

Die Prüfstelle ist „Assoziierter Partner der Benannten Stelle Interoperabilität“ und vom Eisenbahn-Bundesamt anerkannt.

Deutsche Bahn AG  
Technik / Beschaffung  
DB Systemtechnik  
Prüfstelle  
Pionierstraße 10  
D – 32423 Minden

## Untersuchungsbericht

### Zeitfestigkeitsbetrachtung für die Lauf- und Treibradsatzwellen des VT 611



Dokument: 04-P-2508-T.TZF95-UN-1128

Datum: 24.02.2005

Fachabteilung: DB Systemtechnik  
Verifikation und Versuche Betriebsfestigkeit,  
Simulation  
Pionierstraße 10  
32423 Minden



249974 QM (Prüfstelle)

249967 QM (T.TZF 95)

Anwendung eines durch die DQS GmbH  
Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen  
zertifizierten Qualitätsmanagementsystems

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Untersuchungsbericht beschriebenen Untersuchungsgegenstände. Dieser Untersuchungsbericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung der Prüfstelle.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Angaben zum Auftrag	3
2 Beschreibung der Untersuchungsobjekte	4
2.1 Treibradsatzwelle mit einer Wellenbremsscheibe	4
2.2 Treibradsatzwelle mit zwei Wellenbremsscheiben	4
2.3 Laufradsatzwelle	5
3 Eingangsgrößen für die Zeitfestigkeitsberechnung	5
3.1 Lastkollektive	5
3.2 Beanspruchungskollektive	6
3.3 Ansätze für die Zeitfestigkeitsbetrachtung	8
4 Ergebnisse der Zeitfestigkeitsberechnung	9
5 Diskussion der Ergebnisse	9
6 Zusammenfassung	9
7 Unterschriften	10

### Verzeichnis der Abkürzungen

BQ	Berechnungsquerschnitt
DB	Deutsch Bahn AG
ESP	Einsatzspiegel
Fz	Fahrzeug
K <sub>t</sub>	Formzahl
RS	Radsatz
RSL	Radsatzlast
WBS	Wellenbremsscheibe

### Quellenverzeichnis/Literaturverzeichnis

- [1] VT 612 Beanspruchungskollektive Radsatzwellen; Sven Jenne; Untersuchungsbericht Nr. 095-UN-1124-04; 14.02.05; DB Systemtechnik ; Minden
- [2] Untersuchung zu Formzahlen an einer Treibradsatzwelle des VT 611 mit FEM; A. Bouaid; Untersuchungsbericht Nr. 04-P-2508-T.TZF95-UN-01129; 23.02.05; DB Systemtechnik; Minden
- [3] Treibradsatzwelle (1WBS) für Triebfahrzeug VT 612, 4. Bauserie, Lastfall 3; Hesselmann; Februar 2002; Gutehoffnungshütte Radsatz GmbH, Oberhausen
- [4] Treibradsatzwelle (2WBS) für Triebfahrzeug VT 612, 4. Bauserie, Lastfall 3; Hesselmann; Februar 2002; Gutehoffnungshütte Radsatz GmbH, Oberhausen
- [5] Laufradsatzwelle (2WBS) für Triebfahrzeug VT 612, 4. Bauserie, Lastfall 3; Hesselmann; Februar 2002; Gutehoffnungshütte Radsatz GmbH, Oberhausen

- [6] Dauerfestigkeitsbetrachtung der Radsatzwellen VT 612; Charts anlässlich einer Präsentation beim EBA in Bonn am 28.01.05; H. Koch; DB Systemtechnik; Minden
- [7] Zeitfestigkeitsbetrachtung für die Lauf- und Treibradsatzwellen des VT 612 (1. bis 3. Bause-rie); M. Grab, M. Traupe; Untersuchungsbericht 04-P-2508-T.TZF95-UN-01125 vom 17.02.05; DB Systemtechnik; Minden

## 1 Angaben zum Auftrag

An einer Treibradsatzwelle eines Triebzuges VT 611 wurde im Rahmen der planmäßigen Instandhaltung ein Anriss festgestellt. Auf Grund dieses Ereignisses ist die Überprüfung der Auslegung von Treib- und Laufradsatz des VT 611 auf der Basis der derzeit gültigen Regelwerke (EN 13 103/EN 13 104) erforderlich geworden. Unter Ansatz unterschiedlicher, zum Teil umstrittener Werte für die Beanspruchbarkeit des Werkstoffes A5T konnte die Dauerfestigkeit der Radsatzwellen des VT 611 nicht nachgewiesen werden. Mittels Beanspruchungskollektiven, die mit einem VT 612 gemessen wurden und aktuell auf dem Prüfstand ermittelter Bauteilfestigkeit soll die Zeitfestigkeit der Wellen des VT 611 abgeschätzt werden. Außerdem soll der Einfluss einer abgeminderten Bauteilfestigkeit auf die abgeschätzte Laufleistung dargestellt werden.

Auftraggeber:

Technik/Beschaffung  
T.TFT 3  
Hr. Georg Huy  
Richelstr. 3  
80634 München

Bearbeiter:

Technik/Beschaffung  
Verifikation und Versuche Betriebs-  
Festigkeit, Simulation  
T.TZF 95  
Martin Grab  
Markus Traupe  
Pionierstr. 10  
32423 Minden

Umfang:

Der Bericht umfasst 13 Seiten (10 Seiten Text, 3 Anlagen)

Verteiler:

T.TFT 3	3x
T.TZF 95	2x
T.TZF 2	2x

## 2 Beschreibung der Untersuchungsobjekte

Im Folgenden werden die Treibradsatz- und Laufradsatzwellen des VT 611 untersucht wie sie derzeit bei der Deutschen Bahn (DB) im Einsatz sind.

Die Treibradsatzwellen sind in einer Ausführung mit einer Wellenbremsscheibe (WBS) und in einer Ausführung mit zwei WBS in den Fahrzeugen (Fz) eingebaut. Beide Varianten sind jeweils innerhalb eines Triebdrehgestells angeordnet.

Sämtliche Wellen verfügen über eine Hohlbohrung von 65 mm Durchmesser. Wellen die im Rahmen der Ersatzteilbeschaffung geliefert werden (bisher 10 Stück), haben einen Bohrungsdurchmesser von 30 mm.

Die Radsatzlast (RSL) der Treibradsätze beträgt 14,6 t, die der Laufradsätze ist 15,2 t.

### 2.1 Treibradsatzwelle mit einer Wellenbremsscheibe

Die Treibradsatzwelle mit einer WBS (siehe Anlage 1) hat zwischen dem Radsitz und dem Bremsscheibensitz einen Nenndurchmesser von 145 mm. Die beiden Korbogen (Radien 15/75 mm) haben eine Länge von 28 mm. Die Länge der Mulde beträgt 89 mm.

Zwischen Bremsscheibensitz und Getriebesitz hat die Welle einen Nenndurchmesser von 140 mm. Die beiden Korbogen (Radien 15/75 mm) haben eine Länge von jeweils 37 mm.

Auf der gegenüberliegenden Seite ist die Welle zwischen Radsitz und Getriebesitz konisch ausgebildet. Im Bereich des Radsitzes hat sie einen Durchmesser von 145 m, der sich bis zum Getriebesitz auf 140 mm verjüngt. Am Radsitz hat der Korbogen eine Länge von 28 mm, während er getriebeseitig eine Länge von 37 mm hat.

Der für die Zeitfestigkeitsbetrachtung kritische Querschnitt ist der Übergang vom Schaft, mit einem Durchmesser von 140 mm, in den Korbogen zum Bremsscheibensitz.

### 2.2 Treibradsatzwelle mit zwei Wellenbremsscheiben

Die Geometrie der Treibradsatzwelle mit zwei WBS (siehe Anlage 2) ist zwischen Radsitz und Bremsscheibensitz identisch mit der Geometrie der Treibradsatzwelle mit einer WBS.

Zwischen den Bremsscheibensitzen und den Getriebesitzen hat die Welle einen Nenndurchmesser von 140 mm. Die Korbogen (Radien 15/75 mm) am Übergang vom Bremsscheibensitz in Richtung Getriebesitz haben eine Länge von 35 mm. Die anschließenden Übergänge (Radien 15/75 mm) von der Welle zu den Getriebesitzen sind ebenso ausgeführt.

Der für die Zeitfestigkeitsbetrachtung kritische Querschnitt ist der Übergang vom Schaft, mit einem Durchmesser von 140 mm, in den Korbogen zum Bremsscheibensitz.

## 2.3 Laufradsatzwelle

Die Laufradsatzwelle (siehe Anlage 3) verfügt über 2 WBS und hat zwischen Radsitz und Bremscheibensitz einen Nenndurchmesser von 145 mm. Die Korrbogen (Radien 15/75 mm) haben in diesem Bereich eine Länge von 28 mm. Die Länge der Mulde beträgt 89 mm.

Im mittleren Bereich zwischen den WBS hat die Welle einen Nenndurchmesser von 140 mm. Die Korrbogen (Radien 15/75 mm) zwischen den Bremsscheiben haben eine Länge von 35 mm.

Die für die Zeitfestigkeitsbetrachtung kritischen Querschnitte sind die Übergänge vom zylindrischen Wellenschaft, mit einem Durchmesser von 140 mm, in die Korrbogen zum Bremsscheibensitz.

## 3 Eingangsgrößen für die Zeitfestigkeitsberechnung

### 3.1 Lastkollektive

Mit dem VT 612-902 wurden Beanspruchungsmessungen mit einem Lauf- und einem Treibradsatz über eine Strecke von 8619 km durchgeführt. Dabei wurden die wesentlichen Teile des Einsatzgebietes des VT 612 mit unterschiedlichen Beladezuständen sowie teilweise vor- und nachlaufend befahren. Detaillierte Angaben zu den Versuchsfahrten sind in [1] zu finden.

Bei den verwendeten Messradsätzen handelte es sich um Radsätze der 4. Bauserie, die zu Beginn der Messfahrten eine Laufleistung von 16.000 km hatten.

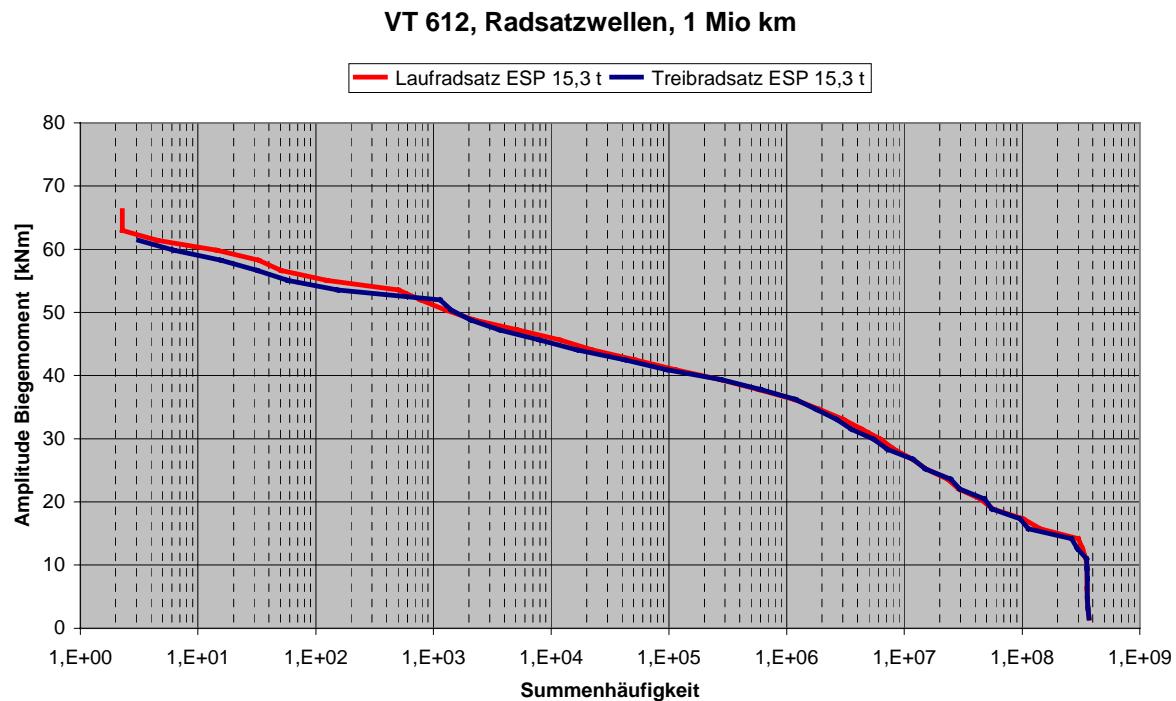
Beide Radsätze waren jeweils mit vier DMS-Vollbrücken zur Messung der Biegebeanspruchung zwischen Radscheibe und Bremsscheibe ausgestattet. Die Messstellenposition aller Biegemessstellen hatte einen Abstand in Radsatzlängsrichtung von 577 mm von der Radsatzmitte. Auf jeder Seite der Radsätze waren zwei um 90 ° zueinander versetzte Biegemessstellen angebracht.

Zusätzlich zur Messung der Biegespannungen wurde bei beiden Messradsätzen die Torsionsspannung über Torsionsvollbrücken gemessen. Die Torsionsmessstellen waren ebenfalls bei 577 mm aus der Radsatzmitte positioniert. Während der Versuchsfahrten war der Laufmessradsatz pneumatisch gebremst. Der Treibmessradsatz wurde angetrieben, sowie hydraulisch und pneumatisch gebremst.

Da die Radsätze der 4. Bauserie einen Nenndurchmesser von 166 mm haben, wurden die gemessenen Beanspruchungen über die wirksame Formzahl im Messquerschnitt und das Widerstandsmoment im Messquerschnitt auf Nennmomente umgerechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass die ermittelten Nennmomente unabhängig vom Durchmesser der Messwelle sind. Die Vorgehensweise zur Umrechnung auf Nennmomente ist in [1] beschrieben.

Für die Bildung von repräsentativen Gesamtkollektiven wurde ein durch Führerstandsmittfahrten ermittelter Einsatzsiegel (ESP 15,3t), der die Anteile der Teilkollektive am Gesamtkollektiv beschreibt, verwendet. Der Einsatzspiegel ESP 15,3t bildet den bogenschnellen Betrieb bis zur maximalen Radsatzlast des LRS des VT 612 von 15,3 t ab.

Die unten dargestellten Gesamtkollektive wurden für eine Laufleistung von 1 Mio. km für den VT 612 gebildet.



**Abbildung 1: Momentenkollektive von TRS und LRS des VT 612**

### 3.2 Beanspruchungskollektive

Grundlage für die Zeitfestigkeitsberechnung sind Kollektive von örtlich wirkenden Spannungen. Über die in **Abbildung 1** dargestellten Momentenkollektive ESP 15,3t erfolgt die Umrechnung in örtliche Spannungen in drei Schritten:

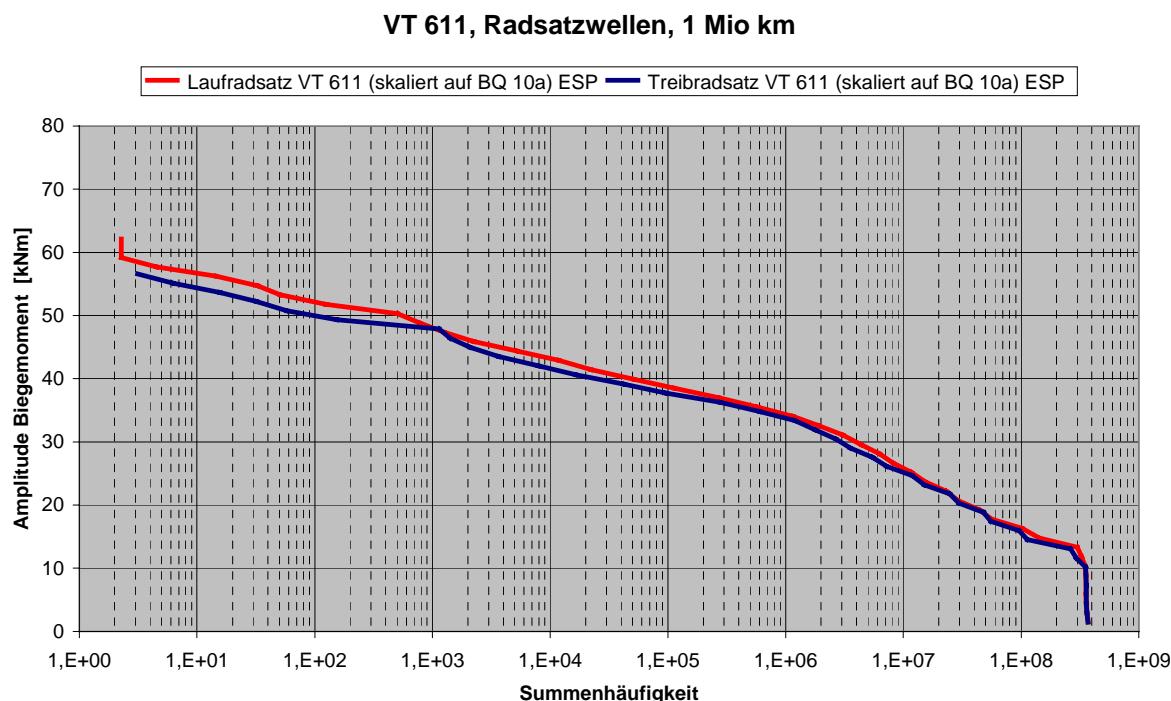
1. Umrechnung der mit dem VT 612 gemessenen Beanspruchungskollektive auf die Radsatzlasten des VT 611.
2. Umrechnung des wirksamen Momentes vom Ort des Messquerschnittes zum Ort des zu bewertenden Querschnitts durch Extrapolation. Die Extrapolation erfolgt mittels den Auslegungsberechnungen [3], [4] und [5] für die Wellen des VT 612 (4. Bauserie) nach EN 13 103/104, wobei die Momentenverteilungen „Momente aus Fahren und Einzellasten“ als Grundlage verwendet wurden. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die wirkenden Momente unabhängig von der Bauart des Radsatzes sind. Außerdem ist der Aufbau der Fahrwerke nahezu identisch, so dass die Übertragbarkeit vom VT 612 auf den VT 611 gegeben ist.
3. Umrechnung des im zu bewertenden Querschnitt wirkenden Momentes in örtliche Spannung unter Berücksichtigung des Widerstandsmomentes, berechnet aus dem Nennquerschnitt, und der lokalen Formzahl.

Für den Laufradsatz des VT 611 ergibt sich der höchstbeanspruchte Querschnitt im Übergang der Korbbögen zum zylindrischen Mittelteil der Welle (siehe **Abbildung A 3**). Zur Berücksichtigung des Versatzes von Messquerschnitt zum Bewertungsquerschnitt (BQ 10a) wird gemäß [5] eine

Abminderung von 6 % vorgenommen. Die Abminderung auf Grund der geringeren RSL wird vernachlässigt.

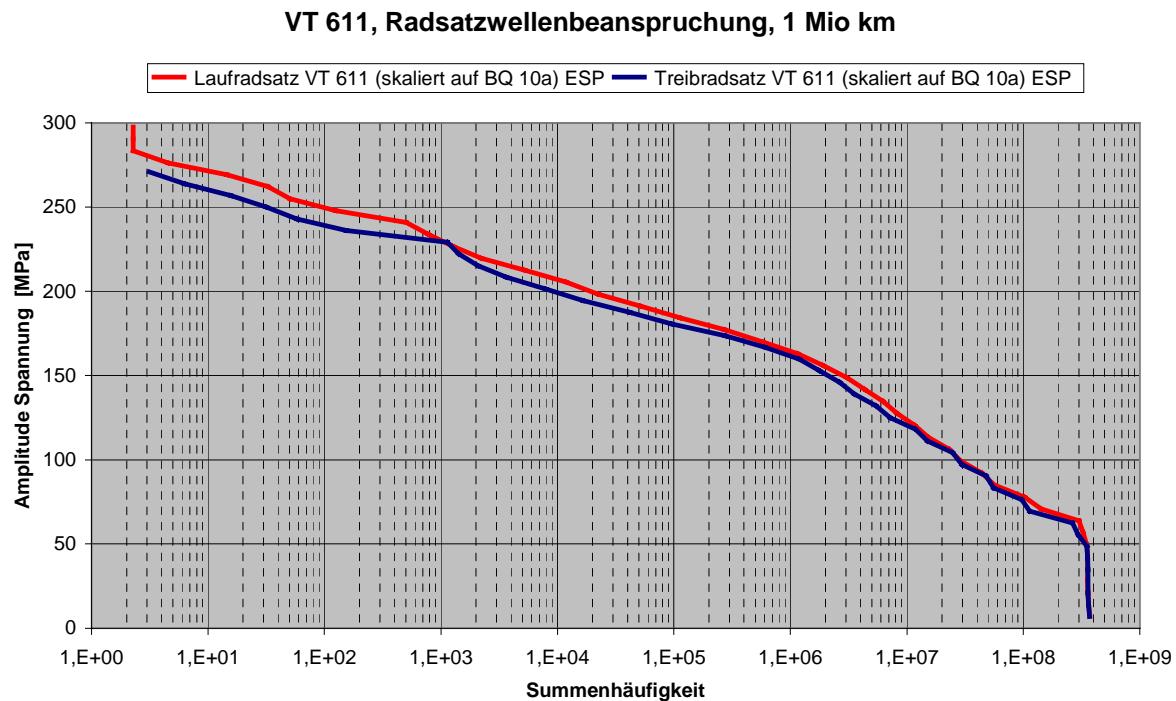
Beim Treibradsatz des VT 611 ergibt sich der höchstbeanspruchte Querschnitt im Übergang des bremsscheibenseitigen Korbogens zum Getriebesitz (siehe **Abbildung A 1** und **Abbildung A 2**). Zur Berücksichtigung des Versatzes von Messquerschnitt zum Bewertungsquerschnitt (BQ 10a) wird gemäß [4] eine Abminderung von 5 % vorgenommen. Zur Berücksichtigung einer um 0,5 t geringeren RSL wird eine Abminderung von 3 % vorgenommen.

Die **Abbildung 2** zeigt die auf die höchstbeanspruchten Querschnitte der Wellen des VT 611 skalierten Momente, die als Grundlage für die Zeitfestigkeitsberechnung dienen.



**Abbildung 2: Momentenkollektive in den Bewertungsquerschnitten BQ 10a von TRS und LRS des VT 611**

Die anzusetzenden Formzahlen wurden mittels einer FEM-Berechnung [2] am Treibradsatz ermittelt. Auf Grund der identischen Korbogenlängen und Durchmesserverhältnisse im Bereich des hochbeanspruchten Querschnitts sind die Ergebnisse der Formzahlbestimmung auf den Laufradsatz übertragbar. Sowohl für den LRS als auch für den TRS ergibt sich eine Formzahl  $K_t = 1,23$ . Die **Abbildung 3** zeigt die Beanspruchungskollektive für die Querschnitte BQ 10a der Laufradsatzwelle und der Treibradsatzwelle (2WBS) des VT 611, die als Grundlage für die Zeitfestigkeitsberechnung dienen.



**Abbildung 3: Beanspruchungskollektive für den Lauf- und Treibradsatz des VT 612**

### 3.3 Ansätze für die Zeitfestigkeitsbetrachtung

Die Zeitfestigkeitsbetrachtungen wurden mit den folgenden Parametern durchgeführt.

- Neigung der Zeitfestigkeitsgeraden der Wöhlerlinie  $k = 7$
- Neigung der Wöhlerlinie im Dauerfestigkeitsbereich nach Haibach  $2k-1 = 13$
- Ecklastspielzahl 1 Mio.
- Zulässige Schadenssumme  $D = 0,3$
- Sicherheitsfaktor  $S = 1,5$
- Zulässige Spannung je nach Beanspruchbarkeit (241/315 MPa)
- Formzahl im höchstbeanspruchten Querschnitt von Lauf- und Treibradsatzwelle  $K_t = 1,23$

Die gewählte Miner-Modifikation und die gewählte zulässige Schadensumme müssen als Gesamtsystem gesehen werden, die das Ergebnis entscheidend mitbestimmen, ohne dass es derzeit eine allgemein anerkannte Grundlage für die Festlegung dieser Parameter zur Anwendung auf Radsatzwellen gibt.

Mit dem Sicherheitsfaktor von 1,5 wird die Streuung von Fahrzeugparametern, Einsatzbedingungen und die Streuung von Werkstoffkennwerten, im üblichen bzw. durch die Instandhaltung vorgegebenen Maß, abgedeckt. Da die Zeitfestigkeitsbetrachtung auf der Basis von gemessenen Kollektiven erfolgt, wird ein einheitlicher Sicherheitsfaktor für die Lauf- und Treibradsatzwelle angesetzt.

## 4 Ergebnisse der Zeitfestigkeitsberechnung

Die Ergebnisse der Zeitfestigkeitsberechnung können Tabelle 1 entnommen werden.

Bauart der Welle	Kollektiv- höchstwert MPa	Beanspruchbarkeit (lokale Spannung) MPa	Sicher- heitszahl S	Zulässige Spannung MPa	Laufleistung km
LRS	298	241 <sup>1</sup>	1,5	161	85 000
		315 <sup>2</sup>	1,5	210	1 900 000
TRS	271	241 <sup>1</sup>	1,5	161	110 000
		315 <sup>2</sup>	1,5	210	2 700 000

<sup>1</sup> Aus dem BMBF-Vorhaben „Sichere und wirtschaftliche Auslegung von Eisenbahnfahrwerken“  
siehe dort Tafel A-5

<sup>2</sup> Derzeit laufende Versuche zum VT 612

**Tabelle 1: Berechnete Laufleistungen für den VT 611**

## 5 Diskussion der Ergebnisse

In [7] wurde gezeigt, dass die Ansätze für die Zeitfestigkeitsbetrachtung der Wellen des VT 612 als konservativ eingeschätzt werden können.

Da sich die Ansätze für die Zeitfestigkeitsbetrachtung für den VT 612 nicht von denen des VT 611 unterscheiden, lässt sich auch für den VT 611 ableiten, dass die gewählten Parameter für die Zeitfestigkeitsberechnung konservativ sind, d.h. auf der sicheren Seite liegen.

## 6 Zusammenfassung

Für die Lauf- und Treibradsatzwellen des VT 611 wurden Zeitfestigkeitsbetrachtungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Werte für die Beanspruchbarkeit durchgeführt, wobei die gewählten Ansätze als konservativ (sichere Seite) eingestuft werden können.

Unter Ansatz einer Beanspruchbarkeit von 241 MPa wurde eine Laufleistung von ca. 85 000 km für den Laufradsatz und ca. 110 000 km für den Treibradsatz berechnet. Wird eine Beanspruchbarkeit von 315 MPa zu Grunde gelegt, ergibt sich eine Laufleistung von ca. 2 700 000 km für den Treibradsatz und ca. 1 900 000 km für den Laufradsatz.

## 7 Unterschriften

Grab  
Leiter T.TZF 95

Traupe  
T.TZF 95.1

gesehen:

Scheunemann  
Prüfstelle

## Anlage 1

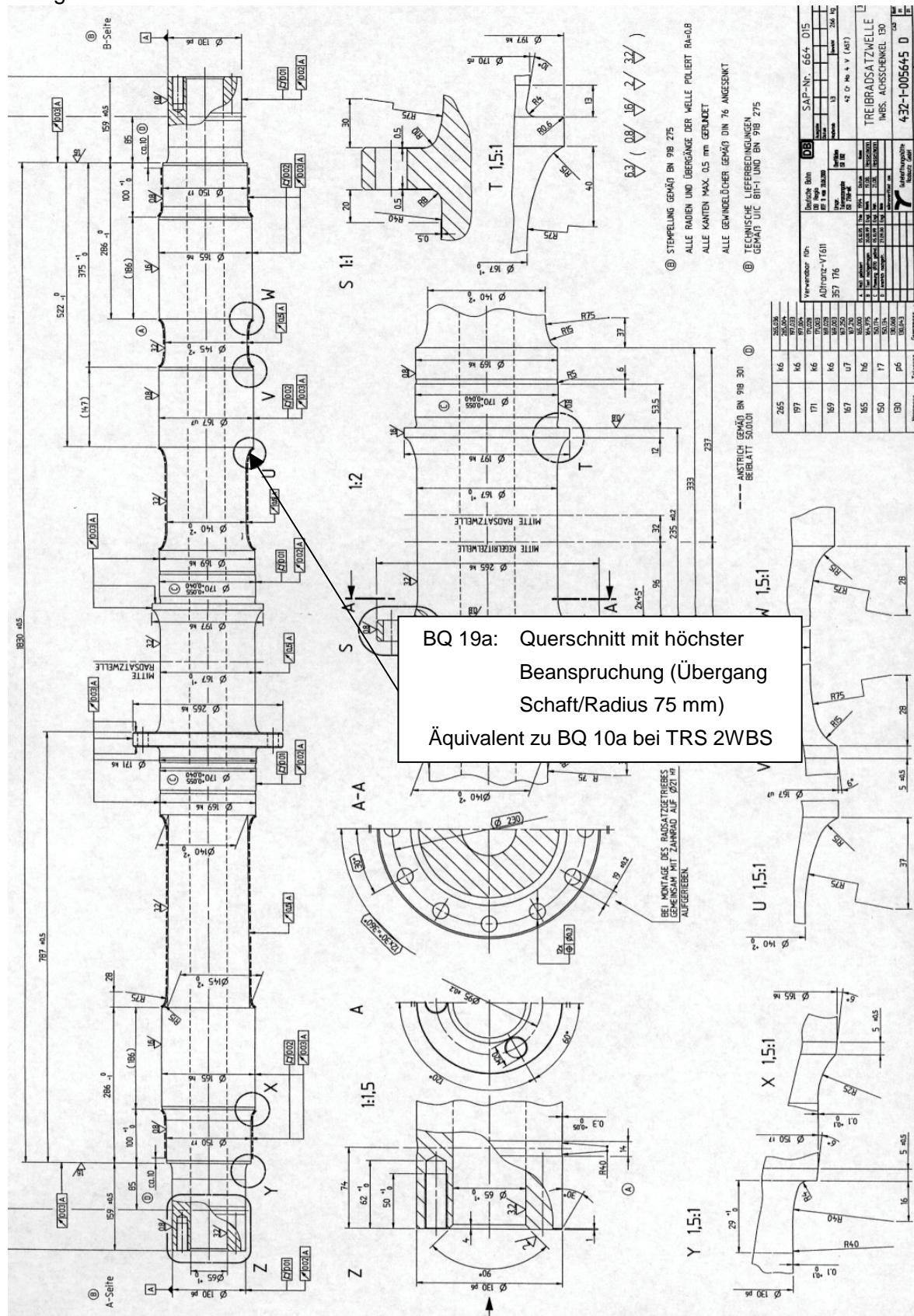
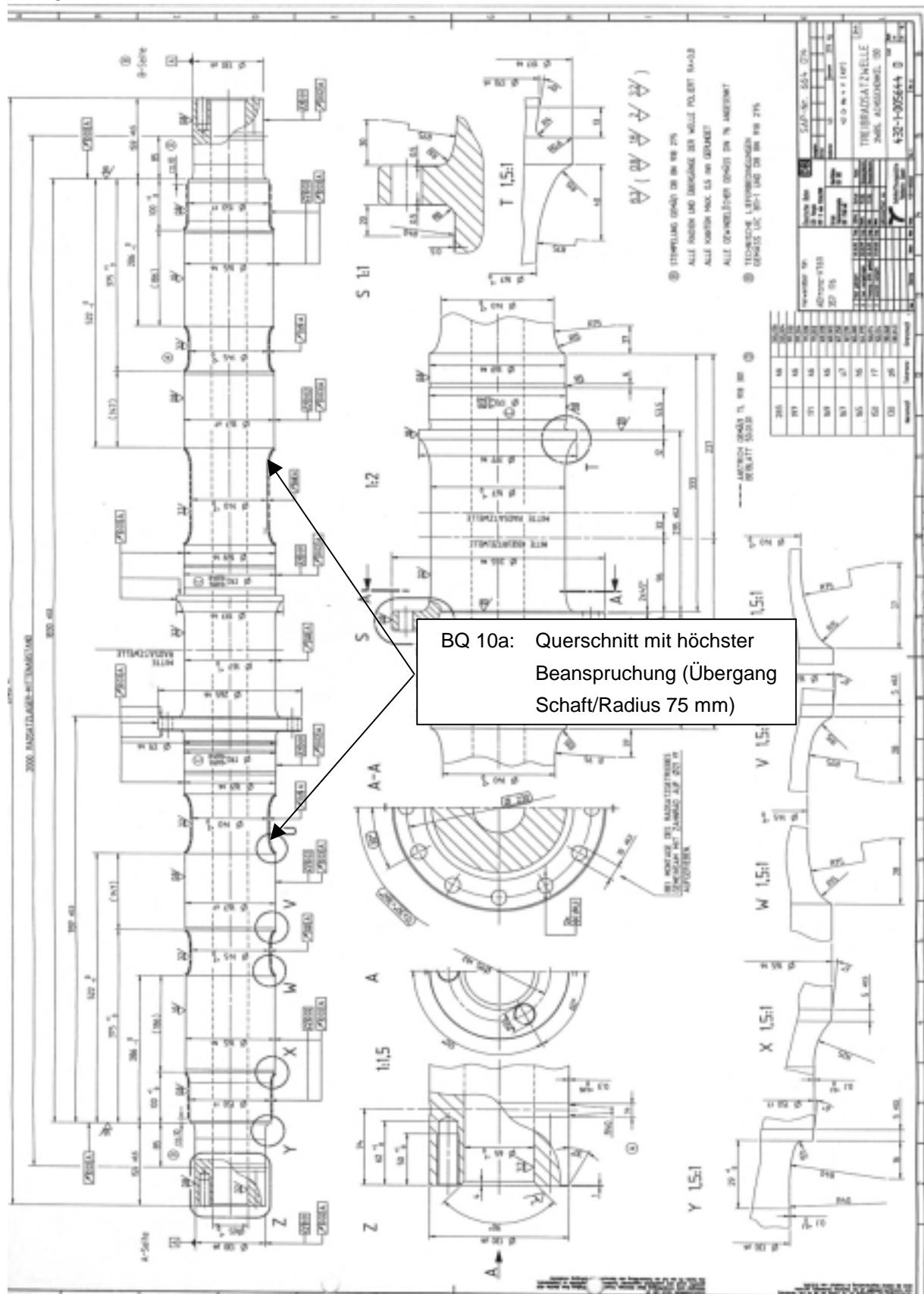


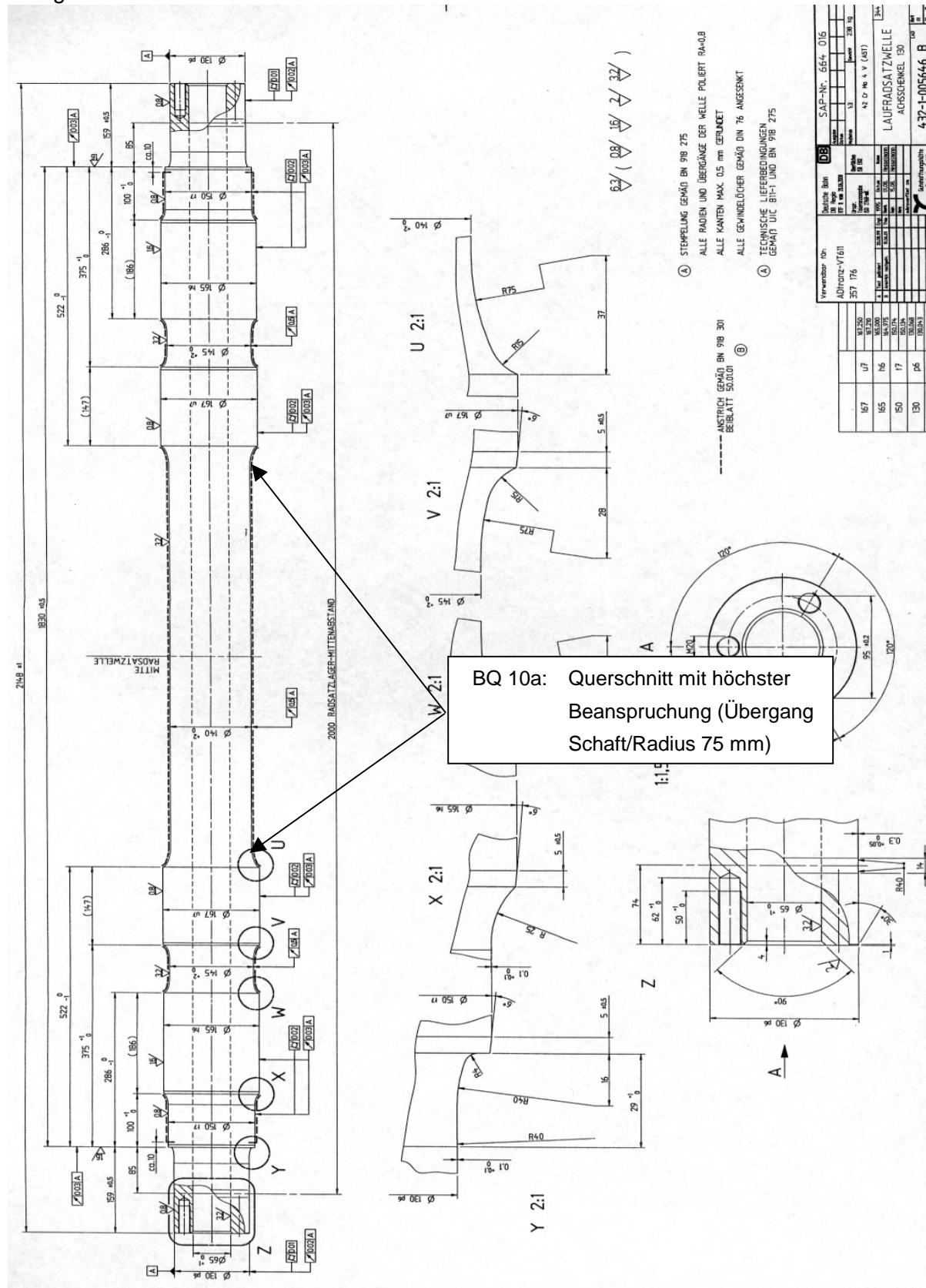
Abbildung A 1: Treibradsatzwelle VT 611 mit einer WBS

## Anlage 2



**Abbildung A 2: Treibradsatzwelle VT 611 mit zwei WBS**

## Anlage 3



**Abbildung A 3: Laufradsatzwelle VT 611**