

Minimalinvasive Fugensanierung

Laborpraktische Untersuchungen der Injektionsbohrnadel

Dieser Beitrag befasst sich mit der minimalinvasiven Fugensanierung, einer neuen Sanierungsmethode für undichte Fugen mit Fugenbändern. Dabei wird ein neu entwickeltes Sanierungswerkzeug („Injektionsbohrnadel“) durch die Fugendichtung gebohrt, über welches im Anschluss eine Dichtmittelinjektion erfolgen kann. In einem Forschungsprojekt wurden dabei diverse Untersuchungen mit Injektionsbohrnadeln an verschiedenen Fugenarten und Fugenbändern durchgeführt. Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über die durchgeführten Untersuchungen sowie ermittelte Chancen und Risiken der Injektionsbohrnadeln für die verschiedenen Anwendungsgebiete dargelegt.

Stichworte Fugenband; Fugensanierung; abdichtende Injektionen; Bewegungsfugen; Tübbingfugen; Pressfugen; Sanierungsverfahren

1 Einleitung

Bei durch Wasserdruck belasteten WU-Betonkonstruktionen können Bauwerksfugen aufgrund von Undichtigkeiten häufig ein Problem darstellen. Neben Konstruktionen wie Tiefgaragen und Grundwasserwannen sind auch Tunnel in offener und bergmännischer Bauweise sowie die mit Tunnelvortriebsmaschinen hergestellten Tübbingröhren aufgrund der hohen Anzahl von Fugen im Bauwerk von dieser Problematik betroffen.

Die Sanierung einer schadhafte Fugenkonstruktion ist zeit- sowie kostenintensiv und erfordert üblicherweise die Ausführung von aufwendigen Betonbohrungen durch das bewehrte Betonbauteil. Mittels eines neuartigen, minimalinvasiven Verfahrens kann der Dehnteil eines Fugenbands bzw. ein Dichtungsprofil mithilfe eines speziellen Injektionswerkzeugs („Injektionsbohrnadel“) direkt durchstoßen werden, um das Injektionsmaterial gezielt auf der Wasserseite der Fugendichtung zu platzieren [1, 2].

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten für das minimalinvasive Sanierungsverfahren wurden Funktionsmuster der Nadeln in Laboruntersuchungen für die Anwendung des Verfahrens bei klassischen WU-Betonkonstruktionen bzw. bei Tübbingröhren konstruiert und erprobt. Diese Entwicklungsarbeiten wurden in Zusammenarbeit der FH Münster, der Desoi GmbH und der Prof. Dr.-Ing. Kirschke GmbH & Co. KG im Rahmen eines Forschungsvorhabens des „Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand“ (ZIM), welches durch das Bundesministerium für

Minimal invasive joint restoration – Laboratory testing of the injection drilling needle

This paper deals with minimally invasive joint renovation, a new method of repairing leaking joints with joint tapes. A newly developed renovation tool (“injection drilling needle”) is drilled through the joint sealing and can then be used to inject a sealant. In a research project, various tests of the injection drilling needle were carried out on different joint types and joint tapes. The following is a short overview of the investigations carried out as well as the opportunities and risks determined for the injection drilling needles for the various areas of application.

Keywords joint tape; joint renovation; sealing compound injections; expansion joint; tubbing joint; press joint; renovation method

Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird, durchgeführt.

An der FH Münster wurden zur systematischen Untersuchung des Sanierungsverfahrens verschiedene Prüfeinrichtungen und Großversuchsstände entwickelt [3]. An diesen Versuchsständen konnte die Funktionalität der Sanierungswerkzeuge unter realitätsnahen Bedingungen und hohen Wasserdrücken getestet werden. Um die Funktionalität der Nadeln auch bei unterschiedlichen Fugenbewegungen untersuchen zu können, wurden einige Versuchsstände zudem so konzipiert, dass auch die Aufbringung von Bauteilbewegungen und Versätzen möglich ist. Des Weiteren wurden Langzeituntersuchungen durchgeführt, um die Dichtigkeit der eingebrachten Nadeln über einen Zeitraum von bis zu zwölf Monaten zu überprüfen. Weiterhin wurden Dichtmittelinjektionen mit Acrylatgelen und Polyurethanharzen durchgeführt, um die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Injektionsbohrnadeln zu untersuchen.

2 Minimalinvasives Sanierungsverfahren

Bei der minimalinvasiven Fugensanierung kommt eine Injektionsbohrnadel zum Einsatz, welche sowohl das Durchbohren des Fugenbands, die Dichtmittelinjektion als auch das dauerhafte und druckwasserdichte Verschließen des Bohrlochs ermöglicht [4]. Bild 1 zeigt die Injektionsnadeln mit glattem Schaft mit den Durchmessern 3, 4 und 5 mm, welche zur Sanierung von Bewegungs- und Tübbingfugen verwendet werden. Für die Sa-



Bild 1 Injektionsbohrnadeln: 3, 4 und 5 mm Durchmesser; Gewindenadel
Injection drilling needles: 3, 4 and 5 mm diameter, needle with threaded head

nierung von Pressfugen werden hingegen Nadeln mit einer Gewindebohrspitze („Gewindenadeln“) benutzt.

Bild 2 zeigt die praktische Anwendung der minimalinvasiven Fugensanierung anhand der Instandsetzung einer undichten Ringfuge einer Tübbingkonstruktion. Hierbei wurde zuerst die Tübbingfuge mit einem 18 mm großen Betonbohrer aufgebohrt und danach die Injektionsbohrnadel zusammen mit einem Injektionsrohr mithilfe eines Akkuschaubers eingebracht. Anschließend konnte die Dichtmittelinjektion direkt durch das Injektionsrohr erfolgen. Abschließend wurde das Injektionsrohr von der Injektionsbohrnadel abgedreht, welche als verlorenes Werkzeug im Bauteil verbleibt.

3 Prüfung des Sanierungsverfahrens an Elastomerfugenbändern für WU-Betonkonstruktionen

3.1 Untersuchungsumfang und Herstellung der Prüfkonstruktionen

Um den Einfluss verschiedener Fugenbandgeometrien zu erfassen, wurden in WU-Betonkonstruktionen, angelehnt an die WU-Richtlinie des DAfStb [5], die in Tab. 1 dargestellten innen liegenden Fugenbänder aus Elastomer nach DIN 7865 [6, 7] in großformatigen Probekörpern einbetoniert, an welchen die Untersuchungen der Injektionsbohrnadeln stattfanden. Zur Untersuchung der Gewindenadeln wurden zusätzlich diverse kleinformatige Probekörper hergestellt, in welche Abschnitte der Fugen-

Tab. 1 Unterscheidung der unterschiedlichen großformatigen Probekörper
Differentiation of the various large sized specimens

Fugenart	Fugenband	Untersuchungen
Bewegungsfuge	FM 350	maximaler Wasserdruck 3 bar, Langzeitversuch bei 2 bar
	FMS 350	allgemeine Untersuchungen und Fugenbewegungen bei 5 bar
	FMS 500	maximaler Wasserdruck 7 bar
Pressfuge	FM 350 HS	maximaler Wasserdruck 5 bar, abdichtende Injektion

bänder FMS 350 HS und FMS 400 HS einbetoniert wurden.

Die Herstellung der Prüfkonstruktionen und Probekörper aus Stahlbeton erfolgte im Labor der FH Münster. Die Betonage der Probekörper erfolgte in jeweils zwei Abschnitten. Hierfür wurde das Fugenband zuerst zur Hälfte in den unteren Betonkörper einbetoniert. Die Position des Fugenbands wurde dabei am Ende der Betonage ausgerichtet und fixiert. Nach dem Aushärten des zuerst betonierten Teils erfolgte die Betonage der zweiten Hälfte der Probekörper.

Zur Herstellung der Versuchskörper wurde in Vorversuchen eine optimierte Betonrezeptur bestimmt. Hierbei wurden besondere Anforderungen an die Wasserundurchlässigkeit bzw. Wasserdichtheit des Betons sowie weitergehende Anforderungen an die Fließfähigkeit und Druckfestigkeit gestellt, um die Funktionsfähigkeit der Prüfkonstruktionen zu gewährleisten. Die entwickelte Betonrezeptur ist nach DIN EN 206 [8] in die Festigkeitsklasse C40/50 einzuordnen, weist nach DIN EN 12390-8 [9] eine mittlere Wassereindringtiefe von 1,95 cm auf und ist fließfähig (F5 nach DIN EN 12350-5 [10]). Weiterhin wurde ein Abdichtungssystem zur präventiven und nachträglichen Abdichtung der Fugenbänder im Falle von Leckagen entwickelt. Durch eine großformatige Dimensionierung der Betonkörper in Kombination mit dem Ab- und Nachdichtungssystem konnte sichergestellt werden, dass auch ein Wasserinnendruck von bis zu 7 bar ohne Undichtheiten auf das Fugenband aufgebracht werden konnte.



Bild 2 Vorgehen bei der minimalinvasiven Fugensanierung
Process of minimally invasive joint restoration

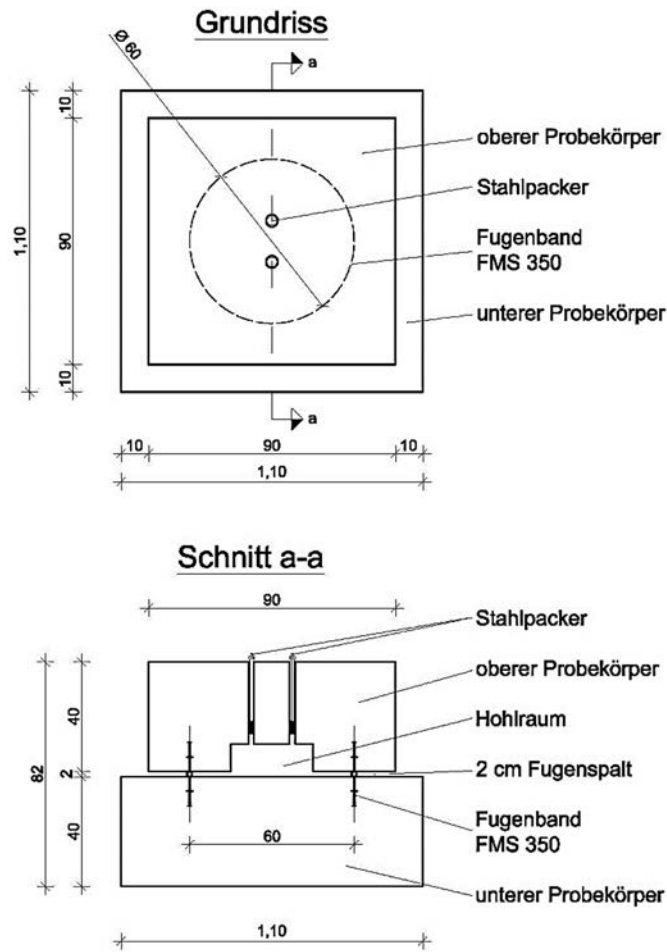


Bild 3 Schema Prüfkonstruktion Bewegungsfuge
Design test setup expansion joint

3.2 Bewegungsfugen

3.2.1 Versuchsaufbau

Bild 3 zeigt schematisch den Versuchsaufbau zur Nachbildung einer Bewegungsfuge mit einem eingebauten Fugenband. Das kreisförmige Fugenband wurde dabei in zwei massive Betonkörper einbetoniert. Von außen ergab sich zwischen den Hälften eine 2 cm große Fuge, durch welche die Injektionswerkzeuge eingeführt werden können. Zwischen den beiden Betonkörpern verblieb im Inneren des Fugenbands ein Hohlraum, welcher anschließend angebohrt wurde. Durch Stahlpacker wurde der Hohlraum mit Wasser gefüllt und unter Druck gesetzt, sodass eine innere Druckwasserbelastung auf die Fuge aufgebracht werden konnte.

Die beiden Betonprobekörper wurden vor den Untersuchungen mittels Stahlträgern und Gewindestangen gegeneinander verspannt, sodass ein Auseinanderdrücken der beiden Hälften bei der Belastung durch den Wasserdruck unterbunden wurde (vgl. Bild 6).



Bild 4 Setzen einer Injektionsbohrnadel
Insertion of an injection drilling needle

3.2.2 Allgemeine Untersuchungen

Die Injektionsnadeln wurden mit einem Injektionsrohr verschraubt und anschließend mithilfe eines speziellen Aufsatzes und eines handelsüblichen Akkuschräubers in das Fugenband eingebohrt. In den Untersuchungen erfolgten keine abdichtenden Injektionen, um die Dichtigkeit der Injektionsnadeln zu prüfen.

In den Laborversuchen sollte nachgewiesen werden, ob das Fugenband bei innen anstehendem Wasserdruck mit den Nadeln durchstoßen werden kann, ohne dass dabei Undichtigkeiten entlang der äußeren Nadelwandung auftreten. Nach dem Einbohren der Nadeln (Bild 4) wurde zudem überprüft, ob die Injektionsöffnung der Nadel das Fugenband komplett durchdrungen hat und ob der Injektionskanal der Nadel nach dem Bohren frei lag. Darüber hinaus wurde untersucht, ob sich nach dem Ziehen einer Nadel die verbleibende Einstichstelle selbst verschließt.

Die Versuche zeigten, dass alle Nadeldurchmesser (3, 4 und 5 mm) ohne Probleme in das Fugenband eingebohrt werden konnten. Auch bei einem Druck von 7 bar wurden über den Prüfzeitraum von einem Monat keine Undichtigkeiten am Fugenband bzw. am Nadelschaft erzeugt. Weiterhin konnte durch das kurzzeitige Öffnen des Kugelrückschlagventils gezeigt werden, dass die Injektionsöffnung auch nach dem Einbringen der Nadel frei lag.

Durch das Ziehen von Injektionsbohrnadeln waren trotz des bestehenden Wasserdrucks kurzfristig keine Undichtigkeiten am Bohrloch erkennbar. Jedoch besteht dabei das Risiko, dass durch die dabei einwirkende Zugkraft die Verbindung zwischen dem Schaft und Kopf der Injektionsbohrnadel gelöst wird, wodurch eine Leckage entsteht (Bild 5). Das Injektionsrohr konnte nach dem Einbohren jeweils leicht von der Nadel gelöst werden. Bei den 5 mm-Nadeln zeigte sich im Vergleich zu den 3 mm- und 4 mm-Nadeln ein größerer Einbohrwiderstand, wodurch das Injektionsrohr beim Einbohrvorgang fester mit den Nadeln verschraubt wurde. Das Injektionsrohr konnte anschließend aber jeweils problemlos mit einer ruckartigen Drehbewegung gelöst werden.

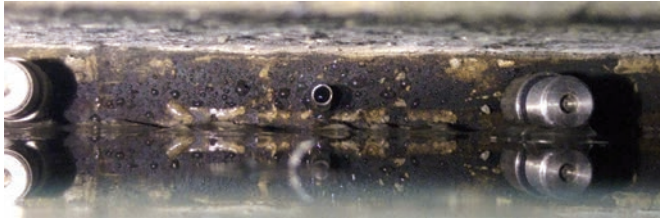


Bild 5 Injektionsbohrnadel mit abgetrenntem Nadelkopf
Injection drilling needle with removed needle head

3.2.3 Fugenbewegungen

Zusätzlich wurden nach dem Einbringen der Injektionsbohrnadeln verschiedene Fugenbewegungen aufgebracht. Zur Simulation einer vertikalen Fugenbewegung wurde die äußere Verschraubung aus Stahlträgern und Gewindestäben so justiert, dass eine zusätzliche Öffnung der Fuge um das gewünschte Maß ermöglicht wurde. Die Aufweitung der Fuge stellte sich dann beim Aufbringen des Wasserdrucks automatisch ein. Um eine horizontale Fugenbewegung zu simulieren, wurde ein hydraulischer Prüfzylinder an der oberen Hälfte des Probekörpers angebracht. Eine zusätzliche, am unteren Probekörper befestigte Stahlkonstruktion diente dabei als Widerlager (Bild 6). Eine Messeinrichtung überwachte die horizontale und vertikale Verformung des oberen Betonkörpers, um eine eventuelle Verkippung zu erfassen (Bild 6, rechts). Zusätzlich wurden Versuche mit einer Kombination aus horizontaler und vertikaler Fugenbewegung durchgeführt.

Tab. 2 gibt einen Überblick über die aufgebrachten Fugenbewegungen nach DIN 18197 [11], wobei v_r die resultierende Verformung bezeichnet. Die Verformung in x-Richtung stellt dabei eine Verformung in der Fugenbandebene, jene in y-Richtung in Fugenbandlängsrichtung und in z-Richtung quer zum Fugenband dar. Da ein kreisförmiges Fugenband in dem Probekörper einbetoniert wurde, können die horizontalen Verformungen des Fugenbands in y- und z-Richtung nicht voneinander abgegrenzt werden.

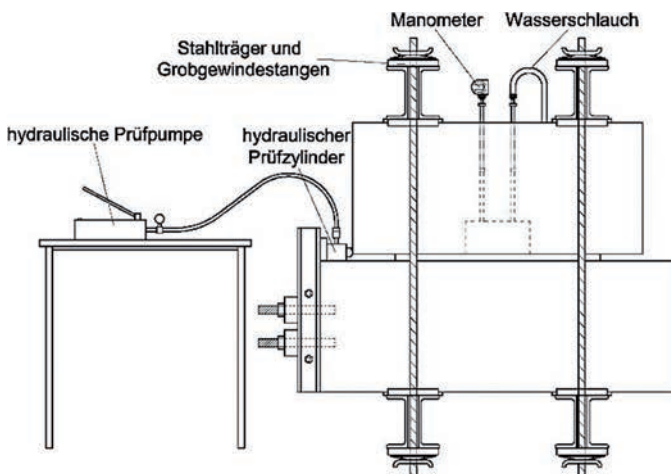


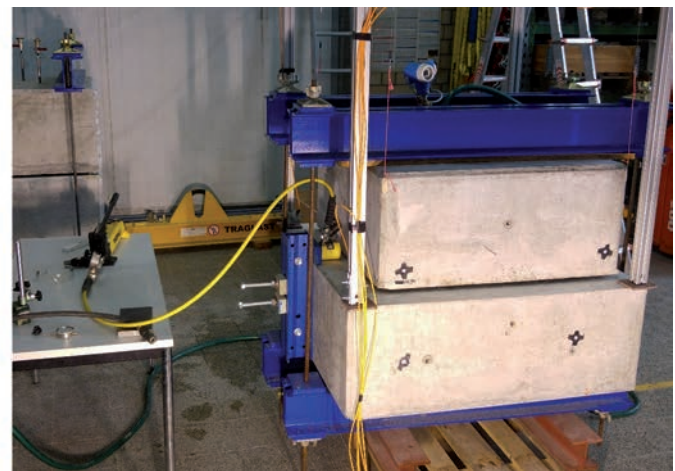
Bild 6 Versuchsaufbau für horizontale Fugenbewegungen (Schema und Foto)
Test setup for horizontal joint movements (scheme and photo)

Tab. 2 Überblick über die untersuchten Fugenbewegungen [cm]
Survey of the investigated joint movements [cm]

	horizontal			vertikal			kombiniert			
v_x	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
$v_{y/z}$	0,5	1,0	1,5	2,0	0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0
v_r	0,5	1,0	1,5	2,0	1,0	2,0	2,1	2,2	2,5	2,8

Die durchgeführten Untersuchungen fanden bei einem Wasserinnendruck von 5 bar statt. Bei der vertikalen Aufweitung der Fuge um 1 bzw. 2 cm sowie bei der horizontalen Fugenbewegung von bis zu 2 cm konnte bei keiner der zuvor gesetzten und im Fugenband verbliebenen Nadeln eine Undichtigkeit beobachtet werden. Auch bei den kombinierten Fugenbewegungen wurden keine Undichtigkeiten beobachtet.

Durch den inneren Wasserdruck wurde keine der Nadeln, weder im Ausgangszustand, noch im Zuge der Fugenbewegung, aus dem Fugenband herausgedrückt. Es wurde jedoch beobachtet, dass die Injektionsbohrnadeln bei der vertikalen Fugenaufweitung aus dem Fugenband hervorstanden und ca. 1 bis 2 cm des Nadelschafts sichtbar waren. Dies wurde jedoch auf die Verformung des Fugenbands und die damit einhergehende Verjüngung des Fugenbands in der Fugenebene und nicht auf das Herausdrücken der Nadeln zurückgeführt. Zusätzlich wurden auch die Einstichstellen von zuvor gezogenen Nadeln untersucht. Dabei zeigte sich, dass Löcher von zuvor gezogenen 4 und 5 mm großen Injektionsbohrnadeln bei den verschiedenen Fugenbewegungen Undichtigkeiten aufwiesen. Diese äußerten sich bei der vertikalen Aufweitung durch einen Wasserstrahl (Bild 7) und bei der horizontalen Fugenbewegung durch eine langsame Tropfenbildung. Einstichstellen zuvor gezogener 3 mm-Nadeln waren bei den einzelnen Fugenbewegungen trotz der Verformung des Fugenbands dicht. Bei der Kombination der horizontalen und vertikalen Fugenbewegung wurden jedoch auch hier Undichtigkeiten in Form einer langsamen Tropfenbildung festgestellt.



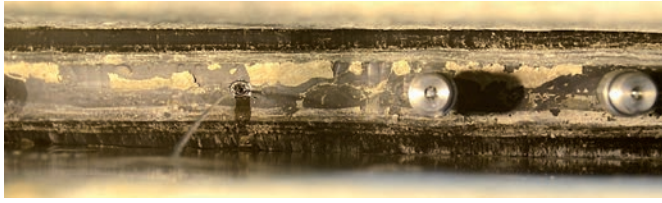


Bild 7 Leckage bei 1 cm vertikaler Fugenbewegung
Leaking at 1 cm vertical joint movement

3.2.4 Langzeitversuch

An einem Prüfkörper wurde ein zwölfmonatiger Langzeitversuch durchgeführt, um die langfristige Dichtigkeit der Injektionsbohrnadeln zu überprüfen. Die Injektionsnadeln wurden dafür wie beschrieben in das Fugenband eingebracht. Anschließend wurde der Probekörper an einen konstanten Wasserinnendruck von 2 bar angeschlossen, um den Druck dauerhaft aufrechtzuerhalten. Hierbei zeigte sich, dass alle Injektionsbohrnadeln langfristig dicht waren und nicht durch den Wasserdruck ausgetrieben wurden. An den Einstichstellen zuvor gezogener 4 mm- und 5 mm-Nadeln traten ebenfalls geringfügige Undichtigkeiten auf. Nach der Feststellung der Undichtigkeit wurden an diesen Stellen die Injektionsbohrnadeln erneut eingebracht, um die Undichtigkeit zu beheben. Die erneut eingesetzten Nadeln waren wie die Einstichstellen gezogener 3 mm-Nadeln anschließend dauerhaft dicht.

3.2.5 Eindring- und Ausziehkräfte

In weiteren Versuchen wurden zudem der Einbohr- sowie Auszugswiderstand von verschiedenen Fugenbändern mit einer Kraftmessdose ermittelt (Bild 8). Hierdurch konnte bestimmt werden, wie viel Kraft erforderlich ist, um die Nadeln durch das Fugenband zu bohren und aus dem Fugenband herauszuziehen. Letzteres ist insbesondere in der Praxis relevant, da durch die Auszugskraft und die Fläche der Injektionsbohrnadel ein äquivalenter Wasserdruck (Tab. 3) errechnet werden kann, bei dem die Nadeln aus dem Fugenband gedrückt werden würden.

3.3 Pressfugen

3.3.1 Versuchsaufbau

Der Aufbau des Prüfkörpers mit einer Pressfuge wurde grundsätzlich analog den Konstruktionen mit einer Bewegungsfuge (vgl. Bild 3) ausgeführt. Innerhalb des Fugenbands wurde in der Mitte des Probekörpers eine PE-Folie eingelegt, die bis zum Fugenband reichte, um eine Trennung der Pressfuge zu realisieren und die Ausbreitung des Wassers bis zum Fugenband zu gewährleisten. Unmittelbar darüber wurde eine Fugentrenndämmplatte eingelegt, welche umlaufend etwa 2 cm Abstand zum Fu-

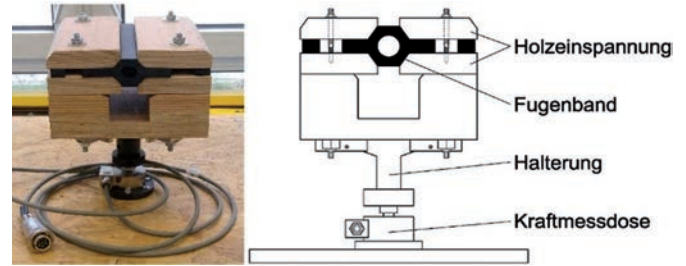


Bild 8 Versuchsstand zur Messung der Kräfte (Schema und Foto)
Test system for the measurement of forces (scheme and photo)

Tab. 3 Äquivalente Wasserdrücke [bar]
Equivalent water pressures [bar]

Fugenband	3 mm-Nadel	4 mm-Nadel	5 mm-Nadel
FMS 350	200	146	111
FMS 500	215	146	123

genband aufwies, um die Pressfuge nicht zu beeinflussen und ein Wasserreservoir zu erzeugen. Die Betonbohrungen für die wasserführenden Packer wurden anschließend bis zu dieser Ebene geführt.

3.3.2 Vorversuche

Zur Untersuchung der Praxistauglichkeit der Injektionsbohrnadel bzw. des Sanierungsverfahrens bei Pressfugen wurden zunächst verschiedene Vorversuche an kleinformatigen Betonprobekörpern durchgeführt, um die Besonderheiten bei der Sanierung von Pressfugen mit Gewindenadeln zu bestimmen. Hierfür wurden das Bohren durch den Beton bis zum Fugenband, das Einbohren der Gewindenadeln und deren Injektionsfähigkeit unabhängig voneinander untersucht.

In den Untersuchungen zum Bohrverhalten durch den Beton sollte überprüft werden, ob das Fugenband durch die Betonbohrungen beschädigt wird. Hierfür wurde ein Probekörper aus hochwertigem Beton (C40/50) mit einem langen Bohrweg bis zum Fugenband (55 cm) hergestellt, um Beschädigungen durch ein vermindertes Gefühl beim Bohren zu ermitteln. Zudem wurden zwei verschiedene Betonrezepturen mit unterschiedlichen Größtkörnern (16 und 32 mm) verwendet, um den Einfluss etwaiger Verkeilungen und dadurch bedingter erhöhter Kräfte beim Einbohren zu bestimmen.

In diesen Versuchen zeigte sich, dass das kontrollierte Aufbohren der Fuge bis zum Fugenband in Hinsicht auf eine etwaige Beschädigung des Fugenbands unproblematisch ist. Eine deutliche, spürbare Änderung des Bohrwiderstands war ein Anzeichen dafür, dass das Fugenband erreicht wurde, sodass der Bohrvorgang immer rechtzeitig beendet werden konnte. Weiterhin zeigte sich, dass das Fugenband durch den Betonbohrer auch dann nur



Bild 9 Durchbohren des Fugenbands mit der Gewindenadel (oben) und Betonoberfläche hinter dem Fugenband (unten)
Penetration of the joint tape by threaded needle (top) and concrete surface behind the joint tape (bottom)

geringfügig in Form von Eindrückungen oder Abschabungen der äußersten Schicht verletzt wurde, wenn die Bohrung grob und unvorsichtig durchgeführt wurde.

Als zweite Versuchsreihe wurde das Einbringen der Gewindenadeln untersucht. Dafür wurden Betonprobekörper so konzipiert, dass nach dem Einbringen einer Injektionsnadel der Teil des Betons hinter dem Fugenband vorsichtig abgelöst und die hinter dem Fugenband liegende Betonoberfläche freigelegt und inspiziert werden konnte. Im Versuch wurden nach der Betonbohrung die Gewindenadeln durch das Bohrloch auf zwei unterschiedliche Arten in das Fugenband gesetzt: Eine Injektionsbohrnadel wurde vorsichtig eingebohrt und bei dem spürbaren Kontakt der Bohrspitze mit dem Beton gestoppt, die andere wurde bis zu diesem Punkt eingebracht und dann weiter an dieser Stelle eingebohrt.

Hierbei wurde das Fugenband durch die Gewindenadeln so durchstoßen, dass jeweils die Injektionsöffnungen der Nadeln frei lagen (Bild 9, oben). Bei Betrachtung der Betonoberfläche an der Rückseite des Fugenbands wird deutlich, dass durch ein absichtliches Überdrehen der Nadel eine Vertiefung in den Beton gebohrt wurde, so dass die Injektionsbohrnadel weiter eindringen konnte (Bild 9, unten). Des Weiteren wurde das Fugenband durch das Holzschraubengewinde geringfügig vom Beton weggezogen. Somit ergab sich auf der Fugenbandrückseite ausreichend Raum für den Austritt der Nadelspitze bzw. der Injektionsöffnung der Nadel. Die Nadeln sind

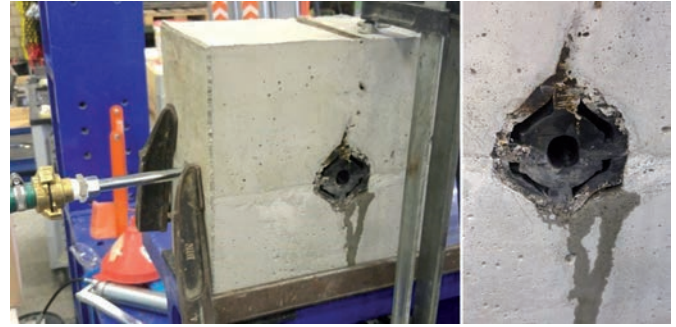


Bild 10 Einpressen von Wasser und Wasseraustritt hinter dem Fugenband
Injection of Water and water leakage behind the joint tape

folglich für die auftretenden Kräfte ausreichend dimensioniert und brechen beim Bohren nicht ab, solange sie senkrecht auf den Beton treffen.

Es wurde allerdings in einigen Fällen beobachtet, dass bei zu stark geneigtem Bohrwinkel oder Bohrungen außerhalb des mittleren Stegs der Mittelschlauchummantelung die Nadel auf die schrägen Betonflanken hinter dem Fugenband treffen kann und dabei abbricht. Hierbei wurde durch die Rotation des Akkuschraubers beim Einbringen der Injektionsbohrnadel eine Torsionsbeanspruchung erzeugt, welche die Schubfestigkeit der Verbindung zwischen der Gewindebohrspitze und dem Nadelschaft überstieg. Als Folge blieb die Gewindebohrspitze im Fugenband stecken und die Injektionsbohrnadel konnte ohne Gewindebohrspitze entfernt werden.

In zusätzlichen Versuchen wurde die Injektionsfähigkeit der Gewindenadel untersucht. Dafür fanden die Betonbohrungen in die Pressfuge und das anschließende Einbringen der Injektionsbohrnadeln mit dem Überdrehen an der Stelle statt. Danach wurde Wasser mittels Druck durch die Gewindenadel gepresst. Dieses Wasser entwich planmäßig hinter dem Fugenband und trat an den Randflächen des Betons aus (Bild 10). Somit konnte bestätigt werden, dass die Injektionsöffnungen der Gewindenadel hinter dem Fugenband frei lagen und diese durch das Einbohren nicht durch Materialeintrag (Elastomer oder Betonmehl) verstopft wurden.

3.3.3 Versuche am Großversuchsstand

Die Versuche am Großversuchsstand (vgl. Tab. 1) fanden bei 5 bar Wasserinnendruck statt. Hier wurden vier Betonbohrungen jeweils mittig in die vier Seiten des Probekörpers in die Pressfuge gebohrt und anschließend die Injektionsbohrnadeln gesetzt. Bei zwei Nadeln trat beim Anschließen eines Injektionsrohrs mit einem Ventilöffner Wasser aus und bei zweien nicht. Da in den Vorversuchen festgestellt wurde, dass ein Überdrehen der Bohrnadeln auf der Stelle grundsätzlich nicht schädlich ist und die Gewindenadeln dadurch weiter eindringen können, wurden die zwei Injektionsbohrnadeln ohne bisherigen Wasserkontakt weiter eingebohrt. Durch dieses Überdrehen löste sich bei einer Injektionsbohrnadel die Verbin-

dung zwischen dem Nadelschaft und dem Nadelkopf, so dass eine Undichtigkeit an dieser Stelle entstand.

Diese Leckage wurde durch eine Injektion von Polyurethanharz über eine benachbarte Injektionsbohrnadel beseitigt. Die Injektion fand unter dem bestehenden Wasserinnendruck von 5 bar statt. Es wurde dabei so lange verpresst, bis aus der Leckage nur noch langsam das dickflüssige Injektionsgut austrat. Nach dem Aushärten des Injektionsmaterials war auch bei höheren Wasserdrücken (bis zu 7 bar) keine Undichtigkeit feststellbar. Somit wurde auch am Großversuch die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der Gewindenadeln bewiesen.

4 Prüfung des Sanierungsverfahrens an Dichtungsprofilen für Tübbingfugen

4.1 Versuchsaufbau

Die Fugen eines Tübbingtunnels werden in der Regel durch Elastomer-Dichtungsrahmen abgedichtet, welche umlaufend um die einzelnen Segmente in Nuten eingeklebt werden. Die Dichtwirkung wird dabei durch eine ausreichende Kompression der Dichtungsprofile gewährleistet [12]. Die Konstruktion zur Untersuchung dieser Einbausituation wurde aus Stahl anstelle von Beton hergestellt, da der Versuchsstand so passgenau angefertigt werden konnte und der korrekte Einbau der Dichtungsrahmen vereinfacht wurde.

Bild 11 zeigt den schematischen Versuchsaufbau für die Eignungsuntersuchungen der Injektionsnadeln an Tübbingdichtungsrahmen. Dieser Versuchsaufbau besteht, gemäß den Empfehlungen der STUVA zur Prüfung von Dichtungsprofilen [13], aus zwei Stahlplatten mit einer eingefrästen Nut, in die jeweils ein rechteckiger Dichtungsrahmen eingelegt wurde. Mit diesem Versuchsaufbau konnten Druckwasserbelastungen auf Tübbingdichtungsrahmen von bis zu 12 bar simuliert werden.

Die beiden Stahlplatten wurden mit den eingelegten Dichtungsrahmen aufeinandergelegt und mittels einer Hydraulikpresse zusammengedrückt. Durch Stahlträger und Gewindestangen wurden die Stahlplatten anschließend fixiert und verspannt, sodass die Kompression der Dichtungsrahmen erhalten blieb und der vom Hersteller vorgegebene Arbeitsbereich eingehalten wurde. Die aufeinandergepressten Dichtungsprofile verschlossen den im Inneren des Versuchsaufbaus befindlichen Hohlraum, welcher zuerst mit Wasser gefüllt und anschließend unter Druck gesetzt wurde.

4.2 Allgemeine Untersuchungen

Die Untersuchung des minimalinvasiven Sanierungsverfahrens an Tübbingfugen bzw. an Tübbingdichtungsrahmen erfolgte an dem beschriebenen Stahlversuchsstand. Das Einbohren der Nadeln erfolgte analog der Vorge-

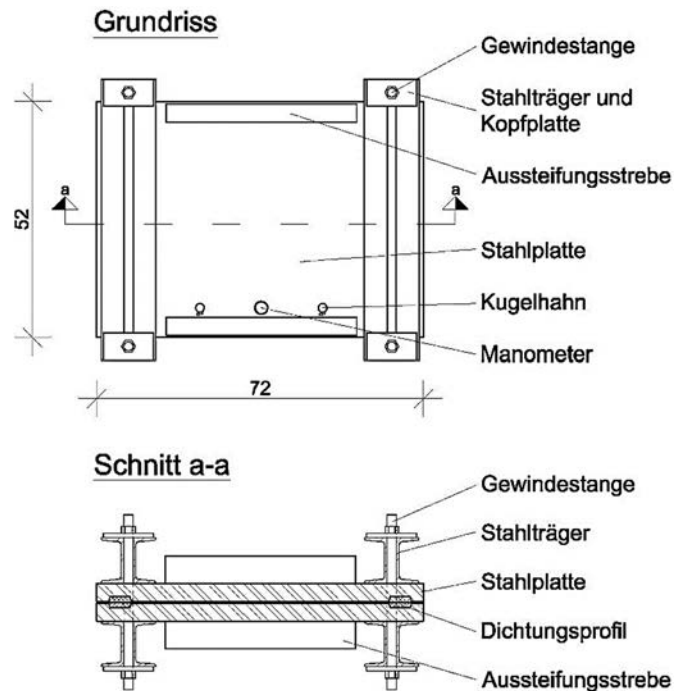


Bild 11 Schema Versuchsaufbau Tübbingdichtungsprofil
Design test setup with gasket for segmental precast lining

hensweise, die anhand der Versuche an der WU-Betonkonstruktion mit Bewegungsfuge beschrieben ist. Es wurden für die Untersuchungen zwei verschiedene Dichtungsprofile verwendet. Des Weiteren wurden auch verschiedene Kompressionsgrade der Dichtungsrahmen und Wasserdrücke untersucht.

Die Injektionsnadeln konnten in ein ohne Versatz eingebautes Tübbingdichtungsprofil bei einem Innendruck von bis zu 12 bar eingebohrt werden. Dabei zeigten sich in der Regel keine Undichtigkeiten an den Nadeln. Durch das Öffnen des Rückschlagventils wurde nachgewiesen, dass der Injektionskanal der Nadel frei lag und die Injektionsöffnung der Nadeln den innen liegenden wassergefüllten Hohlraum erreichte.

Wenn die Fugenbänder exakt übereinanderlagen und daher eine ebene Fuge zwischen den beiden Dichtprofilen erzeugt wurde, führte das Einbohren einer Nadel in diese Fuge zu Undichtigkeiten. Hier wurde durch das Einbringen der Nadel genau zwischen den beiden Dichtbändern eine Wegigkeit entlang der Nadel und zwischen den beiden Fugenbandoberflächen geschaffen und so ein Wasseraustritt ermöglicht. Durch das Ziehen einer auf diese Weise eingebrachten Nadel konnte eine solche Undichtigkeit grundsätzlich behoben werden. Durch ein derartiges Einbohren wurde jedoch einmalig eine Undichtigkeit erzeugt, welche nicht durch das Ziehen der Nadel behoben werden konnte, sodass der aufnehmbare Wasserdruck des Dichtungsrahmens nach dem Ziehen der Nadel von 12 auf 8 bar reduziert wurde. Hierbei zeigte sich nach dem Ausbau der Dichtungsrahmen, dass diese aufgrund der erhöhten Kompressionsgrade der Dichtungsprofile beschädigt wurden (Bild 12).

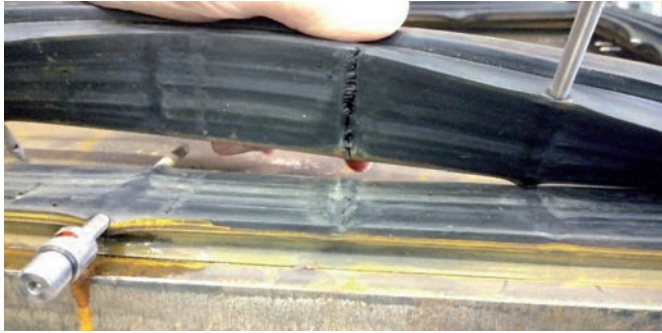


Bild 12 Beschädigung des Dichtungsrahmens
Damage of the gasket frame

4.3 Versatz der Dichtungsrahmen

Zur Untersuchung von Einbaufehlern bzw. Bauteilbewegungen (Fugenversatz) wurden die Stahlplatten und die Tübbingdichtungsprofile mit einem Querversatz von 2 bzw. 3 cm eingebaut. Dabei konnten die Nadeln in der Regel ohne Entstehung von Undichtigkeiten bei einem Wasserdruck von bis zu 5 bar eingebohrt werden. Bei dem Versatz von 3 cm wurden nur 5 mm-Nadeln eingesetzt, da diese länger sind als 3 und 4 mm-Nadeln. Durch das Öffnen des Rückschlagventils wurde hierbei ebenfalls nachgewiesen, dass ein Injektionsweg zur Innenseite des Probekörpers bestand. So konnte gezeigt werden, dass die Nadellängen darauf ausgelegt sind, das Fugenband auch trotz des Versatzes auf voller Länge zu durchdringen. Vereinzelt kam es zu geringfügigen Undichtigkeiten, was auf den zuvor beschriebenen Effekt bei Durchdringen der Fugenbänder exakt in der Lage der Fuge zwischen den Dichtungsrahmen zurückzuführen war.

4.4 Maximale Kompression

Zusätzlich wurde überprüft, ob die Dichtungsprofile auch bei der nach Herstellerangaben maximal zulässigen Kompression mit den Injektionsnadeln durchdrungen werden können. Da der großformatige Versuchskörper nicht für die zur Aufbringung der maximalen Kompression erforderliche Kraft bemessen war, wurde ein zusätzlicher einfacher Versuchsaufbau aus zwei Stahlkörpern angefertigt. In diesen wurden kurze Abschnitte des Dichtungsrahmens eingelegt, welche mit einer Hydraulikpresse zusammengedrückt wurden, um die maximale Kompression der Dichtprofile zu erzeugen. In den anschließenden Versuchen wurde nachgewiesen, dass die Nadeln in allen Größen problemlos auch in ein nach Herstellerangaben maximal komprimiertes Tübbingfugenband eingebohrt werden können.

5 Injektionsfähigkeit

Zusätzlich zu den beschriebenen Untersuchungen zur Dichtigkeit der Nadeln an den Großversuchsständen wurden verschiedene Versuche mit abdichtenden Injekti-

Tab. 4 Durchflussmengen des Injektionsmaterials
Flow quantities of the injection material

Injektionswerkzeug	Durchflussrate
3 mm-Nadel	1,42 l/min
4 mm-Nadel	1,45 l/min
5 mm-Nadel	1,31 l/min
Gewindenadel (7 mm)	1,42 l/min
Gelpacker (14 mm)	1,95 l/min

onen durchgeführt. Hierfür wurden jeweils ein Polyurethanharz sowie ein Acrylatgel von drei verschiedenen Herstellern verwendet. Dabei wurde die Durchflussmenge durch die Injektionsnadeln im Vergleich zu einem handelsüblichen Stahlpacker gemessen. Dazu wurde ein Acrylatgel mit einer 2K-Injektionspumpe mit demselben Staudruck (30 bar) über den Zeitraum von 60 Sekunden in ein Messgefäß injiziert. Hier zeigte sich, dass die Durchflussmenge der unterschiedlichen Injektionsbohrnadeln relativ konstant war und nicht maßgeblich durch den Durchmesser der Injektionsbohrnadel beeinflusst wurde (Tab. 4). Des Weiteren ergaben die Messungen, dass die Durchflussmenge der Nadeln im Vergleich zu einem Stahlpacker mit 14 mm Durchmesser nur geringfügig kleiner waren. Die Durchflussmenge der Nadeln entsprach dabei im Mittel ca. 72% der Menge, die im selben Zeitraum durch den Gelpacker injiziert werden konnte.

In weiteren Versuchen wurde das Material in kleinformatige Prüfkörper (Bewegungs- und Pressfuge) hinter das Fugenband injiziert. Das Dichtmaterial konnte dabei seitlich entlang des Fugenbands austreten. Nach dem Aushärten der Injektionsmaterialien wurden die Körper anschließend aufgeschnitten und die Verteilung des Materials hinter dem Fugenband dokumentiert (Bild 13). So konnte gezeigt werden, dass das Injektionsmaterial mit den Injektionsbohrnadeln erfolgreich hinter dem Fugenband platziert werden kann.

6 Zusammenfassung

In dem beschriebenen Forschungsprojekt der FH Münster wurden neuartige Prüfkonstruktionen konzipiert und



Bild 13 Injektionsgut auf der Rückseite eines Dehnfugenbands
Injection material on the backside of an expansion joint tape

erfolgreich in Laborversuchen eingesetzt. Mithilfe dieser Versuchsstände konnten Fugenbänder für den Einsatz in WU-Betonkonstruktionen mit einem Wasserdruck von bis zu 7 bar und Tübbingdichtungsrahmen für den Einsatz im maschinellen Tunnelbau mit bis zu 12 bar Wasserdruck belastet werden. Dadurch konnte das minimalinvasive Sanierungsverfahren mit Injektionsnadeln unter realitätsnahen Bedingungen und unter hohen Wasserdrücken getestet und untersucht werden. Das minimalinvasive Sanierungsverfahren erwies sich in den Laboruntersuchungen sowohl für den Einsatz an WU-Betonkonstruktionen als auch an Tübbingtunneln für geeignet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Injektionsbohrnadeln insbesondere für den Anwendungsfall „Sanierung von Elastomerefugenbändern für Bewegungsfugen in WU-Betonkonstruktionen“ in den Laboruntersuchungen bewährt haben. Die minimalinvasive Fugensanierung wies in den verschiedenen Versuchsvariationen keine negativen Eigenschaften auf, solange die Injektionsbohrnadeln im Fugenband verblieben. Ansonsten können Undichtigkeiten entstehen und es besteht das Risiko, dass der Nadelkopf durch das Ziehen der Injektionsbohrnadel vom Nadelschaft gelöst wird. Daher sollten die Injektionsbohrnadeln als verlorenes Werkzeug im Fugenband verbleiben.

Die allgemeine Funktionsfähigkeit der Injektionsbohrnadeln mit einer Gewindebohrspitze konnte in den Versuchen ebenfalls bestätigt werden. Jedoch ist in verschiedenen Fällen die Funktionsfähigkeit der Injektionsbohrnadeln eingeschränkt und unter Umständen können durch die Injektionsbohrnadeln ebenfalls Undichtigkeiten entstehen.

Die grundsätzliche Eignung der Injektionsbohrnadeln für Tübbingdichtungsprofile wurde in den Versuchen ebenfalls bewiesen, jedoch können weitere Undichtigkeiten beim Bohren in die Fuge von zwei übereinanderliegenden Dichtungsrahmen erzeugt werden. Vorsicht ist hier bei dem Bohren in die ebene Fuge zwischen zwei Dichtungsrahmen – insbesondere bei einer hohen Kompression der Dichtungsprofile – geboten.

Da in den bisherigen Untersuchungen nur Fugenbänder aus Elastomeren nach DIN 7865 [6, 7] verwendet wurden, kann keine Aussage über eine vergleichbare Wasserdichtheit und Funktionsfähigkeit der Injektionsbohrnadeln bei thermoplastischen Fugenbändern nach DIN 18541 [14, 15] nachgewiesen werden. Dabei wären insbesondere Langzeitversuche und Fugenbewegungen von Interesse, da thermoplastische Fugenbänder bei diesen Bedingungen plastisch erweichen [16] und somit möglicherweise der dauerhafte Verbleib der Injektionsbohrnadeln und somit die Wasserdichtheit der Sanierungsmaßnahme gefährdet wird.

Des Weiteren sollten in zukünftigen Untersuchungen Leckagen durch Dichtmittelinjektionen bei Bewegungs- und Tübbingfugen unter Laborbedingungen abgedichtet werden, um die vollständige Funktionsfähigkeit dieser Sanierungsmethode zu beweisen. Bei Letzteren könnte zudem überprüft werden, ob die Injektionen Leckagen, die beim Bohren in die Mitte zwischen zwei Dichtungsrahmen entstehen, abdichten können. Zur genauen Erforschung dieses Sanierungsverfahrens sollten daher weitere Untersuchungen und Einsätze auf Baustellen stattfinden, sodass fundierte Aussagen zu dieser neuen Sanierungsmethode getroffen werden können.

Literatur

- [1] Kirschke, D.; Schällicke, H.; Fraas, D.: *Finnetunnel: Innovative gezielte Fugennachdichtung in Tübbingröhren – Teil 1.* tunnel 32 (2013), H. 3, S. 50–59.
- [2] Kirschke, D.; Schällicke, H.; Fraas, D.: *Finnetunnel: Innovative gezielte Fugennachdichtung in Tübbingröhren – Teil 2.* tunnel 32 (2013), H. 4, S. 30–40.
- [3] Mähner, D.; Schällicke, H.; Engels, M.: *Minimalinvasive Fugensanierung – Ergebnisse aus vertieften Eignungsuntersuchungen und erste Erfahrungen aus der Praxis.* STUVA (Hrsg.) Forum Injektionstechnik 2018, Forschung + Praxis 52, 2018, S. 41–46.
- [4] Schällicke, H.: *Gezielte Fugennachdichtung ohne aufwendige Betonbohrungen bei WU-Betonkonstruktionen und Tübbingtunneln.* STUVA (Hrsg.) Forum Injektionstechnik 2016, Forschung + Praxis 48, 2016, S. 94–98.
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (Hrsg.): *DAfStb-Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie).* Beuth Verlag, Berlin, 2017.
- [6] DIN 7865-1:2015-02: *Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen im Beton – Teil 1: Formen und Maße.* Beuth Verlag, Berlin, 2015.
- [7] DIN 7865-2:2015-02: *Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen im Beton – Teil 2: Werkstoff-Anforderungen und Prüfung.* Beuth Verlag, Berlin, 2015.
- [8] DIN EN 206:2017-01: *Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität; Deutsche Fassung EN 206:2013+A1:2016.* Beuth Verlag, Berlin, 2017.
- [9] DIN EN 12390-8:2009-07: *Prüfung von Festbeton – Teil 8: Wassereindringtiefe unter Druck; Deutsche Fassung EN 12390-8:2009.* Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [10] DIN EN 12350-5:2009-08: *Prüfung von Frischbeton – Teil 5: Ausbreitmaß; Deutsche Fassung EN 12350-5:2009.* Beuth Verlag, Berlin, 2009.
- [11] DIN 18197:2018-01: *Abdichten von Fugen in Beton mit Fugenbändern.* Beuth Verlag, Berlin, 2018.
- [12] Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (Hrsg.): *Empfehlungen für den Entwurf, die Herstellung und den Einbau von Tübbingringen.* 2013.
- [13] STUVAtec Autorenteam: *Empfehlungen für die Prüfung und den Einsatz von Dichtungsprofilen in Tübbingauskleidungen.* tunnel 24 (2005), H. 8, S. 8–21.
- [14] DIN 18541-1:2014-11: *Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Beton – Teil 1:*

Begriffe, Formen, Maße, Kennzeichnung. Beuth Verlag, Berlin, 2014.

- [15] DIN 18541-2:2014-11: *Fugenbänder aus thermoplastischen Kunststoffen zur Abdichtung von Fugen in Beton – Teil 2: Anforderungen an die Werkstoffe, Prüfung und Überwachung.* Beuth Verlag, Berlin, 2014.

D. Mähner, F. Basler, M. Hausmann, J. Lengers: Minimal invasive joint restoration

- [16] Klawa, N.; Haack, A.: *Tiefbaufugen. Fugen und Fugenkonstruktionen im Beton- und Stahlbetonbau.* Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1990.

Autoren



Prof. Dr.-Ing. Dietmar Mähner
d.maehner@fh-muenster.de
FH Münster
Institut für unterirdisches Bauen
Corrensstraße 25
48149 Münster



Jacob Lengers, M. Energy
jacoblengers@fh-muenster.de
FH Münster
Institut für unterirdisches Bauen
Corrensstraße 25
48149 Münster



Felix Basler, M.Sc. (Korrespondenzautor)
f.basler@fh-muenster.de
FH Münster
Institut für unterirdisches Bauen
Corrensstraße 25
48149 Münster



Matthias Hausmann, M.Sc.
m.hausmann@fh-muenster.de
FH Münster
Institut für unterirdisches Bauen
Corrensstraße 25
48149 Münster

Zitieren Sie diesen Beitrag

Mähner, D.; Basler, F.; Hausmann, M.; Lengers, J. (2020) *Minimalinvasive Fugensanierung.* Beton- und Stahlbetonbau 115, H. 7, S. 532–541. <https://doi.org/10.1002/best.201900101>

Dieser Aufsatz wurde in einem Peer-Review-Verfahren begutachtet. Eingereicht: 9. Dezember 2019; angenommen: 12. Februar 2020.