

Auftraggeber: BPR
Beraten Planen Realisieren
Bernd F. Künne & Partner
Elisabethenstraße 62
64283 Darmstadt

Objekt: Würzburger Straßenbahn GmbH
Neubau Frauenland und Hubland

Titel: **Schwingungstechnische Oberbauberatung**
Teil 1: Messung der Elastizität der
Schienenbefestigung

Auftrag Nr.: S 04.914.11/1

Datum: 13.05.2011

Umfang: 6 Textseiten
11 Anlagen

INHALT

1	AUFGABENSTELLUNG	S.	3
2	MESSTECHNISCHE DURCHFÜHRUNG	S.	3
3	MESSERGEBNISSE	S.	4
4	UMRECHNUNG LINIENFAHRZEUGE	S.	5
5	ANLAGEN	S.	6

1 AUFGABENSTELLUNG

Die Würzburger Straßenbahn GmbH plant den Neubau einer Straßenbahnlinie in die Stadtbezirke Frauenland und Hubland. In diesem Zusammenhang wurde von der Müller – BBM GmbH, München, eine Erschütterungstechnische Untersuchung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Bericht Nr. M 92 665/2 vom 08.04.2011 zusammengefasst. Die Erschütterungstechnische Untersuchung kommt zu dem Schluss, dass in Teilbereichen der Strecke Maßnahmen zur Minderung der Körperschall- und Erschütterungsimmissionen erforderlich sind. Vorgeschlagen wird, in diesen Bereichen ein flächiges Masse-Feder-System mit einer Abstimmfrequenz von $f_{Ab} = 16 - 20$ Hz vorzusehen. Mit dem fachgerechten Einbau eines derartigen Systems wird sichergestellt, dass die Körperschall- und Erschütterungsimmissionen auf einen zulässigen Rahmen begrenzt werden.

Ergänzend zur Erschütterungstechnischen Untersuchung wurde nun das Ingenieurbüro Uderstädt + Partner mit einer fachtechnischen Oberbauberatung beauftragt.

In diesem Zusammenhang sind auftragsgemäß unterschiedliche Untersuchungen durchzuführen. Im vorliegenden Bericht (Teil 1 der Gesamtbearbeitung) sind die Ergebnisse der am Standardoberbau Bauart Würzburg durchgeführten Messungen zur Elastizität der Schienenbefestigung zusammengefasst.

2 MESSTECHNISCHE DURCHFÜHRUNG

Den Anlagen-Nr.1.1 – 1.6 sind die Achslasten der beiden in Würzburg eingesetzten Straßenbahnfahrzeuge zu entnehmen. Die Messung erfolgte in der Nacht 04./05.05.2011 während der Betriebspause unter Verwendung eines Straßenbahnfahrzeugs Typ GTE in der Petrinistraße in Würzburg. Hier befindet sich der Würzburger Standardoberbau. Für die Messung der vertikalen Schieneneinfederung wurde eine elektronische Präzisionsmessuhr mit mechanischem Magnetstativ und Stabilisierungsfuß eingesetzt (Anlage-Nr. 1.7).

Die Messung erfolgte unter der Last eines bereitgestellten Niederflurfahrzeugs. Das Fahrzeug wurde in ausgewählten Messquerschnitten abgestellt. Dann wurde die Messuhr hinter dem letzten Rad im Abstand von etwa 31 cm zum Radaufstandspunkt positioniert und auf Null abgeglichen. Nach Wegfahrt des Fahrzeuges und damit Ausfedern des Systems wurde die Messuhr abgelesen und das Ergebnis protokolliert. Verfahrensbedingt erfolgte also die Messung des Federweges zwischen maximaler Einfederung und Schienennulllage. Es wurden Messungen an verschiedenen Punkten im Gleisbogen durchgeführt. Im Gleisbereich befinden sich Schienen des Typs 60 Ri 2.

3 MESSERGEBNISSE

Der vor Ort protokollierte Messwert bezieht sich auf einen im definierten Abstand von 31 cm zum Radaufstandspunkt befindlichen Messpunkt. Es ist davon auszugehen, dass in Abhängigkeit von der Biegelinie der elastisch gebetteten Schiene unter dem Radaufstandspunkt eine weitere Zunahme der Vertikaleinfederung auftritt. Diese lässt sich aus der Berechnung ermitteln. Weiterhin lässt sich jeder gemessenen Vertikalverformung eine rechnerische Federsteifigkeit zuordnen. Die Ergebnisse der Messung und die Berechnung sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Messpunkt MP	Rechnerische Federsteifigkeit in kN/mm pro lfd. m	Vertikaleinfederung in mm		Messpunktbeschreibung	Schiene li/re
		s_v [mm]	korrigierter Messwert s_v^*		
1	46	0,29	0,37	Wagnerplatz 4, ca. mittig Hofeinfahrt	r.S.
2	58	0,24	0,30	Wagnerstraße 8, Hausecke rechts	r.S.
3	55	0,25	0,32	Petrinistr. 2 + 4, Hofeinfahrt mitte	r.S.
4	213	0,08	0,10	Petrinistr. 8, re Schaufenstermitte	r.S.
5	130	0,12	0,15	Petrinistr. 12, Mitte Toreinfahrt	l.S.
6	70	0,2	0,26	Petrinistr. 14-16, Schaufenster mitte, links neben Eingang	l.S.
7	184	0,09	0,12	Petrinistr. 18a, rechts Hausecke in Flucht	r.S.
8	58	0,24	0,30	Petrinistr. Hst. Felix-Fechenbach, links des Unterstandes in Gebüschmitte	l.S.
9	100	0,15	0,19	Petrinistr. 18b, vor 5. Fenster nach Hst.	l.S.
10	76	0,19	0,24	Petrinistr. 20, Mitte Garagenzufahrt	r.S.
11	61	0,23	0,29	Petrinistr. 22, Geb.Seite vor 2. Stütze v. re gesehen	l.S.
12	53	0,26	0,33	Petrinistr. 26a, li Seite des Hausein- gangs	l.S.
13	39	0,34	0,43	Petrinistr. 28a, Mitte Hauseingang	l.S.
14	61	0,23	0,29	Petrinistr. Einmündung, zw. Littfasssäule u. Hausflucht	r.S.
15	86	0,17	0,22	Petrinistr. 30a, li. Seite des 1. Fensters links neben Eingang	r.S.
16	17,2	0,71	0,92	Petrinistr. 34, vor Gul- li/Entwässergskasten	l.S.

17	26,5	0,48	0,61	Petrinstr. 36/38, Mitte der Hofzufahrten	r.S.
18	24	0,53	0,67	Petrinstr. 36/38, Mitte Hofeinfahrt Nr. 38	r.S.
19	28,4	0,45	0,58	Petrinstr. 36/38, Mitte Hofeinfahrt Nr. 38	l.S.
20	27	0,47	0,6	Petrinstr. 36/38, Hofeinfahrt Nr. 38 links	l.S.
21	22,7	0,55	0,71	Petrinstr. 42, ca. 0,5 m li. v. OL-Mast	r.S.

* korrigierter Messwert: Umrechnung maximale Vertikaleinfederung unter dem Fahrzeug

Tabelle 1: Vertikaleinfederung

4 UMRECHNUNG LINIENFAHRZEUGE

Mit den vorher ermittelten Federsteifigkeiten wird unter maximaler Achslast der Linienfahrzeuge die minimale und maximale Verformung errechnet:

Fahrzeug	$k_{v,stat}$ kN/mm/lfd. m	$s_{v,max}$ mm
GTN	213	0,21
	17,2	1,89
GTE	213	0,16
	17,2	1,41

Tabelle 2a: Berechnete Einfederungen unter Volllast

Im Bereich des Messquerschnittes der Emissionsmessung Müller-BBM GmbH (Messpunkte 17 – 20) ergeben sich die Einfederungswerte nach Tabelle 2b.

Fahrzeug	$k_{v,stat}$ kN/mm/lfd. m	$s_{v,max}$ mm
GTN	28,4	1,18
	24	1,38
GTE	28,4	0,88
	24	1,03

Tabelle 2b: Berechnete Einfederungen unter Volllast (Bereich Messung MBBM)

5 ANLAGEN

Anlage-Nr. 1.1 - 1.3	Niederflurfahrzeug GTN
Anlage-Nr. 1.4 - 1.6	Straßenbahnfahrzeug GTE
Anlage-Nr. 1.7	Foto Messuhr
Anlagen-Nr. 2.1 – 2.2	Einfederungsberechnung – GTN
Anlagen-Nr. 3.1 – 3.2	Einfederungsberechnung – GTE

Messung: Techn. B. Liesenfeld

Bearbeitung: Dipl.-Ing. H.-J. Stummeyer

Essen, 13.05.2011

I.B.U.
Ing.-Büro Uderstädt + Partner

<p>AUFTRAGGEBER: BPR Beraten Planen Realisieren Bernd F. Künne & Partner Elisabethenstraße 62 64283 Darmstadt</p>	<p>AUFTRAG-NR.: S 04.914.11</p>	<p>Würzburger Straßenbahn GmbH Neubau Frauenland und Hubland Schwingungstechnische Oberbauberatung</p> <hr/> <p>NIEDERFLURFAHRZEUG GTN</p>	<p>ANLAGE-NR.: 1.1</p>
---	-------------------------------------	--	----------------------------



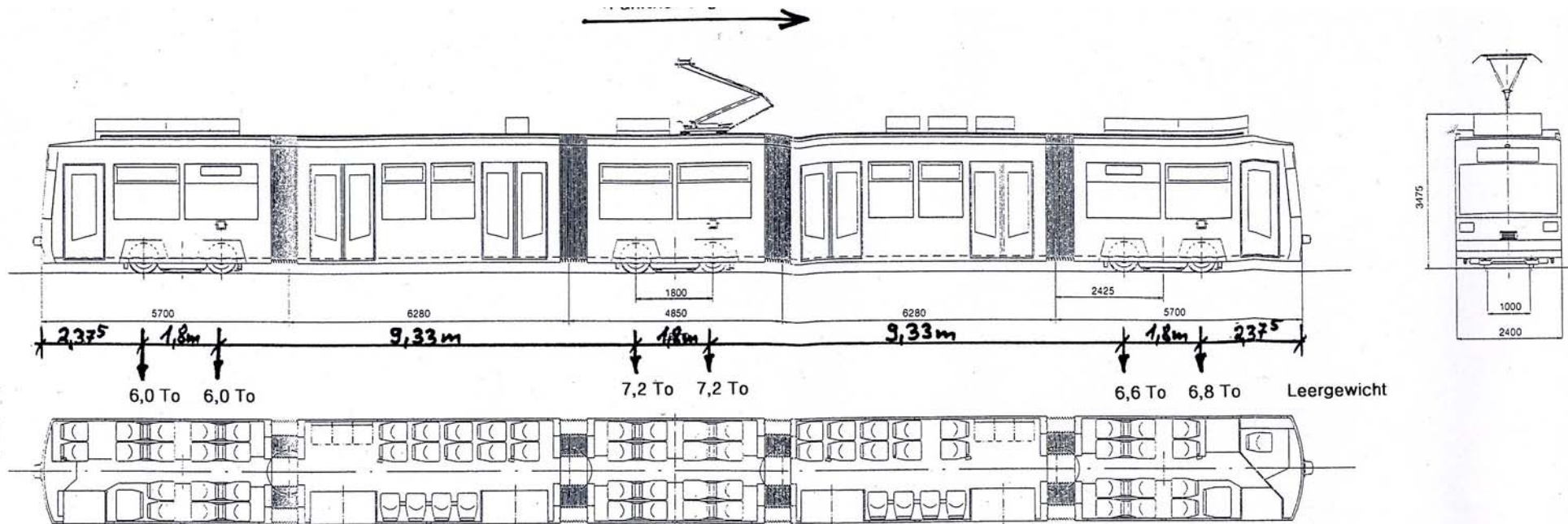
AUFTRAGGEBER:
BPR – BERATEN PLANEN REALISIEREN
BERND F. KÜNNE & PARTNER
ELISABETHENSTRASSE 62
64283 DARMSTADT

AUFTRAG-NR.:
S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
Neubau Frauenland und Hubland
ACHSLASTEN NIEDERFLURFAHRZEUG

ANLAGE-NR.
1.2

GTN - leer



AUFTRAGGEBER:
BPR – BERATEN PLANEN REALISIEREN
BERND F. KÜNNE & PARTNER
ELISABETHENSTRASSE 62
64283 DARMSTADT

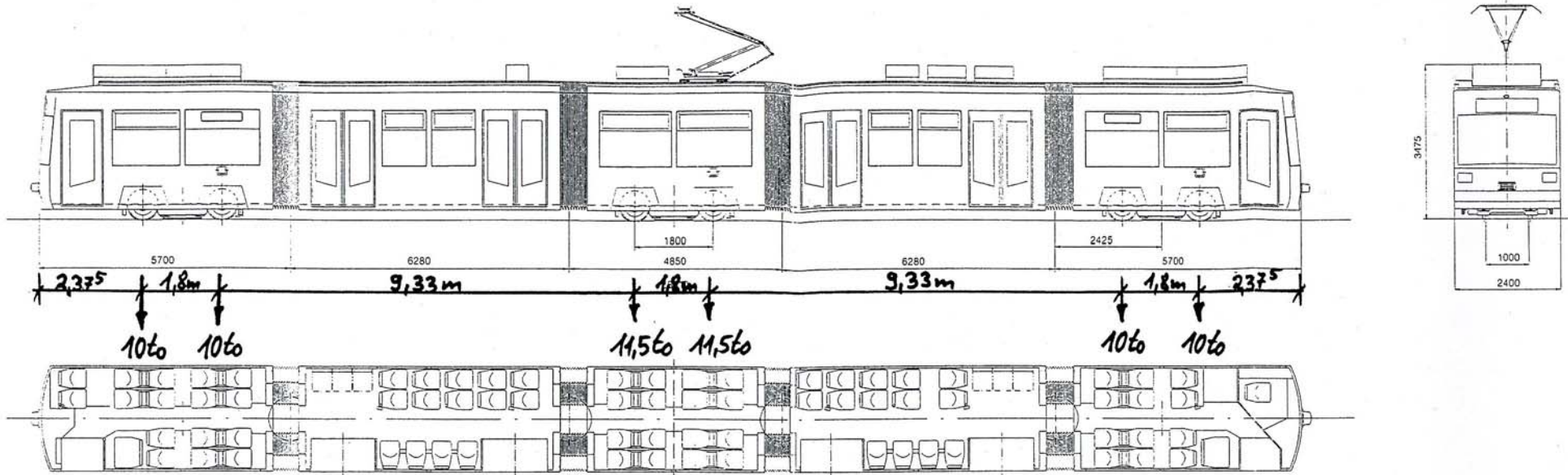
AUFTRAG-NR.:
S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
Neubau Frauenland und Hubland

ACHSLASTEN NIEDERFLURFAHRZEUG

ANLAGE-NR.
1.3

GTN - voll



AUFTRAGGEBER:
BPR
Beraten Planen Realisieren
Bernd F. Künne & Partner
Elisabethenstraße 62
64283 Darmstadt

AUFTRAG-NR.:
S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
Neubau Frauenland und Hubland
Schwingungstechnische Oberbauberatung

ANLAGE-NR.:
1.4

STRAßENBAHNFAHRZEUG GTE



AUFTRAGGEBER:
 BPR – BERATEN PLANEN REALISIEREN
 BERND F. KÜNNE & PARTNER
 ELISABETHENSTRASSE 62
 64283 DARMSTADT

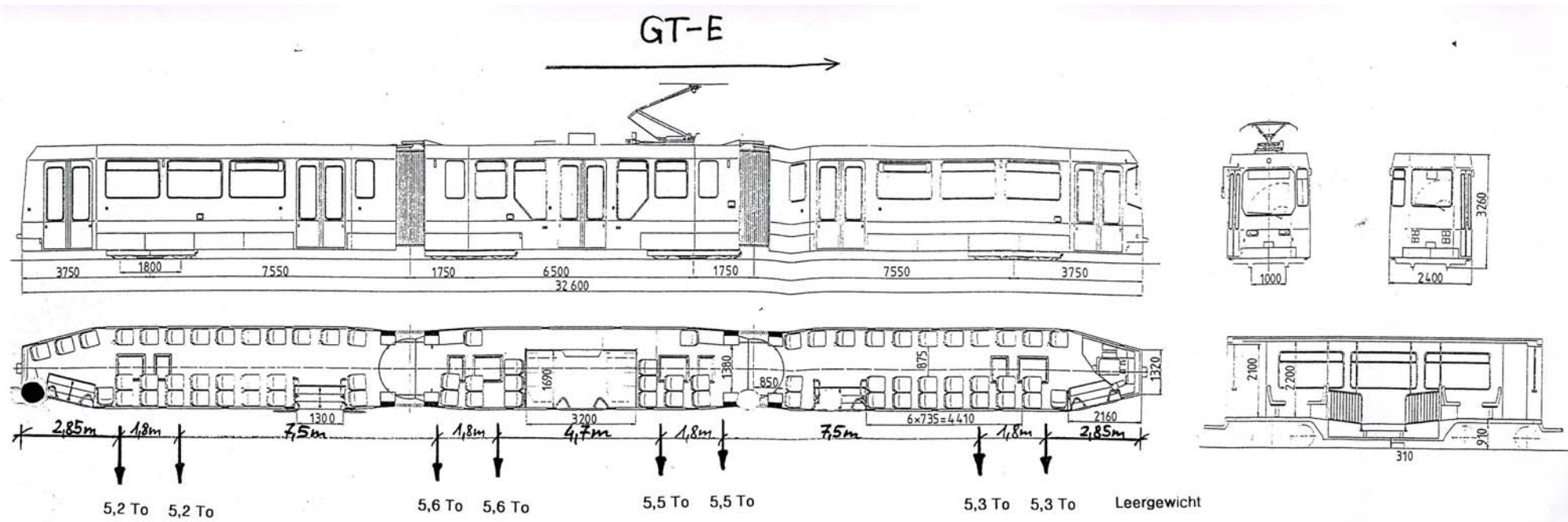
AUFTRAG-NR.:
 S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
 Neubau Frauenland und Hubland

ACHSLASTEN STRAßENBAHNFAHRZEUG

ANLAGE-NR.
 1. 5

GTE - leer



AUFTRAGGEBER:
 BPR – BERATEN PLANEN REALISIEREN
 BERND F. KÜNNE & PARTNER
 ELISABETHENSTRASSE 62
 64283 DARMSTADT

AUFTRAG-NR.:
 S 04.914.11

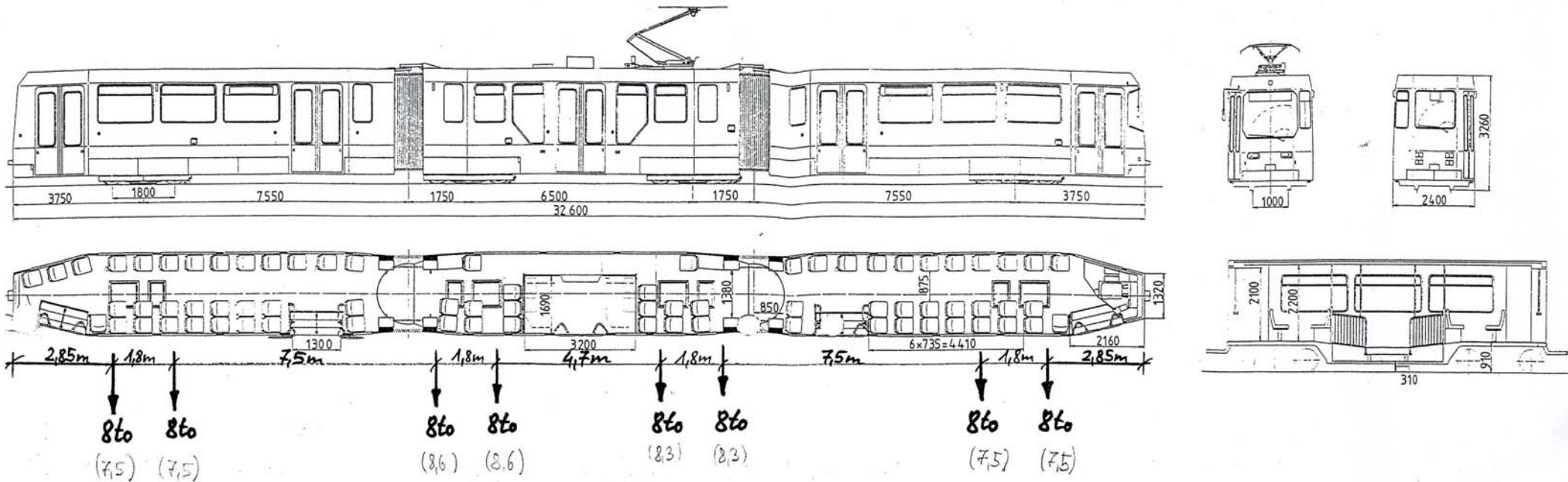
Würzburger Straßenbahn GmbH
 Neubau Frauenland und Hubland

ACHSLASTEN STRAßENBAHNFAHRZEUG

ANLAGE-NR.
 1. 6

GTE - voll

GT-E



AUFTRAGGEBER:
BPR
Beraten Planen Realisieren
Bernd F. Künne & Partner
Elisabethenstraße 62
64283 Darmstadt

AUFTRAG-NR.:
S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn
Neubau Frauenland und Hubland
Schwingungstechnische
Oberbauberatung

ANLAGE-NR.:
1.7

MESSUHR

Foto Messuhr



AUFTRAGGEBER:
BPR
Beraten Planen Realisieren
Bernd F. Künne & Partner
Elisabethenstraße 62
64283 Darmstadt

AUFTRAG-NR.:
S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
Neubau Frauenland und Hubland
Schwingungstechnische Oberbauberatung

ANLAGE-NR.:
2.1

EINFEDERUNGSBERECHNUNG - GTN

Schieneinfederung nach Zimmermann

Flächenträgheitsmoment der Schiene [m⁴]: $I := 3354 \cdot 10^{-8}$

S41 = 1368 cm⁴

S49 = 1819

S54 = 2073

S64 = 3253

$E := 2.1 \cdot 10^{11}$

UIC60 = 3055

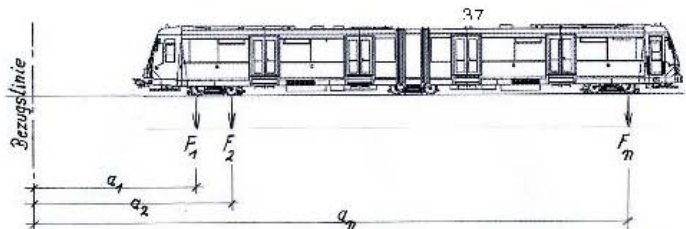
Ri59 = 3257

Ri59N = 3214

Ri60 = 3354

Ri60N = 3299

Steifigkeit der Schienenbettung [kN/mm je lfd. m]: $c := 213$ $c := c \cdot 10^6$ [N/m]



"D:\Messungen\Stu\W\u00fcrzburg_Einfederungst015.jpg"

Anzahl der Achsen: $z_Achsen := 6$ $i := 1..z_Achsen$

Achse-Nr. Radlast [N] Lage von Bezugslinie [m]:

$i =$	$F_i =$	$a_i =$
1	50000	2.375
2	50000	4.175
3	57500	13.51
4	57500	15.31
5	50000	24.64
6	50000	26.4

AUFTRAGGEBER:
 BPR
 Beraten Planen Realisieren
 Bernd F. Künne & Partner
 Elisabethenstraße 62
 64283 Darmstadt

AUFTRAG-NR.:
 S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
 Neubau Frauenland und Hubland
 Schwingungstechnische Oberbauberatung

ANLAGE-NR.:
 2.2

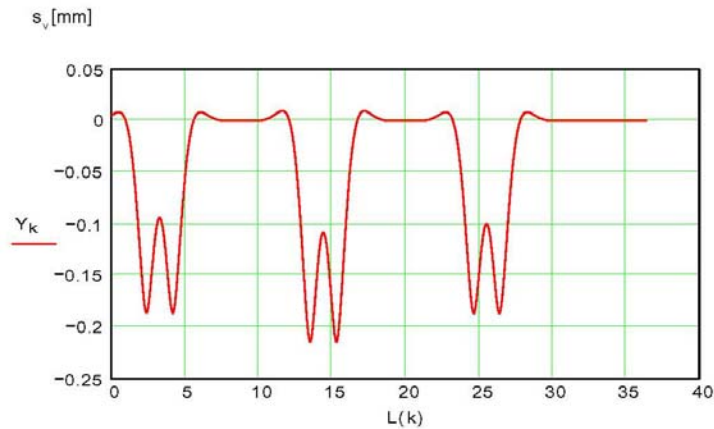
EINFEDERUNGSBERECHNUNG - GTN



Suche nach max. Verformungen:

max_Ausfederung := max(Y)

max_Einfederung := min(Y)



max_Ausfederung = 9.265×10^{-3} max_Einfederung = -0.214

=====

=====



$$k_{links} := \text{rund} \left[\frac{(a_1 - a_{IR})}{dl} \right]$$

Y_{k_links} = -0.152
 =====

$$\frac{Y_{k_links}}{\text{max_Einfederung}} = 0.709$$

$$k_{rechts} := \text{rund} \left[\frac{(a_z_{Achsen} + a_{IR})}{dl} \right]$$

Y_{k_rechts} = -0.151
 =====

$$\frac{Y_{k_rechts}}{\text{max_Einfederung}} = 0.703$$

AUFTRAGGEBER:
BPR
Beraten Planen Realisieren
Bernd F. Künne & Partner
Elisabethenstraße 62
64283 Darmstadt

AUFTRAG-NR.:
S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
Neubau Frauenland und Hubland
Schwingungstechnische Oberbauberatung

ANLAGE-NR.:
3.1

EINFEDERUNGSBERECHNUNG - GTE

Schieneinfederung nach Zimmermann

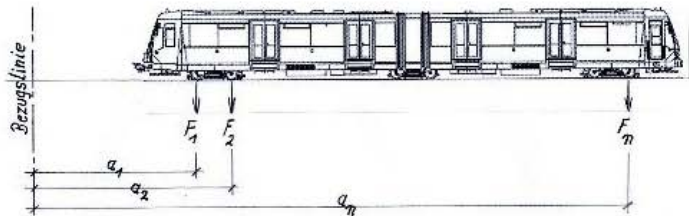
Flächenträgheitsmoment der Schiene [m⁴]: $I = 3354 \cdot 10^{-8}$

S41 = 1368 cm⁴ $E = 2.1 \cdot 10^{11}$
S49 = 1819
S54 = 2073
S64 = 3253

UIC60 = 3055

Ri59 = 3257
Ri59N = 3214
Ri60 = 3354
Ri60N = 3299

Steifigkeit der Schienenbettung [kN/mm je lfd. m]: $c = 213$ $c = c \cdot 10^6$ [N/m]



"D:\Messungen\Stu\W\u00fcrzburg_Einfederungst015.jpg"

Anzahl der Achsen: $z_Achsen = 8$ $i = 1..z_Achsen$

Achse-Nr. Radlast [N] Lage von Bezugslinie [m]

$j =$	$F_j =$	$a_j =$
1	37500	2.85
2	37500	4.65
3	41500	12.15
4	41500	13.95
5	43000	18.65
6	43000	20.45
7	37500	27.95
8	37500	29.75

□

AUFTRAGGEBER:
 BPR
 Beraten Planen Realisieren
 Bernd F. Künne & Partner
 Elisabethenstraße 62
 64283 Darmstadt

AUFTRAG-NR.:
 S 04.914.11

Würzburger Straßenbahn GmbH
 Neubau Frauenland und Hubland
 Schwingungstechnische Oberbauberatung

ANLAGE-NR.:
 3.2

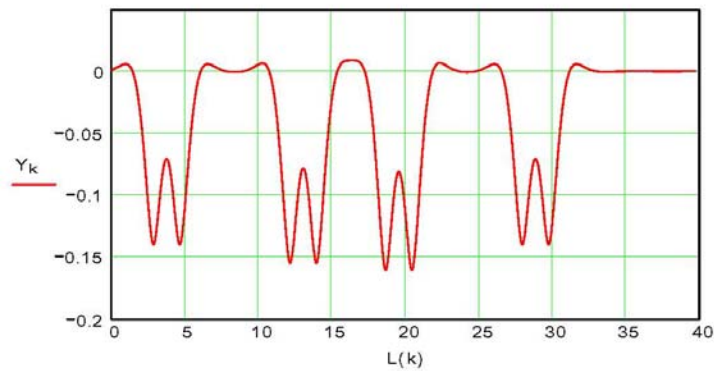
EINFEDERUNGSBERECHNUNG - GTE

Suche nach max. Verformungen:

max_Ausfederung := max(Y)

max_Einfederung := min(Y)

s_v [mm]



max_Ausfederung = 8.993×10^{-3} max_Einfederung = -0.16

=====

=====



$$k_{links} := \text{rund} \left[\frac{(a_1 - a_{IR})}{dl} \right]$$

$$Y_{k_links} = -0.113$$

=====

$$\frac{Y_{k_links}}{\text{max_Einfederung}} = 0.706$$

$$k_{rechts} := \text{rund} \left[\frac{(a_z_{Achsen} + a_{IR})}{dl} \right]$$

$$Y_{k_rechts} = -0.113$$

=====

$$\frac{Y_{k_rechts}}{\text{max_Einfederung}} = 0.706$$