

JÖRG BITTERLICH

# Zwischen Deckenschluss und Schiene – Fugen im Gleisbereich

Einleitung – Aufgaben einer Fuge im Gleisoberbau – Der Grundgedanke – Eine Frage des Materials – Lebenszykluskosten – Belastungsszenarien – Spannungsfeld Instandhaltung – Eine Betriebsvorschrift für ein Netz

Die elastische Fuge als Bindeglied zwischen Schiene und Deckenschluss hat große Bedeutung für die Lebenszykluskosten. Die Beachtung verschiedener Wirkmechanismen ist unumgänglich – für Unternehmer und für Betreiber.

## 1. Einleitung

Als Fuge wird ein gewollter oder toleranzbedingter Spalt oder Zwischenraum zwischen zwei Bauteilen oder Materialien bezeichnet. Je nach Lage der Fuge kann sie neben ihrem bautechnischen Zweck auch der Gestaltung dienen. Das klingt trivial, jedoch sind die Anforderungen an eine Fuge und deren Einsatzbedingungen sehr komplex. Das Wissen um Bau- und Instandhaltungstechnologien, Materialeigenschaften, gesetzlichen und infrastrukturellen Randbedingungen ist von großer Bedeutung, um mit einer durchdachten Materialauswahl einen nachhaltigen Oberbau errichten und gleichzeitig Arbeitsschutz-, sowie Umweltaspekten Rechnung tragen zu können.

## 2. Aufgaben einer Fuge im Gleisoberbau

Die Dresdner Verkehrsbetriebe AG (DVB) haben über viele Jahre Untersuchungen durchgeführt oder durchführen lassen und in einem fortlaufenden Verbesserungsprozess das verwendete Fugensystem Dresden sowie die firmeneigene Betriebsvorschrift optimiert. Dieser Beitrag soll die wichtigsten hierbei betrachteten Parameter und vorgenommenen Untersuchungen sowie Schlussfolgerungen darstellen. Ein Anspruch auf Vollständigkeit kann auf Grund der zur Verfügung stehenden Beitragsgröße leider nicht erhoben werden. Für Fragen steht der Verfasser gern zur Verfügung.

## 3. Der Grundgedanke

Im geschlossenen Oberbau stellt die Fuge das Bindeglied zwischen Schiene und anschließendem Deckenschluss dar. Sie muss sich dauerhaft mit dem Schienenstahl und dem Deckenschluss aus Asphalt, Beton oder Naturstein verbinden und das Eindringen von Wasser verhindern.

Schienen sind in der Regel elastisch gelagert, woraus Bewegungen bei der Befahrung durch ein Stadtbahnfahrzeug resultieren. Diese Bewegungen äußern sich in einer horizontalen und vertikalen Auslenkung der Schiene und sind abhängig unter anderem von der Befahrungsgeschwindigkeit, dem Bogenradius, der Elastizität

des Oberbaus, der Konstruktion und den Achslasten der verwendeten Fahrzeuge. Eine Fuge muss diese Bewegungen aufnehmen können – sowohl im Sommer als auch im Winter. Fugengeometrie, Einbautechnologie und Material müssen daran angepasst sein.

## 4. Eine Frage des Materials

Heiß oder kalt verarbeitbare Fugenvergussmasse – diese Frage steht meist am Anfang. Beide Materialien haben Vor- und Nachteile und alle beide haben ihre Berechtigung. Es gilt, die richtige Wahl zu treffen.

Heiß verarbeitbare Fugenvergussmassen werden auf bituminöser Basis hergestellt und sind mitunter elastomermodifiziert. Sie müssen vor ihrer Verwendung aufgeschmolzen werden. Geschieht dies zu schnell oder werden sie zu hoch aufgeheizt, kann es zu einem Verbrennen des Bitumens kommen. Das Material wird geschädigt und kann in der Folge die ihm zugeordnete Funktion im Fugenspalt nicht erfüllen – es kommt frühzeitig zu Schäden. In der Planung sollte somit eine richtige Technologie für das Aufschmelzen und die hierzu erforderliche Zeit berücksichtigt werden. Durch die Materialeigenschaften des Bitumens kommt es mit steigender Temperatur zu einer Erweichung. Dies kann bei warmen Bauteilen zu einem Absacken des Fugenvergussmaterials führen. Vorteilhaft für den Einbau ist das im Vergleich zu kaltverarbeitbaren

**Dipl.-Ing. (FH)  
Jörg Bitterlich,**  
Dresdner Verkehrsbetriebe AG,  
Leiter Technisches  
Controlling, Schweiß-  
aufsicht Oberbau –  
SFM(Os), Dresden

## Video-Datenspeicher



für GSP-Systeme  
256GB-HDD  
mit IDE-Controller

Ab Lager!

Einschubkassette mit  
Griffschleife und  
Arretierung



Vereinigte Elektronikwerkstätten GmbH  
Edisonstraße 19 \* 28357 Bremen  
Fon: 0421/271530 www.vew-gmbh.de

plug-and-play formatiert  
kompatibel einsetzbar

Fugenvergussmassen relativ breite Witterungsspektrum. Im Allgemeinen werden als Einbauvoraussetzung trockene Witterung und Oberflächentemperatur Bauteil über 0°C angegeben. Die Abkühlung des frisch vergossenen Materials erfolgt innerhalb weniger Stunden. Danach kann der Verkehr freigegeben werden. Im Vergleich zu Kunststofffugen sind die Kosten für Material und Herstellung einer bituminösen Fuge günstig. Durch Umwelteinflüsse (UV-Strahlung), schwankende Bitumenqualität oder Verarbeitungsfehler kann es zu einer frühzeitigen Versprödung kommen.

Als kalt verarbeitbare Materialien haben sich Polysulfide oder gießfähige Elastomere bewährt. Sie bestehen aus mehreren Komponenten, welche miteinander vermischt werden müssen. Vom Hersteller werden hierzu aufeinander abgestimmte Gebinde angeboten. Mischzeit und

Mischtechnologie nach Herstellerangaben sind genau einzuhalten. Anderenfalls kann es zu Inhomogenitäten des Materials kommen, was Auswirkungen auf die Materialeigenschaften und damit auch auf die Dauerhaftigkeit der Fuge hat. Auch die durch die Hersteller vorgegebenen Einbaubedingungen sollten unbedingt befolgt werden, möchte man eine qualitativ hochwertige und langlebige Fuge herstellen. Leider bedingt dies, dass ein recht kleines Witterungsfenster zur Verfügung steht. Üblicherweise lauten die Anforderungen „Trocken, Temperaturen 5°C – 35°C und 3°C über Taupunkttemperatur“. Geeignete Kunststoffe sind relativ kostenintensiv, weisen auf der anderen Seite aber ein hohes Rückstellverhalten und sehr gute Alterungsbeständigkeit auf. Auch an beheizten Weichteilen können Sie eingesetzt werden, ohne ein Absacken befürchten zu müssen.

Für die Prüfung des verwendeten Materials kann man sich bei bituminösen Fugenvergussmassen vorhandener Regelwerke bedienen. Im Zuge der Bauausführung erfolgt dies im Rahmen von Kontrollprüfungen. Hier wird Material direkt von der Lanze des Fugenvergusskochers entnommen und hinsichtlich der Anforderungen nach TL Fug-StB kontrolliert. Dazu gehören unter anderem Konuspenetration, elastisches Rückstellverhalten, Erweichungspunkt Ring und Kugel sowie Dehn- und Haftvermögen vor und nach Wärmealterung (Bild 1).

Bei Kunststofffugen gibt es derzeit kein Regelwerk, welches die gleisbauspezifischen Randbedingungen berücksichtigt. Daher hat sich die DVB in einem ersten Schritt entschlossen, Materialprüfungen in Anlehnung an DIN EN ISO 8340 „Hochbau – Fugendichtstoffe – Bestimmung des Zugverhaltens unter Vorspannung“ und DIN EN 14188-2 „Fugeneinlagen und Fugenmassen – Teil 2: Anforderungen an kalt verarbeitbare Fugenmassen“ durchzuführen. Die üblicherweise verwendeten Mörtelprismen wurden nicht eingesetzt. Stattdessen wurde eine Fugenseite mit dem Rillenkopf einer Rillenschiene gebildet und die andere Seite mit Gussasphalt. Die gewählte Fugenbreite für den Versuch entsprach, genau wie die Fugentiefe, der im Netz vorhandenen Fugegeometrie. Nach Probenherstellung erfolgte eine Dehnung um 100 Prozent, welches 24h gehalten wurde (Bild 2). In einem zweiten Schritt wurden noch die maximalen Zugspannungen mit der zugehörigen Fugenaufweitung erfasst. Perspektivisch soll eine Prüfung erfolgen, welche die realen Belastungsbedingungen bei Straßenbahnbefahrung simulieren. Forschungsarbeiten zu einem solchen Prüfsystem laufen derzeit. Wir sind gespannt, wann hierzu Ergebnisse veröffentlicht werden. Bis dahin werden Baustellenkontrollprüfungen nach o. g. Kriterien durchgeführt.

Bei dem Testeinbau neuer Produkte erfolgen eine Einbaubegleitung und -dokumentation. Die erforderlichen technischen Daten werden durch die Hersteller im Vorfeld übergeben. Beim Einbau erfasst werden alle technologischen Daten zu Material, Witterung und Einbau. Im Rahmen der Beobachtung des Liegeverhaltens über einen definierten Zeitraum werden alle Veränderungen (Blasenbildung, Risse, Flankenablösungen etc.) registriert. Abschließend erfolgt eine Gesamtbewertung.

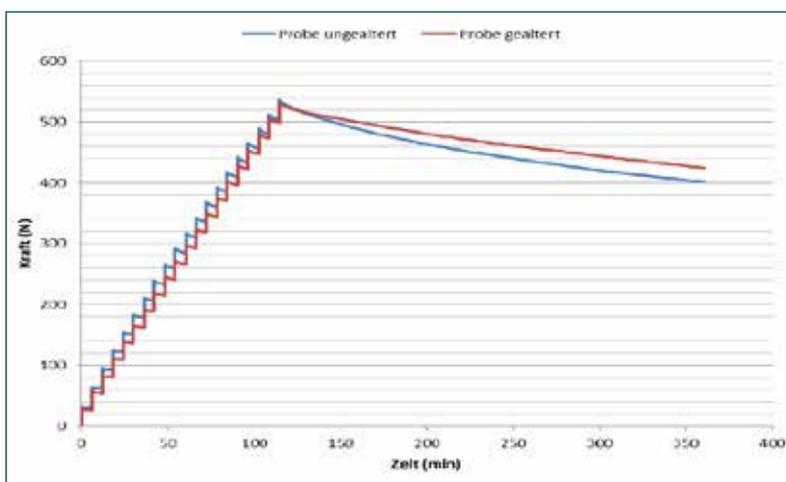


Bild 1: Ermittelte Zugkraft in Abhängigkeit von der Belastung bei konstanter Dehnung (Quelle: Prüfbericht UB 11-03/15rabal.Ingenieurgesellschaft für Baustoffprüfungen mbH)



Bild 2: Versuchsvorrichtung mit kaltverarbeitbarem Fugendichtstoff (Bild: DVB AG)

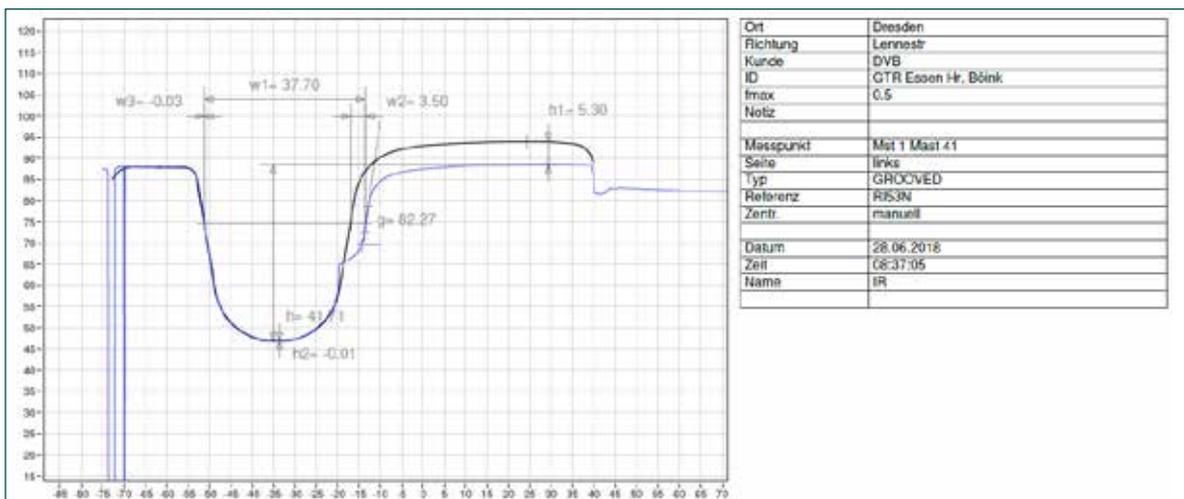


Bild 3: Auszug Auswertung Verschleißmessung Dresden 2018

### 5. Lebenszykluskosten

Interessant für einen Betreiber sind die gesamten Lebenszykluskosten eines Systems oder Bauteils. Einflussfaktoren für den Fugenverguss bilden hierbei Oberbauform, Rad-Schiene-System, Gleisgeometrie, äußere Einflüsse (z. B. Witterung, Befahrung durch MIV) und Materialermüdung (Alterung).

Interessant ist aber auch die Frage nach der Haltbarkeit der Schiene. Wie lange hält sie unter normalen Betriebsbeanspruchungen. Die DVB führen hierzu seit vielen Jahren Verschleißmessungen durch. Dabei werden regelmäßig an einer Anzahl genau definierter Messpunkte im Netz Querprofilmessungen an Rillenschienen durchgeführt. Im Vergleich zur Nullmessung (neue Schiene) lassen sich hier konkrete Werte für horizontalen und vertikalen Verschleiß bestimmen (Bild 3). Unter Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden Verschleißvorrates, der Linienbelegung und der Gleisgeometrie kann die theoretische Liegedauer der Schiene bestimmt werden.

### 6. Belastungsszenarien

Im Winterhalbjahr werden auf innerstädtischen Straßen auch Auftaumittel eingesetzt. Sind die Fugenvergussmaterialien gegenüber dieser chemischen Belastung resistent? Dieser Frage wurde nachgegangen. Verschiedene Kunststoffe wurden künstlich gealtert und dabei üblichen Auftaumitteln (NaCl und CaCl<sub>2</sub>) ausgesetzt. Die Ergebnisse zeigen starke Unterschiede im Materialermüdungsverhalten bei der Auslagerung in NaCl (Bild 4).

Zum Freihalten der Rillenschienenweichen von Schnee und Eis werden Weichenheizungen eingesetzt. Welche Temperaturen werden dabei erzeugt? Es erfolgten Messungen an Weichen mit Backenschienen- und mit Fahrkopfeheizung. Gemessen wurde bei eingeschalteter Weichenheizung mit einem Einstechthermometer im Bereich des Fugenbodens. Dabei wurden Temperaturen bis zu 70°C festgestellt (Bild 5).

Um das Materialverhalten von bituminösen Fugenvergussmassen gegenüberzustellen, wurden die Bestimmung der Fließlänge sowie der Formbeständigkeit in der Wärme beauftragt. Es zeigte sich, dass es je nach Material bereits

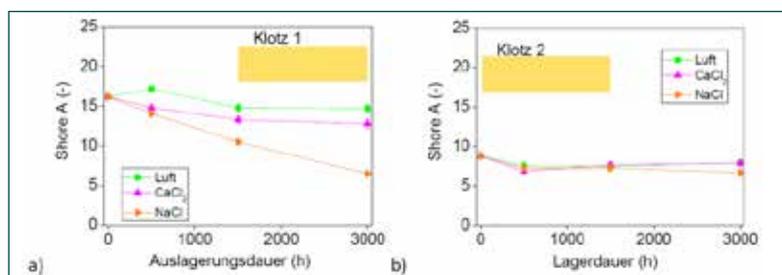


Bild 4: Einfluss von Auftausalzen auf die Shore-A-Härte der Fugenvergussmassen

(Quelle: Prüfbericht über die Durchführung einer Beständigkeitsuntersuchung: Mechanische Eigenschaften von Dämpferwerkstoffen nach Auslagerung in Luft, Natriumchlorid- und Calciumchloridlösung bei erhöhter Temperatur, Polymer Service GmbH Merseburg)

Heizungstyp: Backenschienenheizung, Heizstablänge 3,50 m

Temperatur Fahrkopfsseite [°C]	Temperatur Weichenkopfsseite [°C]	Messpunkt Nr.
65	Bereich des Erdkastens	1
70		2
60		3

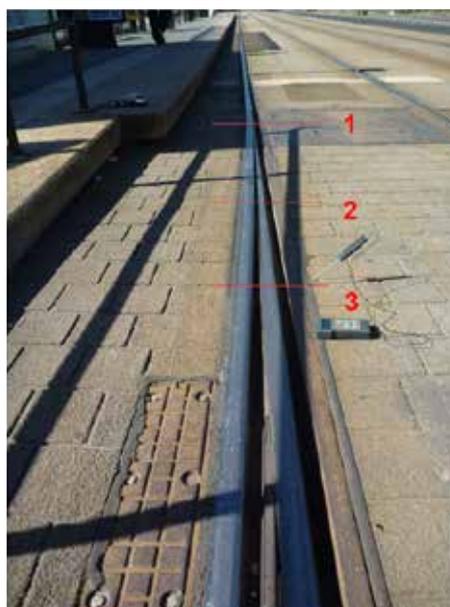


Bild 5: Auszug Protokoll Temperaturmessung an Weichenheizung (Bild: DVB AG)

bei Temperaturen von 60°C zu einem Versagen kommt. Im Netz der DVB erfolgt daher an beheizten Weichteilen grundsätzlich der Einbau von Kunststoff fugen.

Im Zuge einer Baustellenabwicklung sind die Fugenvergussarbeiten eines der letzten Gewerke – üblicherweise unter Stress wegen der bevorstehenden Streckenfreigabe und begleitet von vielen anderen Restarbeiten. Allzu oft auch unter herbstlichen oder fast winterlichen Witterungsbedingungen. Während ein Fugenspalt ausgesaugt und gepulvert wird, werden unmittelbar daneben Fugen im Asphalt geschnitten oder Betonpflasterflächen mit trockenem Material abgekehrt. Es ist kalt und nieselt leicht. Die Inbetriebnahme soll in wenigen Stunden erfolgen. Eine Feinregulierung der Fahrleitung ist ebenfalls noch im Gange, so dass der Turmwagen über den betroffenen Gleisabschnitt fahren muss. Hier ist es Aufgabe der Projektleitung, in Abstimmung mit den Auftraggebern Prioritäten zu setzen. Einen Teil des durch das beschriebene Szenario entstandenen Druckes kann man im Vorfeld durch eine vorausschauende Bauplanung vermeiden, zum Beispiel durch die Vorgabe bestimmter technologischer Schritte.

### 7. Spannungsfeld Instandhaltung

Im Zug der Lebensdauer eines Gleisbogens erfolgt im wirtschaftlichen Interesse ein mehrmaliges Auftragschweißen an der Fahrkante. Dadurch lässt sich dessen Liegedauer erheblich steigern, jedoch kommt es zu einer starken Erwärmung der Schienen. Dies kann zu einem Verbrennen des Fugenvergussmaterials führen. Die Fuge verliert ihre Funktionsfähigkeit. Es entstehen Gase und Stäube. Mit welchen Temperaturen ist bei Auftragschweißarbeiten zu rechnen? Welche Stoffe werden freigesetzt und muss der Arbeitnehmer hier eine gesonderte Schutzausrüstung tragen? Fragen, denen die DVB im Rahmen mehrerer Messkampagnen mit der Berufsgenossenschaft und mit eigenen Messungen nachging (Bild 6).

Bei Auftragschweißarbeiten am Rillenkopf einer Rillenschiene wurden Temperaturen bis ca. 450°C gemessen. Vor Schweißarbeiten an Gleisbögen ist Kunststoff fugenverguss auszubauen. Die an der Schiene anhaftenden Reste verbrennen. Der Schweißer ist mit geeigneter persönlicher Schutzausrüstung (PSA) zu versehen. Entsprechende Arbeitsschutzanweisungen sind zu erstellen. Diese können je nach verwendetem Schweißverfahren und Fugenver-

gussmaterial unterschiedlich aussehen. Hier ist immer die konkrete Situation eines Betreibers zu berücksichtigen (Bild 7).

Es empfiehlt sich, den Hersteller von Fugenvergussmaterialien mit aktiv am Prozess zu beteiligen. Die Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (ReachVO) gilt für Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender und enthält Bestimmungen zur Informationsweitergabe in der Lieferkette und Auskunftsrechte für Verbraucher.

Hersteller, Importeure und nachgeschaltete Anwender müssen sicherstellen, dass Chemikalien, die sie herstellen und in Verkehr bringen, sicher verwendet werden. Dabei sind die gesamten Prozesse entlang Wertschöpfungskette, also auch die Instandhaltungsarbeiten an Gleisbögen (Schweißarbeiten) zu berücksichtigen, wenn ein Material als Schienenfugenvergussmasse hergestellt und vertrieben wird. Im erweiterten Sicherheitsdatenblatt sind diese Expositionsszenarien zu beschreiben.

Die Zeitdauer von der Inbetriebnahme eines Gleisbogens bzw. einer Anlage bis zur ersten erforderlich werdenden Auftragschweißung ist ausschlaggebend für das einzusetzende Material.

### 8. Eine Betriebsvorschrift für ein Netz

Die Betriebsvorschrift „Fugen im Gleisbereich“ der DVB fasst alle bisher gewonnenen Erfahrungen unter Berücksichtigung vorliegender Regelwerke und Normen zusammen. Sie gilt personell für alle Mitarbeiter der DVB AG, für Planungs- und Bauunternehmen, Ingenieurbüros zur Bauüberwachung und Bauoberleitung sowie Prüflabors für Eigen- und Kontrollprüfungen verbindlich, die im Auftrag der DVB an deren Gleisanlagen tätig sind bzw. Planungsaufträge bearbeiten. Sie gilt örtlich für das Gleisnetz der Straßenbahn der DVB.

Die Betriebsvorschrift regelt die Einsatzkriterien, Ausbildung, Prüfungen und Qualitätsanforderungen mit den jeweiligen Eignungsprüfungen der im Gleisoberbau der Straßenbahn vorhandenen Fugen in Ergänzung zur gültigen ZTV Fug-StB, TL Fug-StB und weiteren Veröffentlichungen des FGSV/VDV sowie der EN 14188-2 für die Fugenvergussstoffe (Klasse A und B).

Die einzusetzenden Fugenvergussstoffe müssen vom Hersteller speziell für den Einbau als Schienenfugenver-



Bild 6: Schädigung des Fugenvergusses bei Auftragschweißarbeiten (Bilder: DVB AG)

gussmassen freigegeben und gekennzeichnet sein. Technische Merkblätter und erweiterte Sicherheitsdatenblätter der zur Anwendung vorgesehenen Fugenvergussmaterialien sind vom Bieter im Rahmen des Angebotes der Vergabestelle in digitaler Form zu übergeben. Dies trifft auch auf Messungen zur Ermittlung und Beurteilung der inhalativen Exposition nach TRGS 402 zu, welche durch eine akkreditierte Prüfstelle durchzuführen sind. Die Vorlage dieser Messergebnisse ist Voraussetzung für eine Einbaufreigabe in Netz der DVB.

Die Auswahl des zum Einsatz kommenden Fugenvergussmaterials richtet sich nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Ab einer Liegedauer von fünf Jahren ist der Einsatz eines Kunststofffugenvergussmaterials im Netz der DVB wirtschaftlich darstellbar. Ausgehend davon und von einer zu erreichenden Einsenkung bzw. Durchbiegung der Schiene von 0,3 bis max. 0,5 mm sowie den horizontalen Bewegungen der Schiene werden vier folgende Anwendungsfälle unterschieden:

1. Weichen und Kreuzungen (außer beheizte Schienenteile)

Im Bereich von Weichen und Kreuzungen sind grundsätzlich bituminöse Fugendichtstoffe gem. TL Fug StB einzusetzen.

2. Bereiche von beheizten Schienenteilen

Im Bereich beheizter Schienenteile (Zungenvorrichtung) sind grundsätzlich Kunststofffugenvergussmaterialien einzusetzen, da anderenfalls infolge Erwärmung Fugenvergussmaterial in den Zungenprüfer laufen und zu Betriebsstörungen führen kann.

3. Gleisbögen mit  $R > 75$  m

Für Geraden und Gleisbögen mit einem Radius  $> 75$  m ist Kunststofffugenvergussmaterial mit einem Rückstellverhalten  $> 70\%$  bei  $100\%$  Dehnung und einer Durchhärtungszeit von ca. 24 h/Fugenquerschnitt gem. technischem Merkblatt des Produkthanbieters einzusetzen.

4. Gleisbögen mit  $R \leq 75$  m

Im Zuge der Planung ist durch das verantwortliche Projektteam/Planungsbüro eine Abstimmung mit dem Leiter des Instandhaltungsverantwortlichen Netzbezirkes oder dem Leiter des Instandhaltungsbereiches Gleisanlagen der DVB zu führen. Unter Zugrundelegung der Instandhaltungserfahrungen erfolgt hier für den konkreten Anwendungsfall die Vorgabe des Fugenvergussmaterials. Zu berücksichtigende Faktoren sind hierbei: Linienbelegung, Topografie, Bogenlauf, Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigungs- und Bremsstrecken, Schienenprofil und -güte sowie zu erwartendes Verschleißbild. Die Festlegung ist zu dokumentieren. Im Zuge der Realisierung des Bauvorhabens sind die Angaben zu verwendetem Fugenvergussmaterial und ausführender Firma durch die örtliche Bauüberwachung zu ergänzen. Nach Abschluss der Arbeiten ist das ausgefüllte Formular durch die örtliche Bauüberwachung in Papierform und digital mit der Bauakte abzulegen.

Weiterhin sind in der Betriebsvorschrift Vorgaben enthalten zu:

- Ausbildung der Schienenkammerverfüllung
- Qualität der Fugenflanken
- Fugengeometrien und -toleranzen

Schweißverfahren / Schweißarbeit	Festlegungen zu Schweißmasken mit gebläseunterstütztem Atemschutzsystem
UP-Auftragschweißen	Nicht erforderlich
Schweißen mit selbstschützender Fülldrahtelektrode	Schweißmaske mit gebläseunterstütztem Atemschutzsystem mit Filter der Klasse A1B1E1P2 (oder besser) oder mobile Schweißrauchabsaugung
Schweißen mit Stabelektrode	f Schweißmaske mit gebläseunterstütztem Atemschutzsystem mit Filter der Klasse A1B1E1P2 (oder besser) oder mobile Schweißrauchabsaugung
Schweißarbeiten in Bereichen mit Fugenverguss aus Kunststoff, kunststoffbeschichteten Oberbauteilen oder Epoxidharzkeilen in den Zwickelbereichen von Anlagen	<b>zwingend</b> Schweißmaske mit gebläseunterstütztem Atemschutzsystem mit Filter der Klasse A1B1E1P2 (oder besser)

Bild 7: Beispiel für eine gestufte Anwendung von Atemschutzsystemen

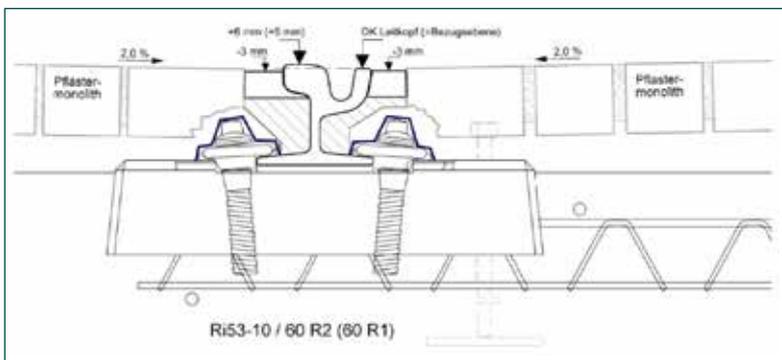


Bild 8: Vorgaben zur Einbauhöhe Fugenverguss bei Pflastermonolith

- Herstellung des Fugenspaltes
- Verguss von Schienenkästen (elastische Lagerung)
- Scheinfugen an Schienenkästen, bei Schächten etc.
- Bezugshöhen Fugenverguss (Bild 8)

Zum Aufbringen des Primers auf die Fugenflanken werden detaillierte Regelungen getroffen, da dieser Prozess von entscheidender Bedeutung für die Haltbarkeit ist:

- mittels Pinsel aufzubringen und gründlich in die Fugenflanken einzuarbeiten
- Ausführungsanweisungen des Systemanbieters sind zu beachten
- Vermischung unterschiedlicher Primer für die verschiedenen Fugenflanken ist verboten
- Sicherstellen, dass auf Fugenflanken nur für jeweiliges Material geeigneter Primer aufgebracht wird

Auch an den Verarbeiter werden konkrete Anforderungen gestellt:

- nachweislich fachkundiges Personal, entsprechende Nachweis durch Referenzen und/oder Qualifizierungsnachweise und Verfahrenkenntnis
- Abgabe Unterlagen durch Bieter im Rahmen des Angebotes

Die Fugenvergussarbeiten sind zu dokumentieren, von der Planung bis zur Abnahme. Hierzu wird Formular zu Verfügung gestellt, projektbegleitend ausgefüllt. ■