Vorteile vanadiumlegierter Schienenstähle im Nahverkehr

Wie Nahverkehrsbetriebe vom Einsatz Vanadium-legierter Schienenstähle profitieren: längere Liegezeit, weniger Instandhaltungsaufwand

HANSRUEDI IMHOF | JÖRG ZÜHLSDORF | FRIEDHELM LORENZ

Vanadiumlegierte Schienenstähle sind in unterschiedlichen Stahlsorten und Profilen am Markt verfügbar. Ihre positiven Eigenschaften bezüglich der Liegedauer und Schweißbarkeit machen sie besonders für den Einsatz in Anlagen des schienengebundenen Personennahverkehrs interessant. Dieser Beitrag gibt einen kurzen Überblick über die Entwicklung der Schienenstähle im Allgemeinen und der vanadiumlegierten Schienenstähle im Besonderen. Ergebnisse von Betriebsversuchen sowohl im Betriebsgleis als auch in Weichenanlagen bestätigen die Vorzüge dieser Werkstoffe in der Praxis.

Entwicklung der Schienenstähle

Die Entwicklung der Schienenstähle begann in den 1830er Jahren mit Zweistoffschienen. Der Schienenfuß und Schienenkopf bestanden aus Schweißstahl mit unterschiedlichen Festigkeiten. Zu Beginn der 1900er Jahre fand die Entwicklung hin zu Schienen mit einer gleichmäßigen Festigkeit über den gesamten Schienenquerschnitt statt, wie bei der Stahlsorte St 600 mit einer Mindestzugfestigkeit von 590 N/mm². Im Zuge der Industrialisierung und einem Eisenbahnverkehr mit immer kürzeren Taktzeiten, höheren Geschwindigkeiten und größeren Lasten fanden von diesem Zeitpunkt an die Entwicklungen von härteren und verschleißfesteren Schienenstählen in immer kürzeren Zeitabständen statt. Die heute noch gebräuchlichsten Schienenstähle für rillenlose Schienen, wie z. B. R200 und R260, sind in der DIN EN 13674 genormt. Die gleichen Schienenstähle sind für Rillenschienen und Konstruktionsschienen in der DIN EN 14811 genormt. Die Stahlsortenbezeichnung R200 bezieht sich dabei auf die Mindesthärte des Schienenstahls von 200 HB (Härte Brinell).

Entwicklung der vanadiumlegierten Schienenstähle

Vanadiumlegierte Schienenstähle wurden bereits Anfang der 1980er Jahre entwickelt, um die Kerbschlagzähigkeit und die Schweißeignung von Kranschienen zu verbessern [1]. Einer der Hauptgründe für die Entwicklung dieser speziellen Werkstoffe lag in der Problematik, dass in den Stahl- und Walzwerken sowie in den Häfen unter den hohen Kranbelastungen häufig Schweiß- und Schienenbrüche aufgetreten sind. Bei der Entwicklung dieser Stähle galt der Grundsatz, dass geringere Kohlenstoffgehalte (C-Gehalte) und damit geringere C-Äquivalente zu einer verbesserten Schweißeignung und höheren Bruchsicherheit führen.

In der ehemaligen Sowjetunion wurden schon Ende der 1980er / Anfang der 1990er Jahre vanadiumlegierte Schienenstähle bei der Staatsbahn SŽD in Sibirien eingesetzt, um häufig auftretende Schienenbrüche zu vermeiden [2, 3, 4]. Darüber hinaus behandeln auch chinesische Publikationen das Thema vanadiumlegierte Schienenstähle [5].

Allgemeine Daten

Nr.	Name	Lieferbedingungen	Härtestreuband nach Norm	überholter Kurzname	zukünftiger Kurzname
1.0629	R260V			-	-

Merkmale	Verwendungszweck
	Rillenschienen, Schienen

Chemische Elemente und mechanische Eigenschaften (Anhaltsangaben)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	N
.500/.620	.15/.58	.90/1.35	<=.025	<=.025				.08/.20	

Al	Cu	Co	W	Nb	Ti	Fe	Pb	B	

Weitere Elemente	Zustand	t max. [mm]	Re [MPa]	Rm [MPa]	A5 min [%]	L0 [mm]	KV min. [J]	KV temp. [°C]
H ppm <=2.5				>=880	11			

Härte	Verfahren zur Prüfung der Härte	KV Zustand						
260/330	HBW							

*Bei den Angaben zu den chemischen Zusammensetzungen handelt es sich um Massenanteile in %

Abb. 1: Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften R200V [6]

Allgemeine Daten

Nr.	Name	Lieferbedingungen	Härtestreuband nach Norm	überholter Kurzname	zukünftiger Kurzname
1.0542	R200V			-	-

Merkmale	Verwendungszweck
	Rillenschienen, Schienen

Chemische Elemente und mechanische Eigenschaften (Anhaltsangaben)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	N
.400/.480	.15/.58	.70/1.10	<=.035	<=.035				.08/.20	

Al	Cu	Co	W	Nb	Ti	Fe	Pb	B	

Weitere Elemente	Zustand	t max. [mm]	Re [MPa]	Rm [MPa]	A5 min [%]	L0 [mm]	KV min. [J]	KV temp. [°C]
H ppm <= 3.0				>=680	15			

Härte	Verfahren zur Prüfung der Härte	KV Zustand						
200/260	HBW							

*Bei den Angaben zu den chemischen Zusammensetzungen handelt es sich um Massenanteile in %

Abb. 2: Chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften R260V [6]; (Anmerkung: Die gängigen Walzungen beschränken den C-Gehalt auf < 0,6 % und haben mindestens 0,14 % Vanadium).

Abb. 3: Walzzeichen einer Rillenschiene 59R2 in der Stahlsorte R260V; Walzzeicheninhalt (v.l.n.r.): Hersteller – Walzjahr – Profil – Stahlsorte – V-Legierung

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für EBT Eisenbahntechnik GmbH, RT Rail and Track Consult GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Bereits bei geringen Gehalten von ca. 0,1 % Vanadium wird durch die Bildung schwer löslicher Vanadiumcarbide die Überhitzungsempfindlichkeit von Stahl verringert. Schienen in den vanadiumlegierten Stahlsorten R200V und R260V weisen analog zu den Schienenstählen, wie z. B. R200 und R260, über den gesamten Profilquerschnitt die gleiche Gefügestruktur und damit gleiche mechanisch-technologische Eigenschaften auf. Das in der Stahlsortenbezeichnung enthaltene V bezieht sich auf die Legierung des Schienenstahles mit Vanadium bei einem Gehalt von ≥ 0,1 %. Die Stahlsorte R200V ist unter der Werkstoffnummer 1.0542 und die Stahlsorte R260V unter der Werkstoffnummer 1.0629 beim Stahlinstitut VDEh erfasst (Abb. 1 und 2).
Das Zulegieren von ≥ 0,1 % Vanadium muss gemäß der Nomenklatur der Stahlsortenbezeichnungen im Walzzeichen hinter dem Symbol für die Stahlsorte mit einem „V" kenntlich gemacht werden (Abb. 3).

Vorabuntersuchungen zum Schweißverhalten

Bevor der Schienenstahl R260V in Form von Rillenschienen in den Markt gebracht wurde, sind interessierten Nahverkehrsunternehmen und Schweißfirmen im Zeitraum von 2003 bis 2007 Schienenabschnit-

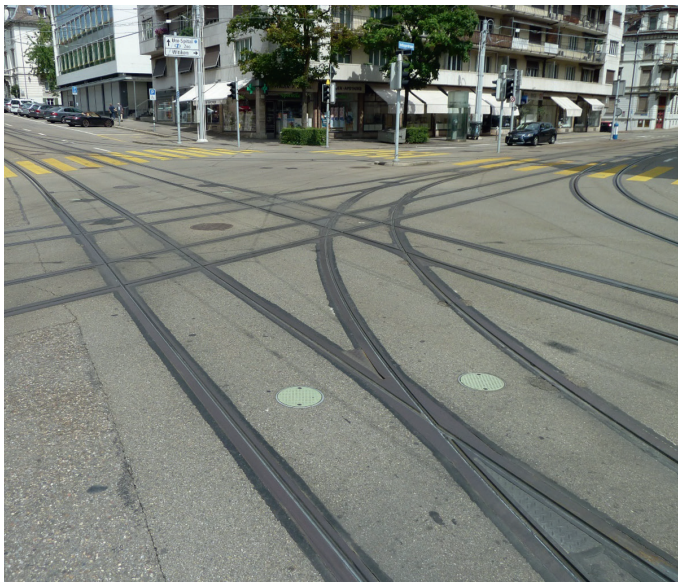

Abb. 4: Weichenanlage Heimplatz Zürich, Juli 2021

Abb. 5: Flachrillenkreuzung Heimplatz Zürich, Juli 2021

BLITZDUCTORconnect

Anforderungen der Ril 819.0808 zuverlässig erfüllen

- Sicher: Rückwirkungsfreiheit und Fernüberwachung für hohe Anlagenverfügbarkeit und maximale Betriebssicherheit
- Kompakt: Zwei Signaladern auf 6 mm Baubreite lösen Platzprobleme
- Einfach: Schnell und ohne Werkzeug montiert

de.hn/9ku1Z

DEHN protects.

www.dehn.de

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für EBT Eisenbahn Rail and Track Consult GmbH
Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seite genehmigt / © DVV Media Group GmbH

te für Testaufschweißungen zur Verfügung gestellt worden. Die Anwender bekamen die Empfehlung, die Schweißungen mit ihren gebräuchlichen Schweißzusatzwerkstoffen und einer Vorwärmtemperatur von ≤ 120 °C mittels vorlaufender Flamme durchzuführen, um den realen Betriebsbedingungen möglichst nahe zu kommen. Die ohne Probleme erzeugten Auftragschweißungen wurden anschließend werkstoffkundlich bzw. metallografisch untersucht. Dabei konnten keine Schweißnahtfehler oder andere „Ungänzen" (Unregelmäßigkeiten) festgestellt werden.

Einrichtung von Testgleisen

Mit jeweils zwei Nahverkehrsbetrieben in Deutschland und der Schweiz wurde die Einrichtung von Testgleisen mit begleitenden Untersuchungen vereinbart. Prämisse für die Einrichtung der Testgleise waren enge Gleisbögen von ca. 20 m, um relativ schnell zu Erkenntnissen zu kommen. Im Zuge der Nullmessung der Testgleise wurden je nach Länge der Gleisbögen in Abstimmung mit dem Nahverkehrsbetrieb bis zu neun Messpunkte festgelegt. Die Testgleisuntersuchungen beinhalteten eine visuelle Inspektion mit Belegfotos, Härteprüfungen sowie Höhen- und Seitenverschleißmessungen der Schienen.

Bei einem der Nahverkehrsbetriebe in Deutschland mussten die vorher in dem Testgleisbereich liegenden Schienen der Stahlsorte R220G1 im Rhythmus von ca. einem Jahr aufgeschweißt werden. Die Testgleisuntersuchungen haben ergeben, dass die Schienen der Stahlsorte R260V eine gegenüber der Stahlgüte R220G1 um den Faktor 4-6 längere Liegezeit bis zum ersten Aufschweißen aufweisen.

Bei den Verkehrsbetrieben Zürich (VBZ) in der Schweiz erfolgte bei den vorher im Testgleisbereich liegenden Schienen der Stahlsorte R200 jeweils nach ca. 1,5-jähriger Liegezeit eine Auftragschweißung. Die Testgleisuntersuchungen fanden anfangs im halbjährlichen, später im jährlichen Rhythmus statt. Es zeigte sich, dass die im Jahre 2008 in einem Abschnitt eingebauten Versuchsschienen R260V verschleißbedingt erstmalig im Jahr 2019 aufgeschweißt werden mussten.

Die durchgeführten Härtemessungen haben gezeigt, dass der Schienenstahl R260V ein sehr hohes Kaltverfestigungspotenzial aufweist. Nach halbjähriger Liegezeit konnten bereits durch den Rad-Schiene-Kontakt im Fahrbetrieb Härtesteigerungen von 20 bis 40 HB ermittelt werden.

Diese positiven Ergebnisse haben dazu geführt, dass bei einigen Nahverkehrsbetrieben die Stahlsorte R260V bereits für mehrere Gleisprojekte zum Einsatz gekommen und bei anderen R260V zur Standard-Stahlsorte geworden ist. Ein Nahverkehrsbetrieb setzt die Stahlsorte R260V sowohl in Gleisbögen als auch in den geraden Gleisbereichen ein. In diesem Fall spricht man von stahlsortenreinen Gleisen. Festzustellen ist, dass aktuell mehr als 20 Nahverkehrsbetriebe in Deutschland und zum Teil auch in den Anrainerländern Schienen in den Stahlsorten R260V sowie R200V verwenden. Weitere Nahverkehrsbetriebe sind in der Testphase.

Anwendung in Weichenanlagen

Die Tatsache, dass mit Vanadium legierte Schienenstähle auch als Konstruktionsschienen erhältlich sind, eröffnet dem Weichenkonstrukteur die Möglichkeit, eine stahlsortenreine Weichenanlage zu konzipieren. Im Jahre 2012 hat die damalige Schreck Mieves GmbH eine erste Anlage mit dieser Vorgabe für die VBZ geliefert. Das Projekt „Heimplatz – Zeltweg bis Hottingerstraße" (Abb. 4) bestand aus der Lieferung von acht Weichen, einer Mehrfachkreuzung, zwei Kreuzungen sowie Gleisrahmen. Für die Flachrillenherzstücke sowie die Kreuzungen 105C1 in Flachrillenausführung (Abb. 5) kam die Stahlsorte R260V zur Anwendung.

Die Ausführung als Flachrillenkonstruktion führt bei Herzstücken und Kreuzungen bauartbedingt zu einer starken mechanischen Belastung des Rillenbodens im Trambetrieb. Der Einsatz von Konstruktionsschienen, die über den gesamten Profilquerschnitt identische mechanisch-technologische Eigenschaften aufweisen, war daher von besonderer Bedeutung, galt es doch, eine Anlage mit möglichst niedrigem Instandhaltungsbedarf und langer Liegedauer zu realisieren.

Analog der Vorgehensweise beim Testgleis wurde die Anlage am Heimplatz vom Hersteller und vom Betreiber nach Schließung des Weichenwerkes Schreck Mieves nur noch durch den Betreiber einer regelmäßigen Überprüfung unterzogen. Die bereits im Testgleis gemachten positiven Erfahrungen konnten hier ebenfalls festgestellt werden. Von den drei verbauten Flachrillenkreuzungen und den zwei Weichen mit Flachrille musste nach drei Jahren Liegezeit jeweils eine im Rillenboden aufgeschweißt werden. Vergleicht man diesen Zeitraum mit dem einer vergleichbaren Anlage (Geometrie, Fahrzeugtaktung etc.) aus der Stahlsorte R220, so ergibt sich für die Stahlsorte R260V eine um den Faktor 2 längere Liegedauer bis zur ersten Aufschweißung des Rillenbodens. Damit wurde eine annähernd gleiche Standzeit erreicht, wie sie beim Einsatz von hochfesten Stählen, z. B. Werkstoffnummer 1.8715, festzustellen ist. Für die zweite Aufschweißung nähert sich die Zeit dann an, und es ist kein signifikanter Unterschied mehr erkennbar.

Das Auftragschweißen des R260V erforderte keine Umstellung bei der Auswahl des Schweißprozesses, der -zusatzwerkstoffe oder der -parameter. Der aufgrund des Legierens mit Vanadium abgesenkte Kohlenstoffgehalt führt hierbei zu einer Verbesserung der Schweißbarkeit.

Zusammenfassung und Ausblick

Die vanadiumlegierten Stahlsorten R200V und R260V haben sich mehrfach erfolgreich unter den besonderen Bedingungen des schienengebundenen Personennahverkehrs bewährt. Dabei sind die sehr guten Verschleißeigenschaften hervorzuheben. Sowohl in den Gleisen als auch in Weichenanlagen konnte eine signifikante Verlängerung der Liegedauer bis zum ersten Aufschweißen festgestellt werden. Das Auftragschweißen selbst stellt dabei den Anwender vor keine zusätzlichen Schwierigkeiten.

Die Verfügbarkeit von Konstruktionsschienen in der Schienenstahlsorte R260V eröffnet die Möglichkeit, stahlsortenreine Anlagen zu konstruieren und Sonderwerkstoffe, wie z. B. Manganhartstähle oder wassergehärtete Verschleißstähle, zu substituieren. Die Reduktion der Werkstoffvarianten in einer Anlage bzw. dem gesamten Netz führt zu deutlich vereinfachten Instandhaltungskonzepten, niedrigeren Kosten und – im Endergebnis – zu einer höheren Verfügbarkeit der Gleise und Anlagen. ■

QUELLEN

[1] Unterlagen der Forschungsabteilung der Thyssen Stahl AG

[2] Palyamichka, V.A.; Pan, A.V.; Nesterov, D.K.; Topychkanov, B.I.; Iljin, V.I.; Matveev, V.V.: Resource of saving technology for alloying rail steel with Vanadium; Magazin Stahl Nr. 5, 1993

[3] Paley, Z.; Ng-Yelim, J.; Martin, P.: A weldability testing procedure for premium rail steels with reference to V-N steels, Weld. J. (NY) * Band 60 (1981) Heft 1, Seite 7s-11s

[4] Michajlov, G.G.; Cernova, L.A.; Karnauchov, V.N.: Untersuchung der Phasengleichgewichte in vanadiumhaltigen Stählen; Izv. Vuz, Cernaja Metall. * (2000) Heft 9, Seite 3-7

[5] Quan, X.; Dongsheng, M.; Mengwen, Y.; Ming, Z.: Effect of vanadium in rail steels; HSLA Steels 2000. The 4th International Conference on HSLA steels. Xi'an, China, Oct. 30 - Nov. 2, 2000 (2000) Seite 533-539; Beijing: Metallurgical Industry Press

[6] Stahlinstitut VDEh: Stahl-Eisen-Werkstoffblätter (SEW); VDEh, 2008

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für EBT Eisenbahntechnik GmbH, RT Rail and Track Consult GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Hansruedi Imhof
Fachexperte Bahninfrastrukturanlagen
EBT Eisenbahntechnik GmbH,
CH-Nänikon
hansruedi.imhof@ebt.swiss

Dr.-Ing. Jörg Zühlsdorf
Schweißfachingenieur EWE/SFI Os
Technische Beratung
RT Rail and Track Consult GmbH,
Ankum
j.zuehlsdorf@rt-consult.eu

Friedhelm Lorenz
Unabhängiger Sachverständiger
Oberbau und Profile
Haltern am See
friedhelmlorenz@yahoo.de