

PRZEGLĄD BADAŃ DIAGNOSTYCZNYCH SZYN Z ZASTOSOWANIEM PRĄDÓW WIROWYCH¹

Sławomir Grukowski

dr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel 58 348-60-89, slawi@pg.gda.pl

Jerzy Zariczny

mgr inż., Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Transportu Szynowego, ul. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, tel 58 348-60-89, jertzaric@pg.gda.pl

Streszczenie. W artykule zawarto przegląd podstawowych badań szyn kolejowych z udziałem prądów wirowych, wykonanych w Niemczech w ostatnich latach. Wskazano na zależność amplitud sygnału prądów wirowych od twardości spoiny w szynach. Zaprezentowano nieścisłości wyników badań szyn wykonanych z wysokowytrzymałych gatunków stali.

Słowa kluczowe: szyna kolejowa, prądy wirowe, diagnostyka szyn

1. Wstęp

Od kilkunastu lat trwa intensywny rozwój badań nieniszczących powierzchni tocznej główki szyny. Przede wszystkim dotyczy on zastosowania tzw. prądów wirowych do wykrywania zmian w strukturze fizycznej szyny. Wciąż rozwijane są technologie wykorzystujące to zjawisko. Duży nacisk kładzie się przy tym na zapewnienie odpowiedniej jakości oraz dokładności uzyskiwanych wyników.

Powierzchnia toczna główki szyny w trakcie eksploatacji podlega bardzo wielu różnym oddziaływaniom (zwłaszcza mechanicznym), których skutki mają wpływ na mechanizmy powstawania wad i uszkodzeń w zależności od konstrukcji toru, typu szyny i gatunku stali szynowej oraz kategorii linii. Mimo pozytywnych wyników badań i analiz cały czas konieczne są dalsze prace w torze, aby rozwijać techniki badawcze oraz zastosować zjawisko prądów wirowych w diagnostyce elementów stalowych nawierzchni.

W artykule scharakteryzowano badania szyn za pomocą prądów wirowych przeprowadzone głównie w Niemczech, gdzie diagnostyka szyn w tej technologii została w pewnym stopniu wdrożona, oraz omówiono założenia rozwoju nowego systemu diagnostycznego.

¹ Wkład autorów w publikację: Grukowski S. – 50%, Zariczny J. – 50%.

2. Ogólne wiadomości o badaniach z zastosowaniem prądów wirowych w szynach

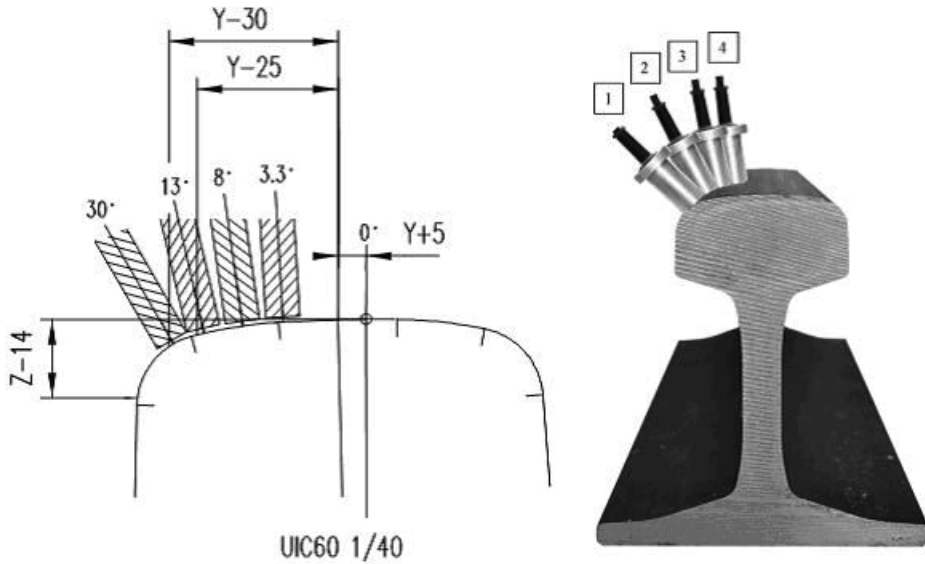
Badanie szyn z użyciem prądów wirowych jest kompleksowym, skomplikowanym procesem, który stawia bardzo wysokie wymagania nie tylko przed systemem badawczym, lecz także przed diagnostami i naukowcami, w zakresie interpretacji uzyskanych wyników.

Metoda badania i analizy rysy powstającej na główce szyny jest specyficzna. Czujnik pomiarowy, który zbudowany jest z układu cewek, zostaje poddany działaniu prądu zmiennego, w wyniku czego powstaje zmienne pole magnetyczne. Czujnik zbliża się do badanego obiektu, wywołując na jego powierzchni indukcję magnetyczną, co prowadzi do powstania tzw. prądów wirowych, które wytwarzają wtórne pole magnetyczne, które dodatkowo nakłada się z polem pierwotnym (rys. 1). Jakikolwiek zmiany w strukturze powierzchni, w tym także wszelkie wady i uszkodzenia powierzchniowe powodują zmiany wielkości prądów wirowych, a tym samym w wartościach wtórnego pola magnetycznego, które to zmiany są miarą zmian w strukturze powierzchni elementu.



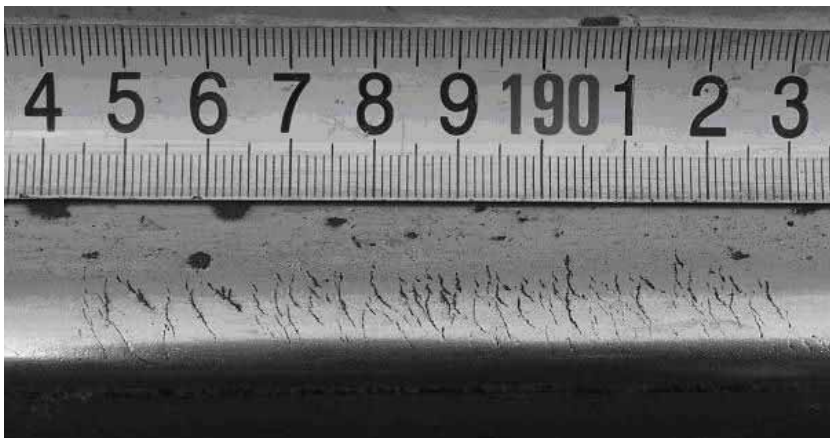
Rys. 1. Zasada pomiaru prądów wirowych [6]

Diagnostyka szyn za pomocą prądów wirowych jest stosowana do określania wielkości otwartych pęknięć stali na powierzchni tocznej szyny. W tym celu wymagane jest odpowiednie usytuowanie cewek na główce szyny. Obecnie przyjmuje się, że musi ich być co najmniej cztery, w ściśle określonym położeniu (rys. 2) [1].



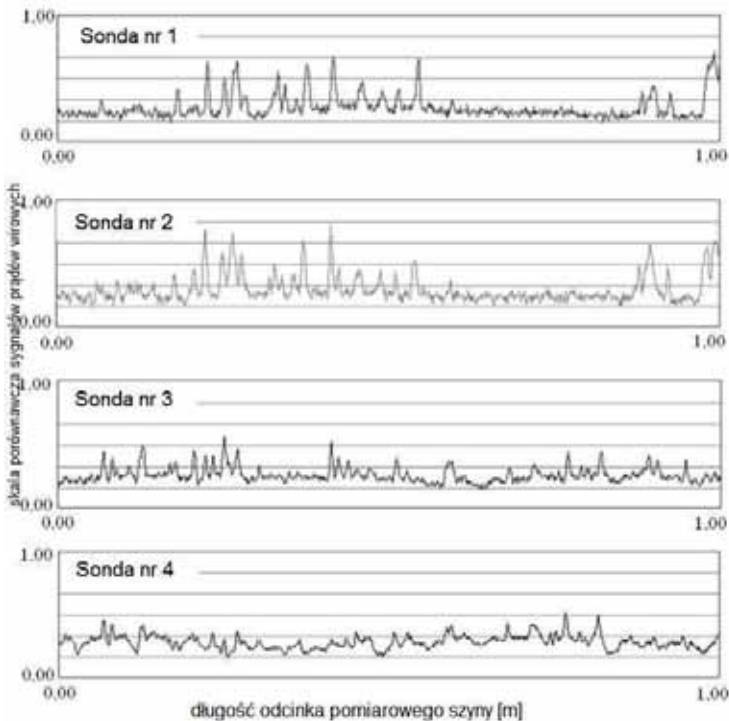
Rys. 2. Usytuowanie cewek prądów wirowych na powierzchni toczonej główki szyny {5}

Rysy i pęknięcia powstają w wyniku cyklicznego kontaktu tocznego koła z szyną pod dużym obciążeniem. Mają więc charakter zmęczeniowy i noszą nazwę Head Checks. Wady Head Checks występują głównie na szynie zewnętrznej w łukach. Główną zaobserwowaną przyczyną jest oddziaływanie sił odśrodkowych w czasie przejazdu pojazdu kolejowego, a tym samym nabiegnięcia koła na szczególnie obciążoną krawędź toczną szyny. Kilka milimetrów kwadratowych powierzchni toczonej szyny w ciągu bardzo krótkiego okresu czasu są narażone na ogromne obciążenia, które w końcu prowadzą do uszkodzenia materiału w postaci pęknięć powierzchniowych. Na rys. 3 przedstawiono charakterystyczne rysy początkowej fazy rozwoju wady Head Checks na krawędzi toczonej szyny na linii kolejowej nr 131 w okolicach stacji Smętowo.



Rys. 3. Rysy na krawędzi szyny w początkowej fazie powstawania wady Head Checks

Kształt i przebieg rysy mają bardzo duży wpływ na charakter sygnału prądów wirowych. Każdy z poniższych wykresów (rys. 4) przedstawia sygnał poszczególnych sondy pomiarowej, począwszy od sondy skrajnej (sonda nr 4), która mierzyła stan szyny w teoretycznym punkcie styku koła z szyną do punktu skrajnego powierzchni tocznej (sonda nr 1).



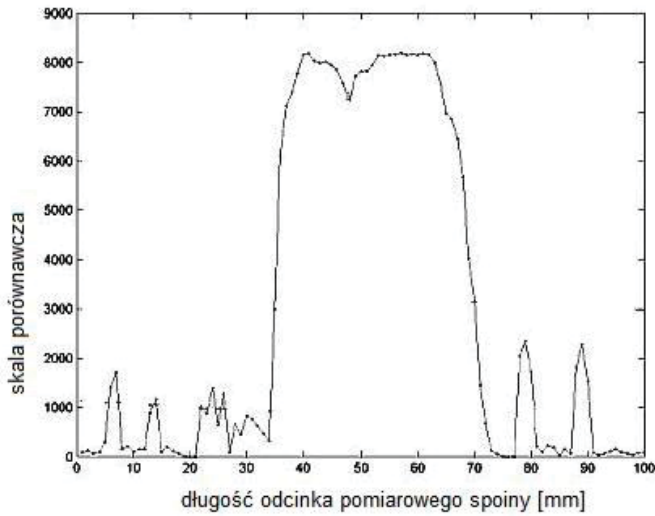
Rys. 4. Charakterystyczne wykresy sygnałów z sond pomiarowych na szynie R260 z wadą Head Checks {2}

3. Wpływ rodzaju materiału powierzchni tocznej główki szyny na sygnał prądów wirowych

Wytworzenie się prądów wirowych jest bardzo silnie uzależnione od mikrostruktury materiału, jego jakości i jednorodności. Uwidacznia się to w trzech szczególnych przypadkach: strefach spoin, miejscach utwardzenia powierzchniowego główki szyny oraz w przypadku stosowania szyn wytworzonych z wysokowytrzymałych gatunków stali.

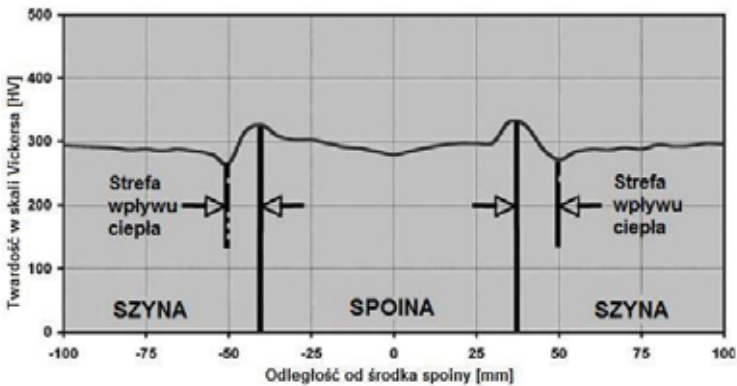
3.1. Zmiany strukturalne w strefie spoin

Przebieg amplitudy sygnału prądu wirowego zmienia się znacząco przy napotkaniu spoiny termitowej. Rys. 5 pokazuje sygnał prądu wirowego na odcinku szyny R260, na którym znajdowała się spoina termitowa.



Rys. 5. Sygnał prądu wirowego na odcinku szyny R260 ze spoiną termitową {3}

Zauważalne jest znacznie mniejsze amplitudy sygnału w strefie spoiny niż na odcinkach sąsiadujących na zewnątrz spoiny. Spowodowane jest to przez różnice w twardości stali w strefie wpływu ciepła. Wartości twardości rosną od strefy spoiny do osiągnięcia wartości zgodnej z typem szyny. Takie właściwości prowadzą do bardzo charakterystycznego przebiegu sygnału, co pozwala bardzo dobrze identyfikować strefy spoin termitowych i jakość ich wykonania w wyniku badań prądami wirowymi. Na podstawie badań laboratoryjnych wykazano, że przebieg poziomu twardości odcinka szyny, mierzony w skali Brinella (rys. 6), spełnia jakościowo takie same funkcje, jak sygnał prądów wirowych.



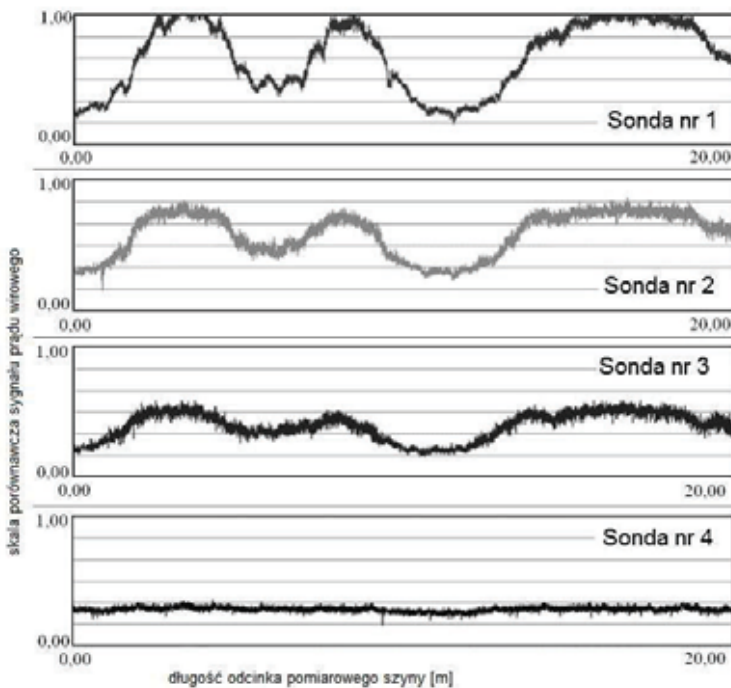
Rys. 6. Wykres twardości odcinka szyny R260 ze spoiną termitową {4}

Porównanie tych wykresów pozwala jednoznacznie stwierdzić, że twardość powierzchni toczonej główki szyny i zmienność sygnałów prądów wirowych są w znacznym stopniu skorelowane ze sobą [7].

3.2. Zmiany strukturalne w wyniku utwardzania powierzchniowego główki szyny

Podobnie jak w powyższym przykładzie można identyfikować np. jakość utwardzenia powierzchniowego główki szyny. W wyniku zmian stopnia utwardzenia warstw na głowce szyny, zmienia się również przebieg amplitudy sygnału prądu wirowego.

Na rys. 7 pokazano sygnały prądów wirowych na odcinku ok. 20 m szyny ze zmniejszającą się oraz zwiększającą się twardością. Wzrosty sygnałów prądów wirowych są równoznaczne ze wzrastającą twardością powierzchni tocznej główki. Fragmenty tego wykresu o wartościach najmniejszych odpowiadają w przybliżeniu wartościom sygnału badanego na materiale podstawowym tej stali szynowej.



Rys. 7. Sygnały prądów wirowych badanych na szynie z utwardzoną główką szyny [2]

Szczególnie istotne sygnały można zaobserwować na tzw. krawędzi tocznej szyny. W tym najbardziej obciążonym i narażonym na szczególne naprężenia punkcie (kanały 1 i 2), w czasie badań prądami wirowymi można zaobserwować sygnały o bardzo dużej zmienności. Wyrównany zakres sygnału w kanale 4 dowodzi, że materiał powierzchni szyny odpowiada materiałowi podstawowemu [2].

Ten przykład pokazuje, że możliwe jest wykrycie strukturalnych zmian w głowce szyny, powstałych w wyniku powierzchniowego utwardzenia, wykorzystując technikę pomiarów prądów wirowych.

Duża wartość sygnału prądów wirowych świadczy o większej twardości. Późniejsze pierwotne pęknięcia zmęczeniowe powstają w miejscach gdzie ta wartość jest najmniejsza. Pozwala to na zdiagnozowanie miejsca, w którym istnieją sprzyjające warunki do powstania wady Head Checks [7].

Już te dwie obserwacje pozwalają określić jak powinien wyglądać proces diagnostyczny z użyciem prądów wirowych. Jego celem jest wczesne wykrywanie wad i uszkodzeń oraz wykonanie czynności zapobiegawczych. Obecne strategie konserwacyjne, dotyczące usuwania wad kontaktowo-zmęczeniowych są zróżnicowane. Zazwyczaj w początkowej fazie kształtowania się rys na główkach szyny jest jeszcze za wcześnie na podejmowanie istotnych działań, ale już w początkowej fazie powstawania pęknięć przeprowadza się szlifowanie szyn. Ocena głębokości wady lub uszkodzenia za pomocą prądów wirowych zazwyczaj związana jest z intensyfikacją pęknięć. Można także starać się w procesie eksploatacji utrzymywać dobry stan utrwalenia powierzchniowego przez wykonywanie systematycznych badań i analiz za pomocą prądów wirowych, a na tej podstawie wykonywać prewencyjne szlifowanie szyn, w przypadku pojawienia się jakichkolwiek symptomów obniżonej wytrzymałości główki szyny. W ten sposób można zdecydowanie opóźnić moment powstania rys.

3.3. Badanie rys i uszkodzeń wysokowytrzymałych gatunków szyn kolejowych

Gatunki szyn o wysokiej wytrzymałości podlegają nie tylko zupełnie innym procesom produkcyjnym niż szyny typowe gatunku R260, ale wytworzone są z materiału o zupełnie innym składzie. Dotychczasowy rozwój systemu pomiarowego prądów wirowych oparty był na doświadczeniach, warunkach i parametrach szyn gatunku R260. Szczególne znaczenie mają tu elektromagnetyczne właściwości materiału stosowanego do produkcji tego typu szyn. Wpływ innych komponentów i materiałów stosowanych w procesie wytwarzania szyn nie jest w pełni znany. Jednak wciąż podejmowane są testy i badania w celu określenia wpływu różnych gatunków stali na wiarygodność wyników pomiarów za pomocą prądów wirowych.

W ostatnich latach coraz częściej stosuje się – szczególnie w łukach – szyny gatunku R350 HT. Postępuje się z nią podobnie jak z szyną jakości R260 ze stali węglowo-manganowej, poddanej specjalnej obróbce cieplnej. W wyniku tego procesu uzyskuje się wzrost wartości twardości na powierzchni główki szyny do 380 HB. Uzyskana zwiększona twardość, wytrzymałość oraz zwiększona odporność na tzw. zmęczenie toczne, przekładają się bezpośrednio na zdecydowane wydłużenie okresu eksploatacji takiej szyny w stosunku do typowej szyny R260. Zmiany struktury główki szyny spowodowane zwiększoną twardością powierzchni w szynach R350 HT nie zostały jeszcze w pełni zbadane za pomocą zmian amplitudy sygnału prądów wirowych. Problem mogą stanowić niewielkie rysy na szynach, które są charakterystyczne dla stali szynowej o takiej twardości. Taka sytuacja może uniemożliwić poznanie pełnych charakterystyk prądów wirowych

w szynie wzmocnionej. Ocena głębokości wady Head Checks w szynach R350 HT póki co odbywa się za pomocą metod porównawczych.

Na podstawie wcześniejszych badań metalurgicznych i trybologicznych stwierdzono, że rysa wady Head Check w szynach z wzmocnioną główką jest o około 0,50 mm głębsza niż w szynach surowych R260. Jednak badania za pomocą prądów wirowych pokazują znacznie mniejsze uszkodzenia. Badania niemieckie wykazały, że średnia głębokość uszkodzeń wynosiła około 0,40 mm, natomiast maksymalna głębokość rysy aż 0,90 mm. Jednak w przypadku szyn jakości R350 HT powstałe rysy są usytuowane znacznie bliżej siebie niż w przypadku szyn surowych R260. Zjawisko takie może zafałszować wyniki. Trzeba zatem postawić pytanie, czy głębokość rysy 0,40 mm jest rzeczywiście prawidłowa.

Przypuszcza się, że taka sytuacja mogła zachodzić na skutek niewielkiego odstępu rys. Skutkowało to stosunkowo niewielkimi amplitudami sygnałów prądów wirowych i prowadziło do zdecydowanego zafałszowania interpretacji wyniku przez nakładanie się sygnałów. Dowodzi to niezbicie konieczności dalszych badań nad tym, w jakim stopniu wykazywane przez sygnały prądów wirowych głębokości rys są zgodne z głębokościami rzeczywistymi [2].

4. Wnioski

Do planowania i kontroli stanu szyn kolejowych za pomocą badań nieniszczących wymagane jest sformułowanie i przestrzeganie ścisłych procedur oraz wysoka dokładność oceny. Przedstawione przykłady służyły pokazaniu, jakie możliwości dają badania i analiza prądów wirowych. Trzeba zawsze jednak pamiętać, że są granice stosowności tej metody do praktycznej oceny zjawisk w szynach, a rozszerzenie zakresu jej używania wymaga dodatkowych badań i weryfikacji.

Ze względu na duży wpływ stanu materiału powierzchni tocznej główki szyny na jakość badań ważne jest dalsze badanie różnic wyników (sygnału prądów wirowych) przy zmianach jakości szyn kolejowych. Należy zdecydowanie poprawić dokładność określania głębokości rys blisko siebie usytuowanych wad Head Checks w szynach wysokowytrzymałych.

Dalsze rozwijanie zagadnienia wykrywania wad kontaktowo-zmęczeniowych może przyczynić się do optymalizacji działań prewencyjnych, które ograniczają wzrost liczby pęknięć.

Literatura

- [1] Anforderungsdokument für Wirbelstromprüfeinrichtungen auf Schienenbearbeitungsmaschinen DB Systemtechnik GmbH, Zerstörungsfreie Prüfung und Prüfsysteme, Exemplar Version 2.0 (2010), Dokument Nr: 10-P-13656-T.TZ34.

-
- [2] Dey A., Casperson R., Pohl R., Thomas H.-M., Die Wirbelstromprüfung als Hilfsmittel für die Schieneninstandhaltung, DGZfP Jahrestagung 2010, Erfurt 10-12 Mai 2010.
 - [3] Dilz K., Pohl J., Rühle S., Thomas H.-M., Casperson R., Online-Schweißnahterkennung von Schienenprüfzügen mittels Wirbelstromverfahren, DGZfP Jahrestagung 2003, Mainz 26-28 Mai 2003.
 - [4] Keichel J., Gehrman R., Neues Thermit-Schweißverfahren SkV-Elite, Eisenbahningenieur, September, 2008.
 - [5] Meierhofer R., Pohl R., Head Check Measurement – a Fully-operational System on a Rail Grinder; Proceedings: World Congress on Railway Research, Montreal Canada, 2006.
 - [6] Strona internetowa Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung http://www.bam.de/de/kompetenzen/fachabteilungen/abteilung_8/fg84/fg84_ag4.htm
 - [7] Thomas H.-M., Dey A., Pohl R., Heyder R., Krull R., Dilz K., Früherkennung von Rollkontaktermüdung (RCF) in Eisenbahnschienen, DGZfP DACH-Tagung 2008, St. Gallen 28.-30.04.2008.