

Reparaturverfahren für Feste Fahrbahn Systeme

Trotz der bisher positiven Erfahrungen mit der Festen Fahrbahn, wird mit zunehmender Streckenlänge im Netz der DB AG die Verfügbarkeit schnell einsetzbarer und erprobter Reparaturverfahren für verschiedene Schadensbilder der Festen Fahrbahnen immer wichtiger. Im Rahmen eines Projektes wurde bei der DB Systemtechnik der Sachstand zum Thema erarbeitet und ein neues Reparaturverfahren auf der Basis des im Schwellenfach montierbaren Einzelstützpunktes DFF 300-1 der Fa. Vossloh entwickelt und erprobt.

Die im Streckennetz der DB eingebauten Feste Fahrbahn (FF) Systeme zeichnen sich durch eine lange Lebensdauer ihrer Tragschichten aus. Während des ganzen Lebenszyklus der Festen Fahrbahn ist planmäßig lediglich ein Austauschen der Schienen und der Schienenbefestigungselemente notwendig. Die Verfügbarkeit des Systems muss jedoch auch im unerwarteten Schadensfall sichergestellt werden. Unerwartete Schäden an den Tragschichten bzw. Schwellen der FF, welche z.B. durch Baufehler, Setzungen im Unterbau oder äußere Gewalt (Entgleisung, mutwillige Zerstörung) verursacht werden, müssen mittels geeigneter Reparaturverfahren nachhaltig behoben werden. Hierzu liegen verhältnismäßig wenige Erfahrungen vor. Das notwendige Vorgehen zur Sanierung ist häufig nur ungenau spezifiziert und vergleichsweise zeitaufwendig. Die Verfügbarkeit des Netzes kann damit bei unerwartet an der FF auftretenden Schäden stark beeinträchtigt werden.

Vertragliche Grundlagen und Regelwerke

Im Anforderungskatalog Feste Fahrbahn (AKFF) [1] wird ein geeignetes Reparatur- und Instandhaltungskonzept als integraler Bestandteil jedes FF Systems gefordert. Dieser Grundsatz wird im Anhang des AKFF näher spezifiziert. Demnach ist der Entwickler bzw. Anbieter einer FF verantwortlich für die Vorlage eines geeigneten Reparatur- und Havariekonzeptes (bauvertragliche Regelung). Darin sind die notwendigen Schritte zur Beseitigung von Unfallfolgen (z.B. Entgleisungen) und für die Durchführung von Korrekturen von Gleislagefehlern darzustellen. Im Einzelnen ergeben sich aus diesen Szenarien die folgenden nach AKFF zu betrachtenden Schadensbilder:

- Zerstörung im oberen Bereich der FF (Befestigungsteile, Verankerungen, Stützpunkt- bzw. Schienenauflegerbereich, Oberfläche Tragschicht, Schwellen, Schwellenhöcker) und punktuelles Versagen der FF
- Komplette Zerstörung bzw. Systemversagen der FF oberhalb der HGT über längere Bereiche
- Einsenkungen und Lageveränderungen des Gleises bzw. der FF, welche innerhalb der Schienenbefestigungen nicht mehr korrigiert werden können

Das Reparatur- und Havariekonzept ist als allgemeine Handlungs- und Arbeitsanweisung zu formulieren, welche alle notwendigen Arbeitsschritte zur Wiederherstellung der Befahrbarkeit des Gleises enthält. Insbesondere wird im AKFF auch die klare Ausweisung von bauzeitbestimmenden Faktoren gefordert. Auf Nachweise, Referenzen sowie Zulassungen von Verfahren und Materialien ist zu verweisen. Allgemein sind an eine dauerhafte Sanierung von FF Systemen die gleichen Anforderungen wie an einen Neubau zu stellen. Der AKFF verweist zudem auf alle weiteren relevanten bahntechnischen Regelwerke, DIN Normen, zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen (ZTV) und Richtlinien:

Die Instandsetzung von Betonbauteilen in Bezug auf Planung, Durchführung und Gütesicherung war für den Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr Bau und Wohnungswesen (BMVBW) in den ZTV SIB [2] und ZTV RISS [3] geregelt. Ergänzende Hinweise sind in der Richtlinie SIB des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) [4] enthalten. Im Mai 2003 wurden die ZTV Riss und ZTV SIB in den ZTV ING [5] aufgelöst. In den genannten Regelwerken werden klare Vorgaben für die Durchführung von Sanierungsmaßnahmen an Betonbauwerken gemacht. Die Sanierung von Schäden an FF Systemen mit Betontragschichten schließen, außer bei einer aufgetretenen Setzung, den Ersatz fehlender bzw. beschädigter Betonsubstanz ein. Nach den genannten Regelwerken können hierzu die folgenden, bei einer FF Sanierung relevanten Materialien bzw. Verfahren eingesetzt werden. Die möglichen Anwendungsgrenzen sind in den Richtlinien dabei klar vorgegeben.

- Ortbeton / Zementmörtel
- Kunststoffmodifizierte zementgebundene Systeme (PCC Polymer-Cement-Concrete)
- Reaktionsharzsysteme (PC, Polymer-Concrete)

Bei einer durchzuführenden Rissanierung an Betonbauwerken können entsprechend den Regelwerken je nach Sanierungsziel und Rissbild die folgenden Verfahren und Materialien eingesetzt werden:

- Tränkung mit Epoxydharz (EP-T)
- Injektion mit Epoxydharz (EP-I)
- Injektion mit Zementleim (ZL-I) oder Zementsuspension (ZS-I)
- Injektion mit Polyurethan (PUR-I)

Zulässige und erprobte Betonersatzsysteme und Verpressmaterialien für Rissanierungen werden mit ihren technischen Lieferbedingungen und Prüfvorschriften in der Bauregelliste A geführt. Sie benötigen ein Prüfzeugnis und einen Übereinstimmungsnachweis. Für den Geschäftsbereich des BMVBW ist bisher zudem die Aufnahme der Produkte und Verfahren in eine von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) geführten Liste obligatorisch. Durch diese Regelung von Materialien und Verfahren konnte im Zuständigkeitsbereich des BMVBW ein hohes Maß an Standardisierung und Qualität bei der Sanierung von Betonbauwerken erreicht werden. Eine entsprechende Harmonisierung und Übertragung auf den Anwendungsbereich des EBA sind in diesem Zusammenhang zu empfehlen. Mit der Einführung der eisenbahnspezifischen Bauregelliste zum 01.12.2002 wurde ein hierzu geeignetes Instrumentarium zur Verfügung gestellt.

Reparaturkonzepte der FF Systemhersteller und bisherige Erfahrungen

Im Folgenden ist anhand von möglichen Schadensbildern und Sanierungsverfahren ein kurzer Überblick über den Sachstand zum Thema „Reparaturverfahren FF“ gegeben. Dabei wird sowohl auf die von den Systemherstellern vorgelegten Reparaturkonzepte eingegangen [6] als auch auf bisher gemachte Erfahrungen. Die überwiegende Anzahl der hier betrachteten kompakten FF Systeme mit Betontragschicht basieren auf der klassischen Rheda Bauart (mit oder ohne Trog). Entsprechend variieren die angebotenen Reparaturkonzepte nur gering unter den einzelnen Anbietern. Relevante Abweichungen gibt es lediglich bei Betonfertigteileplatten - Systemen.

Schäden an der Schienenbefestigung

Allgemein können die einzelnen Komponenten der Schienenbefestigung (Ioarv 300-1) bei Bedarf ausgetauscht werden. Kritisch ist lediglich die Beschädigung der in die Betonschwellen einbindenden Dübel bzw. des Betongewindes der Schwellen. Für diesen Fall wird auf vorhandene Reparaturdübel verwiesen. Bei Beschädigung des Betons bzw. Betongewindes im Bereich der Dübel ist ein Aufbohren und erneutes Verkleben des Reparaturdübels mit bautechnisch zugelassenen Kunstharzen notwendig. Die Reparatur von Schäden an Dübeln und Elementen der Schienenbefestigungen sind in ähnlicher Form auch beim Schotteroberbau durchzuführen, weshalb an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen wird.

Sanierung von Rissen

Da es sich bei den betrachteten FF Bauarten um durchgehend bewehrte Betontragplatten mit freier Rissbildung handelt, sind Risse systemimmanente Erscheinungsbilder. Große Risse können die Dauerhaftigkeit der Gesamtkonstruktion beeinträchtigen, daneben kann das in Teilbereichen konzentrierte Auftreten von Rissen mit großer Tiefe (Trennrisse) zu nicht vernachlässigbaren Steifigkeitssprüngen in der Fahrbahn führen. Im AKFF ist als kritische Rissbreite $w = 0,5$ mm festgeschrieben. Im Bereich der Schienenbefestigung sind keine Risse zugelassen. Bei Trogbauarten sind Risse in den unbewehrten Trogwangen unabhängig von der Rissbreite unkritisch.

Sofern die Sanierung von Risschäden in den Reparaturkonzepten der FF Systemhersteller enthalten ist, begnügen diese sich i.d.R. mit dem Verweis auf die ZTV-RISS. Bei einigen Anbietern wird das anzuwendende Verfahren genauer beschrieben [6]. Dabei wird für Risse mit Weiten bis ca. 1 mm i.d.R. eine Rissanierung nach dem Verfahren EP-T empfohlen. Hierzu sind die Risse zunächst mit Diamantscheiben bis zu einer Tiefe von ca. 5 mm aufzuweiten. Für eine Aushärtung des in die Fräsrille eingefüllten Epoxydharzes sind bis zur Wiederbelastung, abhängig von vorliegender Temperatur, Rissbreitenänderungen bei Überfahrt und verwendeten Materialien 0 – 12 h anzusetzen.

Bei größeren Rissweiten wird empfohlen die Risse nach EP-I oder PUR-I zu Verfüllen. Dazu sind in geeigneten Abständen (i.d.R. ca. 30 cm) entlang der Risse Klebpacker auf den Riss zu setzen und die übrigen Bereiche des Risses mit Epoxydharz, Polyesterpackel oder Polyurethan zu verdämmen. Nach Aushärtung der Rissverdämmung - die Dauer (0,5 – 8 h) hängt dabei von den Temperaturverhältnissen, dem verwendeten Material und dem notwendigen Injizierdruck ab - wird das angemischte Füllgut (Epoxydharz oder Polyurethan) in die Packer eingepresst. Für eine Aushärtung des Füllgutes bis zur Freigabe der Strecke sind abhängig von vorliegender Temperatur, Rissbreitenänderung bei Überfahrt und verwendetem Material weitere 0 - 12 h anzusetzen. Zu Rissanierungen liegen einschlägige Erfahrungen aus dem Ingenieur- und Hochbau vor.

Fixieren loser Schwellen

Durch den Herstellprozess und das unterschiedliche Verformungsverhalten der Fertigteilschwelle und des jungen Füllbetons, entstehen an den Fugen Störstellen mit Ausbildung nur geringer Haftzugfestigkeiten. Infolge dynamischer Beanspruchung kann es in der Folge zu Ablösungen des Schwellenkörpers aus der BTS kommen. Bei fortgeschrittener Schädigung sind lose Schwellen meist an den weißen Rändern und Kantenabbrüchen im Umgebungsbereich der Schwellen zu erkennen. Zusätzlich wird die Dauerhaftigkeit durch mögliches Eindringen von Wasser gemindert. Allgemein gelten solche Schwellen als locker, die in ihrem Bereich umlaufende Risse mit Rissweiten $w > 0,5$ mm aufweisen. Anfällig sind hierfür insbesondere die älteren Rheda Bauarten mit großen einzubindenden Schwellenformen und einer meist glatten und großflächigen Untersicht. Gelockerte Schwellen sind aber auch als Folge von Entgleisungen zu erwarten [9]. Bei Bauarten aus Beton-Fertigteilplatten kann dieser Mangel nicht auftreten.



Abb. 1: Gelockerte Schwelle auf der SFS Hannover - Berlin

Der AKFF fordert einen Verbund zwischen den Tragschichten des Oberbaus. Zudem ist als Entwurfskriterium im AKFF die Realisierung eines Nutzungszeitraumes von 60 Jahren vorgegeben. Eine Einhaltung dieser Maßregeln ist bei auftretender Lockerung der Schwellen nicht zu erwarten, so dass bisher aufgetretene Schäden aus Gründen der Dauerhaftigkeit saniert wurden.

In den Reparaturkonzepten der Hersteller kompakter FF Systeme wird der Schadensfall „gelockerte Schwellen“ meist nicht gesondert abgehandelt. Die in diesem Zusammenhang möglichen und in den Sanierungskonzepten enthaltenen Maßnahmen betreffen das komplette Austauschen von Schwellen, den Einbau neuer Stützpunkte im Schwellenfach und z.T. das Verpressen von Rissen. Einige Firmen waren dennoch gezwungen nach aufgetretenen Schäden ein umsetzbares und für diesen Schadensfall spezialisiertes Konzept zu entwickeln und anzuwenden. Unter anderem waren dabei die folgenden Bereiche betroffen:

- Strecke Hamburg - Berlin, Bereich Wittenberge/Dergentin
- Strecke Hamburg - Berlin, Bereich Breddin/Glöwen
- Strecke Hannover - Berlin, Bereich Oebisfelde/Staaken
- Strecke Hannover - Berlin, Bereich Ruhleben/Oebisfelde
- Strecke Mannheim - Karlsruhe, Bereich Waghäusel (Versuchsabschnitt)

Bei den durchwegs im Rahmen der Gewährleistung durch die Baufirmen durchzuführenden Sanierungen wurden verschiedene Verfahren angewandt.

Der Versuch, die Schwellen dauerhaft durch in die Betontragschichten eingebrachten Ankersysteme zu fixieren, zeigte sich schnell als erfolglos. Die Anker lockerten sich i.d.R. nach 5 - 9 Monaten aus ihrer Verspannung. In der Folge wurden aufgetretene Schwellenlockerungen durch Injektion von Epoxydharz saniert. Probleme bereitet in diesem Zusammenhang die Wasserempfindlichkeit und relativ lange Aushärtzeit geeigneter Epoxydharze. Im Fall der direkt belasteten Schwelle ist keine Wiederbelastung bis zum endgültigen Abbinden des Verfüllstoffes möglich.

Für das Verpressen der Schwelle wurde ein für diesen Anwendungsfall optimiertes Injektionsverfahren entwickelt. Dabei wird Epoxydharz durch einen in die Dübel der Schwellenschraube eingebrachten Adapter injiziert. Zuvor ist mit Hilfe einer Bohrlehre durch den Boden des Dübels ein Bohrloch bis zur Unterkante der Schwelle abzusetzen. Das Verpressen der Hohlräume erfolgt durch eine als Packer präparierte Schwellenschraube meist ohne vorherige Verdämmung. Bei diesem Verfahren wurden vorwiegend das Epoxydharz *Konudur PL 160* verwendet.

In einem anderen Fall wurden für das Verpressen lockerer Schwellen herkömmliche Bohrpacker verwendet. Die Anordnung und Anzahl der Bohrungen bzw. Packer richtet sich nach dem Rissbild des Schwellenblocks (i.d.R. 2 - 4 Bohrungen bzw. Packer). Anfangs kam dabei das Epoxydharz *MC DUR 1264 KF* zum Einsatz. Aufgrund der für eine Wiederbelastung notwendigen langen Aushärtezeiten, mussten die sanierten Schwellen durch Hilfskonstruktionen temporär entlastet werden. Bei späteren Sanierungsmaßnahmen wurde dann eine beschleunigte Variante des Epoxydharzes mit dem Namen *MC DUR 1264 Neu* mit um 30% verkürzter Reaktionszeit verwendet.

Mit beiden Verfahren konnte in den zur Verfügung stehenden Sperrzeiten von ca. 6 h alle Schwellen ohne Beeinträchtigung des Betriebes auf den betroffenen Strecken saniert werden. Bisher sind keine nennenswerten erneuten Lockerungen an sanierten Schwellen aufgetreten. Bei den durchgeführten Sanierungsarbeiten zeigte sich, dass bei jedem Schwellenkopf andere Verhältnisse angetroffen werden. Die bereits bei der Reinigung mit Druckluft erkennbaren Unterschiede spiegeln sich beim Verpressvorgang wieder. Dabei wurden z.T. Schwellen angetroffen die trotz Lockerung im Füllbeton selbst bei sehr hohem Injizierdruck keinen Druckabfall zuließen. Andererseits gab es auch vereinzelt Fälle in welchen das Rissystem über Verbundschäden an den Trogflügeln oder über durchgehende Rissysteme sogar in die Frostschutzschicht entlüftete. Es konnte daher nicht immer gewährleistet werden, dass das Kunstharz an die gewünschten Stellen gelangt. Eine zuverlässige Überprüfung des Verfüllerefolgs war häufig nur durch Kernbohrungen möglich. Hinsichtlich solcher Störungen war insbesondere die erstgenannte Methode anfällig. Bedingt durch die fixe Lage der präparierten Schwellenschraube und den damit vorgeschriebenen Injizierpunkt, konnte keine Anpassung an die vorliegenden Rissverhältnisse erfolgen. Zusätzlich hat das Material *MC Dur 1264* bessere Fließeigenschaften als *Konudur PL 160*, erfordert allerdings trockene Oberflächen und längere Aushärtezeiten. Aufgrund der sich nach der Erhärtung ausbildenden glatten Oberfläche der Epoxydharze, besteht keine Möglichkeit zur Nachverpressung, weshalb bei beiden Verfahren großer Wert auf eine gute Einbauqualität zu legen ist. Alle genannten Materialien sind erst ab Temperaturen von ca. 8°C verarbeitbar. Bei Temperaturen ab 25°C wird bei Konudur 160 PL die Topfzeit sehr kurz (ca. 10 min).

Reprofilierung der Schwellenkörper, Schwellenhöcker oder der BTS

Bei Oberflächenschäden an Betontragschicht oder Schwellen, welche die Dauerhaftigkeit des Systems beeinträchtigen, aber nicht unmittelbar zu einer Funktionsminderung führen, wird in den Reparaturkonzepten der FF Systemhersteller eine Reprofilierung der schadhafte Betonoberflächen mit kunststoff-modifizierten Mörteln (PCC) empfohlen [6]. Dabei sind auch Schäden an den Schwellenhöckern, sofern dadurch ihre Stützfunktion nicht um mehr als 50 % gemindert ist, auf diese Weise zu sanieren. In anderen Reparaturkonzepten werden über die Beschränkung der Abmessungen der beschädigten BTS Bereiche (Fläche und Tiefe) die Anwendungsgrenzen einer Reprofilierung definiert. Die Ursachen der Schäden können dabei Baufehler, Umwelteinflüsse oder Havarien (Entgleisung) sein.

Die Durchführung erfolgt nach den ZTV-ING bzw. der Richtlinie SIB. Für die Aushärtung des Materials bis zur Festigkeit eines B35 sind bei Raumtemperatur 15 - 30 h anzusetzen. Bei kalten Temperaturen kann sich die notwendige Aushärtzeit verdoppeln. Falls die Sanierungsbereiche nicht direkt belastet werden, ist allerdings auch eine frühere Streckenfreigabe möglich.



Abb. 2: Betonabplatzung am Schwellenhöcker der Bauart Rheda (Dachau – Karlsfeld)

Reprofilierungen am Schwellenkörper und der BTS wurden bisher meist nach mechanischen Beschädigungen an der Fahrbahn notwendig. Häufig handelt es sich dabei um Einzelschäden, welche beim Neubau von Strecken bzw. während Bauarbeiten verursacht wurden. Im Folgenden sind zwei Fälle mit Sanierungen in großem Umfang genannt.

- ÖBB Hochleistungsstrecke Westbahn Umfahrung Melk, aufgetretene Schäden an der Bauart ÖBB Porr (Fertigteilplatte) und Bauart Rheda (im Übergangsbereich) nach einer Entgleisung
- Strecke Köln - Rhein/Main, Bereich Baulos A, in weiten Bereichen aufgetretene Schäden an Schwellen der Bauart Rheda Walter-Heilit aufgrund von Produktionsfehlern im Schwellenwerk

Aufgrund eines Achsstummelbruches bei einem Güterzugwagen kam es im Umfahrungsbereich Melk zu einer Entgleisung. Betroffen waren ca. 4 km Feste Fahrbahn in den o.g. Bauarten. Dabei zeigte sich durchwegs ein einheitliches Schadensbild in Form von durchgehender Beschädigung der innenliegenden Teile der Schienenbefestigung sowie in Größe und Form unterschiedlichen Abplatzungen der innenliegenden Betonhöcker bzw. der Schwelle. Im Bereich der Bauart Rheda (Übergang zum Schotteroberbau) wurden durch den Vorfall die Schwellen im Betonbett derart gelockert, dass im Randbereich durchgängig ein umlaufender Riss entstand. Die Gleistragplatte als ganzes blieb jedoch durchwegs völlig unbeschädigt. Vor der Reprofilierung der Schienenaufleger war eine Erneuerung der gesamten Schienenbefestigungsgarnitur erforderlich. Hierbei mussten z.T. auch Abplatzungen im Bereich der Dübel mit Epoxydharz ausgebessert und sowohl Dübel als auch Schwellenschrauben ausgetauscht werden. Die Schwellenhöcker wurden mit einem vorher gesondert labortechnisch untersuchten Epoxydharz Mörtel unter Zuhilfenahme von Stahlschalungen reprofiliert. Auf diese Weise konnten pro Arbeitstag ca. 250 Schienenstützpunkte bearbeitet werden. Die gelockerten Rheda Schwellen wurden zusätzlich durch Epoxydharz Injektion fixiert [9].



Abb. 3: Zerstörter Schienenstützpunkt und Schwellenhöcker nach Entgleisung im Umfahrungsbereich Melk ÖBB Bauart Fertigteilplatte Porr [9]

In zweiten Fall waren auf der NBS KRM nach Einbau von Zweiblockschwellen in großen Bereichen umfangreiche Sickenrisse und Deformationen am Schwellenkörper aufgetreten. Wie sich herausstellte war ein Produktionsfehler im Schwellenwerk die Ursache für die aufgetretenen Schäden. Nach einer umfangreichen Bestandsaufnahme wurden die Schäden zunächst klassifiziert und anschließend entsprechenden Sanierungsmaßnahmen zugeordnet. Die Fehler waren abhängig vom

Schadensumfang mit Epoxydharz Mörtel oder PCC - Feinspachtel zu behandeln. Für die verwendeten Materialien wurde eine entsprechende Vorbehandlung des Untergrundes mit geeigneten Haftbrücken durchgeführt. Da die Strecke noch nicht in Betrieb gegangen war, wurden an die Bearbeitungszeit und einzuhaltende Aushärtzeiten keine erhöhten Anforderungen gestellt. Zu Reprofilierung von Betonoberflächen liegen auch einschlägige Erfahrungen aus dem Ingenieur- und Hochbau vor.

Austausch einzelner Schwellen

Können Beschädigungen an Schienenauflagern und Schwellen nicht durch eine Reprofilierung saniert werden, ist als weiterreichende Maßnahme der Austausch der gesamten defekten Schwelle möglich. Ein Schwellenaustausch kann darüber hinaus auch bei der Sanierung gelockerter Schwellen notwendig werden oder aber zur nachträglichen Höhenkorrektur einzelner Schwellen. Für schwellenlose Bauarten (Fertigteilplatte) ist diese Sanierungsmaßnahme ungeeignet. Bei den übrigen Bauarten ist das in den Reparaturkonzepten beschriebene Vorgehen zum Austausch einzelner Schwellen vergleichbar [6].

Im ersten Schritt sind dazu die an die auszutauschende Schwelle anschließenden Bereiche der FF mit vertikal einzubringenden Bewehrungsstäben zu verdübeln. Nach Lösen der Schiene und ihrem Anheben, kann durch Schneiden und Herausstemmen die beschädigte Schwelle vom umgebenden Füllbeton bzw. der BTS freigelegt werden. Bei Bauarten mit durch die Schwelle bzw. durch die Gitterträger der Schwelle geführter Längsbewehrung, ist die Bewehrung zu durchtrennen und zu den benachbarten Schwellenfächern hin eine Anschlussbewehrung freizulegen. Nach dem Herausnehmen der schadhaften Schwelle wird die freigelegte Betonoberfläche im Schwellenfach gesäubert und die neue Schwelle eingesetzt. An die freigelegte Armierung sind im Durchmesser passende und in die neue Schwelle eingefädelt Bewehrungsstäbe anzuschweißen. Bei Bauarten ohne Bewehrungsanschluss der Schwellen (z.B. Bauart Züblin) ist durch Anker aus Betonstahl ein Bewehrungsanschluss des neu einzubringenden Füllbetons sicherzustellen. Nach dem Einjustieren der neu eingebrachten Schwelle und einer geeigneten Vorbehandlung der freien Betonoberflächen ist das Schwellenfach betonierfertig und kann mit einem geeigneten Material vergossen werden. Es ist ein möglichst schwindarmer Beton bzw. Mörtel auf Zementbasis mit hoher Fließfähigkeit und hoher Frühfestigkeit zu verwenden. Dieser muss die Mindestanforderungen nach ZTV-Beton-Stb erfüllen und ist entsprechend nachzubehandeln. Die genannten Vergussmörtel erreichen bei Raumtemperatur nach ca. 24 h die Festigkeit eines B35. Bei niedrigeren Temperaturen sind längere Abbindezeiten notwendig.

Im Folgenden sind einige Beispiele mit durchgeführtem Schwellenaustausch genannt:

- Strecke Mannheim - Karlsruhe Abschnitt Waghäusel, Austausch einer Einzelschwelle nach fehlgeschlagener Verpressung gelockerter Schwellen
- Strecke Köln - Rhein/Main im Bereich Niedernhausen, Austausch von Einzelschwellen aufgrund von Lagefehler während der Bauphase
- Strecke Hannover - Berlin im Bereich Ruhleben/Oebisfelde, Austausch von Einzelschwellen nach fehlgeschlagener Verpressung gelockerter Schwellen
- Strecke Hamburg - Berlin im Bereich Wittenberge/Dergentin, Austausch von Einzelschwellen nach fehlgeschlagener Verpressung gelockerter Schwellen

Für die notwendigen Arbeiten waren je Schwelle 4 - 6 h erforderlich. Bei einem Verguss der neu eingebrachten Schwelle mit Hochleistungsmörtel ist von einer möglichen eingeschränkten Wiederbelastung der Strecke nach 8 - 10 h auszugehen. Alle durchgeführten Sanierungsmaßnahmen haben sich bisher unter laufendem Betrieb bewährt und zu keinen Folgeschäden geführt.

Nachträglicher Einbau von Einzelstützpunkten

Bei allen betrachteten FF Systemen wird bei Schäden an Schwellen bzw. den Schienenauflagern, als Alternative zum Austausch von Schwellen, ein Einbau von Einzelstützpunkten genannt. Die neuen Stützpunkte werden in die zur schadhaften Schwelle benachbarten Schwellenfächer eingebaut und übernehmen nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme die gesamte Belastung. Auf diese Weise wird die Gebrauchstauglichkeit des FF Systems wiederhergestellt. Die defekte Schwelle verbleibt mit ausgebauten Schienenstützpunkten an ihrem Ort, wodurch Zeit eingespart und weitere Störungen vermieden werden.

Als mögliche Einzelstützpunkte werden in den Reparaturkonzepten verschiedene Befestigungssysteme der Fa. BWG mit elastisch gelagerter Rippenplatte (ERL, FUR), das System 336 der Fa. Vossloh (loarg 336), oder die Krupp ECF-Befestigung der Fa. Thyssen-Krupp aufgeführt. Aufgrund des nach AKFF vorgeschriebenen Mindestabstandes der Schiene zur BTS im Schwellenfach von 6 cm (bis zur 3. Auflage AKFF 7 cm) ist bei allen Varianten zum Ausgleich der Höhendifferenz zwischen Unterkante Schienenstützpunkt und Oberkante BTS eine Anpassung im Schwellenfach erforderlich. Der Höhenausgleich ist dabei mit geeigneten Mörteln oder Kunstharzen herzustellen. Die Stützpunkte werden mit in Bohrlöcher vergossenen Ankerschrauben bzw. Rohrdübel befestigt. Da bisher keine Reparaturen an FF auf diese Weise durchgeführt wurden, liegen bei der DB AG keine Erfahrungen zum nachträglichen Einbau von Einzelstützpunkten vor.

Großflächiger Austausch der BTS

Ein bereichsweise durchzuführender kompletter Austausch der BTS wird notwendig wenn aufgrund von Schäden an der BTS eine Lastverteilung bzw. die Lagesicherheit der Schwellen oder Schienenstützpunkte nicht mehr gewährleistet ist und mit anderen Maßnahmen kein Sanierungserfolg zu erzielen ist. In allen Fällen wird von einer weitestgehend intakten HGT ausgegangen.

Das Vorgehen zum Austausch der BTS ist für alle hier betrachteten Varianten vergleichbar. Zunächst sind im zu erneuernden Fahrbahnbereich die Schienen zu durchtrennen und auszubauen und im Anschluss an die beschädigten Bereiche eine Verdübelung der Tragschichten durchzuführen. Nach diesen Vorarbeiten wird die beschädigte BTS mit Diamantsägen in transportierbare Segmentgrößen zerteilt. Die Betonsegmente werden durch Abscheren bzw. Anheben von der HGT getrennt und können anschließend abtransportiert werden. Im Übergang zu den intakten Bereichen der Fahrbahn ist für die Herstellung eines Überlappungsstoßes der Bewehrung in ausreichender Länge Anschlussbewehrung freizulegen. Im weiteren Verlauf sind zur Sanierung der BTS die freigelegten Betonoberflächen entsprechend den Vorgaben der ZTV ING bzw. Richtlinie S1B vorzubehandeln und an die freigelegte Anschlussbewehrung passende Armierungsstäbe anzuschweißen. Nach Verlegen der gesamten Bewehrung und Positionierung der Schwellen können die Seitenflächen der neu zu erstellenden BTS eingeschalt werden. Das Einjustieren des Gleisrostes und der anschließende Einbau des Betons erfolgt entsprechend dem Vorgehen zur Herstellung des FF Systems. Es ist ein frühfester Beton B 35 nach ZTV-Beton-Stb einzubauen. Vereinzelt sind in den Reparaturkonzepten schnell abbindende Betonrezepturen enthalten. Der junge Beton ist mit geeigneten Maßnahmen (Folienabdeckung, Wärmeisolierung, Feuchthalten) ausreichend nachzubehandeln. Bei einer entsprechenden Betonzusammensetzung ist temperaturabhängig eine volle Wiederbelastung nach 2 - 6 Tagen möglich. Entgegen dem geschilderten Vorgehen wird vereinzelt auch der Ersatz beschädigter Tragschichten durch Fertigteilplatten, vergleichbar zur Sanierung von FF Fertigteilsystemen, vorgeschlagen.

Ein Rückbau von kompakten FF Bauarten mit BTS wurde im Netz der DB AG in der Vergangenheit mehrmals durchgeführt. Allerdings war nur in wenigen Fällen eine Erneuerung unter engen betrieblichen Zwängen erforderlich. Häufig wurden aufgrund von Baufehlern oder aufgetretenen Setzungen Bereiche vor Inbetriebnahme der Strecke erneuert. Vereinzelt konnten sich auch zur Erprobung eingebaute Bauarten nicht bewähren und mussten frühzeitig ausgetauscht werden. Im Folgenden sind einige Fälle mit durchgeführtem Rückbau von FF Abschnitten genannt:

- Strecke Köln - Rhein / Main, Bereich Königswinter Nord (Scheurenstr.), Rück- und Neubau (Füllbeton und hochliegende Trogwange) über 2 mal 30 m Länge während Bauphase nach aufgetretener Setzung
- Strecke Köln - Rhein / Main, Bereich Niedernhausen (Tunnel), Rück und Neubau über ca. 35 m während Bauphase nach aufgetretener Hebung an Tunnelfuge
- Strecke Mannheim - Karlsruhe, Bereich Waghäusel, Rückbau im Bereich der Versuchsstrecke nach aufgetretenem Setzungsschaden und Schäden an der Fahrbahnkonstruktion,
- Strecke München - Treuchtlingen, Bereich Dachau / Karlsfeld, Rückbau von zwei verschiedenen FF Sonderbauarten über eine Länge von ca. 400 m (1993), Neubau als Schotteroberbau.
- Bahnhof Rheda, Weiche 41, Rückbau einer FF Weiche nach aufgetretenen massiven Setzungsschäden und Rissen in der Tragplatte, Neubau in Schotteroberbau
- Strecke München – Treuchtlingen, Bereich Dachau / Karlsfeld, Rückbau und Wiederherstellung eines 25 m langen FF Abschnittes, umfangreich dokumentiert im Rahmen eines Projektes zur Untersuchung von Reparaturverfahren für die FF (1985)

- Neubau und Rückbau eines 50 m langen FF Rheda Abschnittes auf einer eigens angelegten Versuchsstrecke in Feldkirchen bei München, umfangreiche Dokumentation im Rahmen eines Projektes zur Untersuchung von Reparaturverfahren für die FF (1985)

Beim letztgenannten Punkt, einem in Feldkirchen eigens errichteten Versuchsabschnitt, wurden umfangreiche Untersuchungen zu Fragestellungen der Erneuerung von FF Abschnitten durchgeführt [7]. Die dort gesammelten Erfahrungen wurden bei der notwendigen Erneuerung eines FF Rheda Abschnittes bei Dachau / Karlsfeld angewandt [8]. Die Versuche in Feldkirchen hatten zum Ziel geeignete Verfahren zum Durchtrennen der BTS und Lösen der Abschnitte von der HGT zu liefern. Daneben wurde besonderes Augenmerk auf die Optimierung der Arbeitsabläufe beim Betonieren neuer Tragschichten gerichtet sowie Möglichkeiten zur Beschleunigung der Betonerhärtung untersucht. Für das Lösen der ca. 4,5 m langen BTS Segmente von der HGT erwies sich das Abscheren mit hydraulischen Pressen als am geeignetsten. Wie Erfahrungen u.a. aus Waghäusel und von der NBS Köln - Rhein/Main zeigen, kann hierzu jeweils auf die fertig gestellten Sägeschnitte im Bereich der Plattenmitte eine Kernbohrung abgesetzt werden. Diese bietet ausreichend Platz um eine Presse anzusetzen, welche sich gegen die intakten BTS Bereiche abstützt und das angrenzende Plattensegment in Längsrichtung von der HGT absichert.

Unter Berücksichtigung der Erfahrungen auf der Versuchsstrecke konnte der Umbau des 25 m langen Abschnittes bei Dachau / Karlsfeld in ca. 30 h durchgeführt werden (Rück- und Neubau). Die Befahrbarkeit des Abschnittes mit geringen Geschwindigkeiten (50 km/h) war bereits bei einem Betonalter von 10 h gegeben. Eine Festigkeit entsprechend einem B35 wurde bei dem Beton und vorherrschenden Lufttemperaturen im Bereich von 7- 10°C nach ca. 30 h erreicht. Dabei wurde der Beton z.T. verschiedenen Wärmebehandlungen (warmes Anmachwasser, Heizluftgebläse, Heizspiralen) ausgesetzt und mit Wärmedämmmatten abgedeckt.

Setzungen im Untergrund

Aufgrund des hohen Aufwands bei notwendigen nachträglichen Höhenkorrekturen von FF Systemen wird beim Neubau nach AKFF gegenüber dem Schotteroberbau eine strengere geotechnische Absicherung gefordert. Dennoch können nachträgliche Setzungen bzw. Hebungen der FF, verursacht durch Fehleinschätzung der Untergrundverhältnisse, Baufehler, nachträgliche Baumaßnahmen im Umgebungsbereich der Gleise oder Umwelteinwirkungen nicht vollständig vermieden werden.

Der FF Schienenstützpunkt loarv 300-1 der Fa. Vossloh lässt in seiner Regelbauart eine Höhenkorrektur von maximal 26 mm zu. Darüber hinaus ist durch eine Anpassung der Dicke von Zwischenplatte und Zwischenlage ein Ausgleich von Hebungen bis zu 4 mm möglich. Nach Abschluss der Bauphase ist dem Betreiber der Strecke lt. AKFF eine Reserve von mindestens 20 mm für den Ausgleich von Setzungen zur Verfügung zu stellen. Durch eine Neuentwicklung der Fa. Vossloh ist mittels spezieller Höhenausgleichsplatten eine Anhebung der Schienenoberkanten innerhalb des Stützpunktes loarv-300-1 um bis zu 56 mm möglich. Diese Erweiterung des Stützpunktes ist zur Betriebserprobung zugelassen.

Neben den genannten Möglichkeiten zur Höhenkorrektur, bietet von den betrachteten kompakten FF Varianten lediglich die Bauart Bögl (Fertigteilplatte) eine Systemlösung zur Sanierung von Lagefehlern. Dabei wird die Betonplatte in einer definierten Trennschicht (Bitumenzement Unterguss) von der HGT abgelöst, mit Hilfe von Spindeln neu einjustiert und erneut mit Bitumenzement untergossen. Dieses Verfahren kann jedoch aufgrund der mechanischen Eigenschaften des Bitumenzementes nach seiner Erhärtung, nur in gewissen Grenzen durchgeführt werden.

Die übrigen FF Systemhersteller begnügen sich bei einer über die Korrektur in den Schienenstützpunkten hinausgehenden Sanierung von Setzungen, mit dem Hinweis auf mögliche geotechnische Maßnahmen in Form von Hochdruckinjektionen in den Untergrund. Durch diese kann eine gezielte Hebung der zu sanierenden Abschnitte herbeigeführt werden. Hierzu sind allerdings die Verfahren individuell an vorhandene Bodenverhältnisse und Setzungsformen anzupassen. Wie Erfahrungen zeigen ist eine Höhenkorrektur durch Injektionen auch unter laufendem Betrieb möglich. In den meisten Fällen konnten notwendige nachträgliche Höhenkorrekturen der FF innerhalb des Spielraums der Stützpunkte durchgeführt werden (Platteln). Nur in einigen wenigen Fällen waren zur Wiederherstellung der Gebrauchstauglichkeit der Strecke weitergehende geotechnische Maßnahmen erforderlich. Beispielfhaft seien hierzu die zwei folgenden Fälle genannt:

- Strecke Hannover - Berlin, Bereich Wustermark, aufgetretene Setzung im Zuge des Neubaus der B5
- Strecke Hannover - Berlin, Bereich Dallgow, aufgetretene Setzung im Zusammenhang mit verminderter Lagerungsdichte der Bodenschichten und starker dynamischer Belastung

In beiden Streckenabschnitten konnte durch Injektionen in den Unterbau bzw. die anstehenden Bodenschichten eine Hebung und Sanierung unter laufendem Betrieb erfolgreich durchgeführt werden [10]. Da es in beiden Fällen auch zu Verbundschäden innerhalb der Tragschichten der FF (BTS, HGT, Frostschutzschicht) kam, waren Bereiche mit Spaltbildung gezielt zu verpressen sowie aufgetretene Risse innerhalb der Betontragschichten zu sanieren. Die Maßnahmen waren in beiden Fällen sehr kosten- und zeitintensiv. Dabei sind insbesondere auch die notwendigen umfangreichen Vorerkundungen hervorzuheben.

Zusammenfassende Bewertung der Reparaturkonzepte

Wie aus der Darstellung der Reparaturkonzepte hervorgeht, bieten die FF Anbieter ein weites Spektrum an Sanierungsmaßnahmen an mit welchen Schäden an FF Systemen begegnet werden können. Für alle bisher aufgetretenen Schadensbilder sind demnach technisch durchführbare Sanierungsmethoden vorhanden. Dennoch verbleiben bei den Bauarten mit Betontragschichten einige Schwierigkeiten.

- Vorhandene Einsatzgrenzen von Beton und Betonersatzstoffen im Bezug auf Temperatur und Feuchtigkeit
- Erforderliche Aushärtzeiten des Betons bis zur Wiederbelastung
- Kein angemessenes und schnell einsetzbares Reparaturkonzept zur Sanierung von Setzungen der FF über Korrekturmöglichkeiten im Schienenstützpunkt hinaus
- Kein erprobtes und zugelassenes System zur Sanierung von Schäden an Schwellen und den Schienenstützpunkten durch Montage von Einzelstützpunkten im Schwellenfach
- Schnelle Verfügbarkeit notwendiger Materialien, Oberbaukomponenten, Geräte und Fachpersonal am Schadensort ist bisher nicht gewährleistet

Um der starken Abhängigkeit von Umweltbedingungen zu begegnen, ist die Entwicklung bzw. Vorhaltung geeigneter Einhausungen denkbar, innerhalb welcher im Sanierungsfall für einen Fahrbahnabschnitt definierte günstige Umweltbedingungen hergestellt werden können. Dabei ist eine Konstruktion zu wählen welche zu keiner Beeinträchtigung des Betriebes auf den Nachbargleisen führt (Lichttraumprofil, Standsicherheit bei Vorbeifahrt). Eine wesentliche Qualitätsverbesserung und Beschleunigung von Sanierungsmaßnahmen kann zudem durch weitere Standardisierung bei den anzuwendenden Materialien und Verfahren erreicht werden. Hierbei sind jedoch durch die Vielzahl der eingebauten FF Bauarten derzeit Grenzen gesetzt. Darüber hinaus bietet eine Verbesserung der Logistik im Schadensfall einen großen Hebel zur Verringerung der für die Sanierung eines FF Abschnittes benötigten Zeit. Dies betrifft insbesondere die Sanierung von Schäden welche ohne Vorankündigung auftreten. Für diesen Fall ist durch vertragliche Regelungen oder entsprechende Lagerhaltung eine schnelle Verfügbarkeit von Baustoffen, Geräten, Oberbaukomponenten und qualifiziertem Fachpersonal am Ort des Schadens sicherzustellen.

Entwicklung Reparaturstützpunkt für die Feste Fahrbahn

Aufgrund der Vielzahl der aufgezeigten Problemfelder war eine Fokussierung notwendig. Ein hoher Stellenwert wurde dabei Schadensbildern beigeräumt, welche ohne Vorankündigung auftreten können. Bei einem sich langsam entwickelnden Schaden verbleibt i.d.R. ausreichend Zeit um notwendige Maßnahmen vorzubereiten und eine erforderliche Sanierung betrieblich einzuplanen. Bei den Schienenwegen werden Schäden ohne Vorankündigung in erster Linie durch Havarien der Fahrzeuge hervorgerufen.

Wie die Erfahrungen der ÖBB an der Umfahrung Melk zeigen, sind bei einer Entgleisung auf FF in erster Linie Schäden an den Schwellen, Schienenauflagern und Schienenstützpunkten zu erwarten [9]. Dieses Verfahren ermöglicht durch den hohen Grad an Vorfertigung eine schnelle und von äußeren Einflüssen am Einsatzort weitgehend unabhängige Sanierung. Um ein geeignetes System für den Einsatz als Reparaturstützpunkt für die FF zusammenzustellen, mussten zunächst alle aus den

betreffenden FF Bauarten resultierenden Randbedingungen zusammengetragen werden. Durch die Vielzahl vorhandener Systeme ergaben sich daraus bereits enge Grenzen für die geometrische Konzeption eines einsetzbaren Reparaturstützpunktes. Neben den geometrischen Vorgaben waren bei der Auswahl geeigneter Einbauverfahren und Untergussmaterialien auch klimatische Randbedingungen zu formulieren und bei der Auswahl zu berücksichtigen.

Vorhandene Randbedingungen

Für die Ermittlung der zulässigen Maße des neuen Reparatursystems wurden die kompakten FF Bauarten mit BTS auf der SFS Hannover - Berlin und der NBS Köln - Rhein/Main herangezogen. Die maximale Höhendifferenz zwischen Unterkante Schiene und Oberkante Betontragschicht beträgt hier im Schwellenfach ca. 12 cm. Nach dem AKFF [1] waren in der 3. Auflage als Mindestabstand 7 cm gefordert. In der 4. Auflage des AKFF wurde dieser Abstand auf 6 cm verringert. Die Schwellenfachbreite beträgt bei den betrachteten Bauarten mindestens 35 cm. Alle maßgeblichen FF Bauarten haben eine BTS Dicke von 20 cm oder mehr.

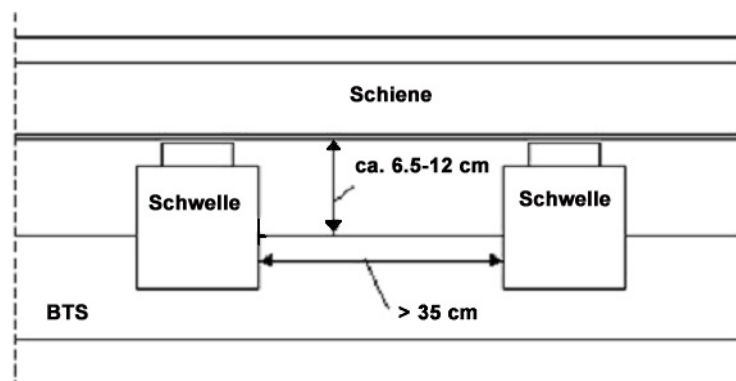


Abb. 4: Einzuhaltende Abmessungen im Schwellenfach

Neben den Abmessungen des Schwellenfachs war für die betreffenden Bauarten auch die Lage der Längsbewehrung zu berücksichtigen. Bei den für eine Befestigung des Schienenstützpunktes notwendigen Bohrungen sollte eine Beschädigung der Bewehrung vermieden werden.

Für das Verarbeiten und Aushärten der für einen Höhenausgleich im Schwellenfach erforderlichen Untergussmasse wurde eine zulässige untere Grenztemperatur festgelegt. Wie die Untersuchung von Klimadaten der letzten Jahrzehnte zeigt, kann bei einer zulässigen Mindesttemperatur von -10°C die Einbaubarkeit mit ausreichender Sicherheit gewährleistet werden.

Schienenstützpunkt

Mögliche Einzelstützpunkte die für ein entsprechendes Reparaturverfahren in Frage kommen, wurden weiter oben genannt. Neben verschiedenen Systemen der Fa. BWG, dem System 336 der Fa. Vossloh (Ioarg 336) und der Krupp ECF-Befestigung wurde ein weiterer Einzelstützpunkt der Fa. Vossloh - das System DFF 300-1 - mit in die Auswahl einbezogen.

Eine Vorgängervariante des Systems DFF 300-1 wurde zum ersten mal 1999 im Rahmen einer Instandsetzung stählerner Hohlkasten Brückenüberbauten im Stadtgebiet Radebeul auf der Strecke Leipzig - Dresden eingesetzt. Der Einzelstützpunkt DFF 300-1 stellt eine modifizierte Version des FF Schienenbefestigung Ioarv 300 dar. Neben den üblichen Komponenten der Schienenbefestigung Ioarv 300 besteht das System aus einem Gussgehäuse, welches die übliche Passform der Schwelle ersetzt und so der Abtragung von Horizontalkräften im Schwellenfach dient. Das Verspannen des Stützpunktes erfolgt über zwei gegen die stählerne Unterlagsplatte verschraubte Hammerkopfschrauben. Zum Anschluss an die BTS sind 4 Befestigungsmittel vorgesehen.

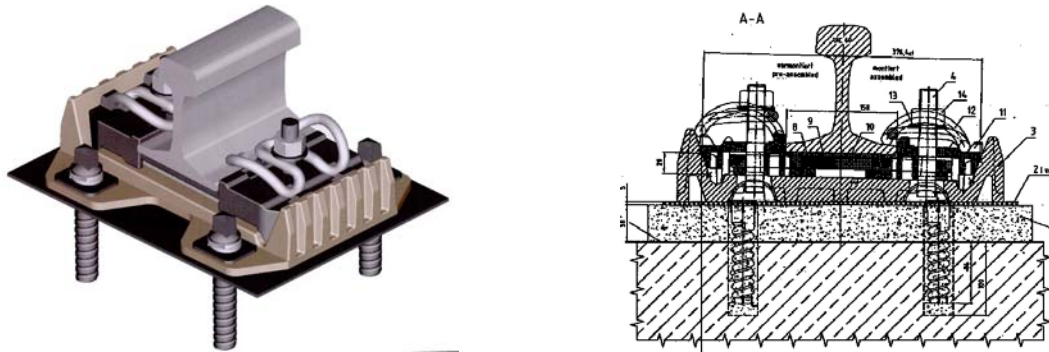


Abb. 5 u. 6: Isometrische Ansicht und Querschnitt des Einzelstützpunktes DFF 300-1 (Fa. Vossloh)

Der Stützpunkt erfüllt mit einer Mindesthöhe von 65 mm und einer Breite von 35 cm, die geforderten geometrischen Randbedingungen (Stand AKFF 3. Auflage). Daneben bietet die Schienenbefestigung DFF 300-1 die gleiche nachträgliche Höhen- und Seitenregulierbarkeit wie das System loarv 300. Aufgrund seiner großen Lasteinleitungsfläche ist er gut für das Untergießen geeignet und führt bei einer Spannungsberechnung in den FF Tragschichten nach dem Verfahren Eisenmann zu keiner Überschreitung der zulässigen Werte. Durch die weitestgehende Kompatibilität mit dem Regelstützpunkt loarv 300 wird ein stetiger Übergang der Steifigkeiten und des dynamischen Verhaltens im Fahrweg gewährleistet sowie die Anzahl vorzuhaltender Verschleißteile begrenzt. Die angeführten Vorteile des DFF 300-1 führten zu einer Favorisierung des Systems für den Einsatz als Reparaturstützpunkt.

Unterguss

Das Untergussmaterial für den Reparaturstützpunkt muss maximal 5 cm Höhendifferenz zwischen Unterkante Schienenstützpunkt und Oberkante BTS sowie ggf. vorhandene Bautoleranzen ausgleichen. Für die Endfestigkeit des Materials sind mindestens die Festigkeitswerte eines B35 zu fordern. Daneben ist eine Beständigkeit gegen chemische und physikalische Beanspruchungen vorauszusetzen. Eine gute Qualität des Untergusses muss auch bei widrigen Einbaubedingungen herstellbar sein. Daher war auf eine gute Verarbeitbarkeit und günstiges Aushärtverhalten der Stoffe besonderes Augenmerk zu richten. Dieses musste für alle geforderten klimatischen Bedingungen erfüllt sein. Es zeigte sich, dass eine optimale Einhaltung aller Forderungen durch ein einziges Material nicht bewerkstelligt werden kann. Aus diesem Grund wurde bei der Auswahl der Untergussstoffe eine Unterscheidung in eine Regelversion für Temperaturen $T > 5^{\circ}\text{C}$ und eine Winterversion für Temperaturen $-10^{\circ}\text{C} < T < 5^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Für diese beiden Temperaturbereiche wurden Stoffe gefunden, welche das Anforderungsspektrum weitestgehend erfüllen.

Die bisher bei der DB AG für vergleichbare Anwendungsfälle eingesetzten Stoffe Icosit KC 330 (Polyurethanbasis) und Icosit KC 220 (Epoxydharzbasis) der Fa. Sika sind wenig geeignet. Diese Materialien können erst ab Temperaturen von 5°C eingesetzt werden und erfordern zudem einen trockenen Untergrund. Mit erforderlichen Abbindezeiten von ca. 24 h im unteren zulässigen Temperaturbereich und einer schlechten Verarbeitbarkeit (z.T. Einfüllen unter Druck) sind sie als Komponente eines FF Reparatursystems nicht geeignet. Dies wurde anhand durchgeführter Einbauversuche bestätigt.

Für den Regelfall wurde entsprechend den o.g. Anforderungen ein Verfüllstoff auf bewährter Zementbasis gewählt. Dabei handelt es sich um einen Hochleistungsmörtel der Fa. Pagel (Pagel V2/40, Pagel V2/10). Das Material hat aufgrund seiner Zusammensetzung ähnliche Eigenschaften wie die BTS und ist damit für Folgeschäden im Kontaktbereich weniger anfällig. Daneben ist es unter Baustellenbedingungen einfach herzustellen und einzubauen. Der in Säcken ausgelieferte Trockenmörtel kann vor Ort mit Wasser angerührt werden und hat im einbaufertigen Zustand eine fließfähige Konsistenz. Je nach Einbaudicke sind dabei Trockenmischungen mit verschiedener Zuschlagskörnung zu verwenden (V2/10, V2/40, V2/80). Das Material kann abhängig von der Temperatur über 0,5 - 1 h verarbeitet werden.



Abb. 7 u. 8: Hochleistungsmörtel V2/40 (Fa. Pagel) Gebinde bei Anlieferung und Anrühren mit Wasser

Der frühfeste Zementmörtel erreicht bei 20°C bereits nach 2 - 3 h eine Druckfestigkeit von 15 N/mm² und nach 6 - 7 h die Widerstandswerte eines B35. Bei 5 °C tritt nur eine geringe Verzögerung von ca. 2 h bis zur Erreichung der genannten Festigkeitswerte auf. Die Aushärtung bis zur Endfestigkeit von 75 N/mm² erfolgt dabei mit einem sehr geringen Schwindmaß.

Bei der Auswahl eines Untergussmaterials für niedrige Temperaturen ($T < 5^{\circ}\text{C}$) entschied man sich für das Produkt Sikadur 12 Pronto der Fa. Sika. Das Metacrylharz härtet auch bei Minustemperaturen aus und bietet dabei eine ausreichend lange und gute Verarbeitbarkeit. Der Reparaturmörtel wird in vordosierten Einwegebinden angeliefert und besteht aus 2 Komponenten (Zuschlag und Binder). Diese sind vor Ort anzumischen. Wie beim Zementmörtel beträgt die Verarbeitungszeit im Temperaturbereich $-10^{\circ}\text{C} < T < 5^{\circ}\text{C}$ etwa 0,5 - 1 h. Dabei ist die Mischung dünnflüssiger als der Zementmörtel, weshalb bei einer notwendigen Schalung besondere Abdichtungsmaßnahmen erforderlich werden.



Abb. 9 u. 10: Metacrylharz Sikadur 12 Pronto (Fa. Sika) Gebinde bei Anlieferung und Mischen der Komponenten

Für eine Druckfestigkeit von 15 N/mm² benötigt das Produkt bei 5°C eine Aushärtzeit von etwa 1 h und bei -10°C ca. 2 h. Die Festigkeitswerte eines B35 sind bei 5 °C nach ca. 2,5 h und bei -10° nach etwa 6 h erreicht. Nach Abschluss des Abbindevorganges hat das Material eine Druckfestigkeit von über 95 N/mm² und einen E-Modul von ca. 8000 N/mm². Allerdings erfordert das Kunstharz für die Ausbildung einer Haftzugfestigkeit trockene Untergrundflächen. Da beim chemischen Abbindeprozess des Kunstharzes sehr viel Wärme freigesetzt wird, kann bei der Grundfläche des Schienenstützpunktes DFF 300-1 maximal eine Dicke von ca. 30 mm eingebaut werden.

Befestigungsmittel

Für die Befestigung des Schienenstützpunktes standen verschiedene Ankersysteme sowie die herkömmliche Schwellenschrauben/Dübel Kombination zur Auswahl. In der Vergangenheit aufgetretene Probleme mit Ankersystemen bei der FF (Bauart Hochtief Waghäusel, Versuche zur Fixierung loser Schwellen) führten zu einer Favorisierung der Schwellenschrauben/Dübel Lösung. Diese i.d.R. kürzeren Verbindungsmittel verringern den Bohraufwand und minimieren so auch das

Risiko bei den Arbeiten Bewehrungsstäbe zu beschädigen. Darüber hinaus sind sie als Teil der FF Regelbefestigung loarv 300 ohnehin verfügbar und kostengünstiger als entsprechende Ankersysteme.

Gesamtsystem Reparaturstützpunkt FF

Die schematische Darstellung (Abb.11) zeigt die beiden aus den ausgewählten Komponenten zusammengesetzten Varianten des Reparaturstützpunktes.

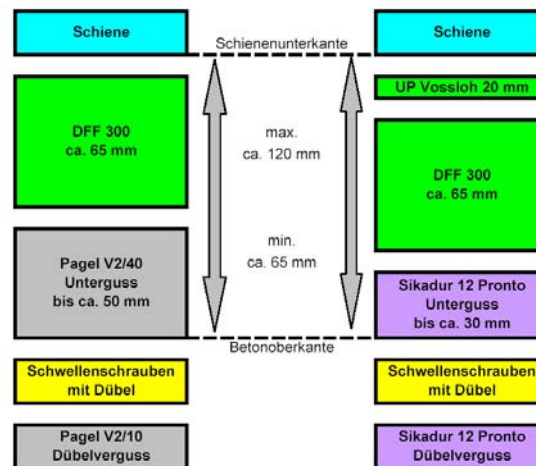


Abb. 11: Schematische Darstellung Reparatursystem in Regel- (li.) und Winter- (re.)

Da in der Winterversion der Unterguss aus Sikadur 12 Pronto nur bis zu einer Dicke von 30 mm eingebaut werden kann, ist bei Ausgleichshöhen über dieses Maß hinaus, eine im Schienenstützpunkt integrierte Unterlagsplatte (UP) in geeigneter Höhe vorzusehen.



Abb. 12: Fertiggestellter Einzelstützpunktes DFF 300-1 mit Pagel Unterguss nach Einbauversuch

Einbau- und Zulassungsversuche

Nachdem die gute Einbaubarkeit der beiden ausgewählten Varianten erfolgreich nachgewiesen werden konnte, wurden an der TU München Zulassungsversuche zur Überprüfung der technischen Eignung und der Dauerhaftigkeit durchgeführt. Dabei wurde im Rahmen von Vorversuchen zunächst die ausreichende Tragfähigkeit der vergossenen Befestigungsmittel nachgewiesen und anschließend mit einem Scherenhebel-Dauerschwingversuch das Verhalten des Gesamtsystems untersucht.

Als Ergebnis des durchgeführten Scherenhebelschwingversuches konnte festgestellt werden, dass die gemessenen Spurerweiterungen und Schienenneigungen über die gesamte Versuchsdauer im zulässigen Bereich blieben. Die vergossenen Verbindungsmittel konnten die notwendigen Zugkräfte aufnehmen und über die Versuchsdauer halten. Nach Beendigung der Belastungsphasen wurden die Stützpunkte abgebaut und ihre Komponenten untersucht. Dabei waren keine Schäden an den

Bauteilen festzustellen. Auf der Grundlage der durchgeführten Versuche wurde das Reparaturkonzept DFF 300 – 1 in beiden Varianten (Regel- und Winterversion) vom EBA zur Betriebserprobung zugelassen.

Einbau zur Betriebserprobung

Für die Betriebserprobung sollten von beiden Varianten des Reparaturstützpunktes jeweils 10 Stück auf einem zusammenhängenden Streckenabschnitt eingebaut werden. Als Einbauort wurde auf der SFS Hannover - Berlin im Gegenrichtungsgleis der Streckenkilometer 134,4 ausgewählt (Abb. 13).



Abb. 13 : Ansicht des Einbauortes im Netzbezirk Wustermark vor dem Einbau

Der Einbauort befindet sich in einem Bogen mit 4500 m Radius und einer Überhöhung von 145 mm. Die vorliegende FF Bauart ist Rheda Leonhardt-Weiss. Als charakteristische Maße weist sie eine Schwellenfachbreite von ca. 40 cm und eine planmäßige Höhendifferenz zwischen Unterkante Schiene und Oberkante BTS von ca. 10 cm auf. Die FF ist in intaktem Zustand.

Der Einbau wurde in drei Sperrpausen mit jeweils ca. 3 h Länge durchgeführt. Dabei waren im Einzelnen die folgenden Arbeitsschritte mit dem genannten Zeitaufwand je Stützpunkt durchzuführen:

- Reinigen bzw. Anrauen der Betonoberfläche im Schwellenfach
- Montage der Stützpunkte an der ausgerichteten Schiene im Schwellenfach
- Herstellen und Reinigen der Bohrlöcher für die Verbindungsmittel
- Anbringen der Verschalung für den Unterguss und Anmischen der Vergussmasse
- Verfüllen der Bohrlöcher und Einsetzen der Schrauben-Dübelkombination
- Untergießen des Stützpunktes mit Vergussmasse
Bei Pagel Unterguss ist die BTS Oberfläche vor dem Vergießen anzufeuchten
Bei dem Sika Material sind bei vorhandener Feuchte die Oberflächen der BTS vor dem Vergießen z.B. mit einem Gasbrenner anzutrocknen
- Aushärten des Untergusses bis zur Belastbarkeit (4 - 8 h)
- Lösen der Verschalung und Verspannen der Schwellenschrauben und des Stützpunktes
Bei Pagel ist der Unterguss durch das Aufspritzen eines Verdunstungsschutzes nachzubehandeln

Der Einbau der Einzelstützpunkte DFF 300-1 verlief ohne nennenswerte Schwierigkeiten. Im Durchschnitt ergab sich bei dem am Einbauort vorhandenen Personal mit einem Bohrteam, einem Team für die Montage und Demontage der Stützpunkte und zwei Teams für das Einschalen und Vergießen des Untergusses (Sika und Pagel) ein Zeitaufwand von ca. 20 min. bis zur Fertigstellung des Untergusses je Stützpunkt. Weitere 15 min. wurden nach erfolgter Aushärtung für das Ausschalen und Verspannen benötigt. Damit ergibt sich bei dem vorhandenen Personal und hergestellten 20 Stützpunkten ein Zeitaufwand von ca. 35 min. je Stützpunkt. Durch eine Verbesserung der Arbeitsprozesse und bessere Vorbereitung erscheint aufgrund der Erfahrung beim Einbauversuch eine Reduzierung der erforderlichen Zeiten um bis zu 40 % als realistisch.

Nach Abschluss der Arbeiten wurden im umgebauten Bereich die alten loarv 300-1 Schienenstützpunkte gelöst, die Spannklemmen in der Vormontagestellung fixiert und die

Zwischenlagen entnommen. Dadurch ist gewährleistet, dass die gesamten im Gleis auftretenden Kräfte von den neu eingebauten Schienenstützpunkten aufgenommen werden.



Abb. 14 : Ansicht des Umgebauten Gleisbereichs im Netzbezirk Wustermark



Abb. 15 : Eingebaute Reparaturstützpunkte DFF 300-1 in Winter- (li.) und Regelvariante (re.) mit gelöster Regelbefestigung (mi.) und Spannklemme in Vormontagstellung

Bei den bisher durchgeführten Begehungen, Messfahrten und Messungen konnten nach nun rund 1-jähriger Liegedauer keine Schäden oder Auffälligkeiten an den Reparaturstützpunkten festgestellt werden.

Zusammenfassung und Ausblick

Für die im Netz der DB AG eingebauten kompakten FF Bauarten mit BTS wurde der Sachstand zum Thema Reparaturkonzepte sowie vorhandene Erfahrungen im Hinblick auf durchgeführte Sanierungen gesammelt. Es zeigt sich, dass nach derzeitigem Kenntnisstand für alle Schadensbilder technisch realisierbare Sanierungskonzepte angeboten werden. Die möglichen wesentlichen Schwächen der derzeitigen Reparaturkonzepte wurden herausgestellt. Vor diesem Hintergrund wurde ein neues Reparaturmodul für die Sanierung von kompakten FF Bauarten mit Betontragschicht entwickelt. Es wurde besonderes Augenmerk auf die Sanierung von Schadensbildern gerichtet, die ohne Vorankündigung z.B. als Folge von Entgleisungen auftreten können. Nach bisherigen Erfahrungen ist hierbei vor allem mit Schäden an Schwellen, Schienenauflagern und Schienenbefestigungen zu rechnen. Als geeignete Sanierungsmaßnahme erscheint in diesem Fall der Einbau von Einzelstützpunkten in die Schwellenfächer der beschädigten Bereiche. Auf diese Weise ist eine schnelle Wiederinbetriebnahme der Strecke zu erreichen. Hierzu wurde ein System auf der Basis des Einzelstützpunktes DFF 300-1 weiterentwickelt, versuchstechnisch untersucht und im Gleis zur Betriebserprobung eingebaut. Nach positiver Beendigung der Betriebserprobung steht mit dem System Reparaturstützpunkt DFF 300-1 ein schnell und vielseitig einsetzbares Modul für die Sanierung kompakter FF Bauarten mit BTS zur Verfügung.

Die DB Systemtechnik dankt den Firmen Vossloh, Pagel und Sika für ihre Mitarbeit bei der Realisierung und dem Einbau des Reparatursystems DFF 300-1.

Schriftum

- [1] Anforderungskatalog zum Bau der Festen Fahrbahn, 3. und 4. Auflage, DB AG
- [2] ZTV-SIB 90, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen (Ausgabe 1990)
- [3] ZTV-RISS 93, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für das Füllen von Rissen in Betonbauteilen (Ausgabe 1993)
- [4] Richtlinie für Schutz und Instandhaltung von Betonbauteilen, Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (Ausgabe 2001)
- [5] ZTV-ING, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (Ausgabe 2002)
- [6] Bei der Deutschen Bahn AG eingereichte Reparaturkonzepte für die FF Bauarten FF Züblin, FF Rheda DYWIDAG, FF Rheda Heilit + Woerner, FF Rheda 2000 und FF Bögl)
- [7] Versuchsstrecke Feldkirchen, Dokumentation der Dyckerhoff & Widmann AG im Auftrag der DB AG (1985)
- [8] Erneuerung 25 Lfm. Feste Fahrbahn Dachau / Karlsfeld, Dokumentation der Dyckerhoff & Widmann AG im Auftrag der DB AG (1985)
- [9] Johann Floh und Rudolf Schilder, Sanierung der Festen Fahrbahn Umfahrung Melk , Zement und Beton Heft 2/02
- [10] Martin Krentz, Bolko Maiwald, Sanierung eines Setzungsschadens an der ICE – Hochgeschwindigkeitsstrecke Berlin – Hannover, Tagungsband zum Symposium FF Berlin, 2002
- [11] Peter Danzer, Bewertung der Erneuerung von Bauarten der Festen Fahrbahn nach einem Unfall, Tagungsband zum Symposium FF Berlin, 2002

Der Autor:

Dipl. Ing. Denis Kočan, Projektleiter bei der DB Systemtechnik T.TZF 64, München