

Christoph Meilgen

**Zyklisches Verformungsverhalten von
hochbeanspruchten Radstählen unter
mechanischer und thermisch-
mechanischer Beanspruchung**

Werkstoffkundliche Berichte

Band 18/2007

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. habil. D. Eifler

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	1
2	RAD/SCHIENE-SYSTEM.....	3
2.1	GESCHICHTE DER EISENBAHN IN DEUTSCHLAND.....	3
2.2	HOCHGESCHWINDIGKEITSVERKEHR	4
2.3	RAD UND RADSATZ	5
2.4	RADSATZPRÜFUNG	10
2.5	SCHIENE	11
2.5.1	<i>Schienenfehler</i>	12
2.6	RAD/SCHIENE-KONTAKT.....	14
2.6.1	<i>Berechnung des Rad/Schiene-Kontakts</i>	16
2.6.2	<i>Temperaturentwicklung im Rad</i>	19
2.6.3	<i>Radschäden</i>	22
2.7	VERSCHLEIß.....	26
2.8	RAD-/RADREIFENHERSTELLUNG, WÄRMEBEHANDLUNG, MIKROSTRUKTUR.....	27
2.9	ERMÜDUNG	30
2.9.1	<i>Rollkontaktermüdung</i>	33
2.9.2	<i>Betriebsfestigkeitsprüfung</i>	33
3	ERMÜDUNGSVERHALTEN.....	37
3.1	ERMÜDUNG METALLISCHER WERKSTOFFE	39
3.2	BESCHREIBUNG DES VERFORMUNGSVERHALTENS	41
3.2.1	<i>Monotone Beanspruchung</i>	41
3.2.2	<i>Lebensdauerorientierte Bewertung bei zyklischer Beanspruchung</i>	41
3.3	VORGANGSORIENTIERTE BEWERTUNG BEI ZYKLISCHER BEANSPRUCHUNG.....	43
3.4	ERMÜDUNGSVERHALTEN UNLEGIERTER NORMALISierter STÄHLE	46
3.4.1	<i>Monotone und schwingende Beanspruchung</i>	46
3.4.2	<i>Einfluss des Kohlenstoffgehalts</i>	46
3.4.3	<i>Beanspruchungen bei erhöhten Temperaturen</i>	47
3.4.4	<i>Thermisch-mechanische Ermüdung</i>	49
4	WERKSTOFFE.....	51
4.1	NORMALISIERTE KOHLENSTOFFSTÄHLE: 1193, 1200, 1196.....	53
4.2	RADSTÄHLE R8 UND S3	55
4.3	RADREIFENSTAHL B5	57
4.4	RADSTAHL 1481	58
4.5	RADREIFENSTÄHLE B1 UND B6S.....	60
4.6	RADSTAHL R8E „ROLLENDE LANDSTRASSE RoLA“.....	62
4.7	FERTIGUNG DER ERMÜDUNGSPROBEN	67
5	VERSUCHSAUFBAU.....	69
5.1	SERVOHYDRAULISCHE SCHWINGPRÜFSYSTEME	69
5.1.1	<i>Spannung-Dehnung-Hysteresismessungen</i>	70
5.1.2	<i>Thermometrie</i>	70
5.1.3	<i>Elektrische Widerstandsmessung</i>	72
5.1.4	<i>Untersuchungen bei erhöhten Temperaturen</i>	74
5.1.5	<i>Thermisch-mechanische Beanspruchung</i>	74
5.2	MIKROSKOPIE UND ANALYTISCHE VERFAHREN.....	76

6	FEM-BERECHNUNG	79
6.1	MODELL.....	79
6.2	RANDBEDINGUNGEN VON SCHIENE UND RAD.....	80
6.2.1	<i>Mechanische Beanspruchung</i>	81
6.2.2	<i>Thermische Beanspruchung</i>	83
6.2.3	<i>Thermisch-mechanische Beanspruchung</i>	86
7	WECHSELVERFORMungsverhalten	89
7.1	LASTSTEIGERUNGSVERSUCH NORMALISIERTE KOHLENSTOFFSTÄHLE 1193, 1200, 1196.....	89
7.1.1	<i>Vergleich der experimentellen und berechneten Wöhlerkurven</i>	93
7.1.2	<i>Charakteristische Wechselverformungskurven</i>	95
7.1.3	<i>Zusammenfassung</i>	97
7.2	RADREIFENSTAHL B5.....	97
7.2.1	<i>Laststeigerungsversuch: Radreifenstahl B5</i>	97
7.2.2	<i>Thermometrische und resistometrische Kennwertermittlung</i>	98
7.2.3	<i>Vergleich der ZSD-, ZST- und ZSW-Kurven</i>	98
7.2.4	<i>Zusammenfassung</i>	101
7.3	VOLLRADSTAHL 1481.....	102
7.3.1	<i>Laststeigerungsversuch: Vollradstahl 1481</i>	102
7.3.2	<i>Einstufenversuche</i>	103
7.3.3	<i>Zusammenfassung</i>	104
7.4	RADREIFENSTÄHLE B1 UND B6S.....	104
7.4.1	<i>Einstufenversuche</i>	104
7.4.2	<i>Zusammenfassung</i>	107
7.5	VOLLRADSTÄHLE R8 UND S3.....	107
7.5.1	<i>Zusammenfassung</i>	109
7.6	RADSTAHL R8E, „ROLLENDE LANDSTRABE ROLA“.....	109
7.6.1	<i>Einstufenversuche</i>	109
7.7	TEMPERATURSTEIGERUNGSVERSUCHE: WERKSTOFF R8E.....	110
7.7.1	<i>Isotherme Laststeigerungsversuche: Werkstoff R8E</i>	111
7.7.2	<i>Zusammenfassung</i>	113
7.8	DEHNUNGSSTEIGERUNGSVERSUCH.....	114
7.9	BETRIEBSNAHE BEANSPRUCHUNG.....	115
7.10	TMF-BEANSPRUCHUNG.....	121
8	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	127
9	LITERATUR	131