.*	0,99		
	Zeit [min]:	2,00		
C 35/45, ug 500 bar Strahlabstand: 10cm				
	Kerbtiefe [mm]:			
	m.G.*	1,64		
	o.G.*	0,78		
	Zeit [min]:	2,00		

* m.G. = mit Granulat, o.G. = ohne Granulat

Die Ergebnisse und Bilder in Tabelle 8 (Kerbtiefe je Zeit) zeigen, dass die Verwendung des MRT-Systems ohne die Zugabe von Granulat unter den gegebenen Randbedingungen nicht zielführend scheint. Die Hinzugabe von Granulat hingegen bewirkt, dass die Abtragsrate und insbesondere die gestrahlte Fläche (um das 7-fache) deutlich vergrößert werden können. Bei Übertragung der Strahlzeiten auf einen Schacht mit ca.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

3,2 m Höhe und einer Nennweite von DN 1000 fallen etwa drei Arbeitsstunden für eine 10 m² große Fläche an. Strahlzeiten darunter lassen abgesehen von einem Reinigungseffekt keine zielführende Oberflächenbearbeitung erwarten.

Bei größer eingestelltem Strahlabstand verändert sich erwartungsgemäß auch die Strahlbreite. Bei einem Strahlabstand von (bis zu) 10 cm kann das MRT-System ungeschalte Oberflächen bearbeiten. Übertragen wiederum auf eine 10 m²-Schachtfläche bedeutet dies eine zielführende Oberflächenvorbereitung in 80 bis 90 min. Für geschalte Oberflächen hingegen erweist sich dieser Strahlabstand jedoch als nicht ausreichend, um bspw. das oberflächennahe Korngerüst des Betons freizulegen.

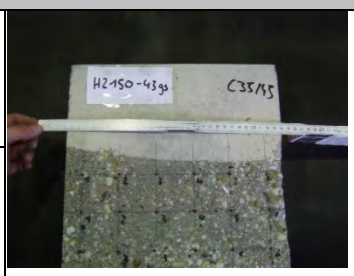
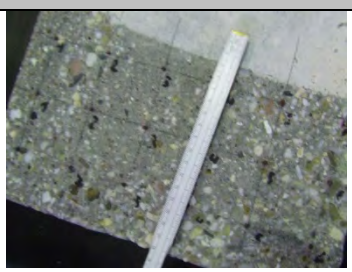
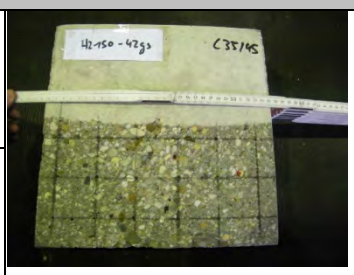
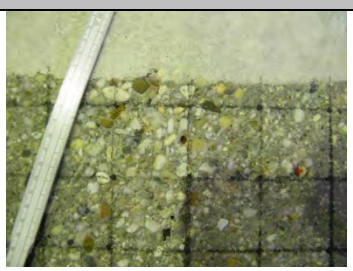
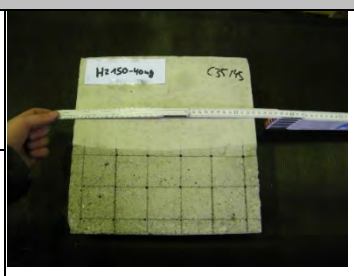
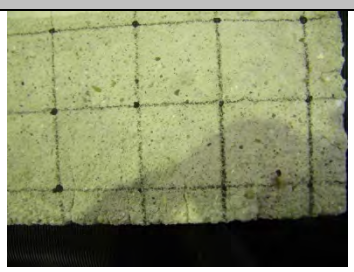
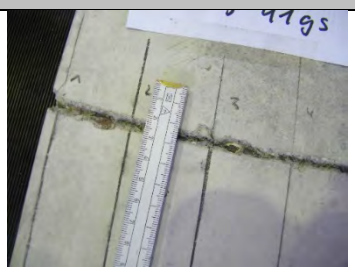
Nachstehend finden sich in Tabelle 9 die wesentlichen Ergebnisse für die **PNEUCOMAT Wasserfräse**.

Hier wird deutlich, dass auch bei höheren Betonfestigkeiten mit glatter (geschalter) Oberfläche mit Blick auf das optische Erscheinungsbild in vergleichsweise kurzer Zeit ein erkennbarer Materialabtrag erzielt werden kann. Übertragen auf wiederum einen Abtrag von mindestens 1 mm in einem Schacht mit 10 m² großer Wandungsfläche bedeutet dies eine Zeitdauer für die Untergrundvorbereitung von lediglich 30 Minuten (bei 4 Überfahrten á 2 Zyklen, Betonfestigkeit C35/45, ug).

Ein Verweilen der Düsen auf derselben Höhe führt jedoch zu einem vergleichsweise sehr hohen Abtrag, der das Erscheinungsbild eines „Einschnittes“ aufweist.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 9 Vergleich der Kerbtiefen anhand von Strahldauer, Strahlabstand und Beton-Festigkeitsklasse für die PNEUCOMAT Wasserfräse

C 20/25, ug, ca.900 bar Strahlabstand: 17cm				
	Kerbtiefe [mm]:	1,50		
	Zeit [min]:	8,78 (5 Zyklen)		
C 35/45, gs, ca.900 bar Strahlabstand: 17cm				
	Kerbtiefe [mm]:	1,50		
	Zeit [min]:	5,93 (4 Zyklen)		
C 35/45, ug, 500 bar Strahlabstand: 5cm				
	Kerbtiefe [mm]	2,40		
	Zeit [min]:	3,77 (3 Zyklen)		
C 35/45, gs 500 bar Strahlabstand: 5cm				
	Kerbtiefe [mm]:	5,30		
	Zeit [min]:	1,00 (Strahl nur auf einer Höhe!)		

Die Oberflächen der **Mauerwerksklinker** wurden bei Einsatz des **MRT-Systems** jeweils mit und ohne Granulatzugabe gestrahlt.

Wie in Bild 14 erkennbar ist, scheint bei Einsatz der MRT-Blasting Unit die Hinzugabe von Granulat allerdings sinnvoll, da ein reiner Wasserstrahl bei einem Druck an der Maschine von 500 bar weder flächig abträgt, noch eine hohe Kerbtiefe erreicht. Diese

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

ist bei Zugabe von Granulat sowohl höher als auch breiter und gleichmäßiger ausgeprägt (vgl. Bild 14, rechts).

Bild 14 Abtragsbilder auf Mauerwerksklinkern nach Strahlen mit MRT-System ohne Granulat (links) und mit Granulat (rechts)

Bei der PNEUCOMAT Wasserfräse war es aufgrund des Versuchaufbaus und der geringen Fläche der Klinker nicht möglich, einen flächigen Abtrag zu erzielen. Hier besitzt der Strahl eine Breite von ca. 5 mm. Es wird deutlich, dass der Wasserstrahl in Kombination mit dem hohen Druck von ca. 900 bar bei einem Verweilen der Düsen auf der gleichen Höhe den Klinker schneidet. Aus dem 1-minütigen Strahlen des Klinkers resultiert ein Abtrag bzw. ein Einschnitt von ca. 20 mm (vgl. Bild 15). Baupraktisch bedeutet dies, dass z. B. bei Ausfall des (automatisierten) Kettenzuges eine Zerstörung der Schachtwand möglich bzw. wahrscheinlich ist.

Bild 15 Abtragsbild auf Mauerwerksklinker der PNEUCOMAT Wasserfräse, Einschnitte von ca. 2 cm Tiefe in den Klinker nach einer Minute Strahldauer an derselben Stelle

Ansonsten ist es mit diesem Verfahren durchaus möglich, Oberflächen aus Mauerwerk zu bearbeiten und weitgehend beliebig große Abtragstiefen herbeizuführen.

Versuche an einem korrodierten Betonschacht

Wie in dem vorangegangenen Abschnitt vorgestellt, wurde mit beiden Systemen ein korrodierter Rechteckschacht aus Beton gestrahlt. Beide Systeme kamen nacheinander zum Einsatz, das leistungsschwächere Gerät (MRT-Blasting Unit) vor der PNEUCOMAT Wasserfräse.

Mit beiden Systemen wurde der mittlere Schachtring so lange gestrahlt, bis kein weiterer Materialabtrag festzustellen war. Bei Einsatz des MRT-Systems wurde der obere Streifen in Bild 16 nur mit Wasserhochdruck und der untere Streifen zusätzlich mit Strahlgut beaufschlagt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 16 Blick auf die Schachtwandungen nach dem Strahlen mit Wasserhochdruck mit und ohne Zugabe von Granulat in zwei unterschiedlichen Höhen mit dem MRT-Gerät (links) und mit der PNEUCOMAT Wasserfräse (rechts)

Im Ergebnis zeigten sich nach dem Strahlen mit der MRT-Blasting Unit folgender Materialabtrag und messbare Untergrundfestigkeit:

- Wasserhochdruckstrahlen: Materialabtrag je Wandungsseite von ca. 9 bis 17 mm und mittlere Oberflächenzugfestigkeiten von ca. 0,2 bis 0,7 N/mm²,
- WHD und Granulat: Materialabtrag je Wandungsseite von ca. 11 bis 23 mm und mittlere Oberflächenzugfestigkeiten von ca. 0,4 bis 1,5 N/mm².

Nach Feststellung der Ergebnisse wurde der gesamte mittlere Schachtring mit der PNEUCOMAT Wasserfräse gestrahlt. Im Ergebnis konnte weiteres Material abgetragen werden in einer Größenordnung von ca. 5 bis 12 mm. Die mittleren Oberflächenzugfestigkeiten an den einzelnen Wandungen lagen nunmehr in Bereichen von 2,8 bis 3,9 N/mm². Darüber hinaus war am Erscheinungsbild der Oberflächen zu erkennen, dass nach Bearbeiten der Oberflächen mit dem MRT-System diese immer noch eine gelbliche Verfärbung aufwiesen. Nach dem Strahlen mit der PNEUCOMAT Wasserfräse war hingegen keine Verfärbung mehr zu erkennen, der Beton zeigte eine blaugraue Farbe (vgl. Bild 16, rechts).

Im Vergleich zeigt die PNEUCOMAT Wasserfräse insbesondere bei höheren Betonfestigkeiten einen schneller erzielbaren Materialabtrag. Das Korngerüst des Betons wird bis zu 33 % schneller freigelegt als bei Nutzung der MRT-Blasting Unit. Jedoch kann das MRT-System bei niedrigeren Betonfestigkeiten und einem eingestellten Strahlabstand von 10 cm auch einen Materialabtrag von einem Millimeter (Anrauen) erzielen.

4.4.6 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Mit Blick auf den baupraktischen Einsatz der Systeme zeigen die Versuche, dass für die Untergrundvorbereitung ein hoher Zeitaufwand erforderlich werden kann. Um Untergründe aus Beton oder Mauerwerk den Anforderungen entsprechend vorzubereiten, muss die Vorbereitung jedoch sorgfältig ausgeführt werden. In der folgenden Zusammenfassung sind die erforderlichen bzw. genannten Arbeitsstunden für eine Untergrundvorbereitung hochgerechnet und beziehen sich auf 3 m tiefe Schächte.

MRT-Blasting Unit

- Mit größerem Strahlabstand wird eine größere Strahlfläche erzielt. Somit ist ein größerer Strahlabstand zeitlich effizienter, allerdings ist es mit der MRT-Blasting

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Unit nicht in jedem Fall möglich (Werte im Grenzbereich), den Betonuntergrund anzurauen (Abtragstiefe von einem Millimeter).

- I. a. ist die Untergrundvorbereitung von **Beton** mittels Hochdruckwasserstrahlen (500 bar) *ohne Zugabe von Abrasivstoffen* nicht zielführend. In den Versuchen erreichten drei Probekörper des C20/25-Beton (drei ungeschalte Seiten) einen Materialabtrag von 1 mm, jedoch war kein gleichmäßiges Strahlbild vorhanden und durch die geringe Strahlbreite wäre mit einem vergleichsweise großen Zeitaufwand von bis zu zehn Arbeitsstunden zu rechnen. Nicht berücksichtigt wurden zudem Zeiten für die Baustelleneinrichtung und eventuelle Nachbearbeitungen.
- Die Untergrundvorbereitung von **Beton** mittels Hochdruckwasserstrahlen bei *Zugabe von Abrasivstoffen* konnte auf den geschalten Seiten der Probekörper (unabhängig von deren Festigkeit) nur in vier Fällen einen Materialabtrag von einem Millimeter erzielen. Der Aufwand entspräche ca. zwei bis drei Arbeitsstunden für den o.g. Schacht. An den ungeschalten Seiten der Probekörper konnte hingegen stets ein Materialabtrag von mindestens 1 mm erreicht werden bei einem Strahlabstand von 10 cm. Der Zeitaufwand für die Untergrundvorbereitung des o.g. Schachtes beliefe sich in diesem Fall auf etwa 1,5 Stunden.
- Die Untergrundvorbereitung von **Mauerwerksklinkern** ist bei *Zugabe von Abrasivstoffen* vergleichsweise schnell möglich. Bei einem Strahlabstand der Düse zur Oberfläche von 5 cm ließe sich somit eine Untergrundvorbereitung innerhalb von zwei Arbeitsstunden durchführen.

PNEUCOMAT Wasserfräse

- Mit einem Strahlabstand der Düse zur Oberfläche von 17 cm ist nahezu in jedem Fall eine zielführende Untergrundvorbereitung von **Beton**oberflächen durchführbar.
- **Mauerwerksklinker** können ebenfalls den Anforderungen entsprechend bearbeitet werden. Jedoch zeigten die Versuche, dass auch bei vergleichsweise kurzer Strahldauer und maximal eingestellter Leistung die Probekörper zerstört wurden. Um dieses Risiko zu vermeiden, empfiehlt sich ggf. ein geringerer Arbeitsdruck der Maschine.

4.5 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Geräten zur **Untergrundvorbereitung mittels Hochdruckwasserstrahlen** wurden insgesamt 410 einzelne Strahlversuche durchgeführt. Dabei sind unterschiedliche Parameter, z.B. Strahlabstände, Strahlwinkel, Untergrundfestigkeiten und Materialien, Düsenarten etc. variiert worden, die im Zuge von Schachtsanierungsarbeiten wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis der Untergrundvorbereitung haben können.

Dabei wurden zunächst **Versuche von Hand** durchgeführt, um erkennen zu können, ob und mit welchem Aufwand mit der verfügbaren Technik eine zielführende Untergrundvorbereitung leistbar ist. Hier standen das erzielte Reinigungs- bzw. Abtragsbild sowie die Ermittlung der Abtragstiefe mit Blick auf die aufgewendete Zeit im Vordergrund. Im Ergebnis zeigte sich, dass mit den derzeit auf dem Markt verfügbaren Geräten Untergründe stets gereinigt, mit steigender Leistung sowie erhöhtem zeitlichen Aufwand auch angeraut und abgetragen werden können. Jedoch sind insbesondere

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

einzuhaltende Parameter wie Strahlabstand und -winkel zur Wandungsfläche von großer Bedeutung für die Effizienz der Arbeiten. Im Einzelnen konnten folgende Kernergebnisse gewonnen werden:

Unabhängig von der Betonfestigkeit waren bei händisch geführter Düse bzw. Lanze die besten Ergebnisse bei einem Abstand Düse–Oberfläche von 5 bis 10 cm mit einem Strahlwinkelbereich von 65° bis 90°. Mit dem Hochdruckwasserstrahlen (Geräteleistung 300 bis 500 bar) bei Verwendung von Rotations- und Flachstrahldüsen kann grundsätzlich eine Oberfläche gereinigt werden, bei Erhöhung der Bearbeitungszeiten ist darüber hinaus ein Anrauen möglich. Ein großflächiger Materialabtrag ist unter praxisnahen Randbedingungen und Arbeitsaufwänden nicht realistisch. Bei Verwendung von Druckerzeugern mit einer Leistung von mindestens 400 bar und Beibehaltung o.g. Strahlparameter ist bei Strahlen von Mauerwerksflächen hingegen eine Schädigung dieser möglich („Einschüsse“). Hier empfiehlt sich eine Reduzierung des Druckes oder eine Erhöhung des Abstandes von der Düse zur Oberfläche. Die vergleichsweise besten Resultate konnten mit dem leistungsstärksten Gerät (1000 bar) erzielt werden, dessen prinzipielle Einsetzbarkeit in Schächten allerdings nicht immer gegeben (s.u.) ist. Verbessert werden konnten die Ergebnisse der Untergrundvorbereitung bei Einsatz der Druckerzeuger (400 und 500 bar) mit Zugabe von Abrasivstoffen. Hier sind jedoch höhere Kosten für das Strahlgut und die Entsorgung einzurechnen.

Unter Berücksichtigung der Umgebungsbedingungen und Platzverhältnisse in einem Abwasserschacht (Innendurchmesser von etwa einem Meter, übliche Schachttiefen von einem bis fünf Meter) sowie von Unfallverhütungsvorschriften zeigt sich deutlich, dass eine qualitativ hochwertige und in allen (Wandungs-)Bereichen des Bauwerks gleichmäßig durchgeführte Untergrundvorbereitung von Hand vorschriftenkonform nicht durchführbar ist.

Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurden im weiteren Projektverlauf **automatisierte bzw. maschinelle Verfahren** zur Untergrundvorbereitung untersucht. Bei Einsatz dieser Verfahren sind ggf. Nacharbeiten von Hand erforderlich, die großflächige Untergrundvorbereitung erfolgt allerdings durch die Maschinen. Diese Vorgehensweise wird auch von Seiten der Berufsgenossenschaft Bau mit Blick auf die Arbeitssicherheit unterstützt. Im Ergebnis zeigte sich, dass mit Geräten der gleichen Leistungsklasse auch nahezu gleiche Resultate, sowohl von Hand als auch maschinell, in den Versuchen erzielt werden konnten. Mit Blick auf die generelle Leistungsfähigkeit der eingesetzten Technik konnten diese Ergebnisse erwartet werden. Da allerdings maschinelle Verfahren in unterschiedlichen Leistungsstufen zur Verfügung stehen, ist eine qualitativ hochwertige Untergrundvorbereitung in Schächten somit grundsätzlich durchführbar. Von Seiten aller an der Schachtsanierung beteiligten Personen sollte jedoch berücksichtigt werden, dass für die Untergrundvorbereitung ein ausreichend großes Zeitfenster und Budget eingeplant wird. Die wesentlichen Ergebnisse sind wie folgt:

Mit dem Einsatz der rotierenden Punktstrahl-Düsen und einem Druckerzeuger mit bis zu 1000 bar Leistung konnten Untergründe aus Beton unterschiedlicher Festigkeiten und Oberflächenstrukturen und Mauerwerk in gewünschter bzw. erforderlicher Weise in vergleichsweise kurzer Zeit bearbeitet werden. Hier besteht jedoch das Risiko der Zerstörung der Oberflächen bei nicht angepasster Bearbeitungszeit. Ebenfalls grundsätzlich einsetzbar ist das untersuchte, leistungsschwächere Gerät (450 bar), wenn es

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

mit Zugabe von Abrasivstoffen betrieben wird und keine stark korrodierten Wandungsoberflächen bearbeitet werden müssen. Hier zeigte sich, dass die Leistung für einen vollständigen Abtrag des schadhaften Materials nicht ausreicht.

Welche Leistung im Einzelfall erforderlich ist, hängt stets von den jeweiligen Randbedingungen ab. Hier sind, auch um geeignete Verfahren bzw. Technik für die Untergrundvorbereitung auswählen zu können, Informationen zum Zustand der Schachtwandungs-Oberflächen empfehlenswert. Eine Prüfung zur Abschätzung der Druckfestigkeit vorhandener Betonwandungen kann z.B. mit einem Schmidt-Hammer vorgenommen werden, die Struktur der Wandungsoberflächen kann hingegen durch Inaugenscheinnahme ermittelt werden. Darüber hinaus bietet es sich an, die Erfordernisse des vorgesehenen Sanierungssystems bzw. -materials zu berücksichtigen. Bei Kenntnis dieser Randbedingungen ist eine Bestimmung des erforderlichen, aber ggf. auch die Beurteilung eines von der Sanierungsfirma angebotenen Untergrundvorbereitungsverfahrens, möglich.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5 Vergleichende Untersuchungen von Materialien zur Abdichtung mit schnell abbindenden Mörtelsystemen

5.1 Abdichtungsmaßnahmen an Abwasserschächten

Schäden an Abwasserschächten, die Abdichtungsmaßnahmen erfordern, sind meist nur bei anstehendem Grundwasser anhand des Wassereindrangs zu erkennen. Wird der Abwasserschacht bei anstehendem Grundwasser saniert, ist der Abdichtungserfolg unmittelbar sichtbar. Unterliegt der Grundwasserstand jedoch Schwankungen, und es wird bei niedrigem Stand abgedichtet, können weitere Undichtheiten nicht lokalisiert werden. Steigt der Grundwasserspiegel später wieder an, so kann es sein, dass durch die nicht erkannten, und deswegen nicht abgedichteten, Schadstellen erneut Wasser eindringt und somit weitere Abdichtungsmaßnahmen am Bauwerk erforderlich sind. Abdichtungen können aus diesem Grund nur als vorübergehende Maßnahmen betrachtet werden [7].

Im Wesentlichen stehen für Abdichtungsmaßnahmen in Schachtbauwerken zwei Verfahren mit nahezu unzähligen Materialien zur Verfügung, Injektionen und sogenannte Stopfmörtel. Wie schon in [7] gezeigt werden konnte, ließ sich durch Injektion von bspw. Zementleim, Acrylatgel und Polyurethanharzen in das Bauwerk und den umgebenden Bodenkörper der Wassereindrang weitgehend unterbinden.

Die Abdichtung mit den untersuchten Mörtelsystemen zeigte ein vergleichsweise uneinheitliches Bild, so dass hier die Frage nach der Leistungsfähigkeit der auf dem Markt zahlreich vorhandenen Materialien unbeantwortet blieb. Vor diesem Hintergrund sind vergleichende Untersuchungen ausgewählter Materialien erforderlich, um Netzbetreibern und Verarbeitern entsprechende Hinweise zu Stärken und Schwächen der einzelnen Materialien geben zu können. Der Untersuchungsumfang ist in Abschnitt 5.2f dargestellt. Alle Abdichtungsarbeiten im Rahmen der Versuche wurden durch dieselbe Kolonne des WBH (Wirtschaftsbetrieb Hagen) ausgeführt.

5.1.1 Anforderungen an das Abdichtungsmaterial

Abdichtungsmaterialien werden zum Schließen von flächigen und lokalen Wassereinbrüchen eingesetzt. Aus diesem Grund ist die Dichtheit gegen Flüssigkeiten die wohl wichtigste Anforderung an diese Materialien. Die Dichtheit muss auch bei erhöhtem Außenwasserdruck (AWD) und bei schwankenden Grundwasserständen gewährleistet sein. Soll die Abdichtungsmaßnahme an einem fließenden Wassereinbruch durchgeführt werden, ist es notwendig, dass die Abdichtungsmaterialien (sekunden-)schnell reagieren. Nur durch das sehr schnelle Abbinden des Mörtels einhergehend mit einer hohen Frühfestigkeit kann eine Undichtheit unter fließendem Wasser verschlossen werden. Zusätzlich müssen Abdichtungsmaterialien widerstandsfähig gegen dynamische Belastungen und biologisch-chemischen Angriff sein. Das Material sollte zudem schrumpfarm sein, um möglichst nur geringe Eigenspannungen entstehen zu lassen. Diese Spannungen entstehen durch das Schwinden, bedingt durch die Wasserabgabe, während des Erhärtens [28].

Diese Eigenspannungen können Risse im Abdichtungsmaterial nach sich ziehen und somit die Dichtheit des Materials negativ beeinträchtigen. Mit dem Untergrund muss das Material einen guten Verbund eingehen können, da es ansonsten zu Ablösungen

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

kommen kann. Auch für diese Ablösungen vom Untergrund können die Eigenspannungen die Ursache sein. Durch den Einsatz von Abdichtungsmaterialien soll ein sanierungsfähiger Untergrund geschaffen werden.

5.1.2 Mineralische Abdichtungsmaterialien zur händischen Verarbeitung

Mineralischen Abdichtungsmaterialien lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Die einen sind geeignet, um Schadstellen unter eindringendem Wasser abzudichten, die anderen dienen der prophylaktischen Abdichtung. Stopf- und Blitzmörtel sind für die Sanierung unter Infiltration konzipiert, wohingegen Dichtschlämmen, Kristallbildner und Verkieselungsmaterialien maximal bei feuchtem Untergrund, aber auf keinen Fall bei fließendem Wasser eingesetzt werden können. Im Folgenden werden alle Materialien erläutert.

Stopfmörtel ist eine Zusammensetzung aus Zementmörtel und verschiedenen Zusatzmitteln wie z.B. Abbindebeschleunigern. Diese bewirken eine sehr schnelle Reaktion mit dem Anmachwasser, so dass der Mörtel sehr schnell erstarrt. Ein weiteres Zusatzmittel sind Quellmittel, die eine Mikroporenbildung im noch plastischen Zementleim fördern. Dadurch wird es dem Mörtel ermöglicht sich an die Kontaktflächen anzupassen, sodass die Schadstellen in der Schachtwand dicht verschlossen werden [3].

Blitzmörtel sind organisch vergütete Mörtel, die aus stark hydraulischen und schnell abbindenden Zementen sowie einer Silikatkomponente bestehen. Diese Mörtel werden sowohl alleine zur Abdichtung, wie auch beim Injektionsverfahren verwendet. Hierbei werden die Injektionslöcher mit einem Blitzmörtel verschlossen um zu verhindern, dass das Verpressmaterial zurück in den Schacht fließt [3].

Dichtschlämmen können sowohl starr als auch flexibel sein. Starre Dichtschlämmen setzen sich aus Zement, Zuschlägen und Zusatzmitteln zusammen und besitzen keine rissüberbrückende Eigenschaften. Flexible Dichtschlämmen hingegen haben zusätzlich noch einen hohen Kunststoffanteil und sind deswegen in gewissem Maße flexibel. Diese Materialien werden klassischer Weise bei Bauwerksabdichtungen im erdberührten Bereich eingesetzt. Es ist sowohl möglich diese Materialien auf der Außen- als auch auf der Innenseite (Negativseite) zu applizieren. Da die Schlämmen meistens mit einem Quast aufgestrichen werden, entstehen i. d. R. nur Schichtdicken von wenigen Millimetern [29].

Kristallbildner setzen sich aus Zement, feinem Silikatsand und verschiedenen Chemikalien zusammen. Nach dem Aufbringen des Kristallbildners auf die Betonoberfläche diffundieren die Chemikalien in die Betonporen und bilden dort mit dem vorhandenen freien Kalk unlösliche Kristalle. Durch diesen Prozess werden die wasserführenden Porenräume verringert und somit eine höhere Dichtheit des Bauwerkes erzielt [3].

Materialien zur Verkieselung füllen die Porenräume des Betons mit verdünntem Wasserglas (Silikat) auf und durch die Reaktion mit der dort vorhandenen Luftkohlensäure erstarrt dieses Reaktionsprodukt zu einer Art Gel. Hierbei werden ebenso die Poren verringert und der Beton erhält dadurch eine höhere Dichtheit [3].

Die meisten der Mörtel können auf verschiedene Weisen verarbeitet werden. Zum einen kann der Mörtel mit Wasser angerührt werden. Aus diesem Gemisch lassen sich mit der Hand Pfropfen formen, die noch etwas weiter geknetet werden können bevor damit die Schadstelle verpfropft wird. Wichtig ist hierbei, dass sowohl das Mischungs-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

verhältnis Mörtel zu Wasser, wie auch eine Mindestmischzeit eingehalten wird. Aufgrund der schnellen Erhärtung der Mörtel ist die Mischzeit sehr gering angesetzt, muss aber eingehalten werden, um einen möglichst homogenes Mörtelgemisch zu erzeugen. Das Verhältnis von Mörtel zu Anmachwasser, der sogenannte Wasserfeststoffwert (W/F), ist in den technischen Merkblättern aufgeführt. Um einen unkomplizierten Ablauf auf der Baustelle zu gewährleisten, werden die Angaben meist in Raumteilen oder Prozent angegeben. Dies erspart den Einsatz einer Waage. Außerdem ist die Temperatur des Anmachwassers zu beachten. Die in den Merkblättern angegebene Verarbeitungszeit bezieht sich meistens auf 20°C warmes Wasser. Ist das Wasser kälter, bleibt der Mörtel länger verarbeitbar, wird hingegen wärmeres Wasser hinzu gegeben, erstarrt dieser schneller. Je härter der Pfropfen beim Kneten wird, bevor er in die Schadstelle mit fließendem Wasser eingedrückt wird, umso wiederstandfähiger ist dieser gegen Wiederausspülen. Jedoch kann ein schon völlig erstarrter Mörtel nicht mehr in die Schadstelle eingedrückt werden und sich mit dem Untergrund verbinden.

Zusätzlich zu dieser Art der Verarbeitung können die meisten Abdichtungsmörtel auch als trockenes Pulver auf die Schadstelle aufgebracht werden. Das durch die Schadstelle nachsickernde Wasser dient somit als Zugabewasser. Hierbei ist zu beachten, dass das trockene Pulver lange genug auf die Schadstelle gedrückt wird, um eine möglichst große Durchfeuchtung des Mörtels zu erhalten. Auch hierbei ist die Temperatur des Wassers unmittelbar für die Reaktionszeit verantwortlich. Bei Sickerstellen wird diese Anwendungsart bevorzugt. Der trockene Mörtel wird dabei nicht als Klumpen auf die Schadstelle gedrückt, sondern mit der flachen Hand verrieben. Der Mörtel reagiert mit dem nachdrückenden Wasser und bildet somit eine wasserundurchlässige Schicht auf der Sickerstelle.

5.1.3 Technologie der schnell abbindenden Abdichtungsmörtel

Die zur Abdichtung von Wassereinbrüchen eingesetzten mineralisch gebundenen Mörtel bestehen aus einem Bindemittel, Gesteinskörnungen und Wasser, welches vor der Verarbeitung zugegeben wird. Außerdem sind noch Zusatzstoffe und Zusatzmittel beigemischt [30].

Das häufigste bei Abdichtungsmörtel eingesetzte Bindemittel ist Zement. Um die wichtigsten Anforderungen, die schnelle Erhärtung und die Dichtheit, der Abdichtungsmörtel zu erfüllen ist der Erhärtungsprozess, auch Hydratation genannt, besonders wichtig. Zementhydratation ist dabei der Oberbegriff für den gesamten Prozess der Reaktion eines Zementes mit dem Anmachwasser. Bei der Hydratation erfolgt die Verfestigung des Mörtels in zwei nicht genau trennbaren Schritten. Zunächst erfolgt die Erstarrung. So wird der Übergang von einem breiig-plastischen Zustand in einen starren Zustand, jedoch mit zunächst noch geringer Festigkeit, genannt. Daran anschließend findet die Erhärtung statt. Bei diesem Vorgang verfestigt sich das erstarrte System weiter [31].

Um dem infiltrierendem Wasser bei einer Abdichtungsmaßnahme entgegen wirken zu können, ist es besonders wichtig, dass dieser Prozess, vor allem die Erstarrung, in kurzer Zeit abläuft. Bei der normalen Zementhydratation läuft die Erstarrung über mehrere Stunden, und die Erhärtung sogar über Tage ab. Für die Anwendung bei Abdichtungsmaßnahmen ist ein normaler Zementmörtel also nicht geeignet. Jedoch können dem Mörtel Zusatzmittel beigegeben werden, um so dessen Frischbeton-, Festbetoneigenschaften oder auch den Hydratationsprozess zu beeinflussen [31].

Es gibt verschiedenen Zusatzmittel, wie z.B. Fließmittel, Luftporenbildner, Erstarrungsbeschleuniger, Verzögerer, Dichtungsmittel, Einpresshilfen oder Schwindreduzierer,

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

die jeweils eine eigene Wirkungsweise auf den Zementmörtel haben. Auch gibt es sogenannte multifunktionale Zusatzmittel, die gleich mehrere Eigenschaften beeinflussen [30].

Um die Hydratationszeit in Abdichtungsmörteln zu verringern, sind die Erstarrungsbeschleuniger die entscheidenden Zusatzmittel. Diese wirken hauptsächlich auf dem chemischen Weg, indem sie ein schnelleres Reagieren der Zementbestandteile bewirken. Beispiele für diese Mittel sind unter anderem Calciumchlorid, Natriumaluminat, Natriumchlorid, Natriumnitrat, Calciumacetat, und Glycerol. Es ist darauf zu achten, dass $CaCl_2$-haltige Zusätze nicht an bewehrten Betonen eingesetzt werden, da durch das Chlor eine Stahlkorrosion eintreten kann. Grundsätzlich werden die Beschleuniger nach ihrer Wirkungsweise unterschieden. Es gibt die Erstarrungs- und die Erhärtungsbeschleuniger [31]. Auf andere Eigenschaften kann sich die Zugabe dieser Zusatzmittel auch negativ auswirken. Durch die beschleunigte Reaktion wird eine erhöhte Wärmefreisetzung bewirkt. Ebenso wird durch diese Zusatzmittel die Endfestigkeit vermindert und das Schwindmaß erhöht [30].

Luftporenbildner reduzieren die Wasseraufnahmefähigkeit eines Mörtels, indem durch die kleinen Luftporen die Kapillaren des Zementsteins unterbrochen werden. Jedoch führt ein erhöhter Luftporengehalt auch zu Festigkeitsreduzierung und ggf. zu verstärktem Schwinden [30].

Weitere Zusatzmittel bei Abdichtungsmörteln können Dichtungsmittel sein. Ihre Wirkung wird durch hydrophobierende (wasserabweisende) Zusätze hervorgerufen. Ebenso bewirken porenverengende und quellende Stoffe eine Erhöhung der Dichtwirkung [31].

Einpresshilfen können auch eingesetzt werden. Durch die in diesem Zusatzmittel vorhandenen gasbildende Stoffe, wie z.B. Wasserstoffbildung durch Aluminiumpulver, werden Hohlräume zwischen Mörtel und bestehender Bausubstanz völlig ausgefüllt. Dies bewirkt eine gute Verzahnung mit dem Untergrund [30].

Durch Schwindreduzierer wird meistens die Oberflächenspannung des Wassers reduziert. Dadurch trocknet der Mörtel gleichmäßiger und langsamer aus. Diese Wirkung wird meist durch Alkohole erzielt. Dabei ist auf eine Verträglichkeit mit anderen Zusatzmitteln besonders zu achten [30].

Neben den Zusatzmitteln, die meist nur in Kleinstmengen zugegeben werden, gibt es noch Zusatzstoffe für Mörtel. Diese können nach DIN EN 206 [32] in inerte (Typ I) und reaktive (Typ II) Zusatzstoffe unterteilt werden. Für Abdichtungsmörtel sind in erster Linie die inerten Stoffe, als Fasern aller Art, von Bedeutung. Durch diese Fasern können die ansonsten starren Mörtel kleine Risse überbrücken [31].

5.2 Sanierungsaufgabe

Es wurden vergleichende Untersuchungen unter definierten, für alle Versuchsmaterialien gleichen Randbedingungen durchgeführt. Die Versuche erfolgten in der IKT-Versuchshalle im Maßstab 1 : 1. Die Abdichtung der Probekörper wurde stets durch eine Sanierungskolonne des WBH durchgeführt. Dabei hatten die Hersteller der getesteten Materialien die Möglichkeit, an der Versuchsdurchführung teilzunehmen und ggf. weitere Anmerkungen und Vorschläge zu der optimalen Verarbeitung ihres Produktes zu machen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Im Folgenden werden der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführung sowie das Prüfprogramm beschrieben. Ebenso wird die Materialauswahl erläutert.

5.2.1 Versuchsaufbau und Schadensbilder

Um die Abdichtungswirkung der verschiedenen Materialien bei Schadstellen mit infiltrierendem Wasser testen zu können, wurden die abzudichtenden Schächte mit einer Nennweite DN 1000 in weiteren Schächten mit Nennweiten DN 1500 aufgebaut (vgl. Bild 17). Der Schacht mit dem geringeren Durchmesser (DN 1000) stellte den eigentlichen Versuchskörper dar, in dem die definierten Schadensbilder abgedichtet wurden. Diese Schadensbilder werden nachfolgend beschrieben. Der Ringraum zwischen beiden Schächten wurde mit Wasser gefüllt, so dass für den Schacht DN 1000 anstehendes Grundwasser simuliert wird.

Der Schachtaufbau des Durchmessers DN 1500 besteht aus einem Schachtunterteil und zwei Schachtringen. Damit der kleinere Schacht (DN 1000) darin aufgebaut werden kann, besitzen die Schachtteile keine Steigtechnik. Die Höhe des Schachtunterteils beträgt ca. 150 cm. Darauf wird ein 50 cm hoher Schachtring aufgesetzt. Der oberste Schachtring mit einer Höhe von ca. 100 cm schließt den Aufbau ab. Insgesamt ist dieser Aufbau ca. 3,0 Meter hoch.

Der Schachtaufbau DN 1000 besteht aus einem ca. 100 cm hohen Schachtunterteil auf das drei je 50 cm hohe Schachtringe gesetzt werden. Somit erreicht dieser Aufbau eine Gesamthöhe von 2,50 Meter.

Der Versuchsaufbau wurde insgesamt zehn Mal in zwei Versuchsblöcken reproduziert. Somit waren in der Versuchshalle zeitgleich jeweils fünf Versuchsaufbauten aufgestellt. Nach Abschluss der ersten Versuchsreihe wurden die Außenwasserdruckbelastungen der abgedichteten Schadstellen beendet und die Versuchskörper (Schächte DN 1000) ausgebaut. Die Schächte DN 1500 blieben stehen, so dass in diesen die neuen Versuchskörper errichtet werden konnten.

Bild 17 Einzelner Versuchsaufbau eines „Schacht-in-Schacht“-Probekörpers (links) und mit wassergefülltem Ringraum (rechts)

5.2.1.1 Schäden am Versuchsaufbau

In der Anfangsphase der ersten Versuchsreihe bildeten sich unerwartet Risse in mehreren der DN 1500 Schächte. Die Risse bildeten sich im oberen Schachtring im Bereich der Muffe und verliefen hier von unten nach oben (vgl. Bild 18). Um die Standsicherheit weiterhin zu gewährleisten, wurden diese Schachtringe mit Spanngurten

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

vorgespannt. Der durch die Risse bedingte Wasserverlust konnte durch kontinuierliches Nachfüllen ausgeglichen werden.

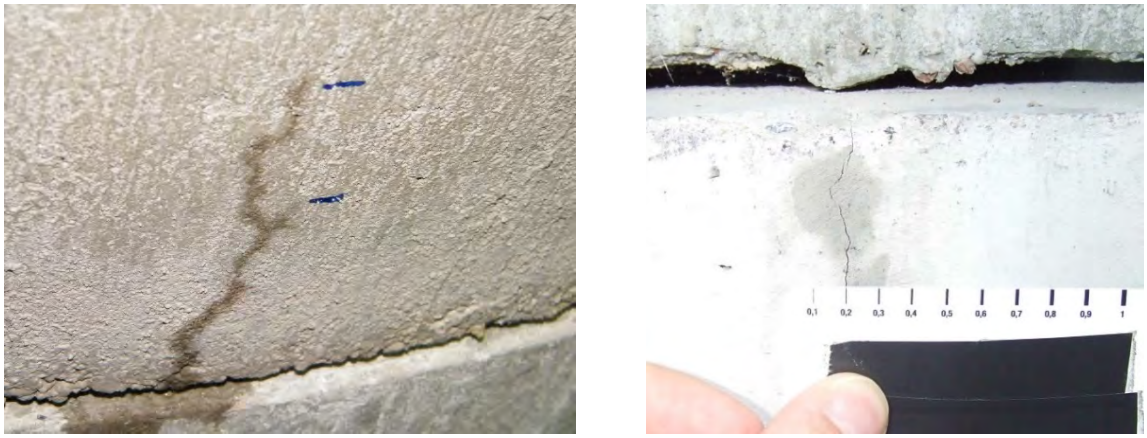


Bild 18 Rissbildung beginnend an einer Muffe (links) und am Spitzende angelangt (rechts)

Im weiteren Verlauf bildeten sich auch an den mittleren Schachtringen sowie an einigen Schachtunterteilen Risse. Aus diesem Grund wurden auch alle weiteren Schachtteile mit Spanngurten vorgespannt (vgl. Bild 19). Dieser hier gezeigte Aufbau stellt somit den Versuchsaufbau für diese Untersuchungen dar.

Bild 19 Mit Spanngurten abgesicherte Betonfertigteile

Um die Ursache der Rissbildung zu untersuchen, wird eine Abschätzung der durch die Wasserbelastung verursachten Zugspannungen im Betonring durchgeführt. Dafür wird zunächst die Tangentialspannung σ ermittelt. Dies kann über die Kesselformel nach der alten DIN 2413 [33] oder nach der Lame-Gleichung der DIN EN 13480-3 [34], die die DIN 2413 ersetzt hat, erfolgen. Beides führt dabei zum selben Ergebnis. Folgend wird die Abschätzung über die Lame-Gleichung (für D/d < 1,7) dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

$$\sigma = \frac{p * D}{D - d} - \frac{p}{2}$$

Der äußere Durchmesser D sowie der innere Durchmesser d des Bauteils sind bekannt. Der Innendruck p kann über die Formel „einseitige Kraft auf lotrechte Wand“ [35] ermittelt werden.

$$p = F = \frac{1}{2} * \rho * g * h^2$$

Bei einem auftretenden Innendruck p = 4,91 [kN/m²], einen äußeren Durchmesser D = 1,80 [m] und einem inneren Durchmesser d = 1,50 [m] ergibt sich eine maximale Tangentialspannung von:

$$\sigma_t = \frac{4{,}91 * 1{,}80}{1{,}8 - 1{,}5} - \frac{4{,}91}{2} = 27{,}01 \left[{}^{kN}/_{m^2}\right] = 27{,}01 * 10^{-3} \left[{}^{N}/_{mm^2}\right]$$

Die mittlere Zugfestigkeit eines Betons C20/25 liegt bei f_{ctm} = 2,2 [N/mm²] [35] und somit über 80-mal höher als die durch den Wasserdruck verursachten Zugspannungen. Selbst der untere Fraktilwert f_{ctk} = 1,5 [N/mm²] [35] liegt bedeutend höher. Die durch die Wasserfüllung auf den Betonring wirkenden Kräfte können somit nicht alleine zu den Rissen führen.

Weitere Faktoren wie etwa Sonneneinstrahlung oder Temperaturunterschiede zwischen Wasser und Luft können für zusätzliche Spannungen mit Betonring führen. Die Versuchsaufbauten wurden jedoch in der IKT-Versuchshalle errichtet. Hier herrscht ein weitgehend konstantes Klima und Temperaturniveau und die Schächte sind vor Sonneneinstrahlung geschützt. Das für die Füllung des Ringraumes verwendete Wasser wurde aus den Trinkwasserleitungen bezogen. Aufgrund der Leitungsführung in der Versuchshalle liegt die Temperatur des Wassers an der Entnahmestelle bei ca. 18 Grad Celsius. Eine Spannungsentwicklung auf Grund von Temperaturunterschieden zwischen Luft und Wasser konnte somit auch ausgeschlossen werden.

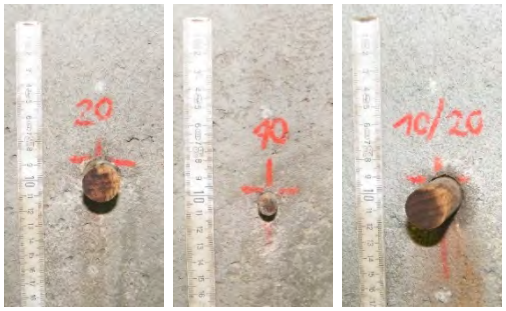
Als weitere Ursachen kommen ggf. auch eine unzureichende Qualität der Fertigung (z. B. Maßtoleranzen), eine unsachgemäße Lagerung während des Erhärtungsprozesses oder eine unsachgemäße Handhabung beim Verladen und/oder Transport in Frage. Abschließend konnte die Ursache dieser Schäden im Rahmen des Projektes nicht ermittelt werden.

5.2.1.2 Schadensbilder

Bei den eingebauten Schadstellen in den Schächten DN 1000, zur Simulation von unterschiedlichen Undichtheiten, handelte es sich im Wesentlichen um Bohrlöcher mit unterschiedlichen Durchmessern (vgl. Tabelle 10).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 10 Eingebaute Schadensbilder

Lokaler Einzelschaden (LS) Wird in drei Versionen (Bohrlochdurchmesser) je Schachtring hergestellt: 1. Ø 20 mm 2. Ø 10 mm 3. Ø 10 mm mit Aufweitung nach innen auf Ø 20 mm	
Flächiger Schaden (FS) Besteht aus einem Raster von neun Bohrlöchern je Ø 5mm mit einer Gesamtausdehnung von 20 x 20 cm und wird je Schachtring angeordnet.	
Undichte Schachtringfuge (RF) Wird ober- und unterhalb des zweiten Schachtringes an jeweils vier Stellen angeordnet. Das Bohrloch in der Fuge hat einen Durchmesser von 6 mm.	
Undichte Schachtringfuge mit Abplatzungen am Muffenspiegel (RF) Wird im Übergangsbereich von Schachtunterteil zum ersten Schachtring an vier Stellen mit einer Ausdehnung von 10 x 3 cm über dem Muffenspiegel angeordnet. Das Bohrloch in der Fuge hat einen Durchmesser von 6 mm.	

In die Probekörper wurden die vier Schadensbilder jeweils in verschiedene Höhen des Schachtes eingebaut. Bis zur Sanierung wurden Holzdübel in den Schadstellen belassen, um ein vorzeitiges Leerlaufen des Ringraumes zu verhindern. Unmittelbar vor Beginn der Abdichtungsmaßnahme sind die Holzdübel aus den Schadstellen herausgezogen worden, so dass das anstehende Wasser in den Versuchskörper infiltrieren und auf diese Weise ein Fremdwassereindrang simuliert werden konnte.

Bild 20 und Bild 21 geben einen Überblick über die Lage und Verteilung der Schäden in den Versuchsschächten. Die Nummerierung der Schachtringe begann mit dem Schachtunterteil (SU). Darauf folgte der erste und zweite Schachtring (SR1, SR2). Der dritte Schachtring (SR3) schloss den Versuchsaufbau nach oben hin ab.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

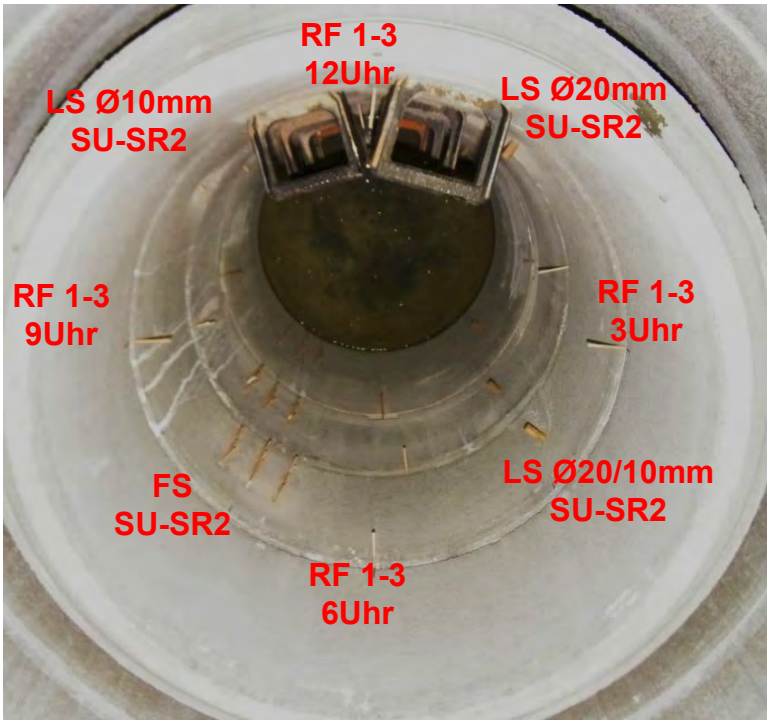


Bild 20 Verteilung der Schäden im Versuchskörper

In dem Schachtunterteil sowie in dem ersten und zweiten Schachtring waren jeweils die drei Versionen der „Lokalen Einzelschäden“ (LS) und der „flächige Schaden“ (FS) auf mittlerer Höhe angeordnet. Die Nummerierung der Schachtringfugen erfolgte analog. Zwischen Schachtunterteil und dem ersten Schachtring lag die erste Ringfuge (RF1). Hier wurde der Schaden „Undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel“ an vier Stellen angeordnet.

Zwischen erstem und zweitem Schachtring befand sich die zweite Ringfuge (RF2) und zwischen zweitem und dritten Schachtring die dritte Ringfuge (RF3). In diesen beiden Schachtringfugen war der Schaden „Undichte Schachringfuge“ ebenfalls vier Mal eingebaut. Um die vier Schäden je Ringfuge unterscheiden zu können, wurden diese zusätzlich noch nach ihrer Lage im Schacht benannt. Diese Benennung erfolgte über Angabe der Uhrzeiten, ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

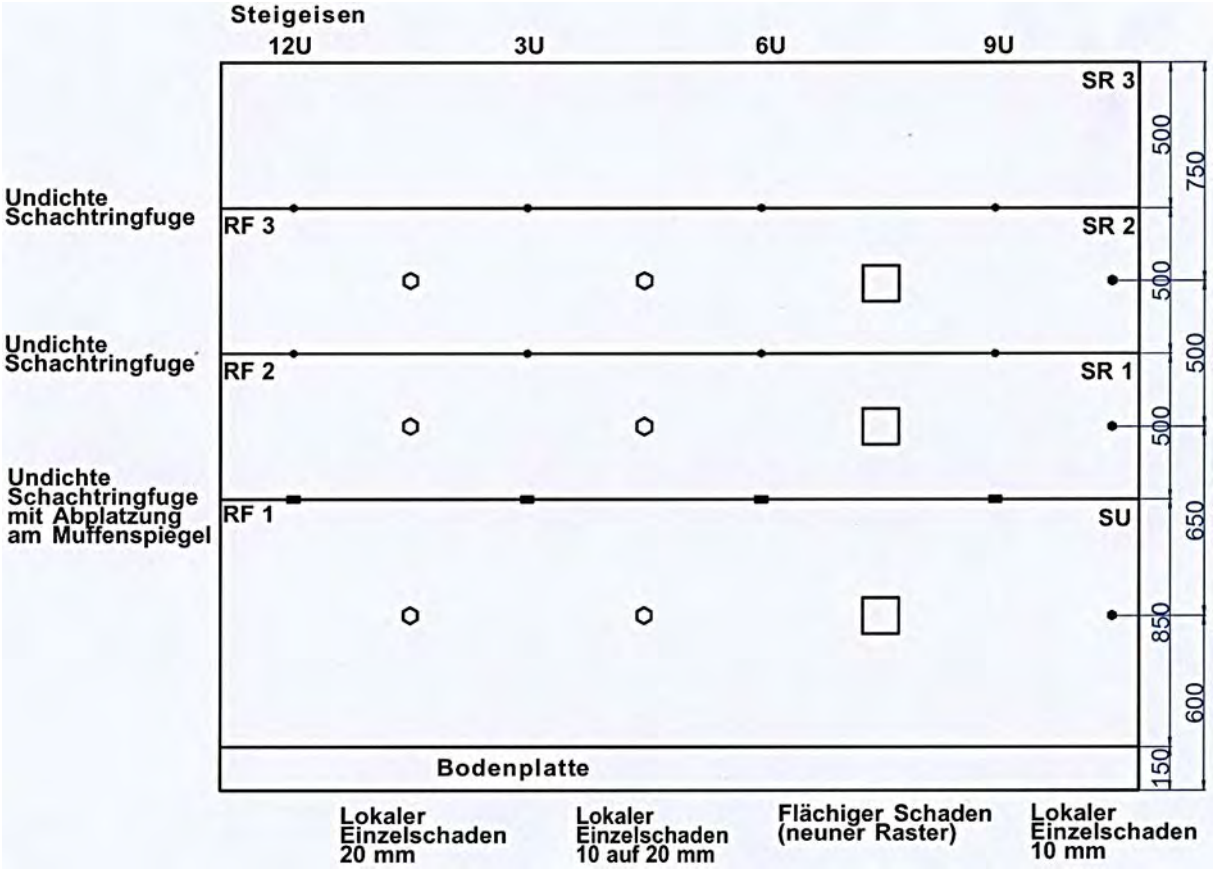


Bild 21 Skizze der inneren Mantelfläche mit Lage und Verteilung der Schäden

5.2.2 Vorversuche und Prüfprogramm

5.2.2.1 Vorversuch

Tastversuch mit einem Abdichtungsmörtel

Um Erfahrungen zum Vorgehen bei der Versuchsdurchführung zu sammeln, wurde ein Tastversuch an einem der Versuchsaufbauten durchgeführt. Zunächst ist der Ringraum zwischen den Schächten mit Wasser gefüllt worden. Dann wurden die Schäden unter den mit diesem Versuchsaufbau maximal zu erreichenden Wasserdrücken und Infiltrationsmengen saniert. Die Annahme, dass um die Schadstellen beispielsweise ein Hohlraum im Boden sowie ein ausreichender Wasserzufluss im Leitungsgraben vorhanden waren, lag diesem Versuchsaufbau als Randbedingung zugrunde. Die jeweilige Infiltrationsmenge (vgl. Bild 22) wurde vor jeder Abdichtung gemessen und protokolliert. Die Abdichtungsarbeiten erfolgten von oben nach unten, um die Sanierungsergebnisse anhand der anstehenden bzw. steigenden Wasserdrücke beobachten zu können.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 22 Beispiel für die Ermittlung der Infiltrationsmengen mittels Messbecher und Stoppuhr (links) und Wassereindrang an der obersten Ringfuge (rechts)

Nach abgeschlossener Abdichtung wurde der Versuchsaufbau abgedeckt, um hier die feuchte (Kanal-)Atmosphäre zu erhalten. Diese Maßnahme ermöglichte das vollständige Abbinden des Mörtels und erfolgte gemäß technischem Merkblatt bzw. nach Hinweis des Materialherstellers.

Vorversuchsergebnisse

Im Vorversuch wurde das Material „Rapidhärter“ der Firma Remmers, Löningen, verarbeitet. Das Mischen des Materials erfolgte wie vom Hersteller vorgegeben. Zum Abdichten wurde daraus ein Pfropfen geformt, der sodann mit dem Handballen in die Schadstelle gepresst werden musste (vgl. Bild 23, links).

Zunächst wurden die Schadstellen in der dritten Ringfuge saniert. Die mit einem Außenwasserdruck (AWD) von 0,5 m Wassersäule (WS) entsprechend 0,05 bar belasteten Schäden konnten jedoch nicht abgedichtet werden. Das Abdichtungsmaterial ist von dem infiltrierenden Wasser zu den Seiten hin ausgespült worden, noch bevor der Pfropfen die eigentliche Schadstelle hinten in der Fuge erreichen konnte. Um dies zu umgehen, wurden dann die Fugen links und rechts von den Schadstellen zunächst mit Rapidhärter aufgefüllt, bevor der Holzdübel gezogen wurde. Nachdem das Material in den Fugen vollständig ausgehärtet war, wurde die eigentliche Abdichtung der Schadstelle durchgeführt. Dieses Vorgehen funktionierte unmittelbar an der Schadstelle, jedoch drückte nunmehr das Wasser im hinteren Bereich der Fuge an dem ausgehärteten Mörtel vorbei. Um die Versuchsdurchführung sinnvoll weiterführen zu können, wurden die Ringfugen vollständig (bis auf die vier Schadstellen) mit Rapidhärter aufgefüllt. Da das Abdichtungsmaterial eine kurze Verarbeitungszeit von ca. 30 Sekunden hat, konnte dieses nur Schrittweise erfolgen. Nachdem der Rapidhärter in den Fugen angezogen war, erfolgte die Abdichtung der freigebliebenen Schadstellen ohne Schwierigkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 23 Formen eines Abdichtungs-Pfropfens (links) und Unterbinden des Wassereindrang durch Einschlagen eines Holzdübels (rechts)

Bei den lokalen Einzelschäden zeigte sich, dass eine Abdichtung unter den vorherrschenden Bedingungen (max. AWD von 1,9 mWS (0,19 bar) und einer max. Infiltrationsmenge ca. 1,8 l/s) nicht durchführbar ist. Es gelang nicht, das Material in die Schadstelle zu drücken, da es durch das infiltrierende Wasser weggespült wurde. Um die Abdichtung trotzdem durchführen zu können, wurden die Holzdübel, die zur temporären Abdichtung dienten, in die Schadstellen eingeschlagen (vgl. Bild 23, rechts). Durch diese Maßnahme konnte die Infiltration weitgehend gestoppt werden, so dass das Abdichtungsmaterial an diesen Stellen eingesetzt werden konnte.

Bild 24 zeigt den Abdichtungserfolg im Vorversuch (Darstellung an der abgerollten Schachtwand). An jeder Schadstelle sind Angaben zum Wasserdruck (in mWS), gemessener Infiltrationsmenge (in l/s) und Sanierung mit oder ohne Einsatz von Holzdübeln (m/o Hd) aufgeführt. Lediglich bei einem der lokalen Schäden gelingt die Abdichtung ausschließlich durch das Eindrücken des Mörtels (grüner Kreis). Bei den weiteren acht lokalen Schadstellen musste auf die Holzdübel zurückgegriffen werden (rote Kreise). Die Abdichtung des flächigen Schadens (grünes senkrechtes Rechteck) sowie der Ringfugen (grüne waagerechte Rechtecke) war allerdings erfolgreich.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

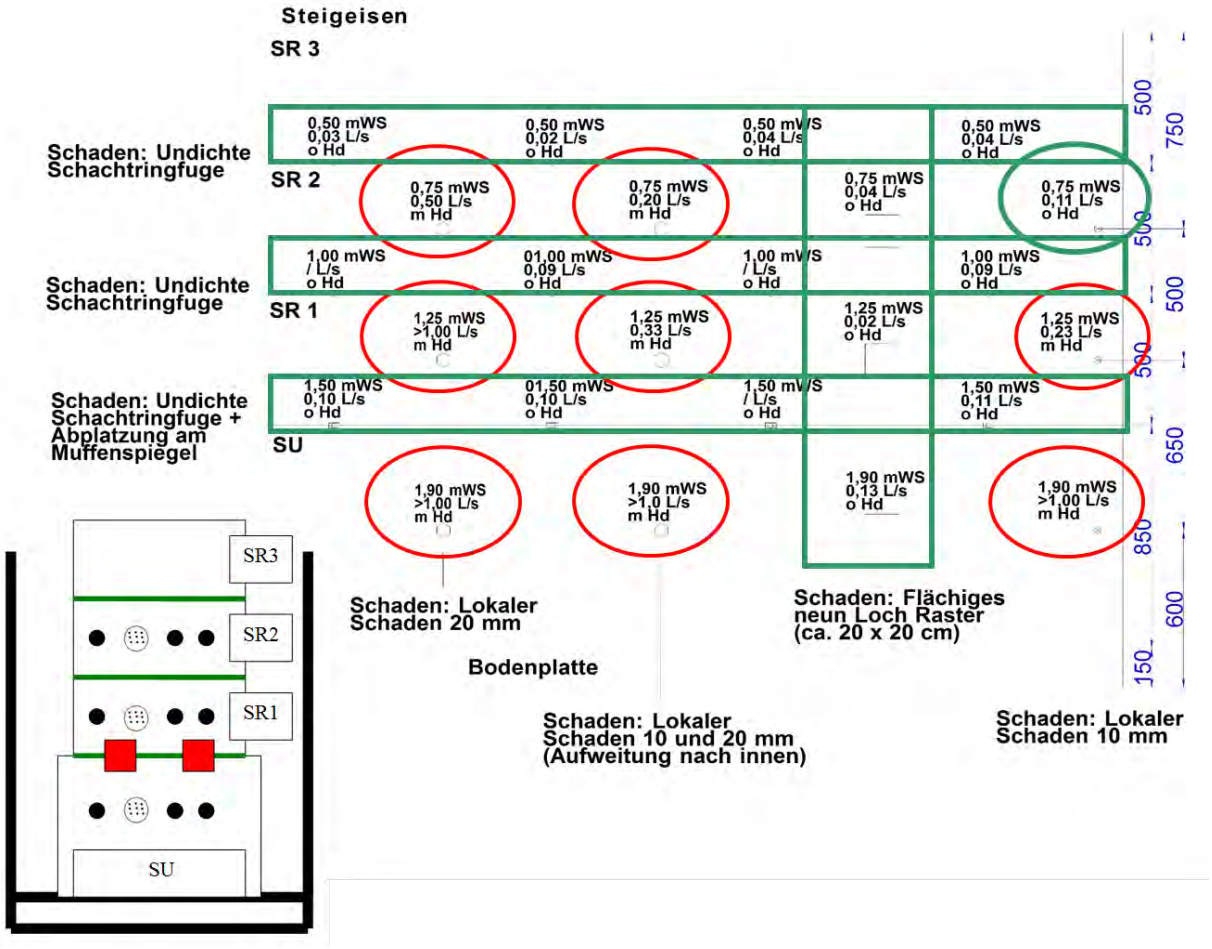


Bild 24 Einsatz von Holzdübeln im Vorversuch an acht rot markierten Stellen (von insgesamt 24 Schadstellen)

Der Vorversuch zeigte, dass diese Versuchsdurchführung für den Vergleich von Abdichtungsmaterialien nicht zielführend ist. Die Leistungsfähigkeit der Mörtel kann durch den Einsatz der Holzdübel nicht bestimmt werden, da nicht festzustellen ist, ob der Mörtel oder die Holzdübel die Schadstellen abdichten. Auch ist eine Vereinfachung der Abdichtung bei den Ringfugen durch Vorarbeiten sinnvoll. Aus diesen Gründen war eine Anpassung der Versuchsdurchführung für die weiteren Tests erforderlich. Die Abdichtung der Undichtheiten an den Ringfugen sowie der flächigen Schäden ist unter den im Vorversuch vorherrschenden Bedingungen möglich. Der Grenzwert der Infiltrationsmenge, bei dem eine Abdichtung im Vorversuch noch möglich war, betrug ca. 0,13 l/s bei einer Druckhöhe von etwa 1,9 mWS.

5.2.2.2 Anpassung und Abstimmung des Prüfprogramms

Durch die aus dem Vorversuch gewonnenen Erkenntnisse wurde dem Projekt-Lenkungskreis die folgende, angepasste Versuchsdurchführung vorgeschlagen und nach Diskussion beschlossen:

Im Vorfeld der Abdichtungsmaßnahme werden die unbeschädigten Bereiche der Fugen mit einem speziell für diesen Anwendungsfall ausgelegten Material reprofiliert. Die Auswahl des Materials wird in Absprache mit den Herstellern getroffen. Die Vorarbeiten werden mit ausreichend Vorlauf zur Abdichtungsmaßnahme durchgeführt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Dadurch wird dem Material genug Zeit zur Festigkeitsentwicklung bis zur Wasserbelastung gegeben.

Die Abdichtung der lokalen Schäden erfolgt nicht mehr bei ausschließlich vollgefülltem Ringraum des Versuchsaufbaus, sondern der Wasserstand wird schrittweise für die Sanierung angepasst. Jede der drei Varianten der lokalen Einzelschäden (Ø20mm, Ø10mm und Ø20 reduziert auf Ø10mm) wird einmal bei ca. 0,30 l/s, einmal bei ca. 0,15 l/s und einmal bei ca. 0,10 l/s abgedichtet. Diese Werte wurden aufgrund der Ergebnisse des Vorversuchs festgelegt und entsprechen zudem einem Wasserzufluss, den ein feinsandiger Boden (k_f = 1*10^{-5} - 1*10^{-4}) [35] nachliefern kann (vgl. Tabelle 11). Dies wurde unter der Annahme, dass der Schacht in diesem Versuch als vollkommener Brunnen im ungespannten Grundwasser bei wechselnden Wasserständen betrachtet werden kann, ermittelt.

Tabelle 11 Abschätzung eines Bodentyps in Abhängigkeit von Infiltrationsmengen und Wasserständen im Versuch

Infiltrationsmenge [l/s]	**Wasserhöhe über Schadstelle im Bodenmodell [mWS]**	**entsprechender Durchlässigkeitsbeiwert (k_f-Wert) [m/s]**	**Bodentyp** [35]
0,10	0,75	3,6*10^{-5}	Feinsand
0,15	1,25	4,2*10^{-5}	Feinsand
0,30	1,90	8,0*10^{-5}	Feinsand

Diese Infiltrationsmengen werden durch das Einstellen von unterschiedlichen Wasserständen (Überstauhöhen) an den Schadstellen erreicht. Die erforderlichen Überstauhöhen werden mit Hilfe der Formel für den „Vollkommener Ausfluss aus kleiner Öffnung“ [35] abgeschätzt und während der Versuchsdurchführung eingestellt. In Tabelle 12 werden die berechneten Überstauhöhen mit den dazugehörigen Infiltrationsmengen dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 12 Erforderliche Überstauhöhen zu den Infiltrationsmengen im Versuch

Schritt der Füllung	abzudichtender Schaden	erforderliche Überstauhöhe [cm]	eingestellte Infiltrationsmenge [l/s]
Füllung 1	LS20 SU	5,8	ca. 0,30
Füllung 2	LS20 SR1	1,5	ca. 0,15 l/s
Füllung 3	LS10 SR1, LS20/10 SR1	23,3	ca. 0,15 l/s
Füllung 4	LS10 SU, LS20/10 SU	93,1	ca. 0,30 l/s
Füllung 5	LS20 SR2	0,65	ca. 0,10 l/s
Füllung 6	LS10 SR2, LS20/10 SR2	10,3	ca. 0,10 l/s
Füllung 7	alle RF und FS	/	ca. 0,05 – 0,15 l/s

Infiltrationsmessungen an jedem Schaden zeigten an, ob die berechneten Wasserstände ggf. geringfügig nachjustiert werden mussten, um den gewünschten Fremdwassereindrang zu erhalten.

Die Hersteller der getesteten Materialien hatten die Möglichkeit, an der Versuchsdurchführung teilzunehmen und ggf. weitere Anmerkungen und Vorschläge zu der optimalen Verarbeitung ihres Produktes zu machen. Nach abgeschlossener Sanierung wurden die Versuchsaufbauten abgedeckt, um hier die feuchte (Kanal-) Atmosphäre zu erhalten. Diese Maßnahme ermöglichte das vollständige Abbinden des Mörtels und erfolgte gemäß den technischen Merkblättern bzw. nach Hinweisen der Materialhersteller.

In den Versuchen wurde nach Abschluss der Abdichtungsmaßnahme der Wasserstand 28 Tage lang auf dem Maximallevel gehalten. Die Schadstellen (über die Höhenlage zusammengefasst) wurden in dieser Zeit mit den in Tabelle 13 dargestellten Wasserdrücken belastet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 13 Wasserbelastung der Schadstellen über den Versuchszeitraum

Schadstellen	Wasserbelastung über 28 Tage [mWS]	Wasserbelastung über 28 Tage [bar]
RF3	0,50	0,050
SR2	0,75	0,075
RF2	1,00	0,100
SR1	1,25	0,125
RF1	1,50	0,150
SU	1,90	0,190

Während der Versuchslaufzeit wurden die Versuchskörper täglich in Augenschein genommen und auf bemerkenswerte Auffälligkeiten untersucht. 24 Stunden nach der Sanierung erfolgte eine erste Inspektion der abgedichteten Schadstellen, um die kurzzeitige Abdichtungswirkung feststellen und dokumentieren zu können. Weitere Inspektionen folgten im wöchentlichen Rhythmus. Dabei wurde der aktuelle Zustand jedes einzelnen Schadens dokumentiert, um so die Veränderungen über die Zeit aufzunehmen.

Für den Einbau von Sanierungssystemen werden Anforderungen an die Oberflächenzugfestigkeit des Untergrundes gestellt. Zur Orientierung werden diese aus zwei Literaturquellen in der Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14 Anforderungen an die Oberflächenzugfestigkeit

Richtlinie	DWA M 143-17 [36]		Instandsetzungs-Richtlinie für Betonbauteile [37]
Werkstoff	Beton	Mauerwerk	Beton
kleinster Einzelwert	/	≥ 0,3 N/mm²	≥ 1,0 N/mm²
Mittelwert	≥ 1,0 N/mm²	≥ 0,5 N/mm²	≥ 1,5 N/mm²

Um zu vermeiden, dass durch Abdichtungsmaßnahmen potenzielle Schwachstellen für ggf. später durchzuführende Sanierungsmaßnahmen entstehen, sollen auch die Abdichtungsmaterialien die Anforderungen an einen beschichtungsfähigen Untergrund erfüllen. Um diesen zu überprüfen, wurden mehrere Haftzugprüfungen in jedem Versuchskörper durchgeführt. Hier wurden die Bruchstellen untersucht und festgestellt, in welchem Bereich die Probe abgerissen ist. Dabei wird zwischen Kohäsionsbruch „im Material“ oder „im Untergrund“ bzw. Adhäsionsbruch „zwischen Material und Untergrund“ oder „in der Klebefuge“, also zwischen Prüfstempel und Abdichtungsmörtel, unterschieden. Die Prüfungen erfolgten nach Abschluss der Versuchslaufzeit, also nach dem Absenken des Wasserstandes und an geeigneten Stellen mit gleichmäßigem und ausreichendem Materialauftrag.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Begleitend zu den Laboruntersuchungen wurden die Materialien bei In-situ-Maßnahmen eingesetzt. Hierbei wird die Verarbeitung und Handhabung der Materialien aus den Laborversuchen auf Plausibilität geprüft. Die In-situ-Untersuchungen finden in Schächten und Sonderbauwerken, die im Gebiet der Stadt Hagen und somit dem Wirtschaftsbetrieb Hagen - WBH unterliegen, statt. Durch den WBH wurden Bauwerke ausgesucht, die deutliche Infiltrationen aufwiesen und somit der Abdichtung bedurften. Es kam dieselbe Kolonne des WBH zum Einsatz wie bei den Laborversuchen.

Zusammenfassend lässt sich das Prüfprogram wie folgt darstellen:

- Sanierung der Schäden gem. technischen Merkblättern und/oder Herstellervorgaben
- Außenwasserdruckbelastung nach Sanierung für 4 Wochen
- Tägliche Inaugenscheinnahme der Versuchskörper mit Dokumentation erkennbarer Veränderungen
- Wöchentliche Inspektion mit Dokumentation des aktuellen Zustandes jedes Schadens
- Prüfung der Haftzugfestigkeit der Abdichtungsmaterialien auf dem Beton-Untergrund
- Plausibilitätsprüfung der eingesetzten Materialien bei In-situ-Einsätzen

5.3 Vergleichende Materialuntersuchungen

5.3.1 Auswahl der Abdichtungsmörtel

Auf dem Markt sind zahlreiche Produkte zur Abdichtung von Wassereinbrüchen in Abwasserbauwerken verfügbar. Aus der Vielzahl der Produkte wählte der Projekt-Lenkungskreis einsetzbare Materialien von neun Herstellern für die noch vorhandenen neun Versuchsaufbauten (ein Vorversuch) aus. Dabei legte dieser zusätzlich fest, dass vor der endgültigen Vergabe der Sanierungslose der jeweilige Einsatzbereich der einzelnen Materialien mit Blick auf die vorhandenen Schadensbilder recherchiert wird. Dies erfolgte über die technischen Merkblätter und direktem Kontakt zu den Herstellern. Nach den Erkenntnissen aus dem Vorversuch wurde zusätzlich bei den Herstellern ein Material zur Fugenreprofilierung außerhalb der beschädigten Bereiche erfragt.

Nach Abschluss des Vorversuchs standen für den Vergleich der Abdichtungsmaterialien noch neun der insgesamt zehn geplanten Versuchsaufbauten zur Verfügung. Die durch den Lenkungskreis auf den ersten acht Rängen gevoteten Hersteller bzw. Materialien kamen dort ebenso zum Einsatz wie das ursprünglich auf Rang 10 gevotete Material Puder Ex von HEY´DI. Die auf Rang 9 gevotete Firma IBW, Datteln, lieferte weder Informationen zum Einsatzbereich ihrer Materialien, noch war sie zu einer Begleitung der Sanierungsausführung im vorgesehen Zeitraum bereit. Es wurde daher auf einen Materialeinsatz im Rahmen der Vergleichstests verzichtet und das Los an den nächsten Rang vergeben (vgl. Tabelle 15).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 15 Ausgewählte Sanierungsmaterialien, Abdichtungsmörtel

Hersteller	Material zur Abdichtung	Material für die Fugen	Rang
MC-Bauchemie	Ombran W, Ombran IW	Ombran R	**1**
Ergelit	10F rapid, 10 SD	10S special	**2**
Remmers	Rapidhärter	Montagemörtel	**3**
Pagel	KA-S Stopfmörtel	R20/10 Schnellreparatur-mörtel	**4**
IPA	IPANDEX Stopfmörtel, I-PANDEX Flächendicht	Unimörtel	**5**
VANDEX	Stopfmörtel, Wasserstopper	MG 4 Rapid	**6**
BAWAX	XYPEX Patch´n Plug	XYPEX Patch´n Plug gemischt mit Concentrate	**7**
Seal-tec	xPress,	xPress	**8**
HEY´DI	Puder Ex	Quellmörtel extra	**9**

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5.3.2 Bautechnische Umsetzung

Wie in dem abgestimmten Prüfprogramm festgelegt (vgl. 5.2.2.2) erfolgte im Vorfeld jeder Abdichtungsmaßnahme eine Reprofilierung der Fugen an den unbeschädigten Bereichen. Das dafür ausgewählte Material wurde zu einem steif-plastischen Mörtel angemischt. Das entsprechende technische Merkblatt enthält Informationen über die benötigte Menge Anmachwasser sowie die erforderliche Mischzeit. Das Einbringen und Andrücken des Frischmörtels in die Fugen erfolgte mit einem Fugeneisen. Abschließend wurde überschüssiges Material abgezogen, so dass die reprofilierten Fugen bindig mit der Schachtinnenwand waren.

Bild 25 Eindrücken des Fugenmörtel (links) und Niveauangleich mit Schachtinnenwand (rechts)

Für die Zeit bis zur Wasserbelastung des jeweiligen Fugenmörtels, wurden die Probekörper mit einer Folie abgedeckt. Anschließend erfolgte die Abdichtungsmaßnahme nach dem abgestimmten Prüfprogramm (vgl. 5.2.2.2). Die Verarbeitung der Stopfmörtel von den verschiedenen Herstellern zeigten dabei deutliche Parallelen.

Das Material musste zunächst in kleinen Mengen mit Wasser zu einem homogenen plastischen Mörtel angerührt werden (vgl. Bild 26 links oben). Nach dem Mischen wurde der Mörtel bis zu Beginn des Erstarrens weiter geknetet und zu einem kegelförmigen Pfropfen geformt (vgl. Bild 26 rechts oben). Setzte die Erstarrung des Materials ein, wurde der Pfropfen mit der Spitze voran in die Schadstelle gepresst, um auf diese Weise die Infiltration zu unterbinden (vgl. Bild 26 links unten). Danach wurde das Material bis zur völligen Erstarrung in die Schadstelle gedrückt (vgl. Bild 26 rechts unten). Überschüssiges Material konnte danach von der Schachtwand von Hand abgerieben werden. Die materialspezifischen Eigenschaften (Mischzeit, benötigte Wassermenge, Erstarrungszeit etc.) wurden den entsprechenden technischen Merkblättern entnommen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 26 Anmischen von Stopfmörtel (links oben), Frischmörtel kneten und zu einem Pfropfen formen (rechts oben), Eindrücken eines Pfropfens in die Schadstelle (links unten) und Andrücken des Mörtels bis zu dessen vollständiger Erstarrung (rechts unten)

Zum Teil haben einige der Hersteller zusätzlich zum Stopfmörtel einen Flächenmörtel im Produktprogramm. Diese Mörtel sollen bei der Abdichtungsmaßnahme für die flächigen Schäden verwendet werden. Die Anwendung unterschied sich dabei von den Stopfmörteln, denn die Flächenmörtel wurden als trockenes Pulver mit der flachen Hand in die Sickerstelle eingerieben. Dieser Arbeitsschritt wiederholte sich so lange bis kein Nachsickern (Wassereindrang) mehr erkennbar war. Anschließend konnte überschüssiges Material von der Schachtwand abgerieben werden (vgl. Bild 27).

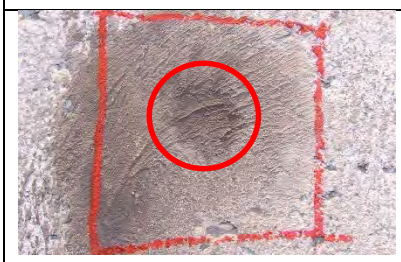
Bild 27 Einreiben der Flächenmörtel in Sickerstellen (links) und Wiederholen bis kein Nachsickern (roter Kreis) mehr erkennbar ist (rechts)

Im Folgenden werden für jedes Material die **Abdichtungsarbeiten** beschrieben und dazugehörige Details in einer Tabelle aufgelistet. Desweiten wird die **Entwicklung der Dichtheit an den Reparaturstellen** in einer Tabelle dargestellt. Die unterschiedlichen

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Farben geben Auskunft über die Dichtwirkung des Materials an dem entsprechenden Schaden (vgl. Tabelle 16). In einem kurzen Fazit werden die Dichtwirkung des Materials zusammengefasst und die **Ergebnisse der Haftzugprüfungen** dargestellt.

Tabelle 16 Erläuterungen zur Dichtwirkung

		grün = dicht (keine Auffälligkeit)
		gelb-grün = Feuchtefleck (begrenzte benetzte Fläche am Abdichtungsmaterial)
		gelb = Tropfenbildung (begrenzte benetzte Fläche am Abdichtungsmaterial, an der sich Wassertropfen bilden, jedoch nicht ablaufen)
		gelb-rot = Feuchtefahne (benetzte Fläche am Abdichtungsmaterials sowie unterhalb der Schadstelle)
		rot = Infiltration (fließender Wassereindrang)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5.3.3 Xypex Patch´n Plug

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit des Materialherstellers (Fa. Bawax). In Tabelle 17 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Nach Herstellerangaben liegt die Besonderheit des Abdichtungsmaterials in dem Xypex Kristallisations-Abdichtungsverfahren.

Tabelle 17 Abdichtungsarbeiten mit Xypex Patch´n Plug

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	Xypex Concentrate und Patch´n Plug
Mischungsverhältnis	2:1,5
Materialbedarf	ca. 15,7 kg (Xypex Concentrate)
Zeitbedarf	ca. 1,8 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	Xypex Patch´n Plug
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 180 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 30 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 210 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 10,5 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 3,8 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
Im Vorfeld der Abdichtung wurde an jeder Schadstelle eine Haftbrücke (Schlämme aus Xypex Concentrate) aufgebracht. Nach der Abdichtungsmaßnahme sickerte an einigen Schadstellen noch etwas Wasser ein. Nach Aussage des Herstellers stellt dies aber kein Problem dar, da sich diese Stellen nach einiger Zeit durch die Kristallbildung zusetzen werden. Die enthaltenden Kristallbildner (Konzentration Xypex Concentrate > Xypex Patch´n Plug) sollen demnach mit Wasser reagieren und nach einiger Zeit Kristalle in den Poren des Mörtels bilden.	

Bild 28 Pöckchenbildung nach 2 Wochen (links) und nach 4 Wochen (rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 18 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist im Abschnitt 5.3.2 erläutert.

Tabelle 18 Zeitliche Entwicklung der mit Patch´n Plug abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

Legende / Übersicht					
dicht	0	0	0	0	4
Feuchtefleck	16	4	1	19	12
Tropfenbildung	0	3	4	2	1
Feuchtefahne	8	17	19	2	7
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: 24 Stunden nach der Abdichtungsmaßnahme ist keiner der Schäden vollständig dicht. Die Einzelschäden sowie die flächigen Schäden weisen Feuchteflecken auf, die Ringfugen zum großen Teil auch Feuchtefahnen, jedoch keine Infiltrationen.

Nach einer Woche weisen insbesondere die Einzelschäden eine Veränderung auf. Hier zeigen sechs von neun Schadstellen nun eine Feuchtefahne anstelle von Feuchteflecken.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Zwei Wochen nach der Abdichtung ist keine wesentliche Veränderung festzustellen. Insgesamt haben 19 von 24 Schadstellen eine Feuchtefahne.

Nach der dritten Woche haben sich viele Feuchtefahnen zu Feuchteflecken zurückgebildet. Für diese Veränderungen kann unter Umständen die Kristallbildung verantwortlich sein.

Zum Versuchsende sind erstmals vier Einzelschäden (ca. 17 %) ohne Auffälligkeit.

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 19 aufgelistet.

Tabelle 19 Haftzugfestigkeit von Patch´n Plug auf Beton im Bereich der Schadstellen

BAWAX		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: XYPEX Patch´n Plug							
Flächiger Schaden	0,75	>0,4	0,8			40	60
Flächiger Schaden	1,25	0,2	0,4	100			
Flächiger Schaden	1,90	0,4	0,7	70		30	
Einzelschaden Ø10	0,75	1,5	2,9	30		60	10
Einzelschaden Ø10	1,25	0,8	1,6	100			
Einzelschaden Ø20	1,90	>0,6	1,2			50	50
Mittelwert		0,7					

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. Ein Einzelwert (1,5 N/mm²) ist besonders auffällig, da dieser deutlich vom Mittelwert abweicht. An dieser Stelle haftet das Material offensichtlich besser als an den anderen Probestellen. Drei von sechs Bruchbildern zeigen Verbundschwächen im Abdichtungsmörtel. Bei zwei weiteren Prüfungen ist der Bruch zu ≥ 50 % zwischen Klebefuge und Mörtel erfolgt. Hier kann die Haftzugfestigkeit lediglich abgeleitet werden.

5.3.4 Ergelit 10SD und 10F rapid

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit eines Vertreters des Vertriebs (Fa. Hermes). In Tabelle 20 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 20 Abdichtungsarbeiten mit Ergelit 10SD und 10F rapid

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	10S spezial
Materialbedarf	ca. 16,0 kg
Zeitbedarf	ca. 1,0 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	10SD
	10F-rapid
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen)
	als Trockenmörtel (Pulver)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca.60 Sek.
	/
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
	< 30 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 120Sek.
	< 30 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 11,4 kg
	ca. 4,4 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 5,3 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
Für die Abdichtung der flächigen Schäden sollte das Material 10F - rapid eingesetzt werden. Das Trockenpulver wurde von Hand fest auf die Schadstellen gedrückt und sollte mit dem infiltrierenden Wasser reagieren. Mehrere Versuche misslangen. Entweder wurde das Pulver vom Wasserstrahl weggespült, bevor es an die Schadstelle gelang, oder der anreagierte Mörtel wurde durch den starken Wasserdruck von der Schachtwand abgespült. Um die Abdichtung durchzuführen, wurde an diesem Schadensbild auch der 10SD-Mörtel eingesetzt. An den meisten Schadstellen der Ringfugen sickerte zwischen Abdichtungsmörtel und Fugenmaterial noch ein wenig Wasser durch. Hier erfolgte der Einsatz von 10F rapid. Die Sickerstellen wurden abgerieben und auf diese Weise das Sickerwasser gestoppt.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit ist in nachfolgender Tabelle 21 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist in Abschnitt 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 21 Zeitliche Entwicklung der mit Ergelit 10SD und 10F rapid abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

Legende / Übersicht					
dicht	18	18	16	11	9
Feuchtefleck	6	5	7	4	12
Tropfenbildung	0	0	0	6	1
Feuchtefahne	0	1	1	3	2
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Einen Tag nach der Abdichtungsmaßnahme sind 18 von 24 Schäden (75 %) erfolgreich abgedichtet. Alle Einzelschäden sind dicht. An sechs Schäden ist ein Feuchtefleck erkennbar.

Nach sieben Tagen ist die Gesamtzahl der Auffälligkeiten gleich geblieben (sechs Schäden). Zu beachten ist dabei, dass drei ursprüngliche Feuchteflecken nun dicht sind, jedoch drei zunächst dichte Schadstellen jetzt einen Feuchtefleck aufweisen.

In den Wochen 2, 3 und 4 nimmt die Anzahl der dichten Schadstellen kontinuierlich ab. In der zweiten Woche sind noch 16 von 24 Schäden dicht, wohingegen zum Versuchsende nur noch neun Schäden (ca. 38 %) ohne Auffälligkeit sind. Zwischenzeitlich

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

sind deutliche Zuwächse bei der Tropfenbildung (Woche 3) bzw. den Feuchteflecken (Woche 4) zu beobachten.

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 22 aufgelistet.

Tabelle 22 Haftzugfestigkeit von Ergelit 10SD auf Beton im Bereich der Schadstellen

Ergelit		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: 10 SD							
Flächiger Schaden	0,75	1,4	2,7	90			10
Flächiger Schaden	1,25	1,5	2,9	80			20
Flächiger Schaden	1,90	0,6	1,1	80			20
Einzelschaden Ø20/10	0,75	1,3	2,5	20		40	40
Einzelschaden Ø20	1,25	1,2	2,3	100			
Einzelschaden Ø20/10	1,90	1,0	1,9	100			
Mittelwert		1,1					

Fazit: Fünf von sechs Prüfungen zeigen eine Zugfestigkeit ≥ 1,0 N/mm². Da der kleinste Einzelwert bei 0,6 N/mm² und der Mittelwert bei 1,1 N/mm² liegen, sind die unter 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen an einen beschichtungsfähigen Untergrund nach [37] nicht erfüllt. Da jedoch ein Mittelwert von ≥ 1,0 N/mm² erreicht wird, ist die Anforderung nach [36] erfüllt. Der Bruch bei fünf von sechs Prüfungen erfolgte größtenteils im Abdichtungsmörtel. Dies zeigt eine geringe innere Festigkeit des Abdichtungsmörtels.

5.3.5 Puder-Ex

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit des Materialherstellers (Fa. Hey`Di). In Tabelle 23 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 23 Abdichtungsarbeiten mit Puder-Ex

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	Quellmörtel gemischt mit Puder-Ex
Mischungsverhältnis	5:1
Materialbedarf	ca. 20,4 kg (Quellmörtel)
Zeitbedarf	ca. 2,5 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	Puder-Ex
Verarbeitung	als Trockenpulver (Pulverballen), in Ausnahmefällen auch als Frischmörtel
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 15 Sek
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	< 30 Sek.
Verarbeitungszeit	bis max. 45 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca.29,2 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 4,4 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsmaßnahmen	
Die Anwendung dieses Stopfmörtels unterschied sich deutlich von den anderen Stopfmörteln. Puder-Ex wurde als Trockenmörtel verwendet (ähnlich der Flächenmörtel). Für die Abdichtung sollte das Mörtelpulver zu einem „Schneeball“ gepresst werden. Dieser wurde mit möglichst hohem Druck auf die Schadstelle gedrückt. Nach kurzer Reaktionszeit mit dem infiltrierenden Wasser konnte das überschüssige Pulver auf der Schadstelle verrieben werden. Probleme mit dieser Anwendung zeigten sich jedoch an den am stärksten belasteten Schadstellen (1,5 und 1,9 mWS), da der Mörtel immer wieder ausgespült wurde. Um dieses Problem zu umgehen, wurde Puder-Ex als Schlämme angerührt. Diese Schlämme härtete derart schnell aus, dass nur eine Hand voll in die Schadstelle gedrückt werden konnte. An jeder Schadstelle erfolgte dieser Vorgang deshalb mehrmals hintereinander, bis diese vollständig mit Mörtel aufgefüllt war. Einige kleinere Sickerstellen wurden anschließend noch mit Trockenmörtel abgerieben und auf diese Weise verschlossen. Um auch dem noch nicht reagierten Material auf der Schachtinnenwand ein Abbinden zu ermöglichen, wurde die gesamte Schachtinnenwand mit Wasser eingesprüht.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 24 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 24 Zeitliche Entwicklung der mit Puder-Ex abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

Legende / Übersicht					
dicht	16	10	12	10	10
Feuchtefleck	5	1	2	5	5
Tropfenbildung	1	4	0	1	1
Feuchtefahne	0	6	8	6	7
Infiltration	2	3	2	2	1

Fazit: 24 Stunden nach der Abdichtungsmaßnahme weisen acht Schäden (33 %) eine Auffälligkeit auf. Besonders zu beachten sind hierbei zwei Schäden (jeweils max. Wasserbelastung des Schadensbildes), die eine Infiltration zeigen.

Nach einer Woche zeigen weitere Schadstellen (insgesamt 14) Auffälligkeiten. An einem weiten Schadensbild (flächiger Schaden) ist nun auch eine Infiltration vorhanden. Somit sind nun insgesamt drei Infiltrationen, jede an einem anderen Schadensbild, vorhanden.

Eine weitere Woche später hat sich die neu aufgetretene Infiltration zu einer Feuchtefahne zurückgebildet. Ansonsten gibt es keine gravierenden Veränderungen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

In den Wochen 3 und 4 gibt es keine größeren Veränderungen. Einzig die Infiltration an der Ringfuge hat sich zugesetzt und zeigt lediglich eine Feuchtefahne. Am Ende der Versuchslaufzeit sind 10 von 24 Schäden (42 %) erfolgreich abgedichtet.

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 25 aufgelistet.

Tabelle 25 Haftzugfestigkeit von Puder-Ex auf Beton im Bereich der Schadstellen

HEY`DI		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: Puder-Ex							
Flächiger Schaden	0,75	0,1	0,2	20		80	
Flächiger Schaden	1,25	0,3	0,7	70		30	
Flächiger Schaden	1,90	0,2	0,4	30		70	
Einzelschaden Ø20	0,75	0,6	1,2	20		80	
Einzelschaden Ø10	1,25	0,4	0,7	10		90	
Einzelschaden Ø20/10	1,90	0,1	0,2			100	
Mittelwert		0,3					

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. Zweimal (kleinste Einzelwerte) löste sich der Mörtel bereits beim Fixieren des Prüfgerätes. Die Bruchbilder zeigen, dass kein ausreichender Verbund zum Untergrund besteht.

5.3.6 IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit des Materialherstellers (Fa. IPA). In Tabelle 26 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 26 Abdichtungsarbeiten mit IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	Unimörtel
Materialbedarf	ca. 19,0 kg
Zeitbedarf	ca. 0,6 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	IPANEX Stopfmörtel
	IPANEX Flächendicht WF
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen)
	als Trockenmörtel (Pulver)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca.60 Sek.
	/
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 90 Sek.
	ca. 60 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 150Sek.
	ca. 60 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 13,0 kg
	ca. 2,0 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 3,1 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsmaßnahmen	
Die Abdichtung des flächigen Schadens sollte mit IPANEX Flächendicht WF erfolgen. Nach den Angaben des Herstellers stellte dieses Schadensbild jedoch nicht den richtigen Anwendungsfall für das Material dar. Dennoch wurde mit der Zustimmung des Herstellers versucht, die oberste Schadstelle abzudichten. Nach mehreren Anläufen gelang dies jedoch nur an einem der neun Bohrlöcher. Nach Absprache mit dem Hersteller wurde für die restliche Abdichtung der flächigen Schäden der Stopfmörtel erfolgreich verwendet. Abschließend konnte IPANEX Flächendicht WF an kleineren Sickerstellen im Bereich der Abdichtungen verwendet werden.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit ist in nachfolgender Tabelle 27 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 27 Zeitliche Entwicklung der mit IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster *	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

*hier wurde Stopfmörtel und Flächendicht WF eingesetzt

Legende / Übersicht					
dicht	16	17	20	18	16
Feuchtefleck	3	2	1	1	0
Tropfenbildung	0	0	0	1	1
Feuchtefahne	5	5	3	4	7
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Nach dem ersten Tag sind 16 Schäden (67 %) erfolgreich abgedichtet. Der größte Teil der Auffälligkeiten tritt an den Ringfugen auf, wobei besonders die max. belasteten (1,5 m WS) betroffen sind.

Nach einer Woche ist keine wesentliche Veränderung festzustellen.

Zwei Wochen nach der Abdichtung erreicht das Material die max. Dichtwirkung. 20 von 24 Schäden (83 %) sind ohne Auffälligkeit. Drei der vier vorhandenen Auffälligkeiten sind am Schadensbild „undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel“ vorhanden.

In der Woche 3 und 4 nimmt die Abdichtungswirkung wieder ab. Nach der vierten Woche sind wie bereits nach einem Tag 67 % der Schäden erfolgreich abgedichtet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 28 aufgelistet.

Tabelle 28 Haftzugfestigkeit von IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF auf Beton im Bereich der Schadstellen

IPA		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: IPANEX Stopfmörtel							
Flächiger Schaden	0,75	0,3	0,5	10		90	
Flächiger Schaden	1,25	0,3	0,5	10		90	
Flächiger Schaden	1,90	0,1	0,3	10		90	
Einzelschaden Ø10	0,75	0,6	1,2	10		90	
Einzelschaden Ø20	1,25	0,5	1,0	20		80	
Einzelschaden Ø20/10	1,90	0,1	0,1	20		80	
Mittelwert		0,3					
Material: IPANEX Flächendicht WF							
Flächiger Schaden	0,75	0,4	0,8			100	

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. An den Bruchbildern ist zu erkennen, dass ein nicht ausreichender Verbund zum Untergrund vorliegt. Da an dem obersten flächigen Schaden zwei verschiedenen Materialien eingesetzt wurden (vgl. Tabelle 27), gibt es an diesem Schadensbild eine zweite Prüfung. Auch IPANEX Flächendicht WF zeigt einen unzureichenden Verbund zum Untergrund.

5.3.7 Ombran W und IW

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit des Materialherstellers (Fa. MC-Bauchemie). In Tabelle 29 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 29 Abdichtungsarbeiten mit Ombran W und IW

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	Ombran R
Materialbedarf	ca. 20,8 kg
Zeitbedarf	ca. 1,0 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	Ombran W
	Ombran IW
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen)
	als Trockenmörtel (Pulver)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca.60 Sek.
	/
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
	< 30 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 120Sek.
	< 30 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 19,2 kg
	ca. 3,0 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 6,0 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
An den flächigen Schäden sollte Ombran IW (Flächenmörtel) eingesetzt werden. Der Hersteller wies jedoch darauf hin, dass dieses Material nicht für den hier vorhandenen Anwendungsfall (fließendes Wasser) geeignet sei. Trotzdem wurde mit der Zustimmung des Herstellers versucht, die Abdichtungsmaßnahme durchzuführen. Es zeigte sich schnell, dass das Material nicht für diesen Einsatz geeignet war. Lediglich die oberste Reihe des 3x3 Rasters konnte abgedichtet werden. Bei stärker wasserbelasteten Schadstellen spülte das Wasser den Mörtel sofort wieder aus der Schadstelle heraus. Für die weitere Abdichtung der flächigen Schäden wurde daher Ombran W eingesetzt. Zum Schluss der Abdichtungsmaßnahme erfolgte ein Nachnässen der abgedichteten Stellen, um eine vollständige Hydratation des Mörtels zu gewährleisten.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 30 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 30 Zeitliche Entwicklung der mit Ombran W und IW abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster *	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

*hier wurde Ombran W und Ombran IW eingesetzt

Legende / Übersicht					
dicht	14	15	15	15	13
Feuchtefleck	5	2	3	0	0
Tropfenbildung	0	0	0	3	1
Feuchtefahne	5	7	6	6	10
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Nach dem ersten Tag sind 14 von 24 Schäden (58 %) erfolgreich abgedichtet. Bei den Einzelschäden zeigt lediglich eine Stelle (1,9 mWS) eine Auffälligkeit.

Nach der ersten und zweiten Woche sind alle Schadstellen bei den Einzelschäden und flächigen Schäden unauffällig, jedoch sind bei den Ringfugen weitere Auffälligkeiten hinzugekommen. Zwischen der ersten und zweiten Woche gibt es keine wesentlichen Veränderungen.

Nach der dritten und vierten Woche ist weiterhin der größte Teil der Auffälligkeiten bei den Ringfugen vorzufinden. Am Ende der Versuchslaufzeit sind 13 von 24 Schäden (54 %) erfolgreich abgedichtet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 31 aufgelistet.

Tabelle 31 Haftzugfestigkeit von Ombran W und IW auf Beton im Bereich der Schadstellen

MC-Bauchemie		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: Ombran W							
Flächiger Schaden	0,75	> 1,1	2,2			10	90
Flächiger Schaden	1,25	0,4	0,8			100	
Flächiger Schaden	1,90	0,4	0,8	10		80	10
Einzelschaden Ø10	0,75	> 1,0	2,0			20	80
Einzelschaden Ø10	1,25	0,6	1,2	20		70	10
Einzelschaden Ø10	1,90	0,2	0,4	10		90	
Mittelwert		0,6					
Material: Ombran IW							
Flächiger Schaden	0,75	0,5	0,9	20		80	

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. Es liegt eine vergleichsweise große Spanne zwischen dem größten (> 1,1 N/mm²) und dem kleinsten gemessenen Einzelwert (0,2 N/mm²). Auffällig ist, dass bei den beiden hohen Einzelwerten der Bruch zwischen Klebefuge und Mörtel liegt. Bei den geringeren Werten hingegen versagte größtenteils der Verbund zum Untergrund. Am obersten flächigen Schaden wurde eine weitere Prüfung durchgeführt, da hier beide Materialien eingesetzt worden waren (vgl. Tabelle 30).

5.3.8 KA-S Stopfmörtel

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit des Materialherstellers (Fa. Pagel). In Tabelle 32 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 32 Abdichtungsarbeiten mit KA-S Stopfmörtel

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	R20/10 Schnellreparaturmörtel
Materialbedarf	ca. 19,0 kg
Zeitbedarf	ca. 1,0 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	KA-S Stopfmörtel
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen) und Trockenmörtel (Abreiben von Sickerstellen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 60 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 90 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 150 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 17,5 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 4,8 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
An einigen Schadstellen war die Abdichtung aufwändiger, da der Stopfmörtel immer wieder herausgespült wurde. An den Stellen mit der größten Wasserbelastung (1,5 und 1,9 mWS) konnte der Sanierer nicht gleichmäßig und ausreichend Druck auf den frischen Mörtel in der Schadstelle aufbringen. Daher wurde hier der Mörtelpfropfen mit der Rückseite einer Maurerkelle in die Schadstelle gedrückt. Nach der Abdichtung sickerte an mehreren Stellen noch Wasser zwischen Fuge und Stopfmörtel durch. Diese Stellen wurden mit trockenem Stopfmörtel abgerieben. Auf diese Weise konnte der geringe Wasserfluss gestoppt werden.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 33 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 33 Zeitliche Entwicklung der mit KA-S Stopfmörtel abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75		*			
Ø20/10			*			
Ø10			*			
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster	0,75		*			
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50		*			
3Uhr			*			
6Uhr			*			
9Uhr			*			
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

* kurzzeitig ohne Wasserbelastung

Legende / Übersicht					
dicht	19	24	20	20	21
Feuchtefleck	5	0	0	0	0
Tropfenbildung	0	0	0	0	0
Feuchtefahne	0	0	4	4	3
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Einen Tag nach der Sanierung sind 19 von 24 Schäden (79 %) im Versuchskörper dicht. Vier der fünf Schadstellen mit Feuchtigkeit sind in der ersten Ringfuge zu finden.

An Tag 5 des Versuchszeitraumes riss der oberste äußere Schachtring des Versuchsaufbaus mit der Folge, dass der entstandene Wasserverlust nicht ausgeglichen werden konnte (vgl. Abschnitt 5.2.1.1). Der Schachtring wurde ersetzt. Die bei der Inspektion nach einer Woche mit einem Stern (*) gekennzeichneten Schadstellen sind kurzzeitig (ca. acht Stunden) ohne Wasserbelastung gewesen. Alle anderen Schadstellen hatten für diese Zeit eine geringere Wasserbelastung (ca. 0,8 mWS). Die Versuchszeit wurde entsprechend verlängert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Sieben Tage nach Abschluss der Abdichtungsmaßnahme sind 100 % der Schäden dicht.

Nach zwei Wochen zeigt sich wieder eine geringe Anzahl von Auffälligkeiten. Diese verändern sich in der Woche 3 und 4 nicht mehr wesentlich. Der Versuch schließt mit 21 von 24 erfolgreich abgedichteten Schadstellen (88 %) ab.

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials auf dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 34 aufgelistet.

Tabelle 34 Haftzugfestigkeit von KA-S Stopfmörtel auf Beton im Bereich der Schadstellen

Pagel		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: KA-S Stopfmörtel							
Flächiger Schaden	0,75	>1,4	2,8			20	80
Flächiger Schaden	1,25	>1,8	3,6			10	90
Flächiger Schaden	1,90	>1,6	3,0	10			90
Einzelschaden Ø20	0,75	1,7	3,3	80		10	10
Einzelschaden Ø20/10	1,25	>1,4	2,8			10	90
Einzelschaden Ø20	1,90	>1,8	3,4	30			70
Mittelwert		1,6					

Fazit: Der kleinste Einzelwert erreicht 1,4 N/mm², der Mittelwert der Prüfungen beträgt 1,6 N/mm². Somit erfüllt das Material die unter 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen an einen sanierungsfähigen Untergrund (vgl. [37]). Auffällig ist, dass bei fünf von sechs Prüfungen der Bruch zum großen Teil in der Klebefuge erfolgt ist. Die vorhandene Haftzugfestigkeit ist offensichtlich höher als die ermittelten Werte anzeigen.

5.3.9 Rapidhärter

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Absprache mit dem Materialhersteller (Fa. Remmers) in dessen Abwesenheit. Die Sanierungskolonne hatte jedoch schon im Vorversuch (hier war der Materialhersteller anwesend) mit dem Material gearbeitet und war bereits mit der Verarbeitung des Materials vertraut. In Tabelle 35 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 35 Abdichtungsarbeiten mit Rapidhärter

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	Montagemörtel
Materialbedarf	ca. 20,6 kg
Zeitbedarf	ca. 0,8 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	Rapidhärter
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen) und als Trokkenmörtel (Pulver)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 20 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 30 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 50 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca.12,5 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 2,6 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
Je größer die Wasserbelastung bei der Sanierung war, umso länger wurde der Mörtel angedrückt zur Vermeidung seines Ausspülens. Da der Stopfmörtel vergleichsweise schnell erstarrte, kam es mehrmals vor, dass der Mörtelpfropfen bereits beim Eindrücken in die Schadstelle weitgehend ausreagiert war. Auch an den flächigen Schäden wurde der Rapidhärter als Stopfmörtel verwendet und nicht, wie zunächst vorgesehen, trocken auf die Schadstellen gerieben. Nach der Abdichtung sickerte Wasser an einigen Stellen in den Fugen durch. Hier wurde der Rapidhärter als Trockenpulver angewendet und die Stellen durch Abreiben mit Mörtel verschlossen.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 36 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 36 Zeitliche Entwicklung der mit Rapidhärter abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

Legende / Übersicht					
dicht	18	12	6	5	5
Feuchtefleck	2	4	10	4	14
Tropfenbildung	2	0	0	7	4
Feuchtefahne	2	8	8	8	1
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Einen Tag nach der Abdichtungsmaßnahme wird das beste Abdichtungsergebnis erzielt. 18 Schäden (75 %) zeigen keine Auffälligkeit.

Nach einer Woche erhöht sich besonders bei den Ringfugen die Anzahl der Auffälligkeiten. Nur noch 12 Schäden (50 %) sind dicht.

In der zweiten Woche kommen sowohl an den Einzelschäden wie auch an den Ringfugen weiter Auffälligkeiten hinzu.

In der dritten und vierten Woche verändert sich die Anzahl der Auffälligkeiten nicht mehr wesentlich. Am Ende der Versuchslaufzeit zeigen 19 von 24 Schäden (79 %) eine Auffälligkeit.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 37 aufgelistet.

Tabelle 37 Haftzugfestigkeit von Rapidhärter auf Beton im Bereich der Schadstellen

Remmers		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: Rapidhärter							
Flächiger Schaden	0,75	>0,3	0,6			20	80
Flächiger Schaden	1,25	>0,4	0,8	10			90
Flächiger Schaden	1,25	0,5	0,9			100	
Flächiger Schaden	1,90	0,1	0,3			100	
Einzelschaden Ø20/10	0,75	0,2	0,4			100	
Einzelschaden Ø20/10	1,90	>0,3	0,5	20			80
Mittelwert		0,3					

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. Alle Messwerte liegen in einer vergleichbaren Größenordnung. Bei drei von sechs Prüfungen versagte der Verbund zwischen Mörtel und Untergrund. Bei den anderen drei Prüfungen erfolgte der Bruch jedoch zwischen Kleber und Mörtel. Hier ist unklar, in welcher Höhe die Haftzugfestigkeit tatsächlich liegt.

5.3.10 xPress

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit eines Vertreters des Vertriebs (Fa. I.S.T). In Tabelle 38 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 38 Abdichtungsarbeiten mit xPress

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	xPress
Materialbedarf	ca. 22,0 kg
Zeitbedarf	ca. 1,3 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	xPress
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 60 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 120 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 180 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 17,5 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 3,8 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
Im Vorfeld der Abdichtungsarbeiten wurden alle Schadstellen mindestens 3 cm tief mit einem Durchmesser von 26 mm aufgebohrt und aufgestemmt. Auch an den unbeschädigten Bereichen der Ringfugen erfolgte ein Anrauen der Oberfläche mit einem Bohrhammer. Diese Maßnahmen sind gemäß Hersteller erforderlich, um eine erfolgreiche Abdichtung erzielen zu können. In Absprache mit dem Hersteller erfolgte die Vorbereitung der Ringfugen mit dem Material für die Abdichtung. Auf Grund der frühen Wasserbelastbarkeit des Materials konnte die Reprofilierung der nicht geschädigten Bereiche in den Fugen unmittelbar vor der Abdichtung erfolgen. An einigen Schadstellen sickerte nach der Abdichtung Wasser ein. Diese Stellen wurden mit einem Spitzmeißel erneut geöffnet und in einem neuen Versuch abgedichtet.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 39 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 39 Zeitliche Entwicklung der mit xPress abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20	0,75					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,25					
Ø20/10						
Ø10						
Ø 20	1,90					
Ø20/10						
Ø10						
flächiger Schaden						
3x3 Raster	0,75					
3x3 Raster	1,25					
3x3 Raster	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr	0,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
12Uhr	1,00					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr	1,50					
3Uhr						
6Uhr						
9Uhr						

Legende / Übersicht					
dicht	18	20	16	15	14
Feuchtefleck	1	2	4	1	0
Tropfenbildung	1	0	3	6	9
Feuchtefahne	4	2	1	2	1
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Ein Tag nach der Abdichtung sind insgesamt sechs Auffälligkeiten, im Bereich der höchsten Wasserbelastung (1,5 und 1,9 mWS), zu erkennen. Demzufolge sind 18 von 24 Schäden (75 %) erfolgreich abgedichtet.

Nach einer Woche wird die beste Dichtwirkung über den Versuchszeitraum erreicht. 20 Schäden (83 %) sind ohne Auffälligkeit. Alle vier Auffälligkeiten befinden sich in der untersten Ringfuge.

Nach zwei Wochen zeigen alle Schäden (unabhängig vom Schadensbild), die mit mindestens 1,5 mWS belastet sind, eine Auffälligkeit.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

In der Woche 3 und 4 kommt jeweils eine weitere Auffälligkeit hinzu. Zum Ende der Versuchslaufzeit sind 14 Schäden (58 %) erfolgreich abgedichtet.

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 40 aufgelistet.

Tabelle 40 Haftzugfestigkeit von xPress auf Beton im Bereich der Schadstellen

Seal-tec		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untergrund	zwischen Mörtel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: xPress							
Flächiger Schaden	0,75	0,5	0,9	10		90	
Flächiger Schaden	1,25	>0,6	1,2				100
Flächiger Schaden	1,90	0,4	0,8	60	10	20	10
Einzelschaden Ø20	0,75	0,3	0,6	10		90	
Einzelschaden Ø10	1,25	0,8	1,6	60		40	
Einzelschaden Ø20/10	1,90	0,5	1,0	10	10	80	
Mittelwert		0,5					

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. Der kleinste Einzelwert beträgt 0,3 N/mm² und der Mittelwert 0,5 N/mm². Bei drei von sechs Prüfungen zeigt das Bruchbild ein Versagen des Verbundes von Mörtel zum Untergrund. Bei zwei weiteren Prüfungen tritt das Bruchversagen überwiegend im Abdichtungsmörtel auf. In einem Fall versagte die Klebeverbindung. Hier kann die Haftzugfestigkeit lediglich abgeschätzt werden.

5.3.11 Stopfmörtel rapid und Wasserstopper

Abdichtungsarbeiten

Die Abdichtung des Probekörpers erfolgte in Anwesenheit des Materialherstellers (Fa. Vandex). In Tabelle 41 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 41 Abdichtungsarbeiten mit Stopfmörtel rapid und Wasserstopper

Fugenreprofilierung	
Eingesetztes Material	MG 4 RAPID
Materialbedarf	ca. 20,6 kg
Zeitbedarf	ca. 0,8 Stunden
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	Stopfmörtel rapid
	Wasserstopper
Verarbeitung	als Frischmörtel (Pfropfen)
	als Frischmörtel (Pfropfen) oder Trokkenmörtel (Pulver)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca.120 Sek.
	ca. 30 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
	ca. 30 Sek.
Verarbeitungszeit	ca. 180Sek.
	ca. 30 - 60 Sek.
Materialbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 8,8 kg
	ca. 3,4 kg
Zeitbedarf Abdichtungsmaßnahme	ca. 3,3 Std.
Auffälligkeiten während der Abdichtungsarbeiten	
Für die Abdichtung standen zwei Stopfmörtel zur Verfügung, die sich vor allem durch die Verarbeitungszeit sowie die Verarbeitungsmöglichkeit unterschieden. Der Hersteller empfahl, die lokalen und flächigen Schäden mit Stopfmörtel rapid abzudichten. Die Abdichtung der Ringfugen könne sowohl mit dem Wasserstopper als auch mit Stopfmörtelrapid erfolgen. Daher wurde gemeinsam festgelegt, dass die Schäden in den Fugen auf 12 und 3 Uhr mit Wasserstopper (als Frischmörtel) und die Schäden in den Fugen auf 6 und 9 Uhr mit Stopfmörtel saniert werden. Bei der Verarbeitung als Frischmörtel und im unmittelbaren Abdichtungserfolg waren keine wesentlichen Unterschiede der Materialien erkennbar. An wenigen Stellen in den Fugen traten nach der Abdichtung Sickerstellen auf. Diese wurden mit Wasserstopper als Trockenpulver abgerieben und abgedichtet.	

Entwicklung der Dichtwirkung an den Reparaturstellen

Die Abdichtung der Schadstellen zeigte über die Versuchsdauer unterschiedliche Erfolge. Die einzelnen Zustände der Dichtheit an den Schadstellen über die Versuchszeit sind in nachfolgender Tabelle 42 dargestellt. Die Bedeutung der Farbgebung ist unter 5.3.2 erläutert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 42 Zeitliche Entwicklung der mit Stopfmörtel und Wasserstopper abgedichteten Schadstellen

Schaden	Wasser-belastung [mWS]	Tag 1	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4
lokaler Einzelschaden						
Ø 20 (*1)	0,75					
Ø20/10 (*1)						
Ø10 (*1)						
Ø 20 (*1)	1,25					
Ø20/10 (*1)						
Ø10 (*1)						
Ø 20 (*1)	1,90					
Ø20/10 (*1)						
Ø10 (*1)						
flächiger Schaden						
3x3 Raster (*1)	0,75					
3x3 Raster (*1)	1,25					
3x3 Raster (*1)	1,90					
undichte Ringfuge						
12Uhr (*2)	0,50					
3Uhr (*2)						
6Uhr (*1)						
9Uhr (*1)						
12Uhr (*2)	1,00					
3Uhr (*2)						
6Uhr (*1)						
9Uhr (*1)						
undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel						
12Uhr (*2)	1,50					
3Uhr (*2)						
6Uhr (*1)						
9Uhr (*1)						

*1 hier wurde Stopfmörtel rapif eingesetzt

*2 hier wurde Wasserstopper eingesetzt

Legende / Übersicht					
dicht	10	15	12	6	8
Feuchtefleck	3	4	5	2	2
Tropfenbildung	1	0	3	10	11
Feuchtefahne	10	5	4	6	3
Infiltration	0	0	0	0	0

Fazit: Am ersten Tag nach der Abdichtung sind 10 von 24 Schäden (42 %) ohne Auffälligkeit. Acht davon sind Einzelschäden.

In der ersten Woche erhöht sich der Anteil der erfolgreich abgedichteten Schadstellen auf insgesamt 15 (ca. 63 %). Damit erreicht dieser Probekörper die höchste Dichtwirkung während der Versuchslaufzeit.

Nach zwei Wochen nimmt der Abdichtungserfolg an allen Schadendbildern wieder ab.

Nach drei Wochen erhöht sich der Anteil der Auffälligkeiten rapide (von 12 auf 18). Besonders bei den Einzelschäden ist dabei ein Zuwachs zu beobachten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Zwischen Woche 3 und 4 ist keine große Veränderung zu beobachten. Zum Ende des Versuches sind 8 von 24 Schäden (33 %) dicht.

Ergebnisse der Haftzugprüfungen

An ausgewählten Schadstellen mit ausreichend aufgetragenem Material wurde die Haftzugfestigkeit des Materials mit dem Beton-Untergrund gemessen. Die ausgewählten Schadstellen lagen alle an den Schadensbildern „flächiger Schaden“ und „Einzelschaden“, die ausschließlich mit Stopfmörtel rapid saniert wurden. Die Ergebnisse dieser Prüfungen sind in Tabelle 43 aufgelistet.

Tabelle 43 Haftzugfestigkeit von Stopfmörtel rapid auf Beton im Bereich der Schadstellen

Vandex		kleinster Einzelwert		Bruchstelle [% der Gesamtfläche]			
				Kohäsionsbruch		Adhäsionsbruch	
Schadensbild	Wasser-belastung [mWS]	Einzelwert [N/mm²]	Abreißkraft [kN]	im Mörtel	im Untegrund	zwischen Mötel und Untergrund	in der Klebefuge
Material: Stopfmörtel rapid							
flächiger Schaden	0,75	0,2	0,4			100	
flächiger Schaden	1,25	0,2	0,3			100	
flächiger Schaden	1,90	0,3	0,5	10		90	
Einzelschaden Ø20	0,75	>0,4	0,9			20	80
Einzelschaden Ø20/10	1,25	0,8	1,6	10		50	40
Einzelschaden Ø20/10	1,90	>0,7	1,3			30	70
Mittelwert		0,4					

Fazit: Die in Abschnitt 5.2.2.2 genannten Mindestanforderungen gemäß [37] werden nicht erfüllt. An allen drei Flächenschäden weisen die Bruchbilder eine Verbundschwäche zwischen Mörtel und Untergrund auf. Dies zeigt sich auch an einem Einzelschaden. Bei den zwei weiteren Prüfungen ist auf Grund des Bruches in der Klebefuge nur eine Abschätzung der Haftzugfestigkeit möglich.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5.4 Zusammenfassung der Versuche

Dichtheit

In der Tabelle 44 sind die Ergebnisse der Abdichtungswirkung für alle neun Hersteller zusammenfassend dargestellt. Dabei wird für jeden Inspektionszeitpunkt (Tag 1, Woche 1 bis Woche 4) die Anzahl der Schadstellen ermittelt, die einen bestimmten Abdichtungserfolg erreicht haben. Die Grundlage dafür bilden die unter 5.3.3 bis 5.3.11 dargestellten Tabellen der zeitlichen Entwicklung der Schadstellen.

Tabelle 44 Zusammenfassende Darstellung der Dichtheit aller Materialien

	Tag	Woche			
	1	1	2	3	4
Bawax - Xypex Patch´n Plug					
dicht	0	0	0	0	4
Feuchtefleck	16	4	1	19	12
Tropfenbildung	0	3	4	2	1
Feuchtefahne	8	17	19	2	7
Infiltration	0	0	0	0	0
HEY`DI - Puder-EX					
dicht	16	10	12	10	10
Feuchtefleck	5	1	2	5	5
Tropfenbildung	1	4	0	1	1
Feuchtefahne	0	6	8	6	7
Infiltration	2	3	2	2	1
MC-Bauchemie - Ombran W und Ombran IW					
dicht	14	15	15	15	13
Feuchtefleck	5	2	3	0	0
Tropfenbildung	0	0	0	3	1
Feuchtefahne	5	7	6	6	10
Infiltration	0	0	0	0	0
Remmers - Rapidhärter					
dicht	18	12	6	5	5
Feuchtefleck	2	4	10	4	14
Tropfenbildung	2	0	0	7	4
Feuchtefahne	2	8	8	8	1
Infiltration	0	0	0	0	0
Vandex - Stopfmörtel rapid und Wasserstopper					
dicht	10	15	12	6	8
Feuchtefleck	3	4	5	2	2
Tropfenbildung	1	0	3	10	11
Feuchtefahne	10	5	4	6	3
Infiltration	0	0	0	0	0

	Tag	Woche			
	1	1	2	3	4
Ergelit - 10SD und 10F rapid					
dicht	18	18	16	11	9
Feuchtefleck	6	5	7	4	12
Tropfenbildung	0	0	0	6	1
Feuchtefahne	0	1	1	3	2
Infiltration	0	0	0	0	0
IPA - IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF					
dicht	16	17	20	18	16
Feuchtefleck	3	2	1	1	0
Tropfenbildung	0	0	0	1	1
Feuchtefahne	5	5	3	4	7
Infiltration	0	0	0	0	0
Pagel - KA-S Stopfmörtel [*1]					
dicht	19	24	20	20	21
Feuchtefleck	5	0	0	0	0
Tropfenbildung	0	0	0	0	0
Feuchtefahne	0	0	4	4	3
Infiltration	0	0	0	0	0
Seal-tec - xPress					
dicht	18	20	16	15	14
Feuchtefleck	1	2	4	1	0
Tropfenbildung	1	0	3	6	9
Feuchtefahne	4	2	1	2	1
Infiltration	0	0	0	0	0

Nach dem **ersten Tag** erreichen sieben von neun Herstellern eine Abdichtungsquote von ≥ 50 %. Bei vier Anbietern liegt der Abdichtungserfolg sogar bei ≥ 75 %. Mit dem Material eines Herstellers (Bawax) konnte zu diesem Zeitpunkt keine Schadstelle vollständig abgedichtet werden (vgl. Bild 29).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Nach **sieben Tagen**[1] erreichten sieben von neun Herstellern eine Abdichtungsquote von ≥ 50 %. Einen Abdichtungserfolg von ≥ 75 % zeigten hier nur noch die Materialien dreier Hersteller. Nur bei einem einzigen Anbieter (Pagel) sind zu diesem Zeitpunkt alle Schäden erfolgreich abgedichtet. Auch nach einer Woche konnte ein Anbieter weiterhin keine einzige abgedichtete Schadstelle nachweisen (vgl. Bild 30).

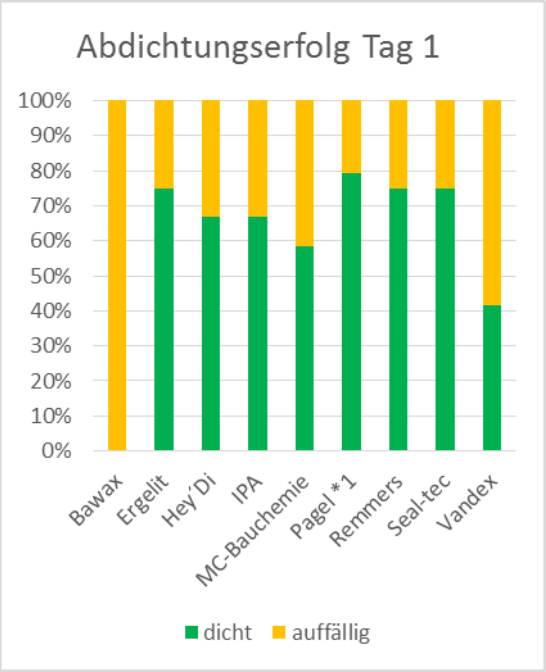


Bild 29 Abdichtungserfolg Tag1

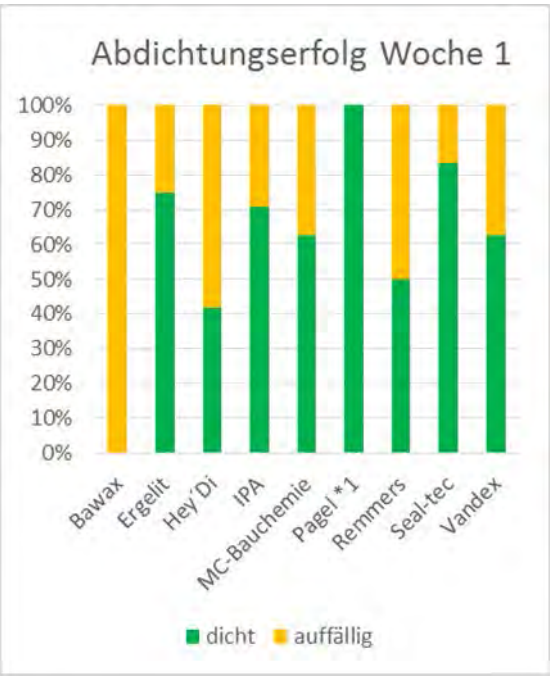


Bild 30 Abdichtungserfolg Woche 1

Nach **der zweiten Woche** erreichten weiterhin sieben von neun Herstellern ein Abdichtungsergebnis von ≥ 50 %. Lediglich zwei Anbieter konnten ein Abdichtungsergebnis von ≥ 75 % vorweisen und ein Anbieter wiederum keine einzige abgedichtete Schadstelle (vgl. Bild 31).

Bei der Inspektion nach **drei Wochen** hatten nur noch vier Anbieter eine Abdichtungsquote von ≥ 50 %. Dennoch waren weiterhin von zwei Herstellern ≥ 75 % der Schäden erfolgreich abgedichtet. Drei Firmen erreichten bei der Abdichtung nur ein Ergebnis von ≤ 33 % (d. h. Dichtheit von acht oder weniger Schäden). Auch jetzt zeigte das Material eines Anbieters keine einzige vollständig trockene Schadstelle (vgl. Bild 32).

*[1] Bei den Ergebnissen ist zu beachten, dass ca. zwei Tage vor dieser Inspektion (7 Tage) ein Riss im Versuchsaufbau (Außen-Schacht DN 1500) von Pagel auftrat, der zu einer Wasserabsenkung von ca. 80 cm führte. Acht Schadstellen waren somit für die Dauer von ca. acht Stunden ohne Wasserbelastung Die Gesamtversuchsdauer wurde jedoch entsprechend verlängert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

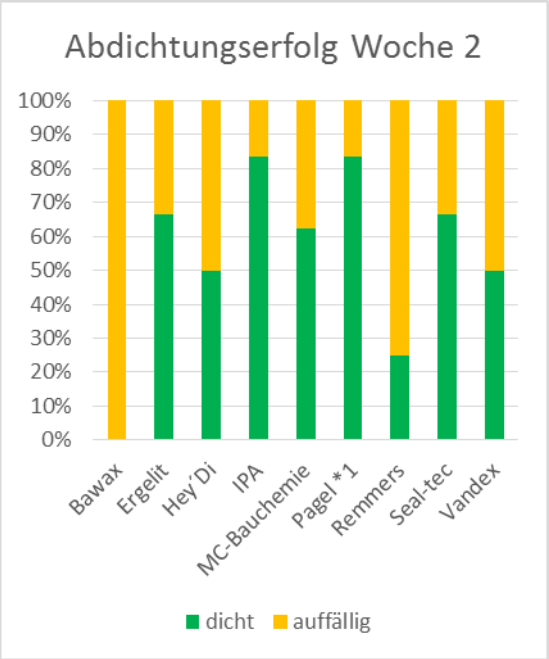


Bild 31 Abdichtungserfolg nach Woche 2

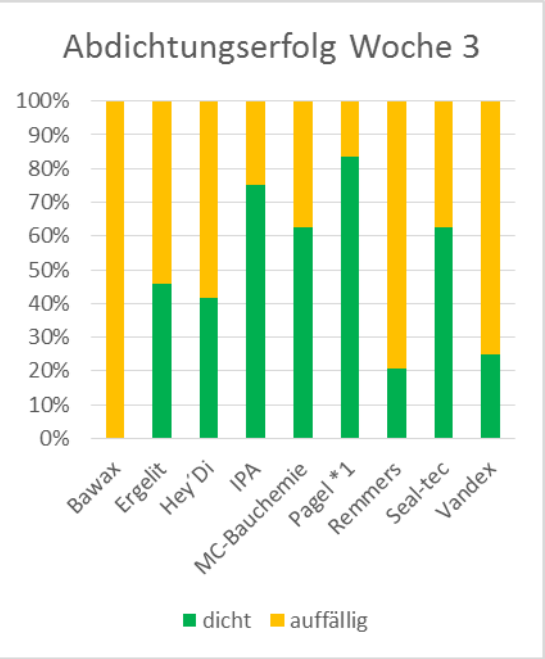


Bild 32 Abdichtungserfolg nach Woche 3

Vier Wochen nach der Abdichtung erreichten vier von neun Herstellern ein Dichtheitsergebnis von ≥ 50 %. Nur ein einziger zeigte auch jetzt eine Abdichtungsquote von ≥ 75 %. Drei Firmen erreichten nur ein Dichtheitsergebnis von ≤ 33 % (vgl. Bild 33).

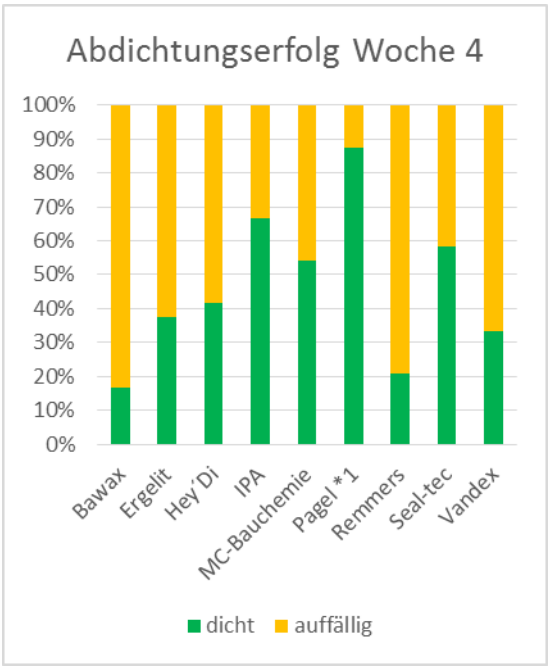


Bild 33 Abdichtungserfolg nach Woche 4

Im Ergebnis haben vier von neun Herstellern (IPA, MC-Bauchemie, Pagel, Seal-tec) eine dauerhafte Abdichtungsquote von ≥ 50 % (mindestens 12 dichte Schadstellen) erzielen können. Lediglich mit den Materialien eines Herstellers (Pagel) war über den gesamten Versuchszeitraum ein dauerhafter Abdichtungserfolg von ≥ 75 % (d. h.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Dichtheit von 18 oder mehr reparierten Schadstellen) erzielt worden. Mit einer Ausnahme war es mit allen Materialien möglich, die simulierten Fremdwasserinfiltrationen dauerhaft zu unterbinden. Maximal drei Schadstellen zeigten nach der Abdichtung weiterhin eine Infiltration (HEY´DI Puder-Ex, Woche 1). Insgesamt wurden 216 Schadstellen in allen neun Versuchskörpern abgedichtet, so dass nur bei ca. 1,4 % der Schadstellen eine Infiltration nicht unterbunden werden konnte. Allerdings zeigten sich in weiten Bereichen unterschiedliche Formen des Feuchteeindrangs.

Insgesamt zeigt sich, dass bei sieben von neun Probekörpern in der Zeit bis zu einer Woche nach Abdichtung (Inspektion nach einem Tag und /oder einer Woche) das beste Dichtheitsergebnis erzielt wird. Bei einem Material kann dieses Ergebnis auch in der zweiten und dritten Woche gehalten werden. Je ein Hersteller erreicht die beste Dichtwirkung nach zwei bzw. vier Wochen. Es zeigt sich also, dass die Abdichtung mit schnellerhärtenden Abdichtungsmörteln tendenziell nur als kurzfristig wirkende Maßnahme angesehen werden sollte.

Bei vergleichender Betrachtung der Tabellen der zeitlichen Entwicklung der abgedichteten Schadstellen mit den verschiedenen Materialien (vgl. 5.3.3bis 5.3.11) ist zu erkennen, dass zu den meisten Zeitpunkten bei den **Einzelschäden** die wenigsten Auffälligkeiten vorliegen (vgl. Bild 34). In sieben von neun Probekörpern (alle bis auf Anbieter Bawax und Vandex) sind diese Auffälligkeiten an den Einzelschäden dabei hauptsächlich am Schachtunterteil (bei max. Wasserbelastung von 1,9 mWS) zu finden.

Bei allen Anbietern zeigen sich die meisten Auffälligkeiten an den 12 Schadstellen in den **Ringfugen**. Besonders bei dem Schadensbild „undichte Ringfuge mit Abplatzung am Muffenspiegel“ konnten nur wenige Schadstellen erfolgreich saniert bzw. dauerhaft abgedichtet werden (vgl. Bild 37). Diese Schäden sind mit der zweitgrößten Wasserbelastung in diesem Versuchsaufbau (1,5 mWS) beaufschlagt.

Das Schadensbild „**flächiger Schaden**“ ist bei drei von neun eingesetzten Materialien (Xypex Patch´n Plug, Puder-Ex und Rapidhärter) auffällig, da hier kaum eine Schadstelle abgedichtet werden konnte.

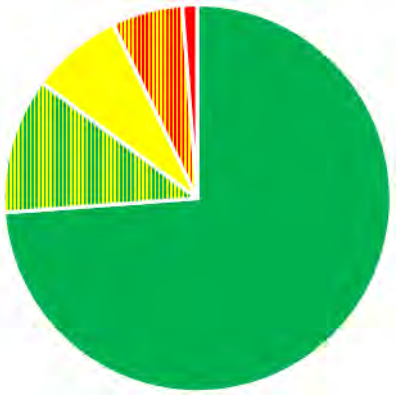


Bild 34 Verteilung der Auffälligkeiten an den Einzelschäden

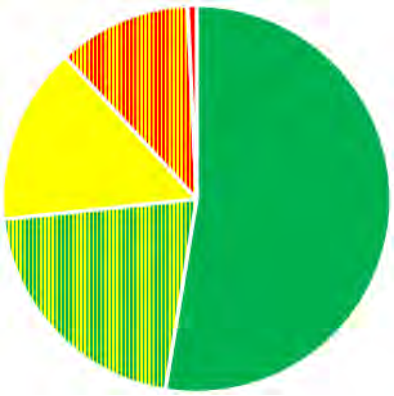


Bild 35 Verteilung der Auffälligkeiten an den flächigen Schäden

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

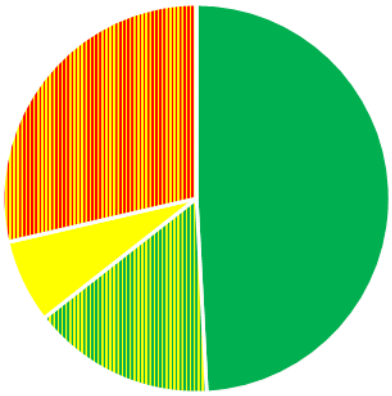


Bild 36 Verteilung der Auffälligkeiten an den undichten Ringfugen

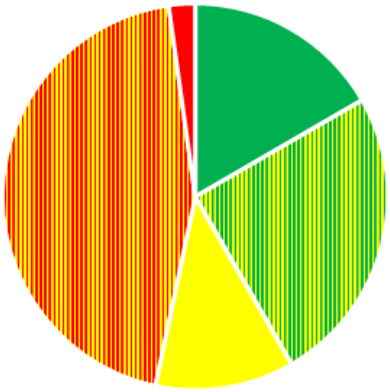


Bild 37 Verteilung der Auffälligkeiten an den undichten Ringfugen mit Abplatzungen am Muffenspiegel

Legende	
dicht	
Feuchtefleck	
Tropfenbildung	
Feuchtefahne	
Infiltration	

Haftzugprüfungen

Die Tabelle 45 stellt die Ergebnisse der Haftzugprüfungen aller Materialien zusammenfassend dar. Grundlage für diese Tabelle sind die Ergebnistabellen der Haftzugwerte in den Abschnitten 5.3.3 bis 5.3.11. Bei zwei Anbietern konnten zwei Materialien geprüft werden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 45 Zusammenfassung der Haftzugprüfungen aller Materialien

Hersteller				
Material	kleinster Einzelwert [N/mm²]	größter Einzelwert [N/mm²]	Mittelwert	häufigste Bruchstelle (>50%)
BAWAX				
XYPEX Patch´n Plug	0,2	1,5	0,7	im Mörtel
Ergelit				
10 SD	0,6	1,5	1,1	im Mörtel
HEY`DI				
Puder-Ex	0,3	0,6	0,3	zw. Mörtel und Untergrund
IPA				
IPANEX Stopfmörtel	0,1	0,6	0,3	zw. Mörtel und Untergrund
IPANEX Flächendicht WF	0,4			zw. Mörtel und Untergrund
MC-Bauchemie				
Ombran W	0,2	>1,1	0,6	zw. Mörtel und Untergrund
Ombran IW	0,5			zw. Mörtel und Untergrund
Pagel				
KA-S Stopfmörtel	>1,4	>1,8	1,6	in der Klebefuge
Remmers				
Rapidhärter	0,1	0,5	0,3	zw. Mörtel und Untergrund /in der Klebefuge
Seal-tec				
xPress	0,3	0,8	0,5	zw. Mörtel und Untergrund
Vandex				
Stopfmörtel rapid	0,2	0,8	0,4	zw. Mörtel und Untergrund

Nur das Material eines Anbieters (Pagel) zeigte kleinste Einzelwerte ≥ 1,0 N/mm². Bei Materialien von zwei Herstellern (Pagel und Ergelit) lagen kleinste Einzelwerte ≥ 0,5 N/mm². Die anderen sieben von neun Materialien erreichten lediglich kleinste Einzelwerte von ≤ 0,3 N/mm².

Bei zwei von neun Materialien (Hersteller: Pagel und Ergelit) konnte ein Mittelwert ≥ 1,0 N/mm² erreicht werden, wovon einer auch 1,5 N/mm² überstieg. Bei drei Anbietern lag der Mittelwert zwischen 0,5 N/mm² und 1,0 N/mm². Somit war in vier von neun Fällen der Mittelwert < 0,5 N/mm².

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Als häufigste Versagens- bzw. Bruchstelle (≥ 50 % der Prüfungen) war bei den Haftzugprüfungen die Verbundfläche zwischen Mörtel und Untergrund vorzufinden. Dies zeigte sich bei sechs von neun Anbietern. Bei einem dieser sechs liegt die Versagensstelle genauso häufig auch in der Klebefuge. Bei den Materialien von zwei Herstellern lagen die Bruchflächen im Mörtel. Bei einem Material war überwiegend ein Bruchversagen in der Klebefuge vorhanden, die Verbundfestigkeit konnte somit jedoch nicht abschließend geprüft werden. Dieser Anbieter erreichte dennoch die höchsten Messwerte.

Die in Abschnitt 5.2.2.2 dargestellten Anforderungen an die Oberflächenzugfestigkeit werden nur von zwei der neun Materialien (KA-S Stopfmörtel und Ergelit 10 SD) erfüllt. Dabei erfüllen beide die Anforderungen nach [36], jedoch nur der KA-S Stopfmörtel auch die Anforderungen nach [37].

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5.5 In-situ-Einsatz der Verfahren

5.5.1 Überblick

Zusätzlich zu den Laborversuchen erfolgte der Einsatz aller Materialien auf Baustellen im Netz des WBH (Wirtschaftsbetrieb Hagen). Die Verarbeitung erfolgte von derselben Kolonne, die auch die Laborversuche durchgeführt hat. Dadurch ist eine einheitliche Arbeitsweise beim Einbau der Abdichtungssysteme in den Laborversuchen und auf In-situ-Baustellen gegeben. Bei der Begleitung der Baustellen wurde die Vorgehens- bzw. Arbeitsweise der Sanierungskolonne ebenso wie die kurzfristige Abdichtungswirkung dokumentiert.

In einem ersten Schritt erfolgte jeweils die Aufnahme der Ausgangssituation (IST-Zustand) der Schadstellen. Anschließend begannen die Vorbereitungen für die Abdichtungsmaßnahme, die abhängig vom Zustand der Schadstelle und den Anforderungen des Materials durchgeführt wurden. An einigen Stellen war es erforderlich, mit einem Akkubohrhammer mit Spitzmeißel ein ca. 3 x 3 cm großes und ca. 4 cm tiefes konisches Loch auszustemmen. Andere Schadstellen, besonders im Fugenbereich, wurden einige Zentimeter weit aufgestemmt. Bei der anschließenden Reinigung konnten alle losen Bestandteile sowie haftmindernden Stoffe entfernt werden. Danach konnte die Abdichtung mit den unterschiedlichen Materialien beginnen. Die Arbeitsschritte waren dabei identisch zu dem jeweiligen Vorgehen in den Laborversuchen (vgl. Abschnitt 5.3). Einige der Mörtel konnten bei den In-situ-Untersuchungen an mehreren Schadstellen eingesetzt werden. Wurden von einem Hersteller unterschiedliche Materialien in den Laborversuchen verwendet (meist ein Stopf- und ein Flächenmörtel), so erfolgte auch auf den Baustellen der Einsatz beider Materialien.

Nachfolgen werden die In-situ-Untersuchungen aller Materialien aufgeführt. Die einzelnen Arbeitsschritte der Maßnahmen sind dabei in einer Tabelle zusammengefasst und werden mit Bildern erläutert.

5.5.2 Xypex Patch´n Plug

In Tabelle 46 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 46 In-situ-Abdichtung mit Xypex Patch´n Plug

Ausgangszustand	
Schacht aus Mauerwerk	
Zwei Sickerstellen mit ca. 10 cm Abstand in derselben Fuge (vgl. Bild 38)	
Vorbereitung(en)	
Aufstemmen der Fugen in Längsrichtung (vgl. Bild 38)	
Abdichtungsmaßnahme	
Verwendetes Material	Xypex Patch´n Plug
Verarbeitung als	Frischmörtel (Pfropfen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 180 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 30 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 210 Sek.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Der Verlauf der Abdichtungsarbeiten ist in Bild 38 dargestellt.

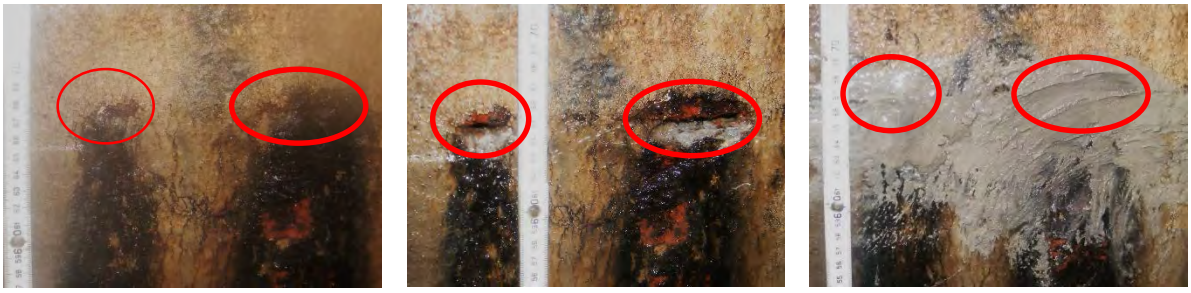


Bild 38 In-situ-Abdichtung mit Xypex Patch´n Plug – Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Die Schadstellen wurden so lange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 38). Die dafür benötigte Gesamtdauer lag bei ca. 7,5 Minuten. Die Ausführung der Verarbeitung sowie die Verarbeitungszeit entsprechen dem Laborversuch.

5.5.3 10SD und 10F rapid

In Tabelle 47 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 47 In-situ-Abdichtung mit 10SD und 10F-rapid

Ausgangszustand	
Schacht aus Mauerwerk	
Schadstelle 1	Sickerstelle im Fugenbereich (vgl. Bild 39)
Schadstelle 2	Ausbrüche und Sickerstellen im Fugenbereich
Vorbereitung(en)	
Konisches Aufstemmen der Schadstellen (vgl. Bild 39)	
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	10SD
	10F-rapid
Verarbeitung als	Frischmörtel (Pfropfen)
	Trockenmörtel (Pulver verreiben)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca.90 Sek.
	nicht erforderlich
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
	< 30 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 150 Sek.
	< 30 Sek.

Bild 39 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der ersten Schadstelle.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 39 In-situ-Abdichtung mit 10SD und 10F-rapid - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Nach der Abdichtung mit 10SD entstanden weiter Sickerstellen an den Fugen oberhalb der ursprünglichen Schadstellen. Diese wurden mit 10F-rapid eingerieben und so abgedichtet. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 39). Die Gesamtzeit für die Abdichtung betrug ca. 12 Minuten. Die Erstarrungszeit des Stopfmörtels 10SD war etwas langsamer. Die Verarbeitung erfolgte jedoch für beide Materialien wie im Laborversuch.

5.5.4 Puder-EX

In Tabelle 48 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst.

Tabelle 48 In-situ-Abdichtung mit Puder-Ex

Ausgangszustand	
Schacht aus Mauerwerk	
Schadstelle 1	Infiltration (feiner Strahl) aus Fuge (vgl. Bild 40)
Schadstelle 2	Sickerstelle und Infiltration (feiner Strahl) aus Fuge
Schadstelle 3	Infiltration (feiner Strahl) aus Fuge
Schadstelle 4	Infiltration (feiner Strahl) aus Fuge
Vorbereitung(en)	
Entfernen aller losen Bestandteile aus der Schadstelle (vgl. Bild 40)	
Abdichtungsmaßnahme	
Verwendetes Material	Puder-Ex
Verarbeitung als	Trockenmörtel (Zum Ball gepresstes Pulver)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	nicht erforderlich
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	< 30 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	< 30 Sek.

Bild 40 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der ersten Schadstelle.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 40 In-situ-Abdichtung mit Puder-Ex - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Die Infiltrationsmenge an jeder Schadstelle wurde zu ca. 50 ml/min abgeschätzt. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 40). Die Gesamtdauer der Maßnahme betrug ca. 10 Minuten. Bei der Ausführung der Arbeiten, sowie der Verarbeitungszeit war kein wesentlicher Unterschied zu dem Laborversuch festzustellen.

5.5.5 IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF

Tabelle 49 stellt die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten dar.

Tabelle 49 In-situ-Abdichtung mit IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF

Ausgangszustand	
Schacht aus Mauerwerk	
Schadstelle 1	Ausbruch in Fuge mit Infiltration
Schadstelle 2	Mehrere Ausbrüche in Fuge mit Infiltration. (vgl. Bild 41)
Vorbereitung(en)	
Entfernen aller losen Bestandteile aus der Schadstelle	
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	IPANEX Stopfmörtel
	IPANEX Flächendicht WF
Verarbeitung als	Frischmörtel (Pfropfen)
	Trockenmörtel (Pulver verreiben)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca.100 Sek.
	nicht erforderlich
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
	ca. 30 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 160 Sek.
	ca. 30 Sek.

Bild 41 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der zweiten Schadstelle. Das Foto nach der Vorbereitung ist nicht verwertbar.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 41 In-situ-Abdichtung mit IPANEX Stopfmörtel und Flächendicht WF - Ausgangszustand (links) und erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Die gesamte Infiltrationsmenge je Schadstelle wurde auf ca. 500 ml/min abgeschätzt. Nach der Abdichtung mit dem Stopfmörtel entstanden weiter Sickerstellen an den Fugen oberhalb der ursprünglichen Schadstellen. Diese wurden mit Flächendicht WF eingerieben und so abgedichtet. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 41). Die Verarbeitung (Ausführung und Verarbeitungszeit) entsprach den Erkenntnissen aus dem Laborversuch. Für die gesamte Maßnahme wurden ca. 17 Minuten benötigt.

5.5.6 Ombran W und Ombran IW

In Tabelle 50 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst.

Tabelle 50 In-situ-Abdichtung mit Ombran W und Ombran IW

Ausgangszustand		
Schacht aus gemauerten Betonsteinen		
Schadstelle 1	Ausbruch aus Fuge mit Sickerwasser (vgl. Bild 42)	
Schadstelle 2	Sickerstelle	
Vorbereitung(en)		
Aufstemmen der Schadstellen (vgl. Bild 42)		
Abdichtungsmaßnahme		
Eingesetztes Material		Ombran W
		Ombran IW
Verarbeitung als		Frischmörtel (Pfropfen)
		Trockenmörtel (Pulver verreiben)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)		ca.150 Sek.
		nicht erforderlich
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)		ca. 60 Sek.
		< 30 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)		ca. 210 Sek.
		< 30 Sek.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 42 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der ersten Schadstelle.

Bild 42 In-situ-Abdichtung mit Ombran W und Ombran IW - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 42). Verarbeitet wurden die Mörtel wie in den Laborversuchen, jedoch war die Erstarrungszeit des Stopfmörtels Ombran W langsamer. Für die gesamte Maßnahme wurden ca. 12 Minuten benötigt.

5.5.7 KA-S Stopfmörtel

In Tabelle 51 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst.

Tabelle 51 In-situ-Abdichtung mit KA-S Stopfmörtel

Ausgangszustand	
Schacht aus gemauerten Betonsteinen	
Sickerwasser aus Fuge an Übergang Berme zu Schachtwand (vgl. Bild 43)	
Vorbereitung(en)	
Anrauen der Oberflächen und entfernen aller losen Bestandteile (vgl. Bild 43)	
Abdichtungsmaßnahme	
Verwendetes Material	KA-S-Stopfmörtel
Verarbeitung als	Frischmörtel (Mörtelwurst)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 100 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 160 Sek.

Bild 43 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der Schadstelle.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 43 In-situ-Abdichtung mit KA-S Stopfmörtel - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Die Schadstelle wurde solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 43). Hier wurde kein Pfropfen, sondern eine Mörtelwurst geformt, die in die Fuge eingedrückt wurde. Anschließend wurde eine Hohlkehle ausgeformt. Für die Erstarrung benötigte der Mörtel jedoch deutlich mehr Zeit als im Laborversuch. Die Gesamtzeit der Maßnahme betrug 8 Minuten.

5.5.8 Rapidhärter

In Tabelle 52 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst.

Tabelle 52 In-situ-Abdichtung Rapidhärter

Ausgangszustand	
Schacht aus Mauerwerk	
Schadstelle 1	Sickerstelle an Mauersteinen
Schadstelle 2	Sickerstelle in Fuge
Schadstelle 3	Infiltration (feiner Strahl) durch Fuge (vgl. Bild 44)
Vorbereitung(en)	
Aufstemmen der Schadstellen und entfernen aller losen Bestandteile (vgl. Bild 44)	
Abdichtungsmaßnahme	
Verwendetes Material	Rapidhärter
Verarbeitung als	Frischmörtel (Pfropfen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 30 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 90 Sek.

Bild 44 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der dritten Schadstelle.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 44 In-situ-Abdichtung Rapidhärter - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Die Infiltrationsmenge an der dritten Schadstelle wurde aufgrund von Erfahrungen aus den Großversuchen auf ca. 50 ml/min abgeschätzt. Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 44). Das Material wurde dabei wie bei dem Laborversuch verarbeitet. Für die Erhärtung benötigte das Material jedoch mehr Zeit als im Laborversuch. In ca.12 Minuten wurde die gesamte Abdichtungsmaßnahme durchgeführt.

5.5.9 xPress

In Tabelle 53 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten zusammengefasst.

Tabelle 53 In-situ-Abdichtung mit xPress

Ausgangszustand	
Schacht aus Betonfertigteilen	
Schadstelle 1	Sickerstelle in Fuge (vgl. Bild 45)
Schadstelle 2	Sickerstelle in Fuge
Schadstelle 3	Sickerstelle in Fuge
Vorbereitung(en)	
Aufstemmen der Schadstellen und entfernen aller losen Bestandteile (vgl. Bild 45)	
Abdichtungsmaßnahme	
Verwendetes Material	xPress
Verarbeitung als	Frischmörtel (Pfropfen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 100 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 160 Sek.

Bild 45 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der ersten Schadstelle.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 45 In-situ-Abdichtung mit xPress - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Alle Schadstellen wurden solange bearbeitet, bis kein visuell erkennbarer Wassereindrang mehr vorhanden war (vgl. Bild 45). Das Material wird wie in dem Laborversuch verarbeitet, jedoch ist die Erstarrungszeit des Mörtels länger. Auf Grund des geringen Wasserdruckes an den Schadstellen kann die Zeit, in der das Material angedrückt wird, reduziert werden. Insgesamt wurden ca. 11 Minuten für die gesamte Maßnahme benötigt.

5.5.10 Stopfmörtel rapid und Wasserstopper

In Tabelle 54 werden die wesentlichen Daten der Abdichtungsarbeiten dargestellt.

Tabelle 54 In-situ-Abdichtung mit Stopfmörtel rapid und Wasserstopper

Ausgangszustand	
Schacht aus Betonfertigteilen	
Schadstelle 1	Sickerwasser aus Fuge (vgl. Bild 46)
Schadstelle 2	Sickerwasser aus Fuge
Schadstelle 3	Sickerwasser und starke Verkrustungen
Schadstelle 4	Materialausbruch (evtl. Sickerwasser) zwischen Berme zu Schachtwand
Schadstelle 5	Sickerwasser aus Fuge
Schadstelle 6	Sickerwasser und starke Verkrustungen
Schadstelle 7	Sickerwasser aus Fuge
Vorbereitung(en)	
Aufstemmen der Schadstellen und entfernen aller losen Bestandteile (vgl. Bild 46)	
Abdichtungsmaßnahme	
Eingesetztes Material	Stopfmörtel rapid
	Wasserstopper
Verarbeitung als	Frischmörtel (Pfropfen)
	Frischmörtel (Pfropfen)
Erstarrungszeit (Anmischen und Kneten)	ca. 120 Sek.
	ca. 45 Sek.
Erhärtungszeit (Andrücken erforderlich)	ca. 60 Sek.
	ca. 60 Sek.
Verarbeitungszeit (je Schadstelle)	ca. 180Sek.
	ca. 100 Sek

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 46 zeigt den Verlauf der Abdichtungsarbeiten an der ersten Schadstelle.

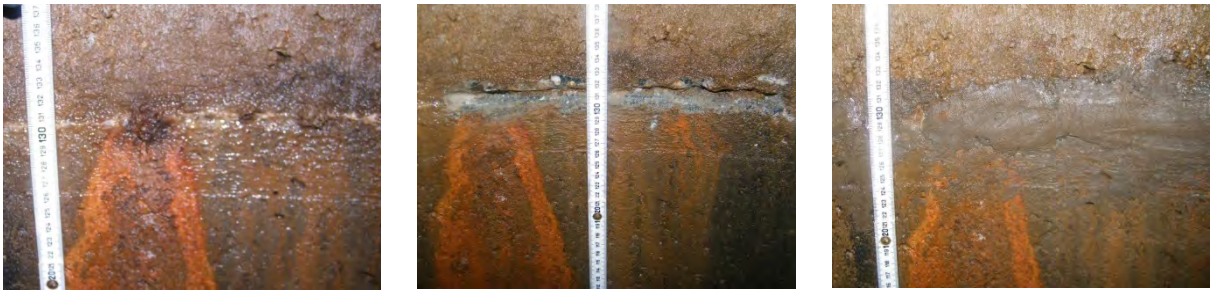


Bild 46 In-situ-Abdichtung mit Stopfmörtel rapid und Wasserstopper - Ausgangszustand (links), vorbereitete Schadstelle (Mitte), erfolgte Abdichtung (rechts)

Ergebnis und Auffälligkeiten: Sechs der sieben Schadstellen wurden erfolgreich abgedichtet (vgl. Bild 46). An der dritten Schadstelle sickerte kurz nach der Abdichtung Wasser durch den Abdichtungsmörtel. Die Materialien werden wie im Laborversuch verarbeitet. Die Verarbeitungszeit (Erstarrungs- und Erhärtungszeit) des Stopfmörtels ähneln ebenfalls dem Laborversuch. Der Wasserstopper zeigt jedoch eine längerer Reaktionszeit (Erstarrungs- und Erhärtungszeit). Die Gesamtzeit der Maßnahme betrug ca. 24 Minuten.

5.5.11 Fazit der In-situ-Untersuchungen

Die Anwendung bzw. Verarbeitung der Abdichtungsmörtel im Rahmen der In-situ-Maßnahmen unterscheidet sich nicht wesentlich von der in Laborversuchen. Jedoch zeigen sich bei 6 von 9 der eingesetzten Stopfmörtel (10SD, Ombran W, KA-S Stopfmörtel, Rapidhärter, xPress, und Wasserstopper) verlängerte Verarbeitungszeiten (Erstarrungs- und/oder Erhärtungszeiten). Dies ist auf die deutlich geringeren Temperaturen von ca. 10°Celsius (Luft) und ca. 8°Celsius (Zugabewasser) zurückzuführen, die die Hydratation des Mörtels verlangsamen. Dennoch konnten alle Schadstellen mit den eingesetzten Materialien zumindest kurzfristig abgedichtet werden.

Wie bereits vorab beschrieben, zeigte sich bei einigen Maßnahmen ein Anstieg des Grundwasserspiegels nach der Abdichtung. Innerhalb von etwa 5-10 Minuten war der Grundwasserstand um eine Klinkersteinhöhe angestiegen. Dies ist offensichtlich auf die unterbundene Drainagewirkung zurückzuführen. An oberhalb liegenden, zuvor unerkannten Schadstellen sickerte nach der Abdichtung der eigentlichen Schadstelle Wasser in den Schacht. Diese Sickerstellen wurden in diesen Fällen mit einem Flächenmörtel desselben Herstellers abgedichtet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

5.6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchungen von schnell abbindenden Abdichtungsmörteln wurden neun Materialen, die vom Projekt-Lenkungskreis ausgewählt worden sind, in Großversuchen im Maßstab 1:1 unter vergleichbaren Randbedingungen getestet. Nachfolgend werden Beobachtungen und Ergebnisse der Versuche mit Blick auf die Verarbeitung der Materialien, die erzielte Abdichtwirkung, die Oberflächenzugfestigkeit und die In-situ-Untersuchungen zusammengefasst.

Die **Verarbeitung der Stopfmörtel** unterscheidet sich nicht wesentlich voneinander. Das trockene Mörtelpulver wird mit Wasser angerührt und zu einem Pfropfen geknetet, der dann in die Schadstelle eingedrückt wird. Die dafür zur Verfügung stehende Verarbeitungszeit variiert zwischen ca. 0,5 und 3,5 Minuten. Ein Stopfmörtel zeigte jedoch eine abweichende Verarbeitung. Bei diesem wurde das trockene Mörtelpulver als „Ball“ in die Schadstelle gedrückt und reagierte dort mit dem infiltrierenden Wasser.

Die besonders schnell reagierenden Materialien müssen direkt an der Schadstelle verarbeitet werden. Dabei muss der genaue Zeitpunkt erkannt werden, bei dem der Mörtelpfropfen eine geeignete Konsistenz erreicht hat und in die Schadstelle gedrückt werden kann. Erfolgt dies zu früh, wird dieser durch das anstehende Wasser wieder ausgespült, da noch keine ausreichende Erstarrung vorhanden ist. Wird der Mörtel zu spät eingedrückt, ist dieser ggf. schon ausreagiert und kann deswegen keinen Verbund mehr zum Untergrund eingehen oder bricht beim Eindrücken auseinander. Der Erfolg der Abdichtungsarbeiten wird also maßgeblich von der richtigen Konsistenz des Mörtels beeinflusst. Bedingt dadurch, dass die Abdichtungsmörtel schnell erstarren, beträgt das Zeitfenster, in dem diese Konsistenz vorliegt, nur wenige Sekunden. Dabei zeigen die Mörtel mit einer längeren Verarbeitungszeit (bis zu 3,5 Min.) einen großzügigeren Zeitrahmen. Die untersuchten Flächenmörtel werden alle in gleicher Weise verarbeitet. Die Schadstellen werden solange mit trockenem Pulver eingerieben, bis kein nachsickerndes Wasser mehr erkennbar ist. Es zeigte sich, dass für die Verarbeitung der Abdichtungsmörtel eine gewisse Erfahrung erforderlich ist und bei Erstanwendung eine Einweisung seitens des Anbieters hilfreich sein kann.

Mit Blick auf die **Abdichtwirkung** bei den Versuchsdurchführungen zeigte sich, dass der Eindrang von fließendem Wasser, zumindest kurzfristig, mit allen Materialien unterbunden werden konnte. Bei der Beobachtung der einzelnen Materialien über den gesamten Versuchszeitraum von vier Wochen wurde jedoch deutlich, dass eine vollständige Dichtwirkung über einen längeren Zeitraum offensichtlich mit den verwendeten Materialien nicht zu erreichen war. Über den gesamten Versuchszeitraum konnten verschiedene Arten von Undichtheiten an den sanierten Schadstellen festgestellt werden. Es traten Feuchteflecken, Feuchteflecken mit Tropfenbildung und Feuchtefahnen auf. Bei einem Material kam es nach der Abdichtung an mehreren Stellen auch zu erneuten Infiltrationen. Die Mehrzahl der getesteten Materialien wies bis zu einer Woche nach der Reparatur das beste Abdichtungsergebnis auf. Somit kann gefolgert werden, dass diese Stopfmörtel-Abdichtungen größtenteils nur als vorübergehende Maßnahmen zu betrachten sind.

An den unterschiedlichen Schadensbildern waren voneinander abweichende Abdichtungsergebnisse zu beobachten. In den meisten Fällen erwiesen sich die Einzelschäden als abdichtbar, wohingegen die provozierten Undichtheiten in den Ringfugen - hier vor allem die „Undichten Ringfugen mit Abplatzungen am Muffenspiegel“ - zu vielen

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Auffälligkeiten führten. Bei dem „Flächigen Schaden“ konnten unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich des Abdichtungserfolges festgestellt werden. So zeigten einige Materialien sehr viele, andere Materialien hingegen sehr wenige Auffälligkeiten. Generell kann festgestellt werden: Je höher der Druck bzw. der Durchfluss an der Schadstelle ist, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten einer Undichtheit nach der Abdichtung.

Zudem ist der erzielte Abdichtungserfolg mit Blick auf ein ggf. nachfolgend einzubauendes Sanierungssystem von Bedeutung. Auskleidungs- oder Beschichtungssysteme besitzen unterschiedliche Anforderungen für die zulässige bzw. erforderliche Oberflächenfeuchtigkeit bei ihrem Einbau. Während Kunststoffbeschichtungen überwiegend trockene Untergründe zum Zeitpunkt der Applikation benötigen, sind diese für Mörtelbeschichtungen i.d.R. mattfeucht vorzunässen. Infiltrierendes Wasser ist in jedem Fall zu unterbinden.

Lediglich das Material von einem der neun Anbieter erfüllte die üblichen Anforderungen an die **Oberflächenzugfestigkeit**, die an einen beschichtungsfähigen Untergrund gestellt werden. Mehrere Materialien konnten dabei nicht einmal die Mindestanforderungen erfüllen. Bei diesen Materialien konnte tendenziell auch ein höherer Grad der Undichtheit festgestellt werden. Der Verbund zwischen Betonuntergrund und Abdichtungsmörtel war dabei eine immer wieder auftretende Schwachstelle. Durch die Anwendung von Stopf- und/oder Flächenmörtel besteht somit das Risiko, eine potenzielle Schadstelle mit Blick auf einen tragfähigen Untergrund einzubauen. Hierdurch kann ein Versagen eines auf Adhäsion ausgelegten, nachfolgend einzubauenden Sanierungssystems provoziert werden.

Bei den **In-situ-Untersuchungen** konnten alle Materialien, die in den Laborversuchen verwendet wurden, erfolgreich eingesetzt werden. Die Anwendung (Verarbeitung) unterschied sich dabei nicht wesentlich von den Laborversuchen, so dass diese damit erfolgreich auf Plausibilität überprüft werden konnten. Durch die Abdichtung der Schadstellen wurde in einigen Fällen ein Ansteigen des Grundwasserspiegels herbeigeführt, der Undichtheiten an oberhalb liegenden Schadstellen offenbarte. Diese mussten in der Folge zusätzlich abgedichtet werden.

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass durch Abdichtungsmaßnahmen mit schnell abbindenden Stopf- und Flächenmörteln grundsätzlich Infiltrationen unterbunden werden können. Allerdings findet zumeist keine dauerhafte und vollständige Abdichtwirkung statt. Demzufolge können Nachabdichtungen erforderlich werden, um entweder den Schacht mit der Abdichtungsmaßnahme trocken legen oder aber ein Sanierungssystem einbauen zu können.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6 Vergleichende Untersuchungen von Schachtauskleidungen und -beschichtungen sowie Kunststoffschächten

6.1 Überblick

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden Auskleidungs- und Beschichtungssysteme für die Schachtsanierung umfassend im Sinne eines IKT-Warentests untersucht und bewertet. Die „Systemprüfungen“ des Warentests (vgl. Abschnitt 9) werden dabei im IKT-Großversuchsstand (GVS) durchgeführt. Die Beschreibung dieses Projektteils – Versuchsaufbau, Prüfprogramm und Versuchsergebnisse – findet sich nachfolgend in Abschnitt 6.2. Sie ist die Grundlage für die Warentest-Bewertung in Abschnitt 9. Der wissenschaftliche Hintergrund ist bereits in [7] bzgl. Funktionen, Anforderungen, Schadensbildern und Beschichtungssystemen ausführlich dargestellt, er wird im entsprechenden Abschnitt 6.2.4 mit Blick auf Auskleidungssysteme ergänzt.

Untersuchungen an Kunststoffschächten, die insbesondere aufzeigen sollen, inwieweit Fehlbelastungen zu Schäden an diesen Objekten führen, sind in Abschnitt 6.3 dargestellt. Die Versuche, ebenfalls als Großversuche im Maßstab 1:1 konzipiert, finden im sogenannten Mittelformatigen Versuchsstand (MFV) des IKT statt.

6.2 Sanierungsmaßnahmen im Großversuchsstand

6.2.1 Beitrag von Sanierungssystemen zu Dicht-, Schutz- und Tragwirkung

Auf Abwasserschächte sowie darin eingebaute Sanierungssysteme wirken eine Vielzahl von Belastungen. Nach DIN EN 752 [38] gilt: „Prinzipiell müssen die Leistungsanforderungen an ein saniertes System denen an ein neues System entsprechen.“ Aus diesem Grund stellen sich an Sanierungssysteme vielfältige Anforderungen.

Die nachfolgend aufgeführten Kriterien sind bereits in [7] untersucht und dargestellt. Sie fließen maßgeblich in die Bewertung der Sanierungssysteme ein (vgl. Abschnitt 9).

Zum einen können Sanierungssysteme die **Dichtheit** von defekten Abwasserschächten wiederherstellen. Es sollen mögliche Infiltrationen von Grundwasser in den Abwasserschacht sowie Exfiltrationen von Abwasser in das umliegende Erdreich und Grundwasser vermieden werden. Letzteres ist insbesondere in Wasserschutzgebieten erforderlich [38].

Weiterhin sollten Sanierungssysteme eine **Schutzwirkung** für den Schachtkörper bieten, um aggressive Medien fernzuhalten. Hierbei ist insbesondere der Schutz des Schachtkörpers vor Korrosion durch biogene Schwefelsäure im Luftraum der Abwasserschächte herzustellen [38].

Darüber hinaus können geeignete Sanierungssysteme im Bedarfsfall zur Standsicherheit (**Tragwirkung**) von defekten Abwasserschächten beitragen. Dies ist z. B. dann erforderlich, wenn bei stark korrodierten Abwasserschächten die Dicke der Schachtwandung bereits erheblich reduziert ist und durch das eingesetzte Sanierungssystem bzw. Material wieder ausgeglichen werden soll. Auch ohne eine solch unterstützende Tragwirkung ist in jedem Falle eine Tragwirkung des Sanierungssystems selbst gegenüber dem anstehenden Außenwasserdruck erforderlich, sei es in Kombination mit dem Untergrund (Haftverbund) oder als selbsttragendes System.

Durch fehlerbehaftete Vorarbeiten am Schachtkörper sowie Fehler während der Sanierungsausführung können ggf. Mängel im Haftverbund zwischen Sanierungssystem

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

und Untergrund auftreten. Inwieweit die eingesetzten Materialien und Systeme diese Fehler kompensieren bzw. überbrücken können, wird unter dem Kriterium **Robustheit** betrachtet.

Insgesamt wird im Rahmen der Untersuchungen festgestellt und bewertet, ob bzw. in welchem Umfang die einzelnen Systeme geeignete Beiträge zu den o.a. Kriterien beisteuern können (vgl. Abschnitt 9).

6.2.2 Versuchsaufbau und Prüfprogramm

Die Auskleidungen und Beschichtungen wurden von Sanierungsfirmen eingebaut, die seitens der Materialhersteller dem IKT empfohlen worden waren, oder aber vom Materialhersteller bzw. Systemanbieter selbst.

Der Schacht-Aufbau im Großversuchsstand wurde bereits im Grundsatz im Forschungsvorhaben „Sanierung von Abwasserschächten“ [7] entwickelt und ist dort ausführlich dargestellt. Nachfolgend wird ein Überblick gegeben und vorgenommene Änderungen werden ausführlich erläutert.

Mit Blick auf die Abmessungen des Großversuchsstandes und den Platzbedarf für die Sanierungen wurden insgesamt 13 Schächte aus Betonfertigteilen der Nennweite DN 1000 eingebaut sowie zwei quadratische Beton-Fertigteil-Schächte mit Innenabmessungen von 0,8 Metern. Der Aufbau dieser Schächte mit den angeordneten Schadensbildern und die Ergebnisse der Versuche finden sich in Abschnitt 6.2.3. An einem weiteren Schacht aus PE-HD sind Untersuchungen zum Auftriebsverhalten bei Grundwassereinwirkung durchgeführt worden. Der zusätzliche Aufwand für die Beschaffung und den Ein- bzw. Ausbau des Kunststoffschachtes sowie die Nutzung der erforderlichen Messtechnik wurden vollständig durch den Wirtschaftsbetrieb Hagen sowie die Göttinger Entsorgungsbetriebe getragen. Die Ergebnisse sind in [39] dargestellt.

Bild 47 zeigt die Anordnung der Schächte im Großversuchsstand als Grundriss in einer Übersichtsskizze.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

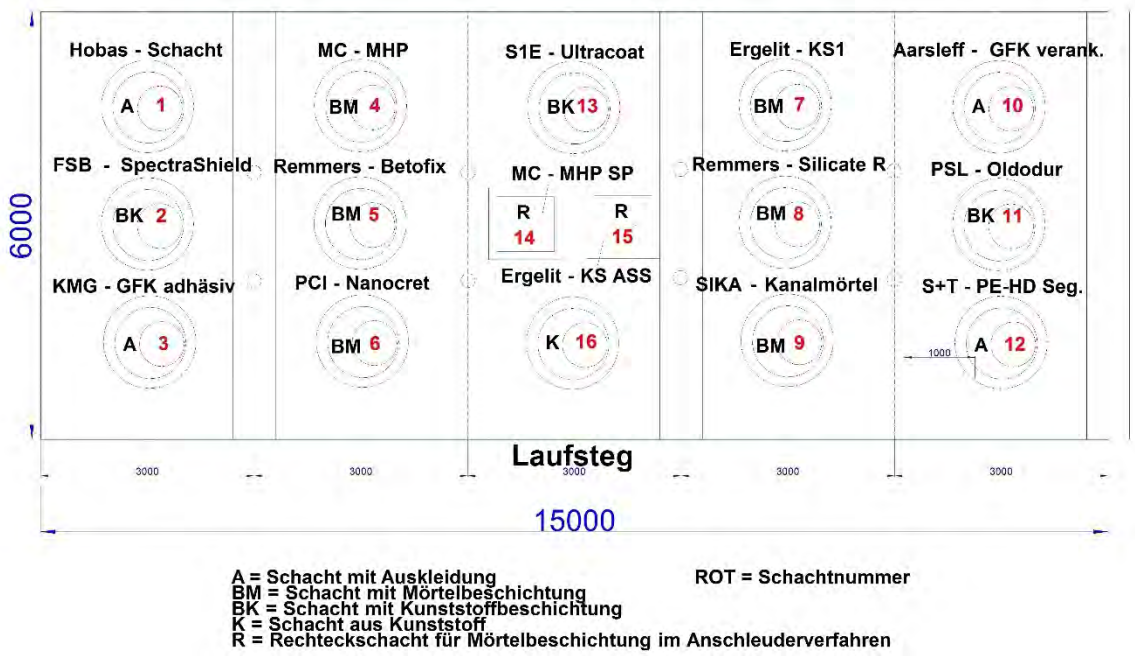


Bild 47 Anordnung der Schächte im Großversuchsstand in der Draufsicht mit Angabe des Sanierungssystems (Kurzname)

Da im aktuellen Projekt die Fremdwasser-Sanierung des Schachtkörpers im Fokus stand, wurden die Schächte ohne Gerinne, Bermen und Rohranschlussbereiche gefertigt und aufgebaut. Somit ist es wesentliche Aufgabe der Sanierungssysteme, die entsprechend vorgeschädigten, vertikalen Schachtwandungen zu verbessern. Die grundsätzliche Ausbildung der Schäden entspricht der Ausführung in [7], mit vier Detail-Änderungen, die nachfolgend aufgeführt sind. Ansichten der unverändert übernommenen Schadensbilder finden sich in Bild 48.

Bild 48 Lokaler Schaden (links) und Schädigung Schachtringverbindung (rechts)

1. Die zur Überprüfung der Robustheit entwickelte „flächige Schaden“ enthält nur an einer von vier Stellen das erforderliche Trennmittel mit einer Ausdehnung von ca. 20 x 20 cm. Diese Stelle ist im ersten Schachtring bei 9 Uhr angeordnet, ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr. An den drei weiteren Lagen ist das Trennmittel lediglich in einer Ausdehnung von etwa 10 x 10 cm aufgebracht worden (vgl. Bild 49).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

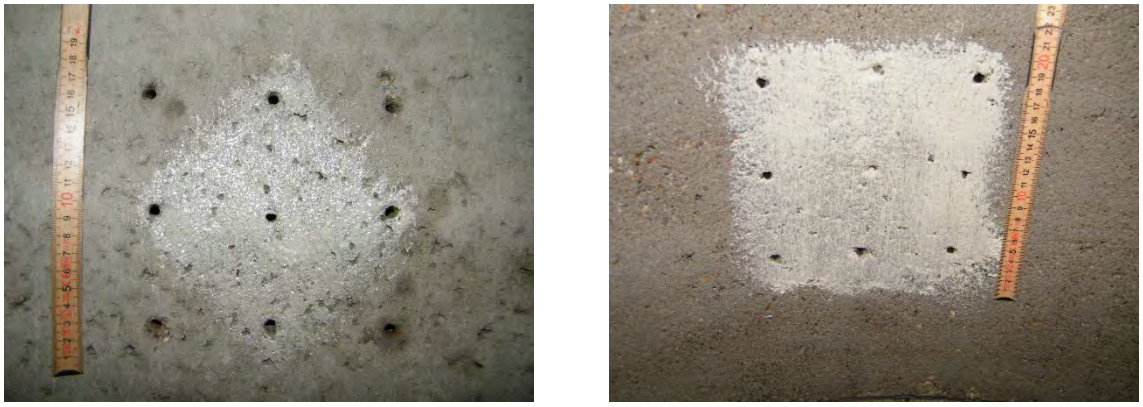


Bild 49 Flächiger Schaden mit kleiner (links) und großer (rechts) Trennmittel-Fläche

2. Anstelle von zwei geschädigten 0,5-Meter-Schachtringen unterhalb des Konus (vgl. [7]) wurde bei diesem Versuchsaufbau zur Untersuchung der Mittragwirkung von Sanierungssystemen (siehe Kapitel 8) lediglich ein einzelner Meter-Schachtring eingebaut (vgl. Bild 50). Jeder dieser Ringe wies für ergänzende Untersuchungen zur Tragwirkung zusätzlich zwei bis drei durchgehende (Längs-)Risse auf.

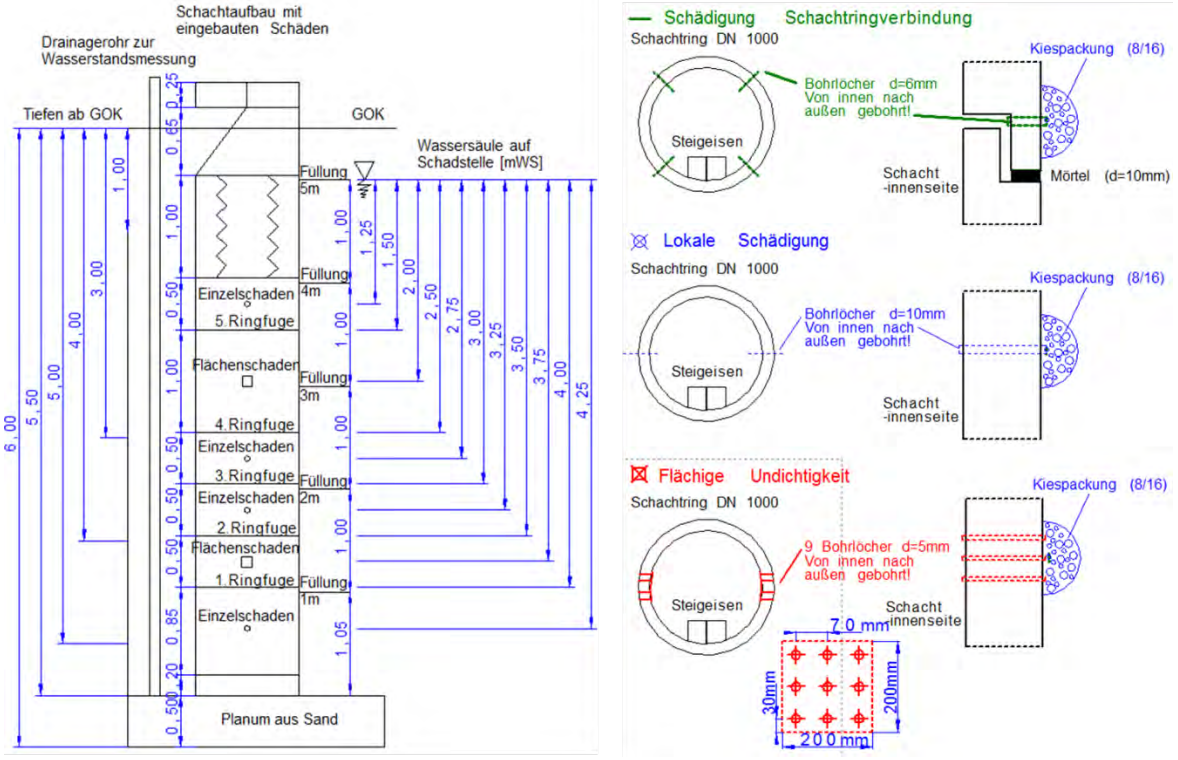


Bild 50 Skizze eines Schachtaufbaus mit Angaben zu Wasserständen über Schadstellen (links) und Ausbildung der Schäden in schematischer Darstellung (rechts)

3. Der Steiggang bestand in diesem Versuchsaufbau aus einem zweiläufigen Steigeisengang im Gegensatz zu dem einläufigen Steigbügelgang.
4. Bei den Rechteckschächten entfällt das Schadensbild „undichte Ringfuge“.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die runden Abwasserschächte bestanden in Summe somit aus einem Schachtunterteil, vier Schachtringen mit einer Höhe von jeweils 0,5 m, zwei Schachtringen mit einer Höhe von jeweils 1,0 m sowie einem Schachtkonus. Die Gesamthöhe der Abwasserschächte beträgt 5,7 m. Schließlich sind auf die runden Beton-Fertigteil-Schächte als Beschwerung zur Auftriebssicherung zusätzlich Beton-Abdeckplatten auf die Konen gelegt worden (vgl. Bild 51).

Bild 51 Ansicht der aus dem Versuchsstand herausragenden Schachthälse mit zusätzlich aufgelegten Abdeckplatten (links) und Blick in einen Schacht (rechts)

Mit diesem Versuchsaufbau war es möglich, die in den runden Schächten eingesetzten Sanierungsverfahren unter Laborbedingungen und damit unter gleichen Randbedingungen zu testen.

Bei lediglich einem System (GFK-Innenschacht-System von Hobas) war kein Einstieg für den Einbau notwendig, allerdings musste ein Kran verfügbar sein. Bei allen weiteren Sanierungen waren Schachteinstiege erforderlich, um die Arbeiten durchführen zu können. In Tabelle 55 sind die eingesetzten Materialien zur Sanierung der 13 runden Schachtbauwerke einschließlich ihrer Applikationsweise aufgelistet.

Nach ihrem Einbau durchliefen alle Sanierungen dasselbe Prüfprogramm.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 55 Eingesetzte Sanierungssysteme in den runden Betonschächten

Schacht Nr. (Geometrie)	Materialien/ System	Materialgruppe	Hersteller/Vertrieb	Applikations-technik
1 (rund)	Innenschacht	GfK	Hobas Rohre GmbH	mit Kran eingesetzt, Mörteldämmer von Hand eingebracht
2 (rund)	Spectra-shield	Polyharnstoff Sandwich mit Polyurethan-Kern	FSB Bautechnik GmbH, Mettmann	mittels handgeführter Düse aufgesprüht
3 (rund)	GfK-Handlaminat	ECR-Glas, UP-Harz	Sekisui SPR Europe GmbH, Schieder-Schwalenberg	händisch
4 (rund)	Ombran MHP	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel	MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop	händisch
5 (rund)	Betofix R4 SR	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel	Remmers Baustofftechnik GmbH, Löningen	mittels handgeführter Düse angespritzt
6 (rund)	Nanocret R4	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel	PCI Augsburg GmbH, Augsburg	händisch
7 (rund)	Ergelit KS1	kunststoffmodifizierter Zementmörtel	Hermes Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte	händisch
8 (rund)	Silicate R	Silikatmörtel	Remmers Baustofftechnik GmbH, Löningen	mittels handgeführter Düse angespritzt
9 (rund)	Kanal-Reprofiliermörtel	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel	Sika Deutschland GmbH, Stuttgart	händisch
10 (rund)	Segmentauskleidung	rückverankerte GfK-Segmente und Laminat	Aarsleff Rohrsanierung GmbH, Röthenbach/Peg.	von Hand eingebaut
11 (rund)	Oldodur WS 56	Polyurethan	PSL Handels GmbH, Arnsberg	mittels handgeführter Düse aufgesprüht
12 (rund)	Segmentauskleidung	PE-HD mit Mörteldämmer-Hinterfüllung	Schacht+Trumme W. Schwarz GmbH, Ahrensburg	von Hand eingebaut
13 (rund)	Ultracoat	Epoxidharz	Source One Environmental Ltd., Barnsley (UK)	mittels handgeführter Düse aufgesprüht

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Den Sanierungsfirmen war freigestellt, ob und in welchem Umfang bzw. mit welcher Technik sie die Untergrundvorbereitung durchführen.

Der Zeitraum zum Einbau aller Sanierungen betrug ca. 10 Wochen, zzgl. Standzeiten während der Abbindezeiten der zuletzt eingebauten Beschichtungsmörtel für eine Dauer von 28 Tagen. Nach Abschluss der Sanierungsarbeiten wurden eine optische und akustische Inspektion an jeder Beschichtung und Auskleidung sowie eine Dichtheitsprüfung gemäß DIN EN 1610 [40] durchgeführt.

Zur Simulation eines hohen Grundwasserstandes wurde der Großversuchsstand mit Wasser gefüllt. Der Wasserspiegel liegt ca. 0,5 m unter der Versuchsstandoberkante und somit geringfügig unterhalb der Konusfuge (vgl. Bild 50, links). Die Flutung begann vier Wochen nach dem Einbau der letzten Mörtelbeschichtung. Dazu wurde der Wasserspiegel sukzessive in einem 3,5-Tages-Rhythmus um jeweils einen Meter, bis auf eine maximale Höhe von fünf Metern über Schachtsohle, angehoben. Diese Wasserspiegellage konnte anschließend für eine Dauer von zwölf Wochen gehalten werden.

Nach jedem Anheben des Wasserstandes sind die Schächte inspiziert worden. Nach Erreichen des maximalen Wasserstandes von fünf Metern wurden die Schächte wöchentlich weiterhin optisch und akustisch inspiziert. Während der Inspektionen sind Undichtheiten, Hohlstellen, Risse und andere Auffälligkeiten protokolliert worden.

Mit Beginn der zehnten Woche mit maximaler Außenwasserdruckbelastung bestand für die Verfahrensanbieter bzw. Sanierungsfirmen die Möglichkeit, die Sanierungen in Augenschein zu nehmen und bei Bedarf Reparaturarbeiten an den eigenen Gewerken durchzuführen. Diese Reparaturarbeiten fanden bei anstehendem Grundwasser statt. Nach zwölf Wochen Haltezeit des Wasserstandes von fünf Metern über Schachtsohle waren die Versuche der Außenwasserdruckbelastung beendet.

Nach der Abschlussinspektion wurde der Wasserstand gesenkt. Abschließend wurden in jedem Schacht eine Dichtheitsprüfung, Haftzug- und sogenannte MAC-Prüfungen durchgeführt. Alle Ergebnisse wurden dokumentiert und ausgewertet. Das Versuchsprogramm ist in Tabelle 56 dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 56 Darstellung des Versuchsprogramms der Sanierungssysteme

Versuchsvorbereitung	Applikation der Schäden an den Schachtbauwerken
	Einbau der präparierten Schachtbauwerke in den Großversuchsstand
	Sanierung der Schachtbauwerke
	Aushärtung der Renovationssysteme für vier Wochen
	Optische und akustische Inspektion der Schachtbauwerke
	Dichtheitsprüfung an den präparierten Schachtbauwerken

Grundwasser Kurzzeit	Aufbringen des Grundwasserstands auf 1,0 m
	optische und akustische Inspektion der Schachtbauwerke
	Aufbringen des Grundwasserstands auf 2,0 m
	optische und akustische Inspektion der Schachtbauwerke
	Aufbringen des Grundwasserstands auf 3,0 m
	optische und akustische Inspektion der Schachtbauwerke
	Aufbringen des Grundwasserstands auf 4,0 m
	optische und akustische Inspektion der Schachtbauwerke
	Aufbringen des Grundwasserstands auf 5,0 m
	optische und akustische Inspektion der Schachtbauwerke

Grundwasser Langzeit	Halten des Grundwasserstandes (5,0 m) für zwölf Wochen
	Wöchentliche optische und akustische Inspektion der Schächte
	Mit Beginn der 10. Woche Außenwasserdruckbelastung (5,0 m) Möglichkeit der Reparatur an den betreffenden Sanierungen
	Optische und akustische Inspektion der Reparaturen drei Tage nach Reparatur

Versuchsabschluss	Abschlussinspektionen der Sanierungen
	Senken des Grundwasserstandes
	Haftzug-, MAC- und Füllstandsprüfungen an Sanierungen
	Ausbau der Schachtbauwerke aus dem Großversuchsstand

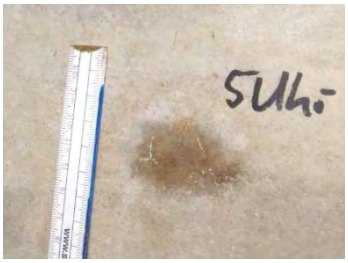
©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die folgenden Abschnitte sind weitgehend einheitlich aufgebaut und enthalten Informationen zum verwendeten **Material** sowie der **Applikationstechnik**. Darüber hinaus werden wesentliche Verfahrensschritte der **Untergrundvorbereitung** und der **Sanierungssarbeiten** aufgeführt. Abschließend finden sich Ergebnisse der **Schachtinspektionen** und **Haftzugprüfungen**. Ergänzend werden Ergebnisse von **Füllstandsprüfungen**, **Schichtdickenmessungen** sowie **MAC-Untersuchungen** dargestellt.

In den Abschnitten 6.2.4f werden die Versuche und Ergebnisse einschließlich festgestellter Auffälligkeiten zunächst für die Auskleidungen und nachfolgend für die Mörtel- und Kunststoffbeschichtungen dargestellt. Abschließend finden sich die Ausführungen zu den sanierten Rechteckschächten. Sofern Undichtheiten an den Sanierungen festgestellt wurden, sind diese in den einzelnen Abschnitten in den entsprechenden Tabellen dargestellt. Hierbei sind den unterschiedlichen Intensitäten des Wassereindrangs verschiedene Farben zugeordnet worden, die in der Tabelle 57 aufgeführt sind.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 57 Beispiele für die Farben-Zuordnung zu unterschiedlichen Formen des Feuchteeindrangs bei den Versuchen mit Außenwasserdruckbelastung

Schadensart	Kennzeich-nung	Referenzbild
keine Auffälligkeit	Grün	keine Feuchtigkeit (sichtbar und messbar)
Feuchtefleck ≤ 25 cm²	Gelb-Grün	
Feuchtefleck > 25 cm²	Gelb	
Feuchtefahne ≥ 40 cm	Gelb-Rot	
Infiltration	Rot	

Mit Beginn der zehnten Woche bei anstehendem, maximalem Außenwasserdruck wurde den Sanierungsfirmen bzw. den Materialherstellern die Möglichkeit gegeben, vorhandene Schadstellen nach eigenem Ermessen nachzuarbeiten. Sofern diese Reparaturen an den Sanierungen durchgeführt worden sind, finden sich die Ergebnisse in den betreffenden Abschnitten. In Tabelle 58 sind die Reaktionen der Materialhersteller bzw. Sanierungsfirmen dargestellt mit Blick auf die Wahrnehmung des Besichtigungstermins sowie weitergehenden Stellungnahmen zum Zustand ihres Gewerks oder Reparaturabsichten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 58 Reaktion der Hersteller/Sanierungsfirmen zur Besichtigung und Reparaturmöglichkeit ihrer Gewerke

Schacht Nr. (Geometrie)	Materialien/ System	Besichtigung durch Hersteller/ Sanierungsfirma	Stellungnahme durch Hersteller	Reparatur (ja/nein)
1 (rund)	GfK-Innen-schacht	ja	ja	nein
2 (rund)	Spectra-shield	ja	ja	ja
3 (rund)	GfK-Handlaminat	ja	nein	ja
4 (rund)	Ombran MHP	nein	ja	nein
5 (rund)	Betofix R4 SR	ja	nein	ja
6 (rund)	Nanocret R4	ja	ja	nein
7 (rund)	Ergelit KS1	ja	nein	ja
8 (rund)	Silicate R	ja	nein	ja
9 (rund)	Kanal-Reprofilier-mörtel	ja	ja	nein
10 (rund)	GfK-Segment-auskleidung	ja	ja	nein
11 (rund)	Oldodur WS 56	nein	nein	nein
12 (rund)	PE-HD-Segment-auskleidung	nein	nein	nein
13 (rund)	Ultracoat	ja	nein	ja
14 (quadratisch)	Ombran MHP-SP	nein	nein	nein
15 (quadratisch)	Ergelit KS1 (KS-ASS)	ja	nein	ja

6.2.3 Ergänzende Untersuchungen an Rechteckschächten

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, beinhaltet der Versuchsaufbau im Großversuchsstand zusätzlich zu den runden auch zwei rechteckige Betonfertigteilschächte. Die beiden Rechteck-Schächte bestanden aus jeweils vier Betonfertigteilen, einem Unter- sowie Oberteil und zwei „Schachtringen“ mit einer Höhe von 1,5 Metern. Diese wurden für die Sanierung mit aufgeschleuderten Mörtelbeschichtungen vorgehalten, die dasselbe Prüfprogramm wie die runden Schächte durchlaufen, aufgrund anderer geometrischer Randbedingungen und Schadensbilder allerdings nicht im gleichen Bewertungsschema betrachtet werden. Nach Aussage beider Verfahrens-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

anbieter ist die Anschleudertechnik nicht dafür ausgelegt, Vertiefungen in einer Oberfläche, wie sie Schachtringfugen somit darstellen, den Anforderungen entsprechend mit Material zu füllen. Zur Herstellung eines beschichtungsgerechten Untergrundes wurden hier also zunächst von Hand entsprechende Reprofilierungsarbeiten durchgeführt. Die darauf folgende Beschichtung wurde durch den Einsatz der Anschleuder-Maschinen ohne Einstieg des Personals aufgebracht.

Mit Blick auf die eingebauten Schäden ist hervorzuheben, dass aufgrund der verfügbaren Fertigteile und der vorgesehenen Applikationstechnik das Schadensbild „undichte Ringfuge“ nicht berücksichtigt worden ist. Bild 52, links, zeigt den Schachtaufbau mit den zugehörigen Wasserständen im Versuchsstand. Die bereits zuvor dargestellten Schadensbilder sind in gleicher Weise und in derselben Höhenlage eingebaut worden wie in den runden Fertigteilschächten (vgl. dazu Bild 50). Ein weiterer Unterschied ist in der vorhandenen Steigtechnik zu sehen. Die Rechteckschächte verfügen über Steigleitern mit lediglich zehn Anschlagpunkten im Gegensatz zu den 20 im Beton verankerten Steigeisen der Rundschächte (vgl. Bild 52, rechts). Tabelle 59 zeigt die eingesetzten Materialien.

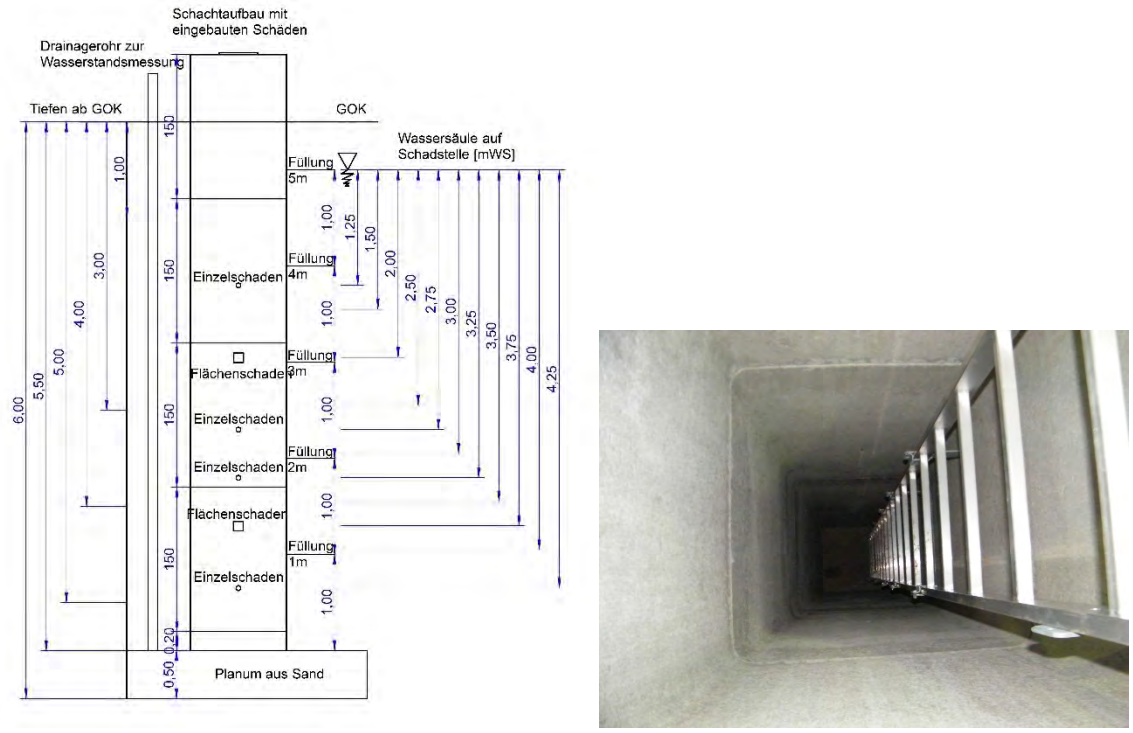


Bild 52 Skizze eines Rechteck-Schachtaufbaus mit Angaben zu Wasserständen über Schadstellen (links) und Blick in einen Rechteckschacht (rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 59 Eingesetzte Sanierungssysteme in den rechteckigen Betonschächten

Schacht Nr. (Geometrie)	Materialien/ System	Materialart	Hersteller/Vertrieb	Applikations-technik
14 (quadra-tisch)	Ombran MHP-SP	faserverstärkter, kunststoffmodifi-zierter, spritzfähi-ger Zementmörtel	MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop	angeschleudert
15 (quadra-tisch)	Ergelit KS1 (KS-ASS)	kunststoffmodifi-zierter Zement-mörtel	Hermes Technolo-gie GmbH & Co. KG, Schwerte	angeschleudert

Nach Abschluss des Prüfprogramms im Großversuchsstand wurden an diesen Schächten ebenfalls Dichtheits- und Haftzugfestigkeitsprüfungen durchgeführt. Die MAC-Prüfungen entfielen hier jedoch aufgrund der Bauteilgeometrien und -abmessungen sowie einer nicht vorhersehbaren Rissentwicklung bei der Prüfung.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.4 Sanierung mit Auskleidungen

6.2.4.1 Übersicht zu den Auskleidungssystemen

Auskleidungssysteme können, wie auch Beschichtungssysteme (vgl. dazu [7]), zur Renovation von defekten Abwasserschächten eingesetzt werden. Es gibt unterschiedliche Systeme, die in Innenschacht-Systeme, örtlich hergestellte Auskleidungen sowie Segment-Auskleidungen eingeteilt werden können. Nachfolgend werden zunächst die eingesetzten **Materialien** und anschließend die **Verfahrenstechniken** beschrieben.

Materialien für Auskleidungssysteme

Auskleidungssysteme für defekte Abwasserschächte werden überwiegend aus den Materialien PE-HD, GfK und Steinzeug werksmäßig oder aber auch vor Ort hergestellt. Nachstehend werden die Eigenschaften dieser Materialien beschrieben.

Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) ist ein Kunststoff, der durch Polymerisation von Ethylen hergestellt wird. Polyethylen ist ein teilkristalliner Thermoplast, bei dem sich Molekülketten im Übergang von der Schmelze in den festen Zustand zu kristallinen Bereichen ordnen. Dieser kristalline Anteil ist maßgeblich für die Dichte des Polyethylen. D.h., je höher der kristalline Anteil ist, desto höher ist die Dichte des Polyethylen. Bei einem kristallinen Anteil zwischen 60 % bis 80 % wird das Produkt als Polyethylen hoher Dichte bezeichnet. PE-HD besitzt im Vergleich zu Polyethylen eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen aggressive Chemikalien, eine höhere Zugfestigkeit und Steifigkeit sowie eine hohe Spannungsrissbeständigkeit. Nachteilig ist die Abnahme der Schlagzähigkeit gegenüber Polyethylen [41]. Für die Schachtsanierung werden PE-HD-Segmente werksmäßig hergestellt und im Abwasserschacht miteinander verschweißt. Der Ringraum zwischen Altschacht und vorgefertigten PE-HD-Elementen wird mit flüssigem Mörtel verfüllt. In diesem können sich die ggf. vorhandenen Anker der Auskleidungselemente verzahnen.

Polypropylen (PP) wird ebenfalls durch Polymerisation von Ethylen hergestellt. Im Vergleich mit PE-HD besitzt Polypropylen einen höheren Kristallinitätsgrad, wodurch Polypropylen eine höhere Zugfestigkeit, Steifigkeit und Härte besitzt. Weiterhin weist Polypropylen eine mit PE-HD vergleichbare Chemikalienbeständigkeit auf [41]. Polypropylen wird in der Schachtsanierung als Innenschacht-System eingesetzt.

Bei **glasfaserverstärkten Kunststoffen (GfK)** werden hochfeste Textilfasern in einem flüssigen Reaktionsharz eingebettet. Als Reaktionsharze werden Epoxid-, Vinylester- oder ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) eingesetzt [41]. UP-Harze sind Lösungen ungesättigter Polyesterharze in einem polymerisierbaren, flüssigen Polymer (oftmals Styrol) [2]. Durch die anschließende Härtungsreaktion werden die Textilfasern in dem Harz fest verankert. Dieser duroplastische Werkstoff ist durch Temperatureinfluss nach der Erhärtung nicht mehr schmelzbar. Des Weiteren weist glasfaserverstärkter Kunststoff eine hohe mechanische Festigkeit sowie eine hohe Temperaturbelastbarkeit auf [41]. Das Einbetten der Textilfasern in das flüssige Reaktionsharz kann im Werk und vor Ort durchgeführt werden. Somit können glasfaserverstärkte Kunststoffe als Innenschacht-System, örtlich hergestellte Auskleidung sowie Auskleidung mit Segmenten eingesetzt werden.

Steinzeug wird aus Ton und Schamotte hergestellt und anschließend mit einer Glasur versehen. Schamotte ist ein vorgebrannter Ton und entsteht als Recyclingprodukt während der Keramikproduktion. Sie wird der Tonmasse als Magerungsmittel zugegeben und verleiht dieser beim Brand die erforderliche Standfestigkeit und Formstabilität.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Glasur besteht aus einer Mischung aus Lehm, Ton, Kalk, Dolomit, Quarz sowie Metalloxyden. Die Glasurmasse wird vor dem Brennen auf den Rohling aufgebracht und verschmilzt während des Brennens unlösbar mit dem Rohling. Durch das Brennen dieser Werkstoffe entsteht bei Temperaturen bis zu 1250 °Celsius das Produkt Steinzeug. Die Eigenschaften des Werkstoffs sind eine hohe chemische Beständigkeit und Korrosionssicherheit, mechanische Festigkeit, Dichtheit, Glätte, Härte, Temperaturbeständigkeit sowie Langlebigkeit [42]. Bei Schachtsanierungen wird Steinzeug als Auskleidung mit Segmenten eingesetzt.

Verfahrenstechniken für Auskleidungssysteme

Innenschacht-Systeme sind komplette, selbsttragende sowie im Werk vorgefertigte Schächte aus GfK oder PP. Diese werden in den defekten Abwasserschacht (Altschacht) eingesetzt. Dazu müssen i. d. R. der Schachtkopf und -konus sowie einragende Leitungen des defekten Abwasserschachtes entfernt werden. Während der Sanierungsausführung ist eine Wasserhaltung erforderlich.

GfK-Schächte werden i. d. R. mit einem Handlaminat an den Kanal angebunden. Ebenfalls möglich ist das Setzen von Innenmanschetten für den Anschluss an die vorhandenen Zu- und Abläufe. Bei PP-Schächten werden Absperrblasen als Schalungen in die Haltungen gepresst und anschließend Vergussmörtel in den Ringraum zwischen PP-Schacht und Altschacht gegossen. Nach Aushärten des Vergussmörtels wird die Blase gezogen und somit der PP-Schacht mit das vorhandene Altrohr verbunden [43]. Der Ringraum zwischen Altschacht und vorgefertigtem Innenschacht-System (GfK und PP) wird mit flüssigem Mörtel verfüllt [44].

Bei **örtlich hergestellten Auskleidungen (Handlaminate)** werden Glasfasermatten an die Schachtwandung laminiert. Diese werden vor Ort zugeschnitten, mit einem Harz an der Schachtwandung adhäsiv befestigt und gehen somit einen Verbund mit dem Altschacht ein [44].

Die **Segment-Auskleidungen** aus GfK, PE-HD und Steinzeug werden als Plattenelemente an der Schachtwandung befestigt. Die Plattenelemente aus GfK werden dabei mit Dübeln an der Schachtwandung befestigt und deren Verbindungen sowie Stoßbereiche überlaminiert. Steinzeugelemente werden in ein Mörtelbett gelegt und deren Fugen sodann mit Fugenmörtel verfüllt Vorgefertigte PE-HD-Elemente werden üblicherweise in den Schacht gesetzt, positioniert, verschweißt und der entstandene Ringraum anschließend mit einem Mörteldämmer hinterfüllt [44].

6.2.4.2 Bautechnische Umsetzung

Vier unterschiedliche Auskleidungssysteme wurden in vier runde Betonfertigteil-Schächte (Nennweite DN 1000) mit bereits eingebrachten Fehlstellen eingebaut (vgl. Bild 50).

Die Montagearbeiten sowie die Ergebnisse von Schachtinspektionen an den jeweiligen Auskleidungen sind in diesem Abschnitt dargestellt. Bei den im Rahmen der Versuche hergestellten Auskleidungen nahmen Mitarbeiter des IKT Materialproben für weitergehende Einlagerungsversuche (vgl. Abschnitt 8.3.5) und zur Rückstellung. In Tabelle 55 sind die eingebauten Auskleidungssysteme aufgelistet.

6.2.4.3 Versuchsergebnisse GfK-Innenschacht-System (Hobas)

In nachstehender Tabelle 60 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 60 Informationen zur Schachtsanierung mittels GfK-Innenschacht-System

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 1 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Hobas; Innenschacht-System
	GfK-Schacht, Zementgebundener Mörtel (Blitzdämmer)
Hersteller	HOBAS Rohre GmbH, Trollenhagen
	Heidelberg Cement AG, Ennigerloh
Dienstleister Ausführung	Aarsleff Rohrsanierung GmbH, Röthenbach
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	keine
Durchführung der Untergrundvorbereitung	-
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	-
Zeitaufwand	ca. 0,7 h
Arbeitsweise	Entfernen der Steigeisen
2) Sanierungsdurchführung	
Grundierung aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Kran
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch Glasfaserkunststoff-Segmente	2 Segmente
Verbrauch Vergussmörtel	775 kg
Sanierungsdauer	ca. 9,5 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja, durch Transportbolzen bestehende Löcher werden mit Mörtel verfüllt und mit harzgetränkten GfK-Matten überlaminiert. Anbringen einer neuen Steigleiter. Reinigen der Schachtinnenseite von Vergussmörtel.
Zeitaufwand	ca. 1,7 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 11,9 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	6,6 h
Zeit Tag 2	5,3 h

Auskleidungsarbeiten

Die Sanierungsfirma führte keine Untergrundvorbereitung sowie Reinigung des Schachtkörpers durch.

Vor dem Einbau des GfK-Innenschacht-Systems musste verfahrensbedingt die Steigtechnik entfernt werden. Zur Vereinfachung des Versuchsablaufes ist anstelle eines Konus, der im Zuge der Sanierungsarbeiten hätte entfernt werden müssen, ein 0,5 m hoher Schachtring eingebaut worden. Zusätzliche Erdarbeiten, die ggf. benachbarte Sanierungen hätten beeinträchtigen können, waren somit nicht mehr erforderlich. Aufgrund der Höhe des Schachtes wurden zwei GfK-Schachtteile werksmäßig vorgefertigt (vgl. Bild 53, links oben), die nacheinander mit Hilfe eines Krans in den Schacht

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

eingesetzt wurden (vgl. Bild 53, rechts oben). Um die Schachtteile kraftschlüssig zu verbinden, sind diese mit Spanngurten zusammengezogen worden (vgl. Bild 53, links unten). Der Ringraum zwischen GfK-Schacht und Altschacht wurde anschließend mit einem Vergussmörtel hinterfüllt (vgl. Bild 53, rechts unten).

Die Transportanker in den Schachtteilen wurden mit Hilfe eines Winkelschleifers entfernt und die dadurch entstandenen Löcher mit einem Mörtel verfüllt und anschließend mit harzgetränkten GfK-Matten überlaminiert. Abschließend wurde eine Steigleiter in den sanierten Schacht eingebaut und eine passende Abdeckplatte auf den Innenschacht gesetzt.

Bild 53 Vorgefertigte Segmentteile vor Einbau (links oben), Einbau des unteren Schachtteils (rechts oben), Zusammenziehen der Schachtteile (links unten) und Hinterfüllen des neuen Schachtes mit Vergussmörtel (rechts unten)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Sanierung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Bild 54, rechts, zeigt eine Befestigung der Steigleiter ohne Auffälligkeiten. Die Montageöffnungen wurden mit Mörtel verfüllt und mit einem GfK-Handlaminat überlaminiert und zeigen ebenfalls keine Auffälligkeiten (vgl. Bild 54, links).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

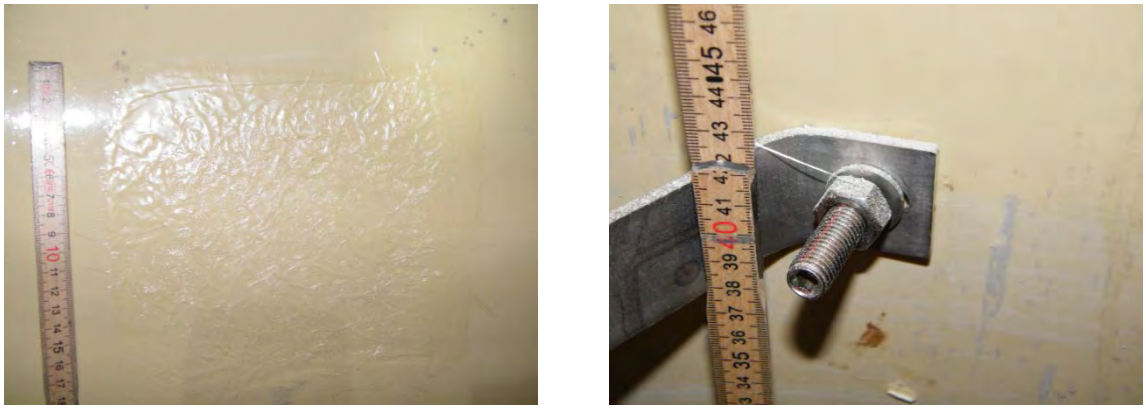


Bild 54 Überlaminierte Montageöffnung (links), Befestigung der Leiter (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurden keine Auffälligkeiten an der Auskleidung festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurden keine Auffälligkeiten an der Auskleidung festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Da keine Mängel/Auffälligkeiten während des gesamten Versuchsprogramms aufgetreten sind, musste keine Reparatur (ab der 10. Woche AWD-Belastung) durchgeführt werden. Ein Mitarbeiter der Sanierungsfirma nahm die Einladung zur Besichtigung des Gewerks an.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 55 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,5																		
	2,5																		
	3																		
	3,5																		
	4																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		

Bild 55 GfK-Innenschacht-System: Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden über die gesamte Versuchsdauer

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Dichtheitsprüfungen, Biegespannung, Auskleidungsdicke

In Tabelle 61 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Biegespannung bei Bruch sowie der Auskleidungsdicke dargestellt.

Tabelle 61 GfK-Innenschachtsystem: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Biegespannung bei Bruch (gem. DIN EN ISO 178 [45]) und Auskleidungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Biegespannung bei Bruch	Mittel	212 MPa
	kleinster Einzelwert	207 MPa
Auskleidungsdicke	Mittel	21,3 mm
	kleinster Einzelwert	21,1 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.4.4 Versuchsergebnisse PE-HD-Segmentauskleidung (Schacht + Trumme)

In nachstehender Tabelle 62 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 62 Informationen zur Schachtsanierung mittels PE-HD-Segmentauskleidung

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 12 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	PE-HD-Segmentauskleidung
	PE-HD mit Mörteldämmer-Hinterfüllung
Hersteller	Schacht+Trumme W. Schwarz GmbH, Ahrensburg
Dienstleister Ausführung	Schacht+Trumme W. Schwarz GmbH, Ahrensburg
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	keine
Durchführung der Untergrundvorbereitung	-
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	-
Zeitaufwand	ca. 1,0 h
Arbeitsweise	Entfernen der Steigeisen
2) Sanierungsdurchführung	
Grundierung aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Extruder-Schweißgerät, Winkelschleifer und Stichsäge
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch PE-HD-Segmente	5 Segmente
Verbrauch Vergussmörtel	625 kg
Sanierungsdauer	ca. 8,7 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja, Verfüllen der Abschlussfuge mit Silikon, Einbau neuer Steigbügel und Reinigen der Schachtwand mit Spülmittel
Zeitaufwand	2,9 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 12,6 h
Einsatztage vor Ort	3
Zeit Tag 1	1,0 h
Zeit Tag 2	8,7 h
Zeit Tag 3	2,9 h

Auskleidungsarbeiten

Die Sanierungsfirma führte keine Untergrundvorbereitung sowie Reinigung des Schachtkörpers durch.

Bei dem Auskleidungssystem Segmentauskleidung aus PE-HD erfolgte das Schneiden der einzelnen Segmente zunächst außerhalb des Schachtes. Die Ränder dieser

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Segmente wurden anschließend mittels Winkelschleifer angeraut. Um die Segmente in den Schacht einsetzten zu können, entfernte die Sanierungsfirma zunächst die Steigeisen. Anschließend wurden die einzelnen Segmente in den Abwasserschacht, beginnend im Schachtunterteil, eingesetzt. Die Segmente wurden mittels Extruder verschweißt.

Die PE-HD-Segmente wurden nacheinander in den Schacht eingebaut und dort mit Schweißnähten verbunden (vgl. Bild 56, links). Nach jedem Segment wurde der Ringraum zwischen PE-HD und Schachtwandung mit Vergussmörtel hinterfüllt (vgl. Bild 56, rechts). Nach Einsetzen aller Segmente wurde die Abschlussfuge zwischen Segment und Schachtwandung mit Silikon verfüllt. Zum Abschluss wurden neue Steigbügel eingebaut und deren PE-Ummantelungen mit der PE-HD-Schachtwand verschweißt.

Bild 56 *Verschweißen der PE-HD-Segmente mittels Extruder (links oben), Verfüllen des Ringraums zwischen Segment und Schachtwandung mit Vergussmörtel (rechts oben), Anbinden der Steigbügel mit Extruder (links unten) und Blick in den sanierten Schacht (rechts unten)*

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Auskleidung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Auskleidung Hohlstellen im Bereich der Segmentverbindungen (vgl. Bild 57, links) und im Schachtunterteil zu erkennen. Die Beschichtung zeigte eine vergleichsweise glatte

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Oberfläche. Die PE-HD-Segmente waren an allen Steigeisen bündig angebunden (vgl. Bild 57, rechts) ebenso wie am Schachtboden.

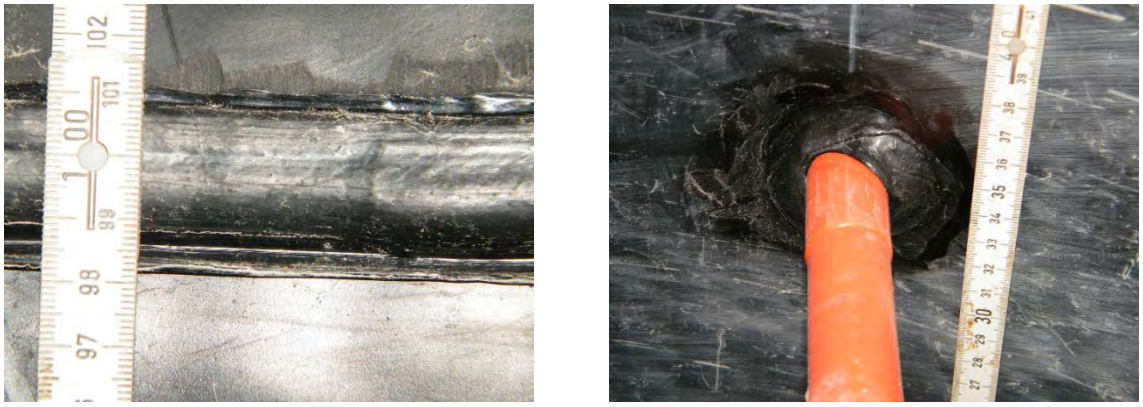


Bild 57 Zustand der PE-HD-Auskleidung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht einer typischen PE-HD-Segmentverbindung mit Schweißnaht (links), Beispiel für einen Steigeisen-Einbindebereich (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurden keine Auffälligkeiten an der Auskleidung festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurden keine Auffälligkeiten an der Auskleidung festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Da keine Mängel/Auffälligkeiten während des gesamten Versuchsprogramms aufgetreten sind, musste keine Reparatur (ab der 10. Woche AWD-Belastung) durchgeführt werden. Die Sanierungsfirma nahm die Einladung zur Besichtigung des Gewerks aus terminlichen Gründen nicht an.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 58 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,5																		
	2,5																		
	3																		
	3,5																		
	4																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		

Bild 58 PE-HD-Auskleidung: Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 63 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

Tabelle 63 PE-HD-Auskleidung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Auskleidung und Materialdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	0,4 N/mm² (13 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,2 N/mm²
Auskleidungsdicke	Mittel	5,4 mm (mit Dämmer: 29,7 mm)
	kleinster Einzelwert	5,4 mm (mit Dämmer: 24,4 mm)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.4.5 Versuchsergebnisse GfK-Segmentauskleidung, rückverankert und überlaminiert (Aarsleff)

In nachstehender Tabelle 64 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet. Folgend werden die wesentlichen Arbeitsschritte bildlich dargestellt.

Tabelle 64 Informationen zur Schachtsanierung mittels GfK-Segmentauskleidung

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 10 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	rückverankerte GfK-Segmente und Laminat
	vorgefertigte GfK-Segmente und UP-Harz (Synolite 1571-T-1)
Hersteller	ENDOLINE HANDESGESELLSCHAFT mbH, Herne
	DSM Composite Resins, Schaffhausen (CH)
Dienstleister Ausführung	Aarsleff Rohrsanierung GmbH, Röthenbach
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	keine
Durchführung der Untergrundvorbereitung	-
Herstellerangaben zum Gerät (Druck/Durchfluss)	-
Zeitaufwand	ca. 2,6 h
Arbeitsweise	Entfernung der oberen drei Steigeisen zum Einbringen der GfK-Segmente in den Schacht
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Schlag-Bohrer, Schraubendreher, Mischgerät, Pinsel, Andruckrollen
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch GFK-Segmente	4,5 Ringe je 1,25 m Höhe
Verbrauch des Harzes zum Laminieren	55 Liter
Sanierungsdauer	ca. 18,9 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	4-lagige Überlaminierung der Steigeisen und Schraubköpfe, Wiederherstellung der drei oberen entfernten Steigeisen, Entfernen der Schutzfolie, Reinigen der Arbeitsmaterialien und Werkzeuge
Zeitaufwand	ca. 5,4 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 26,9 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	ca. 13,8 h
Zeit Tag 2	ca. 13,1 h

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Auskleidungsarbeiten

Die Sanierungsfirma führte keine Untergrundvorbereitung sowie Reinigung des Schachtkörpers durch.

Vor ihrem Einbau wurden die vorgefertigten, gebogenen GfK-Segmente (DN 1000, Höhe 1,25 m) zunächst außerhalb des Schachtes an die Steigeisenanbindungen angepasst (vgl. Bild 59, links oben). Aus versuchstechnischen Gründen sollten die Steigeisen nicht entfernt werden. Die Sanierungsfirma machte hierzu bereits vor Beginn der Arbeiten darauf aufmerksam, dass an diesen Stellen Wasser eindringen könnte. Die GfK-Segmente wurden zusammengerollt in den Schacht eingebracht – dazu mussten jedoch die oberen drei Steigeisen entfernt werden – und dort stückweise, von unten nach oben, an der Schachtwandung verankert (vgl. Bild 59, rechts oben). Diese Rückverankerung erfolgte mittels Schrauben und Dübeln in einem Raster von ca. 30 cm x 30 cm (Anzahl: 9 Schraubverbindungen je m² Segmentfläche, vgl. Bild 59, links unten). Anschließend wurde die auf den GfK-Segmenten vorhandene Schutzfolie entfernt.

Die Verbindungen der GfK-Segmente wurden überlappend hergestellt. Nach dem Einsetzen und Verankern aller GfK-Segmente wurden die Überlappungen, Schraubenköpfe und Steigeisenanbindungen mit harzgetränkten GfK-Matten (4-lagig) überlaminiert (vgl. Bild 59, rechts unten). Bei den Steigeisen wurden vor dem Laminieren zusätzlich die Einbindungsbereiche mit einem Mörtel verspachtelt. Um das Aushärten des Laminats zu gewährleisten, wurde abschließend auf die Auskleidung eine Wachsschicht aufgetragen. Zum Schluss wurde die Fuge zwischen dem obersten GfK-Segment und der Beton-Schachtwandung mit einer Dichtmasse verfüllt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 59 Fräsen der Aussparungen für Steigeisenanbindung (links oben) und Einbringen der GfK-Segmente in den Schacht (rechts oben); Verdübeln bzw. Verschrauben der GfK-Segmente (links unten) und Anlaminieren der Steigeisen (rechts unten)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Nach Herstellerangaben und Aussagen des ausführenden Personals sollten vor der Sanierung mit GfK-Segmenten die Steigeisen entfernt werden, da sonst Schwachstellen, insbesondere in Form Undichtheiten, entstehen könnten. Aufgrund der Versuchsrandbedingungen durften die Steigeisen jedoch nicht entfernt werden. Dies machte es erforderlich, Aussparungen zu fräsen, damit die einzelnen GFK-Segmente im Schacht eingesetzt werden konnten. Um einen Verbundverlust an den Bereichen der Schadensbilder „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ zu provozieren, wurden die in diesen Bereichen eingesetzten Schrauben gekürzt, so dass sie nicht im Untergrund verankert werden konnten.

Ansonsten wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes wurden Hohllagen festgestellt. Diese sind jedoch systembedingt. Im Ergebnis wurde folgender optischer Zustand dokumentiert:

- Übrige Schachtwand: Geringfügig (Ausdehnung ca. 5 x 5 mm), oberflächennah fehlendes Material im Finishing/Laminat bei 3 m Höhe, 9 Uhr (vgl. Bild 60, links)
- Übergangsfuge zum Beton mit Fugendichtmasse umlaufend verschlossen. (vgl. Bild 60, rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

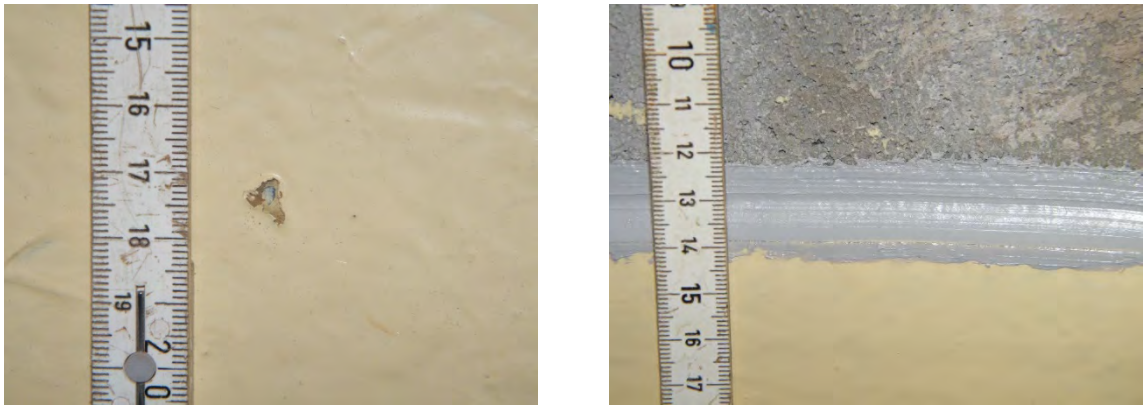


Bild 60 In ca. 3 m Höhe bei 9 Uhr befindet sich eine ca. 5 x 5 mm große Stelle ohne Finishing/Laminat (links), Übergangsfuge zum Beton (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Es wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Steigeisen: Wassereindrang in Form von Tropfenbildung an mehreren Steigeisen.

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Es wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Steigeisen: Es ist eine verstärkte Tropfenbildung an den Steigeisen zu erkennen. (vgl. Bild 61). Bei einer stichprobenartigen Infiltrationsmessung an einem Steigeisen (ca. 1,8 m Höhe) wurde eine Infiltrationsmenge von 0,265 ml/min gemessen.

Bild 61 Tropfenbildung an einem der Steigeisen

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen nicht genutzt und verwies auf

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

die bereits vor Beginn der Sanierungsarbeiten getätigte Aussage zu den möglichen Undichtheiten an den Steigeisen.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 62 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

Bild 62 GfK-Segmentauskleidung: Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Auskleidungsdicke

In Tabelle 65 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit des Handlaminats auf den Schraubköpfen der GfK-Segmente (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicken dargestellt.

Tabelle 65 Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten des Laminats auf den Schraubköpfen der GfK-Platten

Kriterium		**Ergebnisse**
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung (Laminat auf Schraubköpfen)	Mittel	1,64 N/mm² (13 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,82 N/mm²
Auskleidungsdicke	Mittel	3,04 mm (Handlaminat) 4,00 mm (GfK-Segmente)
	kleinster Einzelwert	-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.4.6 Versuchsergebnisse GfK-Handlaminat (Sekisui SPR Germany)

In nachstehender Tabelle 66 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 66 Informationen zur Schachtsanierung mittels Handlaminat

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 3 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	GfK-Handlaminat
	ECR-Glas-Matten (1. + 3. Lage): 450 g/m² und 600 g/m² (2. Lage), Polyesterharz mit MEKP-Härter FL 505S (2%)
Hersteller	Glasfaser-Matten: nicht bekannt
	Harz/Härter: Vosschemie GmbH, Uetersen
Dienstleister Ausführung	KMG Pipe Technologies GmbH, Schieder-Schwalenberg
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	keine
Durchführung der Untergrundvorbereitung	-
Herstellerangaben zum Gerät (Druck/Durchfluss)	-
Zeitaufwand	0,5 h
Arbeitsweise	-
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	ja, Grundierung VOSS Chemie, Haftgrundierung G4, ca. 2 l
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Schere, Malerrolle, Pinsel, Andruckrolle
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	Nein
Verbrauch	ca. 60 Liter Polyesterharz
Mischdauer des Harzes	ca. 90 s
Sanierungsdauer	ca. 14,6 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	Nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	Nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	Reinigen der Arbeitsmaterialien und Werkzeuge
Zeitaufwand	-
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 15,1 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	ca. 5,5 h
Zeit Tag 2	ca. 9,6 h

Untergrundvorbereitung

Da die Sanierungsfirma auf eine Untergrundvorbereitung sowie Reinigung des Schachtkörpers verzichtete, entfällt deren Darstellung. Bild 63 zeigt exemplarisch den vor Beginn der Sanierungsarbeiten vorhandenen Untergrund zur adhäsiven Befestigung des Handlaminates.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 63 GfK-Handlaminat: Untergrund vor Beginn der Laminier-Arbeiten (Fugenbereich links und Beton-Wandungsfläche rechts)

Auskleidungs-/Laminierarbeiten

Für das GfK-Handlaminat wurde vor dessen Einbau eine Haftgrundierung auf die Schachtwandung aufgetragen. Im Anschluss erstellten die Mitarbeiter ein Aufmaß des Schachtkörpers, um die GfK-Matten (1. und 3. Lage 450 g/cm², 2. Lage 600 g/cm²) an die Geometrie des Abwasserschachtes anzupassen. Dazu wurden die GfK-Matten mit einer handelsüblichen Schere zurecht geschnitten. Das Polyesterharz wurde im Mischungsverhältnis von zwei Litern Polyesterharz mit 40 ml Farbpaste und 40 ml Härter angemischt.

Das Auskleiden der Schachtwandungen erfolgte in drei Lagen. Dazu wurde das Polyesterharz mit einem handelsüblichen Lackroller aufgetragen. Anschließend klebte die Sanierungsfirma eine GfK-Matte auf das frisch aufgetragene Polyesterharz. Auf diese GfK-Matte wurde eine weitere Schicht Polyesterharz aufgetragen. Mittels spezieller Andruckrollen wurde die GfK-Matte an die Schachtwandung gepresst und hinter der GfK-Matte befindliche Luftbläschen entfernt. Bild 64 zeigt beispielhaft den lageweisen Einbau der Gewebematten bis zum fertiggestellten Endprodukt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

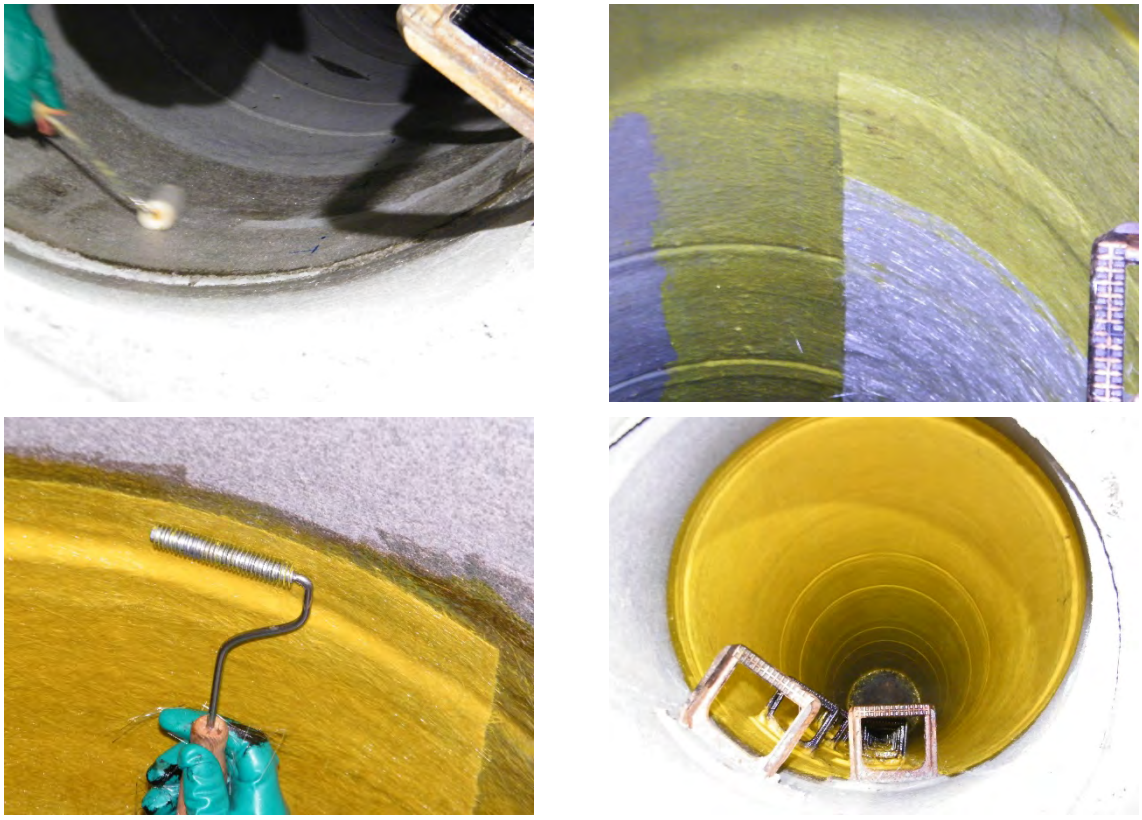


Bild 64 GfK-Handlaminat: Grundieren des Betons (links oben), lagenweises Laminieren (oben rechts), Andrücken der Harz getränkten Gewebematte (links unten) und Blick in den ausgekleideten Schacht (rechts unten)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z.B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt. Inwieweit die unterlassene Reinigung/Untergrundvorbereitung des Schachtes Auswirkungen auf die Verbundwirkung des Laminates zum Untergrund hat, zeigt sich mit Blick auf die gemessene Haftzugfestigkeit in Tabelle 67.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen des Laminats alle Hohlstellen aus den „flächigen Schäden mit Trennmittelauftrag“ in ihrer vorgesehenen Ausdehnung nicht wahrnehmbar. Es waren auch keine Fehlstellen im Harz, wie z.B. Luftblasen, zu erkennen. Die überlaminierten Ringfugen zeichneten sich hingegen ebenso ab wie die Bereiche der Steigeisen-Einbindungen im Beton (vgl. Bild 65). Weitere Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 65 Zustand des GfK-Handlaminats ohne Grundwassereinwirkung: Umgebung einer überlaminierten Ringfuge (links), Beispiel für einen Einbindebereich eines Steigeisens mit herausstehenden Glasfasern (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Ringfugen: Wassereindrang in Form von Feuchtefahnen und Infiltrationen an vier von fünf Vorschädigungen (vgl. Bild 66, links)
- Steigeisen: Wassereindrang an Steigeisen in 2,7 m Höhe (vgl. Bild 66, rechts)

Weitere Auffälligkeiten an der Auskleidung wurden nicht festgestellt.

Bild 66 GfK-Handlaminat unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Beispiel für an Vorschädigungen undichte Ringfuge (links), Wassereindrang unterhalb eines Steigeisens (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Ringfugen: Feuchtefahnen und/oder Infiltrationen mit einer Menge von bis zu ca. 22 ml/min (vgl. Bild 67, links)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Steigeisen: vereinzelt Rostwasser-Fließspuren (vgl. Bild 67, rechts), in einem Fall eindringendes Wasser (Menge bis zu ca. 460 ml/min)

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand des Laminats wurden nicht festgestellt. Mit Blick auf die Dichtheit zeigte sich an allen erkannten Stellen mit Wassereindrang, dass dieser im Vergleich zur Kurzzeit-Inspektion in seiner Ausdehnung deutlich geringer ausfiel.

Bild 67 GfK-Handlaminat unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Beispiel für die Ausbildung von Feuchtefahnen an vorgeschädigten Ringfugen (links), Rostwasser-Fließspur unterhalb eines Steigeisens (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur (ab der 10. Woche AWD-Belastung) an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und folgende Bereiche mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

- Mit Stopfmörtel abgedichteter Flächenschaden bei 9 Uhr in Höhe von ca. 1,1 m über Berme

Bei der letzten Inspektion wurde nach der Reparatur folgender Zustand dokumentiert:

- Bereich reparierter Ringfugen: Reduzierter Wassereindrang (vgl. Bild 68, rechts)

Im Vergleich zur vorangegangenen Inspektion vor der Reparatur zeigten sich keine weiteren Zustandsveränderungen am Erscheinungsbild des Laminats. Bild 68, links, zeigt einen abschließenden Blick in den beschichteten Schacht ohne erkennbare Auffälligkeiten abgesehen von den Reparatur-Flicken aus dieser Perspektive.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 68 GfK-Handlaminat unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Lage reparierter Flächen mit abschließendem Blick in den Schacht ohne erkennbare Auffälligkeiten von oben (links), Detailaufnahme mit tropfenförmigem Wassereindrang an einer reparierten Ringfuge (rechts)

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 69 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,50																		
	3,00																		
	4,00																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		

Bild 69 GfK-Handlaminat: Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Auskleidungsdicke

In Tabelle 67 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Laminatdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 67 GfK-Handlaminat: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Auskleidung und Laminatdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	nicht bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	2,0 N/mm² (18 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,1 N/mm²
Laminatdicke	Mittel	4,6 mm
	kleinster Einzelwert	4,1 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5 Sanierung mit Mörtelbeschichtungen

6.2.5.1 Bautechnische Umsetzung bei Sanierung von runden Betonfertigteilschächten

Mörtelbeschichtungen wurden in sechs runde Betonfertigteil-Schächte der Nennweite DN 1000 mit bereits eingebrachten Fehlstellen eingebaut (vgl. Bild 50). Dabei wurden sechs verschiedene Materialien verwendet und zwei unterschiedliche Applikationstechniken eingesetzt.

Die Beschichtungsarbeiten sowie die Ergebnisse von Schachtinspektionen an den jeweiligen Mörtelbeschichtungen sind in diesem Abschnitt dargestellt. Während der Beschichtungsarbeiten nahmen Mitarbeiter des IKT Materialproben für weitergehende Einlagerungsversuche (vgl. Abschnitt 8.3.5) und zur Rückstellung. In Tabelle 55 sind die verwendeten Beschichtungsmaterialien und deren Applikationstechnik zusammengestellt.

Die Untergrundvorbereitung wurde bei zwei Materialien maschinell und bei zwei weiteren Materialien händisch mittels Hochdruckwasserstrahlen mit der Zugabe von Granulat durchgeführt. Bei einem Material erfolgte eine händische Untergrundvorbereitung mittels Hochdruckwasserstrahlen und bei einem Material eine händische Untergrundvorbereitung mittels Feststoffstrahlen.

Vier Materialien wurden händisch mit Kelle und Glätter auf die Schachtwandung aufgetragen. Zwei Materialien wurden im Nass-Spritz-Verfahren auf die Schachtwandung aufgetragen. Zur Nachbehandlung wurden bei drei Materialien die frisch aufgetragenen Mörtelbeschichtungen mit Wasser besprüht. Drei Materialien wurden nicht nachbehandelt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.2 Versuchsergebnisse Betofix R4 SR

In nachstehender Tabelle 68 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 68 Informationen zur Schachtsanierung mittels Betofix R4 SR

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 5 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Betofix R4 SR
	Kunststoffmodifizierter Zementmörtel
Hersteller	Remmers Baustofftechnik GmbH
	Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	SMG Bautenschutztechnik GmbH
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch (Handlanze)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck/Durchfluss)	500 bar / 17 l/min
Zeitaufwand	ca. 1,1 h
Arbeitsweise	2 Durchgänge mit einem Strahlgutverbrauch von 70 kg
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	handgeführte Spritzdüse
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	ja (Glätten)
Verbrauch	475 kg
Mischdauer des Mörtels	120 – 210 Sekunden
Sanierungsdauer	ca. 2,1 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	ja, einmalig mit Wasser befeuchtet
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja
Zeitaufwand	0,8 h
4) Zusatzinformationen:	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 4,0 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	0,75
Zeit Tag 2	3,28

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange gestrahlt, bis der Zementschleier auf der Oberfläche in weiten Bereichen entfernt worden war und der anwesende Mitarbeiter des Materialherstellers sein Einverständnis für die Beschichtung des Schachtes gegeben hatte. Bild 70, rechts, zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 70 *Vor der Beschichtung mit Betofix: Wasser-Feststoff-Strahlen mit Hochdruck mittels handgeführter Lanze (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)*

Beschichtungsarbeiten

Bild 71 zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 71 *Betofix-Beschichtung: Glätten der Mörteloberfläche (links), Blick in den beschichteten Schacht (rechts)*

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung alle Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Risse hingegen konnten nicht erkannt werden. Die Beschichtung zeigte eine vergleichsweise wellige und bedingt durch das Nasssprizverfahren bereichsweise raue Oberfläche (vgl. Bild 72). Einzelne Einbindebereiche von Steigeisen wurden ebenso händisch nachgearbeitet, wie die Hohlkehle am Übergang zum Schachtboden. Weitere Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 72 Zustand der Betofix-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht der geglätteten Oberfläche (links), Beispiel für einen nachgearbeiteten Einbindebereich eines Steigeisens (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Bereiche „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: An drei Stellen Vergrößerung der Hohllagen und Risse mit Wassereindrang in Form von Feuchtefahnen unterschiedlicher Größe (vgl. Bild 73, links oben und unten), untere Schadstelle bei 3 Uhr hingegen ohne Wassereindrang
- Oberste Ringfuge: Feuchtefahne (vgl. Bild 73, rechts unten)
- Steigeisen: Feuchtefahne (vgl. Bild 73, rechts oben)

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 73 *Betofix-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Beispiele für Risse mit Feuchtefahnen in Bereichen „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (links oben und unten), Feuchtefahne unterhalb von Steigeisen (rechts oben) sowie im Bereich der obersten Ringfuge (rechts unten)*

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Bereiche „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: an den drei o.g. Schadstellen weiterhin Wassereindrang in Form von Feuchtefahnen, allerdings mit reduzierter Ausdehnung (vgl. Bild 74,links oben und unten)
- Oberste Ringfuge: Feuchtefahne mit geringerer Ausdehnung (vgl. Bild 74, rechts unten)
- Steigeisen: Feuchtefleck, weitgehend abgetrocknet (vgl. Bild 74, rechts oben)

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt. Mit Blick auf die Dichtheit zeigte sich an allen erkannten Stellen mit Wassereindrang, dass dieser im Vergleich zur Kurzzeit-Inspektion in seiner Ausdehnung deutlich geringer ausfiel.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 74 Betofix-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Beispiele für Risse mit nunmehr reduzierter Ausdehnung der Feuchtefahnen in Bereichen „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (links oben und unten), Feuchtefleck unterhalb des Steigeisens (rechts oben) sowie im Bereich der obersten Ringfuge (rechts unten)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur (ab der 10. Woche AWD-Belastung) an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und folgende Bereiche mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

- Mit Stopfmörtel abgedichteter „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr in Höhe von ca. 1,1 m über Berme

Bei der letzten Inspektion wurde nach der Reparatur folgender Zustand dokumentiert:

- Bereich reparierter Flächenschäden: Feuchtefahne mit geringerer Ausdehnung (vgl. Bild 75)

Im Vergleich zur vorangegangenen Inspektion vor der Reparatur zeigten sich keine weiteren Zustandsveränderungen am Erscheinungsbild der Beschichtung. Bild 75, rechts, zeigt einen abschließenden Blick in den beschichteten Schacht, ohne erkennbare Auffälligkeiten aus dieser Perspektive.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

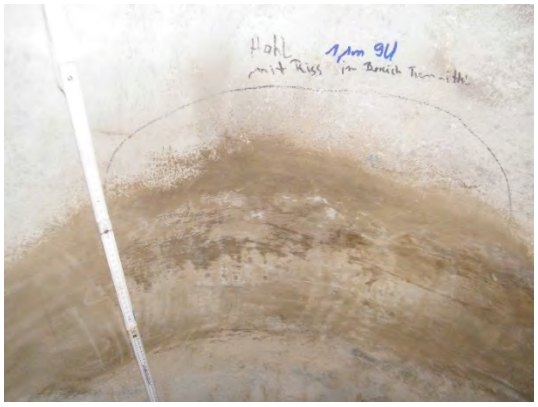


Bild 75 Betofix-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Reparierter Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ mit geringfügiger Feuchtefahne (links), abschließender Blick in den Schacht (rechts) ohne erkennbare Auffälligkeiten von oben

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 76 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Außenwasserdruck-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in gelb-grün/gelb/gelb-rot unterschieden werden (rot = Infiltration, gelb-rot = Feuchtefleck mit Fließfahne $\geq$ 40 cm, gelb = Feuchtefleck über 25 cm², gelb-grün = Feuchtefleck $\leq$ 25 cm², grün = dicht, blau = aus Wertung heraus genommen).

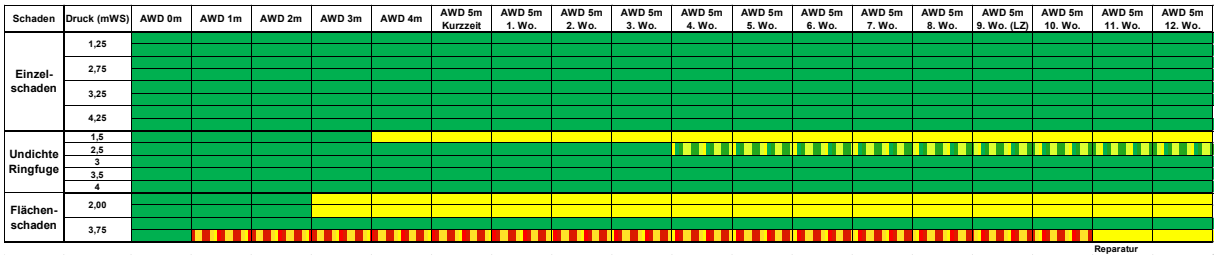


Bild 76 Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden an der Betofix-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 69 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 69 Betofix-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	1,9 N/mm² (19 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,0 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	18,4 mm
	kleinster Einzelwert	14,1 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.3 Versuchsergebnisse Ergelit KS 1

In nachstehender Tabelle 70 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 70 Informationen zur Schachtsanierung mit Ergelit KS 1

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 7 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Ergelit KS 1
	kunststoffmodifizierter Zementmörtel
Hersteller	Hermes Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte
	Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	DiTom Kanaltechnik GmbH, Ahlen
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat
Durchführung der Untergrundvorbereitung	maschinell (HDS Jet, Fa. Hermes Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	385 bar / 22 l/min
Zeitaufwand	ca. 0,8 h
Arbeitsweise	1 Durchgang mit Strahlgutverbrauch von 65 kg
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	ja
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Kelle, Glätter, Quast
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	ja (Glätten)
Verbrauch	375 kg
Mischverhältnis	Augenmaß (7-8 Kellen Mörtel mit 2 l Wasser)
Mischdauer des Mörtels	180 – 240 s
Sanierungsdauer	ca. 3,3 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	ja, Befeuchten der Beschichtung mit Wasser
Oberflächenschutz (ja/nein)	ja, Abdecken der Schachtöffnung mit Plane
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja
Zeitaufwand	0,3 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 4,4 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	2,4 h
Zeit Tag 2	2,0 h

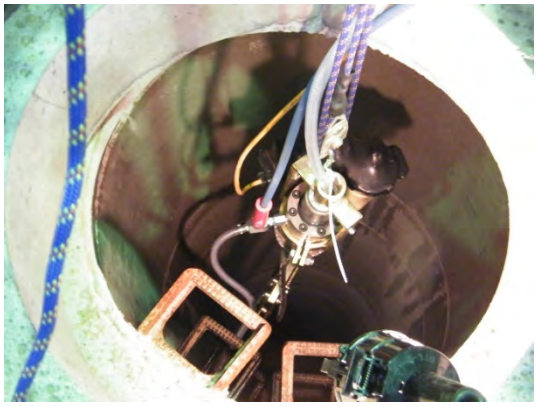
Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange maschinell (vgl. Bild 77, links) gestrahlt, bis das Korngerüst sichtbar war sowie der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

beschichtungsfähig war. Bild 77 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.



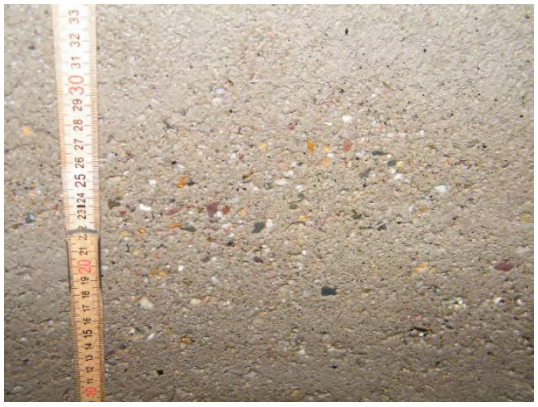


Bild 77 Vor der Beschichtung mit Ergelit: Maschinelles Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

Bild 78 (links) zeigt das abschließende Befeuchten der bereits angezogenen Mörteloberfläche, Bild 78 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 78 Besprühen der aufgebrachten und bereits angezogenen Ergelit-Beschichtung mit Wasser (links) und Blick in den beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Der Mörtel wurde nach Augenmaß angemischt, bis er der gewünschten Konsistenz des Sanierers entsprach. Wasser und Trockenmörtelmenge wurden nicht gemessen. Während der Untergrundvorbereitung bekam ein Mitarbeiter, aufgrund nicht getragener Schutzbrille, Granulat ins Auge. Eine Verletzung war allerdings nicht gegeben, der Mitarbeiter konnte weiter arbeiten.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung keine Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel („Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“) in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Es zeigten sich jedoch mehrere Risse und Hohlstellen auf der übrigen Schachtwandung (vgl. Bild 79, links). Eine Steigeisen-Einbindung war nicht vollständig mit Mörtel

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

umgeben (vgl. Bild 79, rechts). Die Beschichtung zeigte bis auf die Bereiche der Ringfugen eine vergleichsweise glatte Oberfläche.

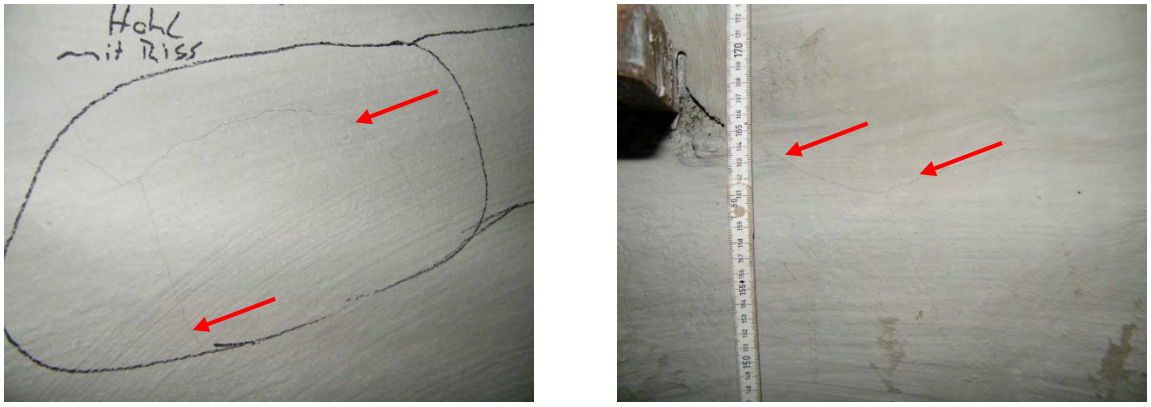


Bild 79 *Zustand der Ergelit-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht einer unplanmäßigen Verbundschwächung mit Hohlstelle und Riss (links), nicht sauber eingebundenes Steigeisen mit Riss (rechts)*

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Bereich unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr, ausgehend von Steiggang bei 12 Uhr: Feuchtefleck (vgl. Bild 79, links)
- Steigeisen bei 1,75 m von unten: Fließfahne (vgl. Bild 79, rechts)
- Oberste Ringfuge: Feuchtefleck

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

Bild 80 *Ergelit-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Feuchtefleck an „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (links), Fließfahne an einem Steigeisen (rechts)*

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Bereich unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck
- Steigeisen bei 1,75 m von unten: Fließfahne (vgl. Bild 80, rechts)
- Oberste Ringfuge: Feuchtefleck (vgl. Bild 80, links)

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

Bild 81 Ergelit-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Feuchtefleck an oberster Ringfuge (links), Fließfahne an einem Steigeisen (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur (ab der 10. Woche AWD-Belastung) an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und den folgenden Bereich mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

- Abdichten der Fließfahne an Steigeisen mit schnell abbindendem Stopfmörtel

Bei der letzten Inspektion wurde nach der Reparatur folgender Zustand dokumentiert:

- Nach Abdichten der Fließfahne unterhalb des Steigeisens entstand überhalb des Steigeisens ein Feuchtefleck (vgl. Bild 82, links)

Im Vergleich zur vorangegangenen Inspektion vor der Reparatur zeigten sich keine weiteren Zustandsveränderungen am Erscheinungsbild der übrigen Beschichtung. Der Versuch, die Fließfahne des undichten Steigeisens, bei maximalem Außenwasserdruck mit Stopfmörtel abzudichten, kann aufgrund des entstandenen Feuchteflecks über dem Steigeisen als nicht erfolgreich angesehen werden. Bild 82, rechts, zeigt einen abschließenden Blick in den beschichteten Schacht.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 82 Ergelit-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Steigeisen nach Reparatur mit Feuchtefleck (links), abschließender Blick in den Schacht (rechts)

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 83 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,5																		
	2,5																		
	3																		
	3,5																		
	4																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		

Bild 83 Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden an der Ergelit-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 71 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 71 Ergelit-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		**Ergebnisse**
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	1,2 N/mm² (23 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,0 N/mm² (Messwert: 0,04 N/mm²)
Beschichtungsdicke	Mittel	8,7 mm
	kleinster Einzelwert	4,2 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.4 Versuchsergebnisse Kanal-Reprofiliermörtel

In nachstehender Tabelle 72 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 72 Informationen zur Schachtsanierung mittels Kanal-Reprofiliermörtel

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 9 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Kanal-Reprofiliermörtel
	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel
Hersteller	Sika Deutschland GmbH
	keine Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	Peter Presch GmbH, Hamm
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Feststoffstrahlen (Sand)
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	8 bar / k.A
Zeitaufwand	ca. 0,8 h
Besonderes	sehr deutlicher Abtrag zu erkennen
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	ja
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Kelle, Glätter und Quast
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	ja, glätten
Verbrauch	800 kg
Mischverhältnis	3,5l / 25kg
Mischdauer des Mörtels	120 – 180 s
Sanierungsdauer	ca. 7,7 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja, Aufräumen der Baustelle
Zeitaufwand	-
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 8,5 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	5,3 h
Zeit Tag 2	3,2 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange händisch (vgl. Bild 84, links) gestrahlt, bis das Korngerüst sichtbar sowie der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 84 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

Bild 84 Vor der Beschichtung mit Reprofiliermörtel: Händisches Feststoffstrahlen (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

Der Mörtel wurde händisch mit Kelle und Glätter in zwei Schichten aufgetragen. Bild 85 zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 85 Blick in den mit Kanal-Reprofiliermörtel beschichteten Schacht

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Nach der Untergrundvorbereitung war trotz Reinigung noch Strahlgut auf der Schachtwandung vorhanden. Mitarbeiter des IKT wiesen auf dieses Problem hin, jedoch verzichtete die ausführende Firma auf eine erneute Reinigung.

Die Beschichtung der Schachtwandung erfolgte an zwei Tagen, wobei die erste Schicht am ersten Tag und die zweite Schicht am folgenden Tag aufgetragen wurde. Vor dem Auftragen der zweiten Schicht wurde wiederum eine Haftbrücke aufgetragen. Zum Ende der Beschichtungsarbeiten war der verfügbare Trockenmörtel nahezu aufgebraucht. Daher verwendete der Mitarbeiter zeitnah auch heruntergefallenes Material zum Beschichten des Schachtunterteils. Optisch erkennbar auf der Schachtwand war dieses Material allerdings nicht.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung keine Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel („Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“) in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Die Steigeisen sind sauber eingebunden (vgl. Bild 86, links). Der Übergang zwischen Schachtwand und Sohle wurde großzügig ausgebildet (vgl. Bild 86, rechts).

Bild 86 Zustand der Kanal-Reprofiliermörtel-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht eines eingebundenen Steigeisens (links), Übergang Schachtwand zu Sohle (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Oberer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck (vgl. Bild 87, links)
- Steigeisen bei 1,10 m Höhe: Undicht mit Fließspur bis zur Schachtsohle (vgl. Bild 87, rechts)
- Steigeisen bei 4,50 m Höhe: Undichtheit mit Fließspur bis zum nächsten Steigeisen

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 87 Kanal-Reprofiliermörtel-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag bei 9 Uhr - Feuchtefleck bei 2,85 m (links), Steigeisen bei 1,10 m undicht mit Fließspur (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck mit weißen Ablagerungen (vgl. Bild 88, links)
- Steigeisen in 1,1 m Höhe: Fließfahne bis Sohle (vgl. Bild 88, rechts)
- Steigeisen in 4,5 m Höhe: Feuchtefleck

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

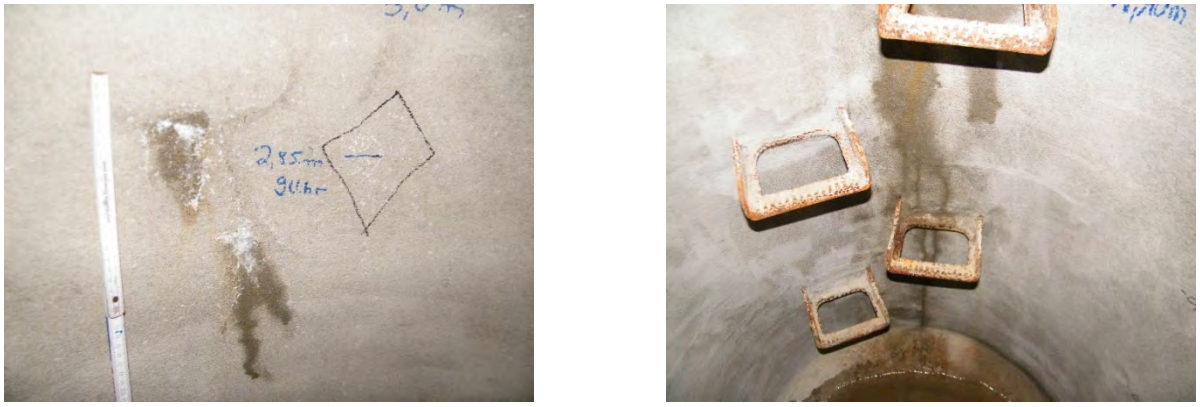


Bild 88 Kanal-Reprofiliermörtel-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Feuchtefleck mit weißen Ausblühungen an Flächenschaden bei 9 Uhr in 2,85 m Höhe (links), Fließfahne an einem Steigeisen in 1,1 m Höhe bis zur Sohle (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen nicht genutzt.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 89 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,5																		
	2,5																		
	3																		
	3,5																		
	4																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		

Bild 89 Darstellung der Dichtigkeits-Entwicklung aller Schäden an der Kanal-Reprofiliermörtel-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 73 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 73 Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	2,17 N/mm² (14 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,55 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	19,5 mm
	kleinster Einzelwert	8,6 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.5 Versuchsergebnisse Nanocret R4

In nachstehender Tabelle 74 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 74 Informationen zur Schachtsanierung mit Nanocret R4

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 6 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	PCI Nanocret R4
	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel
Hersteller	PCI Augsburg GmbH, Augsburg
	Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	Aarsleff Rohrsanierung GmbH, Röthenbach
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit Handlanze
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	500 bar / 17 l/min
Zeitaufwand	ca. 0,8 h
Arbeitsweise	Vorbereitung des Schachtes mit Handlanze und anschließendem Abspritzen mit Wasser.
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	ja
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Kelle, Glätter, Quast
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch	550 kg
Mischverhältnis	25 kg Mörtel mit 4,1 l Wasser, gemessen mit Messbecher
Mischdauer des Mörtels	ca. 180 s
Sanierungsdauer	ca. 5,1 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	nein
Zeitaufwand	0,0 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 5,9 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	1,4 h
Zeit Tag 2	4,5 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange händisch gestrahlt, bis der Zementschleier entfernt und der Untergrund nach Ansicht des ausführenden Personals beschichtungsfähig war (Bild 90).

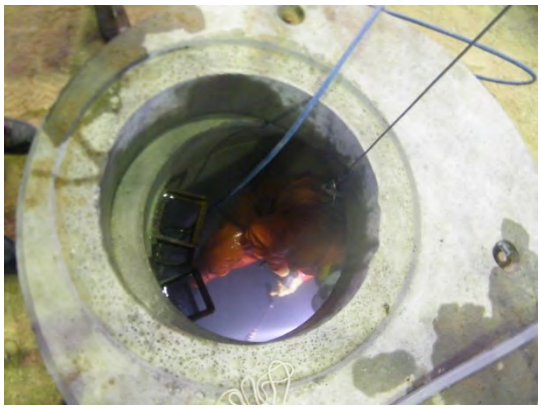


Bild 90 Vor der Beschichtung mit Nanocret: Händisches Hochdruckwasserstrahlen (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

Vor dem Auftragen der Mörtelbeschichtungen wurden zunächst die Schachtringfugen mit einem Spachtel verfüllt (vgl. Bild 91, links). Die Beschichtung wurde mit Hilfe einer Kelle an die Schachtwandung aufgetragen (vgl. Bild 91, rechts).

Bild 91 Nanocret-Beschichtung des Schachtes mittels Kelle und Glätter (links), Blick in den beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung keine Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel („Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“) in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Es wurden jedoch Risse am „Flächigen Schaden mit Trennmittelauftrag“ auf der Höhe von 2,85 m bei 9 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr) festgestellt (vgl. Bild 92,

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

links). Zudem wurden sichtbare Kellenschläge und einzelne Beulen auf der Beschichtungsoberfläche festgestellt (vgl. Bild 92, rechts).

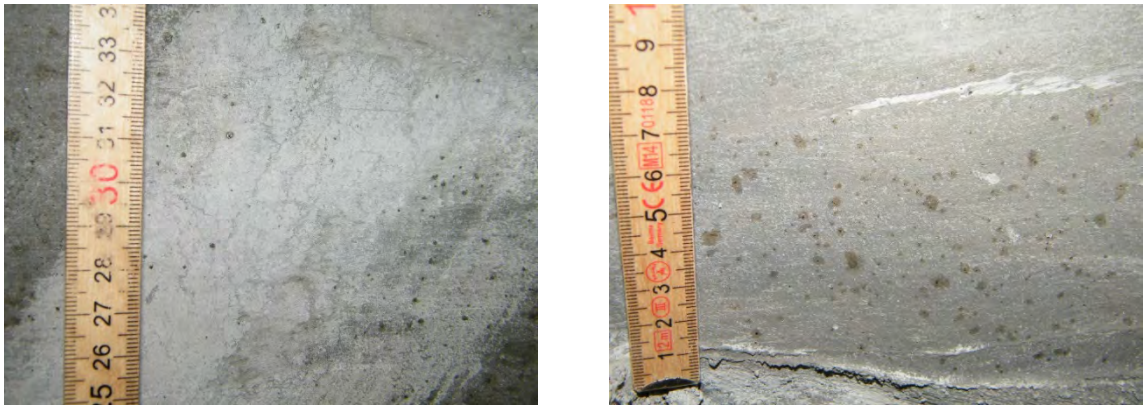


Bild 92 Risse in der Nanocret-Beschichtung im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ auf 2,85 m Höhe (links), teilweisweise Kellenschlag und einzelne Dellen auf der Beschichtungsoberfläche sichtbar (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Bereich oberer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck und Riss (vgl. Bild 93, links)

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

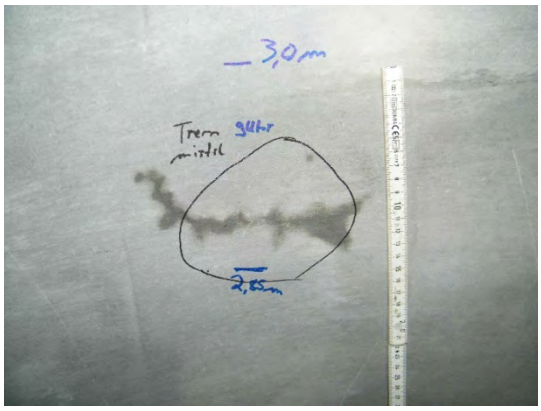


Bild 93 Nanocret-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Beispiel für einen Feuchtefleck im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 2,85 m und 9 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck und Riss in der ersten Woche

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Langzeit (vgl. Bild 94, links), abgetrocknet bis zur 10. Woche Langzeit (vgl. Bild 94, rechts)

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

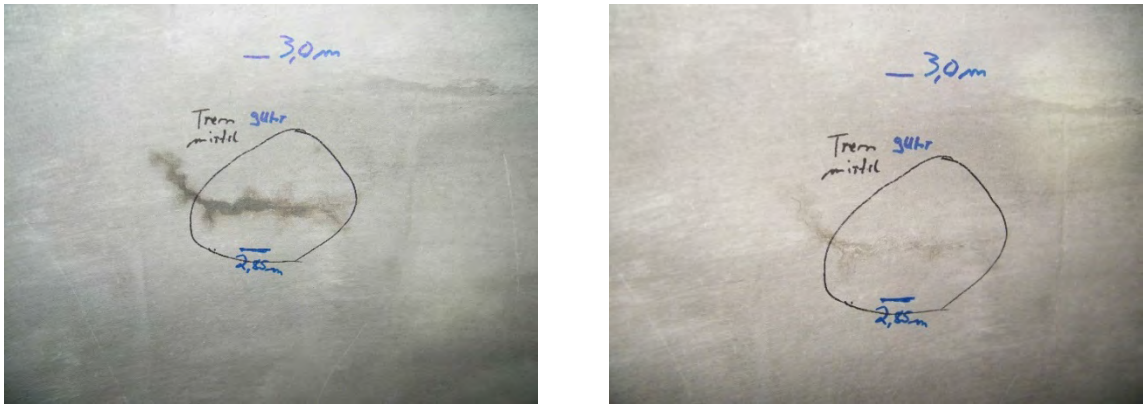


Bild 94 Nanocret-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Beispiel für einen Feuchtefleck im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ in der ersten Woche der Langzeitbelastung (links) und nahezu abgetrocknet in der 10. Woche (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen nicht genutzt.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 95 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

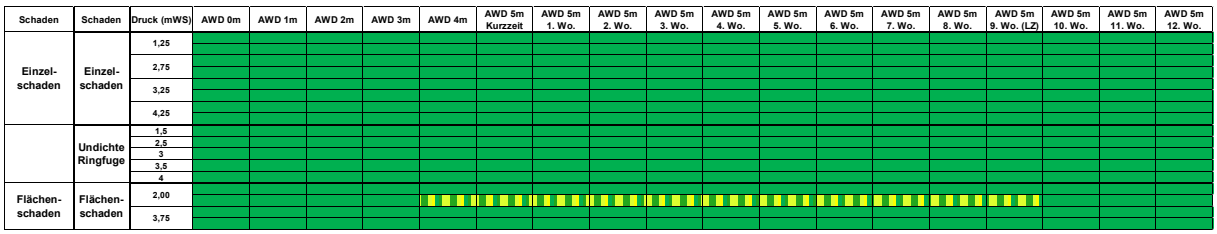


Bild 95 Darstellung der Dichtigkeits-Entwicklung aller Schäden an der Nanocret-R4-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 75 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 75 Nanocret-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		**Ergebnisse**
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	1,48 N/mm² (15 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,25 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	19,9 mm
	kleinster Einzelwert	17,4 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.6 Versuchsergebnisse Ombran MHP

In nachstehender Tabelle 76 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 76 Informationen zur Schachtsanierung mit Ombran MHP

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 4 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Ombran MHP
	Faserverstärkter, kunststoffmodifizierter Zementmörtel
Hersteller	MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop
	Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	Heikaus KS Kanalsanierungen GmbH, Krefeld
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit der Zugabe von Granulat
Durchführung der Untergrundvorbereitung	maschinell (MRT Blasting Unit)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	280 bar / 24 l/min
Zeitaufwand	ca. 1,5 h
Arbeitsweise	6 Durchgänge mit einem Strahlgutverbrauch von 50 kg; anschließend Hochdruckwasserstrahlen des Schachtkonus mit handgeführter Lanze von außen.
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	ja
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Kelle
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch	500 kg
Mischverhältnis	25 kg Mörtel mit 3,2 l Wasser, gemessen mit Messbecher
Mischdauer des Mörtels	ca. 210 s
Sanierungsdauer	ca. 4,2 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	ja, Befeuchten der Beschichtung mit Wasser (Tag 1 und Tag 2) und Aufstellen eines Eimers mit Wasser auf der Schachtsohle
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja
Zeitaufwand	0,6 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 6,3 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	6,2 h
Zeit Tag 2	0,1 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange maschinell (vgl. Bild 96, links) gestrahlt, bis der Zementschleier auf der Oberfläche in weiten Bereichen entfernt worden war und der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 96 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

Bild 96 Vor der Beschichtung mit Ombran: Maschinelles Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

In Bild 97 (links) ist das Auftragen der Beschichtung mit Kelle dargestellt. Bild 97 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 97 Auftragen der Ombran-Mörtelbeschichtung mit Kelle (links), Blick in den beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden die untersten 60 cm des Schachtes nicht mit Hochdruckwasserstrahlen gereinigt, da das maschinelle Verfahren nach Angaben der Mitarbeiter aus technischen Gründen nicht bis zur Schachtsohle reinigen kann.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung zwei Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel („Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“) in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Weiterhin wurden an drei „Flächiger Schaden“-Bereiche Risse festgestellt. Auf der übrigen Schachtwand wurden zwei weitere Risse festgestellt. Die Beschichtung zeigte

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

eine vergleichsweise glatte Oberfläche. Das Beschichtungsmaterial war an allen Steigeisen bündig angebunden ebenso wie am Schachtboden.

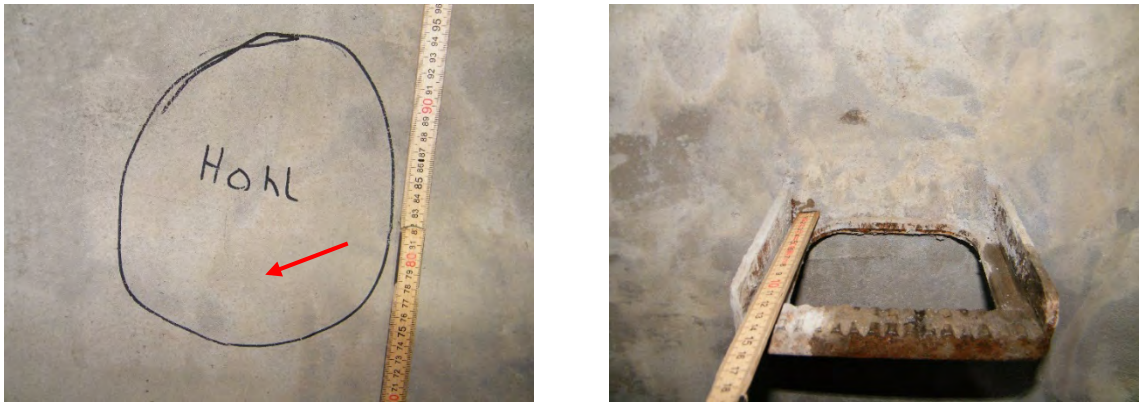


Bild 98 Zustand der Ombran-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht einer Hohlstelle mit Riss an „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (links), Beispiel für einen Steigeisen-Einbindebereich (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Alle Bereiche „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: Feuchteflecken (vgl. Bild 99, links)
- 1., 2. und 4. Ringfuge (von unten): Feuchteflecken (vgl. Bild 99, rechts)
- Steigeisen 2,5 m von unten: Fließfahne bis Schachtsohle

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

Bild 99 Ombran-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Beispiel für einen Feuchtefleck an „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (links), Feuchtefleck im Bereich einer Ringfuge (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Alle Bereiche „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: Feuchteflecken und Fließfahnen (vgl. Bild 100, links)
- Untersten 4 Ringfugen (von unten): Feuchteflecken (vgl. Bild 100, rechts)

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

Bild 100 Ombran-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Beispiel für Fließfahne an „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (links), Feuchtefleck im Bereich der untersten Ringfuge (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Aus terminlichen Gründen war es weder dem Materialhersteller noch der Sanierungfirma möglich, Reparaturen (ab der 10. Woche AWD-Belastung) an den o. g. Auffälligkeiten durchzuführen.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 101 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

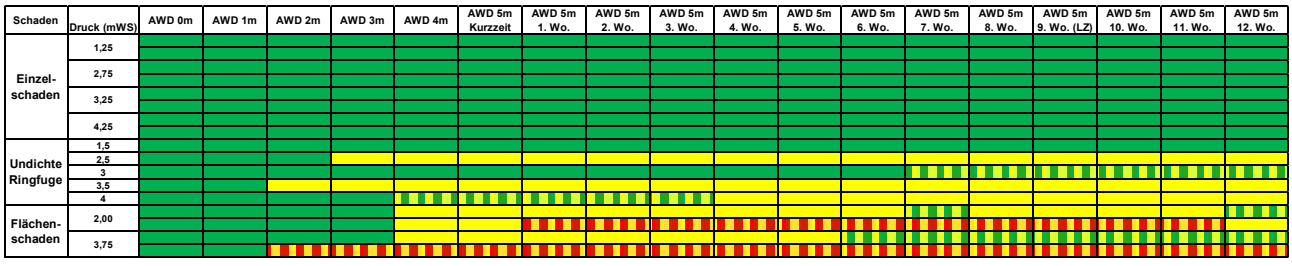


Bild 101 Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden an der Ombran-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 77 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 77 Ombran-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		**Ergebnisse**
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	1,2 N/mm² (32 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,3 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	15,0 mm
	kleinster Einzelwert	10,5 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.7 Versuchsergebnisse Silicate R

In nachstehender Tabelle 78 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 78 Informationen zur Schachtsanierung mittels Silicate R

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 8 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Silicate R
	Silikatmörtel
Hersteller	Remmers Baustofftechnik GmbH
	keine Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	SMG Bautenschutztechnik GmbH
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit der Zugabe von Granulat
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	500 bar / 17 l/min
Zeitaufwand	ca. 1,8 h
Arbeitsweise	Für die Untergrundvorbehandlung wurden 60 kg Granulat eingesetzt. Nach der Untergrundvorbehandlung wurde die Schachtwand gereinigt und getrocknet. Vor der Beschichtung wurden die Steigeisen abgeklebt.
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	handgeführte Spritzpistole
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	ja, Glätten mit Silicate Base
Verbrauch	375 kg
Mischverhältnis	4,5 kg (Silicate Base) / 25 kg (Mörtel)
Mischdauer des Mörtels	k.A.
Sanierungsdauer	ca. 2,3 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja, Sohlabschluss per Hand herstellen und Reinigung des Steiggangs
Zeitaufwand	2,0 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 6,1 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	4,3 h
Zeit Tag 2	1,8 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange händisch gestrahlt, bis der Zementschleier auf der Oberfläche in weiten Bereichen entfernt worden und der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 102 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

Bild 102 Vor der Beschichtung mit Silicate: Händisches Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

Das Auftragen der Mörtelbeschichtung erfolgte mit Hilfe einer handgeführten Sprühpistole. Dabei wurden drei Schichten je ca. 3 mm aufgetragen. Vor dem Auftragen der nächsten Schicht wurde der Mörtel mit Silicate Base (B-Komponente) geglättet. Bild 103 zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 103 Blick in den mit Silicate R beschichteten Schacht

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

An einer planmäßigen Verbundschwächung („Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“) wurde durch Abklopfen der Beschichtung eine Hohllage festgestellt. Die Übergänge der einzelnen Schachtbauteile waren zudem erkennbar (vgl. Bild 104).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 104 Zustand der Silicate-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Übergang der Schachtbauteile erkennbar

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Alle Bereiche „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: Feuchteflecken oder Feuchtefahnen (vgl. Bild 105, links)
- 1. und 2. Ringfuge von unten: Ringsum Feuchteflecken
- 3. Ringfuge von unten bei 6 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck
- 4. Ringfuge von unten: Feuchtefleck umlaufend, zudem bei 8 Uhr, ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr, Fließspuren (vgl. Bild 105, rechts)

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

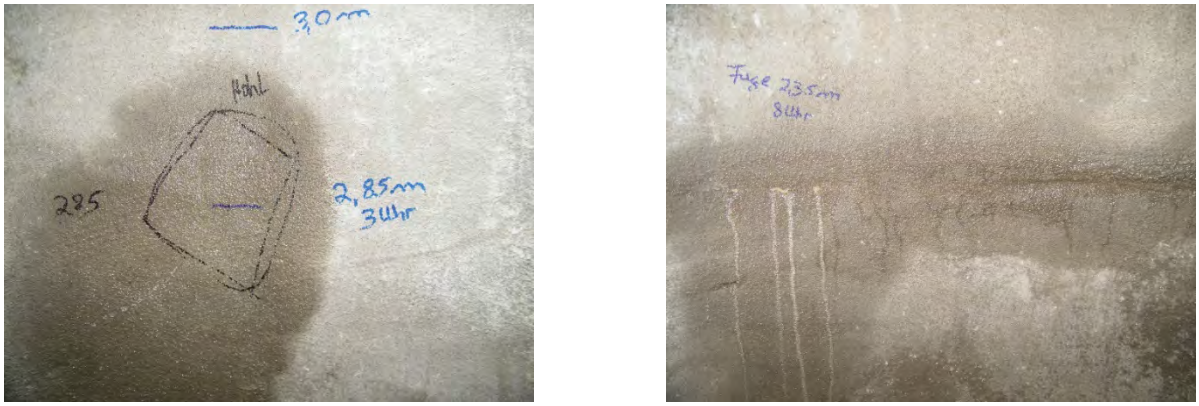


Bild 105 Silicate-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Feuchtefahne an Flächenschaden in einer Höhe von 2,85 m bei 3 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr, links) sowie Feuchtefleck und Fließfahne an Fuge bei 2,35 m (rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Alle Bereiche „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: Feuchteflecken oder Feuchtefahnen (vgl. Bild 106, links)
- 1. und 2. Ringfuge von unten: Feuchteflecken umlaufend, zudem an unterster Ringfuge bei 1 Uhr, ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr, weiße Ausblühungen (vgl. Bild 106, rechts)
- 3. Ringfuge von unten bei 6 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchtefleck
- 4. Ringfuge von unten: Feuchtefleck umlaufend, zudem bei 8 Uhr Fließspuren (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr)
- 5. Ringfuge von unten: Feuchteflecken, umlaufend

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

Bild 106 Silicate-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Feuchtefahne an oberem Flächenschaden bei 3 Uhr (links), unterste Ringfuge mit weißen Ausblühungen (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und die folgendenden Bereiche mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Die Mörtelbeschichtung im Bereich der 4. Ringfuge von unten wurde mit einem Hammer entfernt. Die dadurch entstandene Infiltration musste durch Einschlagen eines Holzdübels unterbunden werden. Anschließend wurde die Schadstelle mit Remmers Rapidhärter (mineralischer Schnellabdichtungsmörtel) mit Hilfe eines Spachtels aufgefüllt.
- Auf die weiteren o.g. Feuchteflecken und Fließfahnen wurde das Trockenpulver (Remmers Rapidhärter) gerieben.

Bei der Inspektion nach der Reparatur wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Oberer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“: Feuchtefleck (vgl. Bild 107, links)
- 3. Ringfuge von unten: Feuchteflecken, umlaufend
- 4. Ringfuge von unten, Umfangsbereich von 7 bis 3 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Feuchteflecken (vgl. Bild 107, rechts)
- Auf Grund von Tauwasserbildung zum Inspektionstermin konnten die Undichtheiten im unteren Schachtbereich nicht beurteilt werden.

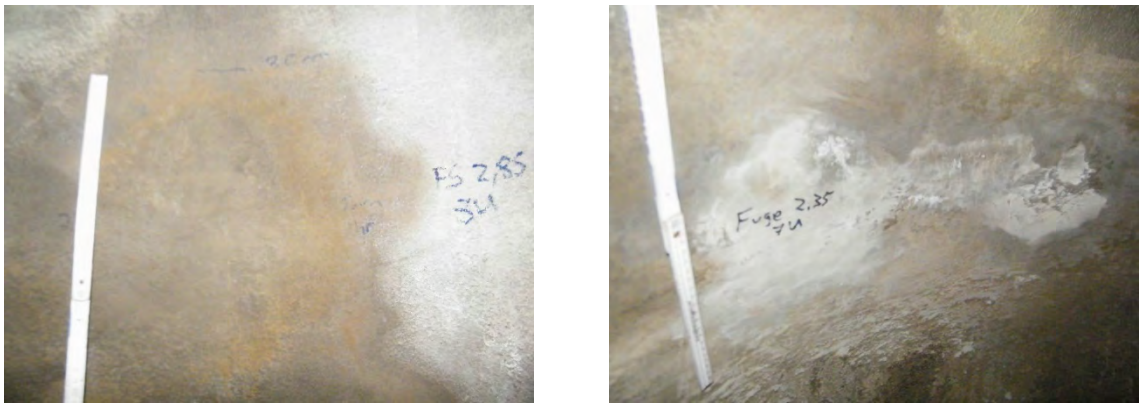


Bild 107 Silicate-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Feuchteflecken an Flächenschaden in einer Höhe von 2,85 m bei 3 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr, links) und an 4. Ringfuge von unten (rechts)

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 108 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit). Aufgrund von Tauwasserbildung auf der Wandungsoberfläche konnte bei der Inspektion nach der Reparatur im unteren Schachtbereich keine Aussage über die Fremdwasser-Dichtheit getroffen werden; für die Darstellung in Bild 108 ist dieser Zustand mit blauer Farbe gekennzeichnet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

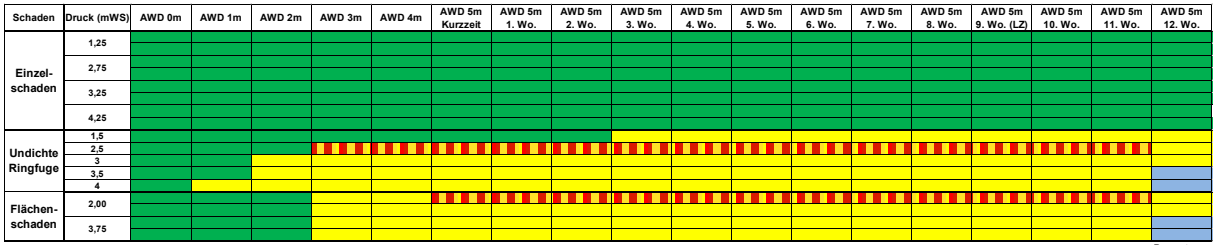


Bild 108 Darstellung der Dichtigkeits-Entwicklung aller Schäden an der Silicate-R-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 79 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

Tabelle 79 Silicate-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	nicht bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	1,15 N/mm² (16 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,3 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	10,5 mm
	kleinster Einzelwert	9,5 mm

6.2.5.8 Bautechnische Umsetzung bei Sanierung von rechteckigen Betonfertigteilschächten

Mörtelbeschichtungen wurden in zwei rechteckige Betonfertigteil-Schächte (Innenabmessungen 0,8 x 0,8 m) mit bereits eingebrachten Fehlstellen eingebaut (vgl. Bild 52). Dabei wurden zwei verschiedene Materialien verwendet und auf die Schachtwandungen angeschleudert.

Die Beschichtungsarbeiten sowie die Ergebnisse von Schachtinspektionen an den jeweiligen Mörtelbeschichtungen sind in diesem Abschnitt dargestellt. In Tabelle 59 sind die verwendeten Beschichtungsmaterialien und deren Applikationstechnik zusammengestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.9 Versuchsergebnisse Ergelit KS-ASS

In nachstehender Tabelle 80 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 80 Informationen zur Schachtsanierung mittels Ergelit KS-ASS Verfahren

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 15 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Ergelit KS-ASS Verfahren
	Ergelit KS1, kunststoffmodifizierter Zementmörtel
Hersteller	Hermes Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte
Dienstleister Ausführung	Hermes Technologie GmbH & Co. KG, Schwerte
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen
Durchführung der Untergrundvorbereitung	maschinell
Herstellerangaben zum Gerät (Druck/Durchfluss)	400 bar / 24 l/min
Zeitaufwand	ca. 1,0 h
Arbeitsweise	Aufgrund des maschinellen Verfahrens wurde vor der Untergrundvorbereitung die Steigtechnik entfernt (0,2 h). Ein Hubweg von Schachtsohle bis Schachtkonus nach Herstellerangaben für Untergrundvorbereitung ausreichend, da Betonfertigteile neu sind.
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	maschinell
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Anschleuder-Maschine
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	Ja, simulierte Schadensbilder (Bohrlöcher) unvollständig mit Mörtel beschichtet, daher wurden diese Schadstellen händisch nachbearbeitet.
Verbrauch	450 kg
Mischdauer des Mörtels	automatisch ca. 60 Sekunden
Sanierungsdauer	ca. 2,0 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	ja, Wasser
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja, Reinigung von Maschinentechnik und Schläuche.
Zeitaufwand	0,8 h
4) Zusatzinformationen:	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 3,8 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	2,3 h
Zeit Tag 2	1,5 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange maschinell gestrahlt (vgl. Bild 109, links), bis der Zementschleier auf der Oberfläche in weiten Bereichen entfernt worden und der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 109 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

Bild 109 Vor einer Beschichtung mittels KS-ASS: Maschinelles HD-Wasserstrahlen (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

Die Mörtelbeschichtung wurde maschinell an die Schachtwandung geschleudert (vgl. Bild 110, links) Durch das maschinelle Beschichten wurden vereinzelte Schadensbilder (Bohrlöcher) unvollständig beschichtet. Diese wurden händisch mit Mörtel ausgebessert. Bild 110 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

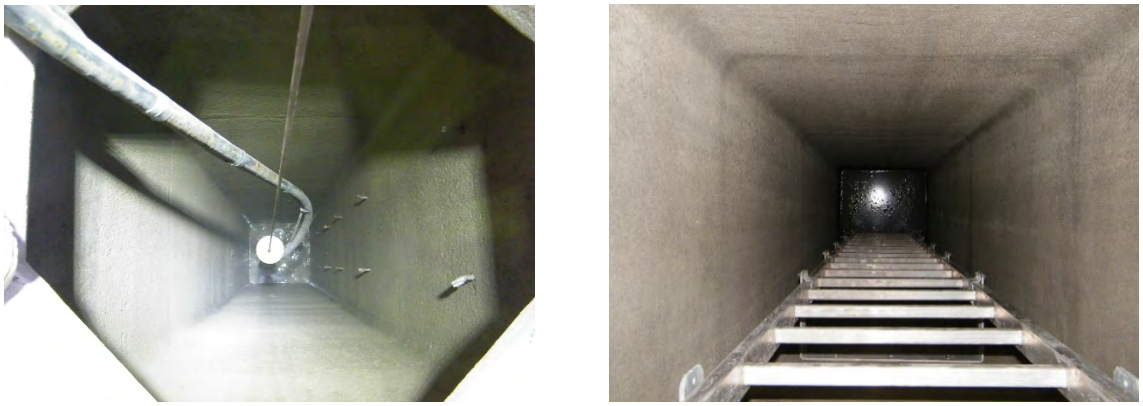


Bild 110 Maschinelles Anschleudern des Mörtels (links), Blick in den mittels KS-ASS beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Verfahrensbedingt mussten die Ringfugen vor der maschinellen Beschichtung händisch mit Mörtel verfüllt werden. Vor Beginn der Beschichtungsarbeiten sind mehrfach Probleme mit der automatischen Wasserzugabe des Mörtelmischers aufgetreten. Diese konnten jedoch nach einer zeitlichen Verzögerung behoben werden.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung keine Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel („Flächiger

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Schaden mit Trennmittelauftrag“) in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Darüber hinaus wurden auch keine Risse festgestellt. Die händisch nachgebesserten Schadstellen waren deutlich zu erkennen (vgl. Bild 111).

Bild 111 KS-ASS-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Von Hand nachgebesserte Stelle „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 (ausgehend vom Steiggang bei Wand 1): Infiltration, unzureichender Materialauftrag (vgl. Bild 112, links)
- Oberer „Flächiger Schäden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 2: Feuchtefleck (vgl. Bild 112, rechts)
- Unterste und oberste Ringfuge an Wand 3 und 4: Feuchteflecken

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

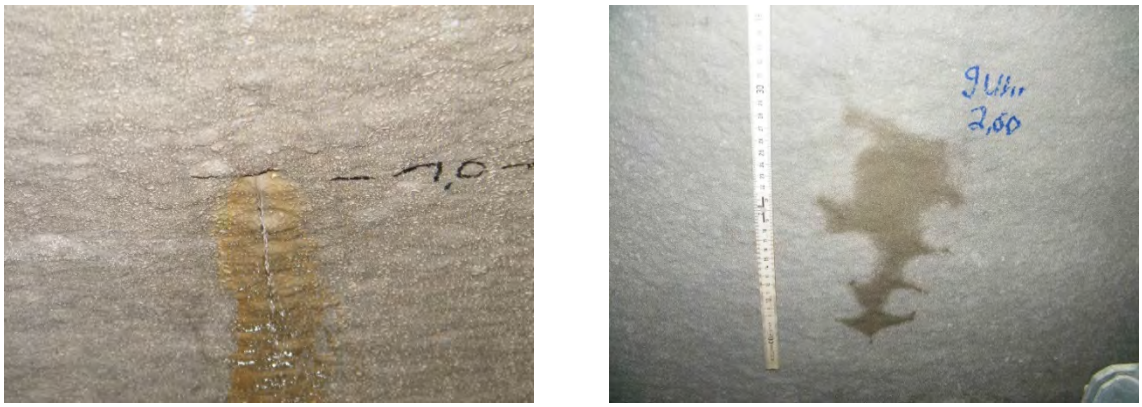


Bild 112 KS-ASS-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 mit infiltrierendem Wasser (links), oberer Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 mit Feuchtefleck (rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Unterer Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 (ausgehend vom Steiggang bei Wand 1): Infiltration von ca. 200 ml/min (vgl. Bild 113, links)
- Oberer Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4: Feuchteflecken (vgl. Bild 113, rechts)

Weitere Auffälligkeiten wurden nicht festgestellt.

Bild 113 KS-ASS Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Unterer Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 (ausgehend vom Steiggang bei Wand 1) mit infiltrierendem Wasser (links), oberer Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 mit Feuchtefleck (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und folgende Bereiche mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

- Unterer Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ an Wand 4 (ausgehend vom Steiggang bei Wand 1): Ausbessern der Schadstelle mit Schnellstopfmörtel Ergelit-10SD

Bei der letzten Inspektion wurde nach der Reparatur folgender Zustand dokumentiert:

- Fließfahne unterhalb der Reparaturstelle (vgl. Bild 114)

Im Vergleich zur Inspektion vor der Reparatur zeigten sich keine weiteren Zustandsveränderungen am Erscheinungsbild der Beschichtung. Bild 114 zeigt die Reparaturstelle und die Fließfahne unterhalb dieser Reparaturstelle.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 114 KS-ASS-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m nach Reparatur: Reparierte Schadstelle mit Fließfahne unterhalb

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 115 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Außenwasserdruck-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in gelb-grün/gelb/gelb-rot unterschieden werden (rot = Infiltration, gelb-rot = Feuchtefleck mit Fließfahne $\geq$ 40 cm, gelb = Feuchtefleck über 25 cm², gelb-grün = Feuchtefleck $\leq$ 25 cm², grün = dicht, blau = aus Wertung heraus genommen).

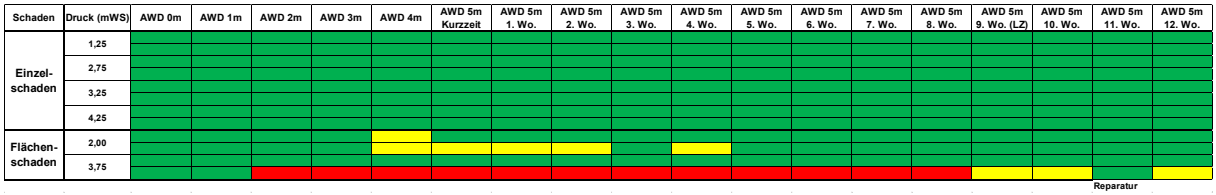


Bild 115 Darstellung der Dichtigkeits-Entwicklung aller Schäden an der KS-ASS-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 81 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

Tabelle 81 KS-ASS-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	2,3 N/mm² (8 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	1,4 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	7,0 mm
	kleinster Einzelwert	3,1 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.5.10 Versuchsergebnisse Ombran MHP-SP

In nachstehender Tabelle 82 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 82 Informationen zur Schachtsanierung mit Ombran MHP-SP

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 14 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Ombran MHP-SP, HDT
	faserverstärkter, kunststoffmodifizierter, spritzfähiger Zementmörtel
Hersteller	MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG, Bottrop
	Begleitung der Sanierungsarbeiten durch Hersteller
Dienstleister Ausführung	Heikaus KS Kanalsanierungen GmbH, Krefeld
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit der Zugabe von Granulat
Durchführung der Untergrundvorbereitung	maschinell (MRT Blasting Unit)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	450 bar / - l/min
Zeitaufwand	ca. 5,2 h
Arbeitsweise	Entfernen der Steigtechnik und vorheriges Reinigen des Schachtes (1,4 h). Es wurden 20 Hübe von Schachtsohle bis -konus zur Vorbereitung ausgeführt.
2) Sanierungsdurchführung	
Haftbrücke aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	maschinell
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	Anschleuder-Maschine
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch	725 kg
Mischverhältnis	Automatisches Mischen, abgestimmt auf das Material
Anzahl der Hübe	18
Umdrehungen der Schleuderdüse	5000 - 7000 U/min
Mischdauer des Mörtels	Automatisch, ca. 60 s
Sanierungsdauer	ca. 2,7 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	ja, Schachtwände wurden mit Wasser besprüht, der Schacht wurde mit einer Folie abgedeckt und ein mit Wasser gefüllter Eimer auf die Schachtsohle gestellt.
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	ja
Zeitaufwand	2,2 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 10,1 h
Einsatztage vor Ort	4 Tage
Zeit Tag 1	3,4 h
Zeit Tag 2	3,1 h
Zeit Tag 3	2,1 h
Zeit Tag 4	1,5 h

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange maschinell (vgl. Bild 116, links) gestrahlt, bis der Zementschleier auf der Oberfläche in weiten Bereichen entfernt worden und der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 116 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

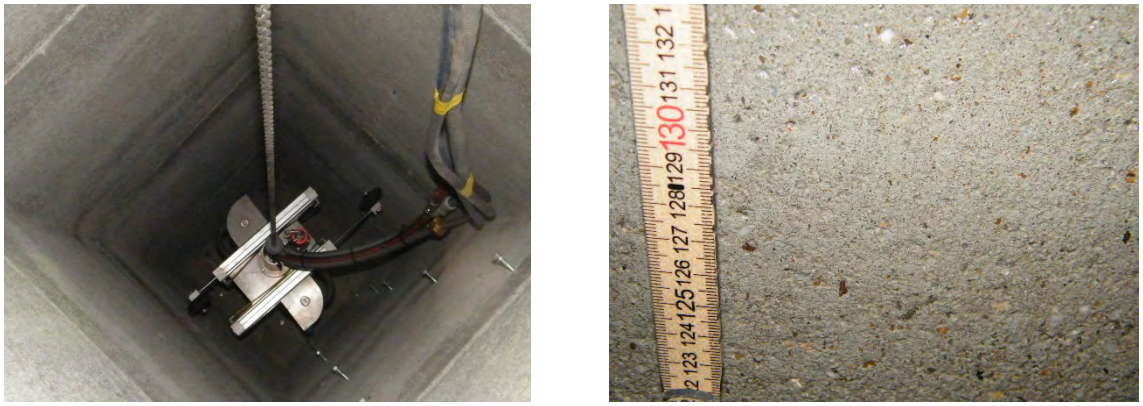


Bild 116 Vor der Beschichtung mit Ombran MHP-SP: Maschinelles Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

Die Fugen wurden vor der maschinellen Beschichtung händisch mit Mörtel verfüllt. Anschließend wurde der Mörtel maschinell auf die Schachtwandung aufgetragen. In Bild 117 (links) ist die aufgetragene Mörtelbeschichtung exemplarisch dargestellt. Bild 117 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

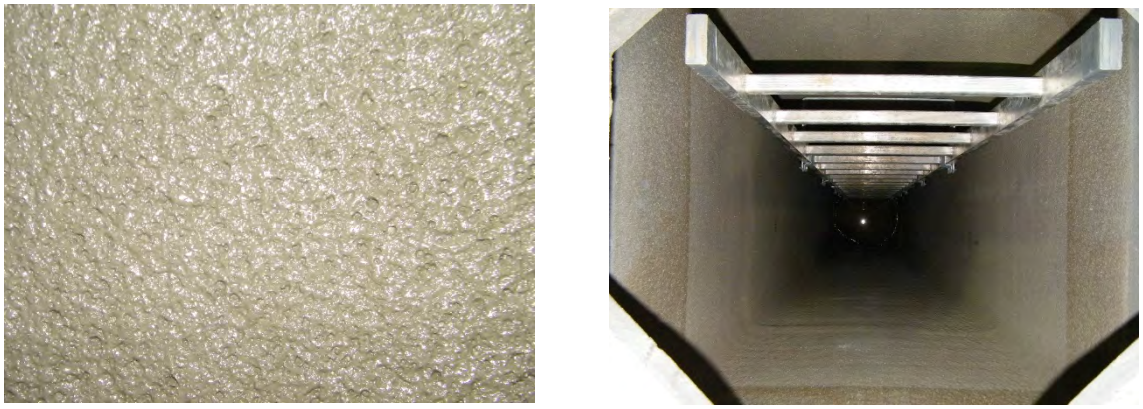


Bild 117 Aufgeschleuderte Mörtelbeschichtung Ombran MHP-SP, Detailansicht (links), Blick in den beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Aufgrund des maschinellen Anschleuderns musste die Steigtechnik entfernt werden. Jedoch konnte die Steigtechnik nicht durch das mitgeführte Material der ausführenden Firma nach der Beschichtung angebracht werden. Die Beschaffung von passendem Material führte zu zeitlichen Verzögerungen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Während der Beschichtungsarbeiten überhitzte der Kettenzug der automatischen Schleuder-Einrichtung. Dies führte zu einer Unterbrechung der Beschichtungsarbeiten.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung keine Hohlstellen aus planmäßiger Verbundschwächung durch Trennmittel („Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“) in ihrer vorgesehenen Ausdehnung wahrnehmbar. Darüber hinaus wurden auch keine Risse festgestellt. In Bild 118 ist die Oberfläche der Beschichtung nach der Sanierung exemplarisch dargestellt.

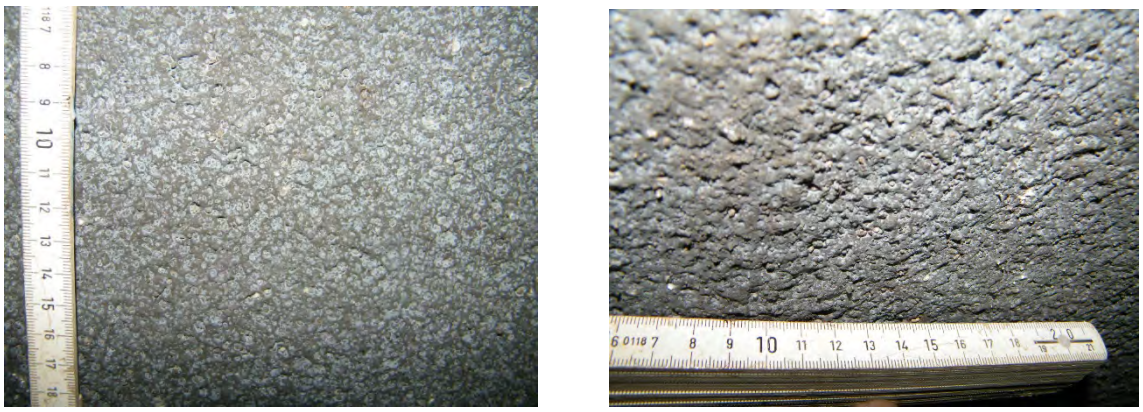


Bild 118 Zustand der Ombran MHP-SP-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Weiße Flecken auf der Beschichtung (links), raue Beschichtungsoberfläche (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Gesamte Schachtwandung: Weiße Flecken auf der Beschichtungsoberfläche (vgl. Bild 119, links)
- Obere Fuge an Wand 4 zu Wand 1 (ausgehend vom Steiggang bei Wand 1): Feuchtefleck von ca. 3 x 3 cm Ausdehnung (Bild 119, rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

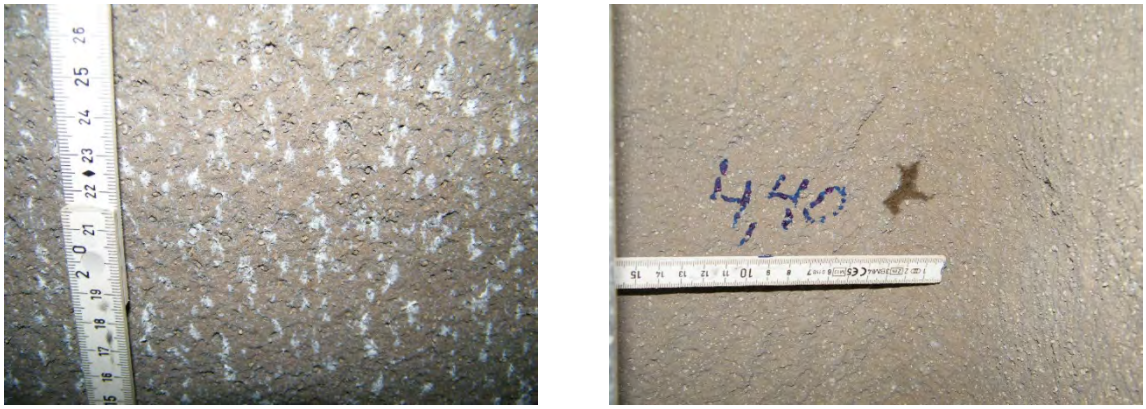


Bild 119 Ombran-MHP-SP-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Beispiel für weiße Ablagerungen an der Schachtwandung (links) und Feuchtefleck an oberer Fuge (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Gesamte Schachtwandung: Weiße Flecken auf der Beschichtungsoberfläche
- Obere Fuge an Wand 4 zu Wand 1 (ausgehend vom Steiggang bei Wand 1): Kleiner Feuchtefleck (vgl. Bild 120, links)
- Obere Fuge an Wand 4: kleiner Feuchtefleck
- Unterschiedliche Färbung der Mörtelbeschichtung ober- und unterhalb des anstehenden Grundwassers bei ca. 4,95 m über Schachtsohle (vgl. Bild 120, rechts)

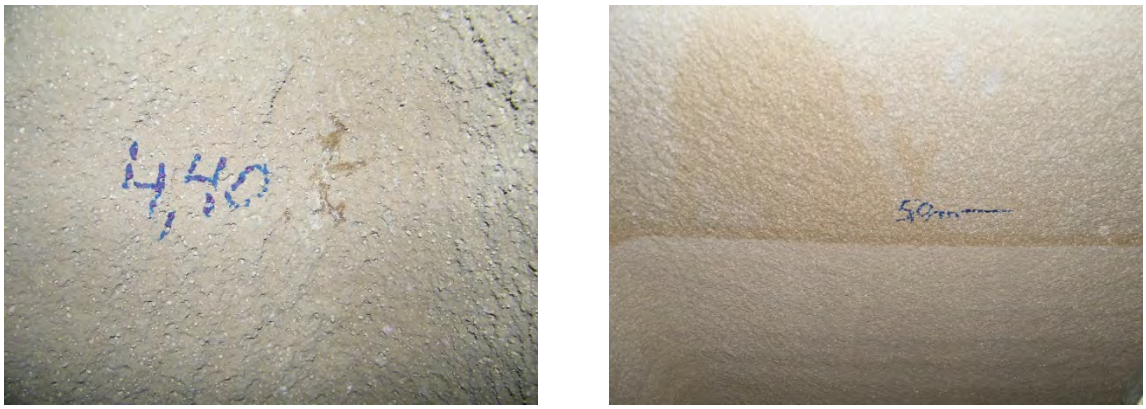


Bild 120 Ombran-MHP-SP-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Feuchtefleck an oberer Fuge zwischen Wand 4 und Wand 1 (links) und farbliche Unterschiede der Beschichtung im Bereich des anstehenden Grundwassers (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen nicht genutzt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 121 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Außenwasserdruck-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in gelb-grün/gelb/gelb-rot unterschieden werden (rot = Infiltration, gelb-rot = Feuchtefleck mit Fließfahne $\geq$ 40 cm, gelb = Feuchtefleck über 25 cm², gelb-grün = Feuchtefleck $\leq$ 25 cm², grün = dicht, blau = aus Wertung heraus genommen).

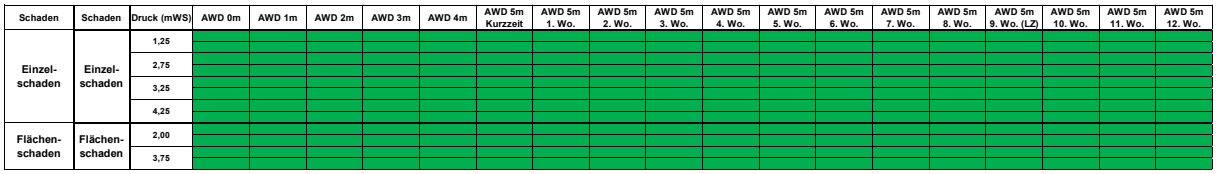


Bild 121 Darstellung der Dichtigkeits-Entwicklung aller Schäden an der Ombran-MHP-SP-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 83 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

Tabelle 83 Ombran MHP-SP-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	1,8 N/mm² (12 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,4 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	18,7 mm
	kleinster Einzelwert	15,0 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.6 Sanierung mit Kunststoffbeschichtungen

6.2.6.1 Bautechnische Umsetzung

Kunststoffbeschichtungen wurden in drei runde Betonfertigteil-Schächte (Nennweite DN 1000) mit bereits eingebrachten Fehlstellen eingebaut (vgl. Bild 50). Dabei wurden drei verschiedene Materialien – Polyurethan, Polyurea bzw. -harnstoff und ein Epoxidharz – verwendet bei Nutzung einer vergleichbaren Applikationstechnik durch Ansprühen.

Die Beschichtungsarbeiten sowie die Ergebnisse von Schachtinspektionen an den jeweiligen Kunststoffbeschichtungen sind in diesem Abschnitt dargestellt. Während der Beschichtungsarbeiten nahmen Mitarbeiter des IKT Materialproben für weitergehende Einlagerungsversuche (vgl. Abschnitt 8.3.5) und zur Rückstellung. In Tabelle 55 sind die verwendeten Beschichtungsmaterialien und deren Applikationstechnik zusammengestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.6.2 Versuchsergebnisse Oldodur WS 56

In nachstehender Tabelle 84 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 84 Informationen zur Schachtsanierung mit Oldodur

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 11 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Oldodur WS 56
	Polyurethan
Hersteller	BASF Bautechnik GmbH, Trostberg
	/
Dienstleister Ausführung	Schulz Bau GmbH, Torgau
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch (Handlanze)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	310 bar / 24 l/min
Zeitaufwand	ca. 0,8 h
Arbeitsweise	1 Durchgang, anschließend Trocknung der Schachtwandung mit Ventilator (Oberflächenfeuchte < 7 Vol.-%)
2) Sanierungsdurchführung	
Grundierung aufgebracht (ja/nein)	ja, Grundierung VOSS Chemie, Haftgrundierung G4
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	handgeführte Sprühdüse
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	nein
Verbrauch	85 kg
Sanierungsdauer	ca. 1,5 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	Reinigen, Entfernen Abklebungen an Steigeisen
Zeitaufwand	1,1 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 3,4 h
Einsatztage vor Ort	2
Zeit Tag 1	0,7 h
Zeit Tag 2	2,7 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange händisch mit Hochwasserdruckstrahlen (vgl. Bild 122, links) gestrahlt, bis der Untergrund ausreichend gereinigt worden war und der

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 122 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

Bild 122 Vor der Beschichtung mit Oldodur: Hochdruckwasserstrahlen mittels handgeführter Lanze (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

In Bild 123 (links) wird das Aufsprühen des Polyurethanharzes dargestellt. Bild 123 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 123 Aufsprühen des Oldodur-Polyurethanharzes (links), Blick in den beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung nirgends Hohlstellen und auch keine Risse zu erkennen. Vereinzelt wurden Pinholes festgestellt. Die Beschichtung zeigte bis auf die Bereiche der Ringfugen eine vergleichsweise glatte Oberfläche (vgl. Bild 124, links). Das Beschichtungsmaterial war an den Steigeisen nicht bündig angebunden, wodurch z. T. der Betonuntergrund zu erkennen war (vgl. Bild 124, rechts).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

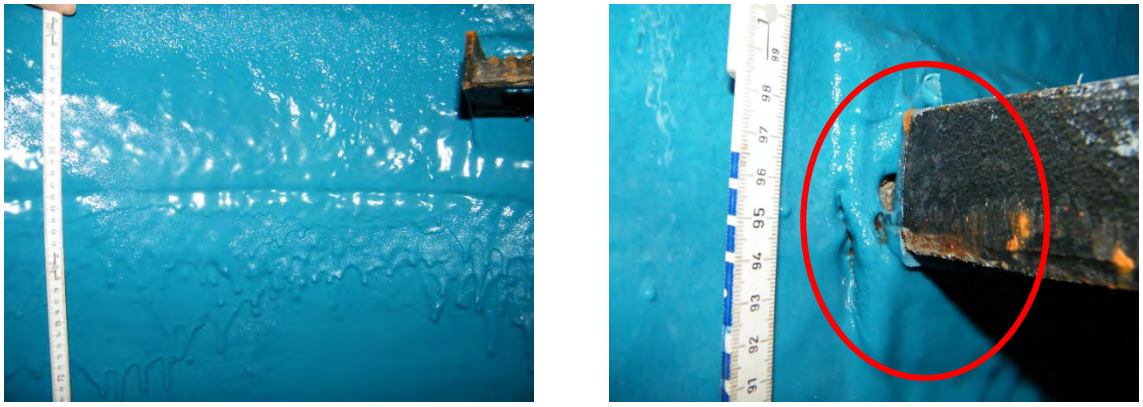


Bild 124 Zustand der Oldodur-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht einer Ringfuge mit Fließspuren des Materialauftrags (links), Beispiel für einen Steigeisen-Einbindebereich (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurden keine Auffälligkeiten an der Beschichtung festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert

- Bereich unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 3 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Blasenbildung ohne Infiltrationen (vgl. Bild 125, links)
- Bereich unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 9 Uhr: Blasenbildung und Wassereindrang durch Pinhole (vgl. Bild 125, rechts)
- Bereich oberer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 3 Uhr: Blasenbildung

Weitere Auffälligkeiten an bzw. Änderungen am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

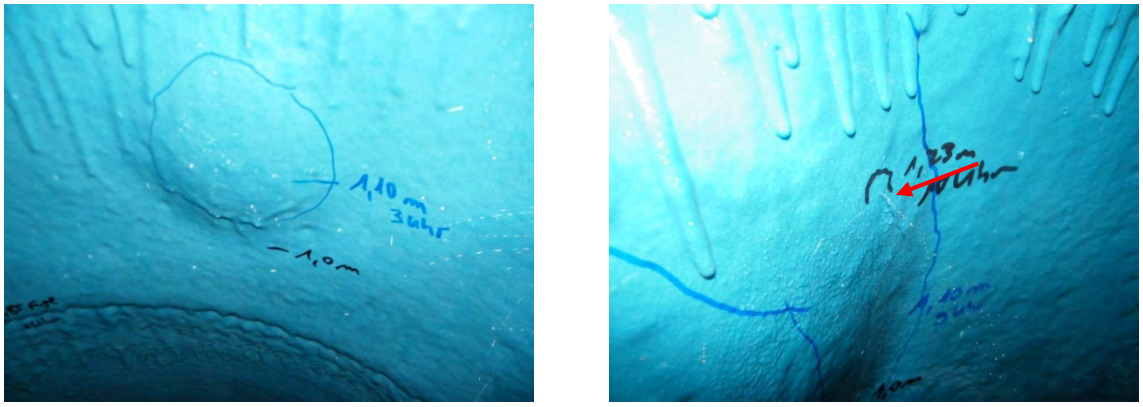


Bild 125 Oldodur-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Blasenbildung in Bereichen „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ ohne Infiltration (links) sowie Blasenbildung mit Infiltration durch Pinhole (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Nach dem Inspektionszeitpunkt für die Bewertung trat ein Versagen der Beschichtung (in der 10. Woche mit AWD-Belastung) an der Schadstelle „Flächiger Schaden mit Trennmittel“ auf:

- Bereich unterer „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ bei 3 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr): Blasenbildung mit Riss und stark infiltrierendes Wasser (vgl. Bild 126)

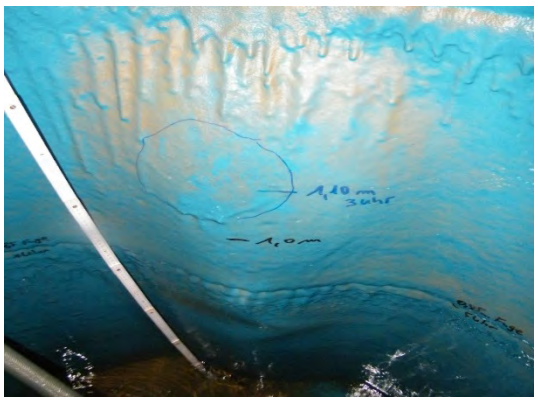


Bild 126 Oldodur-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m, Zeitraum nach Bewertungsinspektion: Blasenbildung im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ mit Riss und Infiltration

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen nicht genutzt.

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 127 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot =

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

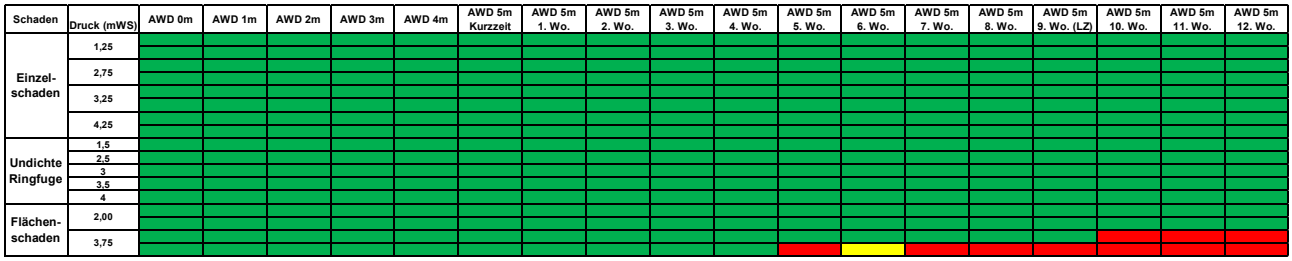


Bild 127 Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden an der Oldodur-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 85 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

Tabelle 85 Oldodur-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	nicht bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	2,0 N/mm² (17 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,0 N/mm² (Messerwert: 0,04 N/mm²)
Beschichtungsdicke	Mittel	6,1 mm
	kleinster Einzelwert	1,2 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.6.3 Versuchsergebnisse Spectrashield

In nachstehender Tabelle 86 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 86 Informationen zur Schachtsanierung

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 2 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Spectrashield
	Polyharnstoff Sandwich mit Polyurethan-Kern
Hersteller	CCI Spectrum Inc. USA, Jacksonville (Florida)
	Vertrieb Europa: FSB Bautechnik GmbH, Mettmann
Dienstleister Ausführung	BSG Beschichtungs GmbH, Düsseldorf
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch (Handlanze mit Rotationsdüse)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	500 bar / 19,9 l/min
Zeitaufwand	ca. 0,6 h
Arbeitsweise	Trocknen der Schachtwandung mit Heizlüfter und zusätzliches Trocknen der Ringfugen und Bohrlöcher mit Druckluft (ca. 2,0 h)
2) Sanierungsdurchführung	
Grundierung aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	handgeführte Sprühdüse
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	ja; Entfernen/Abschneiden von Polyurethanschaum-Beulen vor dem Auftragen der 2. Polyharnstoff-Schicht
Verbrauch	keine Angabe
Sanierungsdauer	ca. 1,7 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	nein
Oberflächenschutz (ja/nein)	nein
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	Reinigen der Steigeisen und Nachbessern von Fehlstellen mit Sprühdüse.
Zeitaufwand	0,6 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 2,9 h
Einsatztage vor Ort	1

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange mit Hochdruckwasserstrahlen (vgl. Bild 128, links) gestrahlt, bis der Zementschleier auf der Oberfläche in weiten Bereichen entfernt worden war und der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 128 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 128 Vor der Beschichtung mit Spectrashield: Hochdruckwasserstrahlen mittels handgeführter Lanze (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

In Bild 129 (links) ist das Ausprühen der ersten Polyharnstoff-Schicht dargestellt. Bild 129 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 129 Aufsprühen der ersten Polyharnstoff-Schicht (links), Blick in den mit Spectrashield beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers festgestellt.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung keine Hohlstellen an den zuvor eingefügten Flächenschäden zu vernehmen. Die Ringfugen und Schadstellen (Bohrlöcher) sind durch das Beschichtungsmaterial zu erkennen (vgl. Bild 130, links). Das Beschichtungsmaterial war an allen Steigeisen bündig angebunden (vgl. Bild 130, rechts).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

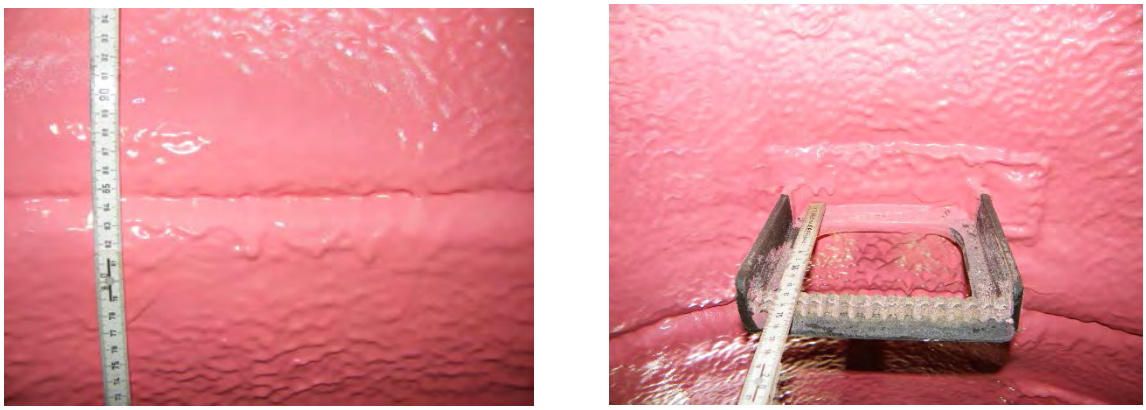


Bild 130 Zustand der Spectrashield-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ringfuge durch Beschichtung erkennbar (links), Beispiel für einen Steigeisen-Einbindebereich (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Bei einer AWD-Belastung von ca. 2,3 m löste sich das Beschichtungsmaterial von der Schachtwandung ab (vgl. Bild 131, links). Bei einem AWD von 5 m wurde eine Blasenbildung auf 3 Uhr (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr) bis 3,35 m und bei 9 Uhr bis 1,5 m über Schachtsohle festgestellt. Die Blasenbildungen begannen im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ und führten zu Zugspannungsüberschreitungen in der Beschichtung mit der Folge von Infiltrationen (vgl. Bild 131, rechts).

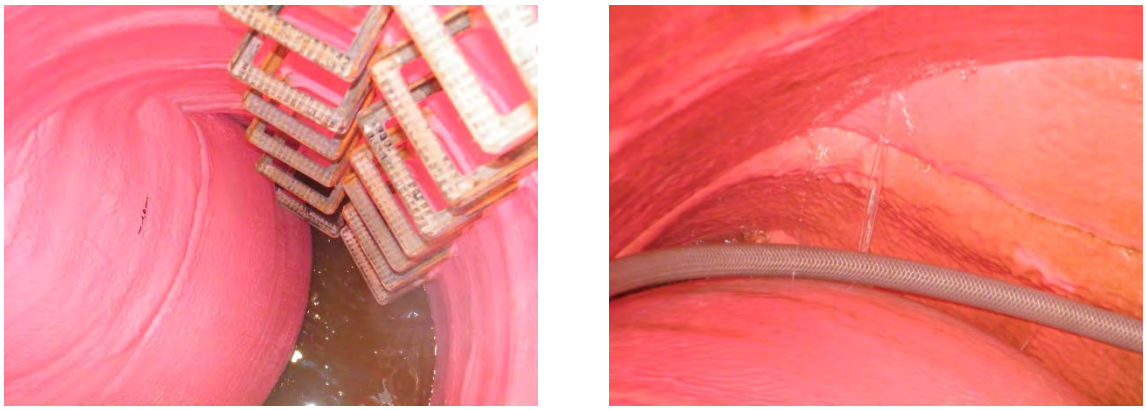


Bild 131 Spectrashield-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Blasenbildung bei einem AWD von 2,3 m (links) und infiltrierendes Wasser (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Blasenbildung auf 3 Uhr im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr) bis 3,20 m Höhe von Schachtsohle (vgl. Bild 132).
- Blasenbildung auf 9 Uhr im Bereich „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ (ausgehend vom Steiggang bei 12 Uhr) bis 3,45 m Höhe von Schachtsohle (vgl. Bild 132).

Bild 132 Spectrashield-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Blick in den beschichteten Schacht mit Blasen

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und folgende Bereiche mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

- Entfernen des von der Schachtwandung gelösten Materials (Blasen auf 3 und 9 Uhr). Anschließend Abdichtung der Schadstellen mit Injektionen und schnell-abbindendem Stopfmörtel. Auftragen einer neuen Beschichtung.

Bei der letzten Inspektion wurde nach der Reparatur folgender Zustand dokumentiert:

- Unterste Ringfuge bei 3 Uhr: Pinhole mit Fließfahne (vgl. Bild 133, links)

Im Vergleich zur Inspektion vor der Reparatur wurden keine erneuten Blasenbildungen festgestellt. Der Versuch, die Blasen bei anstehendem, maximalem Außenwasserdruck mit Injektionsmaterial abzudichten, kann als weitgehend erfolgreich betrachtet werden. Im unteren Schachtbereich war allerdings erneut ein Pinhole mit infiltrierendem Wasser vorhanden (vgl. Bild 133, links). Der Übergang vom reparierten Bereich zur alten Beschichtung ist deutlich zu erkennen. (vgl. Bild 133, rechts).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

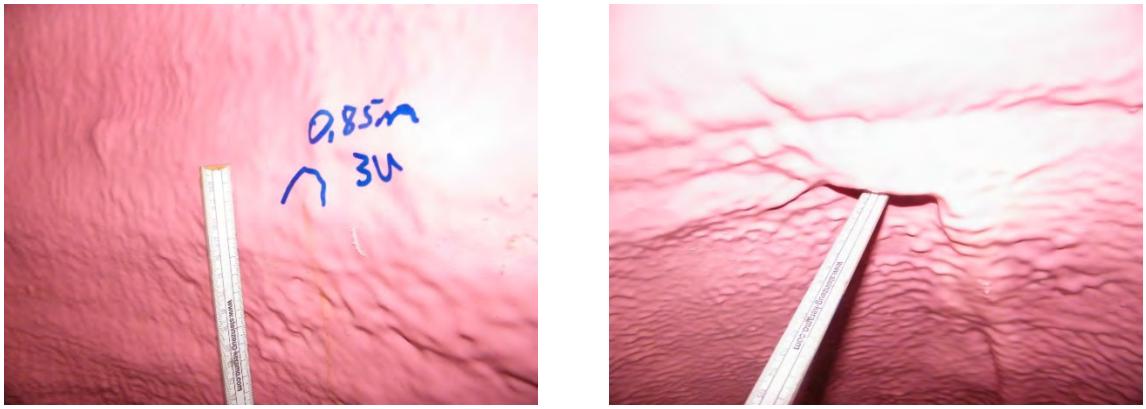


Bild 133 Spectrashield-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Ringfuge nach Reparatur mit Pinhole und geringfügigem Wassereindrang (links) und Übergangsbereich von neuer/alter Beschichtung (rechts)

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 136 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit). Aufgrund der o. g. massiven Blasenbildungen konnten bei der Spectrashield-Beschichtung ab 3 m AWD bis zum Zeitpunkt der Reparatur keine Aussagen über die Fremdwasser-Dichtheit an den einzelnen Schadstellen getroffen werden. Daher sind diese in blauer Farbe gekennzeichnet.

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,5																		
	2,5																		
	3																		
	3,5																		
	4																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		
																		Reparatur	

Bild 134 Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden an der Spectrashield-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 87 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 87 Spectrashield-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	0,3 N/mm² (9 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	0,2 N/mm²
Beschichtungsdicke (erste Lage)	Mittel	1,8 mm
	kleinster Einzelwert	1,5 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.6.4 Versuchsergebnisse Ultracoat

In nachstehender Tabelle 88 sind wesentliche Informationen zu dieser Schachtsanierung aufgelistet.

Tabelle 88 Informationen zur Schachtsanierung mit Ultracoat

Teilnehmer am Warentest	Sanierungsobjekt: Schacht Nr. 13 (vgl. Bild 47)
Sanierungssystem/-material	Ultracoat
	Epoxidharz
Hersteller	Warren Environmental
	Vertrieb Europa: Source One Environmental (UK)
Dienstleister Ausführung	Source One Environmental, Barnsley (UK)
1) Untergrundvorbereitung	
Art der Untergrundvorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, Einsprühen der Schachtwand mit Salzsäure (5 %-ig)
Durchführung der Untergrundvorbereitung	händisch (Handlanze)
Herstellerangaben zum Gerät (Druck / Durchfluss)	250 bar / keine Angabe
Zeitaufwand	ca. 0,8 h
Arbeitsweise	-
2) Sanierungsdurchführung	
Grundierung aufgebracht (ja/nein)	nein
Applikationstechnik (händisch/maschinell)	händisch
Ausführung (Geräte, Werkzeuge)	handgeführte Sprühdüse
Nachbearbeitung des Materials (ja/nein)	ja (Glätten)
Verbrauch	keine Angabe
Sanierungsdauer	ca. 1,3 h
3) Nacharbeiten	
Nachbehandlungsmittel (ja/nein)	ja
Oberflächenschutz (ja/nein)	ja, händisches Nacharbeiten von Pinholes
Abschließende Arbeiten (z. B. Aufräumarbeiten, ggf. Reinigung)	Aufräumarbeiten und Säuberung der Steigeisen von Beschichtungsmaterial
Zeitaufwand	1,5 h
4) Zusatzinformationen	
Gesamtzeit der Arbeiten	ca. 3,6 h
Einsatztage vor Ort	3
Zeit Tag 1	0,8 h
Zeit Tag 2	1,3 h
Zeit Tag 3	1,5 h

Nachfolgend sind Bilder mit den Ergebnissen von Untergrundvorbereitung und Schachtbeschichtung dargestellt.

Untergrundvorbereitung

Die Betonfertigteile wurden so lange mit Hochdruckwasserstrahlen (vgl. Bild 135, links) gestrahlt, bis der Schacht nach Ansicht der Mitarbeiter beschichtungsfähig war. Bild 135 (rechts) zeigt ein typisches Ergebnis der Oberflächenvorbereitung.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 135 Vor der Beschichtung mit Ultracoat: Hochdruckwasserstrahlen mittels handgeführter Lanze (links), Beispiel für das überwiegend im Schacht erzielte Ergebnis der Untergrundvorbereitung (rechts)

Beschichtungsarbeiten

In Bild 136 (links) ist das Ausprühen des Epoxidharzes dargestellt. Bild 136 (rechts) zeigt das Ergebnis der Beschichtungsarbeiten.

Bild 136 Aufsprühen des Ultracoat-Epoxidharzes (links), Blick in den beschichteten Schacht (rechts)

Auffälligkeiten bei der Sanierung

Bei der Beschichtung des Schachtes wurden keine Auffälligkeiten, wie z. B. fehlerhafte technische Ausrüstung oder grobe Missachtung von Vorgaben des Materialherstellers, festgestellt. Lediglich bei der Untergrundvorbereitung konnte der benzinbetriebene Druckerzeuger zunächst nicht gestartet werden. Nach ca. einer Stunde konnten die Sanierer den Druckerzeuger in Gang setzen und die Oberflächenvorbereitung beginnen.

Inspektionsergebnisse nach Sanierung (ohne Grundwasser)

Vor der Flutung des Versuchsstandes waren bei einem Abklopfen der Beschichtung nirgends Hohlstellen und auch keine Risse sowie Pinholes zu erkennen. Die Beschichtung zeigte bis auf die Bereiche der Ringfugen eine vergleichsweise glatte Oberfläche (vgl. Bild 137, links). Das Beschichtungsmaterial war an allen Steigeisen bündig angebunden (vgl. Bild 137, rechts) ebenso wie am Schachtboden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

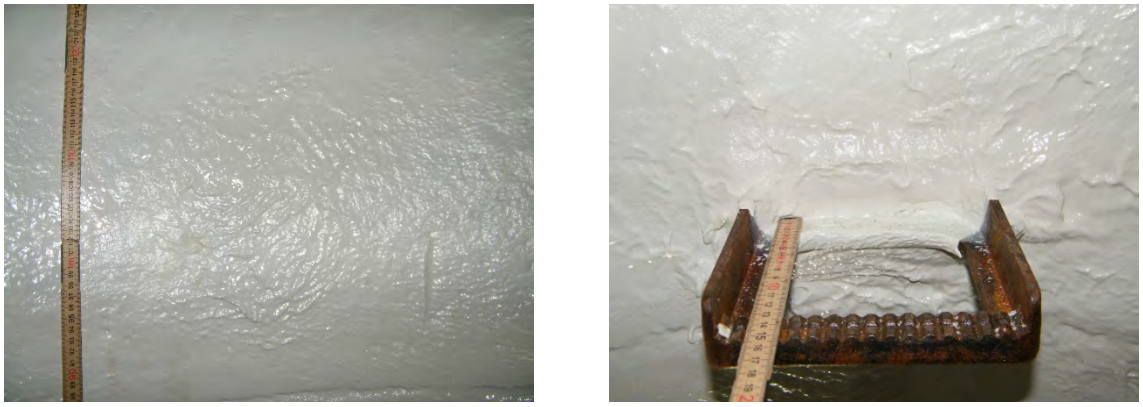


Bild 137 Zustand der Ultracoat-Beschichtung ohne Grundwassereinwirkung: Ansicht einer typischen Oberfläche ohne Auffälligkeiten (links), Beispiel für einen Steigeisen-Einbindebereich (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Kurzzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach Flutung des Versuchsstandes in 1-Meter-Schritten war nach ca. 2,5 Wochen der Maximalwasserstand erreicht, so dass die Sanierungssysteme nach Ablauf der Kurzzeitbelastung inspiziert werden konnten. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Unterste Ringfuge: Zwei Pinholes in der Beschichtung mit geringfügiger Infiltration (vgl. Bild 138, links)
- 3. Steigeisen von unten: Tropfenbildung (vgl. Bild 138, rechts)

Weitere Auffälligkeiten an der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

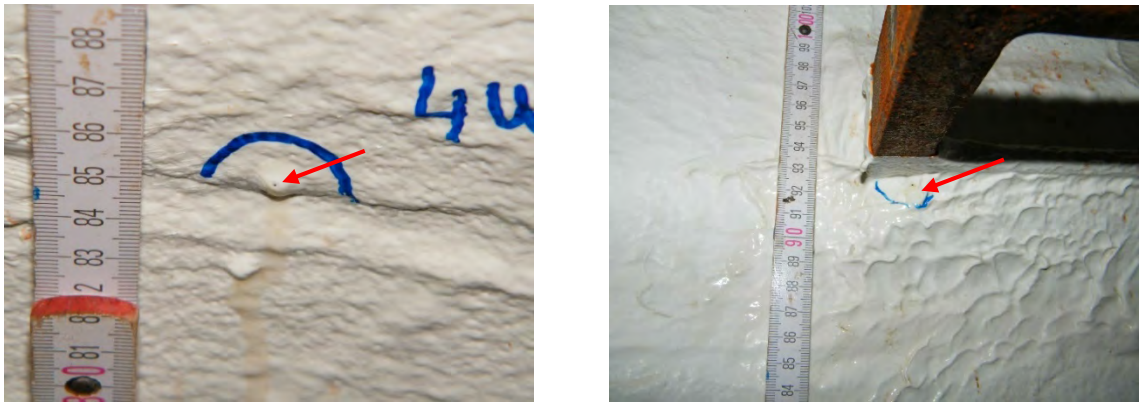


Bild 138 Ultracoat-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Kurzzeit AWD 5 m: Beispiele für ein Pinhole mit Wasserfließspur im Bereich der untersten Ringfuge (links), Tropfenbildung unterhalb eines Steigeisens (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Langzeit-AWD-Belastung 5 m

Nach zweimonatiger Haltezeit des Maximalwasserstandes wurden die Sanierungen abschließend für die Warentestbewertung inspiziert. Im Ergebnis wurde folgender Zustand dokumentiert:

- Unterste Ringfuge: Fünf Pinholes mit Infiltration (ca. 0,27 ml/min) oder Feuchtefahnen (vgl. Bild 139, links)
- Zwei Steigeisen: „Rostwasser-Fließspur“ (vgl. Bild 139, rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Weitere Auffälligkeiten am Zustand der Beschichtung wurden nicht festgestellt.

Bild 139 Ultracoat-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Beispiel für ein Pinhole mit Infiltration in der untersten Ringfuge (links), Fließspur unterhalb eines Steigeisens (rechts)

Inspektionsergebnisse nach Reparatur von Schadstellen bei AWD-Belastung 5 m

Der Materialhersteller bzw. die Sanierungsfirma hatte die vom Lenkungskreis gebilligte Option zur Reparatur (ab der 10. Woche AWD-Belastung) an ggf. vorhandenen Schadstellen genutzt und folgende Bereiche mit Wassereindrang bei anstehendem Außenwasserdruck bearbeitet:

- Versuch, mit Stopfmörtel und Polyurethanharzinjektion die unterste Ringfuge abzudichten

Bei der letzten Inspektion wurde nach der Reparatur folgender Zustand dokumentiert:

- Nachgearbeitete Pinholes in der untersten Ringfuge (vgl. Bild 140, links): Erhöhte Infiltrationsmenge von ca. 21,2 ml/min

Im Vergleich zur vorangegangenen Inspektion vor der Reparatur zeigten sich keine weiteren Zustandsveränderungen am Erscheinungsbild der übrigen Beschichtung. Der Versuch, die undichte Ringfuge bei anstehendem, maximalem Außenwasserdruck mit Injektionsmaterial abzudichten, kann aufgrund der erhöhten Infiltrationsmengen als nicht erfolgreich angesehen werden. Bild 140, rechts, zeigt einen abschließenden Blick in den beschichteten Schacht, ohne erkennbare Auffälligkeiten aus dieser Perspektive.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 140 Ultracoat-Beschichtung unter Grundwassereinfluss Langzeit AWD 5 m: Ringfuge nach fehlgeschlagener Reparatur mit Infiltration (links), abschließender Blick in den Schacht (rechts) ohne erkennbare Auffälligkeiten von oben

Entwicklung der Dichtheit

In Bild 141 sind Zustände und ggf. Veränderungen der Fremdwasser-Dichtheit in Abhängigkeit der Wasserhöhe in Meter über der jeweiligen Schadstelle abgebildet. Die Ergebnisse sind mittels Ampelfarben dargestellt, die mit Blick auf die gelbe Farbe noch in Gelb-Grün/Gelb/Gelb-Rot unterschieden werden (Rot = Infiltration, Gelb-Rot = Feuchtefleck mit Fließfahne > 40 cm, Gelb = Feuchtefleck ≥ 25 cm², Gelb-Grün = Feuchtefleck < 25 cm², Grün = keine Auffälligkeit).

Schaden	Druck (mWS)	AWD 0m	AWD 1m	AWD 2m	AWD 3m	AWD 4m	AWD 5m Kurzzeit	AWD 5m 1. Wo.	AWD 5m 2. Wo.	AWD 5m 3. Wo.	AWD 5m 4. Wo.	AWD 5m 5. Wo.	AWD 5m 6. Wo.	AWD 5m 7. Wo.	AWD 5m 8. Wo.	AWD 5m 9. Wo. (LZ)	AWD 5m 10. Wo.	AWD 5m 11. Wo.	AWD 5m 12. Wo.
Einzel-schaden	1,25																		
	2,75																		
	3,25																		
	4,25																		
Undichte Ringfuge	1,50																		
	3,00																		
	4,00																		
Flächen-schaden	2,00																		
	3,75																		

Bild 141 Darstellung der Dichtheits-Entwicklung aller Schäden an der Ultracoat-Beschichtung über die gesamte Versuchsdauer

Dichtheitsprüfungen, Haftzugprüfungen und Beschichtungsdicke

In Tabelle 89 sind die Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen (gem. DIN EN 1610 [40]) und Prüfungen der Haftzugfestigkeit (gem. DAfStb-Instandsetzungs-Richtlinie [37]) sowie der Schichtdicke dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 89 Ultracoat-Beschichtung: Ergebnisse von Dichtheitsprüfungen nach Sanierung und Versuchsende, Haftzugfestigkeiten der Beschichtung und Beschichtungsdicke

Kriterium		Ergebnisse
Dichtheitsprüfung	nach Sanierung	bestanden
	nach Versuchsende	bestanden
Haftzugprüfung	Mittel	3,5 N/mm² (14 Messwerte)
	kleinster Einzelwert	1,4 N/mm²
Beschichtungsdicke	Mittel	3,6 mm
	kleinster Einzelwert	3,0 mm

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.2.7 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Im Rahmen der unter vergleichbaren Randbedingungen durchgeführten Großversuche können für die untersuchten Auskleidungs- und Beschichtungssysteme Erkenntnisse mit Blick auf die nachstehenden Kriterien zusammengefasst werden:

- Auffälligkeiten bei den Sanierungsarbeiten,
- Dichtheit der Sanierungen,
- Hohllagen, Blasen-, Rissbildung oder Ablösung der Sanierungen,
- Robustheit der Sanierungen an provozierten Schwachstellen der Untergrundvorbereitung,
- Nacharbeiten von Mängeln an den Gewerken,
- Ergebnisse der Qualitätsprüfungen.

Insgesamt wurden 15 Schächte mit planmäßig eingebrachten Vorschädigungen, davon 13 Betonschächte mit einer Nennweite DN 1000 und zwei Betonschächte mit einem quadratischen Grundriss (Innenmaß 0,8 m), in den IKT-Großversuchsstand eingebaut. Diese sind nachfolgend mit den vom Projekt-Lenkungskreis ausgewählten Sanierungsverfahren bzw. -materialien ausgekleidet und beschichtet worden.
Bei der Sanierungsausführung durch die von den Systemanbietern empfohlenen Fachfirmen oder durch die Systemanbieter selbst konnten nur in geringer Anzahl **Auffälligkeiten** festgestellt werden.
Erwartungsgemäß erschienen die Firmen mit weitgehend arbeits- und gebrauchsfähiger Ausrüstung. Die Untergrundvorbereitung lag in der Verantwortung der ausführenden Firmen, es wurden keine Vorgaben gemacht. Im Ergebnis wurde von allen Firmen, die Auskleidungssysteme eingebaut haben, keine Untergrundvorbereitung an den neuwertigen Versuchsschächten durchgeführt. Die Beschichtungsfirmen hingegen verwendeten in acht von neun Fällen das Hochdruckwasserstrahlen, vereinzelt auch mit Zugabe von Abrasivstoffen. Je zur Hälfte kamen Druckerzeuger mit einer maximalen Leistung von 500 bar oder einer Leistung zwischen 250 und 385 bar zum Einsatz. In einem Fall wurde die Schachtwandung mittels Feststoffstrahlen vorbereitet.
In Einzelfällen versagten technische Geräte, wie z.B. ein Druckerzeuger für die Untergrundvorbereitung, eine automatische Mischeinheit, ein Kettenzug etc., die jedoch zeitnah (maximal bis zum folgenden Arbeitstag) durch die Mitarbeiter wieder instandgesetzt oder ausgetauscht werden konnten. Bei der Ausführung der Sanierungsarbeiten waren ebenfalls nur vereinzelt Auffälligkeiten zu bemerken. Hier ist im Wesentlichen aufzuführen, dass in einem Fall (im Beisein des Materialherstellers) die Wassermenge zum Trockenmörtel nicht abgemessen, sondern nach Augenmaß zugegeben worden ist. Darüber hinaus zeigte sich bei einer Kunststoff- und zwei Mörtelbeschichtungen ein erhöhter Materialauftrag im Vergleich zum Angebot bzw. erfahrungsgemäß üblichen Schichtdicken.
Nach dem Einbau der Sanierungssysteme und Berücksichtigung von Aushärtezeiten sowie Aufnahme der einzelnen Schachtzustände ohne Grundwasserbelastung wurde das Prüfprogramm zur Außenwasserdruckbelastung der Schächte gestartet. Mit Blick auf die Entwicklung der **Dichtheit** bzw. Undichtheit ergibt sich je nach Belastungsdauer und saniertem Schaden für die Materialien der Verfahrensgruppen folgendes Bild:

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Einzelschaden, Kurz- und Langzeitbelastung

An keinem der sanierten Einzelschäden zeigte sich über die gesamte Versuchsdauer eine Undichtheit. Offensichtlich ist es mit allen Systemen möglich, dieses Schadensbild zuverlässig abzudichten. Hier ist zu berücksichtigen, dass bei einer Kunststoffbeschichtung keine Aussagen möglich waren, da sich das Material – ausgehend vom Schadensbild „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ – großflächig von der Schachtwandung ablöste.

Schadensbilder – Undichte Ringfuge, Kurzzeitbelastung

Die *zementgebundenen Mörtelbeschichtungen* zeigen hier eine vergleichsweise breite Spanne bzgl. der Dichtwirkung. Bei jeweils zwei Materialien waren keine bzw. lediglich eine Undichtheit in Form von Feuchteflecken geringer Ausdehnung an der obersten Ringfuge vorzufinden. An einem Material waren drei Ringfugen mit Feuchteflecken von geringer Ausdehnung aufgefallen, überwiegend im unteren Schachtbereich.

An der *silikatgebundenen Mörtelbeschichtung* waren die vier unteren Ringfugen auffällig – hier waren Feuchteflecken an den unteren drei Ringfugen vorhanden und eine Fließfahne an der obersten, somit geringfügig undichten Ringfuge.

Bei den *maschinell applizierten Mörtelbeschichtungen* (zementgebunden) in den Rechteckschächten wurde aus verfahrens- sowie versuchstechnischen Gründen dieses Schadensbild nicht in die Versuchskörper eingebaut.

Bei den drei unterschiedlichen *Kunststoffbeschichtungen* ergibt sich folgendes Bild: Bis auf die unterste Ringfuge der Epoxidharzbeschichtung – hier war eine geringfügige Infiltration bedingt durch ein nicht nachgearbeitetes Pinhole vorhanden – zeigten sich die Ringfugen unauffällig. Hier ist wiederum zu berücksichtigen, dass bei einer Kunststoffbeschichtung keine Aussagen möglich waren, da sich das Material – ausgehend vom Schadensbild „Flächiger Schaden mit Trennmittelauftrag“ – großflächig von der Schachtwandung ablöste.

Drei von vier *Auskleidungssystemen* zeigten keine Undichtheiten an den Bereichen der geschädigten Ringfugen. Im Gegensatz dazu wiesen vier von fünf überlaminierten Ringfugen Undichtheiten in dem mittels Handlaminat sanierten Schacht auf. Die Bandbreite des Wassereindrangs reichte hier von Feuchteflecken unterschiedlicher Ausdehnung bis hin zur Infiltration. Lediglich die Ringfuge mit der zweithöchsten Wasserbelastung war dicht.

Schadensbilder – Undichte Ringfuge, Langzeitbelastung

An den *zementgebundenen Mörtelbeschichtungen* zeigte sich in der Summe eine nur geringfügige, weitere Verschlechterung der Dichtwirkung an den Ringfugen im Vergleich zur Kurzzeitbelastung. An zwei bereits vorhandenen Feuchtefahnen in einem Schacht war eine Vergrößerung ihrer Ausdehnung erkennbar, lediglich ein Feuchtfleck an einer Ringfuge ist in einem zweiten Schacht neu entstanden.

Im Schacht mit der *silikatgebundenen Mörtelbeschichtung* ist auch an der obersten Ringfuge schließlich ein Feuchtefleck entstanden.

Im Gesamtblick zeigten die *Kunststoffbeschichtungen* ebenso wie die *Auskleidungen* an den Ringfugen während der Langzeitbelastung keine Veränderungen im Vergleich zur Kurzzeitbelastung.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Im Ergebnis sind diese Undichtheiten tendenziell bei den Sanierungssystemen aufgefallen, die zum einen adhäsiv am Untergrund befestigt sind (Mörtel-, Kunststoffbeschichtungen und Handlaminat) und zum anderen mit vergleichsweise geringeren Materialstärken ausgeführt wurden. Darüber hinaus lässt sich mit Blick auf die Intensität der Undichtheit keine Gesetzmäßigkeit, z.B. die Höhe des Außenwasserdrucks betreffend, ableiten. Im Umkehrschluss wird somit allerdings die Notwendigkeit des Fugen-Verschlusses (ggf. Vorabdichtung und Reprofilierung) vor Auftragen dieser o.g. Sanierungssysteme deutlich. Auch vor dem Hintergrund, dass drei Materialien (zwei Mörtelbeschichtungen und ein Kunststoffsystem) hier keine Auffälligkeiten zeigten, ist die Durchführung dieser vorbereitenden Arbeiten stets als sinnvoll anzusehen und zu empfehlen.

Im Zuge der regelmäßigen, wöchentlichen Schachtkontrollen wurden alle Sanierungssysteme optisch und akustisch inspiziert. Hier lag der Fokus auf dem Finden und Dokumentieren von ggf. vorhandenen **Hohlstellen, Rissen, Blasen, Ablösungen** etc., die Hinweise auf Verbundschwächen bzw. -verluste oder Zugspannungsüberschreitungen im Material geben.
Abseits der planmäßig vorgeschädigten Bereiche (vgl. Robustheit) zeigten sich lediglich an zwei Mörtelbeschichtungen Risse im Material und hohl liegende Bereiche ohne Materialverbund zum Untergrund. Die Risse, einhergehend mit Hohllagen, waren überwiegend in ungeschädigten Bereichen des Schachtes vorzufinden, lediglich in einem Fall auch an einer Ringfuge. Dies betrifft die Mörtelbeschichtungen mit den vergleichsweise geringsten Materialstärken. Die weiteren Sanierungssysteme waren ohne Auffälligkeiten.
Mit dem Kriterium **Robustheit** wurde die Eigenschaft bzw. Fähigkeit der Materialien zur Kompensation von Verarbeitungsfehlern überprüft. Hier stand insbesondere die Simulation einer lokal begrenzten, unzureichend ausgeführten Untergrundvorbereitung im Vordergrund. In diesem Zusammenhang sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Sanierungsmaterialien prinzipiell nicht dafür entwickelt wurden bzw. ausgelegt sind, Verarbeitungsfehler auszugleichen. Dennoch sind Unterschiede mit Blick auf dieses Materialverhalten zwischen den untersuchten Produkten vorhanden. Ggf. können diese bei der Auswahl eines Beschichtungsmörtels berücksichtigt werden.
Alle sechs *Mörtelbeschichtungen* in den runden Betonschächten zeigten Auffälligkeiten an diesen präparierten Bereichen, allerdings in unterschiedlicher Ausprägung und Anzahl. Die Hälfte der Beschichtungen wies an lediglich einer von vier Stellen im Schacht eine Undichtheit auf, die andere Hälfte war an drei bzw. vier von vier Stellen undicht. Dabei war der Feuchteeindrang ebenfalls gleichverteilt durch Risse oder aber als Durchfeuchtung aufgetreten. Infiltrationen waren nicht vorhanden und Hohlstellen überwiegend nicht zu erkennen.
Bei den *Kunststoffbeschichtungen* aus Polyurethan und Polyharnstoff wurden insgesamt an sieben von acht Schadensbildern Auffälligkeiten in Form von Hohllagen und übermäßigen Verformungen festgestellt. An vier dieser sieben Auffälligkeiten führten diese Blasenbildungen in der Folge zu Undichtheiten.

Hingegen zeigten sich an der Kunststoffbeschichtung aus Epoxidharz ebenso keine Auffälligkeiten wie an den *Auskleidungen*.

Während der Versuchslaufzeit mit Außenwasserdruckbelastung zeigten sich unterschiedliche Formen von Undichtheiten an mehreren Sanierungssystemen. Den Verfahrens-/Materialherstellern und Sanierungsfirmen wurde die Möglichkeit zur Inspektion ihrer Gewerke mit der Option zu **Nacharbeiten** gegeben. Die Mehrzahl der

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Sanierungsbeteiligten machte von der Möglichkeit zur Inspektion Gebrauch und in sechs Schächten wurden Nacharbeiten an Stellen mit Undichtheiten und Rissen vorgenommen.

Im Ergebnis waren insbesondere die an den Oberflächen der auffälligen Mörtelbeschichtungen durchgeführten Maßnahmen weitgehend wirkungslos mit Blick auf Durchfeuchtung bzw. Wassereindrang. Lediglich eine kurzfristige, optische Verbesserung bzw. Trocknung der Oberfläche wurde hier erreicht. In einem Fall konnte somit allerdings auch ein positives Ergebnis für die Dichtwirkung (bestandene Füllstandsprüfung) herbeigeführt werden. In gleicher Weise war dies auch bei dem Handlaminat möglich.

Im Fall der weitgehend neu eingebauten Polyharnstoffbeschichtung bei umfangreicher Vorabdichtung der Schadstellen entstand ein nahezu mängelfreies Gewerk. Allerdings zeigte sich bei der abschließenden Untersuchung eine geringfügige Infiltration durch ein Pinhole an der untersten Ringfuge.

Die Ergebnisse von **Qualitätsprüfungen** mit Blick auf die Haftzugfestigkeit, Dichtheit und Material-/Schichtdicke zeigen folgendes Bild:

Die mittlere **Haftzugfestigkeit** der adhäsiv am Untergrund befestigten Sanierungssysteme (Mörtel- und Kunststoffbeschichtungen sowie das Handlaminat) weist für die *Mörtelbeschichtungen* in den runden Betonschächten ein vergleichsweise einheitliches Bild auf. Sie liegt in einem Bereich von 1,2 bis 2,2 N/mm². Der höchste Mittelwert wurde in dem Schacht gemessen, dessen Betonuntergrund mittels Feststoffstrahlen vorbereitet wurde und somit die vergleichsweise strukturierteste Oberfläche besaß. Anforderungen üblicher Regelwerke liegen bei Mittelwerten von 1,0 bzw. 1,5 N/mm². Mit Blick auf die Anforderung bzgl. des Mittelwerts von 1,5 N/mm² sollen des Weiteren kleinste Einzelwerte nicht unter 1,0 N/mm² liegen. Allerdings sind bei der Mehrzahl der Systeme auch Bereiche geprüft worden, in denen nur sehr geringe Einzelwerte (Größenordnung von 0,1 N/mm²) gemessen wurden. Dieses zweite Kriterium aus den Anforderungen wird somit häufig nicht erfüllt.
In den quadratischen Betonschächten mit den angeschleuderten Mörtelbeschichtungen lagen die Haftzugfestigkeiten im Mittel bei 1,8 und 2,3 N/mm² mit kleinsten Einzelwerten von 0,4 und 1,4 N/mm².
Bis auf die Polyharnstoffbeschichtung mit einem Mittelwert von 0,3 N/mm² lagen die Mittelwerte der Haftzugfestigkeit der weiteren *Kunststoffbeschichtungen* und des Handlaminats bei 2,0 N/mm² (Polyurethanbeschichtung und Handlaminat) und 3,5 N/mm² (Epoxidharzbeschichtung).
An zwei *Auskleidungssystemen* ist auch eine Oberflächenzugfestigkeit ermittelt worden. Für das Herauslösen der PE-HD-Auskleidung aus dem Mörteldämmer wurde eine Auszugsfestigkeit von 0,4 N/mm² festgestellt, das Handlaminat, mit welchem die Schraubköpfe der rückverankerten Auskleidung verschlossen wurden, löste sich im Mittel bei 1,6 N/mm².

Die **Dichtheitsprüfung** der sanierten Schächte wurde zweimal durchgeführt. Die erste Prüfung erfolgte nach Fertigstellung der Gewerke, die zweite Prüfung nach Abschluss der Außenwasserdruckbelastung. Das Ergebnis der ersten Messung zeigte, dass zwei Sanierungen als „nicht bestanden“ zu werten waren. Diese beiden Sanierungen haben dann aber die zweite Füllstandsprüfung, allerdings erst nach den Reparaturarbeiten, „bestanden“. Bei dieser Abschlussprüfung war lediglich eine Kunststoffbeschichtung

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

undicht. Bei dieser waren zum Ende der Außenwasserdruckbelastungen deutliche Infiltrationen aufgetreten, die nicht nachgearbeitet worden waren.

Die mittleren **Schichtdicken** der *Mörtelbeschichtungen* in den runden Betonschächten weisen eine Bandbreite von 8,7 bis 19,9 mm auf, in den beiden quadratischen Betonschächten liegen diese bei 7,0 und 18,7 mm. Tendenziell waren weniger Auffälligkeiten an den Mörtelbeschichtungen mit höheren Materialdicken vorhanden. Bei den *Kunststoffbeschichtungen* wurden für die Schichtdicken Mittelwerte zwischen 1,8 und 6,1 mm gemessen (bei dem mehrlagigen System nur Messung der untersten Lage).
Die gemessenen Laminatdicken der *Auskleidungen* (Handlaminat und überlaminierte Schraubköpfe des rückverankerten Systems) liegen bei 3,0 und 4,6 mm.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

6.3 Kunststoffschächte im Maßstab 1:1 (Großversuche im MFV)

6.3.1 Veranlassung, Zielstellung und Prüfprogramm

Bei einer Baumaßnahme in Hagen kam es zu Schäden an den dort verbauten Kunststoffschächten der Fa. Romold in Form von Beulen und Rissen im unteren Bereich der Schachtbauwerke (vgl. Abschnitt 7.6). Der Wirtschaftsbetrieb Hagen stellte sich nun die Frage, wie es zu diesen Schäden kommen konnte. Es wurde vermutet, dass es sich um Schäden handelt, welche bereits in der Bauphase entstanden waren. Im Vordergrund standen hierbei Belastungen durch Baustellenfahrzeuge.

Grundsätzlich rät der Hersteller dringend vom direkten Befahren eines Kunststoffschachtes mit Baustellenfahrzeugen ab. Es ist immer eine Entkopplung der Verkehrslast vom Schachtkonus vorzusehen. Dies kann jedoch im Baustellenbetrieb nicht immer umfänglich sichergestellt werden. Beispielsweise kann es vorkommen, dass Stahlplatten zur Schachtüberfahrt direkt auf den Konus gelegt werden. Auch besteht die Gefahr, dass Baustellenfahrzeuge auf unbefestigtem Gelände recht nah an einem Schachtbauwerk vorbeifahren.

Im Rahmen des Projektes wurden daher diese Lastzustände untersucht, welche im Baustellenbetrieb bei Unachtsamkeit des Personals vor Ort auf Schächte einwirken können. Außerdem wurde geprüft, ob Messungen mit dem MAC-System (vgl. Abschnitt 8.2) Zonen unzureichender Verdichtung lokalisieren können. Auch diese können zu Schäden am Schachtbauwerk führen.

Da die in Hagen verbauten Kunststoffschächte der Fa. Romold nicht mehr lieferbar sind, wurde das derzeit aktuelle Modell für die Prüfungen verwendet. Zum Vergleich und zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit wurden auch Kunststoffschächte der Fa. Wavin dem Testprogramm unterzogen.

Der Schwerpunkt der in diesem Projekt durchgeführten Versuche lag in der Simulation des Baustellenverkehrs unter extremen Bedingungen zur Beurteilung von Sicherheitsreserven bei möglichen Fehlbelastungen im Baustellenbetrieb.

Zunächst wurde die Überfahrt eines Baustellenfahrzeugs über den Schachtkonus ohne Lastentkopplung geprüft. Um hierbei den Worst-Case zu untersuchen, wurden diese Versuche ohne das Bettungsmaterial, also den stützenden Bodenkörper, durchgeführt.

Außerdem wurden Schachtbauwerke im mittelformatigen Versuchsstand des IKT in ein Kies-Sand-Gemisch eingebaut. Dann wurde auf der Bodenoberkante über eine direkt über der Konusschräge angeordnete Lastplatte eine Kraft zur Simulation der Vorbeifahrt eines Baustellenfahrzeugs eingeleitet.

Schließlich wurden an den eingeerdeten Schachtbauwerken Versuche mit dem MAC-System bei unterschiedlichen Verdichtungssituationen durchgeführt. Hier wurde die Verdichtung in der Schachtumgebung von allseitig gut über halbseitig schlecht bis hin zu allseitig schlecht variiert.

Zusammenfassend wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Prüfung der Überfahrt eines LKW über den Schachtkonus ohne Lastentkopplung (vgl. Abschnitt 6.3.2),
- Prüfung der Vorbeifahrt eines LKW an der Geländeoberkante im Bereich der Konusschräge ohne Lastverteilungsplatte (vgl. Abschnitt 6.3.3.1) und

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- MAC-Prüfungen zur Ermittlung der Gesamtsteifigkeit bei unterschiedlichen Verdichtungssituationen (vgl. Abschnitt 6.3.3.2).

6.3.2 Prüfung von Kunststoffschächten ohne umgebenden Boden

Zur Prüfung der Überfahrt eines Baustellenfahrzeugs über den Schachtkonus ohne Lastentkopplung wurden die aus Unterteil, Schachtring und Konus bestehenden Schachtbauwerke unter dem 1MN-Portal des IKT positioniert und über einen Hydraulikzylinder belastet. Hierbei wurde die Last nicht zentrisch in den Schachthals eingeleitet, sondern diejenige Laststellung ausgewählt, welche einerseits die maximalen Spannungen in der Kraftübertragungsfläche einleitet und andererseits auch das Bauwerk kritisch belastet. Die maximale Spannung tritt nach [46] bei einer Exzentrizität von 20 cm auf. Ungünstig wirkt sich diese Lastverschiebung aus, wenn sie in Richtung der Konusschräge erfolgt.

Die angestrebte Maximalkraft wurde in Anlehnung an den DIN Fachbericht 101 [47] ausgewählt. Hier wird für einen Lastkraftwagen eine maximale Radlast von 120 KN angegeben. Daher wurden folgende Laststufen in den Versuchen vorgesehen: 10 KN, 30 KN, 50 KN, 70 KN, 90 KN und 120 KN.

Bild 142 zeigt den Versuchsaufbau für die beiden untersuchten Kunststoffschächte. Messtechnisch erfasst wurden die vertikalen Verformungen über die gesamte Höhe des Schachtes zum einen auf der lastzugewandten Seite und zum anderen auf der lastabgewandten Seite an der Einstiegsöffnung.

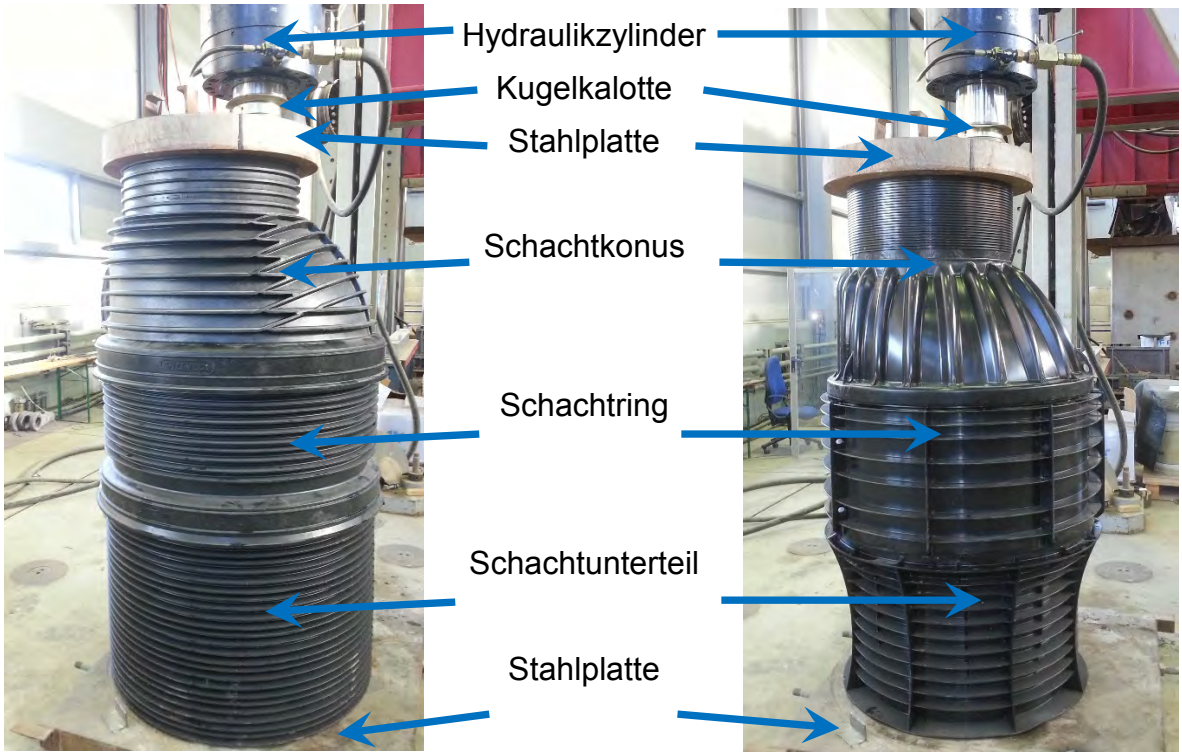


Bild 142 Versuchsaufbau: Wavin PE-Schacht (links) und Romold PE-Schacht (rechts), Exzentrizität der Lasteinleitung jeweils 20 cm

Zunächst wurde der Wavin PE-Schacht der Prüfung unterzogen. Die Prüfergebnisse sind im Bild 143 dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

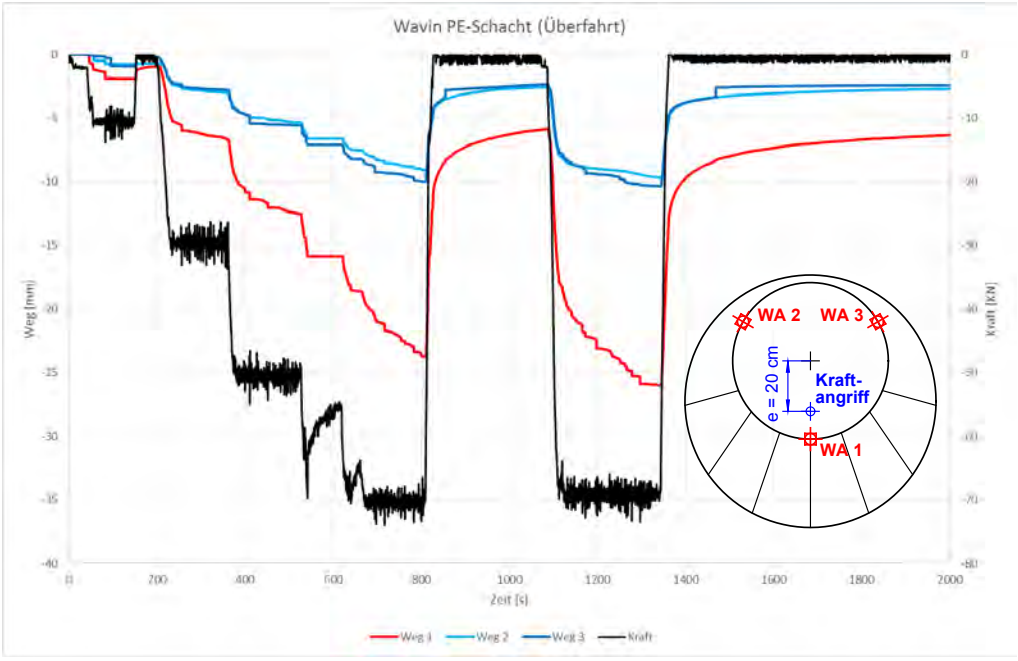


Bild 143 Ergebnisse Wavin PE-Schacht – Überfahrt
Weg 1 = Vertikalverformung auf der lastzugewandten Seite
Weg 2/3 = Vertikalverformung auf der lastabgewandten Seite

Durch die zunächst angefahrenen 10 KN wurden die Einzelteile des Schachtes kraftschlüssig zusammengefügt. Bei den dann folgenden Laststufen mit 30 und 50 KN war deutlich die Zunahme der Vertikalverformung zu beobachten. Jedoch klangen die Kriecheffekte im Rahmen der Haltezeit der Kraft von zwei Minuten deutlich ab. Bei einer Kraft von 70 KN nahm die Verformung im Rahmen der Haltezeit schnell weiter zu. Um diesen Effekt zu bestätigen, wurde nach einer kurzen Entlastung die Last von 70 KN erneut aufgebracht und dann konstant gehalten. Auch hier war nach Ende der Haltezeit von ca. drei Minuten kein Ende der Verformungszunahme zu erkennen. Zudem kam es zu einer erheblichen Schiefstellung der Lasteinleitungsplatte aufgrund der unterschiedlichen Verformungen (Bild 144). Hier scheint also eine Grenze des Systems erreicht worden zu sein.

Bild 144 Ergebnis der Versuche zur Überfahrt am Wavin PE-Schacht – erhebliche Schiefstellung der Lastplatte auf der lastabgewandten Seite

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bei einer Verformung von 26 mm wurde der Probekörper entlastet. Infolgedessen ging die Verformung auf etwa 7 mm zurück. Optisch waren keine Schäden oder Veränderungen zu erkennen. Daraufhin wurde die Kraft nochmals auf den Schacht aufgebracht. Zunächst bis zu einer Maximallast von 80 KN, welche jedoch aufgrund der schnellen Verformungszunahme wieder zurückgenommen wurde. Schließlich wurde eine Kraft von 50 KN, welche einer Radlast eines SLW 30 entspricht, für zwei Stunden auf dem Schachtbauwerk konstant gehalten. Infolgedessen erhöhte sich die Vertikalverformung von anfangs 20 mm auf über 32 mm. Ein endgültiges Abklingen der Verformungszunahme trat nicht ein (Bild 145).

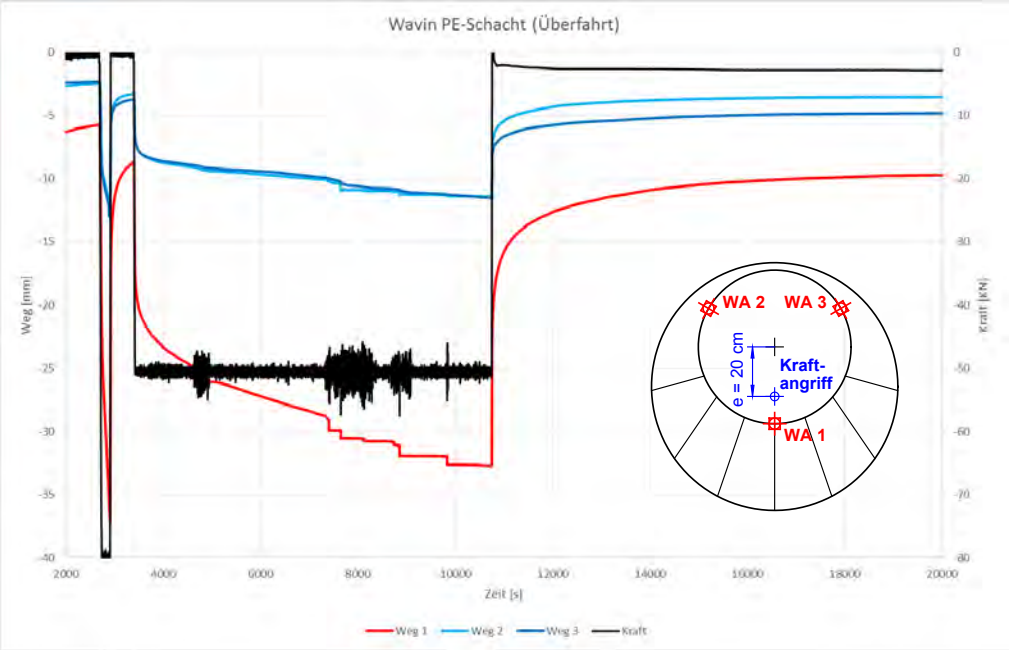


Bild 145 Ergebnisse Wavin PE-Schacht - Halten
Weg 1 = Vertikalverformung auf der lastzugewandten Seite
Weg 2/3 = Vertikalverformung auf der lastabgewandten Seite

Anschließend sollte der PE-Schacht der Fa. Romold demselben Prüfprogramm unterzogen werden. Jedoch kam es bereits bei einer Kraft von 50 KN zu größeren vertikalen Verformungen als bei dem Schacht der Fa. Wavin. Die Ergebnisse sind in Bild 146 zusammengestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

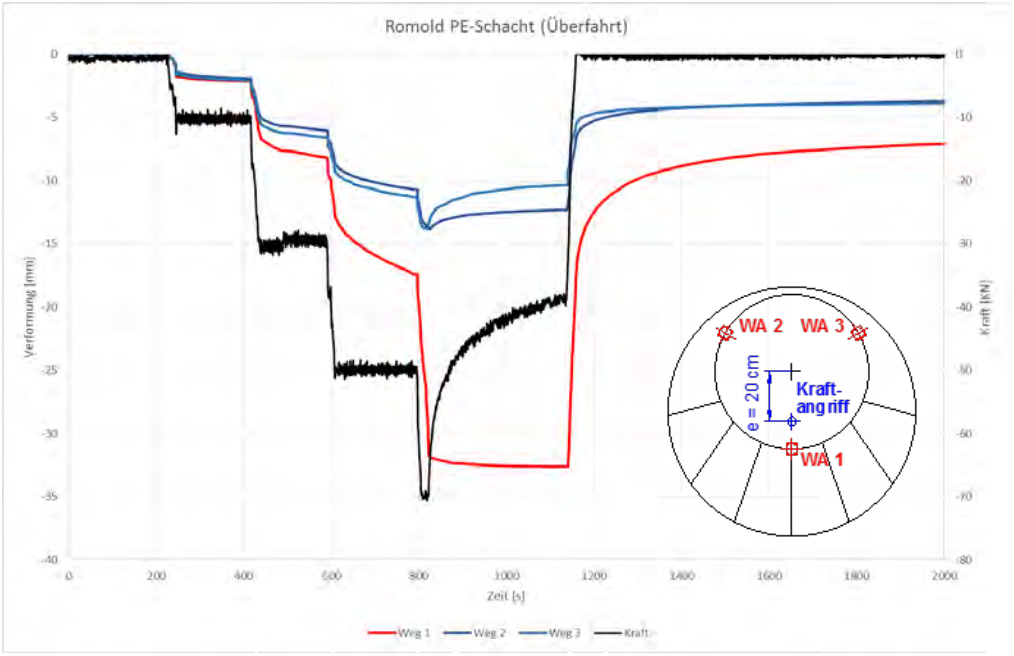


Bild 146 Ergebnisse Romold PE-Schacht - Überfahrt
Weg 1 = Vertikalverformung auf der lastzugewandten Seite
Weg 2/3 = Vertikalverformung auf der lastabgewandten Seite

Die Laststufe 70 KN musste nach sehr kurzer Haltezeit abgebrochen werden, da ein Versagen des Systems zu befürchten war. Zum einen konnte ein Beulen des oberen Abschnitts des Schachtkonus beobachtet werden und zum anderen kam es zu einer erheblichen Schiefstellung der Lastplatte bei klaffender Fuge auf der lastabgewandten Seite (Bild 147).

Bild 147 Ergebnis der Versuche zur Überfahrt am Romold PE-Schacht – Beulen des oberen Abschnitts des Schachtkonus´ und erhebliche Schiefstellung der Lastplatte bei klaffender Fuge auf der lastabgewandten Seite

Zudem waren nach Entlastung „Spannungsverfärbungen“ im Übergang zum Schachthals zu erkennen (Bild 148). Hier musste demnach davon ausgegangen werden, dass

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

bleibende Schäden am Material vorlagen. Auf eine weitere Belastung dieses Schachtes wurde daher verzichtet.

Bild 148 Ergebnis der Versuche zur Überfahrt am Romold PE-Schacht - „Spannungsverfärbungen“ im Übergang zum Schachthals

Ergebnisse der Versuche zur Überfahrt:

Im Ergebnis zeigten beide Schachttypen deutliche Vertikalverformungen infolge einer Belastung auf dem Schachthals. Zwar scheint der PE-Schacht der Fa. Wavin die Belastungen etwas besser aufnehmen zu können, jedoch sind auch hier bleibende Verformungen und Kriecheffekte über längere Zeiträume auch bei Belastung mit einem SLW 30 zu beobachten. Die einmalige Überfahrt eines SLW 30 kann vermutlich noch als unkritisch angesehen werden.

Dennoch sind, wie auch bei beiden Schachttypen vom Hersteller empfohlen, direkte Belastungen auf dem Schachthals durch den Baustellenverkehr unbedingt zu vermeiden. Es empfiehlt sich, Elemente zu verwenden, die eine Entkopplung und somit eine Ableitung der Belastung in den umgebenden Boden ermöglichen.

Reserven der Systeme gegenüber dieser Belastungsart scheinen nicht nennenswert vorhanden zu sein.

6.3.3 Prüfung von Kunststoffschächten mit umgebendem Boden

6.3.3.1 Vorbeifahrt eines LKW

Ein weiterer Lastfall bei der Untersuchung von Systemreserven im Baustellenbetrieb ist die Vorbeifahrt eines Baustellenfahrzeugs auf unbefestigter Oberfläche. Besonders kritisch ist hier die Fahrt über die Konusschräge.

Zur Untersuchung dieser Vorbeifahrt wurden die Kunststoffschächte der Firmen Wavin und Romold im mittelformatigen Versuchsstand des IKT in ein gut verdichtetes Kies-Sand-Gemisch eingebaut. Über eine Stahlplatte sollte dann zur Simulation der Radlasten mittels eines Hydraulikzylinders zehnmal eine Kraft von 120 KN eingeleitet werden, welche nach DIN Fachbericht 101 [47] als maßgeblich für die LKW-Überfahrt angesehen wird. Der Versuchsaufbau ist im Bild 149 skizziert. Bild 150 zeigt die Verdichtung des Versuchsbodens mit einer Rüttelplatte und den fertiggestellten Versuchsaufbau.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

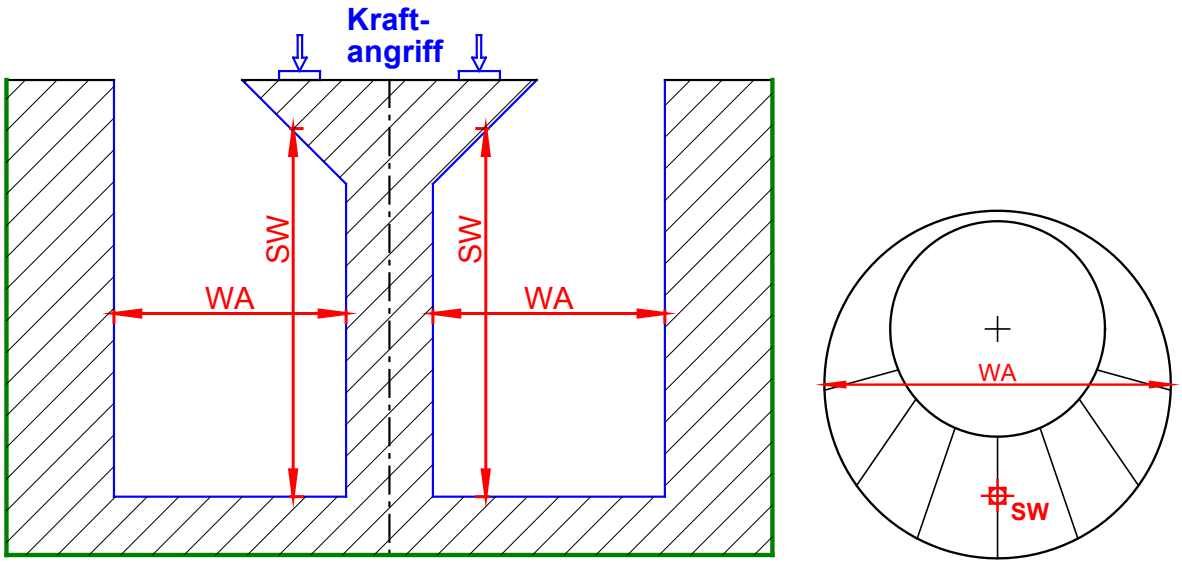


Bild 149 Skizze des Versuchsaufbaus: Schachtbauwerke im Versuchsstand mit Messtechnik - Schnitt (links) und Lage der Messtechnik in der Draufsicht (rechts)

Bild 150 Versuchsaufbau: Verdichtung des Bodens mit Rüttelplatte (links); Fertig aufgebauter Versuchsstand mit Einrichtung zur Lasteinleitung und Messwerterfassung im Vordergrund (rechts)

Bild 151 zeigt im Detail die Konstruktion zur Lasteinleitung mit Hydraulikzylinder, Handpumpe, Kraftmessdose und Stahlplatte zur Einleitung der „Radlast“.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bild 151 Versuchsaufbau: Einrichtung zur Lasteinleitung mit Hydraulikzylinder und Kraftmessdose (Detail)

Aufgrund des deutlichen Einsinkens der Lastplatte bei 120 KN, wurde die Belastung für die Wiederholungszyklen auf ca. 105 KN reduziert.

Bild 152 zeigt die Ergebnisse dieser Belastungsversuche für den Kunststoffschacht der Fa. Wavin. Deutlich sind sowohl Vertikalverformungen im Bereich der Konusschräge, als auch horizontale Deformationen feststellbar. Diese lagen bei der Vertikalverformung bei etwa 8 mm. Optisch waren keine Auffälligkeiten am Schachtbauwerk der Fa. Wavin zu erkennen.

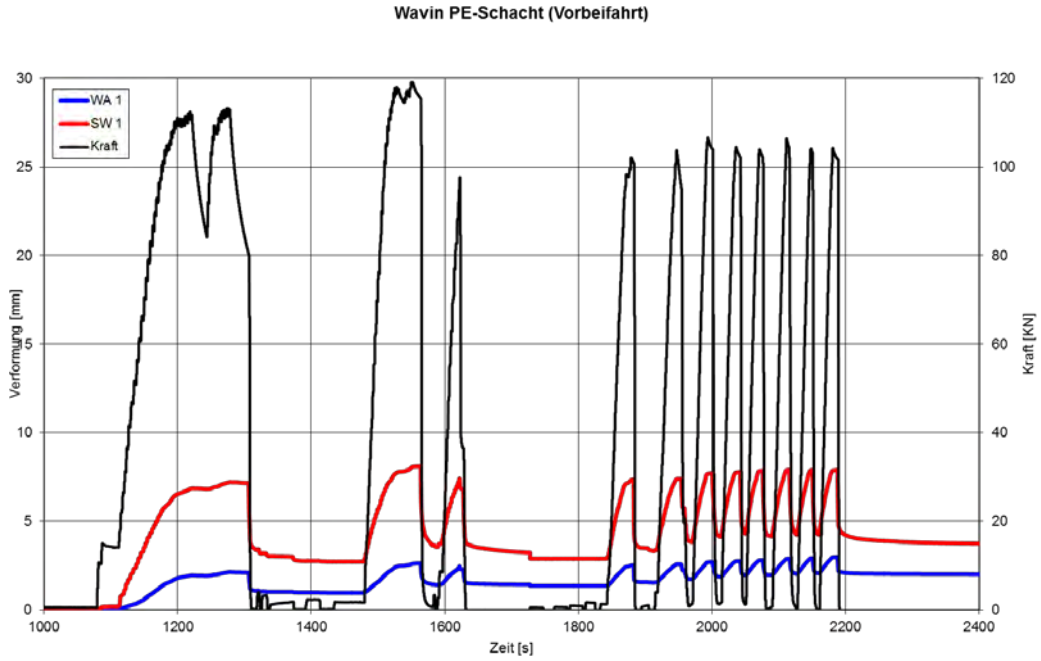


Bild 152 Ergebnisse Wavin PE-Schacht - Vorbeifahrt
SW 1 = Vertikalverformung der Konusschräge
WA 1 = Horizontalverformung auf Höhe Schachtring

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Anschließend wurde der Lastrahmen versetzt, um auch den Kunststoffschacht der Fa. Romold diesem Test unterziehen zu können. Die Ergebnisse sind im Bild 153 dargestellt. Insbesondere die Vertikalverformungen der Konusschräge waren mit bis zu 23 mm deutlich größer als bei dem Produkt der Fa. Wavin. Auffällig ist auch, dass diese Verformung nach Entlastung nicht signifikant zurückgeht.

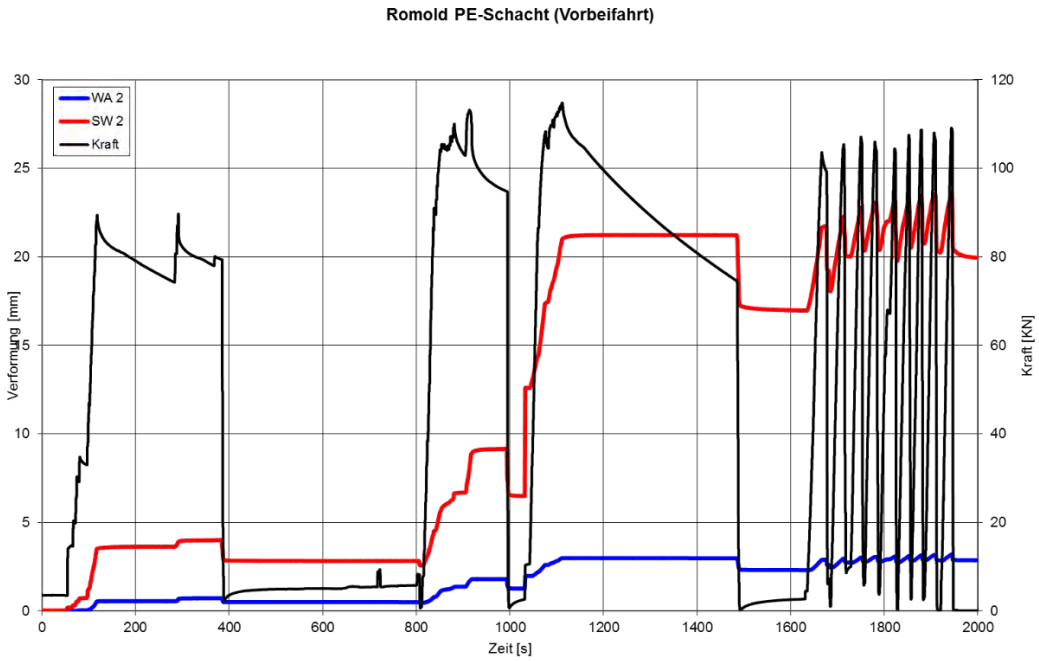


Bild 153 Ergebnisse Romold PE-Schacht - Vorbeifahrt Vorbeifahrt
SW 2 = Vertikalverformung der Konusschräge
WA 2 = Horizontalverformung auf Höhe Schachtring

Zudem kam es im oberen Abschnitt des Schachtkonus´ zu sichtbaren Deformationen (vgl. Bild 154).

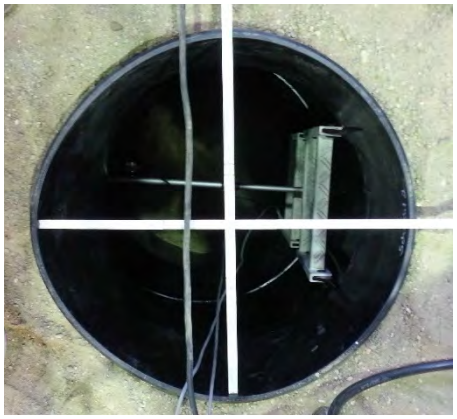


Bild 154 Ergebnis der Versuche zur Vorbeifahrt am Romold PE-Schacht – Verformung des oberen Abschnitts des Schachtkonus´, Belastung links

Ergebnisse der Versuche zur Vorbeifahrt:

Im Ergebnis zeigten beide Schachttypen Vertikalverformungen infolge einer Belastung auf der Bodenoberkante im Bereich der Konusschräge infolge der Vorbeifahrt eines Baustellenfahrzeugs. Diese waren jedoch bei dem PE-Schacht der Fa. Wavin deutlich

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

geringer als bei dem der Fa. Romold. Zudem traten bei dem Kunststoffschacht der Fa. Romold deutlich sichtbare und auch bleibende Verformungen auf.

6.3.3.2 MAC-Versuche zur Verdichtungskontrolle

Wesentlich für die Ausführungsqualität eines Schachtneubaus ist die Verdichtung des Bettungsmaterials in der direkten Schachtumgebung. Gerade bei biegeweichen Rohr- und Schachtsystemen ist eine gleichmäßige Bettung von großer Bedeutung. Eine Möglichkeit zur Kontrolle der Bodenverdichtung ist das MAC-Verfahren (vgl. Abschnitt 8.2).

Um die Verdichtungsqualität eindeutig beurteilen zu können, wurden das Kies-Sand-Gemisch im mittelformatigen Versuchsstand unterschiedlich verdichtet eingebaut und Prüfungen mit dem MAC-System an den Kunststoffschächten der Firmen Wavin und Romold durchgeführt.

Folgende Verdichtungssituationen wurden für die beiden Schächte simuliert:

1. Allseits gut verdichtet (Schichtdicke 30cm, Rüttelplatte)
2. Allseits schlecht verdichtet (Schüttdichte)
3. Eine Seite gut, die andere schlecht verdichtet

Im Fall 3 wurde neben der Ermittlung der Gesamtsteifigkeit auch das Verformungsverhalten näher analysiert. Hier ging es speziell darum, ob anhand der Ausrichtung der Verformungen der Bereich der schlechten Verdichtung lokalisiert werden kann. Bild 155 zeigt den Einsatz des MAC-Systems im Kunststoffschacht der Fa. Romold. Die Verformung wurde, wie bei Prüfungen dieser Art üblich, auf 0,3 mm beschränkt.

Bild 155 Einsatz des MAC-Systems im mittelformatigen Versuchsstand des IKT: MAC-Gerät auf der Bodenoberkante (links) und Blick in den Kunststoffschacht mit Hydraulikzylinder und Wegaufnehmern (rechts)

Tabelle 90 zeigt die Ergebnisse der MAC-Messungen in Form der ermittelten Gesamtsteifigkeiten. Diese Gesamtsteifigkeiten sind für beide Kunststoffschächte durchaus vergleichbar. Deutlich sind aber die Unterschiede bezüglich der Verdichtungszustände zu erkennen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 90 Vergleich der Gesamtsteifigkeiten [MN/m] für die unterschiedlichen Schächte und Verdichtungszustände

Verdichtungszustand	Wavin PE-Schacht	Romold PE-Schacht
Verdichtung beidseitig gut	27,7 MN/m	25,5 MN/m
Verdichtung beidseitig schlecht	17,5 MN/m	15,2 MN/m
Verdichtung gut / schlecht	22,9 MN/m	20,1 MN/m

Im Ergebnis zeigte sich, dass mithilfe der MAC-Prüfungen unterschiedliche Verdichtungszustände identifiziert werden konnten. Das Verhältnis der Gesamtsteifigkeiten der unterschiedlichen Schachtsysteme lässt zudem den Schluss zu, dass die Eigensteifigkeit des Schachtes der Fa. Wavin über der des Schachtes der Fa. Romold liegt (vgl. Tabelle 90).

6.3.4 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Der Schwerpunkt der in diesem Projekt durchgeführten Versuche lag in der Simulation des Baustellenverkehrs unter extremen Bedingungen zur Beurteilung von Sicherheitsreserven bei möglichen Fehlbelastungen im Baustellenbetrieb. Hierzu wurde die Überfahrt eines Baustellenfahrzeugs über den Schachtkonus ohne Lastentkopplung und die Vorbeifahrt eines Baustellenfahrzeugs am Schachtbauwerk auf der Konusseite nachempfunden. Außerdem wurden an eingeerdeten Schachtbauwerken Versuche mit dem MAC-System bei unterschiedlichen Verdichtungssituationen durchgeführt, um Zonen schlechter Verdichtung in der Schachtumgebung zu lokalisieren.

Im Ergebnis zeigten beide Schachttypen deutliche Verformungen infolge der aufgebrachten Belastungen. Zwar scheint der PE-Schacht der Fa. Wavin die Belastungen etwas besser aufnehmen zu können, jedoch sind auch hier bleibende Verformungen und Kriecheffekte über längere Zeiträume zu beobachten.

Grundsätzlich sind, wie auch bei beiden Schachttypen vom Hersteller empfohlen, direkte Belastungen auf dem Schachthals und auch Vorbeifahrten am eingeerdeten Schacht durch den Baustellenverkehr unbedingt zu vermeiden. Es empfiehlt sich, Elemente zu verwenden, die eine Entkopplung und somit eine Ableitung der Belastung in den umgebenden Boden mit einer entsprechenden Lastverteilung ermöglichen.

Die Ergebnisse der MAC-Versuche zur Kontrolle der Einbauqualität lassen erkennen, dass alle untersuchten Verdichtungszustände anhand der ermittelten Gesamtsteifigkeiten unterschieden werden konnten. Eine schlechte Verdichtung in der Schachtbettung führte zu deutlich geringeren Gesamtsteifigkeiten. Mithilfe des MAC-Systems kann somit eine Kontrolle des Einbauzustandes erfolgen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7 Kontrolle der Leistungsfähigkeit von Sanierungs- und Neubausystemen durch In-situ-Prüfungen

7.1 Sanierung von Schächten

Zur Überprüfung der Arbeitsweisen bei den Schachtsanierungen im Rahmen der Systemprüfungen (vgl. Abschnitt 6.2) begleiten Mitarbeiter des IKT die Auskleidungs- und Beschichtungsarbeiten auch vor Ort im Netz des WBH. Da zwei Sanierungsfirmen keine Angebote für die Schachtsanierungen abgegeben haben, sind somit 13 sanierungsbedürftige Schachtbauwerke für die ausgewählten Materialien vorab untersucht und nach ihrer Sanierung in einem zeitlichen Abstand von mindestens vier Wochen erneut in Augenschein genommen worden. Wesentliche Auffälligkeiten bzw. Zustands-Charakteristika mit Blick auf die drei Vor-Ort-Termine (Voruntersuchung/Sanierungsbegleitung/Nachuntersuchung) sind nachfolgend dargestellt.

Die nachfolgenden Abschnitte sind in der Weise aufgebaut, dass zu den einzelnen Sanierungssystemen zunächst die Ausgangssituation des Schachtes vor Sanierung, danach Informationen zur Sanierungsbegleitung und anschließend die Ergebnisse der Bauabnahme dargestellt sind.

Abschließend sind in Abschnitt 7.5 Erfahrungen aus Reparaturmaßnahmen an PE-HD-Kunststoffschächten (Neubauten) aufgeführt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.2 Schachtsanierung in situ mit Auskleidungssystemen

7.2.1 GfK-Innenschacht-System (Hobas)

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten ist in Tabelle 91 dargestellt.

Tabelle 91 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297916215

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297916215/Hagen	
Lage	Straßenrand eines Autobahnzubringers	
Schachtwerkstoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Betonfertigteile DN 1000 (Schachtringe und Konus), Mauerwerk (Schachtunterteil) Deckel-Berme 2,9 m ca. 9,05 m²	
Oberflächenzustand Rauigkeit	• Fugenmörtel überwiegend bündig zum Mauerwerk • Teilweise Risse in den Schachtringen • Gesteinskörnung ist deutlich erkennbar • Risse und fehlendes Material im Schachtkopf	
Oberflächenfestigkeit	• Schachtwand und Fugenmaterial sind z.T. minderfest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 35 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 1,0 N/mm², Kleinster Einzelwert: 0,8 N/mm² • Klinker und Fugenmörtel sind fest	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Undichtheiten an Fugen	

Die Sanierungsarbeiten mit GfK-Innenschacht-System (Hobas) wurden von der Fa. Sanierungstechnik Dommel GmbH, Hamm ausgeführt. In Tabelle 92 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 93 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 92 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung mit GfK-Innenschacht-System (Hobas)

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Für den Einbau des Innenschachtsystems ist in Abhängigkeit der Randbedingungen nicht in jedem Fall eine Untergrundvorbereitung erforderlich	
Arbeits-druck/ Durchfluss	/	
Zeitaufwand	/	
Besonderes	/	
Abdichtungen		
Material	Verfahrensbedingt keine vollständige Schachttrockenlegung erforderlich	
Verbrauch	/	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Siehe Voruntersuchung	
Oberflächen-festigkeit	• Siehe Voruntersuchung	
Oberflächen-rauigkeit	• Siehe Voruntersuchung	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 93 Ausführung der Sanierungsarbeiten von GfK-Innenschacht-System (Hobas)

Ausführung		
Erforderliche Vorarbeiten	• Aufstemmen Gerinne und Berme • Ebnen des Schachtunterteils mit Estrich • Entfernen des Schachtkonus und des umliegenden Erdreichs mit Hilfe eines Baggers • Entfernen der Steigeisen • Zeitbedarf ca. 8 h	
Materialapplikation	• Einsetzten der Innenschacht-Bauteile mit einem Bagger • Ringraum zwischen Altschacht und GfK-Schacht wurde zunächst mit Estrich und anschließend mit Vergussmörtel hinterfüllt • Verbinden des GfK-Schachts und der Haltungen mit Quick-Lock-Linerend-Manschetten • Aufsetzen eines neuen Konus • Abschließen der Fuge des Ringraums mit Mapei Sewament 40	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich Berme und Gerinne) wurde in 11,5 Stunden ausgekleidet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Für das Anmischen des Vergussmörtels wurde Abwasser benutzt	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	26,75 h / 4	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Der sanierte Schacht wurde optisch und mittels Abklopfen untersucht. Haftzugprüfungen wurden nicht durchgeführt, da das System selbsttragend ist. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 94 enthalten.

Tabelle 94 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Auskleidung mit GfK-Innenschacht-System (Hobas)

Inspektion der Auskleidung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Oberfläche ist sauber, fest und glatt	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• keine	
Hohlstellen	• nicht feststellbar	
Haftzugfestigkeiten	• nicht geprüft	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Mit Blick auf das Sanierungsergebnis konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden. Allerdings war das Aufstemmen von Gerinne und Berme sehr zeitintensiv. Insbesondere das Schachtunterteil (Gerinne und Berme) des Altschachtes musste an den werksmäßig vorgefertigten GfK-Schacht angepasst werden.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Beim Einsetzen des GfK-Schachts in den Altschacht wurde der Zulauf mit einer Absperrblase verschlossen, um den Altschacht für die Baumaßnahme trocken zu halten. Dadurch staute sich das Abwasser im oberhalb liegenden Schacht auf. Für die Herstellung des Vergussmörtels (Ringraumverfüllung) verwendeten die Mitarbeiter der Sanierungsfirma dieses (Ab)Wasser. Darüber hinaus wurden Vergussmörtel und Estrich mit Blick auf die Wasserzugabemengen nach Augenmaß angemischt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.2.2 PE-HD-Segmentauskleidung (Schacht + Trumme)

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 95 dargestellt.

Tabelle 95 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297916216

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297916216/Hagen	
Lage	Standstreifen Landstraße	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Betonfertigteile (DN 1000) Mauerwerk (Schachtunterteil 1 x 1 m) Deckel-Berme 2,8 m 9,2 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Anhaftungen auf Mauerwerk • Betonoberfläche ist korrodiert • Fugenmörtel z. T. aufgelöst bzw. nicht vorhanden • Weiße Anhaftungen unter den Fugen	
Oberflächen-festigkeit	• Betonoberfläche und Fugenmaterial minderfest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 17 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,6 N/mm²; Kleinster Einzelwert: 0,4 N/mm² • Klinker und Fugenmörtel sind fest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Undichtheiten an Fugen	

Die Sanierungsarbeiten mit einer PE-HD-Segmentauskleidung wurden von der Fa. Schacht+Trumme W. Schwarz GmbH, Ahrensburg ausgeführt. In Tabelle 96 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 97 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

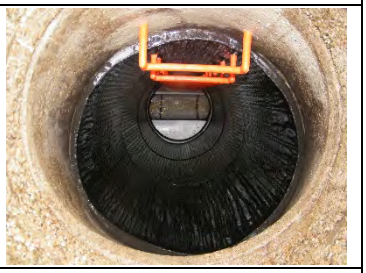
©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 96 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für die PE-HD-Segmentauskleidung

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, handgeführte Lanze (ausschließlich zur Reinigung der Schachtwandung)	
Arbeits-druck/ Durchfluss	230 bar/ 23 l/min	
Zeitaufwand	-	
Besonderes	Berme und Gerinne wurden z. T. mit Meißel entfernt	
Abdichtungen		
Material	Keine Vorabdichtungen	
Verbrauch	-	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Anhaftungen sind weiterhin auf Mau-erwerk und Beton vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Mauerwerk ist fest • Betonoberfläche sandet ab	
Oberflächen-rauigkeit	• Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhan-den	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

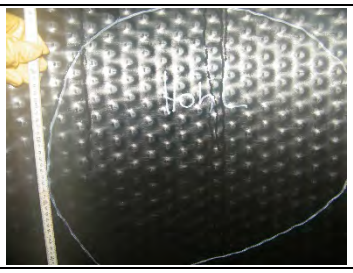
Tabelle 97 Ausführung der Sanierungsarbeiten von PE-HD-Segmentauskleidung

Ausführung		
Material-applikation	• Händisch mit Extruder, Winkelschleifer und Stichsäge • Hinterfüllen der Ringraumes zwischen Segmenten und Schachtwandung mit Vergussmörtel	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich Berme und Gerinne) wurde in 13,5 Stunden ausgekleidet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• keine	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	15,5 h/ 4	

Der sanierte Schacht wurde optisch und akustisch untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Auskleidungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 98 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 98 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Auskleidung mit PE-HD-Segmentauskleidung

Inspektion der Auskleidung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Oberfläche ist sauber • Auskleidungsmaterial ist fest	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• keine	
Hohlstellen	• Hohlstelle hinter Segment 2 (von unten, Höhe über Berme ca. 1,65 m) von 9 bis 11 Uhr	
Haftzugfestigkeiten (PE-HD auf Dämmer)	• Mittelwert: 0,4 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,2 N/mm²	
Haftzugfestigkeiten (Dämmer auf Beton)	• Mittelwert: 0,3 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,0 N/mm²	
Materialdicke	• 5,4 mm (PE-HD)	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Mit Blick auf das Sanierungsergebnis konnten keine Auffälligkeiten im Vergleich zu den Laborversuchen festgestellt werden. Allerdings war das Einsetzen und Verschweißen der PE-HD-Segmente im Schachtunterteil deutlich zeitaufwendiger, da in situ Gerinne und Bermen an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden mussten. Diese bauartbedingte Vorgehensweise führte somit zu einer vergleichsweise hohen Gesamtsanierungszeit.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Es wurden keine besonderen Auffälligkeiten festgestellt.

7.2.3 GfK-Segmentauskleidung, rückverankert und überlaminiert (Aarsleff)

Die Sanierungsfirma gab kein Angebot für die In-situ-Sanierung ab und entsprechend wurde auch kein Auftrag erteilt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.2.4 Handlaminat aus GfK (Sekisui SPR Germany)

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 99 dargestellt.

Tabelle 99 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 396945442

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	396945442/Hagen	
Lage	Im Wendehammer einer Sackgasse	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Mauerwerk (Schachtunterteil 1,25 x 0,75 m; Schachtoberteil: DN 600) Decke-Berme 3,2 m 9,7 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Anhaftungen im gesamten Schachtunterteil • Klinker und Fugen sind nicht bündig • Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker und Fugen sind fest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 60 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,8 N/mm²; Kleinster Einzelwert: 0,3 N/mm²	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Im gesamten Schachtunterteil Feuchtefilm auf Schachtwandung	

Die Sanierungsarbeiten mit GfK-Handlaminat wurden von der Fa. KMG Pipe Technologies GmbH, Schieder-Schwalenberg, ausgeführt. In Tabelle 100 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 101 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 100 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für das GfK-Handlaminat

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	170 bar/ k. A.	
Zeitaufwand	4 h	
Besonderes	• Im Schachtunterteil wurden die Anhaftungen mit einem Winkel-schleifer entfernt • Reinigung der Schachtwandung mit Fettlöser	
Abdichtungen		
Material 1	Remmers Rapidhärter	
Verbrauch	30 kg	
Material 2	MC Fastpack SewerInject	
Verbrauch	20 Katuschen	
Material 3	Ergelit KS 1	
Verbrauch	300 kg	
Material 4	Ergelit-10SD	
Verbrauch	80 kg	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Im Schachtoberteil sind an den Steigeisen Verschmutzungen vorhanden • Im Schachtunterteil befinden sich vereinzelt weiße Anhaftungen • Das Schachtunterteil wurde vor der Reprofilierung mit einem Trocken-mörtel zur Schnellabdichtung eingerieben	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker und Fugen sind fest	
Oberflächen-rauigkeit	• Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

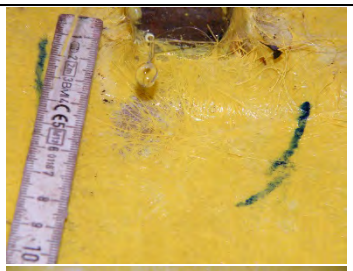
Tabelle 101 Sanierungsbegleitung, GfK-Handlaminat

Ausführung		
Material-applikation	• händisch (Hand, Pinsel, Andruckrolle)	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich Berme) wurde in 15,3 Stunden ausgekleidet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Fließfahne in der aufgetragenen Mörtelreprofilierung • Nach kurzer Aushärtezeit der Mörtelreprofilierung fiel diese, aufgrund von geringfügig infiltrierendem Grundwasser, ab	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	49,5 h/ 6	

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Laminats ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 102 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 102 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion des GfK-Handlaminats

Inspektion der Auskleidung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Vereinzelt offenliegende GfK-Fasern • Oberfläche ist fest • Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Infiltration in Tropfenform am 3. Steigeisen von unten • Fließfahne an Wand 4 (Übergangsbereich rund-eckig)	
Hohlstellen	• Anbindung links und rechts über Ablauf hohllagig • Anbindung rechts über Zulauf hohllagig • Unterhalb des untersten Steigeisens hohllagig	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauerwerk)	• Mittelwert: 0,1 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,1 N/mm²	
Materialdicke	• 4 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Durch die offensichtlich nicht vollständige Vorabdichtung der Schachtwandungen zeigten sich zwei Undichtheiten an dem Übergangsbereich Schachtunterteil (rechteckig) zu Schachtoberteil (rund) sowie an einer Steigeisen-Einbindung. Des Weiteren wurden nur geringe Haftzugfestigkeiten gemessen. Materialablösungen hingegen wurden nicht festgestellt.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Trotz eines vergleichsweise hohen Aufwandes bzgl. der Vorabdichtung des Schachtes konnte zunächst keine vollständige Abdichtung erzielt werden. Der kurz zuvor aufgebrachte Reprofilierungsmörtel fiel von der Schachtwandung ab (vgl. Tabelle 101). Weiteres Abdichten an dieser Stelle führte schließlich zu einem reprofilierungsfähigen Untergrund.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3 Schachtsanierung in situ mit Mörtelbeschichtungen

7.3.1 Betofix R4 SR

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 103 dargestellt.

Tabelle 103 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 299947417

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	299947417/Hagen	
Lage	Fahrbahn in Tempo 30-Zone	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Mauerwerk (Schachtunterteil 1,05 x 1,25 m; Schachtoberteil 0,63 x 0,80 m) Deckel-Berme 4,72 m ca. 17,3 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Großflächige, weiße Anhaftungen auf gesamter Schachtwandung	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker sind fest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 66 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 1,8 N/mm² Kleinster Einzelwert: 1,2 N/mm² • Fugen sind fest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Im gesamten Schachtunterteil Un-dichtheiten (insbesondere Mauer-werksfugen)	

Die Sanierungsarbeiten mit wurden von der Fa. SMG Bautenschutz für Hoch- und Tiefbau GmbH, Lage, ausgeführt. In Tabelle 104 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 105 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 104 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Betofix R4 SR

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Händisches Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	500 bar/ 17 l/min	
Zeitaufwand	0,2 h	
Besonderes	Entfernen von Schmutz und Anhaftungen mit Meißel	
Abdichtungen		
Material 1	Köster IN 1 (Wasseraktivierter PU-Injektionsschaum)	
Verbrauch	17,6 l	
Material 2	Köster IN 2 (Elastisches 2K-Polyurethan-Injektionsharz)	
Verbrauch	27,0 l	
Material 3	Remmers Rapidhärter (schnellabbindender Stopfmörtel)	
Verbrauch	k. A.	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Granulat und Rückstände von Injektionsmittel auf Schachtwand (Wand 1 zu 2). • Verschmutzungen und Anhaftungen weiterhin an Schachtwandung • Großflächiges, händisches Verreiben von Trockenmörtel auf Schachtwandung aufgrund von undichten Mauerwerksfugen • Mauerwerksfugen aufgrund von Untergrundvorbereitung tlw. gelöst, daher aufgefüllt mit Mörtel	
Oberflächen-festigkeit	• Oberfläche ist fest	
Oberflächen-rauigkeit	• 1-2 mm	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 105 Beschichtungsbegleitung, Betofix R4 SR

Ausführung		
Materialapplikation	• Händisch mit Sprühpistole	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper wurde in 3,0 Stunden beschichtet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Aufgrund von Undichtheiten löste sich die frisch aufgetragene Beschichtung von der Schachtwandung • Zur Abdichtung Verreiben von Trockenmörtel auf der Beschichtung • Mehrfaches Verstopfen der Schläuche	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 24 h/ 3	

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 106 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 106 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Betofix R4 SR

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit,	• Weiße Ausblühungen auf Schachtwandung • Oberfläche ist fest	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Weiße Ausblühungen z. T. mit Fließspuren	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauer-werk)	• Mittelwert: 0,2 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,1 N/mm²	
Materialdicke	• 14,7 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Im Ergebnis zeigten sich an der Beschichtung weiße Ausblühungen mit Undichtheiten. In Bereichen, an denen die aufgebrachte Beschichtung nachträglich mit einem schnell abbindenden Mörtel abgedichtet worden ist, sind geringfügige Farbunterschiede erkennbar. Die gemessenen Haftzugfestigkeiten sind gering. Hohlstellen oder Risse am Gewerk sind nicht vorhanden.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Die Mauerwerksfugen konnten zunächst durch die eingesetzten Verfahren und Materialien nicht vollständig abgedichtet werden. Dies führte zu Problemen während der Beschichtungsarbeiten, da z.T. die frisch aufgetragene Beschichtung wieder von der Wand abfiel. Diese Stellen wurden händisch nachgearbeitet. Zudem wurde zur Abdichtung weiterer Undichtheiten Trockenmörtel auf der Beschichtung verrieben.

Während der Beschichtungsarbeiten verstopften mehrfach die Schläuche und Düsen der Beschichtungseinheit. Das anschließende Reinigen der Schläuche und Düsen führte zu zeitlichen Verzögerungen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3.2 Ergelit KS 1

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 107 dargestellt.

Tabelle 107 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 299947418

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	299947418/Hagen	
Lage	Am Straßenrand einer Tempo-30-Zone	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Mauerwerk (Schachtunterteil 1,25 x 0,8 m; Schachtoberteil 0,65 x 0,8 m) Deckel-Berme 4,9 m ca. 11,0 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Klinker und Fugen sind bündig • Weiße und schwarze Anhaftungen an der Schachtwandung • Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker und Fugen sind fest; Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 54 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,6 N/mm², kleinster Einzelwert: 0,4 N/mm²	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Fließfahnen im gesamten Schacht-unterteil	

Die Sanierungsarbeiten mit Ergelit KS1 wurden von der Fa. DiTom Kanaltechnik GmbH, Ahlen, ausgeführt. In Tabelle 108 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 109 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 108 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Ergelit KS1

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat, handgeführte Lanze	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	230 bar/ 22 l/min	
Zeitaufwand	1,0 h	
Besonderes	-	
Abdichtungen		
Material 1	Zementgebundener, frühfester Sanierungsmörtel (Ergelit 10S-Spezial)	
Verbrauch	ca. 12,5 kg	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Anhaftungen und Schmutz sind weiterhin vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Schmutz sandet ab	
Oberflächen-rauigkeit	• Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 109 Beschichtungsbegleitung, Ergelit KS1

Ausführung		
Materialapplikation	• Händisch mit Kelle und Glätter	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich Berme und Gerinne) wurde in 3,8 Stunden beschichtet • Das Material wurde sauber aufgetragen. Jedoch sind bereits nach dem Beschichten Undichtheiten aufgetreten, die mit einem weiteren Material (Remmers Rapidhärter) nachträglich abgedichtet werden mussten.	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Sanierungsmörtel wurde auf Anhaftungen und Schmutz aufgetragen • Mischung des Mörtels nach Augenmaß	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 8,5 h / 2	

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 110 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 110 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Ergelit KS1

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Granulat auf Oberfläche • Farbunterschied im Mörtel durch Nacharbeiten (Wand 2 und Ecke Wand 1 zu 4) • Beschichtungsmaterial ist fest • Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Schachtwandung durch Fließ-spuren beginnend am Ein-stiegsbereich feucht (Tagwas-ser) • Feuchtefleck im Eckbereich der Berme zw. Wand 4 und 1	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauer-werk)	• Mittelwert: 0,4 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,0 N/mm²	
Materialdicke	• 16,0 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Im Ergebnis zeigt sich an der Beschichtung in einem Eckbereich der Berme zur Wand eine Durchfeuchtung. In Bereichen, an denen die aufgebrachte Beschichtung nachträglich mit einem schnell abbindenden Mörtel abgedichtet worden ist, sind geringfügige Farbunterschiede erkennbar. Die gemessene Haftzugfestigkeit ist gering. Es sind jedoch keine Hohlstellen oder Risse am Gewerk vorhanden.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Die Mischung des Mörtels erfolgte nach Augenmaß, bis sie der gewünschten Konsistenz des Sanierers entsprach.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3.3 Ergelit KS 1 (KS-ASS)

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 111 dargestellt.

Tabelle 111 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 299947416

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	299947416/Hagen	
Lage	Fahrbahn einer Tempo-30-Zone	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe	Mauerwerk (Schachtunterteil 1,27 x 1,2 m; Schachtoberteil 0,63 x 0,8 m) Deckel-Berme 4,27 m	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Klinker und Fugen sind bündig • Ringsum bis zu einer Höhe von 1,1 m weiße und schwarze Anhaftungen • Oberhalb von 1,2 m weitere weiße und schwarze Anhaftungen • Unter der obersten Klinkerlage ringsum vertikaler Riss. • Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker und Fugen sind fest; Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 63 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 1,4 N/mm², kleinster Einzelwert: 1,2 N/mm²	
Undichtig-keiten/ Wasser-eindrang	• Das gesamte Schachtunterteil ist feucht • Wand 12 Uhr Knick mit Undichtheiten • Unter allen Steigeisen (bis auf die zwei Obersten) Undichtheiten	

Die Sanierungsarbeiten mit Ergelit KS-ASS wurden von der Fa. Künzel Bauunternehmen, Menden ausgeführt. In Tabelle 112 finden sich zunächst Angaben

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 113 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 112 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Ergelit KS-ASS

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (800 kg), handgeführte Lanze, anschließend maschinelles Reinigen der Schachtwand von Granulat.	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	300 bar/ k.A	
Zeitaufwand	4,2 h	
Besonderes	Anhaftungen wurden vereinzelt mechanisch mittels Meißel und Hammer entfernt.	
Abdichtungen		
Material 1	Zementgebundener, frühfester Reparaturmörtel (Ergelit 10F-rapid) als Haftbrücke	
Material 2	Kunststoffmodifizierter Zementmörtel (Ergelit KS 1)	
Verbrauch	ca. 60 kg	
Besonderheit	Entlastungsbohrungen über Berme um Grundwasserspiegel abzusenken	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Im Schachtoberteil befinden sich vereinzelte Anhaftungen • Im Schachtunterteil wurde durch die Untergrundvorbereitung an Klinkern und Fugen z.T. 1 cm Material abgetragen	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker und Fugen sind fest	
Oberflächen-rauigkeit	• Im Schachtoberteil ist die Glasur der Klinker entfernt • Im Schachtunterteil sind die Klinker ca. 2-3 mm angeraut	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

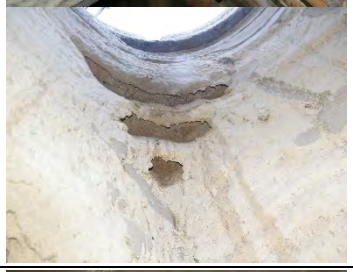
Tabelle 113 Beschichtungsbegleitung von Ergelit KS-ASS

Ausführung		
Materialapplikation	• Maschinell angeschleudert	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich Berme und Gerinne) wurde in 1,6 Stunden beschichtet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Während der Sanierung verstopfte mehrmals die Schneckenpumpe, wodurch es während der Beschichtung zu Unterbrechungen kam	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 6,15 h / 5	

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 114 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 114 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Ergelit KS-ASS

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Granulat auf Beschichtung • Hellere Mörtelstellen durch händische Nacharbeitung auf Wand 3 und in Ecke von Wand 3 zu 4 • Beschichtungsoberfläche un-eben • Klinker im Schachtoberteil wurde tlw. nicht beschichtet	 
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Ecke Wand 2 zu 3: Wasser-eindrang durch Beschichtung	
Hohlstellen	• Oberhalb Zulauf 15 x 15 cm • Am untersten Steigeisen 50 x 15 cm (dort wurde eine Entlastungsbohrung nach der maschinellen Beschichtung händisch nachgearbeitet)	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauer-werk)	• Mittelwert: 1,2 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,9 N/mm²	
Materialdicke	• 14,4 mm	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Aufgrund der Störungen während der Beschichtungsarbeiten wurde das Material z. T. ungleichmäßig auf die Schachtwandung aufgetragen. Bereiche auf der Schachtwandung, die durch das maschinelle Anschleudern nicht mit Mörtel beschichtet werden konnten (Spritzschatten), wurden nicht nachgearbeitet und sind somit ohne Beschichtungsmaterial (vgl. Tabelle 114).

Abschließend wurden die Bereiche der Entlastungsbohrungen händisch mit Mörtel abgedichtet und nachgearbeitet. Dies erfolgte ca. 24 Stunden nach dem Aufbringen der Beschichtung. Dabei zeigte sich im Rahmen der Inspektion an einer Entlastungsbohrung hohlliegendes Material.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Während der Beschichtungsarbeiten verstopften mehrmals der Zwangsmischer und/oder die Schläuche. Dies führte zu längeren Unterbrechungen der Beschichtungsarbeiten, da diese gereinigt werden mussten. Des Weiteren erwies sich das Einstellen des optimalen Mischungsverhältnisses von Trockenmörtel und Wasser mit dieser Maschine als vergleichsweise schwierig, so dass im Ergebnis Mörtelmischungen mit unterschiedlichen Wasser-Feststoff-Werten auf die Schachtwandungen aufgetragen wurden.

7.3.4 Kanal-Reprofiliermörtel

Die Sanierungsfirma gab kein Angebot für die In-situ-Sanierung ab und entsprechend wurde auch kein Auftrag erteilt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3.5 Nanocret R4

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 115 dargestellt.

Tabelle 115 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297914214

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297914214/Hagen	
Lage	Standstreifen Landstraße	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Betonfertigteile (DN1000) Mauerwerk (Schachtunterteil 1,0 m x 1,0 m) Deckel-Berme 1,7 m ca. 5,2 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Fugenmörtel löst sich vereinzelt von Klinker • Löcher in Betonoberfläche und z. T. Gesteinskörnung sichtbar • Weiße und graue Anhaftungen auf Schachtwandung	
Oberflächen-festigkeit	• Beton ist fest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 28 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 1,2 N/mm² Kleinster Einzelwert: 1,1 N/mm² • Klinker und Fugenmaterial ist fest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Feuchtefilm über gesamte Schachtwandung	

Die Sanierungsarbeiten mit Nanocret R4 wurden von der Fa. Schulz Bau GmbH, Torgau, ausgeführt. In Tabelle 116 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 117 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 116 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Nanocret R4

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, handgeführte Lanze	
Arbeits-druck/ Durchfluss	310 bar/ 23 l/min	
Zeitaufwand	0,1 h	
Besonderes	Trocknen der Schachtwand mit Fön	
Abdichtungen		
Material	Keine Vorabdichtung durchgeführt	
Verbrauch	/	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Anhaftungen wurden nicht vollständig entfernt • Kein Absanden • Vereinzelt kein Fugenmaterial im Mauerwerk	
Oberflächen-festigkeit	• Beton und Mauerwerk sind fest	
Oberflächen-rauigkeit	• Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhan-den	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 117 Beschichtungsbegleitung, Nanocret R4

Ausführung		
Materialapplikation	• Händisch mit Kelle	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper wurde in 1,5 Stunden beschichtet • Die Mörtelbeschichtung wurde gefilzt und geglättet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Mischung des Mörtels nach Augenmaß • Abspülen der frisch aufgetragenen Beschichtung im Schachtunterteil (aufgrund des zu frühen Ziehens der Absperrblase) • Heizlüfter zur Trocknung der Schachtwandungen defekt	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 6,0 h/ 1	

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 118 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 118 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Mörtelreste auf Berme • Auf Wand 3, ca. 20 cm über Berme, hellere, nachgearbeitete Stelle	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• keine	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauer-werk)	• Mittelwert: 0,3 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,1 N/mm²	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Beton)	• Mittelwert: 1,1 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 1,0 N/mm²	
Materialdicke	• 7,8 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Im Ergebnis zeigten sich an der Beschichtung keine Undichtheiten, Hohlstellen oder Risse. Im Bereich, an denen die aufgebrachte Beschichtung nachträglich mit einem schnell abbindenden Mörtel abgedichtet worden ist, sind geringfügige Farbunterschiede erkennbar. Die gemessenen Haftzugfestigkeiten sind im Vergleich zu anderen Beschichtungen höher, liegen aber dennoch unterhalb der Anforderungen üblicher Regelwerke ([36], [37]).

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

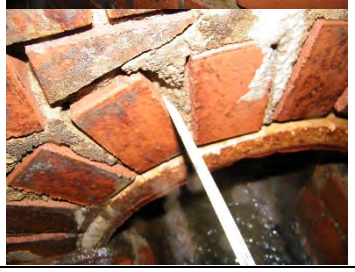
Die Mischung des Mörtels erfolgte nach Augenmaß, bis sie der gewünschten Konsistenz des Sanierers entsprach. Zur Trocknung der Schachtwandung nach der Untergrundvorbereitung sollte ein Heizlüfter eingesetzt werden. Dieser war jedoch defekt und konnte vor Ort nicht repariert werden. Während der Beschichtungsarbeiten lief, aufgrund der gesetzten Absperrblase, Mischwasser aus dem oberhalb gelegenen Abwasserschacht. Daher wurde die Absperrblase gezogen, wodurch das Abwasser im frisch beschichten Schacht auf ca. 0,5 m anstieg. Durch das Wasser wurde die frisch aufgetragene Beschichtung im Schachtunterteil abgespült. Vor dem erneuten Beschichten wurde keine Reinigung der beschmutzen Schachtwandung durchgeführt. Jedoch wurde die Schachtwand mit einem Fön getrocknet, wobei der nicht abgespülte Mörtel im angrenzenden Bereich ebenfalls getrocknet wurde.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3.6 Ombran MHP

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 119 dargestellt.

Tabelle 119 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 298907204

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	298907204/Hagen	
Lage	Linksabbiegerspur, innerorts	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Mauerwerk (Schachtunterteil: 1,03 x 0,8 m; Schachtoberteil: 0,65 m (rund)) Deckel-Berme 3,2 m ca. 9,5 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Vereinzelt weiße Anhaftungen an Schachtwandung • Fugenmörtel ist nicht bündig zum Klinker • Vereinzelt löst sich der Fugenmör-tel vom Klinker	 
Oberflächen-festigkeit	• Klinker sind fest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 71 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,5 N/mm² Kleinster Einzelwert: 0,4 N/mm² • Fugen sind minderfest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Schachtunterteil ist flächig feucht	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Sanierungsarbeiten mit Ombran MHP wurden von der Fa. Heikaus KS Kanalsanierung GmbH, Krefeld, ausgeführt. In Tabelle 120 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 121 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 120 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Ombran MHP

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Maschinelles Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (MRT Blasting Unit)	
Arbeits-druck/ Durchfluss	280 bar/ 24 l/min	
Zeitaufwand	0,3 h	
Besonderes	Das Schachtoberteil wurde per Handlanze mit Hochdruckwasser-strahlen gereinigt	
Abdichtungen		
Material	Es wurden keine Vorabdichtungen durchgeführt	
Verbrauch	/	
Ergebnis		
Oberflä-chenzustand	• Die Schachtoberfläche ist sauber • Über dem Ablauf fehlender Fugen-mörtel, Erdreich hinter dem Mauer-werk erkennbar	
Oberflä-chenfestig-keit	• Im Schachtoberteil sind die Klinker fest, die Fugen minderfest • Im Schachtunterteil sind die Klinker ebenfalls fest, die Fugen sind ca. 1 cm zurückliegend und minderfest	
Oberflä-chenrauig-keit	• Im Schachtoberteil ist die Glasur der Klinker abgetragen, mit einer Rauig-keit von 1-2 mm • Im Schachtunterteil ist keine ausge-prägte Rauigkeit vorhanden	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 121 Beschichtungsbegleitung, Ombran MHP

Ausführung			
Materialapplikation	• Händisch im Schachtunterteil • Maschinell im Schachtoberteil, da zu eng für händisches Arbeiten		
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper wurde in 2,2 Stunden beschichtet		
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• keine		
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 5,8 h/ 3		

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 122 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 122 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Ombran MHP

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Oberfläche ist sauber • Angeschleuderter Mörtel im Schachtoberteil ist wellig • Beschichtungsmaterial ist fest • Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Zwei Feuchteflecken mit weißen Ausblühungen auf Wand 4	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauerwerk)	• Mittelwert: 1,0 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,8 N/mm²	
Materialdicke	• 13 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Es zeigten sich an der Mörtelbeschichtung zwei Undichtheiten in Form von Feuchteflecken mit weißen Ausblühungen (vgl. Tabelle 122).
Obwohl im Schachtunterteil nach der Untergrundvorbereitung keine ausgeprägte Rauigkeit der Klinkeroberfläche festgestellt wurde, erfüllt der Haftverbund zwischen Beschichtung und Untergrund die Anforderungen nach [36].

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Es wurden keine besonderen Auffälligkeiten festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3.7 Ombran MHP-SP

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 123 dargestellt.

Tabelle 123 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 298911205

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./Ort	298911205/Hagen	
Lage	Fahrbahnrand, innerorts	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Mauerwerk (Schachtunterteil: 1,38 x 1,03 m; Schachtoberteil: 0,67 m (rund)) Deckel-Berme ca. 3,7 m ca. 12,6 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Weiße Anhaftungen an Schacht-wandung • Ein gerissener Klinker • Keine ausgeprägte Rauigkeit vor-handen	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker sind fest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 82,5 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 1,4 N/mm² Kleinster Einzelwert: 0,3 N/mm² • Fugen sind minderfest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Feuchtefilm auf der Schachtwan-dung im Schachtunterteil	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Sanierungsarbeiten mit Ombran MHP-SP wurden von der Fa. Heikaus KS Kanalsanierung GmbH, Krefeld, ausgeführt. In Tabelle 124 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 125 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 124 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Ombran MHP-SP

Untergrundvorbereitung		
Untergrundvorbereitung	Maschinelles Hochdruckwasserstrahlen mit Zugabe von Granulat (MRT Blasting Unit)	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	300 bar/ k.A.	
Zeitaufwand	0,5 h	
Besonderes	• Das Schachtoberteil wurde per Handlanze mit Hochdruckwasserstrahlen gereinigt • Im Schachtunterteil wurden 16 Hübe je 1,4 m mit Granulat und 3 ohne Granulat durchgeführt • Nach der Untergrundvorbereitung wurden die Anhaftungen im Schachtunterteil mit einem Meißel entfernt. Die Schachtwandung wurde anschließend mit Wasser und Quast gereinigt	
Abdichtungen		
Material	Kellerdicht 2 Blitzpulver, Ergelit-10SD	
Verbrauch	Kellerdicht 2 Blitzpulver: k.A. Ergelit-10SD: 5kg	
Ergebnis		
Oberflächenzustand	• Die Schachtoberfläche ist sauber • Vereinzelt schwarze und weiße Anhaftungen im Schachtoberteil	
Oberflächenfestigkeit	• Im Schachtoberteil sind die Klinker und Fugen fest	
Oberflächenrauigkeit	• Keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 125 Beschichtungsbegleitung von Ombran MHP-SP

Ausführung		
Materialapplikation	• Maschinell im gesamten Schacht	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper wurde in 0,5 Stunden beschichtet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• keine	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 6 h/ 2	

Der sanierte Schacht wurde optisch und akustisch untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 126 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 126 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung ombran MHP-SP

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Oberfläche ist sauber und fest • Raues Spritzbild auf Übergang Wand 4 zu Wand 3 (ausgehend von Steigbügelgang bei Wand 1) • Auf der Beschichtung wurde an mehreren Stellen Undichtheiten händisch mit schnellabbindendem Stopfmörtel nachgearbeitet	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• keine	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauerwerk)	• Mittelwert: 0,04 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,04 N/mm²	
Materialdicke	• 12,6 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Zur Abdichtung der undichten Mauerwerksfugen wurde Trockenmörtel auf der Schachtwandung von Hand verrieben. Darüber hinaus wurde zur Vorabdichtung ein Abdichtungsmörtel von schlämmfähiger Konsistenz auf die Schachtwandung aufgetragen. Hier zeigten sich die unzureichenden Verbundfestigkeiten zwischen Beschichtung und Untergrund (vgl. Tabelle 126).
Ferner wurden bei der Kontrolle der Beschichtung durch das ausführende Personal weitere Undichtheiten in der Beschichtung festgestellt. Aus diesem Grund wurden diese Undichtheiten mit schnellabbindendem Trockenmörtel händisch nachgearbeitet.

Mit diesen Maßnahmen konnte der Schacht vollständig abgedichtet werden.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Es wurden Materialien unterschiedlicher Hersteller eingesetzt (vgl. Tabelle 124).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.3.8 Silicate R

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 127 dargestellt.

Tabelle 127 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297916214

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297916214/Hagen	
Lage	Straßenrand Landstraße	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Mauerwerk (Schachtunterteil 1,4 x 3,9 m) Deckel-Berme 2,6 m ca. 27,6 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Weiße Anhaftungen auf Schacht-wandung • Fugenmörtel z. T. nicht vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker sind fest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 79 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,2 N/mm² Kleinster Einzelwert: 0,1 N/mm² • Fugen sind minderfest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Übergang Betondecke zu Mauer-werk ist undicht	

Die Sanierungsarbeiten mit Silicate R wurden von der Fa. SMG Bautenschutz für Hoch- und Tiefbau GmbH, Lage, ausgeführt. In Tabelle 128 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 129 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 128 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Silicate R

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, handgeführte Lanze	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	500 bar/ 17 l/min	
Zeitaufwand	0,2 h	
Besonderes	Entfernen von Anhaftungen an Wand mit Meißel	
Abdichtungen		
Material 1	Köster IN 1 (Wasseraktivierter PU-Injektionsschaum)	
Verbrauch	4,8 l	
Material 2	Köster IN 2 (Elastisches 2K-Polyurethan-Injektionsharz)	
Verbrauch	1,1 l	
Material 3	Remmers Rapidhärter (schnellabbindender Stopfmörtel)	
Verbrauch	k. A.	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Oberfläche ist sauber	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker sind fest • Fugen tlw. bis zu 1 cm abgetragen	
Oberflächen-rauigkeit	• Klinkerglasur ist abgetragen	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

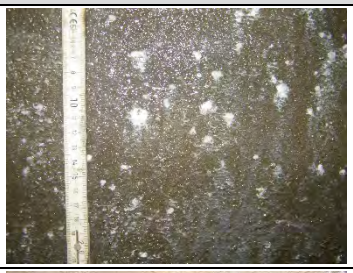
Tabelle 129 Beschichtungsbegleitung, Silicate R

Ausführung		
Materialapplikation	• Händisch mit Spritzpistole	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper wurde in 4,8 Stunden beschichtet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• keine	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 16 h/ 3	

Der sanierte Schacht wurde optisch und akustisch untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 130 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 130 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Silicate R

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit,	• Weiße Ausblühungen auf Schachtwand • Oberfläche ist fest	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Anbindung von Beschichtung zu Decke und Stufen undicht • Unterstes Steigeisen Ausblühungen und Fließfahne	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauerwerk)	• Mittelwert: 0,1 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,1 N/mm²	
Materialdicke	• 15 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Im Ergebnis zeigten sich an der Beschichtung weiße Ausblühungen und Undichtheiten auf der Schachtwandung. Ferner wurden an dem Übergang von der Decke zur Schachtwand Undichtheiten festgestellt. Die gemessenen Haftzugfestigkeiten sind gering. Es zeigten sich an der Beschichtung jedoch keine Hohlstellen oder Risse.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Es konnten keine besonderen Auffälligkeiten bei der Sanierung festgestellt werden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.4 Schachtsanierung in situ mit Kunststoffbeschichtungen

7.4.1 Polyurethanbeschichtung Oldodur WS 56

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 131 dargestellt.

Tabelle 131 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297914213

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297914213/Hagen	
Lage	Standstreifen Landstraße	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Betonfertigteile (DN 1000) Mauerwerk (Schachtunterteil 1 x 1 m) Deckel-Berme: 2,1 m 6,2 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Fugenmörtel löst sich von Klinker und ist tlw. nicht mehr vorhanden • Weiße Anhaftungen auf Mauer-werk • Betonfertigteile sind korrodiert • Mauerwerk ohne ausgeprägte Rauigkeit, Beton aufgrund Korro-sion erkennbar strukturiert	
Oberflächen-festigkeit	• Beton ist fest (Druckfestigkeit mit-tels Schmidt-Hammer: 36 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 1,0 N/mm² Kleinster Einzelwert: 0,5 N/mm² • Klinker ist fest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Feuchteflecken an Betonfuge	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Sanierungsarbeiten mit Oldodur WS 56 wurden von der Fa. Schulz Bau GmbH, Torgau, ausgeführt. In Tabelle 132 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 133 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 132 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Oldodur WS 56

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, handgeführte Lanze	
Arbeits-druck/ Durchfluss	310 bar/ 23 l/min	
Zeitaufwand	0,1 h	
Besonderes	/	
Abdichtungen/Reprofilierung		
Material	Schnell-Zement-Mörtel (PCI-Polyfix plus)	
Verbrauch	50 kg	
Besonderes	Mörtel wurde mit Heißluftgebläse und Föhn getrocknet	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Mauerwerk weiterhin mit Anhaftungen • Betonoberfläche ist sauber	
Oberflächen-festigkeit	• Klinker und Fugen sind fest • Gesteinskörnung an Betonfertigteilen ist zu erkennen	
Oberflächen-rauigkeit	• Mauerwerk ohne ausgeprägte Rauigkeit • An Betonoberfläche 1-2 mm, wenn Gesteinskörnung frei ca. 3-4 mm	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

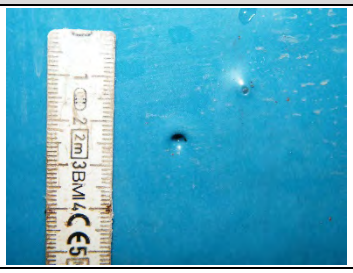
Tabelle 133 Beschichtungsbegleitung, Oldodur WS 56

Ausführung		
Material-applikation	• Von Hand geführte Sprühdüse	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper wurde in 0,3 Stunden beschichtet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Mischung des Reprofilierungsmörtels nach Augenmaß • Trocknen des Mörtels mit Heißluft • Kurzfristiger Ausfall der Beschichtungsmaschine (reparabel)	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	9,3 h/ 1	

Der sanierte Schacht wurde optisch und akustisch untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 134 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 134 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Oldodur WS 56

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Oberfläche ist sauber und glatt • Vereinzelt Pinholes im Beschichtungsmaterial • Beschichtungsmaterial ist fest	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• keine	
Hohlstellen	• Zwei Blasen am Übergang Schachtwandung (Mauerwerk) zur Berme	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Beton)	• Mittelwert: 0,8 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,7 N/mm²	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauerwerk)	• Mittelwert: 0,1 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,0 N/mm²	
Materialdicke	• 4 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Im Schachtunterteil (Untergrund: Reprofilierungsmörtel auf Mauerwerk) bildeten sich zwei Blasen am Übergang von Schachtwandung zur Berme (vgl. Tabelle 134). Dennoch war zum Zeitpunkt der Inspektion keine Infiltration in den Schacht vorhanden.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Die Mischung des Abdichtungs- bzw. Reprofilierungsmörtels erfolgte nach Augenmaß, bis dies der gewünschten Konsistenz des Sanierers entsprach. Um die Kunststoffbeschichtung zeitnah auftragen zu können, wurde die Oberfläche des frisch aufgetragenen Reprofilierungsmörtels mittels Heizlüfter und Föhn getrocknet. Vor der Beschichtung mit Oldodur WS 56 war die Beschichtungseinheit defekt und konnte allerdings erfolgreich in Gang gesetzt werden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.4.2 Polyharnstoff-Sandwich-Beschichtung Spectrashield

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 135 dargestellt.

Tabelle 135 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297916220

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297916220/Hagen	
Lage	Standstreifen Landstraße	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Betonfertigteile (DN 1000) Mauerwerk (Schachtunterteil 1 x 1 m) Deckel-Berme 2,1 m ca. 6.5 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Fugenmaterial löst sich tlw. von Klinker • Fugenmaterial zwischen Betonfer-tigteilen nicht vorhanden • Auf Mauerwerk und Betonfertigtei-len keine ausgeprägte Rauigkeit vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Beton ist minderfest (Druckfestig-keit mittels Schmidt-Hammer: 20 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,8 N/mm², kleinster Einzelwert: 0,8 N/mm² • Klinker ist fest, Mauerwerksfugen sind minderfest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Feuchtefleck an/unterhalb Ring-fuge	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Sanierungsarbeiten mit Polyharnstoff-Sandwich-Beschichtung Spectrashield wurden von der Fa. FSB Bautechnik GmbH, Mettmann, ausgeführt. In Tabelle 136 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 137 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 136 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Polyharnstoff-Sandwich-Beschichtung Spectrashield

Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, handgeführte Lanze	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	500 bar/ 15l/min	
Zeitaufwand	8 min	
Besonderes	Mauerwerk wird zusätzlich mit Winkelschleifer angeraut. Schachtwand wird mit Fettlöser gereinigt. Vor dem Beschichten wurde die Schachtwandung mit einem Heizlüfter und Druckluft getrocknet.	
Abdichtungen		
Material 1	Bornit-Stopfmörtel	
Verbrauch	keine Angaben	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Im Mauerwerk fehlt vereinzelt Fugenmaterial • Mauerwerksfugen z. T. undicht, daher wurden die Undichtheiten durch Aufbringen von Trockenmörtel (Bornit-Stopfmörtel) abgedichtet • Oberfläche ist sauber	
Oberflächen-festigkeit	• Mauerwerk und Beton sind fest	
Oberflächen-rauigkeit	• Rauigkeit des Mauerwerks 1 mm, • Rauigkeit des Betons 2-3 mm	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 137 Beschichtungsbegleitung von Polyharnstoff-Sandwich-Beschichtung Spectrashield

Ausführung		
Material-applikation	• Von Hand geführte Sprühpistole • Beschichtung in 3-Lagen (1. und 3. Schicht aus Polyharnstoff, 2. Schicht Polyurethan)	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich der Bermen) wurde in 1,3 Stunden beschichtet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• keine	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 5,5 h / 1	

Der sanierte Schacht wurde optisch und akustisch untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 138 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 138 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Polyharnstoff-Sandwich-Beschichtung Spectrashield

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Oberfläche ist fest und sauber • Oberfläche ist uneben/struktu-riert	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• keine	
Hohlstellen	• Übergangsbereich von Berme zu Wand 3 ist hohllagig • Über Ablauf Hohlstelle von ca. 10 cm x 10 cm	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Beton)	• Mittelwert: 0,5 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,2 N/mm²	
Materialdicke	• 8,2 mm (dreilagig)	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Bereichsweise liegt die Sandwich-Beschichtung im Bereich von Mauerwerk hohl und besitzt keinen Verbund zum Untergrund. Auch erfüllen die Haftzugfestigkeiten die Anforderungen deutlich nicht (vgl. [37]).

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Es wurden keine besonderen Auffälligkeiten festgestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.4.3 Epoxidharzbeschichtung Ultracoat

Der Zustand des Schachtes vor Beginn der Sanierungsarbeiten wird in Tabelle 139 dargestellt.

Tabelle 139 Ausgangszustand von Schacht-Nr. 297916217

Ausgangszustand		
Schacht-Nr./ Ort	297916217/Hagen	
Lage	Standstreifen Landstraße	
Schachtwerk-stoffe Geometrie Gesamthöhe Oberfläche	Betonfertigteile (DN 1000) Mauerwerk (Schachtunterteil 1 x 1 m) Deckel-Berme: 2,5 m 7,8 m²	
Oberflächen-zustand Rauigkeit	• Fugenmaterial löst sich von Klinkern und ist tlw. nicht vorhanden • Fugenmaterial zwischen Betonfertigteilen ist nicht vorhanden • Beton ist korrodiert • Keine ausgeprägte Rauigkeit auf dem Mauerwerk vorhanden	
Oberflächen-festigkeit	• Beton ist minderfest (Druckfestigkeit mittels Schmidt-Hammer: 13 N/mm²) • Mittlere Abreißfestigkeit: 0,9 N/mm², kleinster Einzelwert: 0,7 N/mm² • Klinker sind fest	
Undichtheiten/ Wasser-eindrang	• Feuchtefilm auf nahezu gesamter Schachtwandung	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

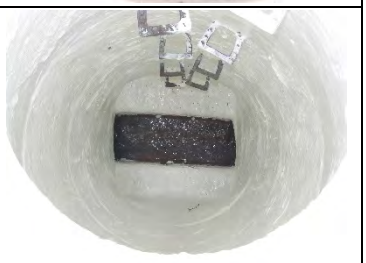
Die Sanierungsarbeiten mit Ultracoat wurden von der Fa. Oranmore Environmental Services Ldt, Cleckheaton (UK), ausgeführt. In Tabelle 140 finden sich zunächst Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung. Im Anschluss sind in Tabelle 141 die wesentlichen Arbeitsschritte der Sanierung aufgeführt, ggf. ergänzt um bemerkenswerte Auffälligkeiten.

Tabelle 140 Angaben zur Untergrundvorbereitung und Vorabdichtung für Ultracoat

Vorarbeiten		
Vorarbeiten	Von außen Reinigen des Schachtes durch Hochdruckwasserstrahlen mit Handlanze mit maximal 270 bar	
Untergrundvorbereitung		
Untergrund-vorbereitung	Hochdruckwasserstrahlen, handgeführte Lanze	
Arbeitsdruck/ Durchfluss	300 bar/ keine Angaben	
Zeitaufwand	ca. 0,5 h	
Besonderes	Mauerwerk wird zusätzlich mit Winkelschleifer angeraut	
Abdichtungen		
Material 1	Schnell abbindender Reparaturmörtel (NATCEM 35)	
Verbrauch	ca. 35 kg	
Material 2	Schnell abbindender Zement (Krystol Plug)	
Verbrauch	ca. 3 kg	
Ergebnis		
Oberflächen-zustand	• Mauerwerk ist vollständig mit Stopfmörtel vorabgedichtet • Betonoberfläche ist sauber	
Oberflächen-festigkeit	• Schnellstopfmörtel ist feucht, daher minderfest • Fugenmörtel sandet stark ab und ist tlw. unvollständig aufgetragen • Schachtübergang sowie 1. Schachtring sanden leicht ab	
Oberflächen-rauigkeit	• Überwiegend ist die Gesteinskörnung nur vereinzelt freigelegt • Im 2. Schachtring und im Schachtkonus hingegen ist die Gesteinskörnung deutlich sichtbar	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

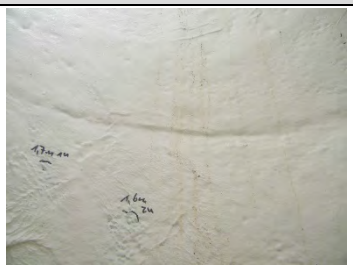
Tabelle 141 Beschichtungsbegleitung, Ultracoat

Ausführung		
Material-applikation	• Von Hand geführte Sprühdüse	
Sanierungsergebnis (Zeitaufwand)	• Der Schachtkörper (einschließlich der Bermen) wurde in 0,5 Stunden beschichtet • Im Bereich des Schachtkopfes wurde das Material mit einem Spachtel geglättet	
Auffälligkeiten während der Sanierungsarbeiten	• Der auf das Mauerwerk aufgetragene Abdichtungsmörtel war bei Beginn der Beschichtungsarbeiten mit Ultracoat noch nicht vollständig abgebunden. Bereichsweise war dieser noch oberflächlich feucht (vgl. dunklere Färbung) • Trocknung des Mörtels mittels Heißluft	
Gesamtzeit der Arbeiten/ Einsatztage vor Ort	ca. 6,3 h / 1	

Der sanierte Schacht wurde optisch und durch Abklopfen untersucht. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Haftzugprüfungen den Verbund der eingesetzten Sanierungsmaterialien zum vorbereiteten Untergrund. An den Prüfstellen der Haftzugprüfungen konnte zusätzlich die Stärke des Beschichtungsmaterials ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 142 enthalten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 142 Ergebnisse der Bauabnahme, Inspektion der Beschichtung Ultracoat

Inspektion der Beschichtung		
Oberflächen-zustand, -festigkeit, -rauigkeit	• Fließspuren und Dreck durch Straßenzulauf • Fugen zwischen Betonfertig-teilen sind deutlich zu erken-nen • Beschichtungsmaterial ist fest • Oberfläche ist glatt	
Undichtheiten/ Wassereindrang	• Fehlender Materialauftrag an mehreren Stellen sichtbar, dadurch im unteren Schacht-bereich (Mauerwerk mit Ab-dichtungsmörtel) Feuchtefah-nen	
Hohlstellen	• keine	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Beton)	• Mittelwert: 2,5 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 1,8 N/mm²	
Haftzugfestigkeiten (Material auf Mauer-werk)	• Mittelwert: 0,3 N/mm² • Kleinster Einzelwert: 0,0 N/mm²	
Materialdicke	• 3 mm	

Bewertung des Sanierungsergebnisses

Durch partiell fehlendes Material (Pinholes) und unzureichender Abdichtung waren geringfügige Undichtheiten (Wassereindrang) im Schachtunterteil vorhanden.

Besondere Auffälligkeiten bei der Bauausführung

Der frisch aufgetragene Abdichtungsmörtel wurde mit einem Heizlüfter getrocknet und dadurch ggf. in seiner Hydratation beeinträchtigt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.5 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

Die bereits unter vergleichbaren Randbedingungen in Labor- bzw. Großversuchen untersuchten Sanierungssysteme wurden auch in Schächte unter sanierungsüblichen Randbedingungen eingebaut. Da jedoch zwei Sanierungsfirmen kein Angebot abgaben, wurden somit insgesamt 13 Schächte ausgekleidet und beschichtet. Ziel dieser In-situ-Untersuchungen war insbesondere:

- Vergleich der Vorgehensweisen bei der Sanierung in situ und im Labor,
- Feststellung von Auffälligkeiten bei der Sanierung,
- Aufnahme des Sanierungsergebnisses.

Der **Vergleich der Vorgehensweisen** bei dem Einbau der Auskleidungen und Beschichtungen führte zu einem positiven Ergebnis. Zwischen In-situ-Maßnahmen und Großversuchen im Labor waren keine nennenswerten Unterschiede in der Handhabung von Geräten und Materialien zum Einbau der Sanierungen festzustellen. Da die In-situ-Sanierungen überwiegend von den Firmen bzw. Kolonnen ausgeführt wurden, die bereits die Schächte im Rahmen der Laborversuche instand setzten, kamen weitgehend auch die gleichen Ausrüstungen zum Einsatz. Mit Blick auf die verwendeten Geräte zur Untergrundvorbereitung war auch hier ein zu den Laborversuchen vergleichbares Ergebnis festzustellen. Von acht eingesetzten Druckerzeugern für die Untergrundvorbereitung von Beschichtungssystemen hatten drei eine maximale Leistung von 500 bar und fünf lagen in einem Leistungsbereich von 230 bis 310 bar. Für zwei Auskleidungssysteme (Handlaminat und PE-HD-Segmentauskleidung) reinigten die Mitarbeiter ebenfalls die Schachtwandungen. Die dazu eingesetzten Druckerzeuger hatten eine Leistung von 170 und 230 bar.

Bei erforderlichen Vorarbeiten wie Abdichtung und Reprofilierung, die bei den Laborversuchen aus versuchstechnischen Gründen entfielen, zeigten sich vereinzelt **Auffälligkeiten**. Diese waren im Wesentlichen auf Schwierigkeiten bei der Vorabdichtung der Schächte zurückzuführen. Insgesamt stellten die in der Mehrzahl vorhandenen und z.T. undichten Schächte aus Mauerwerk die Sanierer vor große Herausforderungen. Hier zeigte sich im Zuge der Sanierungsarbeiten, dass die Abdichtung trotz aller Bemühungen zum Zeitpunkt der Materialapplikation nicht ausreichend war und somit keinen sanierungsfähigen Zustand des Untergrundes darstellte.

In der Folge wurde weiterer Aufwand zur Abdichtung mittels schnell abbindenden Stopf- und Flächenmörteln betrieben mit dem Ziel, das vorgesehene Sanierungssystem applizieren zu können. Im Ergebnis waren an diesen Stellen im Schacht häufig Hohlstellen, ggf. auch mit Rissen, und geringe Verbundfestigkeiten vorhanden, z.T. auch mit Wassereindrang. Dieses Resultat war auch in den Fällen gegeben, wo Maschinentechnik bei den laufenden Beschichtungsarbeiten temporär ausgefallen ist. Sofern ein Mehraufwand erforderlich wurde, versuchten die Sanierer ihren Zeitplan für die Sanierung dennoch einzuhalten. Dann konnte vereinzelt ein Abweichen von Verarbeitungsvorgaben festgestellt werden, z.B. ein Trocknen des Reprofiliermörtels zur schnelleren Applikation der Kunststoffbeschichtung. Auch in diesem Fall war die Verbundfestigkeit insbesondere des Mörtels reduziert und die darüber liegende Beschichtung hatte eine wassergefüllte Blase. Vorabdichtung und Verbundfestigkeit waren für die dortigen Randbedingungen somit unzureichend und basierten auf Verarbeitungsfehlern.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Eine weitere Auffälligkeit bei den Sanierungsarbeiten, allerdings ohne erkennbaren Einfluss auf das sichtbare Sanierungsergebnis, war die Verwendung von Abwasser zur Herstellung eines Vergussmörtels zur Ringraumverfüllung.

Die **Aufnahme des Sanierungsergebnisses** umfasste Erkenntnisse aus der Schachtinspektion hinsichtlich Dichtheitsmängeln und weiteren Auffälligkeiten wie Hohlstellen, Risse, Blasen und Ablösungen sowie die Ergebnisse aus Qualitätsprüfungen am Gewerk (Haftzugfestigkeit und Schichtdicken der Materialien). Die wesentlichen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Die **Dichtheit** betreffend konnte bei fünf von sieben *Mörtelbeschichtungen* trotz umfangreichen Vorabdichtungsmaßnahmen ein geringfügiger Wassereindrang in Form von Feuchtefahnen festgestellt werden. Ebenfalls an einer *Auskleidung* (Handlaminat) und einer *Kunststoffbeschichtung* (Epoxidharz) war dieser Zustand gegeben. Jeweils zwei Mörtelbeschichtungen, Auskleidungen und Kunststoffbeschichtungen waren diesbezüglich unauffällig. Allerdings zeigten sich bei den beiden polymeren Systemen **Auffälligkeiten** als Ablösungen vom Untergrund in Form von Blasen. Ein hohlliegender Bereich konnte zudem in der PE-HD-Auskleidung identifiziert werden. Weitere Hohlstellen waren in der Handlaminat-Reprofilierung und bei einem aufgeschleuderten Mörtelsystem vorhanden. Die übrigen Gewerke zeigten keine derartigen Auffälligkeiten.

Die Prüfung der **Haftzugfestigkeit** lieferte eine große Bandbreite der Ergebnisse, allerdings überwiegend auf niedrigem Niveau. In drei Schächten mit einer *Mörtelbeschichtung* lag die mittlere Haftzugfestigkeit zwischen 1,0 und 1,2 N/mm², in einem Schacht mit einer *Kunststoffbeschichtung* aus Epoxidharz bei 2,5 N/mm². Die weiteren neun Sanierungssysteme hatten hier Verbundfestigkeiten von etwa 0,1 bis 0,4 N/mm². Ursachen für die niedrigen Werte sind in einer unzureichenden Untergrundvorbereitung, dem großflächig aufgetragenen Stopf- bzw. Abdichtungsmörtel und Verarbeitungsfehlern sowie aus einer Kombination dieser zu sehen.

Die **Schichtdicken** der *Mörtelbeschichtungen* wiesen eine Bandbreite von 7,8 bis 16,0 mm auf, die Kunststoffbeschichtungen von 3,0 und 4,0 mm sowie 8,2 mm für das dreilagige Polyharnstoffsystem. Das Handlaminat hatte eine Stärke von 4,0 mm. Die werkseitig hergestellten Materialien für die Auskleidung der Schächte lagen in gleicher Größenordnung wie bei den Laborversuchen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.6 Reparatur von schadhaften PE-HD-Schächten in situ

7.6.1 Ausgangssituation

Im Netz des WBH (Wirtschaftsbetrieb Hagen, Projektantragsteller) zeigten sich in einem Erschließungsgebiet (vgl. Bild 156) bereits im Jahr 2013 an im Jahr 2011 neu eingebauten Abwasserschächten aus PE-HD Auffälligkeiten in den Schachtunterteilen. Hier waren insbesondere Beulen im Bereich von Auftritt und Gerinne sowie Risse im Material des Schachtunterteils vorhanden. Welche Ursachen für die Entstehung der vorhandenen Schäden maßgeblich waren, konnte nicht zweifelsfrei ermittelt werden. Zu dieser Thematik wurden daher spezielle Versuche durchgeführt, deren Durchführung und gewonnenen Ergebnisse in Abschnitt 6.3 dargestellt sind. Im Rahmen der Sanierungsmaßnahmen vor Ort soll darüber hinaus aufgezeigt werden, ob und unter welchen Randbedingungen defekte Schächte aus Polyethylen repariert werden können. Dazu sind in dem folgenden Abschnitt die Reparaturen und erzielten Ergebnisse dargestellt.

Bild 156 Lage der Schächte im verkehrsberuhigten Bereich (links), Blick in einen nachzuschweißenden PE-HD-Schacht (rechts)

Nachfolgend sind in Bild 157 exemplarisch Ansichten der Schäden an den Schachtunterteilen aufgeführt.

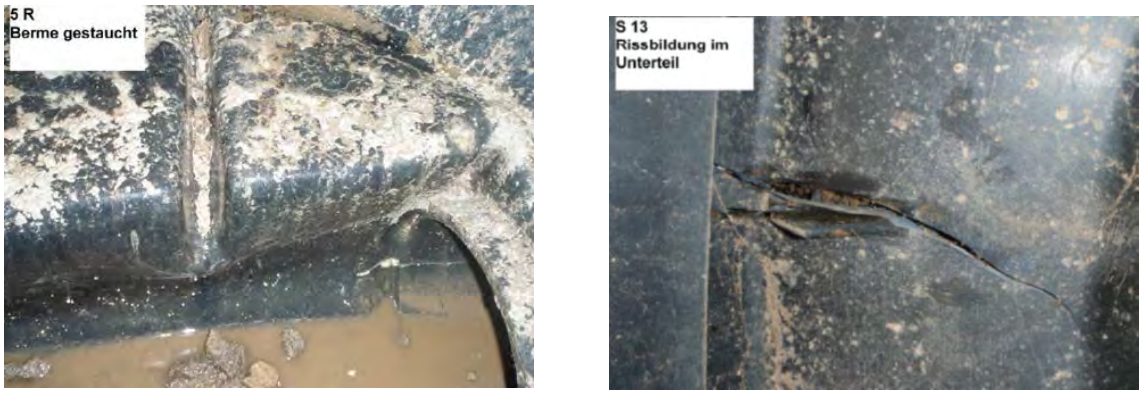


Bild 157 Beispiele für die vorhandenen Schäden an den PE-HD-Schächten: Eingebeultes Gerinne (links) und Riss im Material (rechts)

Um die Kunststoffschächte wieder in einen betrieblich sicheren und auch dichten Zustand zu bringen, erarbeitete der Schacht-Hersteller entsprechende Lösungsvorschläge:

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Ausbau der am stärksten geschädigten Schächte mit Ersatz-Neubau (Erneuerung),
- Reparatur mittels PE-Schweißen der Risse, ggf. zusätzlicher Einbau eines „Lastbandes“ (angeschweißter Ring aus PE-HD).

Die Durchführung der Reparaturarbeiten sowie die erzielten Ergebnisse sind in dem nachfolgenden Abschnitt dargestellt.

7.6.2 Durchführung der Reparaturarbeiten

Die Reparatur der vier Schächte erfolgte am 2. und 3. Dezember 2014 durch den Schachthersteller.

Reparatur an Schacht R5

Das erste Sanierungsobjekt ist der Schacht mit der Bezeichnung R5: Hier befindet sich ein Riss oberhalb des seitlichen Zulaufs im Schachtunterteil. Bei Durchführung der Reparaturarbeiten wurde die defekte Stelle zunächst getrocknet, der Untergrund vorbereitet (gesäubert und abgeschliffen) und der Riss zur Entlastung angebohrt. Danach wurde der Riss mit einer Extruder-Schweißnaht wieder verschlossen.

Zur Entlastung bzw. Stabilisierung des aufgehenden Schachtringes wurde anschließend noch ein Ring von ca. 5 cm Breite eingebaut und damit über die Schadstelle gesetzt (vgl. Bild 158). Dieser PE-Ring wurde an seiner Ober- und Unterkante mit dem Altschacht verschweißt.

Bild 158 Der nachgearbeitete Riss mit der neuen Schweißnaht vor dem Glätten (links) und der Schacht R5 nach der Sanierung mit dem aufgetragenen „Lastband“ (rechts)

Reparatur an Schacht S5

Die zweite Reparatur fand am Schacht mit der Bezeichnung S5 statt. Hier waren Risse oberhalb der Berme vorzufinden, darüber hinaus waren sogenannte Aussteifungsdreiecke im Schachtunterteil abgerissen. Weiterhin waren Risse in der „Stecknaht“ zu sehen. Die Risse wurden in gleicher Weise geschweißt wie bereits zur Vorgehensweise bei der Reparatur von Schacht R5 dargestellt. Die abgerissenen Aussteifungsdreiecke wurden nicht ersetzt.

Reparatur an Schacht S6

Schacht S6 wies einen Riss im Zulaufgerinne zwischen 3 und 7 Uhr auf (vgl. Bild 159, links). Die Sohle des Zulaufs und die Gerinnesohle waren darüber hinaus nicht bündig

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

zueinander und zeigten zusätzlich einen Riss. Der vorhandene Rissspalt wurde wiederum getrocknet, gesäubert, angeraut und mit einer Schweißnaht versehen. Danach wurde das aufgeschweißte Material geglättet, um Rauigkeiten im Gerinne zu reduzieren und damit die Bildung von Ablagerungen zu vermeiden.

Bild 159 Zulaufgerinne und nichtbündiger Schachtboden vor (links) und nach (rechts) der Reparatur am Schacht S6

Reparatur an Schacht S9

Das Schadensbild in Schacht S9 war vergleichbar dem in Schacht S6, lediglich die Lage des Risses war etwa zwischen 6 und 8 Uhr am Rohrumfang. Der vorhandene Riss war hier jedoch deutlich breiter. Um diesen Riss verschweißen zu können, waren mehrere Schweiß- bzw. Arbeitsschritte erforderlich.

Zunächst wurde eine erste Schweißnaht als „Abdichtung“ gesetzt, um trockenere Randbedingungen zu schaffen. Im Anschluss wurden darüber drei weitere Schweißnähte gesetzt. Die auf diese Weise erzeugte, vergleichsweise große Naht glättete der Mitarbeiter in einem abschließenden Arbeitsschritt (siehe Bild 160, rechts). Das erzielte Reparaturergebnis stellte nach Ansicht des Ausführenden das Bestmögliche unter den vorherrschenden Randbedingungen dar.

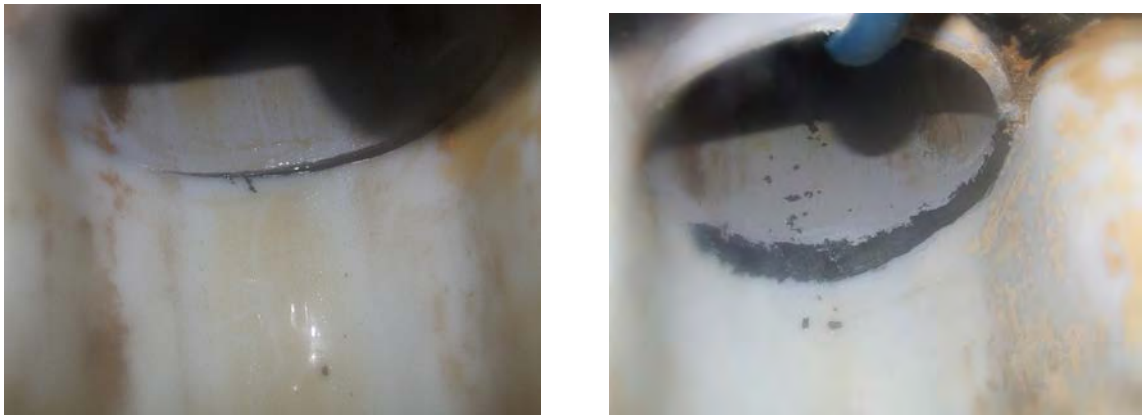


Bild 160 Zulaufgerinne und nichtbündiger Schachtboden vor (links) und nach (rechts) der Reparatur am Schacht S9

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

7.6.3 Nachkontrolle der reparierten Schächte

Um einen maximalen, zeitlichen Abstand zwischen Reparatur und Nachkontrolle berücksichtigen zu können und zusätzlich Inspektionen bei ggf. höheren Grundwasserständen durchführen zu können, wurden die Schächte zum Projektende am 2. Februar 2016 erneut inspiziert und die Reparaturstellen in Augenschein genommen. Hierbei stellten sich die **reparierten Stellen** in allen vier Schächten **ohne Auffälligkeiten** und **dicht** dar (vgl. Bild 161).

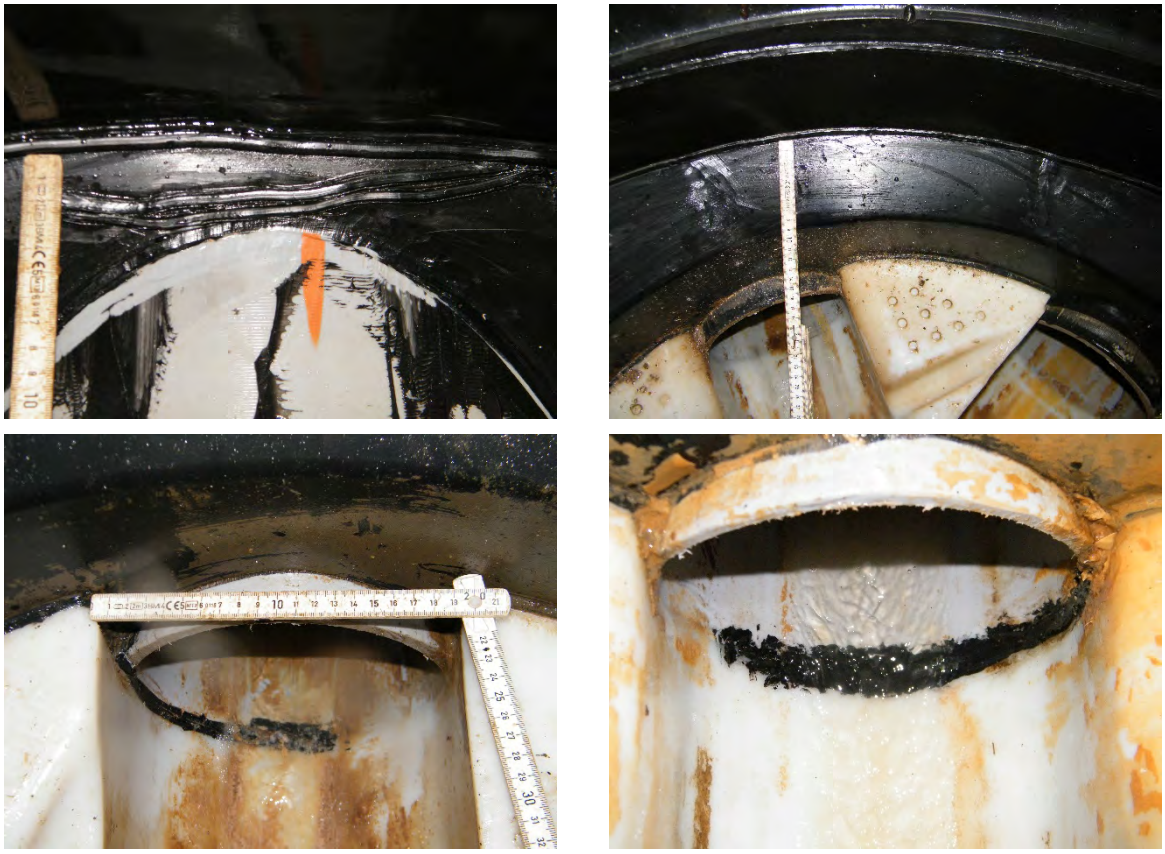


Bild 161 Detailansichten der Reparaturstellen in vier Schächten: Schacht R5 (links oben), Schacht S5 (rechts oben), Schacht S6 (links unten) und Schacht S9 (rechts unten)

Allerdings zeigten sich im Zuge der Nachkontrolle weitere Auffälligkeiten an den drei Schächten R5, S5 und S9: Hier liegen die Schachtkonen exzentrisch mit einem maximalen Versatz von bis zu ca. 13 mm (vgl. Bild 162, oben) auf dem Schachtkörper und in einem Fall (S9) dringt Wasser durch diese Verbindungsfuge in den Schacht ein und ließ bereits geringfügig Inkrustationen entstehen (vgl. Bild 162, unten).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

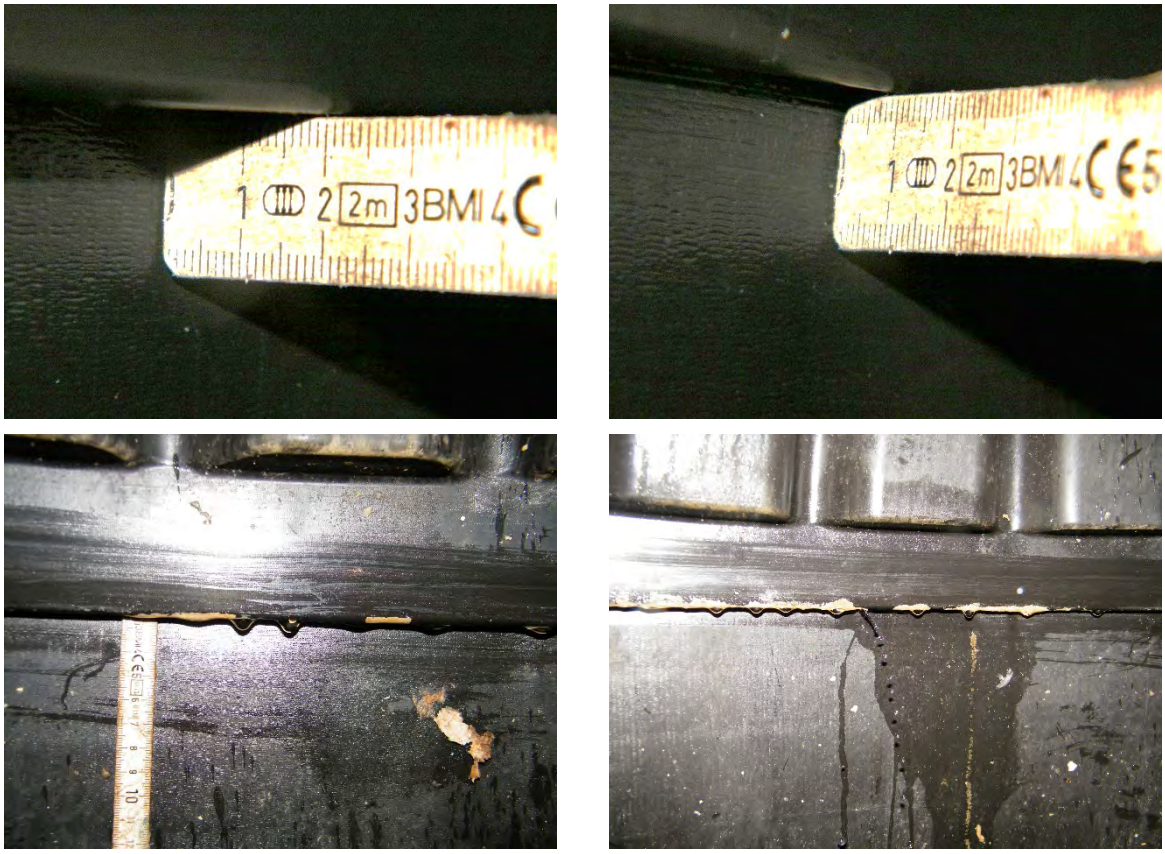


Bild 162 Unterschiedliche Abstände zeigen eine exzentrische Auflage des Konus auf dem Schachtkörper S5 (Bilder oben), unterschiedlich starker Wassereindrang und Inkrustationen an der Fuge in Schacht S9 (Bilder unten)

Darüber hinaus zeigte sich in Schacht S5 ein weiterer, offensichtlich neu entstandener, ca. 13 cm langer Riss im Schachtunterteil unterhalb der Abschrägung (vgl. Bild 163).

Bild 163 Lage des Risses im Schachtunterteil von Schacht R5 (roter Pfeil, links), Länge des Risses, gekennzeichnet durch zwei rote Pfeile (rechts)

Ein Wassereindrang durch diesen Riss war zum Zeitpunkt der Inspektion nicht vorhanden, eine Reparatur in vergleichbarer Weise wie bereits an den anderen Stellen bzw. Schächten vorgenommen, somit möglich.

7.6.4 Bewertung der ausgeführten Maßnahmen

Im Rahmen einer Erschließungsmaßnahme wurden Schächte aus PE-HD verbaut. Einige dieser Schächte zeigten nach ihrem Einbau bereits Beulen und/oder Risse in den

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Schachtunterteilen. Sofern diese Schäden von der Herstellerfirma als reparabel angesehen wurden, sind die vorab beschriebenen Reparaturarbeiten durchgeführt worden.

Im Wesentlichen waren dies diejenigen Schächte, an denen lokal begrenzte Risse mittels Extruder-Schweißen geschlossen werden konnten. Hier ist allerdings zu bemerken, dass kein Wasser durch diese Risse infiltrierte, welches die Schweiß-Arbeiten beeinträchtigt oder ggf. auch unmöglich gemacht hätte. Üblicherweise ist die Abwesenheit von Wasser in der Schweiß-Zone eine Grundvoraussetzung für das Gelingen der Maßnahme. Somit sind die durchgeführten Reparaturarbeiten unter den vorherrschenden Randbedingungen als positiv zu bewerten und auf vergleichbare Anwendungsfälle übertragbar.

Mit Blick auf die unter günstigen Randbedingungen durchgeführten bzw. durchführbaren Reparaturarbeiten wird umso mehr deutlich, dass die Entstehung dieser Schäden – denkbar sind hier Einbaufehler oder unzulässige Belastungen der Bauwerke während der Bauphase – verhindert werden sollte (vgl. dazu Abschnitt 6.3). Dies kann bereits durch Einhalten der Einbauvorschriften, bspw. zur Handhabung der Bauteile und zur Vorgehensweise bei der Verdichtung des umgebenden Bodens (Bettung des Bauwerks), erreicht werden. Des Weiteren können Maßnahmen, die den Schutz der eingeerdeten Bauteile z.B. vor unzulässigen Überfahrten (Belastungen) durch Baufahrzeuge ermöglichen, diese vor Schäden bewahren.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

8 Untersuchungen zu Mittragwirkung und Alterung

8.1 Überblick

Insbesondere die mit Mörtelsystemen oder mit Auskleidungen sanierten Schächte können unter Umständen als statisch ertüchtigtes Bauwerk angesehen werden. Jedoch ist derzeit noch unklar, in welchem Maße dies der Fall ist. Daher sollen mit einem mechanischen Prüfverfahren erstmals die Steifigkeitszuwächse in Zuge einer Sanierung von Schächten untersucht werden. Das hierfür vorgesehene MAC-Prüfgerät - welches für die Untersuchung von Kanalhaltungen bzw. -rohren entwickelt worden ist - musste jedoch im Vorfeld auf den Einsatz in Schachtbauwerken angepasst und modifiziert werden. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurden Vorher-Nachher-Vergleiche zur Bestimmung des Steifigkeitszuwachses infolge einer Beschichtung oder Auskleidung durchgeführt (vgl. Abschnitt 8.2).

Einen weiteren Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes bilden Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Sanierungsmaterialien. Dazu wurden zunächst Informationen aus anderen Infrastrukturbereichen recherchiert und, sofern möglich, auf die Anforderungen für Abwasserbauwerke übertragen. Zudem wurden Informationen zum Alterungsverhalten von Abwasserschächten bezüglich der auftretenden Einwirkungen und Belastungen zusammengetragen.

In einem weiteren Schritt wurde das Alterungsverhalten unter Betriebsbeanspruchungen betrachtet. Hierbei wurden sowohl Einlagerungsversuche als Plausibilitätsprüfungen im Rahmen des Warentests durchgeführt, als auch weiterführend die Auswirkungen von Betriebsbeanspruchungen auf Werkstoffeigenschaften untersucht. Schließlich wurden noch die Auswirkungen einer bezüglich der Schadstoffbelastung nicht ausreichend durchgeführten Untergrundvorbehandlung auf die Haftzugfestigkeit einer Beschichtung hin betrachtet (vgl. Abschnitt 8.3).

8.2 Mittragwirkung

8.2.1 Veranlassung und Vorgehensweise

Im Rahmen des Warentests an Beschichtungen und Auskleidungen stellte sich auch im Lenkungskreis die Frage, inwieweit diese Sanierungssysteme eine Verbesserung der statischen Tragfähigkeit leisten können. Da nicht nur mineralische, sondern auch organische Sanierungsmaterialien eingesetzt wurden, ist grundsätzlich das Zusammenwirken mit dem Material des Altschachtes zu hinterfragen.

Daher werden im Rahmen des Projektes zunächst die vorliegenden Erkenntnisse zusammengestellt. Hierbei werden diesbezügliche Forschungsergebnisse aus den USA analysiert. Anschließend wird das zur In-situ-Prüfung eingesetzte MAC-Verfahren beschrieben und die notwendigen Modifizierungen für den Einsatz im Schachtbauwerk erläutert. Das durchgeführte Versuchsprogramm wird vorgestellt und die Prüfergebnisse werden diskutiert. Abschließend werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen bewertet.

8.2.2 Internationale Forschungsergebnisse

Die „Water Environment Research Foundation“ aus den USA schloss im Sommer 2015 unter der Leitung von M. Najafi und F. Sever ein Projekt ab, welches die statische Tragfähigkeit von Beschichtungsverfahren zum Thema hatte [48]. Im Rahmen dieses Projektes wurden unterschiedliche Versuche zur Mittragwirkung von Beschichtungen

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

aus unterschiedlichen Kunststoffen und Mörteln in verschiedenen Schichtdicken durchgeführt. Zum Einsatz kamen dort Zementmörtel, Epoxy, Polyurethan, GFK, Carbonfaser, CIPP und Kombinationen aus diesen Materialien. Es wurden zunächst Vorversuche an Prismen zur Beurteilung der Änderung der Biegezugfestigkeit und an Zylindern zur Beurteilung der Änderung der Druckfestigkeit durchgeführt.

Vorversuche an Prismen (Biegezugfestigkeit) und Zylindern (Druckfestigkeit) mit und ohne Beschichtungen

Bild 164 zeigt die verwendeten Probekörper für die Vorversuche ohne und mit Beschichtungen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind im Bild 165 zusammengestellt.

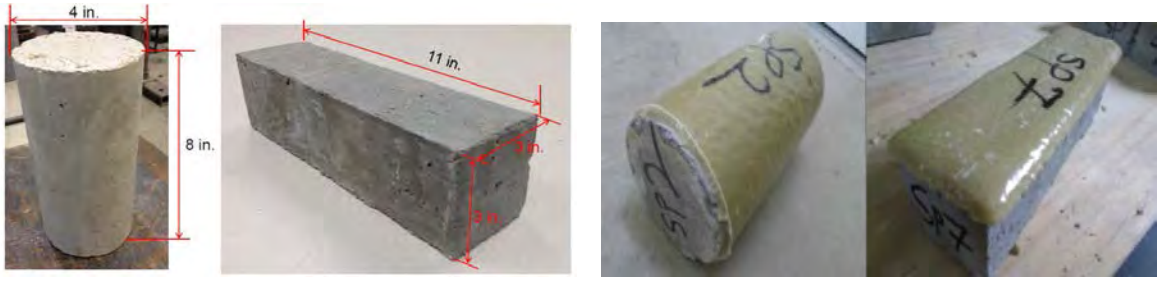


Bild 164 Probekörper für die WERF-Vorversuche: Ohne Beschichtung als Referenz (links) und mit Beschichtung (rechts), WERF 2015 [48]

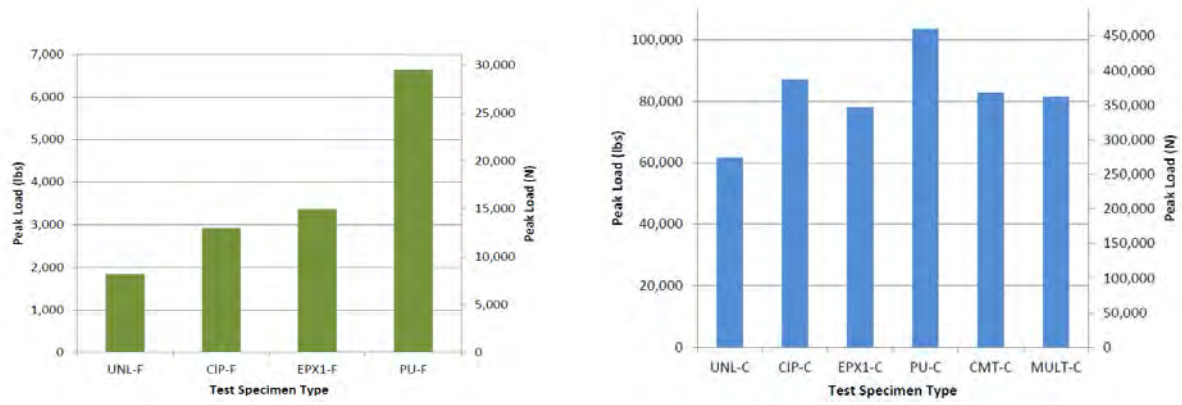


Bild 165 Ergebnisse der WERF-Vorversuche: Biegezugfestigkeit (links) und Druckfestigkeit (rechts), WERF 2015 [48]

Im Ergebnis konnten deutliche Zuwächse sowohl bei der Biegezug- als auch bei der Druckfestigkeit festgestellt werden. Diese betrugen bei der Biegezugfestigkeit bis zu 300 % und bei der Druckfestigkeit bis zu 90 %

Die Zunahme der Biegezugfestigkeit hing stark von der Dicke der Beschichtung ab. Je größer die Dicke, desto größer die Zunahme der Biegezugfestigkeit. Die Zunahme der Druckfestigkeit hing demgegenüber nicht signifikant von der Beschichtungsdicke ab. Grundsätzlich musste jedoch der Versuchsaufbau hinterfragt werden. Die Zunahme der Druckfestigkeit könnte nämlich auf die Behinderung der Ausdehnung des Zylinders in Umfangsrichtung zurückzuführen sein. Dieser Effekt kann bei einer Innenbeschichtung im Rahmen einer Schachtsanierung nicht auftreten. Diesbezüglich wurden daher hierauf aufbauende Scheiteldruckversuche an von innen beschichteten Stahlbetonrohren durchgeführt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Hauptversuche an Stahlbetonrohren DN 625 mit und ohne Innenbeschichtungen

Bild 166 zeigt den Versuchsaufbau und typische Ergebnisse. Bei den steiferen Materialien (hoher E-Modul) kam es zu Rissen von Rohr und Beschichtung (Bild 166, Mitte) während bei den elastischeren Materialien (geringer E-Modul) Risse im Stahlbetonrohr keine sichtbaren Schäden an den Beschichtungsmaterialien nach sich zogen (Bild 166, rechts). Der Grund hierfür kann in der rissüberbrückenden Wirkung der Materialien infolge von Ablösungen im Rissbereich zu finden sein.

Bild 166 WERF-Hauptversuche: Scheiteldruckversuche an Stahlbetonrohren DN 625 mit und ohne Innenbeschichtungen: Versuchsaufbau (links); Riss durch Rohr und Innenbeschichtung (Mitte); Riss nur durch Rohr (rechts), WERF 2015 [48]

Im Ergebnis konnten deutliche Zuwächse von bis zu 384 % bei der Scheiteldruckfestigkeit festgestellt werden, welche insbesondere bei den mineralischen Beschichtungen von der Schichtdicke abhingen.

Schlussfolgerungen

Aus den Versuchsergebnissen des WERF-Projektes kann abgeleitet werden, dass auch aufgesprühte Kunststoffbeschichtungen mit kleinen Schichtdicken die Systemsteifigkeit in Kombination mit einem nicht vorgeschädigtem Stahlbetonrohr signifikant erhöhen können. Einen wesentlichen Beitrag zur statischen Tragfähigkeit leistet hierbei der Verbund mit dem Untergrund.

Bei vergleichbarem E-Modul von Beton und Beschichtung setzten sich die Risse aus dem Stahlbetonrohr in der Beschichtung fort (Bild 166, Mitte). Aufgrund der niedrigen E-Moduln einiger Kunststoffbeschichtungen vermutlich in Verbindung mit lokalen Ablösungen kam es bereits zur deutlichen Rissbildung im Stahlbetonrohr, bevor die Innenbeschichtung versagte (Bild 166, rechts).

Offen bleibt jedoch das Verhalten des beschichteten Schachtes unter In-situ-Bedingungen, also im eingebauten Zustand unter Erddruckbelastung. Außerdem stellt sich die Frage, inwieweit eine Beschichtung die Tragfähigkeit eines bereits geschädigten Schachtbauwerkes wiederherstellen kann.

8.2.3 Das MAC-System

Das MAC-Prüfsystem (Mechanical Assessment of Conduits) wird in Frankreich bereits seit dem Jahr 1989 in Großprofilen ab DN 1500 angewendet [49]. Das IKT passte

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

dieses System für den Einsatz in kleineren Durchmessern als DN 1500 an und entwickelte die eingesetzte Mess- und Regeltechnik weiter. Dies geschah in enger Kooperation mit Eau de Paris, dem Entwickler dieses Systems, im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes [50].

Mit einem hydraulischen **Druckzylinder** wird bei den Prüfungen so viel Kraft auf die Wände des Kanals aufgebracht, dass diese sich kontrolliert um wenige zehntel Millimeter auseinander bewegen (Bild 167). Feine **Sensoren** messen die entstehende Verformung im Bereich der Druckstempel und in jeweils etwa einem Meter Entfernung davor und dahinter (Bild 168). Die sehr geringe Verformung reicht aus, um unter Einbeziehung des Verformungsbilds und der eingesetzten Kraft den Zustand von Rohr und Boden zu errechnen. Um die an den Durchmesser des Kanals angepasste Verformung zu erreichen, kann durchaus eine Kraft von 100 KN oder mehr erforderlich sein. Durch die minimale Verformung wird der Kanal trotz der hohen Kräfte nicht beschädigt. Ist die Geometrie des Sammlers (Form und Wanddicke) bekannt, so kann der Verformungsmodul des Bodens in dreidimensionalen Berechnungen mit der Finite-Element-Methode ermittelt werden.

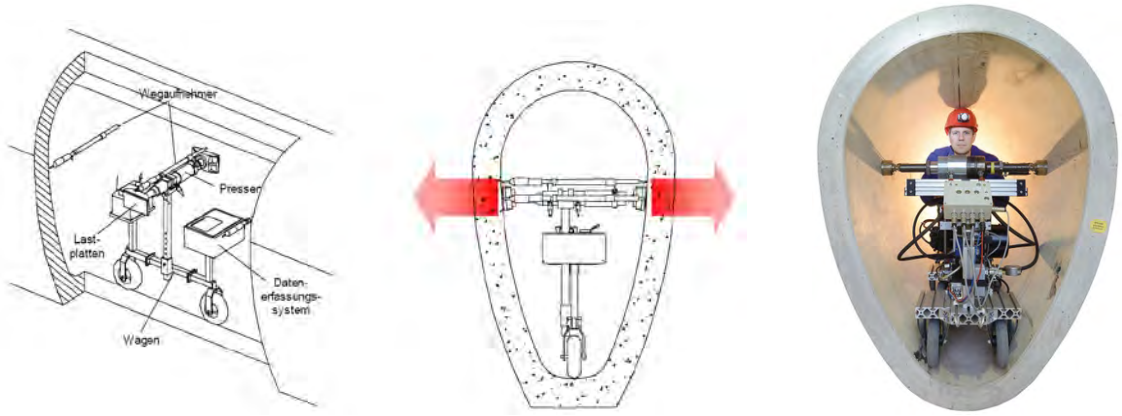


Bild 167 Funktionsweise des MAC-Verfahrens (aus [51], verändert)

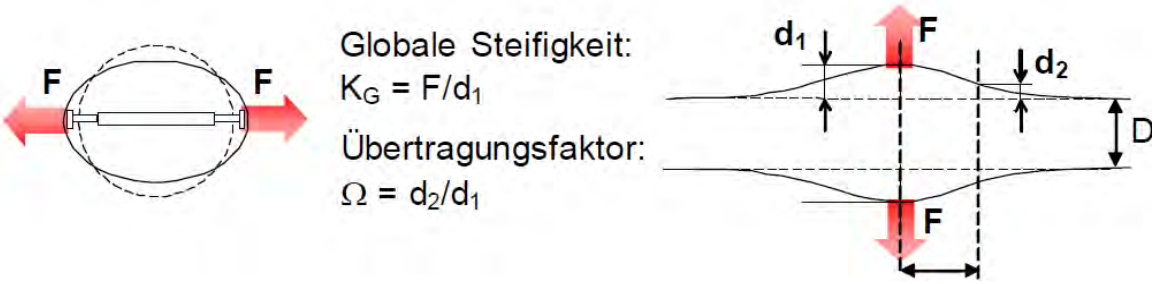


Bild 168 Messgrößen einer MAC-Prüfung (aus [51], verändert)

Das MAC-Verfahren bietet im Vergleich zur klassischen optischen Inspektion die Möglichkeit weit mehr Informationen über das Rohr-Boden-System zu gewinnen, ohne die Anzahl der Kernbohrungen im Kanal oder der Aufschlussbohrungen im umgebenden Boden zu erhöhen. Soweit erforderlich können anschließend zielgerichtet nähere Untersuchungen zur Qualität und Geometrie des Sammlers durchgeführt werden. Zudem können anhand der Prüfung in Verbindung mit den Ergebnissen von Bohrkernentnahmen statische Berechnungen durchgeführt werden, welche auch Rückschlüsse auf die

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Lastverteilung zwischen Boden und Rohr zulassen. So können Sanierungsmaßnahmen zielgerichtet auf die jeweilige Schwachstelle ausgerichtet werden, z.B. als Spritzbetonauskleidungen zur statischen Ertüchtigung des Sammlers oder Bodeninjektionen zur Verbesserung der Bettung. Diese dann nicht allein auf einer optischen Beurteilung von Innen beruhende Verfahrensauswahl erhält so eine deutlich erhöhte Aussagekraft und die auf dieser Basis durchgeführten Standsicherheitsbeurteilungen eine erheblich größere Zuverlässigkeit.

Aufgrund der Vorteile beim Einsatz dieses Systems in Kanälen lag eine Übertragung der Messmethodik auf Abwasserschächte sehr nahe. Zu beachten war hierbei jedoch, dass sich aus den gegebenen Randbedingungen notwendige Modifikationen am System ergaben. Zunächst mussten die Hydraulikschläuche erheblich verlängert werden, da das Hauptgerät mit dem Hydraulikaggregat aufgrund der beengten Platzverhältnisse im Schacht an der Oberfläche stehen muss. Von Vorteil war in diesem Zusammenhang die drahtlose Messwertübertragung der Wegaufnehmer. Diese konnten unverändert zum Einsatz kommen. Des Weiteren wurde zur Verbesserung des Handlings im Schacht ein bauartbedingt kompakterer Hydraulikzylinder eingesetzt. Bei den Messungen wurden wie im Kanal zur Erfassung der Längstragwirkung drei Wegaufnehmer eingesetzt. Einer direkt im Bereich des Lastangriffs und jeweils ein weiterer ober- und unterhalb im geprüften Schachtring. Bild 169 zeigt den Einsatz des modifizierten MAC-Gerätes im Großversuchsstand des IKT.

Bild 169 Einsatz des MAC-Systems im Großversuchsstand des IKT: Kontrolle des Tests an der Oberfläche (links); Komponenten im Schacht (rechts)

Die Messung mit dem MAC-Gerät erfolgte in folgenden Schritten:

- Setzen des unteren Wegaufnehmers (d1)
- Setzen des mittigen Wegaufnehmers (d0)
- Positionieren des Hydraulikzylinders und Aufbringen einer geringen Vorlast zur Fixierung
- Setzen des oberen Wegaufnehmers (d2)
- 3-maliges Anfahren der Sollverformung am mittleren Wegaufnehmer von 0,3 mm bei gleichzeitiger Messung von Kraft und Verformungen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Entlasten und Ausbau des Systems

Nach diesem Schema wurden die Schachtbauwerke im Großversuchsstand in unterschiedlichen Phasen der Sanierung geprüft. Bild 170 zeigt exemplarisch die aufgenommenen Messwerte mit der zugehörigen Auswertung. Deutlich sind in der linken Grafik die drei Be- und Entlastungsphasen zu erkennen.

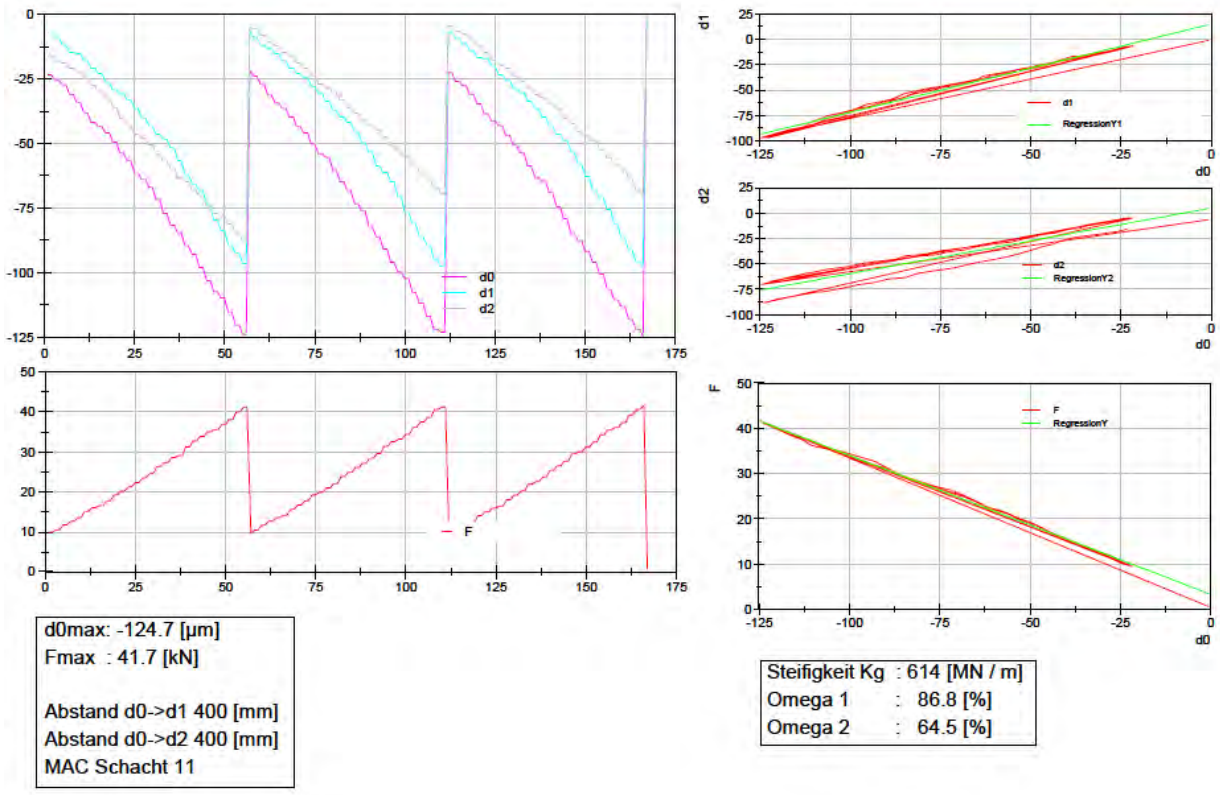


Bild 170 Exemplarische Darstellung der Messwerte einer MAC-Prüfung

8.2.4 Versuchsprogramm

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes waren Tastversuche in Form von In-situ-Messungen an bis zu drei unsanierten und sanierten Schächten im Entwässerungsnetz des Wirtschaftsbetriebs Hagen geplant. In der Planung dieser Einsätze zeigte sich ein recht großer Aufwand für die wenigen Versuche. Zudem wäre eine zielgerichtete Auswertung aufgrund unbekannter Randbedingungen voraussichtlich nicht möglich gewesen. Daher wurde in Abstimmung mit dem Lenkungskreis dieses Programm dahingehend geändert, dass nun alle im Großversuchsstand des IKT eingesetzten Sanierungssysteme einer diesbezüglichen Prüfung unterzogen wurden. So konnten alle 13 Sanierungssysteme unter vergleichbaren und reproduzierbaren Randbedingungen betrachtet werden.

Eine offene Fragestellung aus [48] ist das Verhalten des beschichteten Schachtes unter In-situ-Bedingungen, also im eingebauten Zustand unter Erddruckbelastung. Hier stellt sich insbesondere die Frage, inwieweit eine Beschichtung die Tragfähigkeit eines bereits geschädigten Schachtbauwerkes wiederherstellen kann. Daher wurde der Boden in der Umgebung der untersuchten Schachtringes gering verdichtet, um seinen Anteil an der Gesamtsteifigkeit zu minimieren.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Betrachtet wurden die Schachtringe direkt unter dem Konus, welche eine Bauhöhe von 1,0 m besaßen. Diese wurden nach dem Versuchsaufbau zunächst einer MAC-Prüfung zur Ermittlung der **Ausgangssteifigkeit** unterzogen. Anschließend wurde die Belastung bis zum Bruch der Beton-Schachtringe gesteigert und die **Gesamtsteifigkeiten der geschädigten Systeme** ermittelt. Abschließend wurden nach der Sanierung der Schachtbauwerke und nach Abschluss des Prüfprogramms des Warentestes die **Gesamtsteifigkeiten der sanierten Systeme** ermittelt. Hierdurch konnten die Steifigkeitsänderungen infolge der Sanierung quantifiziert werden. Außerdem wurden stichprobenartig Lastplattendruckversuche und Rammsondierungen im Großversuchsstand durchgeführt, um die Bodenparameter in der Bettung der Schachtbauwerke zu ermitteln.

8.2.5 Versuchsergebnisse

Im Anschluss an das umfangreiche Prüfprogramm wurden zahlreiche Haftzugprüfungen an den Sanierungsmaterialien durchgeführt, welche auch zur Bestimmung der vorhandenen Wanddicken genutzt werden konnten. In Tabelle 143 sind diese Werte zusammenfassend dargestellt. Zudem enthält sie eine Gruppierung der verwendeten Materialien und eine grobe Einordnung der Elastizitätsmoduln.

Tabelle 143 Eigenschaften der eingesetzten Materialien: Dicke, Haftzugfestigkeit

Nummer	System	Material	Dicke [mm]	HZF [N/mm^2]	Gruppe	E-Modul	
1	HOBAS-GFK	GFK	24,2	-	Auskleidung	<< Beton	
2	Spectrashield	Polyurea	1,8*	0,3	Kunststoff	<< Beton	* Dicke nur unterste Lage
3	GFK-Handlaminat	GFK	4,6	2,0	Kunststoff	<< Beton	
4	Ombran MHP	Mörtel	15	1,8	Mörtel	≈ Beton	
5	Betofix	Mörtel	18,4	2,1	Mörtel	≈ Beton	
6	PCI-Nanocrete	Mörtel	19,9	1,5	Mörtel	≈ Beton	
7	KS-1	Mörtel	8,4	1,2	Mörtel	≈ Beton	
8	Silicate	Silikatmörtel	10,5	1,2	Mörtel	≈ Beton	
9	Sika	Mörtel	19,5	2,2	Mörtel	≈ Beton	
10	GFK-Rückverankert	GFK	3	1,6*	Auskleidung	<< Beton	* GFK-Laminat von Schraubenkopf abgezogen!
11	Oldodur	Polyurethan	6,1	2,0	Kunststoff	<< Beton	
12	PEHD-SuT	PEHD+Mörtel	5,4 + 29,7	0,4*	Auskleidung	Verbundsystem	* PE-Auskleidung von Dämmer abgezogen
13	Ultracoat	Epoxydharz	3,6	3,5	Kunststoff	<< Beton	

Die exemplarisch durchgeführten Lastplattendruckversuche und Rammsondierungen zur Verdichtungskontrolle bestätigten die angestrebte lockere Lagerung des Versuchsbodens.

Im Bild 171 sind die Systemsteifigkeiten vor (KG,R) und nach (KG,S) der Sanierung bezogen auf die Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes (KG,0) dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

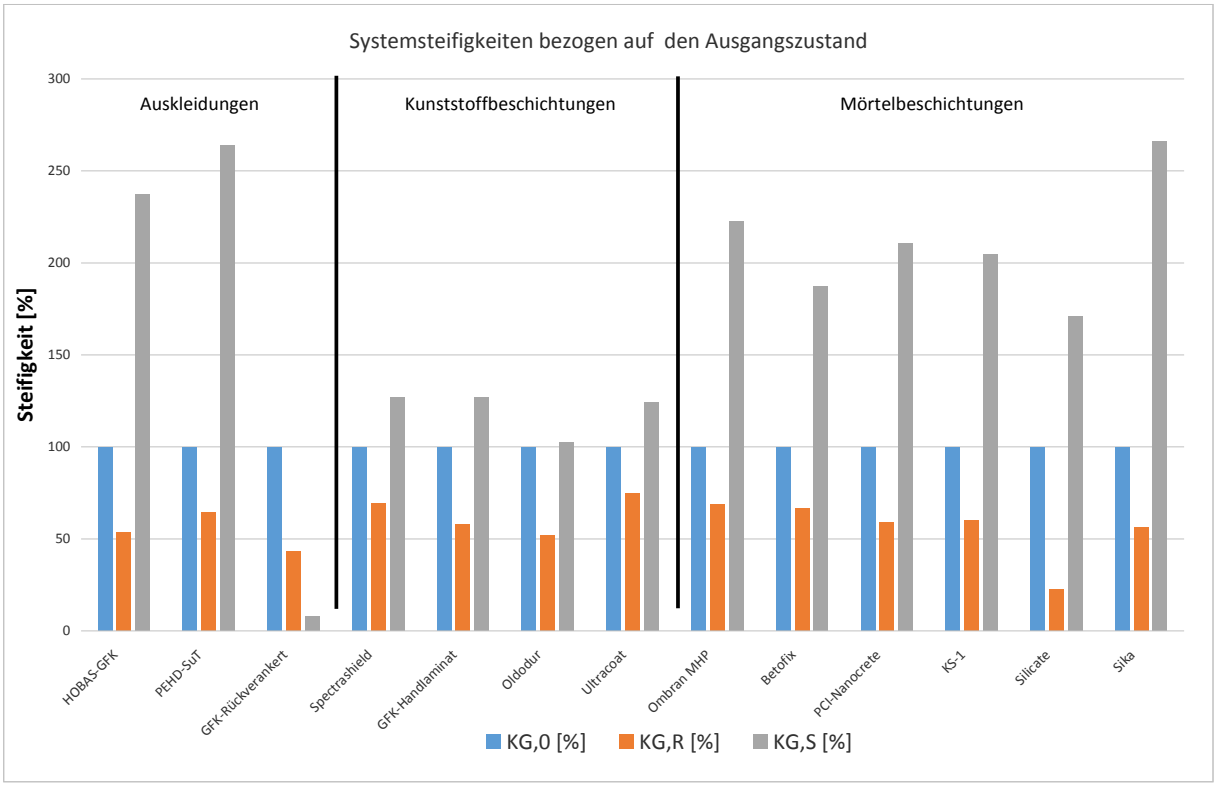


Bild 171 Ergebnisse der MAC-Untersuchungen an den sanierten Schächten

Im Ergebnis konnte bei fast allen Systemen die Ausgangssteifigkeit bezogen auf den intakten Schachtring wiederhergestellt werden. Lediglich das System mit den rückverankerten GFK-Platten zeigte aufgrund der fehlenden Verfüllung des Hohlraumes zwischen GFK-Platte und Schachtwand einen Steifigkeitsabfall. Dieser ist auch zu erwarten, wenn bei Systemen mit planmäßiger Verfüllung des Hohlraumes der Verbund zwischen Auskleidung und Altschacht fehlt oder nicht verfüllte Hohlräume auftreten. Dies zeigt, dass die Messung mit dem MAC-System sowohl Zonen mit schwachem oder fehlendem Verbund, als auch Bereiche mit fehlerhafter Ringraumverfüllung lokalisieren kann.

Erhebliche Steigerungen der Steifigkeiten von bis zu 250 % konnten bei Mörtelbeschichtungen und Auskleidungssystemen mit Mörtelverfüllung des Hohlraumes zwischen Auskleidung und Schachtwand festgestellt werden. Hier wird vermutlich die Wandung des Schachtes mit einem vergleichbaren Material wieder aufgebaut. Das heißt, aufgrund der guten Verbundwirkung (Haftzugfestigkeiten $\geq$ 1,2 N/mm^2) kommt es zum Mittragen der Innenbeschichtung.

Selbst bei Kunststoffbeschichtungen mit deutlich geringerem E-Modul als Beton wurden die Ausgangssteifigkeiten bezogen auf den intakten Schachtring noch übertroffen. Jedoch sind hier die Steifigkeiten mit 100 bis 125 % im Vergleich zu den Mörtelbeschichtungen deutlich geringer. Der Grund hierfür ist in der Tragwirkung des Verbundsystems zu finden. Vermutlich kommt es infolge der Verformung zu Scherbeanspruchungen in der Fuge zwischen Beschichtung und Betonring, wodurch letztlich bei den Kunststoffbeschichtungen die Zugfestigkeit der Beschichtung in Verbindung mit der Scherfestigkeit den wesentlichen Beitrag zur Gesamtsteifigkeit liefert. Daher ist auch der Steifigkeitszuwachs bei den Mörtelbeschichtungen deutlich höher. Ein mangelnder Verbund im Rissbereich hätte dann eine Vergrößerung des Dehnbereiches und somit

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

eine Steifigkeitsverringerung zur Folge. Bei vollständig fehlendem Verbund würde die Beschichtung deutlich weniger zur Systemsteifigkeit beitragen, da dann Beschichtung und Betonring aneinander vorbeigleiten würden. Daher ist bei beiden Werkstoffgruppen eine Haftung am Untergrund zur Begrenzung des Dehnbereiches der Rissüberbrückung und zur Aktivierung der Scherspannungen von großer Bedeutung (Bild 172).

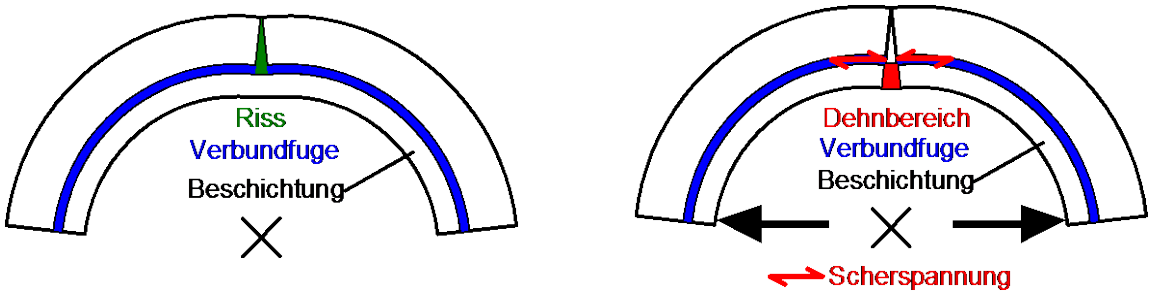


Bild 172 Tragwirkung des Verbundsystems Altschacht – Sanierungssystem bei gutem Verbund

8.2.6 Bewertung und Fazit

Die in [48] festgestellte Mittragwirkung von Beschichtungen aus Mörtel oder Kunststoff konnte unter In-situ-Bedingungen durch die hier durchgeführten MAC-Versuche im Großversuchsstand des IKT bestätigt werden. Sie haben gezeigt, dass auch relativ dünne Beschichtungen einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Gesamtsteifigkeit bei bereits geschädigten Systemen leisten können. Jedoch ist die Quantifizierung dieses Beitrages aufgrund der unterschiedlichen Schichtdicken, Materialeigenschaften und Haftwirkungen sehr komplex. Einen wesentlichen Einfluss hat aber offensichtlich die Haftzugfestigkeit der Beschichtung am Untergrund.

Die hier durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kontrolle des Steifigkeitszuwachses mit dem MAC-System erfolgen kann. Da alle Sanierungssysteme mindestens die Steifigkeit des ungerissenen Betonringes wiederherstellten, kann diese als Basiswert für die Bewertung der Systemsteifigkeit des sanierten Schachtbauwerkes herangezogen werden.

Um ein vollständiges Bemessungskonzept zu liefern, sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich. Hierbei sollten Parameter wie z.B. Bodeneigenschaften, Beschichtungsdicken und -materialien variiert werden. Mit ergänzenden FEM-Berechnungen könnte dann eine für den vorliegenden Anwendungsfall dimensionierte Beschichtung ausgewählt werden.

8.3 Alterung

8.3.1 Veranlassung

Einen weiteren Schwerpunkt dieses Arbeitspaketes bildeten Untersuchungen zum Alterungsverhalten von Sanierungsmaterialien. Dazu wurden zunächst Informationen aus anderen Infrastrukturbereichen recherchiert und, sofern möglich, auf die Anforderungen für Abwasserbauwerke übertragen (Abschnitt 8.3.2). Zudem wurden vom Institut für Bauforschung der RWTH-Aachen Informationen zum Alterungsverhalten von Abwasserschächten bezüglich der auftretenden Einwirkungen und Belastungen zusammengetragen (Abschnitt 8.3.3).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

In einem weiteren Schritt wurde das Alterungsverhalten unter Betriebsbeanspruchungen betrachtet. Hierbei wurden vom Institut für Bauforschung der RWTH-Aachen sowohl Einlagerungsversuche als Plausibilitätsprüfungen im Rahmen des Warentests durchgeführt, als auch weiterführend die Auswirkungen von Betriebsbeanspruchungen auf Werkstoffeigenschaften untersucht. Schließlich wurde noch der Aspekt einer bezüglich der Schadstoffbelastung nicht ausreichend durchgeführten Untergrundvorbehandlung betrachtet (Abschnitt 8.3.4 bis Abschnitt 8.3.7).

8.3.2 Ansätze zur Materialalterung

8.3.2.1 Allgemeines

Da speziell zu Beschichtungsmaterialien für Abwasserschächte kaum Angaben zu Alterungsprozessen existieren, wurden zunächst die Alterungsprozesse und diesbezügliche Prüfungen aus anderen Bereichen der Infrastruktur recherchiert. Ziel war es, im Idealfall Prüfungen aus diesen Bereichen auf die Schachtsanierung zu übertragen.

Der Alterungsprozess beschreibt eine Änderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Baustoffes, während des Gebrauchs oder nach längerer Lagerung. Alterung entsteht meist durch erhöhte Temperatureinwirkung und lässt sich durch chemische und/oder physikalische Gegebenheiten in positiver wie in negativer Weise beeinflussen [52].

Durch Angriffe von Feuchtigkeit, Sauerstoff, Licht, ultraviolette Strahlung, sowie durch Röntgenstrahlung kann der Alterungsprozess beschleunigt werden.

Bei metallischen Werkstoffen kann durch die Veränderung der Baustoffeigenschaften in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit die Alterung voranschreiten. Hierbei wird in natürliche und künstliche Alterung unterschieden. Insbesondere bei Stahl tritt eine Versprödung ein, ausgelöst durch Korrosion und damit eine Einschränkung der Verformbarkeit. Zudem steigt die Stoß- und Schlagempfindlichkeit, und die Härte und Festigkeit des Baustoffes wird größer [53].

Mörtel, Beton und Baustoffe aus Naturstein, also nichtmetallische und anorganische Werkstoffe, altern stärker als metallische Werkstoffe.

Organische Stoffe, wie Kunststoffe, im speziellen Polymere und Elastomere, sind besonders bei hohen Temperaturen anfällig für Alterung. Dieses Phänomen entsteht durch den Abbau von Makromolekülen oder Vernetzungen, wodurch die physikalischen und mechanischen Eigenschaften verändert werden ([54], [55]).

Um die Alterung von Kunststoffen zu vermindern, werden Alterungsschutzmittel verwendet. Dies sind chemische Substanzen, die vor unerwünschten Alterungsprozessen schützen, oder diese verlangsamen [52].

Im Folgenden werden zunächst Prüfungen zur Materialalterung für unterschiedliche Einflussgrößen zusammengestellt. Sortiert werden diese nach klimatischen, chemischen, mechanischen und Einflüssen aus Lastzuständen.

8.3.2.2 Prüfungen

8.3.2.2.1 Klimatische Einflüsse

Prüfung der Temperaturbeständigkeit

Exemplarisch für Steinzeugrohrsysteme (vgl. DIN EN 295-3 [56]) wird nachfolgend deren Prüfung zur Temperaturbeständigkeit dargestellt: Bei dieser wird das gesamte

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Steinzeugrohrsystem einer Lufttemperatur von -10°C für acht Stunden ausgesetzt, worauf für 16 Stunden eine Lufttemperatur von 70°C folgt und wiederum für acht Stunden -10°C. Sowohl vor der Prüfung als auch danach wird das gesamte System zwei Stunden an der normalen Umgebungstemperatur belassen. Bei der Langzeit-Temperaturbeständigkeit wird Wasser mit einer Temperatur von 45°C über einen Zeitraum von sieben Tagen in die Rohre geleitet. Diese Prüfung erfolgt nach DIN EN 295-3 [56].

Klimasimulation

Mit Hilfe einer Klimasimulation können Werkstoffe durch Simulation von Hitze, Kälte und Feuchte einem Alterungsprozess unterzogen werden. So können Kunststoffe, Klebeverbindungen, Beschichtungen, Farben, Photovoltaik-Produkte usw. geprüft werden [57].

Hagelschlag

Die zu testenden Produkte werden mit speziell hergestellten Hagelkörnern mit einem Durchmesser von bis zu 50 mm beregnet. Als Werkstoffe werden bis jetzt Baumaterialien, Wellbleche, Fenster, sowie Dämmstoff eingesetzt. Auch Gewächshäuser oder Dachziegel können dieser Prüfung unterzogen werden [58].

Schlagregentest, Windwiderstand

Zur Überprüfung der Regendichtheit werden beim Schlagregentest Regen und Böen simuliert. Besonderer Wert wird dabei auf die Dichtheit der Montagefugen gelegt. Eingesetzt wird dieser Test bei Abdichtungselementen, Fenstern, Türen, sowie Dacheindeckungen und sonstigen Bauelementen, die Regen und Wind ausgesetzt sind [59].

UV-Tests mit und ohne Bewitterung

Mit Hilfe des UV-Tests wird die Langlebigkeit der zu prüfenden Materialien gegenüber Sonneneinstrahlung getestet. Darüber hinaus können die zu prüfenden Materialien dabei einer zusätzlichen Bewitterung ausgesetzt werden. Diese Prüfung durchlaufen Bauteile und Materialien, die bei ihrem Einsatz der Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind (Lacke, Beschichtungen, Kunststoffe u.v.m.) [60].

Klimatest/ Burn-in/ Run-in

Beim Klimatest, auch Burn-in oder Run-in genannt, wird eine künstliche Alterung von elektronischen Bauteilen inszeniert. Hierbei ist es möglich, innerhalb von 24 Stunden eine 3-jährige Alterung zu simulieren. Dies gelingt durch ein Programm, welches Wärme-Kälte-Zyklen enthält, so dass die Temperaturen von -50°C bis 100°C schwanken [61].

Thermo-oxidative Alterung von Polyolefinen

Aus Polyolefinen, im Besondern Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP), werden langlebige Produkte hergestellt, deren Nutzungsdauer zwischen 50 und 100 Jahren liegen kann. Neben den mechanischen, thermischen und chemischen Belastungen, bestimmt der Widerstand gegenüber thermo-oxidativer Belastung die maximale Nutzungsdauer. Die Alterung durch Wärmeenergie in Anwesenheit von Sauerstoff wird thermo-oxidative Belastung genannt. Dieser Vorgang ist stark temperaturabhängig, da die Oxidation bei steigenden Temperaturen exponentiell beschleunigt wird. Um diese Alterung zu provozieren, gibt es unterschiedliche Verfahren:

- Ofenalterung
- Alterung von Rohren im hydrostatischen Zeitstand-Innendruckversuch mit Luft oder Wasser als Außenmedium

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Alterung von Rohren im Durchfluss
- Alterung in Hochdruckautoklaven bei erhöhtem Sauerstoffpartialdruck [62].

Witterungsverhalten

Witterungseinflüsse können sich sowohl auf die mechanischen Eigenschaften (Versprödung), wie auch auf die optischen Eigenschaften (Farbe, Glanz) von Kunststoffbauteilen auswirken. Diese negativen Einflüsse können unter Anderem zu deren Gebrauchsuntauglichkeit führen. Die witterungsbedingte Alterung setzt sich aus der Sonneneinstrahlungen, der Temperatur und der Feuchtigkeit zusammen. Hinzu können z.B. Schadstoffe oder Biobefall die Alterung beeinflussen. Bewitterungsprüfungen lassen sich in Freibewitterungsversuche und Laborbewitterungstests unterteilen. Bei den Freibewitterungsversuchen können die Versuche am angedachten Prüfort durchgeführt werden. Jedoch ist zu bedenken, das inakzeptable lange Versuchsdauern erstehen können. Die Laborbewitterungstests bieten dagegen den Vorteil, dass die Versuche unter genormten Bedingungen durchgeführt werden können. Zudem ist eine individuelle Einstellung der Klimagegebenheiten und so eine Verkürzung der Prüfzeiträume möglich [63].

Biogene Alterung

Wo Kunststoffe im direkten Kontakt mit biologischen Organismen stehen, kann eine biogene Alterung eintreten. Durch diesen Kontakt kann beispielsweise auf dem Kunststoff ein Biofilm entstehen, welcher unterschiedliche Arten von Bakterien und Mikroorganismen enthält. Dieser Biofilm kann sich auf Grund der Umgebungsbedingungen zu aggressiven Säuren oder Laugen entwickeln und somit das Material angreifen, was die Lebensdauer der jeweiligen Bauteile reduziert [64].

8.3.2.2.2 Chemische Einflüsse

Prüfung der chemischen Beständigkeit von Rohren und Formstücken

Z. B. Probekörper aus Steinzeugrohrsystemen werden in zwei Prüflösungen, Schwefelsäure und Natronlauge, für 48 Stunden eingetaucht. Danach werden diese mit destillierten Wasser gereinigt und für 30 Minuten im destillierten Wasserbad gekocht. Mit einem abschließenden Trocknen und Wiegen wird der Masseverlust bestimmt [56].

Salznebeltest

Zur Überprüfung der Korrosionsanfälligkeit eines Produktes wird beim Salznebentest die Korrosion künstlich beschleunigt. Dies geschieht durch eine in die Atmosphäre gesprühte Salzlösung. Eingesetzt wird diese Prüfung besonders bei Metallen, Beschichtungen gegen Korrosion, Legierungen und Bauteilen, die salziger Atmosphäre ausgesetzt sind ([65], [66]).

Chlorbeständigkeit von Kunststoffrohren

Um die langfristige Chlorbelastung von Kunststoffrohren zu simulieren, wurde ein Prüfgerät entwickelt, welches Kunststoffrohe, die mit Innendruck belastet sind, verschiedenen Chlorgehalten aussetzt. Hierbei können die Parameter Temperatur, Druck, Chlorgehalt und pH-Wert variabel eingestellt werden ([67], [68]).

Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)

Durch das Bestimmen der Wärmestromdifferenzen zwischen einer Probe und einem leeren Referenztiegel werden die thermischen Charakteristika während einem gewählten Temperatur-Zeitprogramm bestimmt. In einer stickstoffgespülten Ofenkammer

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

werden sowohl die Probe als auch der leere Referenztiegel erwärmt. Unter den Tiegeln befestigte Thermoelemente können die Temperaturdifferenz der Probe und des Tiegels bestimmen. Durch die kalorimetrische Messung können im Anschluss die Temperaturlage von Glasübergang, Kristallisation und Schmelzen der Probe festgestellt werden ([69],[70]).

Einlagerungsversuche

Um verschiedene mineralische Bindemittel einstufen zu können, werden Einlagerungsversuche in einem aggressiven Medium durchgeführt. Setzt man dabei einen niedrigen pH-Wert für die Prüfung an, so sind zeitraffende Ergebnisse möglich [71]. Aus diesen Einlagerungsversuchen wurde die Korrosionsbeständigkeitsprüfung für Mörtel entwickelt. Dabei werden Mörtelprismen 28 Tage in Wasser gelagert und anschließend in das aggressive Medium getaucht. Nach Beendigung der Versuche, kann auf Biegezug- und Druckfestigkeit geprüft werden [72].

8.3.2.2.3 Mechanische Einflüsse

Prüfung der Abriebfestigkeit (Darmstädter Kipprinne)

An einer Rohrhalbschale werden Abriebversuche mit einem festgelegten Sand/Kies/Wasser-Gemisch durchgeführt. Ein Lastwechsel besteht aus 2 Kippvorgängen, insgesamt werden 100.000 Lastwechsel durchgeführt [56].

Kerbschlagbiegeversuch

Der Kerbschlagbiegeversuch wird eingesetzt um die Zähigkeit von Stahl und Stahlguss zu bestimmen. Im Besonderen dient er der Überwachung der Wärmebehandlung, für den Nachweis der Neigung zum Trennbruch und zur Untersuchung der Stumpfschweißnähte [73].

Dauerschwingversuche

Um die Zeitstandfestigkeit und Dauerhaftigkeit von Bauteilen und Werkstoffen zu ermitteln, wird der Dauerschwingversuch durchgeführt. Hierbei werden die Versuchskörper meist unter einer sinusförmigen Beanspruchungs-Zeit-Funktion zyklisch belastet. Der Versuch wird durchgeführt, bis eine vorher festgelegte Anzahl an Schwingungen durchgeführt wurde oder ein definiertes Versagen (Bruch, Anriss) eintritt. Zur Materialentwicklung und Qualitätskontrolle wird dieser Versuch hauptsächlich im Maschinen- und Fahrzeugbau eingesetzt, jedoch auch in der Medizintechnik und dem Sportgerätebau ([74],[75],[76]).

Ultraschallmikroskopie

Eine fokussierte Ultraschallwelle wird als kurzer Impuls über ein Koppelmedium in die Probe eingeleitet, um eine Ultraschallmikroskopie durchzuführen. Es wird ein Flächenscan mit den tiefenabhängigen Informationen angelegt, wodurch eine Datenmatrix entsteht. Diese Anwendung eignet sich besonders gut für bildgebende Untersuchungen an planaren Strukturen [77].

Dynamische Mechanische Analyse (DMA)

Die Dynamische Mechanische Analyse ermöglicht bei verschiedenen Temperaturen und Frequenzen die Messung von viskosen und elastischen Eigenschaften. Unter Verwendung der Frequenz-Temperatur-Äquivalenz können bei verschiedenen Frequenzen sogenannte „Masterkurven“ erstellt werden. Durch die Änderungen der mechanischen Eigenschaften können Phasenübergänge wie Glasübergangs-, Kristallisations- und Schmelztemperatur bestimmt werden [78].

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

IKT Kerbversuche (Berstverfahren)

Zur Überprüfung der Eignung von Rohren für den Einbau mit dem Berstverfahren, wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Ziel die entstehenden Riefentiefen zu bestimmen [79].

Schutzmantel-Ritzprüfung

Die Schutzmantel-Ritzprüfung ist in der PAS 1075 [80] und der ÖVGW/GRIS Prüfrichtlinie PW 405/1 [81] verankert. Hierbei handelt es sich um einen Ritzvorgang an einem Schutzmantelrohr, welches im Regelfall aus Polyethylen PE 100-RC besteht. Mit dieser Prüfung wird die Eindringtiefe einer geometrisch definierten Klinge in die Oberfläche des Rohrschutzmantels ermittelt. Durch das Ritzen des Schutzmantels sollen mögliche Schäden beim Einbau der Rohre bei grabenlosen Verlegetechniken untersucht werden.

IKT Kerbversuche (Fernwärme)

Zur Überprüfung der Eignung von marktüblichen Kunststoffmantelrohren für die grabenlose Verlegetechnik wurden im IKT zyklische Kerbversuche entwickelt. Diese sollen die Schäden an Fernwärmerohren im Betrieb, die durch scharfkantige Bodenpartikel entstehen können, verdeutlichen und ermitteln.

8.3.2.3 Zusammenfassung

Es wurden zahlreiche Prüfungen zum Alterungsverhalten von unterschiedlichen Werkstoffen und Systemen zusammengetragen. Der überwiegende Teil der zum Alterungsverhalten üblichen Prüfungen bezieht sich auf Umgebungsbedingungen wie sie im Abwasserbereich kaum auftreten, so z.B. Hagelschlag, Schlagregen, UV-Strahlung, Witterung oder Chlorbelastung. Auch einige Systemprüfungen, wie zum Beispiel Kerbversuche, Kerbschlagversuche oder Schutzmantel-Ritzprüfungen, erscheinen für den vorliegenden Anwendungsfall ungeeignet. Einige Prüfungen zur chemischen Beständigkeit sind auf den ersten Blick sinnvoll, scheiden dann aber doch aufgrund der verwendeten Chemikalien aus. Hier ist beispielsweise der Test zur Chlorbeständigkeit oder der Salznebeltest zu nennen.

Grundsätzlich interessant und durchaus schon im Bereich der Schachtbeschichtungen eingesetzt werden Prüfungen zum Abriebverhalten oder auch Einlagerungsversuche in abwassertypischen korrosiven Medien. Auch Prüfungen zur Bestimmung der Materialzusammensetzung von Kunststoffen (z. B. DSC, DMA) sind schon gängige Praxis.

8.3.3 Alterungsverhalten von Abwasserschächten

Im Folgenden werden die Inhalte der Studie des Institutes für Bauforschung der RWTH-Aachen [82] zusammenfassend dargestellt.

Die Alterung von Abwasserschächten umfasst aus materialtechnischer Sicht alle zeitlich ablaufenden Veränderungen der innerhalb des Bauwerks verwendeten Materialien. Im Allgemeinen werden hierbei insbesondere Veränderungen berücksichtigt, die zu einer Verschlechterung des Zustandes und damit auf lange Sicht zu einer Abnahme der Funktionalität des Bauwerks führen.

Abwasserschächte unterliegen dabei, im Vergleich zu anderen Bauwerken aus Beton ([83], [37], [84]), einer besonderen Exposition ([85], [86]). Neben von außen angreifender Einflüsse wie korrosiv wirkender Grundwässer sind die von innen angreifenden Einflüsse wie schädliche Abwasserinhaltsstoffe ([86], [87]) relevant. Von besonderer

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bedeutung für die Alterung von Abwasserbauwerken ist die biogene Schwefelsäurekorrosion, die nur bei Zusammenkommen einiger ungünstiger Randbedingungen entsteht, jedoch zu einer rapiden Schädigung führen kann ([86], [88]) und damit häufig das Instandsetzen und Schützen eines Bauwerks notwendig macht.

8.3.3.1 Schadenmechanismen von Abwasser auf relevante Baustoffe

Gemäß der Untersuchung des IKT [89] sind die in Abwasserschächten mit Abstand am häufigsten eingesetzten Werkstoffe (Stahl-)Beton und Mauerwerk. Darüber hinaus werden für die Instandsetzung verschiedene Kunststoffe angewendet [88]. Aufgrund der gänzlich unterschiedlichen Materialien kann eine Betrachtung möglicher Schadensmechanismen nur materialbezogen erfolgen.

Beton [83] kann nach [88] für den Großteil der möglichen Belastungen als beständig eingestuft werden. Insbesondere der Angriff durch direkt eingeleitete oder biogen gebildete Säure kann jedoch zu einer massiven Schädigung des Bauwerks führen. Die Untersuchung der generellen Schädigungsprozesse ([86], [90], [91]), das zeitliche Fortschreiten bei Säureangriff ([90], [91]) sowie daraus resultierend die Beständigkeit von Mörteln und Betonen bei Lagerung in Säure ([91], [92]) wurden bereits in einer Vielzahl von Forschungsprojekten betrachtet. Hierbei wurde sowohl der biogene Säureangriff auf Basis der tatsächlich ablaufenden biologischen Prozesse nachgebildet ([93], [94], [95], [96], [97]), wie auch im Rahmen vereinfachter Laborversuche die Prozesse des Angriffs auf Beton durch Einlagerung in Schwefelsäure nachvollzogen ([85], [96], [97]).

Die Medienbeständigkeit von Mauerwerk hängt maßgeblich von der Beständigkeit des verwendeten Kanalklinkers [98] und zementösen Fugenmörtels [99] ab. Die Untersuchung der Beständigkeit von Kanalklinker erfolgt grundsätzlich gemäß [98], die des Fugenmörtels gemäß [85].

Kunststoffe werden aufgrund ihrer hohen Beständigkeit [100] innerhalb der meisten Medien zum Schutz von Beton- und Mauerwerksoberflächen eingesetzt ([89], [101]). Allgemeine Hinweise zur Prüfung der Medienbeständigkeit sind in [102] gegeben. Für die spezielle Belastungssituation von Abwasserbauwerken erfolgen z. B. Prüfungen gemäß [87] sowie in Anlehnung an relevante Normen für Materialien in Abwassersystemen [85].

8.3.3.2 Instandsetzung geschädigter Abwasserbauwerke aus Beton

Grundlage für eine Instandsetzung von geschädigten Betonbauwerken ist immer eine Erfassung des Istzustandes ([37], [103], [104]). Im Rahmen dieser sind Schadensursache, Schädigungsgrad und Schädigungsumfang zu ermitteln [88]. Die Festlegung der zu untersuchenden Eigenschaften sollte durch einen sachkundigen Planer erfolgen ([37], [86]) und die relevanten Materialeigenschaften erfassen. Hierzu zählen:

- Die Oberflächenzugfestigkeit des Betons bzw. Haftzugfestigkeit einer Beschichtung ([104], [105]): Als Grenzwerte werden hierbei 1,5 N/mm² im Mittelwert und 1,0 N/mm² im kleinsten Einzelwert gefordert. Bei geringeren Anforderungen sollte beachtet werden, dass ungeschädigter Beton ab einer Druckfestigkeit von etwa 20 N/mm² die Anforderung einer Oberflächenzugfestigkeit > 1,5 N/mm² im Mittel generell erfüllen kann ([106], [107]). Umgekehrt wird ein niederfester Beton mit einer Druckfestigkeit < 15 N/mm² auch nach oberflächlichem Betonabtrag das Kriterium u.U. nicht erfüllen können [108].

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Sulfatgehalt: Als Grenzwerte werden hierbei 1 M.-% Gesamt SO3-Gehalt / MBeton angegeben [88]. Dieses entspricht in etwa dem natürlichen Sulfatgehalt von Beton bei Verwendung von Portlandzement durch Beimischung eines Sulfatträgers zur Erstarrungsverzögerung [109]. Hochofenzemente und Mischzemente können teils höhere natürliche Sulfatgehalte aufweisen.

Darüber hinaus können weitere Untersuchungen wie die Erstellung von Dünnschliffen [110] und die Untersuchung der Alkalitätsgrenze [90] erfolgen.

Bei der Instandsetzung eines Betonbauwerks sind zunächst der zu erreichende Sollzustand sowie die geplante Restnutzungsdauer zu definieren [37]. Schutz und Reprofilierungsmaßnahmen erfordern mindestens die rückstandslose Entfernung von Ablagerungen oder darüber hinaus den Abtrag geschädigten, kontaminierten und nicht mehr tragfähigen Betons ([88], [104]). Notwendige Reprofilierungsmaßnahmen erfolgen im Allgemeinen mittels zementöser Werkstoffe ([88], [104], [111]).

Schutzmaßnahmen umfassen die Applikation von zementös ([104], [112]) oder andersartig anorganisch [113] gebundenen Mörteln, gefüllten und ungefüllten Kunststoffbeschichtungen ([87], [114]) sowie in Spezialfällen die Applikation von Glaselementen [115].

Die Alterung und Dauerhaftigkeit von Beschichtungen im Trinkwasserbereich [116], des Wasserbaus [111], des chemischen Apparatebaus [117] oder des Hochbaus ([83], [37]) sind aufgrund der stark unterschiedlichen Exposition nur unter Einschränkungen auf Abwasserbauwerke übertragbar ([87], [114]).

8.3.3.3 Besondere Belastung auf Beschichtungen zur Instandsetzung von Abwasserschächten

Im Rahmen des am IKT durchgeführten Forschungsprojektes [89] konnte unter Anderem festgestellt werden, dass eine unzureichende Untergrundvorbehandlung ein Hauptgrund für die mangelnde Haftung und Dauerhaftigkeit von Mörtel- und Kunststoffbeschichtungen für die Sanierung von Abwasserschächten ist. Als problematisch wurden insbesondere die notwendige rückstandslose Entfernung von Ablagerungen sowie die für die Applikation von Beschichtungen notwendige Einhaltung der Untergrundfeuchte genannt (feucht bei Mörteln und trocken bei Kunststoff). Als Folgen können eine verminderte Haftung oder Fehlstellen ohne jegliche Haftung auftreten. Insbesondere bei mechanischer Belastung sowie rückseitigem Wasserdruck können sich flächige Ablösungen von Kunststoffbeschichtungen wie auch eine zusätzliche mechanische Beanspruchung von Mörtelauskleidungen ergeben [89]. Unter Berücksichtigung möglicher Alterungsvorgänge in Abwasserschächten und der vom IKT erhaltenen Forschungsergebnisse zur Fehlstellenanfälligkeit von Beschichtungsmaßnahmen können zwei besondere Belastungssituation für Auskleidungen und Beschichtungen in Abwasserschächten definiert werden:

- Beanspruchung durch rückseitigen Wasserdruck unter gleichzeitiger Beanspruchung durch aggressive Abwässer,
- Applikation auf nicht ausreichend vorbereiteten Betonoberflächen [112].

Vor dem Hintergrund einer möglichen Anrechenbarkeit der Mittragwirkung einer zementösen Auskleidung sind diese Beanspruchungen nicht nur für die Dauerhaftigkeit der Instandsetzungsmaßnahme selber, sondern darüber hinaus für die Standsicherheit eines Abwasserschachtes von großer Relevanz. Im Rahmen der Untersuchung

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

des Institut für Bauforschung der RWTH Aachen University (ibac) sollen diese besonderen Belastungssituationen mittels Laborversuchen näher betrachtet werden.

8.3.4 Untersuchungsprogramm

Im Rahmen der Untersuchungen „Alterung von Abwasserschächten“ wurde am Institut für Bauforschung (ibac) untersucht, inwieweit sich relevante Alterungsprozesse für Beschichtungsmaßnahmen innerhalb von Abwasserschächten unter vertretbarem zeitlichen Aufwand nachweisen und nachstellen lassen (vgl. [82]):

- **Einlagerungsversuche:** Die Versuche sollen die Beständigkeit verschiedener Materialien bei dreimonatlicher Lagerung im Abwassermilieu (verdünnte Schwefelsäure) mittels gravimetrischer und optischer Methoden überprüfen.
- **Kombinierte chemische und mechanische Belastung:** Zwei Auskleidungsmörtel für die Instandsetzung von Abwasserschächten werden für einen Zeitraum von 28 Tagen einer kombinierten mechanischen und Säurebeanspruchung ausgesetzt und anschließend die Ausprägung der Schädigung im Vergleich zu nur in Wasser sowie nur in Säure gelagerten Referenzprobekörpern betrachtet.
- **Alterung des Betonuntergrundes unterhalb einer schützenden Beschichtung:** Zwei Betone werden für einen begrenzten Zeitraum einer Schwefelsäurebeanspruchung ausgesetzt. Anschließend erfolgt eine unzureichende Untergrundvorbehandlung, bei der ein gemäß Stand der Technik ([86], [88], [103], [104]) notwendiger Betonabtrag aufgrund erhöhter Sulfatkonzentration im Beton vernachlässigt wird. Die Betonoberfläche wird mit einer schützenden Beschichtung versehen und anschließend in Wasser gelagert.

Die Beurteilung der Schädigung erfolgt auf Basis mechanischer Untersuchungen, gravimetrisch, anhand von Sulfatgehalten sowie einseitiger Kernspinresonanzmessungen.

8.3.5 Einlagerungsversuche

8.3.5.1 Versuchsprogramm

Am Institut für Bauforschung (ibac) wurden Materialversuche in Lösung an Mörtel- und Kunststoffproben durchgeführt, die die Beständigkeit der am IKT untersuchten Mörtel durch mehrmonatige Einlagerung und Dokumentation optischer und gravimetrischer Veränderung der Proben überprüfen sollten. Für Mörtel wurde ein saures Milieu mit einem pH Wert von 3,5 und für Kunststoffe von 2,0 eingestellt. Diese Versuche dienten zur Plausibilitätsprüfung der im Warentest eingesetzten Materialien.

8.3.5.2 Versuchsdurchführung

Insgesamt wurden dem ibac vom IKT 12 Prismen aus insgesamt 6 Mörteln mit den Nennabmessungen 160 x 40 x 40 mm³ (LxBxH), 5 Kunststofffilme mit den Nennabmessungen 160 x 40 x 5 mm³ (LxBxH) sowie eine Bohrkernprobe eines gefüllten Polymers und eine Kunststoffscheibe, beide mit einem Nenndurchmesser von 50 mm, zur Verfügung gestellt. Ein Produktschlüssel der Proben liegt dem IKT vor.

Um eine gleichbleibende Maßhaltigkeit der Prismen herzustellen, wurden die Einfüllseiten der Prismen unter Wasserkühlung planparallel zur Prismenunterseite abge-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

schliffen. Um eine konstante Fläche während der Lagerung in Lösung zu gewährleisten, wurden die Prismen auf der geschliffenen Einfüllseite, der Unterseite sowie der beiden kurzen Endflächen jeweils mit zwei Lagen Epoxidharz versiegelt.

Die Lagerung aller Prismen und Kunststofffilme erfolgte in jeweils einzelnen Kunststoffbehältern aus Polyethylen (PEHD), jeweils in 700 ml verdünnter Schwefelsäure. Dieses entspricht einem Verhältnis der Prüfflüssigkeit zur nicht versiegelten Probekörperoberfläche von (700 cm³/128 cm²=) 5,5 cm. Gemäß Absprache mit dem IKT wurden die Mörtel- und Betonprismen in einer verdünnten Schwefelsäure-Lösung mit einem Nenn-pH-Wert von 3,5 (0,137 mmol/L), die Kunststofffilme in einer Lösung mit einem Nenn-pH-Wert von 2,0 (7,21 mmol/L) gelagert. Der Austausch der Prüflösung aller Behälter erfolgte wöchentlich. Hierbei wurden der pH-Wert der Prüflösung gemessen und anschließend die Probekörper aus der Prüflösung entnommen, oberflächlich abgetrocknet, gewogen und zusätzlich zu den Zeitpunkten 7, 14, 28, 56 und 84 Tagen Veränderungen der Probekörper fotografisch dokumentiert.

8.3.5.3 Versuchsergebnisse

Die pH-Werte der Prüflösung der Mörtelproben wiesen nach 7-tägiger Lagerung einen teils ausgeprägten Anstieg der pH-Werte auf, der Lösungen der Kunststoffproben nur vergleichsweise geringere Abweichungen vom Soll-pH-Wert von 2,0 auf. Die Massenänderungen der Probekörper sind in Bild 173 gezeigt.

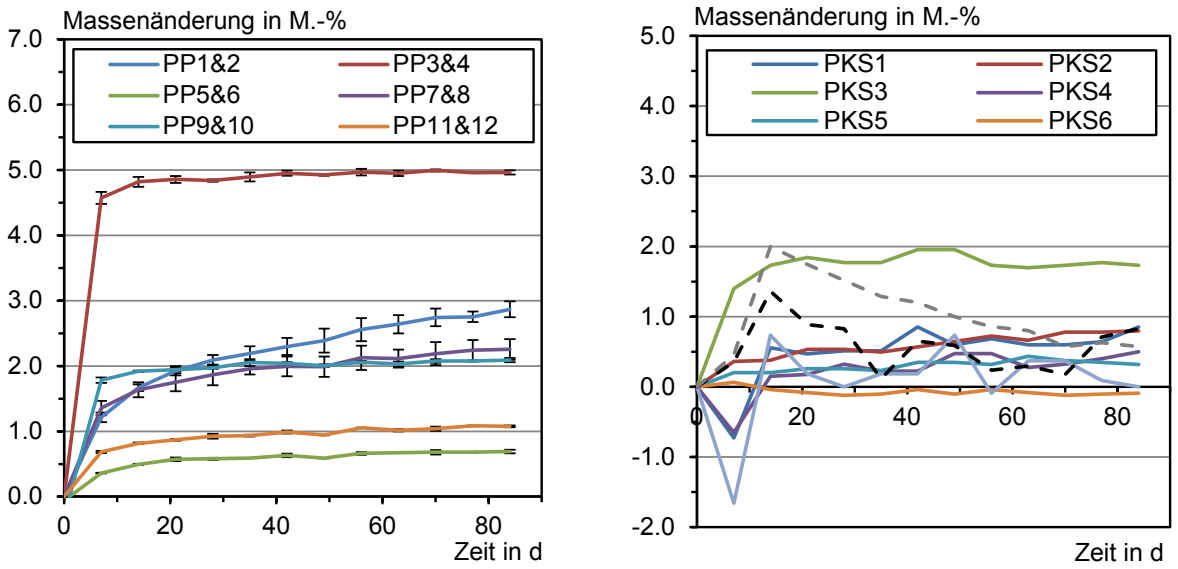


Bild 173 Massenänderung der Mörtelprismen (links) und Kunststoffproben (rechts)

Die fotografische Dokumentation von Veränderungen der Proben ergab für die Lagerungsdauer allgemein keine Auffälligkeiten. Ein Mörtelprisma zeigte nach einer Lagerungsdauer von 14 und 21 Tagen einen leichten weißlichen Film auf der Oberfläche (siehe Bild 174, links), eine Kunststoffprobe ab einer Lagerungsdauer von 7 Tagen weißliche Schlieren an der der Oberfläche (siehe Bild 174, rechts).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

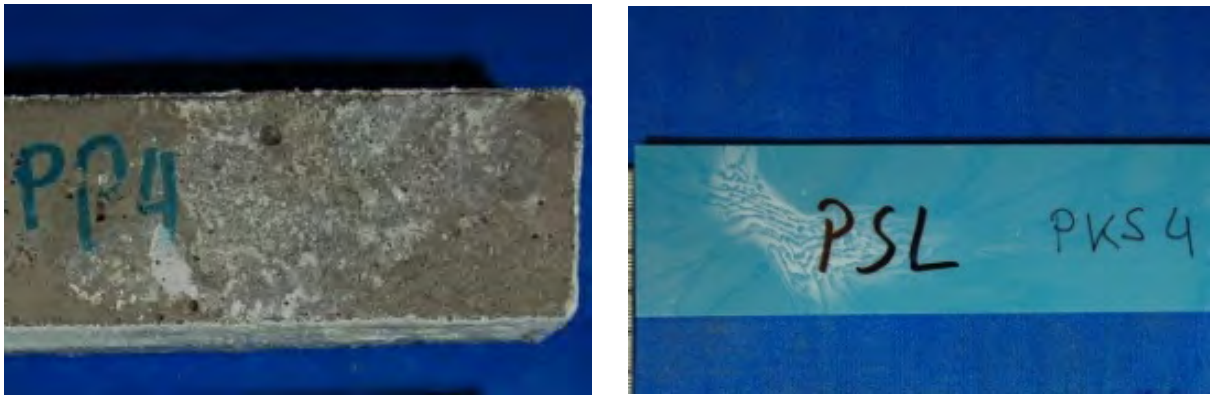


Bild 174 Mörtelprisma PP4 nach 14 Tagen Lagerung (links) und Kunststoffprobe PKS 4 nach 7 Tagen Lagerung (rechts)

8.3.6 Kombinierte chemische und mechanische Belastung

8.3.6.1 Versuchsprogramm

Ziel der Untersuchung „Kombinierte chemische und mechanische Belastung“ war die Überprüfung des Einflusses einer gleichzeitigen chemischen und mechanischen Belastung auf die Widerstandsfähigkeit und Säurebeständigkeit von Mörteln zur Instandsetzung von Abwasserbauwerken. Hierfür wurden zwei Auskleidungsmörtel für die Instandsetzung von Abwasserschächten für einen Zeitraum von 28 Tagen einer kombinierten mechanischen und chemischen Beanspruchung ausgesetzt und anschließend die Ausprägung der Schädigung im Vergleich zu nur in Wasser sowie nur in Säure gelagerten Referenzprobekörpern betrachtet. Untersuchungsmethoden umfassen mechanische Prüfungen der Druck- und Biegezugfestigkeit, Sulfatgehalt und mikroskopische Untersuchungen.

8.3.6.2 Versuchsdurchführung

Insgesamt wurden dem ibac 24 Mörtel-Normprismen mit den Nennmaßen 160 x 40 x 40 mm³ (LxBxH) vom IKT zur Verfügung gestellt. Die Mörtel sind in zwei Serien aufgeteilt, die im Folgenden als LP1 und LP2 bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich angabegemäß bei LP1 um einen Mörtel unter Verwendung eines kunststoffvergüteten, einkomponentigen, tricalciumaluminatfreien Zementes und bei LP2 um einen organisch und anorganisch vergüteten, zementgebundenen Mörtel. Die Probekörperpräparation erfolgte gemäß Abschnitt 8.3.5.2.

Im Rahmen der Untersuchung erfolgte die Lagerung unter vier verschiedenen Randbedingungen:

- **„Referenz“:** nach der Probekörpervorbereitung wurden diese Prismen direkt auf ihre Biegezug- und Druckfestigkeit untersucht. Es erfolgte keine Einlagerung.
- **„Wasser“:** Lagerung für einen Zeitraum von 28 Tagen in Leitungswasser
- **„Säure“:** Lagerung für einen Zeitraum von 28 Tagen in einer verdünnten Schwefelsäure mit Nenn-pH-Wert von 1,0 (entsprechend 102 mmol/L) mit wöchentlichem Wechsel der Prüflösung.
- **„Säure&Dauerlast“:** Mechanische Belastung mittels Dreipunkt-Biegeeinrichtung in Kombination mit einer einseitigen Beaufschlagung mit verdünnter Schwefelsäure mit einem Nenn-pH-Wert von 1,0. Die Lösung wurde wöchentlich

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

aus den Lagerbehältern abgesaugt und ausgetauscht. Die mechanische Belastung wurde im Dreipunkt-Biege-Versuch als Totlast aufgebracht. Hierbei betrug der Abstand der Auflager 100 mm (vgl. DIN EN 196-1), die Last wurde mittig auf das Prisma aufgebracht und auf 25 % der Biegezugfestigkeit der trocken geprüften „Referenz“-Proben eingestellt. Bild 175 zeigt die Dauerlaststände, einen in einen Dauerlaststand eingebauten Probekörper sowie eine schematische Darstellung des Versuchs unter kombinierter mechanischer und Säurebelastung.

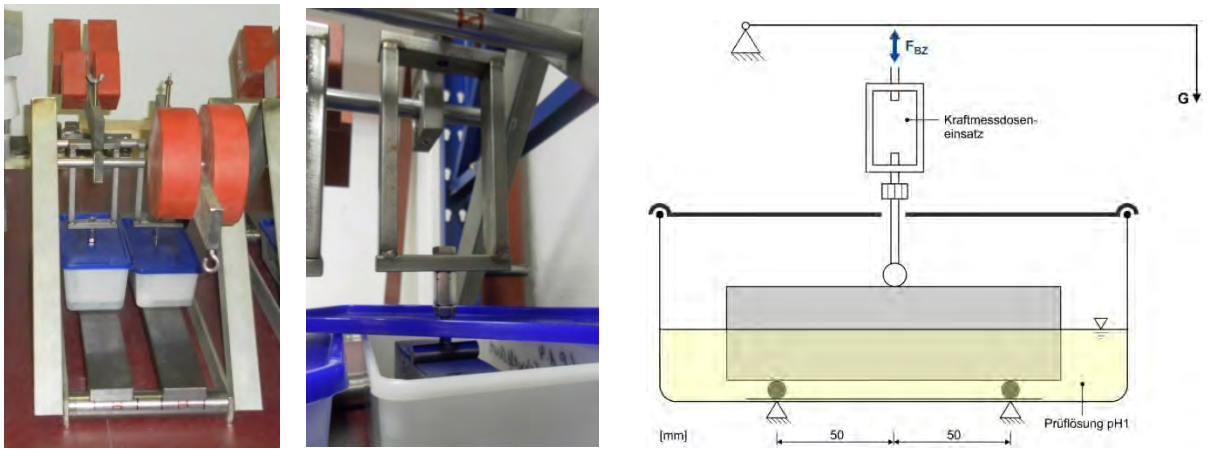


Bild 175 Dauerlaststände mit gleichzeitiger Säurelagerung für sechs Prismen (links), zum Tausch der Prüflösung geöffneter Lagerbehälter mit eingebauter Probe (mitte), schematische Darstellung des Dauerlastversuches mit gleichzeitiger Säurebeanspruchung (rechts)

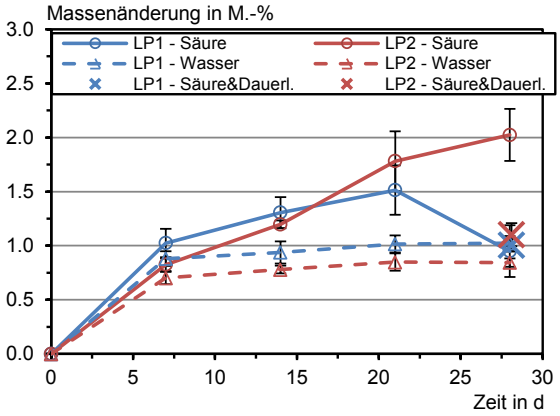
Die Untersuchung der Mörtelprismen erfolgte für „Wasser“ und „Säure“ in wöchentlichen Zeitabständen. Bei der Untersuchung wurde zunächst der pH-Wert der Prüflösung gemessen und anschließend die Probekörper aus der Prüflösung entnommen, oberflächlich abgetrocknet, gewogen und zusätzlich zu den Zeitpunkten 7, 14 und 28 Tage Veränderungen der Probekörper fotografisch dokumentiert. Für die Probekörper „Säure&Dauerlast“ erfolgten Untersuchungen primär nach Abschluss der 28-tägigen Lagerung.

8.3.6.3 Versuchsergebnisse

Die Prüflösungen wiesen für „Säure“ und „Säure&Dauerlast“ nach der jeweils einwöchigen Lagerung zu Beginn Erhöhungen des pH-Wertes von pH 1 auf pH 2 für Mörtel LP1 bzw. auf pH 1,5 für Mörtel LP2 auf. Mit steigender Lagerungsdauer wurde die Änderung des pH-Wertes geringer.

Die Bestimmung der Masse der Probekörper erfolgte für „Wasser“ und „Säure“ jeweils wöchentlich, für „Säure&Dauerlast“ lediglich nach Abschluss der 28-tägigen Lagerung. Die Massenänderung ist in Bild 176, links dargestellt. In Bild 176, rechts ist die Oberfläche einer Probe LP1 nach 28-tägiger Lagerung in Schwefelsäure (pH 1) gezeigt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH



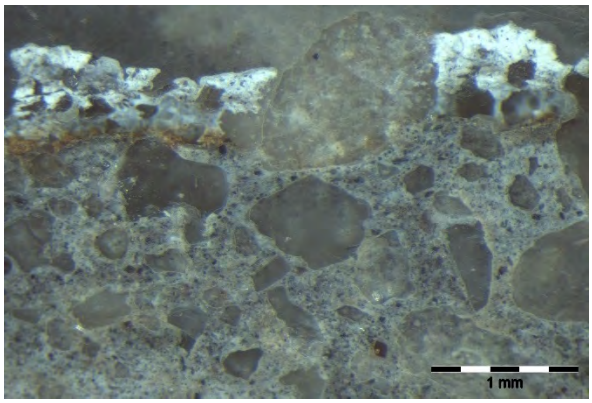


Bild 176 Massenänderung während Lagerung (links), Aufnahme im Auflichtmikroskop der Mörtel LP1 nach 28-tägiger Lagerung in Schwefelsäure pH 1 (rechts)

Die Prüfung der Biegezug- und Druckfestigkeit der Prismen wurde in Anlehnung an DIN EN 196-1 bzw. DIN V 19573 durchgeführt, wobei die Lasteinleitung im Biegezugversuch senkrecht zur Herstell-Einfüllseiten auf den nicht beschichteten Mörteloberflächen bzw. bei der Druckfestigkeit in Prismenlängsrichtung erfolgte, schematisch dargestellt in Bild 177.

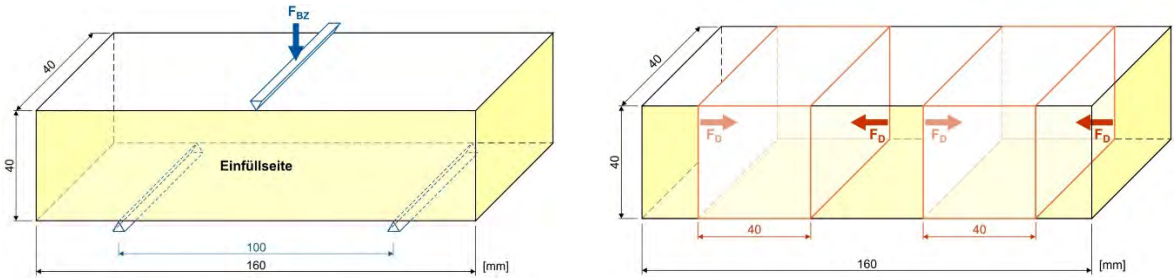


Bild 177 Schematische Darstellung der Probekörperorientierung während der Biegezug- (links) und Druckfestigkeitsprüfung (rechts)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

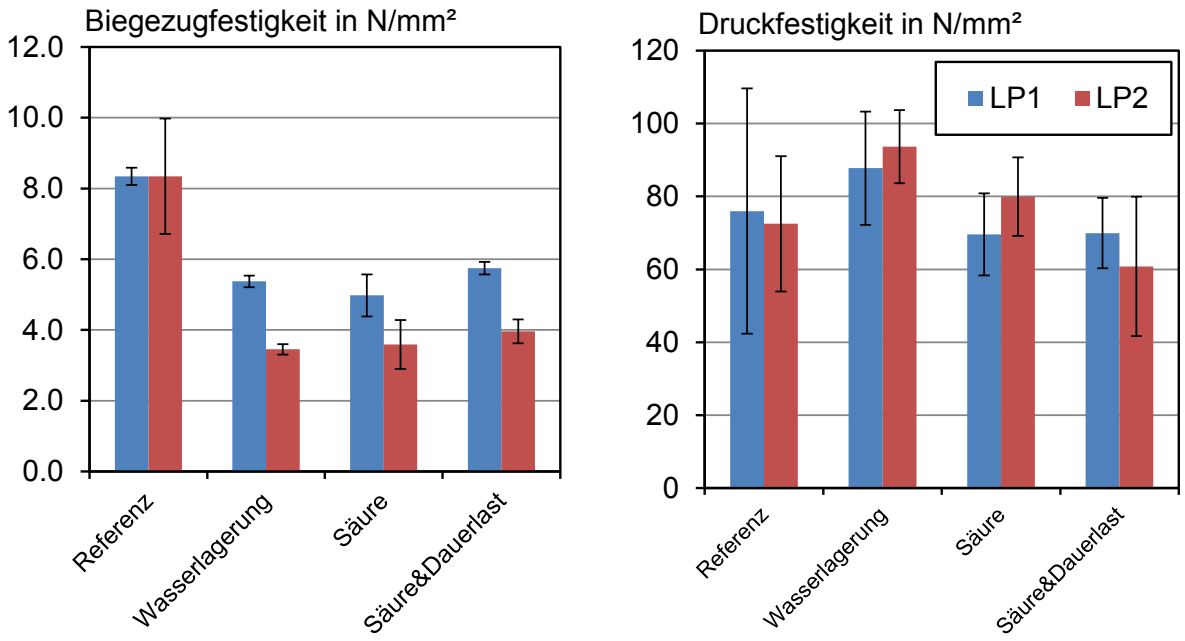


Bild 178 Biegezug- (links) und Druckfestigkeit (rechts) der Prismen

Bei der Bestimmung des Sulfatgehaltes wurde Fokus auf Material in einer Probentiefe von etwa 3 mm gelegt, da oberflächennahe Bereiche (>1,5 mm) bereits subjektiv sulfatbelastet waren (weißliche Ablagerung) (vgl. auch Bild 176, rechts) und sich leicht mechanisch abreiben ließen.

Der Mittelwert des Sulfatgehaltes der nicht säurebeaufschlagten Proben „Referenz“ und „Wasser“ betrug um 1 M.-%/M_{Beton}. Die Proben der Serien „Säure“ und „Säure & Dauerlast“ für LP1 und LP2 wiesen Mittelwerte von um 10 M.-% auf.

8.3.7 Haftung auf vorgeschädigten Untergründen

8.3.7.1 Versuchsprogramm

Ziel der Untersuchung „Haftung auf vorgeschädigtem Untergrundbeton“ war die Untersuchung des Einflusses einer mangelhaften Untergrundvorbehandlung vor Applikation einer schützenden Beschichtung. Anschließend wurde die Oberflächenzugfestigkeit nach einer weiteren, insgesamt zweimonatigen Lagerung in Wasser geprüft.

8.3.7.2 Versuchsdurchführung

Im Rahmen der Untersuchungen wurden sechs Grundkörper mit den Abmessungen 300 x 300 x 60 mm³ (LxBxH) mit den Referenzbetonen C 0,70 (Größtkorn 16 mm, w/z-Wert 0,7) und MC 0,40 (Größtkorn 8 mm, w/z-Wert 0,4) gemäß [118] verwendet. Die Grundkörper wurden auf ihrer Einfüllseite etwa 2 mm abgeschliffen und so der Zuschlag sichtbar freigelegt. Die Schalseite wurde nicht behandelt. Im Anschluss wurden die Probekörper auf den vier umlaufenden Seiten mittels zwei Lagen Epoxidharz versiegelt (vgl. Abschnitt 8.3.5.2).

Die Lagerung der Grundkörper erfolgte zunächst für 28 Tage in verdünnter Schwefelsäure, deren pH-Wert mittels wöchentlichem Nachtitrieren konstant auf pH 1 gehalten wurde. Nach der Säurelagerung wurden weiche Oberflächenschichten mittels einer Drahtbürste entfernt, die Oberflächenzugfestigkeit gemäß [105] an jeweils drei Stellen je Grundkörper und Grundkörperseite bestimmt sowie Bohrkerne mit Nenndurchmessern von 50 mm für die tiefenabhängige Bestimmung von Sulfatgehalten entnommen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Aufgrund der gemäß Stand der Technik (vgl. Abschnitt 8.3.3.2) ausreichenden Haftung wurde die Grundkörper ohne weiteren Abtrag von Beton mittels einer zweikomponentigen Epoxidharz-Reparaturmasse für Abwasserbauwerke beschichtet. Jeweils nach weiteren 1 und 2 Monaten Lagerung in Wasser wurde erneut die Oberflächenzugfestigkeit geprüft sowie Bohrkerne entnommen. Abweichend von [105] wurde die kreisförmige Nut nur zwischen 5 und 10 mm tief in den Untergrund gebohrt, um ein Versagen des oberflächennahen Betons zu forcieren. Messstellen, die adhäsiv zwischen Beschichtung und Beton sowie kohäsiv in der Beschichtung versagten, wurden erneut geprüft, bis ein Versagen im oberflächennahen Beton auftrat.

8.3.7.3 Versuchsergebnisse

Der Sulfatgehalt der Betongrundkörper ist, insbesondere an der Oberfläche, stark erhöht. Die innerhalb eines Probekörpers durch millimeterweises Abschleifen gewonnene Profilinformationen des Sulfatgehaltes, dargestellt in Bild 179, links, zeigen den zu erwartenden abnehmenden Trend hin zum Betoninneren. Vergleichende Messungen des Sulfatgehaltes an zwei Stellen eines Probekörpers zeigen eine fortschreitende Wanderung des zuvor eingetragenen Sulfats in den Probekörper.

Die Messung der Oberflächenzugfestigkeit ergab für beide Betone über die gesamte Lagerungsdauer Mittelwerte über 1,5 N/mm². Beton 1, mit einem w/z-Wert von 0,7, zeigt bereits nach der Säurelagerung vergleichsweise niedrige Werte um 1,5 N/mm² auf, während die Oberflächenzugfestigkeit von Beton 2, mit einem wesentlich niedrigeren w/z-Wert von 0,4, über die Lagerungszeit in Wasser deutlich abfällt.

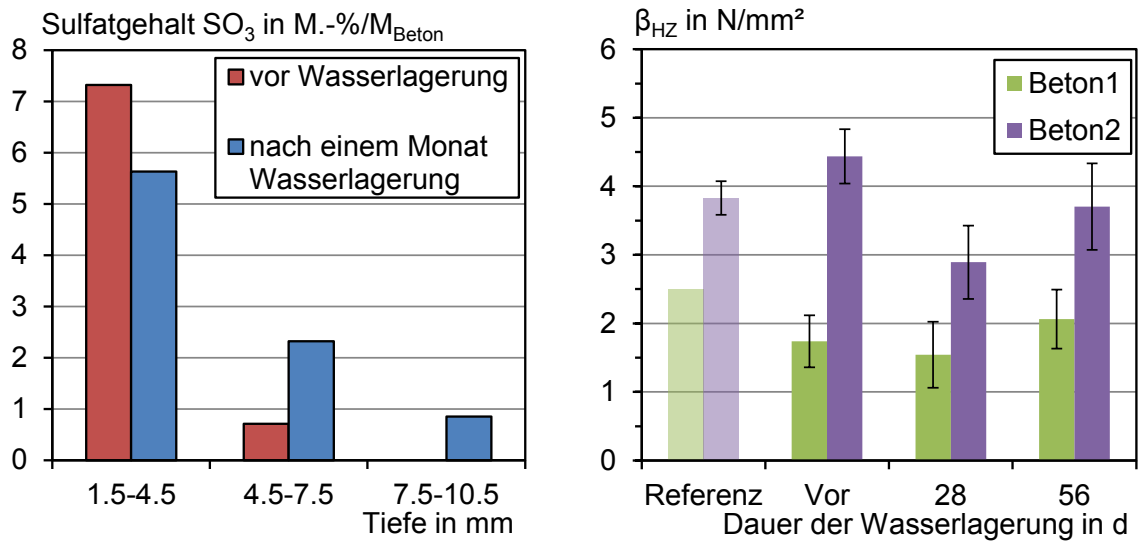


Bild 179: Sulfatgehalte der schwefelsäurebeaufschlagten Betongrundkörper vor und nach einmonatiger Wasserlagerung (links) Oberflächenzugfestigkeiten der Grundkörper (rechts) (Referenzwerte für Beton 1 wurden auf Basis der Literatur [107], [108] abgeschätzt; Referenzwerte für Beton 2 stammen aus einem anderen Forschungsvorhaben unter Verwendung der gleichen Betonrezeptur)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

8.3.8 Bewertung und Fazit

Einlagerungsversuche

Im Rahmen der Einlagerungsversuche wurden Mörtelprismen und Kunststoffproben für eine Gesamtlagerungsdauer von 84 Tagen in sauren Medien gelagert und gravimetrische und optische Veränderungen dokumentiert. Insgesamt geben die Untersuchungsergebnisse keine Hinweise auf eine mangelnde Beständigkeit der Materialien.

Dauerlastlagerung

Im Rahmen der Untersuchung „Kombinierte chemische und mechanische Belastung“ wurden Mörtelprismen für eine Gesamtdauer von 28 Tagen einer kombinierten Beanspruchung aus einer sauren Lösung und einer mechanischen Belastung ausgesetzt und die Schädigung anhand verschiedener Messverfahren nach Abschluss der Lagerung gemessen. Auf Basis der Ergebnisse ist für LP2 ein geringer Trend hinsichtlich einer verringerten Druckfestigkeit bei der kombinierten Belastung sichtbar, der für LP1 nicht aufzutreten scheint. Aufgrund der jedoch großen Streuungen der Messungen kann dieses nicht allgemein als eine geringere Beständigkeit von LP2 interpretiert werden. Proben, die nur in Säure eingelagert wurden, weisen eine stärkere Neutralisation der Prüflösung, eine größere Massenzunahme bzw. u.U. eine bereits nach 28 Tagen eintretende Massenabnahme sowie einen teils größeren Sulfatgehalt auf. Mögliche Gründe könnten die leicht unterschiedliche Lagerung/Beaufschlagung der mittels „Säure & Dauerlast“ beanspruchten Probekörper sein. Auf der anderen Seite könnte die wiederholte Entnahme der Proben „Säure“ sowie die Probenhandhabung, zu kurzzeitigem Abtrocknen und anschließend verstärktem Saugen sowie zu einem verstärkten Abrieb weicher, schützender Oberflächenschichten geführt haben. Eine zukünftige Untersuchung der kombinierten Belastung muss eine klarere Differenzierung zwischen Einflüssen aus Wasser-, Säure und mechanischer Belastung ermöglichen. Hierfür müssten eine größere Anzahl an Probekörpern für eine insgesamt längere Zeit eingelagert werden.

Haftung auf vorgeschädigten Untergründen

Im Rahmen der Untersuchung wurden Betongrundkörper für 28 Tage einer künstlichen Schwefelsäurebeanspruchung unterzogen und auf die nur unzureichend vorbereitete Betonoberfläche eine Kunststoffbeschichtung appliziert. Im Rahmen der Nasslagerungsdauer von 2 Monaten ist ein leichter Trend hin zu abnehmender Oberflächenzugfestigkeit, wie er auch in [112] beschrieben ist, erkennbar. Zukünftige Untersuchungen sollten wesentlich längere Lagerungsdauern sowie zementöse Mörtelsysteme anstelle von Kunststoffbeschichtungen berücksichtigen.

Fazit

Zu der Beständigkeit von Baustoffen in der teils sehr aggressiven Umgebung von Abwasserbauwerken bestehen Erfahrungen, die sich unter anderem in den bestehenden Richtlinien, Merkblättern und Prüfverfahren darstellen. Die Übertragbarkeit von Erfahrungen aus anderen Bereichen des Betonschutzes ist insbesondere aufgrund der speziellen Exposition nur unter Einschränkungen gegeben. Während auf Basis der Versuche keine verstärkte Alterung von Mörteln zur Instandsetzung von Abwasserschächten beobachtet werden konnte, verdeutlichen die Ergebnisse die Notwendigkeit einer korrekten Untergrundvorbereitung für den Erfolg einer dauerhaften Instandsetzungsmaßnahme.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9 Warentest

9.1 Konzept des IKT-Warentests

Ziel der IKT-Warentests ist es, den Netzbetreibern zuverlässige und unabhängige Informationen über Eigenschaften von marktgängigen Produkten und Verfahren zu liefern. Angaben in Verfahrensbeschreibungen und Werbeinformationen der Anbieter über die vermeintliche Qualität ihrer Produkte werden durch den IKT-Warentest einer unabhängigen und neutralen Prüfung unterzogen.

Zentraler Aspekt ist die Eignung von Produkten unter langfristigen Betriebsbedingungen. Die Prüfung der Übereinstimmung mit dem technischen Regel- und Normenwerk steht daher nicht im Vordergrund, sondern es werden vor allem während des Betriebs auftretende Beanspruchungen untersucht, denen die Produkte in der Praxis jahrzehntelang ausgesetzt sind.

Die Gewährleistungsfrist für Produkte der Kanalisationstechnik beträgt heute maximal fünf Jahre. Dies ist verglichen mit den üblicherweise angestrebten Nutzungsdauern von 50 Jahren und mehr eine sehr kurze Zeitspanne. Von besonderem Nachteil für Auftraggeber sind Schäden, die erst nach Ablauf der fünfjährigen Gewährleistungsfrist auftreten. Ein Rückgriff auf den Anbieter ist nur in den seltensten Fällen möglich und zudem mit langwierigen rechtlichen Auseinandersetzungen verbunden. Hieraus resultiert ein erhebliches finanzielles Risiko für die Netzbetreiber, das durch die vergleichenden IKT-Warentests reduziert werden kann.

Bei den **Untersuchungen** im IKT-Warentest stehen die Einbauqualität der Produkte und Verfahren und deren Abminderung während des Betriebs im Vordergrund. Dies geschieht mit Blick darauf, dass der Einsatz von Produkten bzw. Verfahren auf der Baustelle bereits eine erhebliche Qualitätsminderung im Vergleich zu der 100%igen, geprüften Werks- oder Laborqualität verursachen kann. Gründe hierfür können ungünstige Kanalrandbedingungen sowie besondere Schwierigkeiten beim Zusammenwirken von Verfahrenstechnik und Sanierungsmaterial sein. Abhängig vom Verfahren ist im Betrieb mehr oder weniger mit einer weiteren Qualitätsminderung zu rechnen (vgl. Bild 180).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

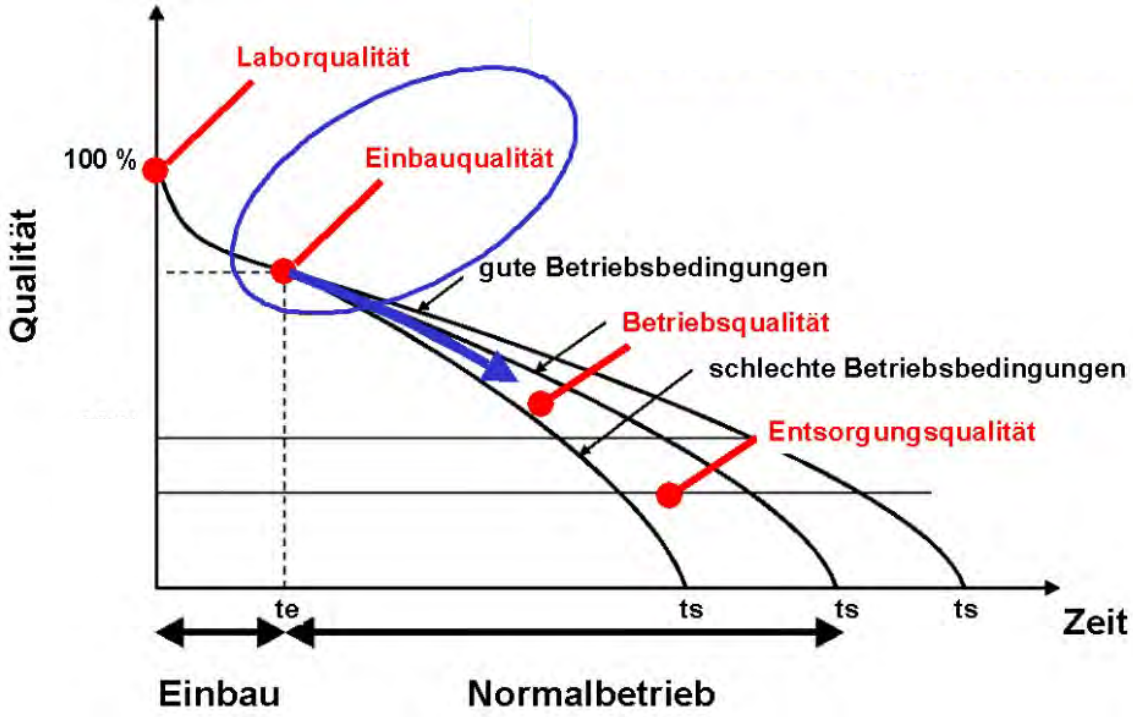


Bild 180 Untersuchungsschwerpunkt (blau) der IKT-Warentests

In diesem IKT-Warentest werden Schachtsanierungen insbesondere mit Blick auf ihre Leistungsfähigkeit in Gebieten mit hohen Grundwasserständen vergleichend untersucht. Die beteiligten Netzbetreiber, die Sanierungsaufgabe und das Prüfprogramm, die Vergabe der Sanierungslose, das Bewertungsschema, die Testergebnisse und die Warentest-Prüfzeugnisse werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

9.2 Beteiligte Netzbetreiber

Ein vergleichender IKT-Warentest wird stets durch eine Gruppe von Netzbetreibern begleitet, dem sogenannten Lenkungskreis. Dieser Lenkungskreis entscheidet in regelmäßigen Sitzungen über

- die Auswahl von Produkten bzw. Verfahren für die erste Testreihe
- die Bau- bzw. Instandhaltungsaufgabe für den Einsatz der Produkte bzw. Verfahren im Test
- die maßgeblichen Leistungsziele und Qualitätsanforderungen
- den Umfang und die Ausrichtung des Prüfprogramms
- den Informationsaustausch mit den Produkt- bzw. Verfahrensanbietern
- die Bewertung und die Veröffentlichung der Ergebnisse

An dem Warentest „Schachtsanierung“ waren folgende Netzbetreiber beteiligt:

- Abwasserbetrieb der Stadt Willich
- Abwasserbetrieb Troisdorf
- Abwasserwerk der Stadt Emsdetten
- Gemeente Arnhem

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Kemptener Kommunalunternehmen
- Stadt Euskirchen
- Stadt Iserlohn
- Stadtbetrieb Abwasserbeseitigung Lünen
- Stadtentwässerung Backnang
- Stadtentwässerung Kiel
- Stadtentwässerungsbetriebe Köln
- Städtische Betriebe Minden
- Stadtwerke Bad Oeynhausen
- Stadtwerke Essen
- Technische Werke Burscheid
- Wirtschaftsbetrieb Hagen
- Zweckverband Wasser Abwasser Vogtland

Die eigentliche Prüfung sowie die Dokumentation der Ergebnisse erfolgen durch das IKT als unabhängiges Institut. Das IKT ist im Rahmen der Prüfung insbesondere verantwortlich für die ingenieurtechnische Entwicklung und Umsetzung der Prüfaufbauten und des Prüfprogramms. Diesbezügliche Entscheidungen werden in unmittelbarer Abstimmung mit dem Lenkungskreis getroffen.

Bild 181 Projektbegleitung durch den Lenkungskreis in regelmäßigen Sitzungen (links) und Inspektion der Gewerke im Versuchsstand (rechts).

9.3 Sanierungsaufgabe und Prüfprogramm

In Großversuchsstand des IKT wurden insgesamt 13 Schächte aus Betonfertigteilen der Nennweite DN 1000 eingebaut sowie zwei quadratische Beton-Fertigteil-Schächte mit Innenabmessungen von 0,8 Metern. An einem weiteren Schacht aus PE-HD sind Untersuchungen zum Auftriebsverhalten bei Grundwassereinwirkung durchgeführt worden. Ausschließlich die 13 Schächte aus Betonfertigteilen sind relevant für den IKT-Warentest „Schachtsanierung“. Bild 47 zeigt die Anordnung der Schächte im Großversuchsstand als Grundriss in einer Übersichtsskizze.

Die beteiligten Netzbetreiber legten folgende Schadensbilder fest (vgl. Bild 48f):

- **8x „Einzelschaden“:** Punktuelle Schadstelle als Bohrloch mit 10 mm Durchmesser

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- **4x „Flächiger Schaden“:** 9 Bohrlöcher mit 5 mm Durchmesser auf einer Fläche von 20 cm x 20 cm mit Simulation von punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung (Trennmittel)
- **5x „Undichte Ringfuge“:** Ringfuge mit jeweils 4 Bohrlöchern von 6 mm Durchmesser

Bild 50 zeigt eine Skizze eines Schachtaufbaus mit Angaben zu Wasserständen über Schadstellen und Ausbildung der Schäden in schematischer Darstellung.

Nach Abschluss der Schachtsanierungen (ohne Grundwassereinfluss) begannen die eigentlichen Systemprüfungen (Prüfprogramm). Dabei standen Belastungen aus Außenwasserdruck im Vordergrund (Fremdwassersanierung):

- Kurzzeit-Grundwasser-Belastung schrittweise bis ca. 5 m (vgl. Bild 50), Haltedauer: 17,5 Tage (je Belastungsstufe 3,5 Tage)
- Langzeit-Grundwasser-Belastung, konstant bei ca. 5 m (vgl. Bild 50), Haltedauer: 67 Tage

Nach jedem Anheben des Wasserstandes sind die Schächte inspiziert worden. Nach Erreichen des maximalen Wasserstandes von ca. 5 Metern wurden die Schächte wöchentlich weiterhin optisch und akustisch inspiziert. Während der Inspektionen sind Undichtheiten, Hohlstellen, Risse und andere Auffälligkeiten protokolliert worden.

Zusätzlich wurde unmittelbar nach der Sanierung eine Füllstandsmessung gemäß DIN EN 1610 [40] durchgeführt. Nach Abschluss der Grundwasser-Belastungen wurden Haftzugfestigkeiten bestimmt, die MAC-Steifigkeit gemessen und die undichten Stellen an der Steigtechnik dokumentiert. Darüber hinaus wurden Nachweise zur Trag- und Schutzwirkung sowie vielfältige Aspekte der Qualitätssicherung hinterfragt.

Details der umfassenden Prüfungen sind in den Kapiteln 9.5 und 9.6 dargestellt.

9.4 Vergabe der Sanierungslose

9.4.1 Methodik

Das Vorgehen zur Vergabe der Sanierungslose wurde eng mit dem Lenkungskreis der Netzbetreiber abgestimmt. Im Zentrum des Auswahlverfahrens standen dabei die für die Netzbetreiber relevanten Charakteristika einer Sanierung, die sich insbesondere durch folgende Qualitätsfaktoren beschreiben lassen:

1. **System**
   (eingesetztes Material-/Produkt-System),
2. **Mannschaft**
   (Sanierungsfirma/ Systemanbieter),
3. **Methode**
   (Beschichtung, Auskleidung und Innenschachtsysteme) und
4. **Maschine**
   (Applikationstechnik: händisch/ maschinell).

Im Rahmen der ersten Testreihe eines vergleichenden Produkt- und Verfahrenstests ist die Anzahl der durchführbaren Sanierungen zunächst beschränkt. Im vorliegenden Fall konnten insgesamt 13 Sanierungslose vergeben werden. In Abstimmung mit dem

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Lenkungskreis wurden die Systeme mit Prioritäten für die Vergabe der Sanierungslose belegt. Dabei wurde ein mehrstufiges Verfahren gewählt.

In der Stufe 1 des Verfahrens (vgl. Tabelle 144) wird angestrebt, die Vorgaben und Interessen der Netztreiber unmittelbar durch die Vergabe der Sanierungslose umzusetzen. Mit Blick auf das Kriterium „System“ soll eine möglichst große Vielfalt der am Markt verfügbaren Systeme im Test untersucht werden. Um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen, kann der Systemanbieter eine Sanierungsfirma („Mannschaft“) empfehlen (auch sich selbst), die Bandbreite der „Methoden“ wird vollständig abgedeckt und im Falle der Beschichtungen die am Markt vorwiegend vertretene Applikationstechnik (händische Aufbringung) eingesetzt.

Ist eine vollständige Vergabe der Sanierungslose in dieser Stufe noch nicht möglich, wird das Verfahren schrittweise geöffnet, bis alle Lose vergeben sind. In Stufe 2 wird der Einsatz der von den Lenkungskreismitgliedern priorisierten Systeme ausgeschrieben (Stufe 2) und so die Sanierungsfirma bestimmt. Auch hier ist eine große Bandbreite der eingesetzten Systeme angestrebt. In der Stufe 3 werden die Sanierungsarbeiten ebenfalls ausgeschrieben, die Systemvorgaben aber weiter gelockert. In der Stufe 4 werden neben händischer Applikationstechnik auch maschinelle Verfahren für die kreisrunden Schächte zugelassen. In Stufe 5 werden auch die Vorgaben zur Wahl der Methodik, d.h. Verteilung der Lose auf Beschichtung, Auskleidung und Innenschachtsysteme, weiter geöffnet. Tabelle 144 fasst das Auswahlverfahren zur Vergabe der Sanierungslose zusammen.

Tabelle 144 Auswahlkriterien zur Vergabe der Sanierungslose

Qualitätsfaktoren		Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
System	Material-/ Produkt-System	System und Anbieter	System und Anbieter			
Mannschaft	Systemanbieter/ Sanierungsfirma	Anbieter benennt Sanierer	Ausschreibung der Sanierungsleistung	Ausschreibung der Sanierungsleistung	Ausschreibung der Sanierungsleistung	Ausschreibung der Sanierungsleistung
Methode	Renovierungsverfahren (Beschichtung/ Auskleidung/ Innenschachtsysteme)					
Maschine	Applikationstechnik (Händisch/ Maschinell)	Händisch	Händisch	Händisch		

Ohne Vorgabe Mit Vorgabe

9.4.2 Marktrecherche und Priorisierung

Für die Vergabe der Sanierungslose gemäß der Stufe 1 (vgl. Tabelle 144) wurden insgesamt 37 Mörtelbeschichtungs-, 14 Kunststoffbeschichtungs- und 11 Auskleidungsanbieter recherchiert, die Systeme für die Sanierung von Abwasserschächten auf dem Markt anbieten. Die Liste der recherchierten Anbieter wurde den Teilnehmern des Lenkungskreises vorgestellt. Es wurde seitens der Lenkungskreismitglieder grundsätzlich festgelegt, dass sechs Mörtelbeschichtungen, drei Kunststoffbeschichtungen und vier Auskleidungen getestet werden. Mittels eines gewichteten Votings wurde anschließend durch die Netzbetreiber folgende Rangliste der zu untersuchenden Sanierungssysteme festgelegt.

Auswahl der Mörtelbeschichtungen

Für die Auswahl der Mörtelbeschichtungen wurde von den Lenkungskreismitgliedern beschlossen, dass bei der Systemauswahl unterschiedliche Anbieter berücksichtigt

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

werden sollen, allerdings kann ein einzelner Anbieter auch in mehreren Materialgruppen wie Zementmörtel und Silikatmörtel einbezogen werden. Zudem sollen die Mörtelsysteme händisch an die Schachtwandung appliziert werden. Die folgende Auswahl (vgl. Tabelle 145) an Mörtelbeschichtungen wurde seitens der Lenkungskreismitglieder priorisiert.

Tabelle 145 Auswahl der Mörtelbeschichtungen

Anbieter	Systeme
MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG	Ombran MHP
Hermes Technologie GmbH & Co. KG	Ergelit KS 1
Sika Deutschland GmbH	Kanal-Reprofiliermörtel
Remmers Baustofftechnik GmbH	Betofix R4 SR
Remmers Baustofftechnik GmbH	Silicate R
PCI Augsburg GmbH	Nanocret R4

Auswahl der Kunststoffbeschichtungen

Für die Auswahl der Kunststoffbeschichtungen wurde von den Lenkungskreismitgliedern beschlossen, dass bei der Systemauswahl ausschließlich Anbieter berücksichtigt werden sollen, deren Systeme direkt an die Schachtwandung (ohne Reprofilierung) appliziert werden können. Die folgende Auswahl (vgl. Tabelle 146) an Kunststoffbeschichtungen wurde seitens der Lenkungskreismitglieder priorisiert.

Tabelle 146 Auswahl der Kunststoffbeschichtungen

Anbieter	Systeme
PSL Handels GmbH	Oldodur WS 56
FSB Bautechnik GmbH	Spectrashield
Source One Environmental UK (S1E)	Ultracoat

Auswahl der Auskleidungen

Die folgende Auswahl (vgl. Tabelle 147) an Auskleidungen wurde seitens der Lenkungskreismitglieder priorisiert.

Tabelle 147 Auswahl der Auskleidungen

Anbieter	Systeme
Aarsleff Rohrsanierung GmbH	GfK – Rückverankert
SEKISUI SPR Germany GmbH	GfK – Adhäsiv
Hobas Rohre GmbH	GfK – Innenschacht
Schacht + Trumme Sielregulierungen W. Schwarz GmbH	PE-HD – Segmentauskleidung

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.4.3 Vergabe

Alle o.a. Anbieter wurden in das IKT eingeladen, um die Sanierungsaufgabe vorzustellen. Anschließend wurden sie gebeten, Angebote für die anstehende Sanierungsaufgabe einzureichen. Sofern ein Anbieter die Sanierungen nicht selber durchführen kann oder möchte, wurde er gebeten, eine Sanierungsfirma zu empfehlen, die mit der Durchführung der Schachtsanierung beauftragt werden kann.

Die Systemanbieter zu „Ombran MHP“ (vgl. Anhang 3-1) und „Ergelit KS 1“ (vgl. Anhang 3-2) wollten zunächst aufgrund von Bedenken keine Angebote für die Sanierungsdurchführung abgeben bzw. keine Firmen benennen. Daher wurde seitens des Lenkungskreises zunächst beschlossen, mit der Stufe 2 der Vergabe der Sanierungslose fortzufahren (vgl. Tabelle 144). Demzufolge wurde die Sanierungsaufgabe für die Systeme „Ombran MHP“ und „Ergelit KS 1“ ausgeschrieben. Während dieser Stufe 2 teilten allerdings beide Systemanbieter doch noch mit, dass sie für die Sanierungsdurchführung Firmen benennen werden. Entsprechend konnten im Rahmen des IKT-Warentests „Schachtsanierung“ auf Basis der Stufe 1 alle Sanierungslose vergeben werden.

9.5 Bewertungsschema

9.5.1 Überblick

Ziel der IKT-Warentests ist es, am Markt angebotene Produkte, Verfahren bzw. Leistungen zu bewerten, mögliche Verbesserungspotentiale aufzuzeigen und gleichzeitig einen Marktdruck aufzubauen, damit diese Potentiale von den Produkt-, Verfahrens- bzw. Leistungsanbietern auch genutzt werden. Der Kanalnetzbetreiber als Kunde gibt vor, welche Qualitätsanforderungen an die Produkte, Verfahren bzw. Leistungen gestellt werden und wie diese vor diesem Hintergrund zu bewerten sind. Im vorliegenden IKT-Warentest „Schachtsanierung“ wurden Anbieter mit den von ihnen eingesetzten Materialien bzw. Systemen einem mehrteiligen Test unterzogen:

- „Systemprüfungen“,
- „Qualitätssicherung der Anbieter“ und
- „Baustellenuntersuchungen“ zur Plausibilitätsprüfung.

Die Bewertungsnote gründet sich auf Ergebnissen der drei Bewertungsschwerpunkte, den „Systemprüfungen“, der „Qualitätssicherung der Anbieter“ und den „Baustellenuntersuchungen“. Die Ergebnisse aus den „Baustellenuntersuchungen“ fließen allerdings ausschließlich in das Kriterium „Besonderen Auffälligkeiten“ im Zuge der „Qualitätssicherung der Anbieter“ ein. Als Zusatzinformationen werden die „Undichtheiten an Steigtechnik“, „Füllstandsmessung nach Sanierung“ und „Mittragwirkung – MAC-Prüfungen“ dargestellt.

Tabelle 148 zeigt das durch die Netzbetreiber festgelegte Bewertungsschema mit den Bewertungsschwerpunkten inkl. Wichtung.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 148 Bewertungsschema (Überblick) mit Wichtung

Bewertungsschema (Überblick)	
Systemprüfungen (85 %)	**Qualitätssicherung der Anbieter (15 %)**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %)	Verfahrensbeschreibung: Verfahrenshandbuch (10 %), Technische Merkblätter (10 %)
Tragwirkung (20 %)	Schulungen: Schulung des Sanierers (10 %), Schulungsangebote des Herstellers (10 %)
Robustheit (20 %)	Prüfzeugnisse (20 %)
Abnahme-Eindruck (15 %)	Fremdüberwachung des Sanierers (20 %)
Schutzwirkung (5 %)	Besondere Auffälligkeiten – Systemprüfungen, Baustellenuntersuchungen (20 %)
Zusatzinformationen (ohne Benotung) Undichtheiten an Steigtechnik Füllstandsmessung nach Sanierung Mittragwirkung – MAC-Steifigkeit	

Das detaillierte Bewertungsschema mit den Benotungen der Materialien bzw. Systeme hinsichtlich der „Systemprüfungen“ und der „Qualitätssicherung der Anbieter“ ist in den nachfolgenden Abschnitten 9.5.2 und 9.5.3 dargestellt. In Abschnitt 9.5.4 werden die Baustellenuntersuchungen beschrieben.

9.5.2 Systemprüfungen

Der Bewertungsschwerpunkt „Systemprüfungen“ geht mit 85 % in das jeweilige Prüfurteil ein und wird mit Noten zwischen „sehr gut (1,0)“ und „ungenügend (6,0)“ bewertet. In den Bewertungsschwerpunkt fließen die Kriterien Fremdwasser-Dichtheit (40 %), Tragwirkung (20 %), Robustheit (20 %), Abnahme-Eindruck (15 %) und Schutzwirkung (5 %) (vgl. Tabelle 149) ein.

Tabelle 149 Bewertungsschema Systemprüfungen

Prüfkriterium und Gewichtung	Bewertung
Fremdwasser-Dichtheit (40 %) Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %) Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %)	Von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“
Tragwirkung (20 %)	
Robustheit (20 %)	
Abnahme-Eindruck (15 %)	
Schutzwirkung (5 %)	

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die **„Fremdwasser-Dichtheit“** wird anhand der Ergebnisse der Kurz- und Langzeit-Grundwasserbelastung 5 m bewertet, die mit 20 % bzw. 80 % gewichtet werden. Für die Benotung der Kurz- und Langzeit-Grundwasserbelastung werden in Abhängigkeit des Abdichtungs-Erfolges je Schadensbild Kritikpunkte jeweils für den schlechtesten Zustand während des gesamten Belastungszeitraums vergeben. Bei dem Schadensbild „undichte Ringfuge“ wird die gesamte Fläche zusammenfassend mit Blick auf die Auffälligkeiten und den schlechtesten Zustand bewertet. Die Summe der Kritikpunkte ergibt jeweils für den „Einzelschaden“ und die „undichte Ringfuge“ eine Note, die mit 30 % bzw. 70 % in die Bewertung des jeweiligen Belastungszeitraums eingeht.

Für die Grundwasserbelastungen werden entsprechend dem Bewertungsschema in Tabelle 150 für jedes Schadensbild jeweils 0 Kritikpunkte vergeben, wenn keine Auffälligkeit (Farbbezeichnung: „Grün“) vorliegt. Für eine erkennbare Auffälligkeit „Feuchtefleck ≤ 25 cm²“ (Farbbezeichnung: „Gelb-Grün“), „Feuchtefleck > 25 cm²“ (Farbbezeichnung: „Gelb“) und „Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm“ (Farbbezeichnung: Gelb-Rot) werden 0,25, 1,0 bzw. 2,0 Bewertungspunkte vergeben. „Infiltrationen“ (Farbbezeichnung: „Rot“) werden mit 4,0 Punkten bewertet.

Der „Feuchtefleck ≤ 25 cm²“ ist eine typische Größe für ein Schadensbild, welches in der Versuchsreihe identifiziert wurde. Beim „Feuchtefleck > 25 cm²“ werden die übrigen Auffälligkeiten ohne Fließfahne beschrieben. Der „Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm“ umfasst eine Fließfahne mit erkennbarem Abfluss ≥ 40 cm. Die Fließfahne von ≥ 40 cm ergibt sich aus dem maximalen Abflussweg des untersten Schadens bis zur Schachtsohle. Die „Infiltration“ ist ein Schadensbild, in dem ein kontinuierlicher Fremdwasser-Eintritt, mindestens ein dauerhaftes Tropfen, erkennbar ist.

Das Kriterium wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn alle sanierten Schadensbilder keine Auffälligkeit aufweisen (0 Kritikpunkte). Ab fünf Kritikpunkten wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Für dazwischenliegende Werte wird entsprechend interpoliert.

In Tabelle 150 ist das Bewertungsschema mit den Kritikpunkten und auf Bild 182 die abschnittsweise lineare Funktion zur Bewertung des Kriteriums „Fremdwasser-Dichtheit“ dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 150 Bewertungsschema für das Kriterium „Fremdwasser-Dichtheit“, GW-Belastung von 5 m

Bewertung „Fremdwasser-Dichtheit“ mit Kritikpunkten jeweils für „Einzelschaden“ (30 %) und „undichte Ringfuge“ (70 %) Keine – 0 / Grün Feuchtefleck ≤ 25 cm² – 0,25 / Gelb-Grün Feuchtefleck > 25 cm² – 1,0 / Gelb Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm – 2,0 / Gelb-Rot Infiltration – 4,0 / Rot	**Benotung**
0	1,0
1	2,0
2	3,0
3	4,0
4	5,0
≥ 5	6,0

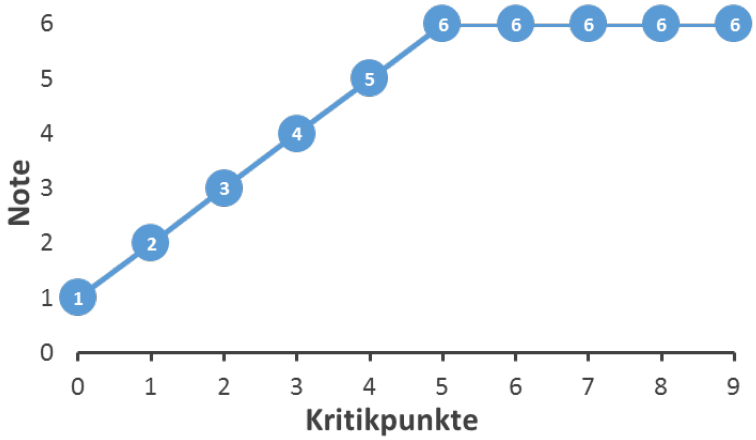


Bild 182 Abschnittsweise lineare Funktion zur Bewertung für das Kriterium „Fremdwasser-Dichtheit“, GW-Belastung von 5 m

Das Kriterium **„Tragwirkung“** wird für den Lastfall von 5 m Außenwasserdruck bewertet. Dabei werden die eingesetzten Systeme mit Blick auf die Wirkungsweise wie folgt unterschieden:

- Fall 1: **Haftverbund** zum Untergrund
- Fall 2: Rückverankerung mit speziellen **Tragelementen bzw. Selbsttragende Auskleidung**

Für **Fall 1 „Haftverbund“** werden als Kritikpunkte „Mangelhafter Verbund“ (Mittelwert Haftzugfestigkeit und Hohllagen), „Übermäßige Verformungen“ und „Zugspannungsüberschreitungen“ gemäß Tabelle 151 gesammelt und nach dem Bewertungsschema

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

in Tabelle 152 benotet. Falls Hohllagen vorhanden sind, werden diese flächengewichtet als „Nullwerte“ in die Mittelwertberechnung der Haftzugprüfungen einbezogen.

Tabelle 151 Fall 1 „Haftverbund“ – Kritikpunkte für das Kriterium „Tragwirkung“

Kritikpunkte „Mangelhafter Verbund“
Mittelwert HZP*: < 0,5 N/mm² – 1 ≤ 0,3 N/mm² – 5 *Die Hohllagen gehen flächengewichtet als Nullwerte in die Berechnung ein.
Hohllagen: ≥ 400 cm² – 1 ≥1600 cm² – 2
Kritikpunkte „Übermäßige Verformung“
keine – 0 ≤ 100 cm² – 1 > 100 cm² – 2
Kritikpunkte „Zugspannungsüberschreitung“
Risse > 0,1 mm – 1 Haarrisse ≤ 0,1 mm (flächig > 400 cm²) – 1

Die Grenzwerte der Haftzugprüfung des Kritikpunktes **„Mangelhafter Verbund“** ergeben sich aus den Anforderungen an die Oberflächenzugfestigkeiten für Mauerwerk aus dem DWA Merkblatt 143-17 [36]. Da es sich lediglich um die Eigentragwirkung der Sanierungssysteme handelt, werden hier die kleinstmöglichen Haftzugwerte aus der Literatur bzw. den Regelwerken als Grenzwerte für die Bewertung unabhängig vom Mittel- bzw. Einzelwert gewählt. Die Grenzwerte der Hohllagen sind typische Flächen, die in abgeschlossenen IKT-Forschungsvorhaben und IKT-Prüfleistungen identifiziert wurden.

Bei dem Kritikpunkt **„Übermäßige Verformung“** wird die Blasengröße bewertet. Der Grenzwert von 100 cm² entspricht dem kleineren „Flächigen Schaden“ (vgl. Bild 49), der eine Fläche von 10 cm x 10 cm aufweist.

Im Kritikpunkt **„Zugspannungsüberschreitung“** werden die Risse in den Sanierungssystemen bewertet. Hierbei werden Risse, die > 0,1 mm stark sind, mit einem Kritikpunkt versehen. Zudem gehen Haarrisse ≤ 0,1 mm in die Bewertung ein, wenn diese eine Fläche > 400 cm² aufweisen. Für Risse (z.B. Schwindrisse), die ≤ 0,1 mm und ≤ 400 cm² sind, werden keine Kritikpunkte vergeben.

Ein System wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn keine Kritikpunkte vorhanden sind (0 Kritikpunkte). Ab vier Kritikpunkten wird die Note 5,0 (mangelhaft) vergeben. Bei Systemversagen erhält das System die Note 6,0 (ungenügend). Unter Systemversagen wird verstanden, wenn sofortiger Handlungsbedarf zur Sanierung besteht, z. B. weil ein sicherer Einstieg in den Schacht nicht mehr möglich ist und/oder die hydraulischen Eigenschaften des Schachtes stark beeinträchtigt sind.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

In der nachfolgenden Tabelle 152 ist das Bewertungsschema für Fall 1 im Kriterium „Tragwirkung“ dargestellt.

Tabelle 152 Fall 1 „Haftverbund“ – Bewertungsschema „Tragwirkung“

Fall 1: Bewertung „Tragwirkung“	Benotung
0 Kritikpunkte	1,0
1 Kritikpunkt	2,0
2 Kritikpunkte	3,0
3 Kritikpunkte	4,0
≥ 4 Kritikpunkte	5,0
Systemversagen*	6,0

*ausgehend von Bereichen ohne Trennmittel, zu Trennmittelbereichen s. „Robustheit“

Bei **Fall 2 „Tragelemente/ Selbsttragend“** handelt es sich entweder um eine Rückverankerung mit speziellen Tragelementen oder um selbsttragende Auskleidungen. Entsprechend wird hier auf einen flächigen Haftverbund zum Untergrund planmäßig verzichtet. Eine im Versuch beobachtete Eigentragwirkung gilt dann als Systemverhalten, wenn sie durch einen entsprechenden statischen Nachweis belegt werden kann.

Die Kritikpunkte beziehen sich dann auf Mängel in folgenden Leistungsdimensionen:

- Belastung – Statischer Nachweis spiegelt Versuchsbedingungen wider: Belastungen werden mit angemessenen Sicherheitsbeiwert aufgenommen
- Gebrauchstauglichkeit (z.B. Verformungen vernachlässigbar, sicherer Einstieg möglich)
- Materialeigenschaften/ Wandaufbau – wie statischer Nachweis
- Geometrie – Wanddicke und Ringspalt wie statischer Nachweis

Bei den Kritikpunkten wird zum einen der statische Nachweis hinsichtlich seiner Plausibilität (Sanierungsbedingungen der Systemprüfungen) überprüft und zum anderen eine visuelle Bewertung der Sanierung mit Blick auf o. g. Auffälligkeiten vorgenommen.

Ein System wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn ein statischer Nachweis vorgelegt wird und 0 Kritikpunkte vorliegen. Falls kein statischer Nachweis für ein sicheres Systemverhalten vorgelegt werden kann oder 4 Kritikpunkte vorhanden sind, erhält das System die Note „mangelhaft (5,0)“. Bei Systemversagen ausgehend von Bereichen ohne Trennmittel (vgl. „Robustheit“) wird die Note „ungenügend (6,0)“ vergeben.

In der nachfolgenden Tabelle 153 ist das Bewertungsschema für Fall 2 für das Kriterium „Tragwirkung“ dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 153 Fall 2 „Tragelemente/ Selbsttragend“ – Bewertungsschema „Tragwirkung“

Fall 2: Bewertung „Tragwirkung“	Benotung
Statischer Nachweis vorhanden und 0 Kritikpunkte	1,0
Statischer Nachweis vorhanden und 1 Kritikpunkt	2,0
Statischer Nachweis vorhanden und 2 Kritikpunkte	3,0
Statischer Nachweis vorhanden und 3 Kritikpunkte	4,0
Kein statischer Nachweis vorhanden oder 4 Kritikpunkte	5,0
Systemversagen*	6,0

*ausgehend von Bereichen ohne Trennmittel, zu Trennmittelbereichen s. „Robustheit“

Das Kriterium **„Robustheit“** bezieht sich ausschließlich auf das Schadensbild „Flächiger Schaden“. Hierbei wird ein Trennmittel unmittelbar vor der Sanierung auf die hierfür vorgesehenen Flächen aufgetragen, um Hinweise zur „Robustheit“ des Sanierungssystems gegenüber unplanmäßigen Verbundschwächen zu erfassen, wie sie in der Praxis bei fehlender Untergrundvorbehandlung auftreten können.

Für die Bewertung mit Blick auf das Kriterium „Robustheit“ werden die verschiedenen Sanierungssysteme in Abhängigkeit ihres Tragverhaltens unterschieden:

- Fall 1: Haftverbund zum Untergrund,
- Fall 2: Rückverankerung mit speziellen Tragelementen und
- Fall 3: Rohr-in-Rohr-System.

In der nachfolgende Tabelle 154 sind die unterschiedlichen Kritikpunkte für das Kriterium „Robustheit“ dargestellt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 154 Kritikpunkte für das Kriterium „Robustheit“

Kritikpunkte „Mangelhafter Verbund im Umfeld“*
Hohllagenvergrößerung/ Lösen der Verankerung:
keine – 0
Vergrößerung/ Lösen > 100 % – 1
Vergrößerung/ Lösen > 400 % – 4
Kritikpunkte „Übermäßige Verformung“
keine – 0
≤ 100 % – 1
> 100 % – 2
Kritikpunkte „Zugspannungsüberschreitung“
Risse > 0,1 mm – 1
Haarrisse ≤ 0,1 mm (flächig > 400 cm²) – 1
Kritikpunkte „Infiltration“
keine – 0 / Grün
Feuchtefleck ≤ 25 cm² – 0,25 / Gelb-Grün
Feuchtefleck > 25 cm² – 1,0 / Gelb
Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm – 2,0 / Gelb-Rot
Infiltration – 4,0 / Rot

* Nicht relevant für Fall 3

Der Kritikpunkt **„Mangelhafter Verbund im Umfeld“** beschreibt die Hohllagenvergrößerung bzw. das Lösen der Verankerung im Umfeld des Schadensbildes „Flächiger Schaden“ für den Fall 1 bzw. 2. So werden bei einer Hohlstellenvergrößerung bzw. Lösen der Verankerung > 100 % ein Kritikpunkt und > 400 % zwei Kritikpunkte vergeben. Für Fall 3 ist dieser Kritikpunkt nicht relevant, da diese Systeme unempfindlich gegenüber einer fehlenden bzw. unzureichenden Untergrundvorbereitung sind. Entsprechend erhalten die Anbieter, die dem Fall 3 zugeordnet werden können, keine Kritikpunkte hinsichtlich „Mangelhafter Verbund im Umfeld“.

Bei dem Kritikpunkt **„Übermäßige Verformung“** wird die Blasenbildung bei Fall 1 bzw. Beulenbildung bei den Fällen 2 und 3 betrachtet. Eine „Übermäßige Verformung“ ≤ 100 % wird mit einem Kritikpunkt und eine „Übermäßige Verformung“ > 100 % mit zwei Kritikpunkten bewertet.

Die Kritikpunkte **„Zugspannungsüberschreitung“** bzw. **„Infiltration“** entsprechen den Ausführungen aus den Kriterien „Tragwirkung“ bzw. „Fremdwasser-Dichtheit“.

Ein Anbieter wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn das sanierte Schadensbild „Flächiger Schaden mit Trennmittel“ keine Auffälligkeit aufweist (0 Kritikpunkte). Ab fünf Kritikpunkten wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Dazwischenliegende Werte werden entsprechend Bewertungsschema (vgl. Tabelle 155) linear interpoliert.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

In Tabelle 155 ist das Bewertungsschema für das Kriterium „Robustheit“ dargestellt.

Tabelle 155 Bewertungsschema „Robustheit“

Bewertung „Robustheit“	Benotung
0 Kritikpunkte	1,0
1 Kritikpunkt	2,0
2 Kritikpunkte	3,0
3 Kritikpunkte	4,0
4 Kritikpunkte	5,0
≥ 5 Kritikpunkte	6,0

Mit dem Kriterium **„Abnahme-Eindruck“** wird der Eindruck des Gewerkes bei der Bauabnahme bewertet. Die Beurteilung wird von den am IKT-Warentest beteiligten Netzbetreibern durch einen Schachteinstieg (Bewertungskreis, d. h. eine Gruppe von Netzbetreibern aus dem Lenkungskreis) und anhand von Videodokumentationen mittels IBAK Panoramo SI-Kamera (Lenkungskreis) mit Notenvergabe vorgenommen (vgl. Bild 183).

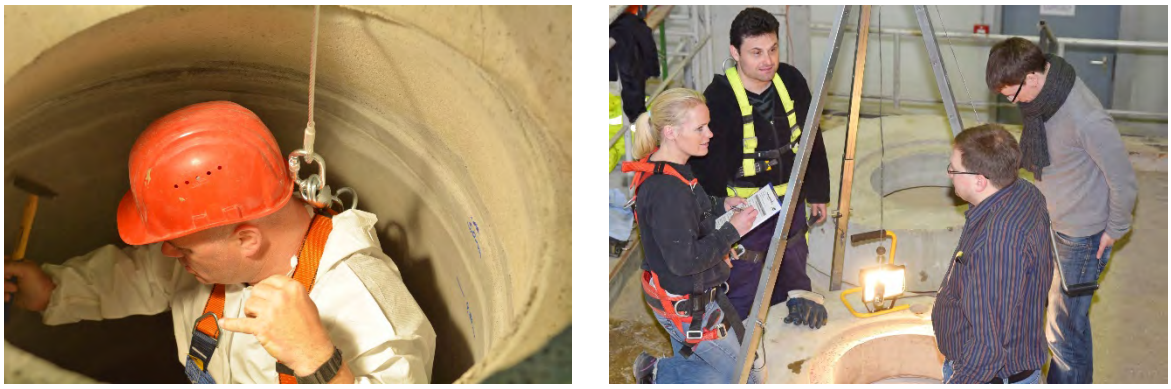


Bild 183 Aufnahme des Eindrucks bei der Bauabnahme durch den Bewertungskreis (links) und Diskussion und Dokumentation des Abnahme-Eindrucks (rechts)

Bei der Bewertung wird zwischen dem Zustand nach Sanierung ohne Grundwasserbelastung, Kurzzeit-Grundwasserbelastung 5 m und Langzeit-Grundwasserbelastung 5 m unterschieden, wobei die Bewertungen zu 10 % (nach Sanierung), 30 % (nach Kurzzeit-GW-Belastung) und 60 % (nach Langzeit-GW-Belastung) gewichtet werden. Durch den Bewertungskreis wird die Optik (40 %), die Akustik (40 %), die Haptik (15 %) und der Geruch (5 %) während des Schachteinstiegs bewertet (vgl. Tabelle 156). Sofern eine Grundwasserbelastung vorliegt, findet zudem eine Beurteilung hinsichtlich der Dichtheit des Abwasserschachtes statt. Im Gegensatz dazu wird durch den Lenkungskreis mittels Videodokumentation lediglich der optischer Zustand bewertet. Wie beim Bewertungskreis erfolgt hierbei eine Bewertung der Dichtheit, sofern eine Grundwasserbelastung vorliegt.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bei dem Kritikpunkt „Optik“ (40 %) wird zum einen die Oberflächenbeschaffenheit (Risse, Löcher, Lunker, Materialanbindungen, vollständiger Materialauftrag, Materialübergänge sowie Struktur und Rauigkeit) zu 80 % und zum anderen der farbliche Eindruck (Farbunterschiede/ Kontrast) zu 20 % bestimmt. Der Kritikpunkt „Akustik“ (40 %) umfasst die Identifikation von Hohlstellen mittels Hammerschlag. Bei dem Kritikpunkt „Haptik“ (15 %) wird das Absanden (Mörtel) bzw. Kleben (Kunststoff) mit 70 % und die Oberflächenfestigkeit (Ritzprobe) mit 30 % gewichtet. Zudem wird bei der Bewertung des Kritikpunktes „Geruch“ (5 %) eine eventuelle Geruchsbelästigung beurteilt. Darüber hinaus erfolgt bei dem Kritikpunkt „Dichtheit“ die Überprüfung des Wassereindrangs bei anstehendem Außenwasserdruck.

Für jeden sanierten Abwasserschacht werden Noten zwischen 1,0 (sehr gut) bis 6,0 (ungenügend) vergeben, wobei die Notenvergabe mittels Nachkommastelle zulässig ist. Die Bewertungsergebnisse der beteiligten Netzbetreiber werden arithmetisch zu einem Gesamtergebnis gemittelt.

In der nachfolgenden Tabelle 156 ist das Bewertungsschema für das Kriterium „Abnahme-Eindruck“ dargestellt.

Tabelle 156 Bewertungsschema für das Kriterium „Abnahme-Eindruck“

Nach Sanierung ohne AWD (10 %)	
Bewertungskreis (85 %)	**Lenkungskreis (15 %)**
Optik (40 %) Akustik (40 %) Haptik (15 %) Geruch (5 %)	Optik (100 %)
Kurzzeit mit AWD 5 m (30 %)	
Bewertungskreis (85 %)	**Lenkungskreis (15 %)**
Dichtheit (45 %) Optik (20 %) Akustik (20 %) Haptik (10 %) Geruch (5 %)	Dichtheit (70 %) Optik (30 %)
Langzeit mit AWD 5 m (60 %)	
Bewertungskreis (85 %)	**Lenkungskreis (15 %)**
Dichtheit (45 %) Optik (20 %) Akustik (20 %) Haptik (10 %) Geruch (5 %)	Dichtheit (70 %) Optik (30 %)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bei dem Kriterium **„Schutzwirkung“** werden Nachweise für den Einsatz der Materialien bzw. Systeme in Abwasseranlagen mit dem zulässigen pH-Wert-Bereich von den Anbietern angefordert. Der Nachweis ist erbracht, wenn eine DIBt-Zulassung oder erfolgreich abgeschlossene Prüfungen, die in Analogie zur DIBt-Zulassungsprüfung durchgeführt worden sind, vorliegen. Ergänzend werden Einlagerungsversuche für Mörtel und Kunststoff gegenüber aggressiven bzw. besonders aggressiven Bedingungen durchgeführt, um auch die Schutzwirkung der hier eingesetzten Materialien stichprobenhaft zu überprüfen. Sofern keine Auffälligkeiten vorliegen, führt dies zu einer Aufwertung um eine Note. In der nachfolgenden Tabelle 157 ist das Bewertungsschema für das Kriterium „Schutzwirkung“ dargestellt.

Tabelle 157 Bewertungsschema für das Kriterium „Schutzwirkung“

Bewertung „Schutzwirkung“		
Nr.	Erbrachter Nachweis für Einsatzbereich	Benotung
A	Kein erbrachter Nachweis	6,0
B	Nachweis ggü. aggressiven Bedingungen (ca. im Bereich von pH 3,5)	3,0
C	Nachweis ggü. besonders aggressiven Bedingungen (ca. im Bereich von pH 2)	2,0
D	Stichprobe / Einlagerungsversuch bestanden	Aufwertung um eine Note

Zusätzlich zu den bereits beschriebenen Prüfungen werden ergänzende Untersuchungen durchgeführt, die nicht benotet, aber als Zusatzinformation in die Gesamtbewertung einbezogen werden (vgl. Tabelle 158).

Tabelle 158 Zusatzinformationen aus Systemprüfung (ohne Benotung)

Zusatzinformation aus Systemprüfungen (ohne Benotung)
Fremdwasser-Dichtheit: Undichtheiten an Steigeisen Füllstandsmessung nach Sanierung
Tragwirkung: Mittragwirkung – MAC-Steifigkeit

Mit Blick auf die Bewertung der **„Fremdwasser-Dichtheit“** wird an jedem renovierten Abwasserschacht eine Füllstandsprüfung (max. Wassersäule 5 m) gemäß DIN EN 1610 [40] durchgeführt. Diese erfolgt nach Sanierung über eine Prüfzeit von jeweils 30 Minuten mit einer zulässigen Wasserzugabemenge von 0,4 l/m². Grundsätzlich gelten für die Bewertung der einzelnen Schächte folgende zwei Kriterien:

- „Bestanden“ → zulässige Wasserzugabemenge eingehalten (Farbbezeichnung: „Grün“)
- „Nicht bestanden“ → zulässige Wasserzugabemenge überschritten (Farbbezeichnung: „Rot“)

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Steigeisen werden mit Blick auf den Wassereindrang beurteilt. Hierbei wird folgende Bewertung vorgenommen:

- Keine Infiltration (Farbbezeichnung: „Grün“)
- Sichtbare Infiltration (Farbbezeichnung: „Rot“)

Bei dem Kriterium **„Tragwirkung“** werden Hinweise zur Mittragwirkung der Systeme gegeben. Hierbei wird zunächst eine MAC-Prüfung zur Ermittlung der Ausgangssteifigkeit durchgeführt. Anschließend werden die Belastung bis zum Bruch der Beton-Schachtringe gesteigert und die Gesamtsteifigkeiten der geschädigten Systeme ermittelt. Abschließend werden nach der Sanierung der Schachtbauwerke die Gesamtsteifigkeiten der sanierten Systeme gemessen.

Für die Bewertung der einzelnen Schachtsanierungen gelten folgende drei Kriterien:

(+) Erhebliche Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von > 150 % der Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes

(o) Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von 100 % - 150 % der Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes

(-) Geringe Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von < 100 % der Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes bzw. kein Beitrag zur Gesamtsteifigkeit

9.5.3 Qualitätssicherung der Anbieter

Im Bewertungspunkt „Qualitätssicherung der Anbieter“ wird untersucht, inwieweit der Anbieter die Qualität seines Materials bzw. Systems überwacht bzw. Maßnahmen zur Qualitätssicherung nachweist. Zu den folgenden Kriterien, die jeweils mit 20 % gewichtet werden, wurden von den Anbietern Unterlagen angefordert und ausgewertet:

- **Verfahrensbeschreibung: Verfahrenshandbuch (10 %), Technische Merkblätter (10 %):**

  Eine Grundvoraussetzung für die Anwendung eines Sanierungssystems auf einer Baustelle ist eine aussagekräftige Verfahrensbeschreibung und das Vorhandensein von technischen Merkblättern für das ausführende Personal. Das Verfahrenshandbuch und die technischen Merkblätter sollten nachvollziehbar strukturiert und übersichtlich aufgebaut sein, ausführliche Informationen zu den Einsatzbereichen des Verfahrens enthalten sowie die Handhabung des Materials und den Einbauprozess detailliert beschreiben. Bei Verwendung von gesundheitsgefährdendem Material bzw. Verletzungsgefahr beim Einbau sollten entsprechende Sicherheits- und Warnhinweise enthalten sein.
- **Schulungen: Schulungen des Sanierers (10 %), Schulungsangebote des Anbieters (10 %):**

  Zur Qualifizierung sollte das ausführende Personal Schulungen besucht haben, in denen die Handhabung des Sanierungssystems erlernt werden kann und praktische Tipps aus Erfahrungen des Herstellers weitergegeben werden. Im Idealfall werden in den Schulungen sowohl theoretische Grundlagen behandelt als auch die praktische Anwendung der Verfahren an Teststrecken eingeübt. Ein Beleg für den Besuch dieser Schulungen sind entsprechende Zertifikate der Schulungsträger.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- **Prüfzeugnisse (20 %):**

  Die Qualität der eingesetzten Materialien sollte durch unabhängige, praxisnahe Prüfungen nachgewiesen worden sein. Da die bauaufsichtliche Zulassung durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) i.d.R. mit Bezug auf die bei der Zulassungsprüfung eingesetzten Materialien vergeben wird, stellt diese eine Beurteilung der Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Sanierungssystems hinsichtlich bauaufsichtlicher Anforderungen dar. Die DIBt-Zulassung kann somit auch qualitätssichernd im vorgenannten Sinne wirken. Darüber hinaus sind Hinweise zur Umweltverträglichkeit, Entsorgbarkeit und Prüfungen zu Materialeigenschaften von Bedeutung.
- **Fremdüberwachung (20 %):**

  Die häufig in Ausschreibungen geforderte Fremdüberwachung von Sanierungsmaßnahmen kann der Qualitätssicherung dienen. Daher sollten die eingesetzten Sanierungssysteme nachweislich am Markt auch mit einer qualifizierten Fremdüberwachung (z.B. Güteschutz Kanalbau oder vergleichbar) angeboten werden.

Ergänzend wurde auch das Kriterium **„Besondere Auffälligkeiten (20 %)“** bei der Qualitätssicherung der Anbieter bewertet. Dies galt als bestanden (+), sofern im Zuge der üblichen Sanierungsbegleitung durch das IKT sowohl im Labor als auch in situ keine zu beanstandenden Besonderheiten beobachtet wurden hinsichtlich:

- Tätigkeitsdurchführung nach Verfahrenshandbuch,
- Berücksichtigung der technischen Merkblätter der Materialhersteller (Mischen, Verfallsdatum des Materials etc.),
- Qualität der Arbeitsvorbereitung seitens der Sanierungsfirma bzgl. gerätetechnischer Ausstattung,
- Zuverlässigkeit des Dienstleisters bzgl. Umsetzung des Auftrags und Einhaltung von Terminen,
- Zeitbedarf für die Auftragsabarbeitung,
- Materialverbrauch bei der Sanierung,
- Auftreten von technischen Problemen bei der Sanierung und ggf. Schadensbehebung,
- Dokumentation der Sanierungsarbeiten und Weitergabe an Auftraggeber,
- Arbeitsweise bzgl. Ordnung und Sauberkeit bei Labor- und In-situ-Untersuchungen und
- Einhaltung der üblichen Maßnahmen zur Arbeitssicherheit bei Labor- und In-situ-Untersuchungen.

Der Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Anbieter“ geht insgesamt zu 15 % in das jeweilige Prüfurteil ein. In den Bewertungsschwerpunkt fließen die fünf oben aufgeführten Prüfkriterien ein. Die Kriterien werden mit „+/-“ (nachgewiesen/nicht nachgewiesen) bzw. „+/o/-“ (nachgewiesen/teilweise nachgewiesen/nicht nachgewiesen) bewertet und fließen mit 20 % in die Note für den Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Anbieter“ ein. Für die Kriterien „Verfahrenshandbuch“ und „Schulungen“ werden die jeweils zwei Unterkriterien mit 10 % gewichtet. Entsprechend

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

werden dazwischen liegende Kritikpunkte gemäß Bewertungsschema linear interpoliert. In Tabelle 159 ist das Bewertungsschema und auf Bild 184 die lineare Funktion für das Kriterium „Qualitätssicherung der Anbieter“ dargestellt.

Tabelle 159 Bewertungsschema für das Kriterium „Qualitätssicherung der Anbieter“

Kriterium	Bewertung	Gewichtung
Verfahrenshandbuch: Verfahrenshandbuch (10 %), Technische Merkblätter (10 %)	 + / - + / -	20 %
Schulungen: Schulungen des Sanierers (10 %), Schulungsangebote des Anbieters (10 %)	 + / - + / -	20 %
Prüfzeugnisse	+ / o / -	20 %
Fremdüberwachung	+ / -	20 %
Besondere Auffälligkeiten	+ / -	20 %

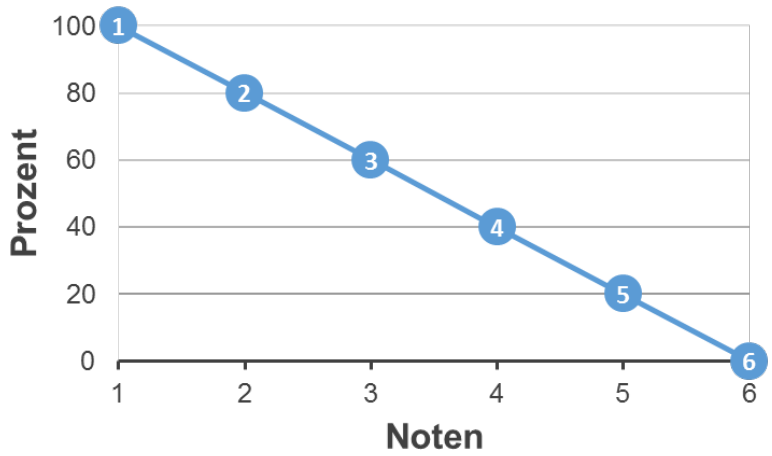


Bild 184 Lineare Funktion zur Bewertung des Kriteriums „Qualitätssicherung der Anbieter“

9.5.4 Baustellenuntersuchungen

Die Baustellenuntersuchungen dienten der Erfassung der grundsätzlichen Handhabbarkeit der Sanierungsverfahren unter Praxisbedingungen. Entsprechend wurde durch die Baustellenuntersuchungen die Plausibilität der Einsätze in den IKT-Versuchsständen überprüft. Hierzu wurden die wesentlichen Arbeitsschritte vor Ort beobachtet. Insbesondere wurden Art und Umfang der Vorarbeiten aufgenommen und Abweichungen zu den Angaben in den Verfahrenshandbüchern bzw. zu den Arbeiten in den IKT-Versuchsständen erfasst. Darüber hinaus werden die Baustellenuntersuchungen in der Bewertung der „Qualitätssicherung der Anbieter“ beim Kriterium „Besondere Auffälligkeiten“ herangezogen. Eine detaillierte Darstellung der Baustellenuntersuchungen findet sich in Abschnitt 7.2ff.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.6 Testergebnisse Schachtsanierungen

In diesem Abschnitt wird das Ergebnis des Vergleichstests „Schachtsanierung“ dargestellt. Die Prüfurteile werden aus den Bewertungsschwerpunkten „Systemprüfungen“ (85 %) und „Qualitätssicherung der Anbieter“ (15 %) gebildet.

9.6.1 Testtabelle IKT-Warentest „Schachtsanierung“

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der „Systemprüfungen“ und „Qualitätssicherung der Anbieter“ und die gebildeten Prüfurteile zusammen. Sie enthält darüber hinaus Zusatzinformationen zu den weiterführenden Prüfungen bei Füllstandsmessung nach Sanierung und Mittragwirkung – MAC-Steifigkeit. Zudem wurden die undichte Stellen an Steigtechnik, das statische System, die Ausführungsart und der Zeitbedarf für die Untergrundvorbereitung und Sanierung, die Summe der Arbeitszeit, die Einsatztage vor Ort und die Netto-Kosten für die Schachtsanierung angegeben.

Das Gesamtergebnis des IKT-Warentests „Schachtsanierung“ bestätigt, dass es grundsätzlich möglich ist, ein qualitativ ansprechendes Sanierungsergebnis zu erzielen. Allerdings zeigte der Test auch, dass die Qualität zwischen den einzelnen Anbietern Unterschiede aufweist. Es wurden Noten von „GUT“ bis „AUSREICHEND“ vergeben. Ein System konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Das beste Ergebnis hat das System „GfK-Innenschacht“ mit der Note GUT (1,6) erzielt. Gefolgt von den Systemen „Nanocret R4“ mit der Note GUT (1,7), „PE-HD-Segmentauskleidung“ mit der Note GUT (2,1), „Kanal-Reprofilierungsmörtel“ mit der Note GUT (2,1) und „GfK-Rückverankert“ mit der Note GUT (2,2). Die Systeme „Oldodur WS 56“, „Ergelit KS 1, „Ultracoat“, „Betofix R4 SR“, „GfK-Adhäsiv“ und „Silicate R“ erhalten die Note BEFRIEDIGEND (2,6, 2,7, 2,8, 2,9, 3,5 bzw. 3,5). Ein ausreichendes Ergebnis (Note 3,6) erzielte das System „Ombran MHP“. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen (vgl. Kriterium „Robustheit“) nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Das in der Tabelle dargestellte IKT-Warentest-Siegel „Schachtsanierung“ kann auf Wunsch des Anbieters mit der eigenen Testnote an diesen verliehen werden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

IKT - Warentest „Schachtsanierung“

Aufgabe: Sanierung eines ca. 5 m hohen Betonschachtes vor Grundwasseranstieg (GW-Belastung nach Sanierung bis 5 m) mit folgenden Schadstellen:

- 8x „Einzelschaden“: Punktuelle Schadstelle als Bohrloch mit 10 mm Durchmesser.
- 4x „Flächiger Schaden“: 9 Bohrlöcher mit 5 mm Durchmesser auf einer Fläche von 20 cm x 20 cm mit Simulation von punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung.
- 5x „Undichte Ringfuge“: Ringfuge mit jeweils 4 Bohrlöchern von 6 mm Durchmesser.

Anbieter	**Hobas Rohre GmbH**	**PCI Augsburg GmbH**	**Schacht + Trumme Sielregulierungen W. Schwarz GmbH**	**Sika Deutschland GmbH**	**Aarsleff Rohrsanierung GmbH**	**PSL Handels GmbH**	**Hermes Technologie GmbH & Co. KG**
System	GfK – Innenschacht	Nanocret R4	PE-HD – Segmentauskleidung	Kanal-Reprofiliermörtel	GfK – Rückverankert	Oldodur WS 56	Ergelit KS 1
eingebaut durch	Aarsleff Rohrsanierung GmbH[5]	Aarsleff Rohrsanierung GmbH[6]	Schacht + Trumme Sielregulierungen W. Schwarz GmbH	Peter Presch-Kunststoffverarbeitung GmbH	Aarsleff Rohrsanierung GmbH	Schulz Bau GmbH	DiTom Kanaltechnik GmbH
IKT - Prüfurteil*	**GUT (1,6)**	**GUT (1,7)**	**GUT (2,1)**	**GUT (2,1)**	**GUT (2,2)**	**BEFRIEDIGEND (2,6)**	**BEFRIEDIGEND (2,7)**
Systemprüfungen (85 %)	**sehr gut (1,2)**	**sehr gut (1,3)**	**gut (2,0)**	**sehr gut (1,5)**	**gut (2,1)**	**gut (2,3)**	**gut (2,5)**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %)	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,2**
• Kurzzeit-GW-Belastung, 17,5 d, schrittweise bis 5 m (20 %)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
• Langzeit-GW-Belastung, 67 d, konstant bei 5 m (20 %)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2
Tragwirkung (20 %)	**1,0**	**1,0**	**5,0**	**1,0**	**5,0**	**1,0**	**5,0**
Robustheit[1] (20 %) ggü. punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung	**1,0**	**1,3**	**1,0**	**2,0**	**1,0**	**6,0**	**2,0**
Abnahme-Eindruck[2] (15 %)	**1,2**	**1,4**	**1,1**	**1,9**	**1,7**	**1,8**	**3,3**
Schutzwirkung[3] (5 %)	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**2,0**
Qualitätssicherung[4] (15 %)	**befriedigend (3,5)**	**ausreichend (4,0)**	**gut (2,5)**	**mangelhaft (5,5)**	**befriedigend (3,0)**	**ausreichend (4,5)**	**ausreichend (4,0)**
Verfahrensbeschreibung (20 %): Verfahrens-handbuch (10 %), Technische Merkblätter (10 %)	+ +	+ +	+ +	- +	+ +	+ +	+ +
Schulungen (20 %): Schulungen des Sanierers (10 %), Schulungsangebote des Herstellers (10 %)	- -	- -	+ -	- -	+ -	+ -	- -
Prüfzeugnisse (20 %)	o	-	-	-	o	-	+
Fremdüberwachung (20 %)	+	+	+	-	+	-	-
Besondere Auffälligkeiten (20 %)	in situ: Anmischen des Vergussmörtels mit Abwasser[5] (-)	in situ: Mörtelmischung nach Augenmaß[6] (-)	keine Auffälligkeiten (+)	in situ: kein Angebot (-)	in situ: Sanierung abgelehnt (-)	in situ: Reprofilierungsmörtel mit Heißluftgebläse und Föhn getrocknet (-)	Systemprüfungen und in situ: Mörtelmischung nach Augenmaß (-)
Zusatzinformationen (nicht in Note eingeflossen):							
Statisches System MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %)[8]	Selbsttragend nach Sanierung > 150 %	Haftverbund nach Sanierung > 150 %	Selbsttragend nach Sanierung > 150 %	Haftverbund nach Sanierung > 150 %	Tragelemente nach Sani. kein Beitrag zur Steifigkeit	Haftverbund nach Sanierung 100 - 150 %	Haftverbund nach Sanierung > 150 %
Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung	0 von 10 Leiter-Verbindungen	0 von 18 Steigeisen	0 von 32 Steigbügel-Einbindestellen	2 von 18 Steigeisen	17 von 18 Steigeisen	0 von 18 Steigeisen	1 von 18 Steigeisen
Untergrundvorbereitung: Ausführung und Zeitbedarf (ca.)	keine Untergrundvorbereitung	händisches HD-Strahlen mit 400 bar, 1 Std.	keine Untergrundvorbereitung	händisches Feststoffstrahlen mit 8 bar, 1 Std.	keine Untergrundvorbereitung	händisches HD-Strahlen mit 310 bar, 1 Std.	maschinelles HD-Strahlen mit Granulat mit 385 bar, 1 Std.
Sanierung: Ausführung und Zeitbedarf (ca.)	händisch, segmentweise, 6 Std.	handgeführte Kelle, 5 Std.	händisch, segmentweise, 9 Std.	handgeführte Kelle, 8 Std.	Händisch, 15 Std.	handgeführte Sprühpistole, 1 Std.	handgeführte Kelle, 3 Std.
Summe Arbeitszeit (ca.) / Tage vor Ort	12 Std. / 2 Tage	10 Std. / 2 Tage	15 Std. / 3 Tage	14 Std. / 2 Tage	27 Std. / 2 Tage	5 Std. / 2 Tage	12 Std. / 2 Tage
Füllstandsprüfung nach Sanierung	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden	bestanden
Kosten ohne MwSt.	8.950 EUR	2.870 EUR	6.250 EUR	5.270 EUR	6.410 EUR	7.350 EUR	2.820 EUR

* Notenberechnung auf Basis ungerundeter Werte
** Systemversagen[7] ab dem 8. Tag Kurzzeit-Grundwasser-Belastung: Es bildeten sich zwei riesige Blasen, die einen Schachteinstieg verhinderten. Inspektion, Prüfung und Bewertung abgebrochen.

1 Robustheit gegenüber punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung: Simulation einer unzureichenden Vorbehandlung, wie sie in der Praxis vorkommen kann.
2 Eindruck bei Bauabnahme: Schachteinstieg und Video-Bewertung durch Mitglieder des Lenkungskreises.
3 Schutzwirkung gegenüber aggressiven Umgebungsbedingungen: Gilt dann als nachgewiesen, wenn Dokumente vorgelegt werden, wie z.B. DIBt-Zulassung. Notenvergabe nach pH-Klasse und ggf. bestandener Stichprobenuntersuchung.
4 Bewertung: „+“=nachgewiesen; „-“= nicht nachgewiesen; „o“=teilweise nachgewiesen.
5 Die In-situ-Maßnahme wurde durch die Fa. Sanierungstechnik Dommel GmbH durchgeführt, da die Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH die Sanierungsdurchführung ablehnte.
6 Die In-situ-Maßnahme wurde durch die Fa. Schulz Bau GmbH durchgeführt, da die Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH die Sanierungsdurchführung ablehnte.
7 Unter Systemversagen wird verstanden, dass sofortiger Sanierungsbedarf besteht, z. B. weil sicherer Einstieg in den Schacht nicht mehr möglich ist und/ oder die hydraulischen Eigenschaften des Schachtes stark beeinträchtigt sind.
8 Hinweise zur Mittragwirkung der Systeme: Hierbei wird nach der Sanierung die Zunahme der Gesamtsteifigkeit im Vergleich zur Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes mittels MAC-System (http://www.ikt.de/pruefstelle/standsicherheit-von-grossprofilen) gemessen.

Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr Gut = 1,0 - 1,5. Gut = 1,6 - 2,5. Befriedigend = 2,6 - 3,5. Ausreichend = 3,6 - 4,5. Mangelhaft = 4,6 - 5,5. Ungenügend = 5,6 - 6,0

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

IKT - Warentest „Schachtsanierung“

Aufgabe: Sanierung eines ca. 5 m hohen Betonschachtes vor Grundwasseranstieg (GW-Belastung nach Sanierung bis 5 m) mit folgenden Schadstellen:

- 8x „Einzelschaden“: Punktuelle Schadstelle als Bohrloch mit 10 mm Durchmesser.
- 4x „Flächiger Schaden“: 9 Bohrlöcher mit 5 mm Durchmesser auf einer Fläche von 20 cm x 20 cm mit Simulation von punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung.
- 5x „Undichte Ringfuge“: Ringfuge mit jeweils 4 Bohrlöchern von 6 mm Durchmesser.

Anbieter	**Source One Environmental UK (S1E)**	**Remmers Baustofftechnik GmbH**	**SEKISUI SPR Germany GmbH**	**Remmers Baustofftechnik GmbH**	**MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG**	**FSB Bautechnik GmbH**
System	Ultracoat	Betofix R4 SR	GfK – Adhäsiv	Silicate R	Ombran MHP	Spectrashield
eingebaut durch	Source One Environmental UK (S1E)	SMG Bautenschutztechnik für Hoch- und Tiefbau GmbH	KMG Pipe Technologies GmbH	SMG Bautenschutztechnik für Hoch- und Tiefbau GmbH	Heikaus KS Kanalsanierungen GmbH	BSG Beschichtungs GmbH
IKT - Prüfurteil*	**BEFRIEDIGEND (2,8)**	**BEFRIEDIGEND (2,9)**	**BEFRIEDIGEND (3,5)**	**BEFRIEDIGEND (3,5)**	**AUSREICHEND (3,6)**	**NICHT BEWERTBAR** wegen Systemversagen**
Systemprüfungen (85 %)	**gut (2,5)**	**befriedigend (2,8)**	**befriedigend (3,0)**	**befriedigend (3,6)**	**ausreichend (4,0)**	**Nicht bewertbar**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %)	**3,8**	**1,8**	**4,5**	**4,5**	**3,1**	**Nicht bewertbar**
• Kurzzeit-GW-Belastung, 17,5 d, schrittweise bis 5 m (20 %)	3,8	1,7	4,5	4,5	2,6	Nicht bewertbar
• Langzeit-GW-Belastung, 67 d, konstant bei 5 m (20 %)	3,8	1,9	4,5	4,5	3,3	Nicht bewertbar
Tragwirkung (20 %)	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**5,0**	**5,0**
Robustheit[1] (20 %) ggü. punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung	**1,0**	**6,0**	**1,0**	**6,0**	**6,0**	**6,0[7]**
Abnahme-Eindruck[2] (15 %)	**2,2**	**2,5**	**3,7**	**2,6**	**3,2**	**Nicht bewertbar**
Schutzwirkung[3] (5 %)	**5,0**	**5,0**	**5,0**	**1,0**	**2,0**	**1,0**
Qualitätssicherung[4] (15 %)	**ausreichend (4,5)**	**befriedigend (3,5)**	**ungenügend (6,0)**	**befriedigend (3,0)**	**sehr gut (1,0)**	**gut (2,5)**
Verfahrensbeschreibung (20 %): Verfahrens-handbuch (10 %), Technische Merkblätter (10 %)	- +	- +	- -	- +	+ +	+ +
Schulungen (20 %): Schulungen des Sanierers (10 %), Schulungsangebote des Herstellers (10 %)	- -	- -	- -	+ -	+ +	+ -
Prüfzeugnisse (20 %)	+	-	-	-	+	+
Fremdüberwachung (20 %)	-	+	-	+	+	-
Besondere Auffälligkeiten (20 %)	in situ: Reprofilierungsmörtel mit Heißluftgebläse getrocknet (-)	keine Auffälligkeiten (+)	Qualitätssicherung: keine Reaktion auf An- und Rückfragen (-)	keine Auffälligkeiten (+)	keine Auffälligkeiten (+)	keine Auffälligkeiten (+)
Zusatzinformationen (nicht Teil der Benotung):						
Statisches System MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %)[8]	Haftverbund nach Sanierung 100 - 150 %	Haftverbund nach Sanierung > 150 %	Haftverbund nach Sanierung 100 - 150 %	Haftverbund nach Sanierung > 150 %	Haftverbund nach Sanierung > 150 %	Haftverbund nach Sanierung 100 - 150 %
Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung	1 von 18 Steigeisen	3 von 18 Steigeisen	2 von 18 Steigeisen	0 von 18 Steigeisen	1 von 18 Steigeisen	nicht bewertbar
Untergrundvorbereitung: Ausführung und Zeitbedarf (ca.)	händisches HD-Strahlen mit 250 bar, 1 Std.	händisches HD-Strahlen mit Granulat (Druck nicht bekannt), 1 Std.	keine Untergrundvorbereitung	maschinelles HD-Strahlen mit Granulat (Druck nicht bekannt), 2 Std.	maschinelles HD-Strahlen mit Granulat mit 500 bar, 1 Std	händisches HD-Strahlen mit 500 bar, 1 Std.
Sanierung: Ausführung und Zeitbedarf (ca.)	handgeführte Sprühpistole, 1 Std.	handgeführte Kelle, 2 Std.	händisch (mattenweise), 15 Std.	handgeführte Kelle, 2 Std.	handgeführte Kelle, 4 Std.	handgeführte Sprühpistole, 2 Std.
Summe Arbeitszeit (ca.) / Tage vor Ort	10 Std. / 3 Tage	7 Std. / 2 Tage	20 Std. / 2 Tage	7 Std. / 2 Tage	10 Std. / 2 Tage	9 Std. / 1 Tag
Füllstandsprüfung nach Sanierung	bestanden	bestanden	nicht bestanden	nicht bestanden	bestanden	bestanden
Kosten ohne MwSt.	5.040 EUR	1.940 EUR	3.770 EUR	2.240 EUR	5.500 EUR	3.870 EUR

* Notenberechnung auf Basis ungerundeter Werte
** Systemversagen[7] ab dem 8. Tag Kurzzeit-Grundwasser-Belastung: Es bildeten sich zwei riesige Blasen, die einen Schachteinstieg verhinderten. Inspektion, Prüfung und Bewertung abgebrochen.

1 Robustheit gegenüber punktuellen Mängeln bei der Untergrundvorbereitung: Simulation einer unzureichenden Vorbehandlung, wie sie in der Praxis vorkommen kann.
2 Eindruck bei Bauabnahme: Schachteinstieg und Video-Bewertung durch Mitglieder des Lenkungskreises.
3 Schutzwirkung gegenüber aggressiven Umgebungsbedingungen: Gilt dann als nachgewiesen, wenn Dokumente vorgelegt werden, wie z.B. DIBt-Zulassung. Notenvergabe nach pH-Klasse und ggf. bestandener Stichprobenuntersuchung.
4 Bewertung: „+“=nachgewiesen; „-“= nicht nachgewiesen; „o“=teilweise nachgewiesen.
5 Die In-situ-Maßnahme wurde durch die Fa. Sanierungstechnik Dommel GmbH durchgeführt, da die Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH die Sanierungsdurchführung ablehnte.
6 Die In-situ-Maßnahme wurde durch die Fa. Schulz Bau GmbH durchgeführt, da die Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH die Sanierungsdurchführung ablehnte.
7 Unter Systemversagen wird verstanden, dass sofortiger Sanierungsbedarf besteht, z. B. weil sicherer Einstieg in den Schacht nicht mehr möglich ist und/ oder die hydraulischen Eigenschaften des Schachtes stark beeinträchtigt sind.
8 Hinweise zur Mittragwirkung der Systeme: Hierbei wird nach der Sanierung die Zunahme der Gesamtsteifigkeit im Vergleich zur Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes mittels MAC-System (http://www.ikt.de/pruefstelle/standsicherheit-von-grossprofilen) gemessen.

Bewertungsschlüssel der Prüfergebnisse: Sehr Gut = 1,0 - 1,5. Gut = 1,6 - 2,5. Befriedigend = 2,6 - 3,5. Ausreichend = 3,6 - 4,5. Mangelhaft = 4,6 - 5,5. Ungenügend = 5,6 - 6,0

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.6.2 Systemprüfungen

Die Ergebnisse aus den Systemprüfungen gehen mit 85 % in das jeweilige Prüfurteil ein und wurden mit Noten zwischen „sehr gut (1,0)“ und „ungenügend (6,0)“ bewertet. In diesen Bewertungsschwerpunkt flossen die fünf Kriterien „Fremdwasser-Dichtheit“ (40 %), „Tragwirkung“ (20 %), „Robustheit“ (20 %), „Abnahme-Eindruck“ (15 %) und “Schutzwirkung“ (5 %) ein (vgl. Abschnitt 9.5.2). Die Bewertungen der 13 getesteten Systeme hinsichtlich der o.g. Kriterien sowie die daraus hervorgehenden Gesamtnoten für die Systemprüfungen sind in der nachfolgenden Tabelle 160 dargestellt.

Tabelle 160 Benotung der Systemprüfungen „Fremdwasser-Dichtheit“, „Tragwirkung“, „Robustheit“, „Abnahme-Eindruck“ und „Schutzwirkung“

System	Note Fremd-wasser-Dichtheit (40 %)[1]	Note Trag-wirkung (20 %)[2]	Note Robustheit (20 %)[3]	Note Abnahme-Eindruck (15 %)[4]	Note Schutz-wirkung (5 %)[5]	Note System-prüfung[6]
Betofix R4 SR	1,8	1,0	6,0	2,5	5,0	**2,8**
Ergelit KS1	1,2	5,0	2,0	3,3	2,0	**2,5**
GfK–Adhäsiv	4,5	1,0	1,0	3,7	5,0	**3,0**
GfK-Innen-schacht	1,0	1,0	1,0	1,2	5,0	**1,2**
GfK–Rückver-ankert	1,0	5,0	1,0	1,7	5,0	**2,1**
Kanal-Reprofi-liermörtel	1,0	1,0	2,0	1,9	5,0	**1,5**
Nanocret R4	1,0	1,0	1,3	1,4	5,0	**1,3**
Oldodur WS 56	1,0	1,0	6,0	1,8	5,0	**2,3**
Ombran MHP	3,1	5,0	6,0	3,2	2,0	**4,0**
PE-HD–Seg-mente	1,0	5,0	1,0	1,1	5,0	**2,0**
Silicate R	4,5	1,0	6,0	2,6	1,0	**3,6**
Spectrashield[7]	n.b.	5,0	6,0	n.b.	1,0	**n.b.**
Ultracoat	3,8	1,0	1,0	2,2	5,0	**2,5**

Notenschlüssel: sehr gut = 1,0-1,5 / gut = 1,6-2,5 / befriedigend = 2,6-3,5 / ausreichend = 3,6-4,5 / mangelhaft = 4,6-5,5 und ungenügend = 5,6-6,0 / n.b. = nicht bewertbar

[1] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 161, Tabelle 162 und Tabelle 163 dargestellten Ergebnissen

[2] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 164, Tabelle 165, Tabelle 166 und Tabelle 167 dargestellten Ergebnissen

[3] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 168und Tabelle 169 dargestellten Ergebnissen

[4] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 170 dargestellten Ergebnissen

[5] Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 171 dargestellten Ergebnissen

[6] Mittelwertberechnung mit ungerundeten Werten

[7] Das System konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen (vgl. Kriterium „Robustheit“) nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.6.2.1 Fremdwasser-Dichtheit

Die Fremdwasser-Dichtheit wird anhand der Ergebnisse der Kurz- und Langzeit-Grundwasserbelastung 5 m (vgl. Abschnitt 9.6.2) bewertet. Für die Außenwasserdruckbelastung wurden entsprechend dem Bewertungsschema in Tabelle 150 für jedes Schadensbild jeweils 0 Kritikpunkte vergeben, wenn keine Auffälligkeit (Farbbezeichnung: „Grün“) vorlag. Für eine erkennbare Auffälligkeit „Feuchtefleck ≤ 25 cm²“ (Farbbezeichnung: „Gelb-Grün“), „Feuchtefleck > 25 cm²“ (Farbbezeichnung: „Gelb“) und „Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm“ (Farbbezeichnung: Gelb-Rot) wurden 0,25, 1,0 bzw. 2,0 Kritikpunkte vergeben. Infiltrationen (Farbbezeichnung: „Rot“) wurden mit 4,0 Punkten bewertet.

Demzufolge wird ein System mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn alle sanierten Schadensbilder keine Auffälligkeit aufwiesen (0 Kritikpunkte). Ab fünf Kritikpunkten wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Tabelle 161 zeigt die Bewertung der Fremdwasser-Dichtheit unter Kurzzeit- und Langzeit-Grundwasserbelastungen (5 m).

Tabelle 161 Bewertung der Systemprüfung „Fremdwasser-Dichtheit“

System	Note Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %)	Note Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %)	Note Fremdwasser-Dichtheit (100 %)
Betofix R4 SR	1,7	1,9	**1,8**
Ergelit KS1	1,2	1,2	**1,2**
GfK–Adhäsiv	4,5	4,5	**4,5**
GfK-Innenschacht	1,0	1,0	**1,0**
GfK–Rückverankert	1,0	1,0	**1,0**
Kanal-Reprofiliermörtel	1,0	1,0	**1,0**
Nanocret R4	1,0	1,0	**1,0**
Oldodur WS 56	1,0	1,0	**1,0**
Ombran MHP	2,6	3,3	**3,1**
PE-HD–Segmente	1,0	1,0	**1,0**
Silicate R	4,5	4,5	**4,5**
Spectrashield[1]	n.b.	n.b.	**n.b.**
Ultracoat	3,8	3,8	**3,8**

Die Bewertung basiert auf den detailliert in Tabelle 161, Tabelle 162 und Tabelle 163 dargestellten Ergebnissen.

[1] Das System konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen (vgl. Kriterium „Robustheit“) nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Notenvergabe nach Punkten: keine Auffälligkeit – 0/ Grün; Feuchtefleck ≤ 25 cm² – 0,25/ Gelb-Rot; Feuchtefleck > 25 cm² – 1,0/ Gelb; Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm – 2,0/ Gelb; Infiltration – 4,0/ Rot

0 Punkte = 1,0; 1 Punkt = 2,0; 2 Punkte = 3,0; 3 Punkte = 4,0; 4 Punkte = 5,0; ab 5 Punkte = 6,0; n.b. = nicht bewertbar

Zwischennoten wurden interpoliert

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Die Ergebnisse zu dem Kriterium „Fremdwasser-Dichtheit“ (Grundwasserbelastung Kurz- und Langzeit 5 m) sind in Tabelle 162 und Tabelle 163 zusammengefasst.

Tabelle 162 Versuchsergebnisse bei Wasserstand 5 m (Kurzzeit)

Schaden	Druck (mWS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Einzelschäden	1,25													
	2,75													
	3,25													
	4,25													
Undichte Ringfuge	1,50													
	2,50													
	3,00													
	3,50													
	4,00													

Legende:

1	GfK-Innenschacht
2	Spectrashield
3	GfK–Adhäsiv
4	Ombran MHP
5	Betofix R4 SR
6	Nanocret R4
7	Ergelit KS 1
8	Silicate R
9	Kanal-Reprofiliermörtel
10	GfK–Rückverankert
11	Oldodur WS 56
12	PE-HD–Segmente
13	Ultracoat

Auffälligkeiten:

Keine | Feuchtefleck ≤ 25 cm² | Feuchtefleck > 25 cm² | Fließfahne ≥ 40 cm | Infiltration | Nicht bewertbar

Tabelle 163 Versuchsergebnisse bei Wasserstand 5 m (Langzeit, 2 Monate)

Schaden	Druck (mWS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Einzelschäden	1,25													
	2,75													
	3,25													
	4,25													
Undichte Ringfuge	1,50													
	2,50													
	3,00													
	3,50													
	4,00													

Legende:

1	GfK-Innenschacht
2	Spectrashield
3	GfK–Adhäsiv
4	Ombran MHP
5	Betofix R4 SR
6	Nanocret R4
7	Ergelit KS 1
8	Silicate R
9	Kanal-Reprofiliermörtel
10	GfK–Rückverankert
11	Oldodur WS 56
12	PE-HD–Segmente
13	Ultracoat

Auffälligkeiten:

Keine | Feuchtefleck ≤ 25 cm² | Feuchtefleck > 25 cm² | Fließfahne ≥ 40 cm | Infiltration | Nicht bewertbar

Im Folgenden werden die maßgeblichen Ergebnisse im Kriterium „Fremdwasser-Dichtheit“ zusammenfassend dargestellt:

Wasserstand 5 m (Kurzzeit)

Beim Schadensbild „**Einzelschaden**“ (vgl. Tabelle 162) zeigten sich für die getesteten Sanierungssysteme während des Beobachtungszeitraums „Kurzzeit-GW-Belastung“ keine Auffälligkeiten. Dies bedeutet, dass alle bewertbaren 96 Schadstellen bei den 12 Systemen dicht waren. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Das Schadensbild „**Undichte Ringfuge**“ (vgl. Tabelle 162) zeigte bei sechs von 12 Sanierungssystemen Auffälligkeiten bei 14 von 60 Schadstellen. Dabei trat bei dem System „Ergelit KS1“ ein Feuchtefleck ≤ 25 cm² auf. Das System „Betofix R4 SR“ zeigte eine Auffälligkeit in Form eines Feuchteflecks > 25 cm² auf. „Ombran MHP“ wies insgesamt drei Auffälligkeiten auf (1x Feuchtefleck ≤ 25 cm² und 2x Feuchteflecken > 25 cm²). Das System „Ultracoat“ zeigte eine Infiltration. Drei Feuchteflecken > 25 cm² und ein Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm waren bei Silicate R erkennbar. Bei dem System „GfK-Adhäsiv“ wurden vier Auffälligkeiten festgestellt. Die Auffälligkeiten waren zwei Feuchteflecken (1x ≤ 25 cm² und 1x > 25 cm²), ein Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm und eine Infiltration. Alle anderen Systeme (sechs) wiesen keine Auffälligkeiten auf. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Wasserstand 5 m (Langzeit, 2 Monate)

Für den 2-monatigen Beobachtungszeitraum waren beim Schadensbild „**Einzelschaden**“ (vgl. Tabelle 163) keine Zustandsveränderungen im Vergleich zur „Kurzzeit-GW-Belastung erkennbar. Somit waren nach Abschluss des Prüfprogramms bzw. Beobachtungszeitraums alle bewertbaren 96 Schadstellen bei den 12 Systemen dicht. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Die Anzahl der Auffälligkeiten bei dem Schadensbild „**Undichte Ringfuge**“ stieg von 14 auf 17 während des Beobachtungszeitraums „Langzeit-GW-Belastung“ im Vergleich zur „Kurzzeit-GW-Belastung“. Die zusätzlichen Auffälligkeiten sind bei drei Systemen aufgetreten. Bei den Systemen „Ombran MHP“ und „Betofix R4 SR“ kam jeweils ein Feuchteflecken ≤ 25 cm² hinzu. Das System „Silicate R“ zeigte zusätzlich einen Feuchtefleck > 25 cm². Darüber hinaus kam es bei zwei Systemen zu drei Zustandsveränderungen an Schadstellen. Davon traten bei dem System „GfK-Adhäsiv“ zwei Zustandsveränderungen von Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm zu Infiltration und von Infiltration zu Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm auf. Zudem war bei dem System „Ombran MHP“ eine Zustandsveränderung von Feuchtefleck ≤ 25 cm² zu Feuchtefleck > 25 cm² erkennbar. Alle anderen Systeme (acht) zeigten keine Auffälligkeiten bzw. Zustandsveränderungen an den Schadstellen. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Fazit „Fremdwasser-Dichtheit“

Folgende Erkenntnisse lassen sich aus den Außenwasserdruckbelastungen ableiten:

- Das Schadensbild **„Einzelschaden“** zeigte nach dem Beobachtungszeitraum (Kurzzeit- und Langzeit-GW-Belastung) keine Auffälligkeiten. So waren alle 96 bewertbaren Schadstellen dicht (100 %). Entsprechend stellte dieses Schadensbild offensichtlich für die getesteten Sanierungssysteme kein Problem dar. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von anderweitigen provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Die Auffälligkeiten bei dem Schadensbild **„Undichte Ringfuge“** (hier 14 von 60 Sanierungen, ca. 23 %) zeigten sich bereits in der Kurzzeit-Grundwassersimulation 5 m. Die Langzeit-Grundwassersimulation 5 m führte lediglich bei drei

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Schadstellen (5 %) zu einer Zustandsveränderung. Drei weitere Schadstellen (5 %) wiesen allerdings neue Auffälligkeiten in Form von Feuchteflecken auf. Entsprechend waren 43 Schadstellen ohne Auffälligkeiten (ca. 72 %). Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

- Sofern eine Schadstelle ansprechend saniert wurde und zu Beginn ohne Auffälligkeiten ist, bleibt diese es i. d. R. auch (139 von 156 Schadstellen, ca. 89 %). 154 Schadstellen (ca. 99 %) zeigten bis zum Versuchsende keine Infiltrationen (Langzeit-Grundwassersimulation 5 m).

9.6.2.2 Tragwirkung

Das Kriterium **„Tragwirkung“** wurde für den Lastfall von 5 m Außenwasserdruck bewertet. Dabei wurden die eingesetzten Systeme mit Blick auf die Wirkungsweise wie folgt unterschieden:

- Fall 1: **Haftverbund** zum Untergrund
- Fall 2: Rückverankerung mit speziellen **Tragelementen bzw. Selbsttragende Auskleidung**

Für **Fall 1 „Haftverbund“** wurden die Auffälligkeiten an den Schadensbildern „Einzelschaden“, „Undichte Ringfuge“ und an der „Übrigen Schachtwand“ betrachtet sowie die mittleren Haftzugfestigkeiten ermittelt. Anschließend wurden die Auffälligkeiten nach dem Bewertungsschema „Tragwirkung“ (vgl. Tabelle 152) benotet. Die Tabelle 164 zeigt die Bewertung für das Kriterium „Tragwirkung“. Die detaillierten Ergebnisse hinsichtlich der Auffälligkeiten sind in Tabelle 165, Tabelle 166 und Tabelle 167 zusammengefasst.

Tabelle 164 Bewertung der Systemprüfung „Tragwirkung“

Kritikpunkte/ Schachtnummer	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13
Mittelwert HZP	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Übermäßige Verformung	n.b.	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hohllagen	n.b.	0	5	0	0	6	0	0	0	0
Zugspannungsüberschreitung	n.b.	0	0	0	0	4	0	0	0	0
Summe Kritikpunkte	≥ 5	0	5	0	0	10	0	0	0	0
Gesamtnote	**5,0**	**1,0**	**5,0**	**1,0**	**1,0**	**5,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**

Systeme			
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel
5	Betofix R4 SR	11	Oldodur WS 56
6	Nanocret R4	13	Ultracoat

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 165 Fall 1 „Haftverbund“ – Bewertung Tragwirkung „Einzelschaden“

Kritikpunkte	Einzelschaden	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13
Mangelhafter Verbund - Hohllagen [Fläche (cmxcm)]	I	Nicht bewertbar	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VI		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VII		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VIII		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Übermäßige Verformung [Fläche (cmxcm)]	I		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VI		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VII		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VIII		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zugspannungs-überschreitung [Fläche (cmxcm); Rissbreite (mm)]	I		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VI		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VII		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	VIII		-	-	-	-	-	-	-	-	-

Systeme			
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel
5	Betofix R4 SR	11	Oldodur WS 56
6	Nanocret R4	13	Ultracoat

Legende Tabelleninhalte:

-	Keine Auffälligkeit

Legende "Einzelschaden":

I	1,25 mWs; 3 Uhr[1]; Ø: 10mm
II	1,25 mWs; 9 Uhr[1]; Ø: 10mm
III	2,75 mWs; 3 Uhr[1]; Ø: 10mm
IV	2,75 mWs; 9 Uhr[1]; Ø: 10mm
V	3,25 mWs; 3 Uhr[1]; Ø: 10mm
VI	3,25 mWs; 9 Uhr[1]; Ø: 10mm
VII	4,25 mWs; 3 Uhr[1]; Ø: 10mm
VIII	4,25 mWs; 9 Uhr[1]; Ø: 10mm

[1]Ausgehend von Steigbügelgang 12 Uhr

Tabelle 166 Fall 1 „Haftverbund“ – Bewertung Tragwirkung „Undichte Ringfuge“

Kritikpunkte	Undichte Ringfuge	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13
Mangelhafter Verbund - Hohllagen [Fläche (cmxcm)]	I	Nicht bewertbar	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Übermäßige Verformung [Fläche (cmxcm)]	I		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	V		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zugspannungs-überschreitung [Fläche (cmxcm); Rissbreite (mm)]	I		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II		-	50x0,01; 0,1	-	-	-	-	-	-	-
	III		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV		-	44x0,01; 0,1	-	-	-	-	-	-	-
	V		-	-	-	-	-	-	-	-	-

Systeme			
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel
5	Betofix R4 SR	11	Oldodur WS 56
6	Nanocret R4	13	Ultracoat

Legende Tabelleninhalte:

-	Keine Auffälligkeit

Legende "Undichte Ringfuge":

I	1,50 mWs[1]; Ø: 6mm
II	2,50 mWs[1]; Ø: 6mm
III	3,00 mWs[1]; Ø: 6mm
IV	3,50 mWs[1]; Ø: 6mm
V	4,00 mWs[1]; Ø: 6mm

[1]Vier Undichtigkeiten je Ringfuge jeweils 1,5,7 und 11 Uhr ausgehend vom Steigbügelgang

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 167 Fall 1 „Haftverbund“ – Bewertung Tragwirkung „Übrige Schachtwand“

Kritikpunkte	Übrige Schachtwand	2	3	4	5	6	7	8	9	11	13
Mangelhafter Verbund - Hohllagen [Fläche (cmxcm)]	3,00 mWs; 3 Uhr[1]	Nicht bewertbar	-	36x23	-	-	-	-	-	-	-
	3,45 mWs; 3 Uhr[1]		-	20x15	-	-	-	-	-	-	-
	4,50 mWs; 2 Uhr[1]		-	45x40	-	-	-	-	-	-	-
	4,50 mWs; 7-11 Uhr[1]		-	40x90	-	-	-	-	-	-	-
	1,85 mWs; 7 Uhr[1]		-	-	-	-	35x17	-	-	-	-
	2,30 mWs; 1 Uhr[1]		-	-	-	-	18x15	-	-	-	-
	2,30 mWs; 2 Uhr[1]		-	-	-	-	20x20	-	-	-	-
	3,00 mWs; 1-4 Uhr[1]		-	-	-	-	72x45	-	-	-	-
	3,00 mWs; 7-9 Uhr[1]		-	-	-	-	53x40	-	-	-	-
	3,00 mWs; 11 Uhr[1]		-	-	-	-	15x14	-	-	-	-
Anteil Hohlstellenfläche zu Gesamtfläche [%]			-	ca. 4	-	-	ca. 4	-	-	-	-
Übermäßige Verformung [Fläche (cmxcm)]	Keine Auffälligkeiten		-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zugspannungs-überschreitung [Fläche (cmxcm); Rissbreite (mm)]	3,00 mWs; 3 Uhr[1]		-	20x1; 0,1	-	-	-	-	-	-	-
	1,85 mWs; 7 Uhr[1]		-		-	-	35x17; 0,1	-	-	-	-
	2,35 mWs; 6-9 Uhr[1]		-	-	-	-	65x40; 0,1	-	-	-	-
	2,00 mWs; 6 Uhr[1]		-		-	-	60x30; 0,1	-	-	-	-
	1,50 mWs; 8 Uhr[1]		-	-	-	-	17x25; 0,1	-	-	-	-

[1] Ausgehend von Steigbügelgang 12 Uhr

Systeme			
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel
5	Betofix R4 SR	11	Oldodur WS 56
6	Nanocret R4	13	Ultracoat

Legende Tabelleninhalte:	
-	Keine Auffälligkeit

Einzelschaden

Bei dem Schadenbild „Einzelschaden“ wurden bei 9 von 10 untersuchten Sanierungssystemen keine Auffälligkeiten festgestellt. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Undichte Ringfuge

Bei dem Schadenbild „Undichte Ringfuge“ wurden bei 8 von 10 untersuchten Sanierungssystemen keine Auffälligkeiten festgestellt. Das System „Ombran MHP“ wies zwei Zugspannungsüberschreitungen auf. Allerdings wurden für diese Auffälligkeiten gemäß dem Bewertungsschema für das Kriterium „Tragwirkung“ (vgl. Tabelle 151) keine Kritikpunkte vergeben, da die Zugspannungsüberschreitungen jeweils flächig < 400 cm² waren. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Übrige Schachtwand

Bei der „Übrigen Schachtwand“ wurden bei 7 von 10 untersuchten Sanierungssystemen keine Auffälligkeiten festgestellt. Die Mörtel-Systeme „Ombran MHP“ und „Ergelit KS1“ zeigten massive Hohlstellen (4 bzw. 6 Bereiche). Insgesamt waren jeweils ca. 4 % der gesamten Beschichtungsfläche hohllagig. Darüber hinaus wiesen die Mörtel-Systeme „Ombran MHP“ und „Ergelit KS1“ Zugspannungsüberschreitungen auf (1 Riss bzw. 4 Risse). Allerdings wurden bei dem System „Ombran MHP“ für diese Auffälligkeit gemäß dem Bewertungsschema für das Kriterium „Tragwirkung“ (vgl. Tabelle 151) keine Kritikpunkte vergeben, da die Zugspannungsüberschreitung flächig < 400 cm² war. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Haftzugprüfungen

Bei 12 von 13 Systemen lagen die mittleren Haftzugfestigkeiten jeweils über 0,5 N/mm², sodass keine Kritikpunkte vergeben wurden. Lediglich bei dem System „Spectrashield“ wurde eine mittlere Haftzugfestigkeit ≤ 0,3 N/mm² ermittelt.

Fazit „Tragwirkung“ für Fall 1 „Haftverbund“

Folgende Erkenntnisse wurden durch die Untersuchungen zum Kriterium „Tragwirkung“ für Fall 1 „Haftverbund“ erzielt:

- Bei dem Schadensbild **„Einzelschaden“** zeigten sich bei 216 von 240 Bewertungsfällen (ca. 90 %) keine Auffälligkeiten. Offensichtlich stellte dieses Schadensbild für die getesteten Sanierungssysteme bis auf eine Ausnahme kein wesentliches Problem dar. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Bei dem Schadensbild **„Undichte Ringfuge“** waren 133 von 150 Bewertungsfälle (ca. 89 %) ohne Auffälligkeit. Das System „Ombran MHP“ wies zwei Zugspannungsüberschreitungen auf, die allerdings aufgrund der geringen Ausdehnung nicht mit Kritikpunkten versehen wurden. Offensichtlich stellte dieses Schadensbild für die getesteten Sanierungssysteme bis auf eine Ausnahme kein wesentliches Problem dar. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Im Bereich der **„Übrigen Schachtwand“** zeigten 7 von 10 Systemen (70 %) keine Auffälligkeiten. Die Mörtel-Systeme „Ombran MHP“ und „Ergelit KS 1“ wiesen Hohllagen auf. Zudem waren bei dem System „Ergelit KS 1“ Zugspannungsüberschreitungen (Risse) erkennbar, die mit Kritikpunkten gewertet wurden. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Lediglich das System „Spectrashield“ zeigte Auffälligkeiten im Hinblick auf die mittlere Haftzugfestigkeit. Die weiteren 12 Systeme erfüllten das Kriterium.
- Für das Kriterium **„Tragwirkung“** erhalten 7 von 10 Anbietern die Note 1,0. Drei Systeme („Ombran MHP“, „Ergelit KS 1“ und „Spectrashield“) werden jeweils mit 5,0 benotet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Bei **Fall 2 „Tragelemente/ Selbsttragend“** handelte es sich entweder um eine Rückverankerung mit speziellen Tragelementen oder um selbsttragende Auskleidungen. Entsprechend wird hier auf einen flächigen Haftverbund zum Untergrund planmäßig verzichtet. Eine im Versuch beobachtete Eigentragwirkung gilt dann als Systemverhalten, wenn sie auch durch einen entsprechenden statischen Nachweis belegt werden kann. Kritikpunkte werden vergeben, wenn die tatsächliche Ausführungsqualität nicht den Annahmen des statischen Nachweises entspricht, z.B. hinsichtlich der ausgeführten Geometrie und Materialeigenschaften.

Im Folgenden sind die Ergebnisse für den Fall 2 „Tragelemente/ Selbsttragend“ dargestellt:

- Für das System „GfK-Innenschacht“ wurde durch den Anbieter ein statischer Nachweis geliefert, der die im Versuch beobachtete Eigentragwirkung belegt. Die stichprobenhafte Untersuchung der Einbauqualität zeigte keine als Mangel anzusehenden Abweichungen von den Annahmen in der Statik. Entsprechend erhält das System „GfK-Innenschacht“ die Note 1,0 für das Kriterium „Tragwirkung“.
- Für die anderen beiden Systeme „GfK-Rückverankert“ und „PE-HD–Segmente“ wurden von den Anbietern keine statischen Nachweise eingereicht. Demzufolge erhalten beide Systeme die Note 5,0 für das Kriterium „Tragwirkung“.

Fazit „Tragwirkung“ für Fall 2 „Tragelemente/ Selbsttragend“

Folgende Erkenntnisse wurden durch die Untersuchungen zum Kriterium „Tragwirkung“ für Fall 2 „Tragelemente/ Selbsttragend“ erzielt:

- Lediglich für eines der drei Systeme wurde ein statischer Nachweis eingereicht. Die Tragsicherheit der Systeme „GfK-Rückverankert“ und „PE-HD–Segmente“ bleibt unbekannt.

9.6.2.3 Robustheit

Das Kriterium **„Robustheit“** (Lastfall 5 m Außenwasserdruck – Beobachtungszeitraum 2 Monate) bezieht sich ausschließlich auf das Schadensbild „Flächiger Schaden“ mit 9 Bohrlöchern auf einer Fläche von 20 x 20 cm. Hierbei wurde ein Trennmittel unmittelbar vor der Sanierung auf die hierfür vorgesehenen Teilflächen aufgetragen (provozierte Schwachstelle), um Hinweise zur „Robustheit“ des Sanierungssystems gegenüber unplanmäßigen Verbundschwächen zu erfassen, wie sie in der Praxis bei fehlender Untergrundvorbehandlung auftreten können.

Für die Bewertung mit Blick auf das Kriterium „Robustheit“ werden die verschiedenen Sanierungssysteme in Abhängigkeit ihres Tragverhaltens unterschieden:

- Fall 1: Haftverbund zum Untergrund,
- Fall 2: Rückverankerung mit speziellen Tragelementen und
- Fall 3: Rohr-in-Rohr-System.

Es werden Kritikpunkte hinsichtlich „Mangelhafter Verbund im Umfeld“ (nicht für Fall 3), „Übermäßige Verformung“, „Zugspannungsüberschreitung“ und „Infiltration“ vergeben und daraus gemäß Bewertungsschema (vgl. Abschnitt 9.5.2) die Note gebildet.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Ein System wird mit der Note „sehr gut (1,0)“ bewertet, wenn alle sanierten Schadensbilder keine Auffälligkeit aufweisen (0 Kritikpunkte). Ab fünf Kritikpunkten wird die Note 6,0 (ungenügend) vergeben. Die Bewertung des Kriteriums „Robustheit“ für die Systeme ist in Tabelle 168 dargestellt.

Tabelle 168 Bewertung der Systemprüfung „Robustheit“

Kritikpunkte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mangelhafter Verbund im Umfeld	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Übermäßige Verformung	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
Zugspannungsüberschreitung	0	n.b.	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Infiltration	0	n.b.	0	6	4	0,25	1	5	1	0	4	0	0
Summe Kritikpunkte	0	20	0	8	6	0,25	1	5	1	0	8	0	0
Gesamtnote	**1,0**	**6,0**	**1,0**	**6,0**	**6,0**	**1,3**	**2,0**	**6,0**	**2,0**	**1,0**	**6,0**	**1,0**	**1,0**

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Die Detail-Ergebnisse sind in Tabelle 169 zusammengefasst. Hierbei wurden Auffälligkeiten hinsichtlich „Mangelhafter Verbund im Umfeld“ (Hohllagen), „Übermäßige Verformung“ (Blasen/ Beulen), „Zugspannungsüberschreitung“ (Risse) und „Infiltration“ (Undichtheiten/ Wassereindrang) dargestellt.

Tabelle 169 Ergebnisse Robustheit am „Flächigen Schaden“ mit Simulation einer mangelhaften Untergrundvorbereitung (Trennmittel)

Kritikpunkte	Flächiger Schaden	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mangelhafter Verbund im Umfeld [Fläche (cmxcm)]	I	-	> 20x20	-	-	-	-	-	12x3	-	-	-	-	-
	II	-	> 20x20	-	10x8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III	-	> 20x20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV	-	> 20x20	-	4x0	-	-	-	-	-	-	30x30	-	-
Übermäßige Verformung [Fläche (cmxcm)]	I	-	> 20x20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	II	-	> 20x20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	III	-	> 20x20	-	-	-	-	-	-	-	-	10x10	-	-
	IV	-	> 20x20	-	-	-	-	-	-	-	-	50x50	-	-
Zugspannungs-überschreitung [Fläche (cmxcm); Rissbreite (mm)]	I	-	n. b.	-	20x14; 0,3	17x12; 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	II	-	n. b.	-	25x30; 0,1	25x18; 0,1	10x0,01; 0,1	-	-	-	-	-	-	-
	III	-	n. b.	-	5x3; 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	IV	-	n. b.	-	-	60x50; 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Infiltration	I													
	II													
	III													
	IV													

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Legende Tabelleninhalte:

-	Keine Auffälligkeit
n.b.	nicht bewertbar

Legende "Flächiger Schaden":

I	2,00 mWs; 3 Uhr[1]; Trennmittel: 10x10cm
II	2,00 mWs; 9 Uhr[1]; Trennmittel: 10x10cm
III	3,75 mWs; 3 Uhr[1]; Trennmittel: 10x10cm
IV	3,75 mWs; 9 Uhr[1]; Trennmittel: 20x20cm

[1]Ausgehend von Steigbügelgang 12 Uhr

Legende "Infiltartion":

	Keine
	Feuchtefleck ≤ 25 cm²
	Feuchtefleck > 25 cm²
	Feuchtefleck mit Fließfahne ≥ 40 cm
	Infiltration
	Nicht bewertbar

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Mangelhafter Verbund

Das System „Spectrashield“ zeigte aufgrund eines mangelhaften Verbundes im Umfeld des Trennmittelauftrags ein Systemversagen an vier von vier „Flächigen Schäden“. Bei den Systemen „Ombran MHP“ (2x), „Silicate R“ (1x), „Oldodur WS 56“ (1x) wurde ebenfalls ein mangelhafter Verbund im Umfeld festgestellt. An den neun weiteren Sanierungssystemen zeigten sich im Umfeld der Schadstellen keine Auffälligkeiten in Form von Hohlstellen. Die Systeme „GfK-Innenschacht“ und „PE-HD – Segmentauskleidung“ werden regelmäßig ohne Untergrundvorbereitung angeboten (Fall 3: Rohr-in-Rohr-System) Entsprechend wurden hier mit Blick auf eine fehlende Untergrundvorbereitung keine Kritikpunkte vergeben.

Übermäßige Verformung

Die Systeme „Spectrashield“ und „Oldodur WS 56“ zeigten an vier bzw. zwei von vier „Flächigen Schäden“ übermäßige Verformungen in Form von Blasen. Beim System „Spectrashield“ führte dies zu einem großflächigen Systemversagen, sodass ein weiterer Einstieg nicht mehr möglich war. An den elf weiteren Sanierungssystemen wurden keine derartigen Auffälligkeiten an den Schadstellen festgestellt.

Zugspannungsüberschreitung

Bei den Systemen „Ombran MHP“ (3x), „Betofix R4 SR“ (3x) und „Nanocret R4“ (1x) zeigten sich Zugspannungsüberschreitungen in Form von Rissen. Hierbei wurde allerdings bei allen drei Systemen jeweils eine Zugspannungsüberschreitung aufgrund der geringen Ausdehnung nicht mit Kritikpunkten versehen. An neun weiteren Sanierungssystemen wurden keine Auffälligkeiten an den Schadstellen festgestellt. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Infiltration

Bei den Systemen „Ombran MHP“ und „Silicate R“ wurden an vier von vier „Flächigen Schäden“ Auffälligkeiten festgestellt. Die Systemen „Betofix R4 SR“ (3x), „Nanocret R4“ (1x), „Ergelit KS 1“ (1x) und „Kanal-Reprofilierungsmörtel“ (1x) zeigten ebenfalls Auffälligkeiten. Bei dem System „Oldodur WS 56“ konnte eine Auffälligkeit in Form einer Infiltration festgestellt werden. Die fünf weiteren Sanierungssysteme zeigten keine Auffälligkeiten. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Fazit „Robustheit“

- Bei dem Kriterium **„Mangelhafter Verbund im Umfeld“** zeigten sich bei 44 von 52 Schadstellen (ca. 85 %) keine Auffälligkeiten. Zwei Mörtelbeschichtungen zeigten an einer bzw. zwei von vier Schadstellen Auffälligkeiten in Form von Hohllagenvergrößerungen. Zwei Kunststoffbeschichtungen wiesen an fünf von acht Schadstellen Auffälligkeiten auf. An den verbleibenden vier Auskleidungs- und vier Mörtelsystemen sowie der Kunststoffbeschichtung aus Epoxidharz wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.
- Das Kriterium **„Übermäßige Verformung“** zeigte bei 46 von 52 Schadstellen (ca. 89 %) keine Auffälligkeiten. Bei zwei Kunststoffbeschichtungen wurden an sechs von acht Schadstellen Auffälligkeiten in Form von Blasen festgestellt. Die sechs Mörtelbeschichtungen, die vier Auskleidungssysteme und die Kunststoffbeschichtung aus Epoxidharz zeigten keine Auffälligkeiten.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

- Bei dem Kriterium **„Zugspannungsüberschreitung“** waren 41 von 48 bewertbaren Schadstellen (ca. 85 %) ohne Auffälligkeiten. Drei Mörtelbeschichtungen wiesen Auffälligkeiten in Form von Rissen auf. Vier Auskleidungssysteme, drei Mörtelsysteme und zwei Kunststoffbeschichtungen zeigten entsprechend keine Auffälligkeiten. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Hinsichtlich des Kriteriums **„Infiltration“** zeigten sich an 33 von 48 Schadstellen (ca. 69 %) keine Auffälligkeiten. An sechs von sechs Mörtelbeschichtungen wurden Auffälligkeiten in Form von Feuchteflecken und/ oder Fließfahnen festgestellt. Bei einer Kunststoffbeschichtung zeigte sich an einer von vier Schadstellen Auffälligkeiten in Form von infiltrierendem Wasser. An den vier Auskleidungssystemen und der Kunststoffbeschichtung aus Epoxidharz wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Wurde im Umfeld eines „Flächigen Schaden“ ein mangelhafter Verbund festgestellt, so traten i.d.R. auch an diesen Stellen Undichtheiten auf.
- Traten Risse in einer Mörtelbeschichtung auf, zeigten sich in allen Fällen ebenfalls Undichtheiten.
- An den vier Auskleidungssystemen sowie der Kunststoffbeschichtung aus Epoxidharz wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

9.6.2.4 Abnahme-Eindruck

Mit dem Kriterium **„Abnahme-Eindruck“** wird der Eindruck des Gewerkes bei der Bauabnahme bewertet. Die Beurteilung wird zum einen von den am IKT-Warentest beteiligten Netzbetreibern durch einen Schachteinstieg (Bewertungskreis, d. h. eine Gruppe von Netzbetreibern aus dem Lenkungskreis) mit Blick auf Optik, Akustik, Haptik, Geruch und ggf. Dichtheit vorgenommen. Zum anderen findet eine Bewertung der Optik und ggf. Dichtheit anhand von Videodokumentationen mittels IBAK Panoramo SI-Kamera (Lenkungskreis) statt. Für jeden sanierten Abwasserschacht werden Noten zwischen 1,0 (sehr gut) bis 6,0 (ungenügend) vergeben, wobei die Notenvergabe mittels Nachkommastelle zulässig ist (vgl. Abschnitt 9.5.2).

Bei der Bewertung wird zwischen dem Zustand nach Sanierung ohne Grundwasserbelastung, Kurzzeit-Grundwasserbelastung 5 m und Langzeit-Grundwasserbelastung 5 m unterschieden, wobei die Bewertungen zu 10 % (nach Sanierung), 30 % (nach Kurzzeit-GW-Belastung) und 60 % (nach Langzeit-GW-Belastung) gewichtet werden.

Die Tabelle 170 stellt die Bewertungsergebnisse für die Systeme dar, unterteilt nach den Bewertungszeitpunkten „nach Sanierung“ (ohne GW-Belastung) „Kurzzeit-GW-Belastung“, „Langzeit-GW-Belastung“ und die Gesamtnote.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 170 Bewertungsergebnisse „Abnahme-Eindruck“

Nach Sanierung (10 %)														
Kriterium	**Wichtung (%)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Bewertungskreis: Inspektion durch Einstieg														
Optik	40	1,19	1,91	1,87	2,13	2,66	1,89	3,44	3,25	2,13	1,76	2,72	1,46	2,10
Akustik	40	2,50	1,50	2,33	1,50	1,50	1,50	4,00	2,00	2,00	2,25	1,67	1,67	2,17
Haptik	15	1,23	2,00	2,15	1,83	1,94	1,86	1,75	2,60	1,75	1,00	1,87	1,12	2,00
Geruch	5	2,00	1,00	4,00	3,00	2,00	3,00	2,00	4,00	2,00	3,00	1,00	1,00	2,00
Note Bewertungskreis		**1,76**	**1,71**	**2,20**	**1,88**	**2,05**	**1,79**	**3,34**	**2,69**	**2,01**	**1,91**	**2,08**	**1,47**	**2,11**
Lenkungskreis: Inspektion durch Panoramo SI														
Note Optik	100	1,27	1,92	1,70	1,81	2,15	1,93	1,97	2,20	1,61	1,52	1,86	1,37	1,62
Note Lenkungskreis		**1,27**	**1,92**	**1,70**	**1,81**	**2,15**	**1,93**	**1,97**	**2,20**	**1,61**	**1,52**	**1,86**	**1,37**	**1,62**
Note		**1,7**	**1,7**	**2,1**	**1,9**	**2,1**	**1,8**	**3,1**	**2,6**	**2,0**	**1,8**	**2,0**	**1,5**	**2,0**

Kurzzeit (30 %)														
Kriterium	**Wichtung (%)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Bewertungskreis: Inspektion durch Einstieg														
Dichtheit	45	1,00	5,75	5,69	4,63	3,75	1,50	4,56	4,31	2,56	2,50	1,00	1,00	4,50
Optik	20	1,12	2,22	2,59	2,29	2,75	1,67	2,75	2,98	1,96	1,35	2,25	1,30	1,99
Akustik	20	1,13	6,00	1,75	3,58	1,50	1,13	2,25	1,17	1,75	2,50	2,00	1,00	1,71
Haptik	10	1,00	2,02	1,37	1,66	2,09	1,33	1,63	1,57	1,68	1,00	1,00	1,00	1,38
Geruch	5	1,00	2,60	3,58	1,86	1,33	1,33	1,40	1,83	1,43	2,00	1,00	1,00	1,33
Note Bewertungskreis		**1,05**	**4,56**	**3,74**	**3,52**	**2,81**	**1,43**	**3,29**	**3,02**	**2,13**	**2,09**	**1,45**	**1,06**	**2,97**
Lenkungskreis: Inspektion durch Panoramo SI														
Dichtheit	70	1,34	5,80	5,03	3,91	3,72	2,03	4,02	3,08	2,63	1,39	1,57	1,09	2,98
Optik	30	1,27	2,47	2,11	2,69	2,38	2,03	2,19	2,32	1,77	1,52	1,88	1,34	1,72
Note Lenkungskreis		**1,32**	**4,80**	**4,15**	**3,54**	**3,32**	**2,03**	**3,47**	**2,85**	**2,37**	**1,43**	**1,66**	**1,17**	**2,60**
Note		**1,1**	**4,6**	**3,8**	**3,5**	**2,9**	**1,5**	**3,3**	**3,0**	**2,2**	**2,0**	**1,5**	**1,1**	**2,9**

Langzeit (60 %)														
Kriterium	**Wichtung (%)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Bewertungskreis: Inspektion durch Einstieg														
Dichtheit	45	1,00	4,80	5,80	3,80	2,80	1,20	4,20	3,00	2,00	1,60	1,20	1,00	2,00
Optik	20	1,07	1,89	3,02	1,84	2,41	1,52	2,03	2,08	1,49	1,30	1,54	1,29	1,46
Akustik	20	1,00	6,00	1,60	5,00	1,60	1,20	4,00	1,60	1,20	1,25	3,20	1,00	1,60
Haptik	10	1,00	1,15	1,60	1,43	1,68	1,14	1,36	1,22	1,00	1,15	1,23	1,08	1,22
Geruch	5	2,40	2,50	3,00	1,00	1,00	1,40	1,00	1,75	1,25	1,80	1,60	1,25	2,75
Note Bewertungskreis		**1,08**	**3,98**	**3,84**	**3,27**	**2,28**	**1,27**	**3,28**	**2,29**	**1,60**	**1,44**	**1,69**	**1,08**	**1,77**
Lenkungskreis: Inspektion durch Panoramo SI														
Dichtheit	70	1,47	n.b.	5,14	3,89	3,30	1,64	4,04	3,26	2,37	1,59	3,22	1,09	2,81
Optik	30	1,28	n.b.	2,23	2,22	2,36	2,01	2,30	2,47	1,80	1,57	2,12	1,37	1,87
Note Lenkungskreis		**1,41**	**n.b.**	**4,27**	**3,39**	**3,02**	**1,75**	**3,52**	**3,02**	**2,2**	**1,58**	**2,89**	**1,18**	**2,53**
Note		**1,1**	**n.b.**	**3,9**	**3,3**	**2,4**	**1,3**	**3,3**	**2,4**	**1,7**	**1,5**	**1,9**	**1,1**	**1,9**

Gesamtnote (100 %)														
Kriterium	**Wichtung (%)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**
Nach Sanierung	10	**1,7**	**1,7**	**2,1**	**1,9**	**2,1**	**1,8**	**3,1**	**2,6**	**2,0**	**1,8**	**2,0**	**1,5**	**2,0**
Kurzzeit	30	**1,1**	**4,6**	**3,8**	**3,5**	**2,9**	**1,5**	**3,3**	**3,0**	**2,2**	**2,0**	**1,5**	**1,1**	**2,9**
Langzeit	60	**1,1**	**n.b.**	**3,9**	**3,3**	**2,4**	**1,3**	**3,3**	**2,4**	**1,7**	**1,5**	**1,9**	**1,1**	**1,9**
Gesamtnote		**1,2**	**n.b.**	**3,7**	**3,2**	**2,5**	**1,4**	**3,3**	**2,6**	**1,9**	**1,7**	**1,8**	**1,1**	**2,2**

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	**6**	Nanocret R4	**10**	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	**7**	Ergelit KS 1	**11**	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	**8**	Silicate R	**12**	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	**9**	Kanal-Reprofiliermörtel	**13**	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Fazit „Abnahme-Eindruck“

Im Gesamtblick der Ergebnisse lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Die Spanne der Gesamtnoten reicht von „sehr gut (1,1)“ bis „ausreichend (3,7)“. Dabei werden die Noten 3 x „sehr gut“, 5 x „gut, 3 x „befriedigend“ und 1 x „ausreichend“ an die Systeme vergeben (Durchschnitt Gesamtnote 2,2). Demzufolge sind signifikante Notenunterschiede zwischen den einzelnen Systemen vorhanden. Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).
- Im Vergleich der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (nach Sanierung, Kurzzeit und Langzeit) ist erkennbar, dass sich zunächst die Durchschnittsnote von 2,0 auf 2,6 verschlechtert (9 von 13 Systemen) und anschließend sich die Note auf 2,1 verbessert (7 von 13 Systemen). Insgesamt ist auffällig, dass sich die Durchschnittsnote insbesondere beim Kriterium „Dichtheit“ über die Zeit verbessert. Entsprechend hat dieser Umstand einen erheblichen Anteil an der Gesamtnote mit Blick auf den Beobachtungszeitraum von „Kurzzeit“ auf „Langzeit“. Im Wesentlichen findet die „eigenständige Abdichtwirkung“ bei den Mörtelsystemen statt, weil sich die Undichtheiten zugesetzt haben. Allerdings wird die Verbesserung der Dichtheit erst mit Schachteinstieg (Bewertungskreis) sichtbar. Die Auswertungsergebnisse der Videodokumentationen zeigten im Vergleich der Beobachtungszeiträume zwischen „Kurzzeit“ und „Langzeit“ keine wesentlichen Unterschiede.
- Die Auswertungsergebnisse zeigen bei Betrachtung der Durchschnittsnoten, dass die Geruchsbelästigung zunächst deutlich nachlässt (Beobachtungszeitraum zwischen „nach Sanierung“ und „Kurzzeit“). Im weiteren Beobachtungszeitraum zeigt sie nahezu keine Veränderung.
- Bei den weiteren Kriterien „Optik“, „Haptik“ und „Akustik“ sind keine wesentlichen Veränderungen über die unterschiedlichen Beobachtungszeiträume feststellbar.

9.6.2.5 Schutzwirkung

Bei dem Kriterium **„Schutzwirkung“** werden Nachweise für den Einsatz der Materialien bzw. Systeme in Abwasseranlagen mit dem zulässigen pH-Wert-Bereich von den Anbietern angefordert. Der Nachweis ist erbracht, wenn eine DIBt-Zulassung oder erfolgreich abgeschlossene Prüfungen, die in Analogie zur DIBt-Zulassungsprüfung durchgeführt worden sind, vorliegen. Ergänzend wurden Einlagerungsversuche für Mörtel und Kunststoff gegenüber aggressiven bzw. besonders aggressiven Bedingungen durchgeführt, um auch die Schutzwirkung der hier eingesetzten Materialien stichprobenhaft zu überprüfen. Sofern keine Auffälligkeiten vorliegen, führt dies zu einer Aufwertung um eine Note (vgl. Abschnitt 9.5.2).

Die Tabelle 171 zeigt die Ergebnisse für das Kriterium „Schutzwirkung.“

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 171 Bewertung „Schutzwirkung“

System	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Nachweis Schutzwirkung	6,0	2,0	6,0	3,0	6,0	6,0	3,0	2,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Stichprobe/ Einlagerungsversuch bestanden*	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Gesamtnote Schutzwirkung	5,0	1,0	5,0	2,0	5,0	5,0	2,0	1,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

* Sofern keine Auffälligkeiten vorliegen, führt dies zu einer Aufwertung um eine Note.

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Fazit „Schutzwirkung“

- Nachweise für die Schutzwirkung wurden für 4 von 13 Systemen vorgelegt. Bei drei Systeme liegt eine DIBt-Zulassung vor. Für das System „Silicate R“ wurde ein Prüfungsnachweis, der für die DIBt-Zulassung erforderlich ist, vorgelegt.
- Alle Systeme zeigten in Stichprobenuntersuchungen keine Auffälligkeiten. Entsprechend wurden alle Systeme um eine Note aufgewertet.

9.6.2.6 Zusatzinformationen

Mit Blick auf die Zusatzinformationen wurden folgende Kriterien bewertet:

- Undichtheiten an Steigtechnik
- Füllstandsmessung nach Sanierung
- Mittragwirkung – MAC-Prüfungen

Nachfolgend werden die Bewertungsergebnisse zu den einzelnen Kriterien dargestellt.

Undichtheiten an Steigtechnik

Die Steigeisen werden mit Blick auf den Wassereindrang beurteilt. Hierbei wird folgende Bewertung vorgenommen:

- Keine Infiltration (Farbbezeichnung: „Grün“)
- Sichtbare Infiltration (Farbbezeichnung: „Rot“)
- Nicht bewertbar (Farbbezeichnung: „Blau“)

Tabelle 172 zeigt das Ergebnis der Undichtheiten an Steigtechnik.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 172 Zusatzinformation – Ergebnis Undichtheiten an Steigtechnik

System	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Undichtheiten/ Gesamtzahl	0/10[1]		2/18[2]	1/18[2]	3/18[2]	0/18[2]	1/18[2]	0/18[2]	2/18[2]	17/18[2]	0/18[2]	0/32[3]	1/18[2]

Systeme						
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Art der Steigtechnik

[1] Leiter-Verbindung
[2] Steigeisen
[3] Steigbügel-Einbindestellen

Fazit „Undichtheit an Steigtechnik“

- Bei 5 von 13 Systemen war die Steigtechnik komplett dicht. Eine Auffälligkeit in Form von Undichtheiten wiesen 7 von 13 Systemen auf. Bei dem System „GfK-Rückverankert“ waren insgesamt 17 von 18 Steigeisen undicht.
- Das System „Spectrashield“ konnte aufgrund eines Systemversagens ausgehend von provozierten Schwachstellen nicht bewertet werden (kein Einstieg möglich).

Füllstandsmessung nach Sanierung

Unmittelbar nach Sanierung (vor Anheben des Grundwasserstandes) wurde an jedem sanierten Abwasserschacht eine Füllstandsprüfung (max. Wassersäule 5 m) gemäß DIN EN 1610 [40] durchgeführt, d.h. mit einer Prüfzeit von 30 Minuten und einer zulässigen Wasserzugabemenge von 0,4 l/m². Tabelle 173 fasst die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 173 Zusatzinformation – Ergebnis der Füllstandmessungen

System	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Füllstandsmessung nach Sanierung													

Legende:

- „Bestanden“ → zulässige Wasserzugabemenge eingehalten (Farbbezeichnung: „Grün“)
- „Nicht bestanden“ → zulässige Wasserzugabemenge überschritten (Farbbezeichnung: „Rot“)

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Fazit „Füllstandsmessung“

- Die „Füllstandsmessung nach der Sanierung“ bestehen 11 von 13 Systemen. Zwei Systeme überschreiten die zulässige Wasserzugabemenge, somit gilt die Prüfung als „nicht bestanden“.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Mittragwirkung – MAC-Steifigkeit

Bei diesem Kriterium werden Hinweise zur Mittragwirkung der Systeme gegeben. Hierbei wurde zunächst eine MAC-Prüfung zur Ermittlung der Ausgangssteifigkeit durchgeführt. Anschließend wurden die Belastung bis zum Bruch der Beton-Schachtringe gesteigert und die Gesamtsteifigkeiten der geschädigten Systeme ermittelt. Abschließend wurden nach der Sanierung der Schachtbauwerke die Gesamtsteifigkeiten der sanierten Systeme gemessen.

Für die Bewertung der einzelnen Schachtsanierungen gelten folgende drei Kriterien:

(+) Erhebliche Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von > 150 % der Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes

(o) Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von 100 % - 150 % der Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes

(-) Geringe Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von < 100 % der Ausgangssteifigkeit des intakten Schachtes bzw. kein Beitrag zur Gesamtsteifigkeit

Tabelle 174 zeigt das Ergebnis der „Mittragwirkung – MAC-Prüfungen“.

Tabelle 174 Zusatzinformation – Ergebnis „Mittragwirkung – MAC-Prüfungen“

System	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Zunahme der Gesamtsteifigkeit	+	o	o	+	+	+	+	+	+	-	o	+	o

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Fazit „Mittragwirkung – MAC-Steifigkeit“

- Bei 8 von 13 Systemen erfolgt eine erhebliche Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert > 150 % der Ausgangssteifigkeit. Bei 4 von 13 Systeme ist eine Zunahme der Gesamtsteifigkeit auf einen Wert von 100 % - 150 % der Ausgangssteifigkeit feststellbar. Lediglich bei einem System konnte kein Beitrag zur Gesamtsteifigkeit gemessen werden.
- Im Gesamtblick konnte festgestellt werden, dass mit der Sanierung von Abwasserschächten in vielen Fällen die horizontale Steifigkeit eines unbeschädigten Schacht-Boden-Systems wiederhergestellt werden kann.

9.6.3 Qualitätssicherung der Anbieter

Im Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Anbieter“ wurde untersucht, inwieweit jeder einzelne Anbieter die Qualität seiner Leistung überwacht bzw. Maßnahmen zur Qualitätssicherung einleitet. Dieses Kriterium ging insgesamt zu 15 % in das jeweilige Prüfurteil ein. In den Bewertungsschwerpunkt flossen die fünf Kriterien „Verfahrensbeschreibung (Verfahrenshandbuch, Technische Merkblätter)“, „Schulungen (Schulungen des Sanierers, Schulungsangebote des Herstellers)“, „Prüfzeugnisse“, „Fremdüberwachung“ und „Besondere Auffälligkeiten“ ein. Die Kriterien werden mit

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

„+/-“ (nachgewiesen/nicht nachgewiesen) bzw. „+/o/-“ (nachgewiesen/teilweise nachgewiesen/nicht nachgewiesen; nur Prüfzeugnisse) bewertet und fließen mit je 20 % in die Note für den Bewertungsschwerpunkt „Qualitätssicherung der Anbieter“ ein. Für die Kriterien „Verfahrenshandbuch“ und „Schulungen“ werden jeweils die zwei Unterkriterien mit 10 % gewichtet (vgl. Kapitel 9.5.3).

Alle Verfahrensanbieter bis auf den Systemhersteller für „GfK-Adhäsiv“ reagierten auf die Anfrage des IKT, Unterlagen zu den Punkten der Qualitätssicherung einzureichen. Die eingereichten Unterlagen wurden gesichtet und hinsichtlich ihrer Vollständigkeit sowie ihres Bezugs zum geprüften Verfahren überprüft. Abschließend wurde eine Bewertung bzw. Benotung vorgenommen.

Die nachfolgende Tabelle 175 zeigt die Bewertung der einzelnen Prüfkriterien und die sich daraus ergebenden Noten.

Tabelle 175 Benotung des Bewertungsschwerpunktes „Qualitätssicherung der Anbieter“

Anbieter/ Dienstleister	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Verfahrenshandbuch (10 %)	+	+	-	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-
Technische Merkblätter (10 %)	+*	+	-	+	+	+	+	+	+	+*	+	+	+
Schulungen des Sanierers (10 %)	-	+	-	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-
Schulungsangebote des Anbieters (10 %)	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prüfzeugnisse (20 %)	o	+	-	+	-	-	+	-	-	o	-	-	+
Fremdüberwachung (20 %)	+	-	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	-
Besondere Auffälligkeiten (20 %)	-	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-
Note	3,5	2,5	6,0	1,0	3,5	4,0	4,0	3,0	5,5	3,0	4,5	2,5	4,5

*Alle erforderlichen Informationen sind im Verfahrenshandbuch enthalten, deshalb wird hier als "nachgewiesen" bewertet.

Bewertungsschema: „+“ nachgewiesen „o“ teilweise nachgewiesen „-“ nicht nachgewiesen

Systeme					
1	GfK-Innenschacht	6	Nanocret R4	10	GfK-Rückverankert
2	Spectrashield	7	Ergelit KS 1	11	Oldodur WS 56
3	GfK-Adhäsiv	8	Silicate R	12	PE-HD–Segmente
4	Ombran MHP	9	Kanal-Reprofiliermörtel	13	Ultracoat
5	Betofix R4 SR				

Im Ergebnis des Bewertungsschwerpunktes „Qualitätssicherung der Anbieter“ zeigte sich, dass lediglich ein Systemanbieter sämtliche Prüfkriterien nachweisen konnte. Entsprechend wurde für diesen Anbieter die Note 1,0 gemäß Bewertungsschema vergeben. Alle anderen Systemanbieter wiesen zum Teil erhebliche Defizite bei den verschiedenen Kriterien auf.

Im Gesamtblick der Ergebnisse lassen sich folgende Erkenntnisse zusammenfassen:

- Die Spanne der Gesamtnoten reicht von „sehr gut (1,0)“ bis „ungenügend (6,0)“. Dabei werden die Noten 1 x „sehr gut“, 2 x „gut, 4 x „befriedigend“, 4 x „ausreichend“, 1 x „mangelhaft“ und 1 x „ungenügend“ an die Systeme vergeben

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

(Durchschnitt Gesamtnote 3,7). Der Systemanbieter für „GfK-Adhäsiv“ reagierte nicht auf die Anfrage des IKT und erhält demnach die Note 6,0.

- Das „Verfahrenshandbuch“ wurde bei 8 von 13 Systemanbietern eingereicht. Bei dem Kriterium „Technische Merkblätter“ lag sogar bei 12 von 13 Systemen ein Nachweis vor. Lediglich für das System „GfK-Adhäsiv“ konnte der Nachweis nicht erbracht werden.
- Lediglich 6 von 13 Sanierern konnten einen Schulungsnachweis für das Personal vorlegen. Bei dem Kriterium „Schulungsangebot des Sanierers“ konnte lediglich der Systemanbieter „MC Bauchemie“ den Nachweis erbringen. Bei den weiteren 12 Anbietern konnte das Kriterium nicht nachgewiesen werden.
- Mit Blick auf das Kriterium „Prüfzeugnisse“ konnten vier Anbieter den Nachweis erbringen. Weitere zwei Anbieter haben den Nachweis teilweise erbracht. Sieben Systeme wurden mit „nicht nachgewiesen“ bewertet.
- Sieben von 13 Anbietern konnten das Kriterium „Fremdüberwachung“ nachweisen.
- Acht von 13 Systemen/ Anbietern bzw. Sanierungsfirmen zeigten im Zuge der Labor- und In-situ-Untersuchungen besondere Auffälligkeiten. Dies sind im Einzelnen:
  - Im Rahmen der In-situ-Maßnahme wurde Abwasser für das Anmischen des Vergussmörtels bei dem System „GfK-Innenschacht“ verwendet.
  - Der Systemanbieter für „GfK-Adhäsiv“ reagierte nicht auf die An- und Rückfragen bezüglich der Nachweise bei der Qualitätssicherung.
  - Das Mischen des Mörtels erfolgte bei dem System „Ergelit KS 1“ (Labor und in situ) und „Nacocret R4“ (in situ) nach Augenmaß.
  - Bei den In-situ-Maßnahmen wurde der Reprofilierungsmörtel bei „Oldodur“ mit Heißluftgebläse und Föhn und bei „Ultracoat“ mit Heißluftgebläse getrocknet.
  - Für das System „Kanal-Reprofilierungsmörtel“ wurde kein Angebot abgegeben, daher fand die In-situ-Maßnahme nicht statt. Der Systemanbieter für „GfK-Rückverankert“ hat die In-situ-Sanierung abgelehnt.

Im Gesamtfazit kann festgehalten werden, dass die Qualitätssicherung bei den meisten Systemen lückenhaft ist.

9.7 Warentest-Prüfzeugnisse

In den nachfolgenden Abschnitten werden für die einzelnen Systeme deren Warentest-Prüfzeugnisse detailliert dargestellt.

Das Warentest-Prüfzeugnis enthält für jedes System folgende Informationen:

- Testergebnis (IKT – Gesamturteil mit den Noten für die Bewertungsschwerpunkte „Systemprüfungen“ und „Qualitätssicherung“)
- Gesamteindruck
- Zusatzinformationen, z. B. aus Baustellenbeobachtungen und MAC-Untersuchungen

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.1 Hobas Rohre GmbH mit GfK – Innenschacht

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Hobas Rohre GmbH

GfK – Innenschacht

Sanierungsfirma: Aarsleff Rohrsanierung GmbH*

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (1,6)**
Systemprüfungen (85 %):	**1,2**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,0**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,0
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,0
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**1,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**1,2**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**3,5**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,0 bewertet. Es waren im Rahmen der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (Kurz- und Langzeit) keine Auffälligkeiten erkennbar.

Im Kriterium **Tragwirkung** erhält das System die Note 1,0. Der statische Nachweis wurde erbracht. Auffälligkeiten lagen nicht vor.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Über die gesamte Versuchsdauer wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 1,2 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 3,5 vergeben. Es konnten die „Verfahrensbeschreibung“ und „Fremdüberwachung“ nachgewiesen sowie die „Prüfzeugnisse“ teilweise nachgewiesen werden. Im Rahmen der In-situ-Maßnahme* wurde Abwasser für das Anmischen des Vergussmörtels verwendet, sodass hier eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ*):** in situ: Anmischen des Vergussmörtels mit Abwasser
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 0 von 10 Leiter-Verbindungen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Selbsttragend
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

*Die In-situ-Maßnahme wurde durch die Fa. Sanierungstechnik Dommel GmbH durchgeführt, da die Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH die Sanierungsdurchführung ablehnte.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.2 PCI Augsburg GmbH mit Nanocret R4

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

PCI Augsburg GmbH

Nanocret R4

Sanierungsfirma: Aarsleff Rohrsanierung GmbH*

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (1,7)**
Systemprüfungen (85 %):	**1,3**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,0**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,0
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,0
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**1,3**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**1,4**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**4,0**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,0 bewertet. Es waren im Rahmen der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (Kurz- und Langzeit) keine Auffälligkeiten erkennbar.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,3). An einer Schadstelle kam es zu einer Zugspannungsüberschreitung und einem Feuchtefleck (≤ 25 cm²). Die Zugspannungsüberschreitung wurde allerdings aufgrund der geringen Ausdehnung nicht mit Kritikpunkten versehen.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 1,4 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 4,0 vergeben. Es konnten die „Verfahrensbeschreibung“ und die „Fremdüberwachung“ nachgewiesen werden. Im Rahmen der In-situ-Maßnahme* wurde der Sanierungsmörtel nach Augenmaß angemischt, sodass hier eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ*):** in situ: Mörtelmischung nach Augenmaß
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 0 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

*Die In-situ-Maßnahme wurde durch die Fa. Schulz Bau GmbH durchgeführt, da die Fa. Aarsleff Rohrsanierung GmbH die Sanierungsdurchführung ablehnte.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.3 Schacht + Trumme Sielregulierungen W.Schwarz GmbH mit PE-HD – Segmentauskleidung

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Schacht + Trumme Sielregulierungen W.Schwarz GmbH

PE-HD – Segmentauskleidung

Sanierungsfirma: Schacht + Trumme Sielregulierungen W.Schwarz GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (2,1)**
Systemprüfungen (85 %):	**2,0**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,0**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,0
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,0
Tragwirkung (20 %):	**5,0**
Robustheit (20 %):	**1,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**1,1**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**2,5**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,0 bewertet. Es waren im Rahmen der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (Kurz- und Langzeit) keine Auffälligkeiten erkennbar.

Im Kriterium **Tragwirkung** erhält das System die Note 5,0. Ein statischer Nachweis wurde nicht erbracht. Während der Versuchslaufzeit wurde allerdings kein Systemversagen festgestellt.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Über die gesamte Versuchsdauer wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 1,1 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 2,5 vergeben. Alle Kriterien bis auf die „Schulungsangebote des Herstellers“ und die „Prüfzeugnisse“ wurden nachgewiesen.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** keine Auffälligkeiten
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 0 von 32 Steigbügel-Einbindestellen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Selbsttragend
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.4 Sika Deutschland GmbH mit Kanal-Reprofiliermörtel

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Sika Deutschland GmbH

Kanal-Reprofiliermörtel

Sanierungsfirma: Peter Presch-Kunststoffverarbeitung GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (2,1)**
Systemprüfungen (85 %):	**1,5**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,0**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,0
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,0
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**2,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**1,9**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**5,5**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,0 bewertet. Es waren im Rahmen der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (Kurz- und Langzeit) keine Auffälligkeiten erkennbar.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein gutes Ergebnis (Note 2,0). An einer Schadstelle kam es zu einem Feuchtefleck (> 25 cm²).

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 1,9 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 5,5 vergeben. Es konnte lediglich ein Teil der „Verfahrensbeschreibung (Technische Merkblätter)“ nachgewiesen werden. Für die In-situ-Maßnahme wurde kein Angebot abgegeben, sodass eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** in situ: kein Angebot abgegeben
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 2 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.5 Aarsleff Rohrsanierung GmbH mit GfK – Rückverankert

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Aarsleff Rohrsanierung GmbH

GfK - Rückverankert

Sanierungsfirma: Aarsleff Rohrsanierung GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil:	**Gut (2,2)**
Systemprüfungen (85 %):	**2,1**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,0**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,0
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,0
Tragwirkung (20 %):	**5,0**
Robustheit (20 %):	**1,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**1,7**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**3,0**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,0 bewertet. Es waren im Rahmen der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (Kurz- und Langzeit) keine Auffälligkeiten erkennbar.

Im Kriterium **Tragwirkung** erhält das System die Note 5,0. Ein statischer Nachweis wurde nicht erbracht. Während der Versuchslaufzeit wurde allerdings kein Systemversagen festgestellt.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Über die gesamte Versuchsdauer wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 1,7 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 3,0 vergeben. Die „Schulungsangebote des Herstellers“ konnten nicht nachgewiesen werden. Ein Nachweis der „Prüfzeugnisse“ erfolgte teilweise. Die Sanierungsdurchführung wurde in situ abgelehnt, sodass eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** in situ: Sanierung abgelehnt
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 17 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Tragelemente
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung kein Beitrag zur Steifigkeit

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.6 PSL Handels GmbH mit Oldodur WS 56

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

PSL Handels GmbH

Oldodur WS 56

Sanierungsfirma: Schulz Bau GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Befriedigend (2,6)	
Systemprüfungen (85 %):	**2,3**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,0**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,0
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,0
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**6,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**1,8**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**4,5**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,0 bewertet. Es waren im Rahmen der unterschiedlichen Beobachtungszeiträume (Kurz- und Langzeit) keine Auffälligkeiten erkennbar.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein ungenügendes Ergebnis (Note 6,0). Es zeigten sich an verschiedenen Schadstellen Auffälligkeiten im Hinblick auf „Mangelhafter Verbund im Umfeld (1x)“ und „Übermäßige Verformungen (2x)“. Außerdem kam es an einer Schadstelle zur Infiltration.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 1,8 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 4,5 vergeben. Es wurden lediglich die „Verfahrensbeschreibung“ und die „Schulungen des Sanierers“ nachgewiesen. Im Rahmen der In-situ-Maßnahme wurde der Reprofilierungsmörtel mit einem Heißluftgebläse und Föhn getrocknet, sodass hier eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** in situ: Reprofilierungsmörtel mit Heißluftgebläse und Föhn getrocknet
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 0 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung 100 - 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.7 Hermes Technologie GmbH & Co. KG mit Ergelit KS 1

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Hermes Technologie GmbH & Co. KG

Ergelit KS 1

Sanierungsfirma: DiTom Kanaltechnik GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Befriedigend (2,7)	
Systemprüfungen (85 %):	**2,5**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,2**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,2
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,2
Tragwirkung (20 %):	**5,0**
Robustheit (20 %):	**2,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**3,3**
Schutzwirkung (5 %):	**2,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**4,0**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,2 bewertet. Es konnte jeweils an derselben Schadstelle ein Feuchtefleck (≤ 25 cm²) bei dem Kurzzeit- und Langzeitbeobachtungszeitraum festgestellt werden.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein mangelhaftes Ergebnis (Note 5,0). Es traten diverse Hohllagen (6x) und Zugspannungsüberschreitungen (4x) an der „Übrigen Schachtwand“ auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein gutes Ergebnis (Note 2,0). An einer Schadstelle kam es zu einem Feuchtefleck (> 25 cm²).

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 3,3 bewertet.

Die **Schutzwirkung** wird mit der Note 2,0 beurteilt. Für das System liegt eine DIBt-Zulassung (Mörtelbeschichtung) vor. Entsprechend konnte die Schutzwirkung nachgewiesen werden. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten keine Auffälligkeiten.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 4,0 vergeben. Es konnten die „Verfahrensbeschreibung“ und „Prüfzeugnisse“ nachgewiesen werden. Im Rahmen der In-situ-Maßnahme wurde der Mörtel nach Augenmaß angemischt, sodass hier eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** Labor und in situ: Mörtelmischung nach Augenmaß
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 1 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.8 Source One Environmental UK (S1E) mit ULTRACOAT

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Source One Environmental UK (S1E)

Ultracoat

Sanierungsfirma: Source One Environmental UK (S1E)

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Befriedigend (2,8)	
Systemprüfungen (85 %):	**2,5**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**3,8**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	3,8
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	3,8
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**1,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**2,2**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**4,5**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 3,8 bewertet. Es konnte jeweils an derselben Schadstelle eine Infiltration bei dem Kurzzeit- und Langzeitbeobachtungszeitraum festgestellt werden.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Über die gesamte Versuchsdauer wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 2,2 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 4,5 vergeben. Es konnten lediglich ein „Teil der Verfahrensbeschreibung (Technische Merkblätter)“ und die „Prüfzeugnisse“ nachgewiesen werden. Im Rahmen der In-situ-Maßnahme wurde der Reprofilierungsmörtel mit einem Heißluftgebläse getrocknet, sodass hier eine „besondere Auffälligkeit“ vorlag.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** in situ: Reprofilierungsmörtel mit Heißluftgebläse getrocknet
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 1 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung 100 - 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.9 Remmers Baustofftechnik GmbH mit Betofix R4 SR

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Remmers Baustofftechnik GmbH

Betofix R4 SR

Sanierungsfirma: SMG Bautenschutztechnik für Hoch und Tiefbau GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Befriedigend (2,9)	
Systemprüfungen (85 %):	**2,8**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**1,8**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	1,7
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	1,9
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**6,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**2,5**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**3,5**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 1,8 bewertet. Es konnte bei der Kurzzeit-Bewertung ein Feuchtefleck (> 25 cm²) festgestellt werden. Zusätzlich zu diesem trat bei der Langzeit-Bewertung ebenfalls noch ein weiterer Feuchtefleck (≤ 25 cm²) auf.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein ungenügendes Ergebnis (Note 6,0). An diversen Schadstellen kam es zu Zugspannungsüberschreitungen (3x). Es zeigten sich zudem zwei Feuchteflecken (> 25 cm²) und eine Fließfahne (≥ 40 cm).

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 2,5 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 3,5 vergeben. Es konnten ein Teil der „Verfahrensbeschreibung (Technische Merkblätter)“ und die „Fremdüberwachung“ nachgewiesen werden.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** keine Auffälligkeiten
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 3 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.10 SEKISUI SPR Germany GmbH mit GfK – Adhäsiv

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

SEKISUI SPR Germany GmbH

GfK – Adhäsiv

Sanierungsfirma: KMG Pipe Technologies GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Befriedigend (3,5)	
Systemprüfungen (85 %):	**3,0**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**4,5**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	4,5
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	4,5
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**1,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**3,7**
Schutzwirkung (5 %):	**5,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**6,0**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 4,5 bewertet. Es traten bei der Kurzzeit- und Langzeit-Bewertung Auffälligkeiten an dem Schadensbild „Undichte Ringfuge“ in Form zweier Feuchteflecken (≤ 25 cm² und > 25 cm²), einer Fließfahne (≥ 40 cm) und einer Infiltration auf.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Über die gesamte Versuchsdauer wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 3,7 bewertet.

Für die **Schutzwirkung** wurde kein Nachweis eingereicht. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten allerdings keine Auffälligkeiten. Insgesamt ergibt sich die Note 5,0.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 6,0 vergeben. Der Anbieter reagierte nicht auf die An- und Rückfragen, sodass entsprechend keine Nachweise hinsichtlich einer Beurteilung vorlagen. Dies wurde als „besondere Auffälligkeit“ bewertet.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** keine Reaktion auf An- und Rückfragen bezüglich der Nachweise bei der Qualitätssicherung
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 2 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** nicht bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung 100 - 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.11 Remmers Baustofftechnik GmbH mit Silicate R

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

Remmers Baustofftechnik GmbH

Silicate R

Sanierungsfirma: SMG Bautenschutztechnik für Hoch und Tiefbau GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Befriedigend (3,5)	
Systemprüfungen (85 %):	**3,6**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**4,5**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	4,5
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	4,5
Tragwirkung (20 %):	**1,0**
Robustheit (20 %):	**6,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**2,6**
Schutzwirkung (5 %):	**1,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**3,0**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 4,5 bewertet. Es traten bei der Kurzzeit-Bewertung 3 Feuchteflecken (> 25 cm²) und eine Feuchtefahne (≥ 40 cm) an dem Schadensbild „Undichte Ringfuge“ auf. Ein weiterer Feuchtefleck (> 25 cm²) kam bei der Langzeit-Bewertung dazu, sodass an allen 5 „Undichten Ringfugen“ eine Auffälligkeit vorlag.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein sehr gutes Ergebnis (Note 1,0). Es traten keine Auffälligkeiten auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein ungenügendes Ergebnis (Note 6,0). Es zeigte sich an einer Schadstelle eine Hohllage („mangelhafter Verbund im Umfeld“). An drei Schadstellen traten Feuchteflecken (> 25 cm²) und an einer Schadstelle eine Fließfahne (≥ 40 cm) auf. Entsprechend waren an allen vier Schadstellen Auffälligkeiten hinsichtlich des Kriteriums „Infiltration“ vorhanden.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 2,6 bewertet.

Die **Schutzwirkung** wird mit der Note 1,0 beurteilt. Für das System liegt ein Prüfbericht gemäß den DIBt-Zulassungsvoraussetzungen (Silikat-Mörtelbeschichtung) vor. Entsprechend konnte die Schutzwirkung nachgewiesen werden. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten keine Auffälligkeiten.

Bei der **Qualitätssicherung** wird die Note 3,0 vergeben. Es konnte die „Fremdüberwachung“ und jeweils ein Teil der „Verfahrensbeschreibung (Technische Merkblätter)“ sowie der „Schulungen (Schulung des Sanierers)“ nachgewiesen werden.

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** keine Auffälligkeit
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 0 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** nicht bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

9.7.12 MC Bauchemie Müller GmbH & Co. KG mit Ombran MHP

Warentest – Prüfzeugnis „Schachtsanierung“

MC Bauchemie Müller GmbH & Co. KG

Ombran MHP

Sanierungsfirma: Heikaus KS Kanalsanierungen GmbH

TESTERGEBNIS	
IKT - Gesamturteil: Ausreichend (3,6)	
Systemprüfungen (85 %):	**4,0**
Fremdwasser-Dichtheit (40 %):	**3,1**
Kurzzeit-GW-Belastung 5 m (20 %):	2,6
Langzeit-GW-Belastung 5 m (80 %):	3,3
Tragwirkung (20 %):	**5,0**
Robustheit (20 %):	**6,0**
Abnahme-Eindruck (15 %):	**3,2**
Schutzwirkung (5 %):	**2,0**
Qualitätssicherung (15 %):	**1,0**

Gesamteindruck

Die **Fremdwasser-Dichtheit** wird mit der Note 3,1 bewertet. Bei der Kurzzeit-Bewertung konnten 3 Feuchteflecken (1x ≤ 25 cm²; 2x > 25 cm²) an der „Undichten Ringfuge“ festgestellt werden. Zudem kam es zu einer Zustandsveränderung von einem Feuchtefleck ≤ 25 cm² zu einem Feuchtefleck > 25 cm². Ein weiterer Feuchtefleck (≤ 25 cm²) konnte bei der Langzeit-Bewertung festgestellt werden.

Die **Tragwirkung** wird durch Haftverbund hergestellt. Hier erreicht das System ein mangelhaftes Ergebnis (Note 5,0). Es traten Zugspannungsüberschreitungen (2x „Undichten Ringfugen“ und 1x „Übrigen Schachtwand“) und 4x Hohllagen an der „Übrigen Schachtwand“ auf.

Bei der **Robustheit** gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erzielt das System ein ungenügendes Ergebnis (Note 6,0). Es traten 2x Hohllagen („mangelhafter Verbund im Umfeld“) und 3x Zugspannungsüberschreitungen auf. An jeweils zwei Schadstellen waren Feuchteflecken (> 25 cm²) und Fließfahnen (≥ 40 cm) erkennbar. Entsprechend waren an allen vier Schadstellen Auffälligkeiten mit Blick auf das Kriterium „Infiltration“ vorhanden.

Mit Blick auf den **Abnahme-Eindruck** wird das System mit der Note 3,2 bewertet.

Die **Schutzwirkung** wird mit der Note 2,0 beurteilt. Für das System liegt eine DIBt-Zulassung (Mörtelbeschichtung) vor. Entsprechend konnte die Schutzwirkung nachgewiesen werden. Stichprobenhafte Einlagerungsversuche zeigten keine Auffälligkeiten.

Bei der **Qualitätssicherung** wurden sämtliche Kriterien erfüllt (Note 1,0).

Zusatzinformationen

- **Baustellenbeobachtungen (Labor, in situ):** keine Auffälligkeiten
- **Steigtechnik: Undichte Stellen nach Sanierung:** 1 von 18 Steigeisen
- **Füllstandsprüfung nach Sanierung (ohne Grundwassereinfluss):** bestanden
- **Statisches System:** Haftverbund
- **MAC-Steifigkeit (intaktes System = 100 %):** nach Sanierung > 150 %

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

10 Ausschreibungstexte und zusätzliche technische Vertragsbedingungen (ZTV) für die Schachtsanierung

10.1 Überblick – Arbeitshilfen und Handlungsempfehlungen

Im Rahmen des Vorhabens konnten u.a. Erkenntnisse zur Untergrundvorbereitung, zum Einsatz von schnell abbindenden Abdichtungsmörteln sowie zur Qualität von Auskleidungs- und Beschichtungssystemen gewonnen werden. Um diese Ergebnisse auch in die alltägliche Arbeit von Netzbetreibern einfließen zu lassen, wurden Arbeitshilfen und Handlungsempfehlungen als Muster-Leistungstexte und Muster-ZTV-Texte (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen) erstellt. Die Inhalte wurden in zwei Arbeitssitzungen diskutiert, redaktionell aufbereitet und schließlich mit dem Lenkungskreis abgestimmt.

Darüber hinaus wurden frei verfügbare Entscheidungshilfen für die Schachtsanierung zusammengetragen und dabei auch computergestützte Systeme berücksichtigt.

Erste Informationen bieten Berichte bzw. Empfehlungen von Fachverbänden, so die Empfehlungen Nr. 8, Schachtsanierung des VSB [119], das Merkblatt 6.2 des RSV [23], das Merkblatt 143, Teil 17 [36], sowie das Merkblatt 143, Teil 4, der DWA [120]. Tabelle 176 gibt einen Überblick über die Inhalte dieser Dokumente nach folgendem Schlüssel:

- Mineralische Werkstoffe => **M**
- Kunststoffbasierte Werkstoffe/ Kunststoffmod. Zementmörtel => **K**
- Werkstoff PE (-HD), PP, PVC-U => **P**
- GfK => **G**
- Keramische Elemente => **E**
- Zementgebundene Mörtel => **Z**
- Keine Angabe => -

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 176 Inhalte aus Merkblättern mit materialabhängiger Zuordnung

Quelle / Thema	VSB – Empfehlungen Nr.8 Schachtsanierung	RSV Merkblatt 6.2	DWA M 143-17	ATV-DVWK M 143-4
Anwendungsbereich/ Geltungsbereich	-	G; K; M; P	M	-
Grundlagen/ Begriffsdefinition/allgemeine Ausführungsrichtlinien	E; G; K; P	-	M; K	-
Anforderungsprofil	E; G; K; P	-	-	-
Untergrundvorbehandlung	-	M	Z	E
Materialien	E; G; K; P	-	-	E; G; P
Anwendungstechnik und Ablaufkoordination	E; G; P	-	-	E; G; P
Einbau (-verfahren)	-	G; K; M; P	Z	-
Nachbehandlung	K	G; K; M; P	Z	-
Dokumentation	E; G; K; P	-	-	-
Qualitätssicherung: Eigenüberwachung	E; G; K; P	-	-	-
Qualitätssicherung: Überwachung durch den Auftraggeber	E; G; K; P	-	-	-

Des Weiteren werden in den Merkblättern neben den materialabhängigen auch materialunabhängige Informationen gegeben (vgl. Tabelle 177).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Tabelle 177 Inhalte aus Merkblättern mit materialunabhängiger Zuordnung

Quelle / Thema	VSB – Empf. Nr. 8 Schacht-sanierung	RSV Merk-blatt 6.2	DWA M 143-17	GSTT Informa-tionen Nr. 18	ATV-DVWK-M 143-4
Qualifikation des Auftragnehmers	-	-	X	-	X
Untergrundvorbehandlung	-	X	-	X	-
Vorarbeiten	-	-	-	-	X
Einbau (-verfahren)	-	-	-	-	X
Nachbehandlung	-	-	-	X	-
Abschlussarbeiten	-	-	-	-	X
QS: Eigenüberwachung (Überwachung auf der Baustelle)	-	-	X	X	X
Fremdüberwachung	-	-	-	-	-
Dichtheitsprüfung	-	-	X	-	-
Arbeitsschutz	-	-	X	-	X
Statische Berechnung	-	-	X	-	X

X= Angaben vorhanden; - = keine Angaben

10.2 Muster-Leistungstexte und Muster-ZTV

Grundlage der diesem Bericht beigefügten Muster- ZTV (Anlage 4) und Muster-Leistungstexte (Anlage 5) sind zum einen technische Erkenntnisse aus dem Vorhaben, zum anderen aber auch Textbausteine aus Dokumenten der im Projekt mitwirkenden Netzbetreiber. Zum besseren Verständnis der Hintergründe werden die Texte der Muster-ZTV ergänzt durch erläuternde Fußnoten und inhaltliche Hinweise.

Dem Anwender obliegen die rechtliche Prüfung der Inhalte und die Anpassung an seine Rahmenbedingungen. Zur eigentlichen Ausschreibung und Vergabe von Leistungen trifft der Auftraggeber weitere Festlegungen.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

10.3 Auswahl von Verfahren zur Schachtsanierung - Entscheidungshilfen

10.3.1 Hintergrund

In den vergangenen Jahren wurden für die Schachtsanierung eine Vielzahl an Materialien und Verfahren entwickelt. Mit der steigenden Zahl stieg auch die Schwierigkeit, für jede individuelle Sanierungsmaßnahme die geeignete Variante zu wählen. Da jeder Schacht als Unikat mit individuellen Randbedingungen zu betrachten ist, müssen neben technischen und wirtschaftlichen Kriterien bei der Verfahrenswahl auch umgebungsbedingte oder zeitliche Einschränkungen berücksichtigt werden.

Vor dem Hintergrund komplexer Problemstellungen können multikriterielle Entscheidungshilfesysteme den Entscheider unterstützen. Im Abwasserbereich wurden für die Betrachtung von Entscheidungsproblemen bereits mehrere derartige Entscheidungshilfeverfahren entwickelt. Einer der hierbei am häufigsten verwendete Prozess ist der von Saaty entwickelte „Analytische Hierarchie Prozess“ [121]. Dieser ordnet alle ein Problem beschreibenden Kriterien in eine übersichtliche hierarchische Struktur. Über anschließende paarweise Vergleiche erfolgt eine nachvollziehbare Bewertung jedes Kriteriums durch den Entscheider, mit einer Rangfolge der möglichen Alternativen als Resultat.

In [122] wurden einige weltweit verfügbare Entscheidungssysteme zusammengestellt. Hier wurden sowohl Leitfäden und Handbücher, als auch computergestützte Varianten berücksichtigt. Die Analyse wird hier zusammenfassend dargestellt.

10.3.2 Leitfäden und Handbücher

In Studien u.a. von WERF (USA) [48], der US EPA [123] oder Plenker (D) [124] wurden (international) verfügbare Entscheidungshilfesysteme im Abwasserbereich untersucht. Die Sichtung zeigte, dass sich der größte Teil momentan verfügbarer Entscheidungshilfen auf Sanierungsstrategien für Kanalleitungen bezieht. Im Speziellen werden sie für die Wahl einer angemessenen Bauweise (offen/geschlossen) oder auch für die Betrachtung grabenloser Verfahren zur Renovierung bzw. Erneuerung von Kanalleitungen eingesetzt.

Die nachfolgend benannten Leitfäden und Handbücher verschiedener Institutionen stellen eine Auswahl derer dar, in denen auch ein Fokus auf die Schachtsanierung gelegt wird. Sie dienen der Aufklärung von Entscheidungsträgern und Ausführenden und sollen grundsätzlich die eingehend beschriebenen fehlenden Kenntnisse ausgleichen. In nahezu allen Quellen wird auf die Bedeutung einer umfassenden Zustandserfassung und -bewertung als Ausgangsgrundlage für weitere Planungsvorgänge hingewiesen. Nur mit einer genauen Kenntnis der ortsspezifischen Randbedingungen kann eine angemessene Verfahrensauswahl erfolgen.

German Society for Trenchless Technology (GSTT)

Die deutsche Vereinigung für grabenloses Bauen und Instandhalten von Leitungen e.V. (GSTT) hat verschiedene Leitfäden herausgebracht, die dem Nutzer eine Übersicht der Anforderungen und Einsatzmöglichkeiten verfügbarer Materialien und Techniken bieten sollen. Mit Planungshinweisen, Empfehlungen zu Einsatzmöglichkeiten der Materialien und entsprechend Bauüberwachung sollen sie den Nutzern als Grundlage für die umfassende Betrachtung unterirdischer Bauvorhaben dienen. Die vollständige Liste der Veröffentlichungen ist auf der Webseite der GSTT einsehbar (www.gstt.de).

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Sewerage Rehabilitation Manual (SRM)

Das Handbuch des *Water Research Centre* (WRc) aus Großbritannien [125] bietet Nutzern die Möglichkeit, Sanierungsverfahren und -materialien im Abwasserbereich umfassend zu betrachten. Ein wesentlicher Bestandteil sind Empfehlungen für den Einsatzbereich verfügbarer Materialien abhängig von verschiedenen Rand- und Umweltbedingungen. Darüber hinaus gibt es Hilfestellungen für die Planung des Ablaufs einer Sanierungsmaßnahme, sowie zu berücksichtigende Kriterien für die Wahl von Sanierungsverfahren (und geeigneten Materialtypen) für Abwasserleitungen.

WEF Manual of Practice No. FD-6
ASCE/EWRI Manuals & Reports on Engineering Practice No. 62

In Zusammenarbeit WEF und ASCE/EWRI entstand das zweiteilige Handbuch *Vorhandene Bewertungs- und Sanierungstechniken für Abwasserleitungen [126]*, welches den Abwasserbetrieben das notwendige Fachwissen für eine nachhaltige (sprich: langfristig wirtschaftliche) Sanierungsplanung vermitteln soll. Einen Fokus legen die Herausgeber auf umfangreiche Informationen bezüglich der Herangehensweise und Dokumentation von Sanierungsmaßnahmen und damit einhergehenden Qualitätskontrollen. Weiterhin werden Verfahren zur strukturellen und hydraulischen Zustandsbewertung und -klassifizierung in Verbindung mit generellen Beschreibungen von als typisch erachteten Schadensbildern erläutert. Darüber hinaus erfolgt eine ausführliche Vorstellung verfügbarer Materialien und Methoden für die Sanierung und zu beachtende Randbedingungen.

Performance Specification Guideline for Manhole Rehabilitation

Die *National Association of Sewer Service Companies* (NASSCO) hat einen umfangreichen Leitfaden für die Schachtsanierung herausgebracht [127]. Enthalten sind u.a. generelle Beschreibungen rund um eine Sanierungsmaßnahme – insbesondere die Renovierung und den Neubau. Im Speziellen werden verfügbare Produkte und Verfahren für die Sanierung von Schächten (u.a. auch für die Abdichtung, bzw. Reparatur geringfügiger Schäden) vorgestellt. Für die Zustandserfassung bei der optischen Inspektion wird hier ein Vorgehen gemäß den Vorgaben des MACP (Manhole Assessment Certification Program [128]) empfohlen. Als Anforderungen an den sanierten Schacht werden Korrosionsschutz, Dichtheit oder einer strukturelle Unterstützung (bzw. Kombinationen) beschrieben.

ASCE Manual of Practice No.92

Das *Manual of Practice No. 92* (MoP) [129] der *American Society of Civil Engineers* (ASCE) ist der einzige Leitfaden speziell für die Schachtsanierung, der bei der Recherche gefunden wurde. Es beinhaltet neben generellen Grundlagen zu Schachtbauwerken ausführliche Hinweise zu Sicherheit, Planung, Ausführung und Qualitätskontrollen im Zuge einer Sanierungsmaßnahme. Außerdem werden in den USA verfügbare Sanierungsverfahren vorgestellt und nach ihren Einsatzmöglichkeiten und –grenzen bewertet.

10.3.3 Computergestützte Entscheidungshilfesysteme

Mit fortschreitender Computertechnik entwickelte sich auch die Automatisierung der multikriteriellen Entscheidungshilfesysteme, welche entweder online oder über Datenbank-Programme zugänglich sind. Ein klarer Vorteil solcher Systeme ist die Möglichkeit, sie mit vergleichsweise wenig Aufwand bezüglich Materialien, Verfahren und Kosten aktuell zu halten. Studien der US EPA oder WERF liefern eine Zusammenstellung

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

solcher Entscheidungshilfesysteme mit Analysen und Bewertungen der Anwendbarkeit. In geringerem Umfang wurden in Europa verfügbare Tools auch in Dissertationen und Studien (z.B. [124]) erfasst. Es wird ersichtlich, dass sich der Großteil dieser Tools auf die Betrachtung der Kanäle und Leitungen im Abwassersystem konzentriert [48]. Wenige Tools legen hierbei einen Fokus auf die direkte Verfahrenswahl. Nur drei der gefundenen Systeme berücksichtigen überhaupt Kriterien für die Bewertung von Schächten.

TAG-R

Das Entscheidungshilfetool TAG-R (***T**renchless **A**ssessment **G**uide for **R**ehabilitation*) entstand aus einem gemeinschaftlichen Projekt der TTC[2], NUCA[3], ASTT[4] und NASSCO[5]. Es ist online verfügbar und über ein Portal auf NASSCOs Website zugänglich[6]. Entwickelt wurde es als Hilfestellung für die Unternehmen im Bereich der Installation, Renovierung und Erneuerung von Wasser- und Abwasserleitungen.

Arbeitshilfen Abwasser

Im Internet kostenfrei zugänglich sind die „Arbeitshilfen Abwasser“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Diese bieten eine Hilfestellung hinsichtlich der Vorzüge und Nachteile von Reparatur-, Renovierungs- und Erneuerungsverfahren für unterirdische Strukturen. Auch für die Sanierung von Schächten werden Empfehlungen präsentiert. Die dort berücksichtigten Verfahren sind eingeteilt in Beschichtungsverfahren und Auskleidungen (Montageverfahren) und werden gemäß der Auswahl des Nutzers hinsichtlich der Randbedingungen und Schäden der zu sanierenden Schachtbauwerke bewertet.

CARE-S

Das Programm ***C**omputer **A**ided **Re**habilitation of **S**ewer Networks* (CARE-S) wurde 2005 von Baur et al. [130] im Rahmen eines Forschungsprojekts an der TU Dresden entwickelt, um Abwassernetzbetreiber bei dem Management ihrer Sanierungsvorhaben zu unterstützen. Der Fokus liegt bei diesem Tool auf einer Langzeitplanung und der damit verbundenen Analyse des günstigsten Sanierungszeitpunkts. Es behandelt darüber hinaus auch die Selektion der für die Situation geeignetsten Sanierungsmethode [131]. Grundlage für die Entscheidungsfindung bildet in CARE-S das integrierte Programm **„WRaP”** (**W**eighing and **Ra**nking **P**rocedure), welches von Plenker [124] in seiner Dissertation zur Bestimmung der geeignetsten Sanierungstechnik für Abwasserkanäle erarbeitet wurde.

Decision Support Tool - DST (WERF)

Das im Rahmen eines WERF-Projektes [48] entwickelte DST wurde speziell für die Wahl eines Sanierungsverfahrens für Schachtbauwerke konzipiert und sollte diese Defizite der bisher am Markt verfügbaren Systeme beheben. Die in WERF’s DST berücksichtigten **Kriterien** lassen sich durchaus vollständig auf Sanierungsvorgänge in Europa übertragen. Auch der grundsätzliche Ablauf im Tool entspricht den Empfehlungen der Leitfäden in Europa für eine ganzheitliche Betrachtung. Nach der Zustandserfassung werden hier Umgebungsparameter und resultierende Randbedingungen sowie

[2] Trenchless Technology Center
[3] National Utility Contractors Association
[4] Australian Society of Trenchless Technology
[5] National Association of Sewer Service Companies
[6] http://138.47.78.37//tagrv2/login.asp

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Einschränkungen der Anwendbarkeit für die Empfehlung eines Sanierungsverfahrens berücksichtigt. Leider zeigte die zum Zeitpunkt der Berichtserstellung verfügbare Version erhebliche Schwächen bezüglich der Programmierung. Sie war nicht lauffähig und konnte deshalb nicht getestet werden.

10.3.4 Fazit

Der Wunsch nach einer praxisnahen – also einer nachvollziehbaren, adaptierbaren und nutzerfreundlichen – Entscheidungshilfe zur Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten Schachtsanierungssystems ist international vorhanden. Die hier vorgestellten Leitfäden und Handbücher können durchaus für eine ganzheitliche Planung und Durchführung von Sanierungsmaßnahmen auch an Abwasserschächten angesehen werden. Obwohl die herausgebenden Institutionen unterschiedliche Schwerpunkte setzten, beinhalten sie durchweg Hinweise und Vorschläge zu Sicherheitsmaßnahmen, Planung, Ausführung und Qualitätssicherung.

Die verfügbaren computergestützten Entscheidungshilfesysteme wurden größtenteils nicht speziell für die Schachtsanierung entwickelt. Demzufolge fehlt oft eine Zuordnung der verfügbaren Verfahren zu Schadensbildern bzw. Arbeits- und Randbedingungen in einem Schachtbauwerk. Wenn überhaupt gestatten sie nur die Durchführung einer groben Kostenanalyse. Angaben zu Dauerhaftigkeit und laufenden Kosten können nicht getroffen werden. Das einzige für diesen Anwendungsfall entwickelte Tool der WERF konnte aufgrund von Programmmängeln leider nicht getestet und somit auch nicht bewertet werden.

Zudem wird deutlich, dass die meisten Tools kompliziert in der Anwendung und kaum auf unterschiedliche Randbedingungen anzupassen sind. Infolgedessen wird in der Praxis häufig auf die Anwendung dieser Entscheidungshilfetools verzichtet. Dies geht auch aus einer im Rahmen von [122] durchgeführten Umfrage hervor. Es zeigte sich, dass nur wenige Tools auch wirklich in der Praxis genutzt werden. Vielmehr greifen die Entscheidungsträger auf eigene Entwicklungen zurück, welche auf ihre lokalen Anforderungen zugeschnitten werden können.

Auch das IKT hat den Bedarf an weiteren Hilfestellungen für die Entscheidungsträger erkannt. Über praxisnahe Schulungsprogramme oder Lehrgänge werden in regelmäßigen Abständen die Abwasserunternehmen umfassend in der Planung, Ausführung und Kontrolle von Schachtsanierungen unterwiesen. Einen weiteren Ansatz für eine plausible Entscheidungsfindung mit einem Decision-Support-Tool liefert das im Rahmen von [122] weiterentwickelte Tool *DEMUS.* Dieses Tool wird bereits zur Unterstützung von Planungsprozessen beim Bau unterirdischer Strukturen angewendet [132].

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

11 Zusammenfassung und Ausblick

Schächte sind ein wichtiger Bestandteil der Entwässerungsinfrastruktur. Eine Vielzahl der Bauwerke ist jedoch undicht oder weist anderweitig Funktionsverluste auf. In vielen Fällen sind Sanierungsarbeiten zur Wiederherstellung der Betriebssicherheit notwendig. Dies kann im Wesentlichen durch Neubau oder aber durch Instandsetzungsarbeiten am vorhandenen Bauwerk, z.B. den Einbau von Auskleidungs- oder Beschichtungssystemen, erfolgen. Im Rahmen des Vorhabens, das vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen sowie von 17 Netzbetreibern gefördert wurde, sind daher für diese Sanierungen unterschiedliche Materialien und Verfahren vergleichend getestet worden. Darüber hinaus sind in weiteren Untersuchungsschwerpunkten Themen bearbeitet worden, die unmittelbaren Einfluss auf die Qualität der Sanierungsprodukte besitzen.

Das gesamte Projekt wurde durch den Lenkungskreis der Netzbetreiber begleitet. Die Mitglieder bestimmten in insgesamt sieben Arbeitssitzungen u.a. die zu untersuchenden Systeme bzw. Verfahren zur Schachtsanierung, definierten Qualitätsanforderungen, bestimmten das Prüfprogramm und bewerteten die Ergebnisse, insbesondere mit Blick auf die Inhalte des IKT-Warentests „Schachtsanierung“.

In dem vorliegenden Bericht werden nach Beschreibung der Problemstellung und Zielsetzung sowie Erläuterung der vorgesehenen Arbeitspakete diese im Einzelnen kapitelweise dargestellt. In Abschnitt 4 sind die Untersuchungen zur Thematik der „Untergrundvorbereitung“ aufgeführt, Abschnitt 5 zeigt die Versuche und Ergebnisse zu den schnell abbindenden Abdichtungsmörteln, die häufig vor dem Einbau von Sanierungssystemen zum Einsatz kommen.

Der Schwerpunkt des Projektes liegt in dem vergleichenden Test von Auskleidungs- und Beschichtungssystemen zur Instandsetzung von Schachtbauwerken (IKT-Warentest „Schachtsanierung“). Wesentliche Grundlage sind die Ergebnisse der Laborversuche (Abschnitt 6), der In-situ-Untersuchungen (Abschnitt 7) sowie die Erkenntnisse aus den in Abschnitt 8 dargestellten Untersuchungen zur Mittragwirkung von Sanierungssystemen und zur Alterung von Sanierungsmaterialien.

Die Bewertung der Systeme (IKT-Warentest „Schachtsanierung“) ist in Abschnitt 9 umfassend dargestellt. Um wesentliche Projektergebnisse einer weiteren praxisnahen Nutzung zugänglich zu machen, finden diese Eingang in eine Muster-ZTV und in ein Muster-Leistungsverzeichnis (vgl. Abschnitt 10).

Im Gesamtblick der Projektergebnisse konnten für die Schachtsanierung umfassende Erkenntnisse gewonnen werden. Mit Blick auf die im IKT-Warentest untersuchten **Auskleidungs- und Beschichtungssysteme** lässt sich dies wie folgt als Fazit zusammenfassen:

Schachtsanierung ist mit marktüblichen Systemen zuverlässig möglich

Im IKT-Warentest zeigten die Systeme, dass eine zuverlässige Schachtsanierung auch bei späterer Grundwasserbelastung möglich ist. Die Bandbreite der einzelnen Systemnoten ist allerdings groß, von „GUT“ bis „AUSREICHEND“.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Mängel in der Untergrundvorbereitung führten im Einzelfall zu Systemversagen

Eines der Beschichtungssysteme war im IKT-Warentest nicht bewertbar, da es sich als äußerst empfindlich gegenüber punktuellen Mängeln in der Untergrundvorbereitung erwies (Testkriterium „Robustheit“). Ausgehend von im Test eigens provozierten lokalen Schwachstellen (Trennmittel) entwickelten sich unter Außenwasserdruck riesige Blasen, die einen weiteren Einstieg verhinderten. Weitere Systeme zeigten an diesen Stellen Risse und Undichtheiten, andere zeigten sich nahezu unempfindlich gegenüber diesen Schwachstellen.

Dichtheitsverhalten frühzeitig erkennbar, wenn Grundwasser ansteht

Zeigten sich die Sanierungen direkt nach erster Grundwasserbelastung als dicht, so wurden i.d.R. auch bei erhöhter und längerer Grundwasserbelastung keine weiteren Qualitätsmängel mehr beobachtet. Eine Bauabnahme bei anstehendem Grundwasser ist also zu empfehlen.

Tragsicherheit bei einigen Systemen kritisch oder unbekannt

Die Untersuchungen zur Tragwirkung der unterschiedlichen Auskleidungs- und Beschichtungssysteme zeigten ein sehr differenziertes Ergebnis. Einige Systeme, die auf Haftverbund setzen, wiesen großflächige Hohlstellenbereiche und Rissbildungen auf und wurden mit „MANGELHAFT“ benotet, andere schlossen überzeugend mit „SEHR GUT“ ab. Für die beiden selbsttragenden Auskleidungen und ein System mit Rückverankerung durch Tragelemente konnte lediglich in einem Fall ein statischer Nachweis vorgelegt werden, für die beiden anderen Systeme bleibt die Tragsicherheit unbekannt.

MAC-Messung belegt Mittragwirkung

Die zerstörungsfreie MAC-Messung mittels Horizontalpressen zeigte, dass alle Beschichtungen sowie Auskleidungen mit vollflächigem Kontakt/Verbund zur Altschacht-Wandung einen nennenswerten Beitrag zur Wiederherstellung der horizontalen Ringsteifigkeit leisten können. Auch bei gerissenem Altschachtring wurden vielfach die Werte eines intakten Systems wieder erreicht oder sogar übertroffen.

Schutzwirkung bei einer Vielzahl der Systeme unklar

Lediglich 4 von 13 Anbietern der Auskleidungs- und Beschichtungssysteme konnten Nachweise für den Einsatz der Materialien bzw. Systeme in Abwasseranlagen vorlegen. Bei Stichprobenuntersuchungen (Einlagerungsversuche) zeigten sich allerdings keine Auffälligkeiten.

Qualitätssicherung ist sehr lückenhaft

Die Mehrzahl der Systemanbieter/ Sanierungsdienstleister konnte für die Auskleidungs- und Beschichtungssysteme nur vereinzelt Schulungsnachweise, Prüfzeugnisse, DIBt-Zulassungen etc. vorweisen. Insgesamt zeigten sich große Lücken.

Abnahme-Eindruck bei Schachteinstieg bestätigt Test-Ergebnisse

Die unmittelbare Bewertung der Auskleidungs- und Beschichtungssysteme durch die Vertreter der kommunalen Netzbetreiber (Abnahme-Eindruck bei Schachteinstieg im Zuge des IKT-Warentests) deckte sich weitgehend mit den Ergebnissen der umfangreichen Prüfungen. Dies setzt allerdings eine besondere Erfahrung der einzelnen Mitarbeiter voraus.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Abnahmekontrollen verbessern, materialspezifische Fehlstellen beseitigen

Fehlstellen in den Sanierungssystemen, wie z.B. Pinholes in Kunststoffbeschichtungen, hohl liegende Beschichtungen oder Risse in den Materialien, stellen grundsätzlich ein Risiko für Infiltrationen dar. Sie sollten frühzeitig erkannt und nachhaltig behoben werden. Dies erfordert in der Regel umfassende Nachkontrollen und gründliche Nacharbeiten.

Die wesentlichen **Erkenntnisse der weiteren Untersuchungen** im Rahmen des Forschungsvorhabens lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Zuverlässige Untergrundvorbereitung aufwändig, aber machbar

An die Untergrundvorbereitung sind sehr hohe Anforderungen zu stellen, um störendes Material zu entfernen und den Haftgrund angemessen aufzurauen. Zum Teil kann der Einsatz von automatisierten HD-Wasserstrahl-Einrichtungen mit bis zu 1000 bar Arbeitsdruck am Gerät notwendig sein.

Abdichtungsmaterialien stoppen Infiltrationen, bieten aber selten einen tragfähigen Untergrund

Mit schnell abbindenden Stopf- und Flächenmörteln können Infiltrationen weitgehend unterbunden werden. Eine nennenswerte Reduzierung des Fremdwasserzuflusses ist mit nahezu allen untersuchten Materialien möglich, eine vollständige und dauerhafte Abdichtung allerdings nicht. Mit Blick auf eine anschließende weitergehende Sanierung mit Auskleidungs- und Beschichtungssystemen ist zu beachten, dass einerseits langfristig wieder mit Grundwasserandrang zu rechnen ist und andererseits die Oberflächeneigenschaften der Abdichtungsstellen nur selten die hohen Anforderungen an einen tragfähigen Untergrund erfüllen. Der Robustheit einer anschließenden Beschichtung oder Auskleidung gegenüber solchen Schwachstellen kommt damit eine besondere Bedeutung zu.

Kunststoffschächte empfindlich gegenüber Baustellenverkehr

Belastungsversuche an Kunststoffschächten aus PE-HD zeigten, dass diese über nur geringe Leistungsreserven verfügen, wenn Lasten aus Baustellenverkehr ungeschützt eingeleitet werden.

Als **Ausblick** werden folgende Schwerpunkte vorgeschlagen:

Leistungscheck „Untergrundvorbereitung“

Jedes Verfahren bzw. jede Gerätekombination zur Untergrundvorbereitung zeigt eine individuelle Leistung. Um diese einschätzen zu können, bedarf es der Prüfung und Bewertung. Das im Projekt entwickelte Prüfprogramm bietet die Grundlage für einen standardisierten Leistungscheck „Untergrundvorbereitung“, der z.B. Ausgangspunkt für künftige Geräte- und Verfahrensentwicklungen sein kann.

Warentest „Abdichtungsmörtel und Injektionsmaterialien“

Erste vergleichende Untersuchungen im Rahmen des Forschungsvorhabens an neun Stopfmörteln zeigten bereits hohe Qualitätsunterschiede mit Blick auf die dauerhafte Abdichtung des Bauwerks und die Materialfestigkeit (Tragfähigkeit des Untergrunds für nachfolgende Beschichtungen). Qualitätsfaktoren konnten identifiziert und das zu erwartende Leistungsspektrum eingegrenzt werden, so dass nun eine Methodik zur

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Verfügung steht, um auch eine Vielzahl der auf dem Markt zur Abdichtung angebotenen Stopfmörtel und Injektionsmaterialien in einem IKT-Warentest miteinander zu vergleichen.

Nachtests von Materialien und -verfahren zur Schachtsanierung

Die Testergebnisse zeigen für die untersuchten Sanierungssysteme eine große Bandbreite, mit individuellen Stärken und Schwächen. Der Versuchsaufbau und das entwickelte Bewertungskonzept stehen nun zum Test weiterer auf dem Markt angebotener bzw. verbesserter Sanierungssysteme zur Verfügung.

Weitergehende Tests und Prüfungen an Kunststoffschächten

Im Rahmen des Vorhabens konnte gezeigt werden, dass die beispielhaft untersuchten Kunststoffschächte aus PE-HD nur geringe Leistungsreserven zur Kompensation einer fehlerhaften Bettung oder einer Fehlbelastung, z.B. durch Baustellenverkehr, besitzen. Die Untersuchung weiterer, auf dem Markt verfügbarer Kunststoffschächte bietet sich an. Darüber hinaus bietet das neu entwickelte MAC-System die Möglichkeit, in situ die Bettungsqualität von Kunststoffschächten im eingebauten Zustand zerstörungsfrei zu kontrollieren.

Schulungen für Auftraggeber und Auftragnehmer

Das nunmehr abgeschlossene Projekt bietet umfassend praxisrelevante Informationen zur Schachtsanierung, z.B. hinsichtlich Untergrundvorbereitung, Vorabdichtung, Sanierungsausführung und Sanierungskontrolle. Die Ergebnisse sind in dem vorliegenden Bericht und weiteren Dokumenten (Muster-ZTV und -Leistungstexte) zusammengefasst. In Schulungen für Auftraggeber und Auftragnehmer kann dieses Wissen nun in praxisorientierter Weise weiter verbreitet werden.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

12 Literatur- und Quellenverzeichnis

[1] Bosseler, B.; Homann, D.; Kaltenhäuser, G.: Bundesweite Umfrage zur Sanierung von Schachtbauwerken im Bereich der Abwassertechnik mittels Beschichtungsverfahren. Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Juli 2001.

[2] Bosseler, B.; Birkner, T.: Umsetzung der Selbstüberwachungsverordnung Kanal (SüwV Kan) bei den kommunalen Netzbetreibern und Wasserverbänden in NRW; Endbericht des IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW, Dezember 2003.

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

[4] SüwVO Abw: Verordnung zur Selbstüberwachung von Abwasseranlagen – Selbstüberwachungsverordnung Abwasser – SüwVO Abw vom 17.Oktober 2013

[5] 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.

[6] Bosseler, B.; Puhl, R.: Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten - Studie zu Qualitätseinflüssen und Einsatzgrenzen anhand von Praxis- und Laboruntersuchungen. Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Februar 2005.

[7] Liebscher, M.; Gillar, M.; Bosseler, B.: Sanierung von Abwasserschächten - Untersuchung von Materialien und Systemen zur Abdichtung und Beschichtung. Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, April 2011.

[8] „Auswahl, Planung und Durchführung von Sanierungsmaßnahmen in gemauerten Abwasserkanälen am Beispiel der Demonstrationsbaustelle Hauptsammler zwischen Haspeler Straße und Robert-Daum-Platz in Wuppertal“, Forschungsantrag der Wuppertaler Stadtwerke AG an das MUNLV NRW; April 2002.

[9] German Society for Trenchless Technology e.V. (GSTT): Anforderungen an Mörtel für Abwasserkanäle und Bauwerke der Ortsentwässerung, Teil1: Zementgebundene Mörtel, Informationen Nr. 18 des Arbeitskreises Nr. 3: Grabenloses Bauen und Leitungsinstandhaltung; Dezember 2003.

[10] Deutsche Bauchemie e.V.: Anwendung von mineralischen Systemen in abwassertechnischen Anlagen; Sachstandsbericht, November 1997.

[11] Bundesanstalt für Straßenwesen: ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Köln, FGSV-Verlag, 2003.

[12] Werner, M.: Einflussparameter und Wirkmechanismen beim Abtrag von Mörtel und Beton mit dem Hochdruckwasserstrahl [Dissertation]. Aachen, Rheinisch-

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Westfälische-Technische Hochschule, 1991.

[13] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 8200: Strahlverfahrenstechnik - Begriffe, Einordnung der Strahlverfahren. Berlin-Köln, Beuth Verlag GmbH, 1982.

[14] Momber, A.: Anwendungsgrundsätze beim Hochdruckwasserstrahlen in der Betoninstandsetzung. In: Bautenschutz + Bausanierung, Bd. 14, S. 130-133, 1991.

[15] Momber, A.: Untersuchungen zum Verhalten von Beton unter der Belastung durch Druckwasserstrahlen. Düsseldorf, VDI-Verlag GmbH, 1992.

[16] Carreño-Olejua, R.: Entwicklung eines Verfahrens zum Schneiden und Schälen von Obst mit Hochdruckwasserstrahlen [Dissertation]. Kassel, Universität, 2014.

[17] Ohnesorge, W. v.: Die Bildung von Tropfen an Düsen und die Auflösung flüssiger Strahlen. In: Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, Bd. 16, Nr. 5, S. 335-358, 1936.

[18] Momber, A.: Grundlagen des Reinigens von Beton mit Druckwasserstrahlen. In: Betontechnik, Bd. 1, S. 32-35, 1991.

[19] Louis, H.: Aktueller Stand der Wasserstrahltechnik. Hannover, Universität, 2000.

[20] Wiedermeier, J.: Flüssigkeitsfreistrahlen großer Relativgeschwindigkeit und Bruchkinetik spröder Werkstoffe [Dissertation]. Hannover, Universität, 1981.

[21] Brinksmeier, P.; Roth, E.: Hochdruck-Wasserstrahlen - ein neues Verfahren zur mechanischen Randzonenverfestigung. In: Härterei-Technische Mitteilungen, Bd. 45, Nr. 5, S. 300-3, 1990.

[22] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 4051: Kanalklinker – Anforderungen, Prüfung, Überwachung. Berlin, Beuth Verlag GmbH, April 2002.

[23] Rohrleitungssanierungsverband e. V.: RSV Merkblatt 6.2: Sanierung von Schächten und Bauwerken in Entwässerungssystemen - Reparatur/Renovierung. Lingen (Ems), Vulkan-Verlag GmbH, September 2010.

[24] Kauw, V.: Anwendung der Hochdruck-Wasserstrahl-Technik auf Beton. Aufrauen, Abtragen und Schneiden von Beton. Stuttgart, Fraunhofer IRB Verlag, Mai 1996.

[25] Momber, A.: Handbuch Druckwasserstrahl Technik. Düsseldorf: Beton-Verlag, 1993.

[26] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1048-2: Prüfverfahren für Beton. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Juni 1979.

[27] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.: DGUV Regel 100-500: Betreiben von Arbeitsmitteln. Berlin, April 2008.

[28] Schäffler, H.; Bruy, E.; Schelling, G.: Baustoffkunde: Aufbau und Technologie, Arten und Eigenschaften, Anwendung und Verarbeitung der Baustoffe [mit europäischer Norm]. 9., völlig überarbeitete Auflage. Würzburg, Verlag Heinrich

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Vogel, 2005.

[29] Bonk, M.: Lufsky Bauwerksabdichtung. 7., vollständig aktualisierte und erweiterte Auflage. Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag, August 2010.

[30] Klausen, D.; Hoscheid, R.; Lieblang, P.: Technologie der Baustoffe. 15. Auflage. Berlin, VDE Verlag, 2013.

[31] Stephan, D.; O. Henning, O.; Knöfel, D.: Baustoffchemie - Eine Einführung für Bauingenieure und Architekten. 7. Auflage. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2014.

[32] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 206: Beton - Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Juli 2014.

[33] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 2413: Nahtlose Stahlrohre für öl- und wasserhydraulische Anlagen – Berechnungsgrundlage für Rohre und Rohrbögen bei schwellender Beanspruchung. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2011.

[34] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 13480-3: Metallische industrielle Rohrleitungen – Teil 3: Konstruktion und Berechnung. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013.

[35] Goris, A.: Schneider Bautabellen für Ingenieure. 19. Auflage. Köln, Werner Verlag, 2010.

[36] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: DWA M 143 - 17: Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden - Teil 17: Beschichtung von Abwasserleitungen, -kanälen und Schächten mit zementgebundenen mineralischen Mörteln. Hennef, DWA, Dezember 2006.

[37] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e.V.: DAfStb-Richtlinie: Schutz und Instandhaltung von Betonbauteilen (Instandsetzungs-Richtlinie). Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2001.

[38] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 752: Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden – Kanalmanagement. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Oktober 2015.

[39] Göttinger Entsorgungsbetriebe: Prüfbericht P05833 zum Prüfauftrag Messungen Kunststoffschacht. Göttingen, 2016.

[40] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1610: Einbau und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Dezember 2015.

[41] Kunststoffrohrverband e. V.: Kunststoffrohr Handbuch: Rohrleitungssyteme für die Ver- und Entsorgung sowie weitere Anwendungsgebiete. 4. Auflage. Essen, Vulkan-Verlag GmbH, 2000.

[42] Steinzeug GmbH: Steinzeug Handbuch – Ein komplettes Programm für die moderne Abwasserkanalisation. 9. neubearbeitete Auflage. Köln, Steinzeug GmbH, 1998.

[43] Rehau AG + Co: Firmeninformation zur Schacht-in-Schacht-Sanierung. Rehau,

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

2013.

[44] Puhl, R.: Handbuch Schacht 2007: Technik, Grundlagen, Marktübersicht., Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur GmbH, 2007.

[45] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 178: Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften. Berlin, Beuth Verlag GmbH, September 2013.

[46] Stein, D., C. Falk und M. Liebscher: Sanierung schadhafter Schachtabdeckungen. Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, November 1995.

[47] Novák, B.; Gabler, M.: Leitfaden zum DIN Fachbericht 101: Einwirkungen auf Brücken. Berlin, Ernst & Sohn, 2003.

[48] Najafi, M.; Sever, F.: Structural Capabilities of No-Dig Manhole Rehabilitation. Alexandria, WERF, 2015.

[49] Thépot, O.: Prise en compte des caractéristiques en petites déformations des sols dans l'étude du comportement des collecteurs enterrés [Thèse de doctorat]. Champs-sur-Marne: École Nationale des Pont et Chaussées, 2004.

[50] IKT-Abschlussbericht: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Standsicherheitsbewertung von Kanal-Großprofilen im Bestand. Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, 2013.

[51] Thépot, O.: Experimentelle Beurteilung der Standsicherheit von begehbaren Sammlern mit dem MAC-Prüfsystem. In: 3R, Nr. 3-4, 2012.

[52] Neumüller, O.-A.: Römpps Chemie Lexikon. 8. Auflage. Stuttgart, Franckh'sche Verlagshandlung, 1983.

[53] Wesche, K.: Baustoffe für tragende Bauteile. Band 3: Stahl, Aluminium (Metallische Stoffe): Herstellung, Eigenschaften, Verwendung, Korrosion. 2.Auflage Wiesbaden und Berlin, Bauverlag GmbH, 1985.

[54] Röthemeyer, F.; Sommer, F.: Kautschuktechnologie. 2. Auflage. München und Wien, Carl Hanser Verlag, 2006.

[55] Lenk, R.; Gellert, W.: Brockhaus ABC Chemie in zwei Bänden. Leipzig, VEB F.A. Brockhaus Verlag, 1964.

[56] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 295-3: Steinzeugrohrsysteme für Abwasserleitungen und -kanäle - Teil 3: Prüfverfahren. Berlin, Beuth Verlag GmbH, März 2012.

[57] TÜV Rheinland AG: Prüf- und Labordienstleistungen für die Industrie. Klimasimulation. Köln, TÜV Rheinland AG [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.tuv.com/de/deutschland/aktuelles/pruef__und_labordienstleistungen_fuer_die_industrie/klimasimulation/klimasimulation.html

[58] TÜV Rheinland AG: Prüf- und Labordienstleistungen für die Industrie. Hagelschlag. Köln, TÜV Rheinland AG [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter:http://www.tuv.com/de/deutschland/aktuelles/pruef__und_labordienstleistungen_fuer_die_industrie/hagelschlag/hagelschlag.html

[59] TÜV Rheinland AG: Prüf- und Labordienstleistungen für die Industrie. Schlagregentest, Windwiderstand. Köln, TÜV Rheinland AG [Zugriff am 03.12.2015].

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Verfügbar unter: http://www.tuv.com/de/deutschland/aktuelles/pruef__und_labordienstleistungen_fuer_die_industrie/schlagregentest__windwiderstand/schlagregentest_windwiderstand.html

[60] TÜV Rheinland AG: Prüf- und Labordienstleistungen für die Industrie. UV-Tests mit und ohne Bewitterung. Köln, TÜV Rheinland AG [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.tuv.com/de/deutschland/aktuelles/pruef__und_labordienstleistungen_fuer_die_industrie/uv_test_mit_und_ohne_bewitterung/uv_tests_mit_und_ohne_bewitterung.html

[61] A 2000 Industrie-Elektronik GmbH: Jedes Produkt verlangt – und bekommt! – „Eigene“ Prüf-Strategie. Friesenheim, A 2000 Industrie-Elektronik GmbH [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.a2000elektronik.de/leistungen/pruefungen.html

[62] FSKZ e.V.: Thermo-oxidative Alterung von Polyolefinen. Würzburg, FSKZ e.V. [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.skz.de/de/forschung/geschaeftsfelder/bauteileigenschaften/neuer-ordner/2972.Thermo-oxidative_Alterung_von_Polyolefinen.html

[63] FSKZ e.V.: Witterungsverhalten. Würzburg, FSKZ e.V. [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.skz.de/de/forschung/geschaeftsfelder/bauteileigenschaften/neuer-ordner/2969.Witterungsverhalten.html

[64] FSKZ e.V.: Biogene Alterung. Würzburg, FSKZ e.V. [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.skz.de/de/forschung/geschaeftsfelder/bauteileigenschaften/neuer-ordner/3126.Biogene_Alterung.html

[65] TÜV Rheinland AG: Prüf- und Labordienstleistungen für die Industrie. Salznebeltest. Köln, TÜV Rheinland AG [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.tuv.com/de/deutschland/aktuelles/pruef__und_labordienstleistungen_fuer_die_industrie/salznebeltest/salznebeltest.html

[66] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 61701: Salznebel-Korrosionsprüfung von photovoltaischen (PV-) Modulen. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Oktober 2012.

[67] FSKZ e.V.: Chlorbeständigkeit von Kunststoffrohren. Würzburg, FSKZ e.V. [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.skz.de/de/forschung/geschaeftsfelder/bauteileigenschaften/neuer-ordner/2971.Chlorbestaendigkeit_von_Kunststoffrohren.html

[68] ASTM F2023: Standard Test Method for Evaluating the Oxidative Resistance of Crosslinked Polyethylene (PEX) Tubing and Systems to Hot Chlorinated Water. Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2013.

[69] Fraunhofer-Gesellschaft: Thermoanalyse. München, Fraunhofer-Gesellschaft [Zugriff am 03.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.lbf.fraunhofer.de/de/laborpruefeinrichtungen/polymer-charakterisierung/physikalische-charakterisierung1/Kalorimetrie.html

[70] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 11357: Kunststoffe - Dynamische Differenz-Thermoanalyse (DSC) - Teil 1: Allgemeine Grundlagen. Berlin,

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Beuth Verlag GmbH, März 2010

[71] Wittmann, F.H.: Werkstoffwissenschaften und Bausanierungen, Teil 3. Ehningen, Expert Verlag GmbH, 1993.

[72] Knowledge Factory GmbH: Prüfung von Beschichtungen. Bochum: Knowledge Factory GmbH [Zugriff am 15.12.2015]. Verfügbar unter: http://www.unitracc.de/know-how/fachbuecher/instandhaltung-von-kanalisationen/sanierung/renovierung/beschichtungsverfahren/pruefung-von-beschichtungen

[73] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 148-1: Metallische Werkstoffe - Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy - Teil 1: Prüfverfahren. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Januar 2011.

[74] Zwick GmbH & Co. KG: Dauerschwingversuch. Ulm: Zwick GmbH & Co. KG [Zugriff am 16.11.2015]. Verfügbar unter: https://www.zwick.de/de/anwendungen/dauerschwingversuch.html

[75] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 50100: Schwingfestigkeitsversuch - Durchführung und Auswertung von zyklischen Versuchen mit konstanter Lastamplitude für metallische Werkstoffproben und Bauteile. Berlin, Beuth Verlag GmbH, November 2015.

[76] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 3385: Weich-elastische polymere Schaumstoffe - Bestimmung der Ermüdung im Dauerschwingversuch mit Stoßbelastung unter konstanter Kraft. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Oktober 2014.

[77] Fraunhofer-Gesellschaft: Ultraschallmikroskopie. München, Fraunhofer-Gesellschaft [Zugriff am 26.11.2015]. Verfügbar unter: http://www.lbf.fraunhofer.de/de/labor-pruefeinrichtungen/polymer-charakterisierung/physikalische-charakterisierung1/ultraschallmikroskopie.html

[78] Fraunhofer-Gesellschaft: Dynamisch-Mechanische Analyse. München, Fraunhofer-Gesellschaft [Zugriff am 26.11.2015]. Verfügbar unter: http://www.lbf.fraunhofer.de/de/labor-pruefeinrichtungen/polymer-charakterisierung/physikalische-charakterisierung1/DMTA.html

[79] Bosseler, B.; Liebscher, M.: Erneuerung mit dem Berstverfahren - Bemessung, Prüfung und Qualitätssicherung von Abwasserrohren. Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, 2003.

[80] Internationale Organisation für Normung: PAS 1075: Rohre aus Polyethylen für alternative Verlegetechniken – Abmessungen, technische Anforderungen und Prüfungen. Berlin, Beuth Verlag GmbH, April 2009.

[81] ÖVGW/GRIS Prüfrichtlinie PW 405/1: Rohrleitungssysteme aus Polyethylen PE 100-RC für nicht konventionelle Verlegetechniken in der Trinkwasserversorgung- Teil 1: Rohre aus Polyethylen PE 100-RC, Wien, ÖVGW/GRIS, November 2012.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

[82] Raupach, M.; Schulte-Holthausen, R.: Alterung von Abwasserschächten – Literaturrecherche und Laborversuche. Aachen, Dezember 2015.

[*83*] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 1045: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Berlin, Beuth Verlag GmbH, August 2014.

[84] Bundesanstalt für Straßenwesen: ZTV-ING: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten. Köln, FGSV-Verlag, 2007.

[85] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 19573: Mörtel für Neubau und Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Entwurf. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Juni 2013.

[86] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e. V.: Merkblatt DWA-M 168 - Korrosion von Abwasseranlagen - Abwasserableitungen. Hennef, DWA, 2010.

[87] Emschergenossenschaft: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Herstellung und Lieferung von Abwasserrohren aus Beton und Stahlbeton. 2011.

[88] Kampen, R.; Bose, T.; Klose, N.: Betonbauwerke in Abwasseranlagen. Planung, Bau, Instandhaltung. 5. Auflage. Düsseldorf, Verlag Bau+Technik GmbH, 2011.

[89] Bosseler, B.; Puhl, R.: Beschichtungsverfahren zur Sanierung von Abwasserschächten - Studie zu Qualitätseinflüssen und Einsatzgrenzen anhand von Praxis- und Laboruntersuchungen (Langbericht). Gelsenkirchen, IKT – Institut für Unterirdische Infrastruktur, Februar 2005, S. 1-249.

[90] Taffe, A.; Pohl, M.; Schwamborn, B.; Schoßmann, A.: Betonkorrosion durch Schwefelsäure an Abwasserbauwerken. In: Beton- und Stahlbetonbau. **102**(10), S. 691-698, 2007.

[91] Hillemeier, B.; Buchenau, G.; Herr, R.; et al.: Spezialbetone. In: Bergmeister K. und J. Wörner: Beton Kalender 2006. 95. Ausgabe. Berlin, Ernst & Sohn, S. 519-583, 2005.

[92] Breit, W.: Säurewiderstand von Beton. In: Beton. **52**(10), S. 505-510, 2002.

[93] Seyfried, C.F. und M. Lohse: Untersuchungen zur biogenen Schwefelsäurekorrosion in einer Großversuchsanlage. In: Tiefbau Ingenieurbau Straßenbau. **25**(8), S. 482-484, 1983.

[94] Bock, E.: Abwasserkanäle. Biologische Korrosion. In: Tiefbau, Ingenieurbau, Strassenbau. **26**(5), S.240, 243-244, 246-247, 250, 1984.

[95] Diercks, M.; Sand, W.; Bock, E.: Microbial corrosion of concrete. In: Experientia, Nr. 47, S. 514-516. 1991.

[96] Monteny, J.; Vincke, E.; Beeldens, A.; De Belie, N.; Taerwe, L.; Van Gemert, D.; Verstraete, W.: Chemical, Microbioligical, and In Situ Test Methods for Biogenic Sulfuric Acid Corrosion of Concrete. In: Cement and Concrete Research. **30**(4), S. 623-634, 2000.

[97] Vincke, E.; Monteny, J.; Beeldens, A.; De Belie, N.; Taerwe, L.; Van Gemert, D.; Verstraete, W.: A new test procedure for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. In: Biodegration. **10**(6), S. 421-428, 2000.

[98] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 4051: Kanalklinker - Anforderungen,

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

Prüfung, Überwachung. Berlin, Beuth Verlag GmbH, April 2002.

[99] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 998-2: Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Dezember 2010.

[100] Ehrenstein, G. und S. Pongratz: Beständigkeit von Kunststoffen. München, Carl Hanser Verlag, 2007.

[101] Schulte Holthausen, R.; Stahl, H.; Raupach, M.: Spritzbarer, säurebeständiger Epoxidharzmörtel für die Instandsetzung von abwassertechnischen Anlagen. In: Restoration of Buildings and Monuments. **20**(5), S. 311-324, 2014.

[102] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 175: Kunststoffe – Prüfverfahren zur Bestimmung des Verhaltens gegen flüssige Chemikalien. Berlin, Beuth Verlag GmbH, März 2011.

[103] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V.: Merkblatt DWA-M 211 - Schutz und Instandsetzung von Betonbauwerken in kommunalen Kläranlagen. Hennef, DWA, 2008.

[104] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser und Abfall e.V.: Merkblatt DWA-M 143 - Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden. Hennef, DWA, 2004.

[105] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1542: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Messung der Haftfestigkeit im Abreißversuch. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Juli 1999.

[106] Raupach, M.; Büttner, T.: Concrete Repair to EN 1504. Diagnosis, Design, Principles and Practice. London, CRC Press Taylor & Francis Group, 2014.

[107] Schulz, R.: Beton als Beschichtungsuntergrund: Über die Prüfung des Festigkeitsverhaltens von Betonoberflächen mit dem Abreißversuch. Dissertation, Aachen, 1984.

[108] Momber, A.; Schulz, R.: Handbuch der Oberflächenbearbeitung Beton: Bearbeitung - Eigenschaften - Prüfung. Berlin, Springer Science & Business Media, 2005.

[109] Benedix, R.: Bauchemie. Einführung in die Chemie für Bauingenieure und Architekten. 5. Auflage. Berlin, Vieweg+Teubner Verlag, 2011.

[110] Orlowsky, J.; Raupach, M.: Biogene Schwefelsäurekorrosion in Abwasseranlagen - Mechanismen und Schutzmöglichkeiten: Biogenic Acid Sulphur Corrosion in Waste-Water Plants - Mechanisms and Possibilities of Protection. In: Aachener Schriften zur Stadtentwicklung, Nr. 14, 11, 2010.

[111] Bundesanstalt für Wasserbau: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbeton, 2013.

[112] Kaempfer, H.W.; Dimmig, A.; Stark, J.: Resistance of concrete sewer coatings to chemical and biogenic attacks. Proceedings of the International Conference. In: Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting (ICCRRR): S. 58-59, 2006.

[113] Hüttl, R.; Kleen, E.: Die Leistungsfähigkeit mineralischer Beschichtungssysteme zum Schutz abwassertechnischer Anlagen. In: Betonwerk International BWI.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

12(6), S. 138-143, 2009.

[114] Stadtentwässerung Hamburg: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für den Bau von Sielen. 2015.

[115] Betoglass: Entkoppelter Oberflächenschutz aus Glas. Workshop Betonrohre & -schächte, 2004(5).

[116] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. DVGW: Arbeitsblatt W 300 Teil 1 bis 5 - Trinkwasserbehälter; Teil 1: Planung und Bau; Teil 2: Betrieb und Instandhaltung; Teil 3: Instandsetzung und Verbesserung; Teil 4: Werkstoffe, Auskleidungs- und Beschichtungssysteme - Grundsätze und Qualitätssicherung auf der Baustelle; Teil 5: Werkstoffe, Auskleidungs- und Beschichtungssysteme - Anforderungen und Prüfung. Bonn, DVGW, 2014.

[117] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 14879-1: Beschichtungen und Auskleidungen aus organischen Werkstoffen zum Schutz von industriellen Anlagen gegen Korrosion durch aggressive Medien. Berlin, Beuth Verlag GmbH, Dezember 2005.

[118] Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 1766: Produkte und Systeme für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken - Prüfverfahren - Referenzbetone für Prüfungen. Berlin, Beuth Verlag GmbH, März 2000.

[119] VSB - Verband zertifizierter Sanierungsberater, *ZVT 8 – Schachtsanierung*. Ausgabe: 04-2007.

[120] DWA M143-4, Sanierung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäuden – Teil 4: Montageverfahren für begehbare Abwasserleitungen und -kanäle und Bauwerke. Ausgabe: 08-2004.

[121] Saaty, T.: *The Analytic Hierarchy Process*, RWS Publications, Pittsburgh, 1980.

[122] Germeyer, F.: Entwicklung von Kriterien und Vorgehensweisen zur Auswahl von Sanierungsverfahren für Abwasserschächte ausgehend von Ergebnissen internationaler Forschungsprojekte. Leibniz Universität Hannover, 2015.

[123] Matthews, J.; Condit, W.; McKim, R.: Report EPA/600/R-11/077: Decision Support for Renewal of Wastewater Collection and Water Distribution Systems, U.S. Environmental Protection Agency, Edison, NJ, 2011.

[124] Plenker, T.: „Multikriterielles Auswahlverfahren zur Bestimmung der bestgeeigneten Sanierungstechnik für individuelle Abwasserkanäle“, *Dissertation* an der Technische Universität Dresden, 2003.

[125] Water Research Centre Great Britain: *Sewerage Rehabilitation Manual*, Vol. II, 4th Edition, WRc Publications, Blagrove, Swindon, Wiltshire, 2001.

[126] ASCE/EWRI, WEF: Existing Sewer Evaluation and Rehabilitation - WEF Manual of Practice No. FD-6, ASCE/EWRI Manuals and Reports on Engineering Practice No.62, Third Edition, WEF Press, Alexandria, VA, 2009.

[127] National Association of Sewer Service Companies: *Performance Specification Guideline for Manhole Rehabilitation*, Marriottsville, MD, USA, 2013.

[128] *Short Course PACP/MACP*, www.ohiowea.org, URL: http://www.ohiowea.org/docs/Th0900Coll_Manhole_Assessment.pdf, Zugriff

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH

am 02.09.2015

[129] Committee on Manhole Rehabilitation of the Pipeline Division of the American Society of Civil Engineers: *Manhole Inspection and Rehabilitation Manuals and Reports on Engineering Practice No. 92*, American Society of Civil Engineers, Virginia, 2009.

[130] Baur, R.; Herz, R.; Kropp, I.: CARE-S - Computer Aided REhabilitation of Sewer networks - Conclusive Report. Decision Support Tools for Sustainable Water Network Management, Technische Universität Dresden, Dresden, 2005.

[131] Matthews, J.; Selvakumar, A.; Sterling, R.; Condit, W.: „*Analysis of Wastewater and Water System Renewal Decision-Making Tools and Approaches*“, in Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice Vol.3 Issue 4, S. 99-105, 2012.

[132] Kamarianakis, S.; Adden, H.; Thewes, M.: „*Einsatz eines Decision Analysis Modells zur Unterstützung des Planungsprozesses für den Bau unterirdischer Infrastrukturen*“, in Veröffentlichung der Ruhr-Universität Bochum im Katalog zur Wasser Berlin International, S. 2013.

©2016 All rights reserved by IKT gGmbH