

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

PRÜFAMT FÜR VERKEHRSWEGEBAU
Prof. Dr.-Ing. S. Freudenstein



Bericht Nr. 4905 vom 16. Oktober 2024
Report No. 4905 of 16 October 2024

FORSCHUNGSBERICHT
RESEARCH REPORT

**Zulassungsprüfungen an der Isolierfuge „ABJ“
auf Basis von RFI TCAR SF AR 07 008 A**

**Approval tests of insulation joint „ABJ“
on basis of RFI TCAR SF AR 07 008 A**

(OVERAIL s.r.l., 00138 Rome, Italy)

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Prüfamt für Verkehrswegebau

München, 16. Oktober 2024
simon/overail_2024-115

Forschungsbericht 4905

**Zulassungsprüfungen an der Isolierfuge „ABJ“
auf Basis von RFI TCAR SF AR 07 008 A**

(OVERAIL s.r.l., 00138 Rom, Italien)

Research Report 4905

***Approval tests of insulation joint „ABJ“
on basis of RFI TCAR SF AR 07 008 A***

(OVERAIL s.r.l., 00138 Rome, Italy)

Dieses Dokument enthält vertrauliche Informationen. Eine Vervielfältigung oder Weitergabe dieses Dokuments an Dritte ist nur mit schriftlicher Zustimmung des oben aufgeführten Auftraggebers gestattet.

This document contains confidential information. Any reproduction or distribution of this document to third parties is only permitted with written consent of the client listed above.

Dies ist ein zweisprachiger Bericht. Im Zweifel hat die deutsche Fassung Gültigkeit.

This is a bilingual report. In doubt, the German version is valid.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Allgemeines.....	4
2.	Versuchsmaterial	4
3.	Prüfverfahren und Anforderungen.....	5
3.1	Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)	5
3.2	Biegewiederholprüfung	6
3.3	Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit	7
4.	Versuchsdurchführung und Ergebnisse	8
4.1	Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)	8
4.2	Biegewiederholprüfung	9
4.3	Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit	11
5.	Zusammenfassung	13
	Anlagenverzeichnis	27

TABLE OF CONTENTS

1.	<i>General</i>	<i>15</i>
2.	<i>Test specimen</i>	<i>15</i>
3.	<i>Test procedures and requirements</i>	<i>16</i>
3.1	<i>Tensile strength test (pull-apart test).....</i>	<i>16</i>
3.2	<i>Bending fatigue test (dynamic bending test)</i>	<i>17</i>
3.3	<i>Electrical insulation test and dielectric strength test.....</i>	<i>18</i>
4.	<i>Test execution and results</i>	<i>19</i>
4.1	<i>Tensile strength test in longitudinal rail direction (pull-apart test)</i>	<i>19</i>
4.2	<i>Bending fatigue test (dynamic bending test)</i>	<i>20</i>
4.3	<i>Electrical insulation test and dielectric strength test.....</i>	<i>22</i>
5.	<i>Summary.....</i>	<i>24</i>
	<i>Table of appendices</i>	<i>27</i>

1. Allgemeines

Im Auftrag von OVERAIL s.r.l., 00138 Rom, PI 14348631004, Italien, wurden Untersuchungen auf Basis der italienischen Spezifikation RFI TCAR SF AR 07 008 A an der Isolierfuge „ABJ“ durchgeführt. Es wurde die Dauerfestigkeit unter Biegezugbelastung und das Verhalten unter Längskrafteinleitung geprüft. Diese mechanischen Untersuchungen wurden von Messungen des Isolationswiderstandes und der Durchschlagfestigkeit gemäß Vorgabe der genannten Spezifikation begleitet.

Die Durchführung der Versuche erfolgte am Prüfamt für Verkehrswegebau der TU München, Franz-Langinger-Straße 10, 81245 München. Das Prüfamt für Verkehrswegebau ist eine Organisationseinheit der TU München, Arcisstraße 21, 80333 München.

2. Versuchsmaterial

Für die Untersuchungen wurden dem Prüfamt am 5. August 2024 zur Verfügung gestellt:

- 3 Proben der Isolierfuge ABJ, mit $L = 2170 \text{ mm}$

Die drei Proben sind handschriftlich mit „ABJ-007“, „ABJ-008“ und „ABJ-009“ gekennzeichnet.

Die Konstruktion der eigentlichen Isolierfuge ABJ hat eine Länge von $L_{\text{Fuge}} = 650 \text{ mm}$. Auf dieser Länge sind die miteinander verbundenen Schienenprofile mit einer Fußlasche unterbaut. Die Länge der Überlappung der miteinander verbundenen Schienenprofile beträgt 540 mm. Mit einer Verziehung des Schienenfußes (Zunahme der Steghöhe) geht das „ABJ-Profil“ in das Vignol-Schienenprofil 60E1 über. Inklusive Verziehung hat die Isolierfuge ABJ zwischen den 60E1-Profilen eine Länge von 1000 mm.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen eine der gelieferten Proben. Anlage 1 zeigt eine zur Verfügung gestellte technische Zeichnung der Isolierfuge „ABJ“.



Abbildung 1: Ansicht der Isolierstoß-Konstruktion „ABJ“



Abbildung 2: Gegenseitige Ansicht der Isolierstoß-Konstruktion „ABJ“

Die im Folgenden aufgeführten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das dem Prüfamt zur Verfügung gestellte und für die Untersuchungen verwendete Versuchsmaterial. Dem Hersteller/Auftraggeber obliegt es, die Übereinstimmung des Versuchsmaterials mit der Serienfertigung sicherzustellen.

3. Prüfverfahren und Anforderungen

In Kapitel 3 werden die für die durchgeführten Zulassungsprüfungen relevanten Teile der RFI TCAR SF AR 07 008 A (im Weiteren: „RFI“) kurz beschrieben.

3.1 Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)

In Kapitel II.5.4.2 beschreibt die RFI den Zugversuch wie folgt:

Die Zugkraft ist mit einer Maximalgeschwindigkeit von $v_{\max} = 2 \text{ kN/s}$ auf 1000 kN zu steigern und über die Dauer von 5 Minuten konstant zu halten. Anschließend folgt die vollständige Entlastung mit $v_{\min} = 30 \text{ kN/s}$. Nach einer Lastpause von 5 bis 10 Minuten ist die Zugkraft mit $v_{\max} = 2 \text{ kN/s}$ auf 1500 kN zu steigern, für 5 Minuten konstant zu halten und anschließend wieder mit $v_{\min} = 30 \text{ kN/s}$ vollständig zu entlasten. Die Messung möglicher Relativbewegungen

der Ufer der Isolierfuge endet 5 bis 10 Minuten nach der Entlastung. Die zulässige, bleibende Relativbewegung beträgt 0,10 mm nach der Belastung auf 1000 kN bzw. 0,14 mm nach der Belastung auf 1500 kN.

Abbildung 3 verdeutlicht den Zugversuch gemäß RFI mit Angaben zur Geschwindigkeit der Laststeigerung, den geforderten Maximallasten und der Dauer der Belastung.

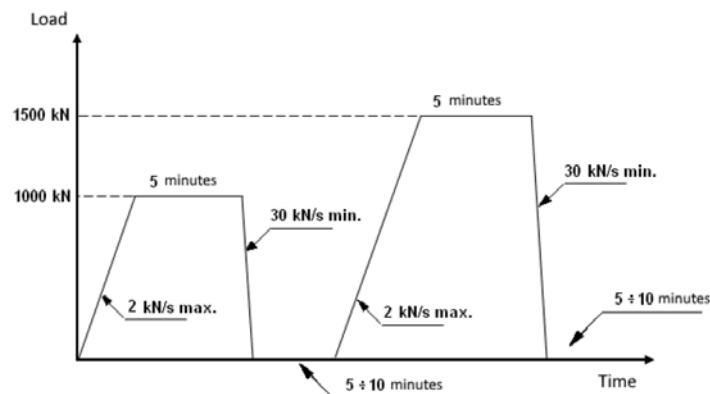


Abbildung 3: Zugversuch gemäß RFI (Auszug aus RFI)

3.2 Biegewiederholprüfung

In Kapitel II.5.4.3 beschreibt die RFI die Biegewiederholprüfung.

Die Prüfung erfolgt als symmetrische 4-Punkt-Biegeschwellbelastung, wobei der Abstand zwischen den Auflagerpunkten 1100 mm und der Abstand zwischen den Lasteinleitungspunkten 150 mm beträgt. Bei einer Frequenz von $f = 4 \pm 1$ Hz sind 2 Millionen Lastspiele zwischen Unterlast $F_u = 30$ kN und Oberlast $F_o = 300$ kN aufzubringen. Gemäß dem vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Auszug der RFI darf diese Prüfung „keine Ablösungen“ an der Probe verursachen.

Die Skizze in Abbildung 4 zeigt schematisch den Prüfaufbau.

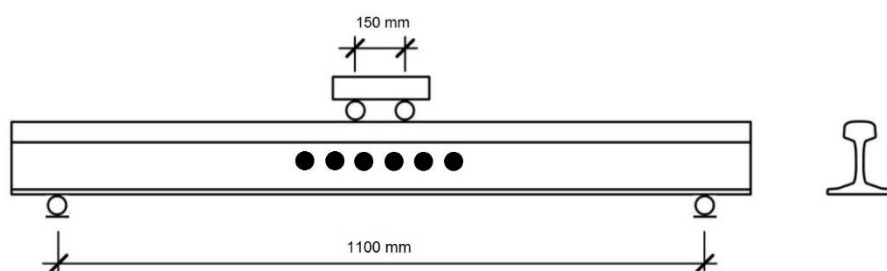


Abbildung 4: Prüfaufbau der Biegewiederholprüfung gemäß RFI

3.3 Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit

Die Hauptfunktion eines Isolierstoßes ist die elektrische Isolation der miteinander verbundenen Schienenprofile. Neben der Prüfung des elektrischen Isolationswiderstandes bei angelegter Gleichspannung fordert die RFI auch die Prüfung der Durchschlagfestigkeit bei angelegter Wechselspannung.

In Kapitel II.5.4.1 der RFI ist das Vorgehen für die Überprüfung der elektrischen Isolation und der Durchschlagfestigkeit des Isolierstoßes beschrieben. Demnach sind die Anforderungen an die Isolationswirkung und an die Durchschlagfestigkeit von der Probe für die Längskraftprüfung (Zugversuch), wie auch von der Probe für die Biegewiederholprüfung einzuhalten. Diese elektrischen Messungen sind vor den mechanischen Prüfungen durchzuführen.

In der Isolationsprüfung ist eine Gleichspannung von 500 V DC an die miteinander verbundenen Schienenprofile anzulegen und anhand des resultierenden Stromflusses der Isolationswiderstand zu ermitteln. Es müssen vier Messungen durchgeführt werden. Zwischen den Messungen ist die Polarität der angelegten Gleichspannung zu wechseln (2 x plus-minus, 2 x minus-plus). Das Messergebnis ist der Mittelwert der vier Messungen.

Die RFI nennt Anforderungswerte an die elektrische Isolation in Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit (siehe Tabelle 1). Folglich ist die Luftfeuchtigkeit und die Lufttemperatur im Prüflabor während der Durchführung der Messung zu dokumentieren.

Tabelle 1: Anforderungen an den Isolationswiderstand in Abhängigkeit der Luftfeuchtigkeit

Luftfeuchtigkeit [%]	Isolationswiderstand [MΩ]
60	≥ 600
65	≥ 70
70	≥ 7
75	≥ 3
80	≥ 1,5

Zusätzlich zum Isolationswiderstand ist die Durchschlagfestigkeit der Isolierfuge bei Anliegen einer Wechselspannung (50Hz) zu prüfen. Die angelegte Wechselspannung ist in Stufen (Stufenhöhe 1000 V AC) zu steigern und in jeder Stufe für 60 Sekunden konstant zu halten. In der ersten Stufe beträgt die Spannung 1000 V AC, in der höchsten Stufe 4 kV AC. Die Prüfung gilt als bestanden, wenn auch bei 4 kV AC innerhalb von 60 Sekunden kein Durchschlagen der Spannung eintritt.

4. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

4.1 Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)

Der Zugversuch (gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.1) wurde an der Probe „ABJ-007“ durchgeführt.

Abbildung 5 zeigt den Prüfaufbau des Zugversuchs. Über zwei Hydraulikzylinder wird in die Isolierstoßprobe die Zugkraft in Schienenlängsrichtung eingeleitet. Die resultierende Relativbewegung zwischen den verbundenen Schienenprofilen wird am Schienenkopf gemessen.



Abbildung 5: Probe ABJ-007 im Prüfaufbau zum Nachweis der Längskraftabtragung

Die Messwertaufzeichnungen des Zugversuchs gemäß Kapitel II.5.4.2 der RFI sind in den Anlagen 2.1 (Kraft-Weg-Diagramm) und 2.2 (Kraft-Zeit-Diagramm) abgebildet. Demnach verursachte die Belastung auf 1000 kN eine bleibende Relativbewegung nach Entlastung zwischen den verbundenen Schienenprofilen von $< 0,01$ mm. Nach der anschließenden Belastung auf 1500 kN beträgt die bleibende Relativbewegung 0,11 mm.

Nach der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Die mit der Belastung verursachten Relativbewegungen sind geringer als die maximal zulässigen Werte gemäß RFI von 0,10 mm nach der Belastung auf 1000 kN und 0,14 mm nach der Belastung auf 1500 kN.

Somit wurden die Anforderungen der RFI an die Abtragung von Längs-Zugkräften eingehalten.

4.2 Biegewiederholprüfung

Die Dauerfestigkeitsprüfung unter 4-Punkt-Biegebeanspruchung über 2 Millionen Lastspiele (gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.2) wurde mit einer Belastungsfrequenz von $f = 3,5 \text{ Hz}$ an Probe „ABJ-008“ durchgeführt. Während der Prüfung wurde die vertikale Schwingweite der Probe am Ort der maximalen Durchbiegung (Mitte des Prüfaufbaus) wiederholt gemessen.

Abbildung 6 zeigt die Probe „ABJ-008“ im Prüfaufbau.



Abbildung 6: Probe ABJ-008 im Prüfaufbau der Biegewiederholprüfung

Die Isolierstoß-Konstruktion zeigte unter der dynamischen Biegebeanspruchung ein lineares Verformungsverhalten (siehe Anlage 3.1). Die vertikale Schwingweite zwischen der Unterlast von 30 kN und der Oberlast von 300 kN betrug etwa 1,9 mm. Dieser Wert blieb über die Dauer von 2 Millionen Lastspielen weitgehend konstant (siehe Anlage 3.2). Die Durchbiegung bei der Unterlast von 30 kN betrug zu Beginn der Prüfung 0,3 mm. Diese stieg innerhalb von etwa 200.000 Lastspielen um 0,5 mm an und blieb im weiteren Verlauf bis zum Ende der Prüfung konstant.

Unter der zyklischen Biegebeanspruchung wurde an der Stoßfuge der miteinander verbundenen Schienenprofile (Isolierfugeneinlage) Abrieb festgestellt. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen den Zustand nach 1,7 Millionen Lastspielen.



Abbildung 7: Ansicht der Stoßfuge nach 1,7 Millionen Lastspielen



Abbildung 8: Gegenseitige Ansicht der Stoßfuge nach 1,7 Millionen Lastspielen

Nach der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurde die Anforderung der RFI an die dauerhafte Abtragung von Biegebeanspruchungen eingehalten.

4.3 Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit

Gemäß Vorgabe der RFI erfolgte die elektrische Isolationsprüfung an den Proben „ABJ-007“ und „ABJ-008“ vor Durchführung der mechanischen Prüfungen (Zugversuch bzw. Biegewiederholprüfung). Die Durchschlagfestigkeit wurde ebenso geprüft.

Die elektrischen Isolationsprüfungen wurden mit einem Hochspannungsprüfgerät „ATS-400“ des Herstellers ETL durchgeführt. Zum Zeitpunkt dieser elektrischen Messungen waren die klimatischen Bedingungen im Prüflabor wie folgt:

- Lufttemperatur: 23,4 °C
- Luftfeuchtigkeit: 47 %

Bei jeder Messung des Isolationswiderstandes (4 Messungen je Probe) wurde eine Gleichspannung von 500 V DC für die Dauer von 5 Sekunden an die miteinander verbundenen Schienenprofile angelegt. (Die Kontaktpunkte wurden zuvor mit Schleifleinen bearbeitet, um jegliche Oberflächenbeschichtung zu entfernen.)

Abbildung 9 zeigt eine Isolierstoßprobe während der Isolationsprüfung.



Abbildung 9: Messung des Isolationswiderstandes zwischen den Schienenprofilen

Die Isolationsprüfungen an den beiden Isolierstoßproben ABJ-007 (Probe des Zugversuchs) und ABJ-008 (Probe der Biegewiederholprüfung) zeigten in allen Messungen einen Isolationswiderstand von $> 1200 \text{ M}\Omega$. Somit wurde der Anforderungswert eines Isolationswiderstandes von $\geq 600 \text{ M}\Omega$ sicher eingehalten.

Bei der Prüfung der Durchschlagfestigkeit kam es im „ersten Durchlauf“ bei beiden Proben in der obersten Spannungsstufe (4000 V AC) zur Entladung (= Durchschlagen der Spannung). Nachdem die Oberflächen der Proben mit einem weichen Tuch kurz gereinigt worden waren,

wurde die Prüfung der Durchschlagfestigkeit wiederholt. Bei dieser Prüfung kam es in keiner Spannungsstufe zum Durchschlagen. Daraus kann gefolgert werden, dass die Entladungen im „ersten Durchlauf“ lediglich auf eine Verunreinigung der Probenoberflächen zurückzuführen waren.

Die Tabellen 2 und 3 zeigen die während den Durchschlagprüfungen erfassten Stromflüsse und die Erfüllung des Anforderungskriteriums, dass es zu keiner Entladung (Durchschlagen) kommen darf.

Tabelle 2: Durchschlagprüfung der Probe ABJ-007 vor dem Zugversuch

Spannungsstufe [V AC]	Stromfluss [mA]	Durchschlagen JA/NEIN
1000	0,528	NEIN
2000	1,060	NEIN
3000	1,613	NEIN
4000	2,173	NEIN

Tabelle 3: Durchschlagprüfung der Probe ABJ-008 vor der Biegewiederholprüfung

Spannungsstufe [V AC]	Stromfluss [mA]	Durchschlagen JA/NEIN
1000	0,515	NEIN
2000	1,034	NEIN
3000	1,579	NEIN
4000	2,129	NEIN

Somit wurden die Anforderungen der RFI an den Isolationswiderstand und die Durchschlagfestigkeit von beiden untersuchten Proben eingehalten.

5. Zusammenfassung

Im Auftrag von OVERAIL s.r.l., 00138 Rom, PI 14348631004, Italien, wurden Untersuchungen auf Basis der italienischen Spezifikation RFI TCAR SF AR 07 008 A an der Isolierfuge „ABJ“ durchgeführt. Es wurde die Dauerfestigkeit unter Biegezugbelastung und das Verhalten unter Längskrafteinleitung geprüft. Diese mechanischen Untersuchungen wurden von Messungen des Isolationswiderstandes und der Durchschlagfestigkeit gemäß Vorgabe der genannten Spezifikation begleitet.

Für die Untersuchungen wurden dem Prüfamt am 5. August 2024 zur Verfügung gestellt:

- 3 Proben der Isolierfuge ABJ, mit L = 2170 mm

Die drei Proben sind handschriftlich mit „ABJ-007“, „ABJ-008“ und „ABJ-009“ gekennzeichnet.

An Probe „ABJ-007“ erfolgte der Nachweis der Längskraftabtragung (Zugversuch) gemäß RFI. Nach der Zugbelastung auf 1000 kN betrug die bleibende Relativbewegung zwischen den verbundenen Schienenprofilen < 0,01 mm. Nach der anschließenden Belastung auf 1500 kN betrug die bleibende Relativbewegung 0,11 mm. Die maximal zulässige Relativbewegung beträgt 0,10 mm nach Belastung auf 1000 kN bzw. 0,14 mm nach Belastung auf 1500 kN. Nach der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurden alle Anforderungen der RFI an die Abtragung von Längs-Zugkräften eingehalten.

An Probe „ABJ-008“ erfolgte der Dauerfestigkeitsnachweis unter Biegezugbeanspruchung (Biegewiederholprüfung) über 2 Millionen Lastspiele zwischen 30 kN und 300 kN gemäß RFI. Diese zyklische Beanspruchung im 4-Punkt-Biegeschwellversuch verursachte eine elastische Durchbiegung (Schwingweite) des Isolierstoßes von 1,9 mm. Dieser Wert blieb bis Abschluss der Prüfung weitgehend konstant. An der Stoßfuge zeigten sich im Verlauf der Prüfung Abriebspuren der Isolierfugeneinlage.

Nach Abschluss der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurde die Anforderung der Biegewiederholprüfung eingehalten.

Vor den mechanischen Prüfungen wurde der elektrische Isolationswiderstand und die Durchschlagfestigkeit an beiden Proben nach Vorgabe der RFI ermittelt. Bei angelegter

Gleichspannung von 500 V DC ergaben alle Widerstandsmessungen zwischen den verbundenen Schienenprofilen einen Isolationswiderstand von $>1200 \text{ M}\Omega$. Somit wurde die Anforderung der RFI an den Isolationswiderstand ($\geq 600 \text{ M}\Omega$) sicher eingehalten.

Bei den Prüfungen der Durchschlagfestigkeit in Stufen von 1000 V AC bis 4000 V AC kam es in keiner Spannungsstufe zur Entladung (= Durchschlagen der Spannung). Somit wurde die Anforderung der RFI an die Durchschlagfestigkeit von beiden untersuchten Proben eingehalten.

Nach Abschluss der Prüfungen wurden die zur Verfügung gestellten Proben des Isolierstoßes „ABJ“ vom Auftraggeber wieder abgeholt.

1. General

On behalf of OVERAIL s.r.l., 00138 Rome, PI 14348631004, Italy, tests were carried out on the 'ABJ' insulated joint on the basis of Italian Specification RFI TCAR SF AR 07 008 A. The fatigue strength under bending tensile load and the behaviour under longitudinal tensile loads were tested. These mechanical tests were accompanied by measurements of the insulation resistance (ohmic resistance) and of the dielectric strength in accordance with the mentioned standard.

The tests have been carried out at the Institute of Road, Railway and Airfield Construction of Technical University of Munich, Franz-Langinger-Strasse 10, 81245 Munich, Germany. The Institute of Road, Railway and Airfield Construction is an organizational unit of the Technical University of Munich, Arcisstrasse 21, 80333 Munich.

2. Test specimen

For the investigations, the institute got following samples on 5 August 2024, sent from the client:

- *3 samples of insulated joint "ABJ", length: 2170 mm*

The three samples are labelled by hand with "ABJ-007", "ABJ-008" and "ABJ-009".

The construction of the actual ABJ insulated joint has a length of $L_{\text{joint}} = 650$ mm. The connected rail profiles are supported by a footplate over this length. The length of the overlap of the connected rail profiles is 540 mm. The ABJ profile transitions into the 60E1 vignol rail profile with a distortion of the rail foot (increase in web height). Including the distortion, the ABJ insulated joint between the 60E1 profiles has a length of 1000 mm. Figures 1 and 2 show one of the supplied samples. Appendix 1 shows a technical drawing of the ABJ insulated joint that was provided.



Figure 1: View of insulated joint "ABJ"



Figure 2: Opposite view of insulated joint "ABJ"

The results listed below refer only to test material supplied and used for the investigations at the institute. The manufacturer/client is responsible for ensuring the conformity of the test material and series production.

3. Test procedures and requirements

Chapter 3 briefly describes the relevant parts of RFI TCAR SF AR 07 008 A (ongoing: "RFI") for executed tests.

3.1 Tensile strength test (pull-apart test)

In Chapter II.5.4.2, the RFI describes the tensile test as follows:

The tensile force is to be increased to 1000 kN at a maximum speed of $v_{max} = 2$ kN/s and kept constant over a period of 5 minutes. This is followed by complete unloading with $v_{min} = 30$ kN/s. After a load pause of 5 to 10 minutes, the tensile force must be increased to 1500 kN at $v_{max} = 2$ kN/s, kept constant for 5 minutes and then completely relieved again at $v_{min} = 30$ kN/s. The measurement of possible relative movements of the banks of the insulating joint ends 5

to 10 minutes after the load has been relieved. The permissible, permanent relative movement is 0.10 mm after loading to 1000 kN respectively 0.14 mm after loading to 1500 kN.

Figure 3 shows the loading concept (loading velocity, maximum loads and duration) in tensile test according to RFI.

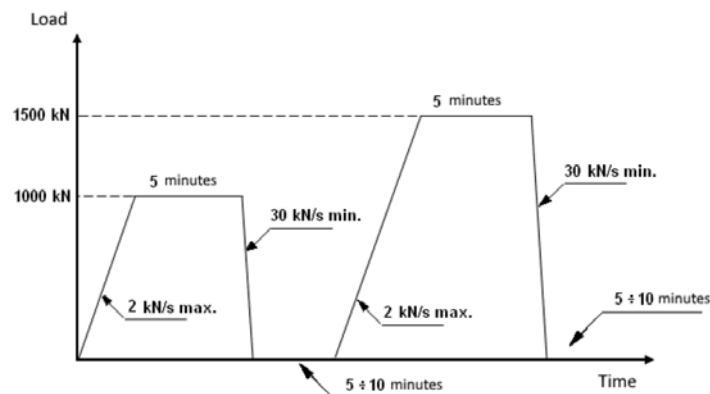


Figure 3: Tensile test according to RFI (Excerpt of RFI)

3.2 Bending fatigue test (dynamic bending test)

In Chapter II.5.4.3, the RFI describes the repeated bending test.

The test is carried out as a symmetrical 4-point bending load, with the distance between the support points being 1100 mm and the distance between the load application points being 150 mm. At a frequency of $f = 4 \pm 1$ Hz, 2 million load cycles are to be applied between lower load $F_u = 30$ kN and upper load $F_o = 300$ kN. According to the extract from the RFI provided by the client, this test must not cause "detachment" of the specimen.

Figure 4 shows a sketch of the test set-up.

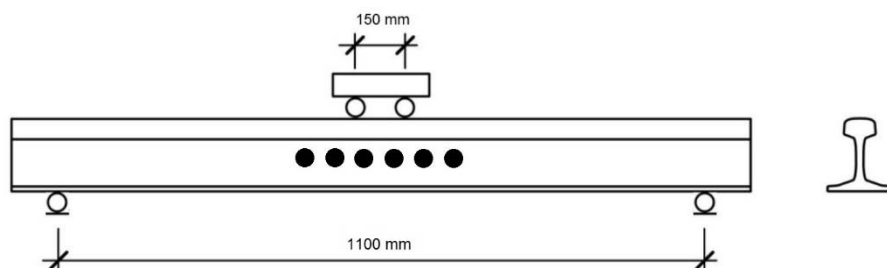


Figure 4: Test set-up of bending fatigue test according to RFI

3.3 Electrical insulation test and dielectric strength test

The main function of an insulated rail joint is to provide electrical insulation between the connected rail profiles. In addition to testing the electrical insulation resistance with DC voltage applied, RFI also requires a dielectric strength test with AC voltage applied.

The procedure for testing the electrical insulation and the dielectric strength of the insulated rail joint is described in Chapter II.5.4.1 of the RFI. According to this, the requirements for the insulation resistance and the dielectric strength of the sample for the longitudinal force test (tensile test) and of the sample for the repeated bending test must be met. These electrical measurements must be carried out before the mechanical tests.

When testing the insulation resistance, a DC voltage of 500 V DC is to be applied to the interconnected rail profiles and the insulation resistance is to be determined based on the resulting current flow. Four measurements must be carried out. The polarity of the applied DC voltage must be changed between the measurements (2 x plus-minus, 2 x minus-plus). The measurement result is the mean value of the four measurements.

The RFI specifies requirement values for electrical insulation as a function of humidity (see Table 1). Consequently, the humidity and air temperature in the test laboratory during the measurement must be documented.

Table 1: RFI requirement values for the insulation resistance at different humidity values

Air humidity [%]	Insulation resistance [MΩ]
60	≥ 600
65	≥ 70
70	≥ 7
75	≥ 3
80	≥ 1.5

In addition to the insulation resistance, the dielectric strength of the insulated joint is to be tested when an alternating voltage (50Hz) is applied. The alternating voltage applied is to be increased in stages (increments of 1000 V AC) and held constant for 60 seconds at each stage. In the first stage, the voltage is 1000 V AC, and in the highest stage, 4 kV AC. The test is considered passed if no breakdown of the voltage occurs even.

4. Test execution and results

4.1 Tensile strength test in longitudinal rail direction (pull-apart test)

The tensile test (as described in Section 3.1) was carried out on the sample 'ABJ-007'.

Figure 5 shows the test set-up for the tensile test. The tensile load in the longitudinal direction of the rail is applied to the insulated rail joint sample via two hydraulic cylinders. The resulting relative movement between the connected rail profiles is measured at the rail head.



Figure 5: Sample ABJ-007 in the test set-up to verify the longitudinal load transmission

The measurement recordings of the tensile test according to Chapter II.5.4.2 of RFI are shown in Appendices 2.1 (force-deflection diagram) and 2.2 (force-time diagram). According to this, the loading up to 1000 kN caused a permanent relative movement of < 0.01 mm between the connected rail profiles after the load was removed. After the subsequent load up to 1500 kN, the permanent relative movement is 0.11 mm.

After the test, no cracks in the adhesive bond or other bond failures could be detected. The relative movements caused by the load are less than the maximum permissible values according to RFI of 0.10 mm after loading to 1000 kN and 0.14 mm after loading to 1500 kN. Thus, the requirements of RFI for the dissipation of longitudinal tensile forces were met.

4.2 Bending fatigue test (dynamic bending test)

The fatigue strength test under 4-point bending load over 2 million load cycles (as described in Section 3.2) was carried out on sample 'ABJ-008' at a loading frequency of $f = 3.5$ Hz. During the test, the amplitude of vertical deflection of the sample was repeatedly measured at the point of maximum movement (centre of the test setup).

Figure 6 shows the sample ABJ-008 in the test set-up.



Figure 6: Sample ABJ-008 in the test set-up of the bending fatigue test

The insulated joint construction showed a linear deflection behaviour under the cyclic bending load (see Appendix 3.1). The vertical amplitude between the lower load of 30 kN and the upper load of 300 kN was about 1.9 mm. This value remained largely constant over the test period of 2 million load cycles (see Appendix 3.2). At the beginning of the test, the deflection at the lower load of 30 kN was 0.3 mm. This increased by 0.5 mm within approximately 200,000 load cycles and ongoing remained constant until finalizing the test.

Abrasion was observed at the butt joint of the connected rail profiles (insulating joint insert) under the cyclic bending load. Figures 7 and 8 show the condition after 1.7 million load cycles.



Figure 7: View of the butt joint after 1.7 million load cycles



Figure 8: Opposite view of the butt joint after 1.7 million load cycles

After the test, no cracks in the adhesive bond or other bond failures could be detected. Thus, the requirement of RFI for the permanent transfer of bending stresses was met.

4.3 Electrical insulation test and dielectric strength test

In accordance with the RFI, the electrical insulation test was carried out on the samples 'ABJ-007' and 'ABJ-008' before the mechanical tests (tensile test and repeated bending test). The dielectric strength was also tested.

The electrical insulation tests were carried out using a high-voltage tester 'ATS-400' from the manufacturer ETL. At the time of these electrical measurements, the climatic conditions in the test laboratory were as follows:

- *Air temperature: 23.4 °C*
- *Air humidity: 47 %*

For each insulation resistance measurement (4 measurements per sample), a DC voltage of 500 V DC was applied to the interconnected rail profiles for a period of 5 seconds. (The contact points were previously treated with abrasive cloth to remove any surface coating.)

Figure 9 shows an insulated joint sample whilst electrical insulation test.



Figure 9: Measurement of electrical insulation between connected rail profiles

The insulation tests on the two insulated rail joint samples ABJ-007 (sample for the tensile test) and ABJ-008 (sample for the repeated bending test) showed an insulation resistance of > 1200 MΩ in all measurements. Thus, the required insulation resistance of $\geq 600 \text{ M}\Omega$ was safely met.

During the dielectric strength test, a discharge occurred in the 'first run' in both samples at the highest voltage level (4000 V AC) (= dielectric breakdown of the voltage). After the surfaces of the samples had been briefly cleaned with a soft cloth, the dielectric strength test was repeated.

During this test, no breakdown occurred at any voltage level. It can therefore be concluded that the discharges in the 'first run' were merely due to contamination of the sample surfaces.

Tables 2 and 3 show the currents recorded during the breakdown tests and the fulfilment of the requirement that there must be no discharge by sparking (breakdown).

Table 2: *Dielectric strength test of sample ABJ-007 before tensile test*

Voltage level [V AC]	Current flow [mA]	Breakdown YES/NO
1000	0.528	NO
2000	1.060	NO
3000	1.613	NO
4000	2.173	NO

Table 3: *Dielectric strength test of sample ABJ-008 before bending fatigue test*

Voltage level [V AC]	Current flow [mA]	Breakdown YES/NO
1000	0.515	NO
2000	1.034	NO
3000	1.579	NO
4000	2.129	NO

Thus, the requirements of the RFI for the insulation resistance and the dielectric strength were met by both samples examined.

5. Summary

On behalf of OVERAIL s.r.l., 00138 Rome, PI 14348631004, Italy, tests were carried out on the 'ABJ' insulated joint on the basis of Italian Specification RFI TCAR SF AR 07 008 A. The fatigue strength under bending tensile load and the behaviour under longitudinal tensile loads were tested. These mechanical tests were accompanied by measurements of the insulation resistance (ohmic resistance) and of the dielectric strength in accordance with the mentioned standard.

For the investigations, the institute got following samples on 5 August 2024, sent from the client:

- *3 samples of insulated joint "ABJ", length: 2170 mm*

The three samples are labelled by hand with "ABJ-007", "ABJ-008" and "ABJ-009".

Specimen 'ABJ-007' was used to demonstrate the longitudinal force dissipation (tensile test) in accordance with RFI. After the tensile load of 1000 kN, the remaining relative movement between the connected rail profiles was < 0.01 mm. After the subsequent load of 1500 kN, the remaining relative movement was 0.11 mm. The maximum permissible relative movement according to RFI is 0.10 mm after loading to 1000 kN and 0.14 mm after loading to 1500 kN. After the test, no cracks in the adhesive bond or other bond failures could be detected. Thus, the requirements of the RFI for the transfer of longitudinal tensile forces were met.

The fatigue strength of sample 'ABJ-008' was verified under bending tensile loading (repetitive bending test) over 2 million load cycles between 30 kN and 300 kN in accordance with the RFI. This cyclic loading in the 4-point bending fatigue test caused an elastic deflection (amplitude of deflection) of the insulated joint of 1.9 mm. This value remained largely constant until the end of the test. At the butt joint, there were signs of abrasion of the insulating joint insert during the test.

After the test, no cracks in the bonding or other or other bond failures could be detected. Thus, the requirement of the bending fatigue test was met.

Before the mechanical tests, the electrical insulation resistance and dielectric strength of both samples were determined according to RFI specification. When a DC voltage of 500 V DC was applied, all resistance measurements between the connected rail profiles showed an insulation

resistance of $>1200\text{ M}\Omega$. Thus, the RFI requirement for insulation resistance ($\geq 600\text{ M}\Omega$) was safely met.

During the dielectric strength tests in stages from 1000 V AC to 4000 V AC, no discharge occurred at any voltage level (= dielectric strength). Thus, the dielectric strength requirement of RFI was met by both samples examined.

After completion of the tests, the samples of the ABJ insulated joint provided were collected by the client.

München, 16. Oktober 2024

Munich, 16 October 2024

*Für die Freigabe des Berichts /
For the authorization of the report*

Prof. Dr.-Ing. S. Freudenstein
(Oberste Leitung)
(CEO)

Für die Durchführung und
Auswertung der Versuche / *For the
performance and evaluation of the
tests*

Dr.-Ing. C. Simon
(Projektleiter)
(Project manager)

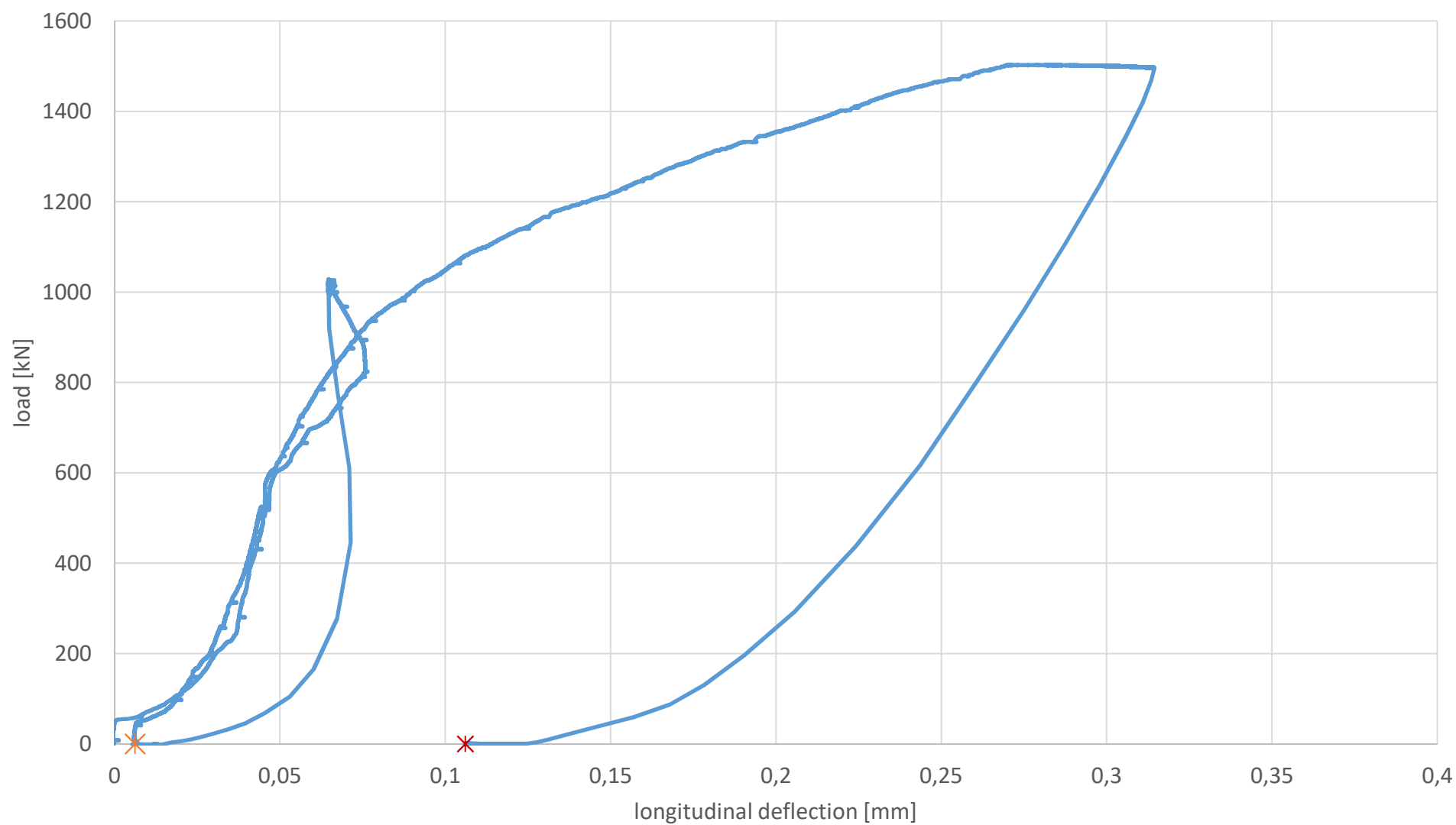
ANLAGENVERZEICHNIS

- 1: Technische Zeichnung der Isolierfuge „ABJ“
- 2.1 - 2.2: Messwertaufzeichnungen der Zugprüfung
- 3.1 - 3.2: Messwertaufzeichnungen der Biegeschwellprüfung (Dauerfestigkeitsnachweis)

TABLE OF APPENDICES

- 1: *Technical drawing of insulation joint “ABJ”*
- 2.1 - 2.2: *Measurement recordings of tensile tests in longitudinal rail direction*
- 3.1 – 3.2: *Measurement recordings of 4-point bending test (fatigue strength test)*

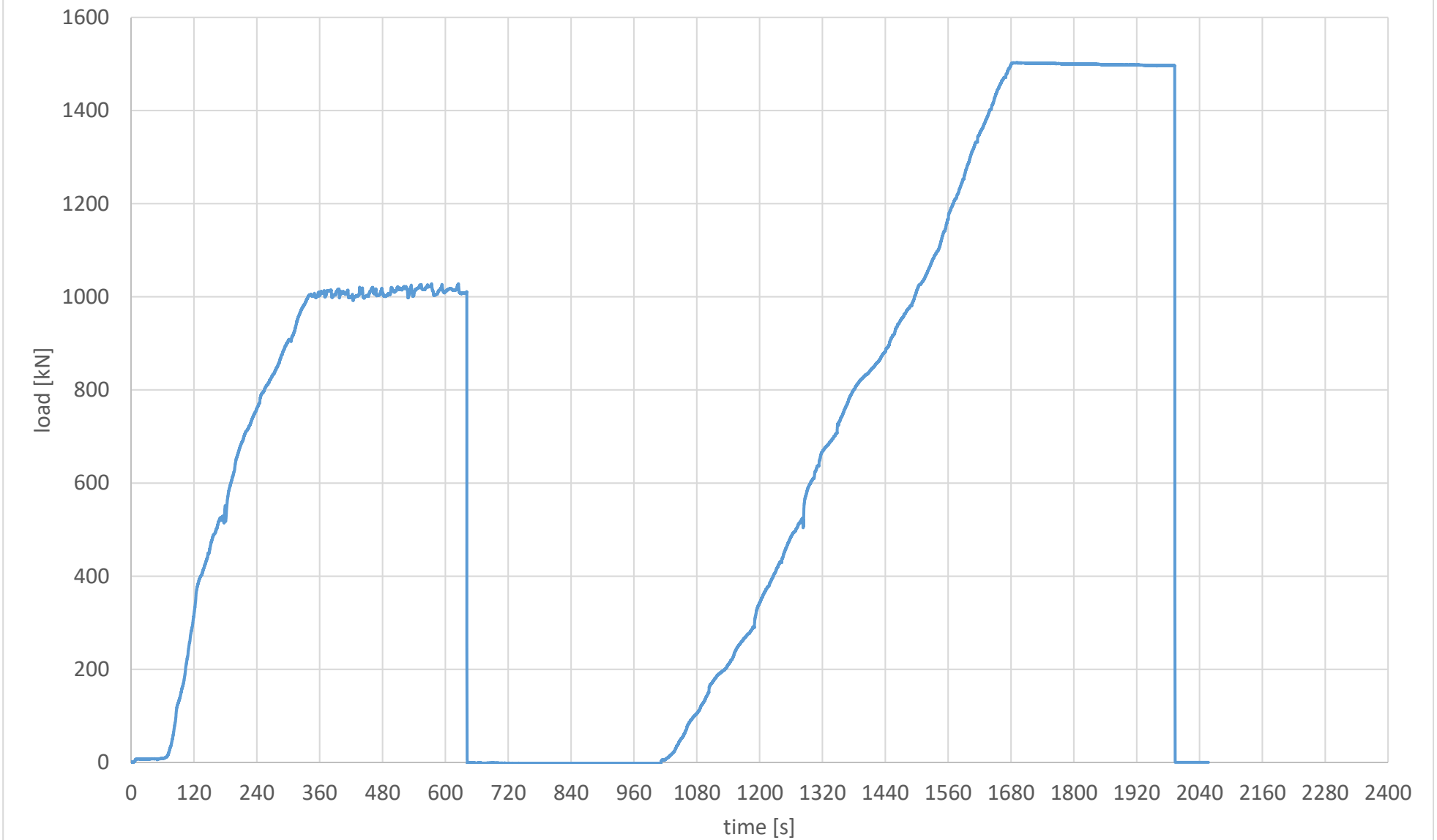
Pull-apart test acc. RFI on sample ABJ-007



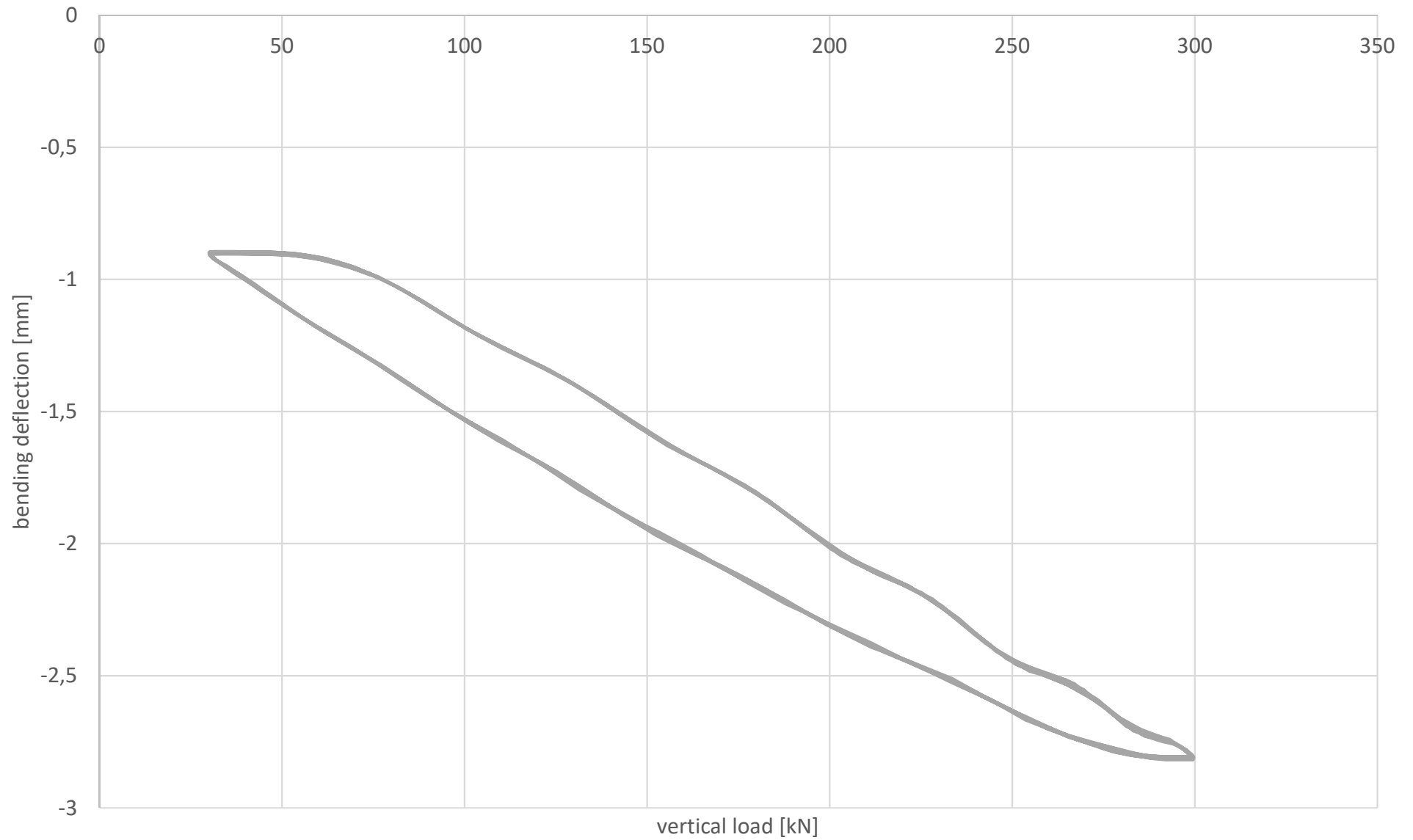
✕ remaining deflection after loading up to 1000 kN

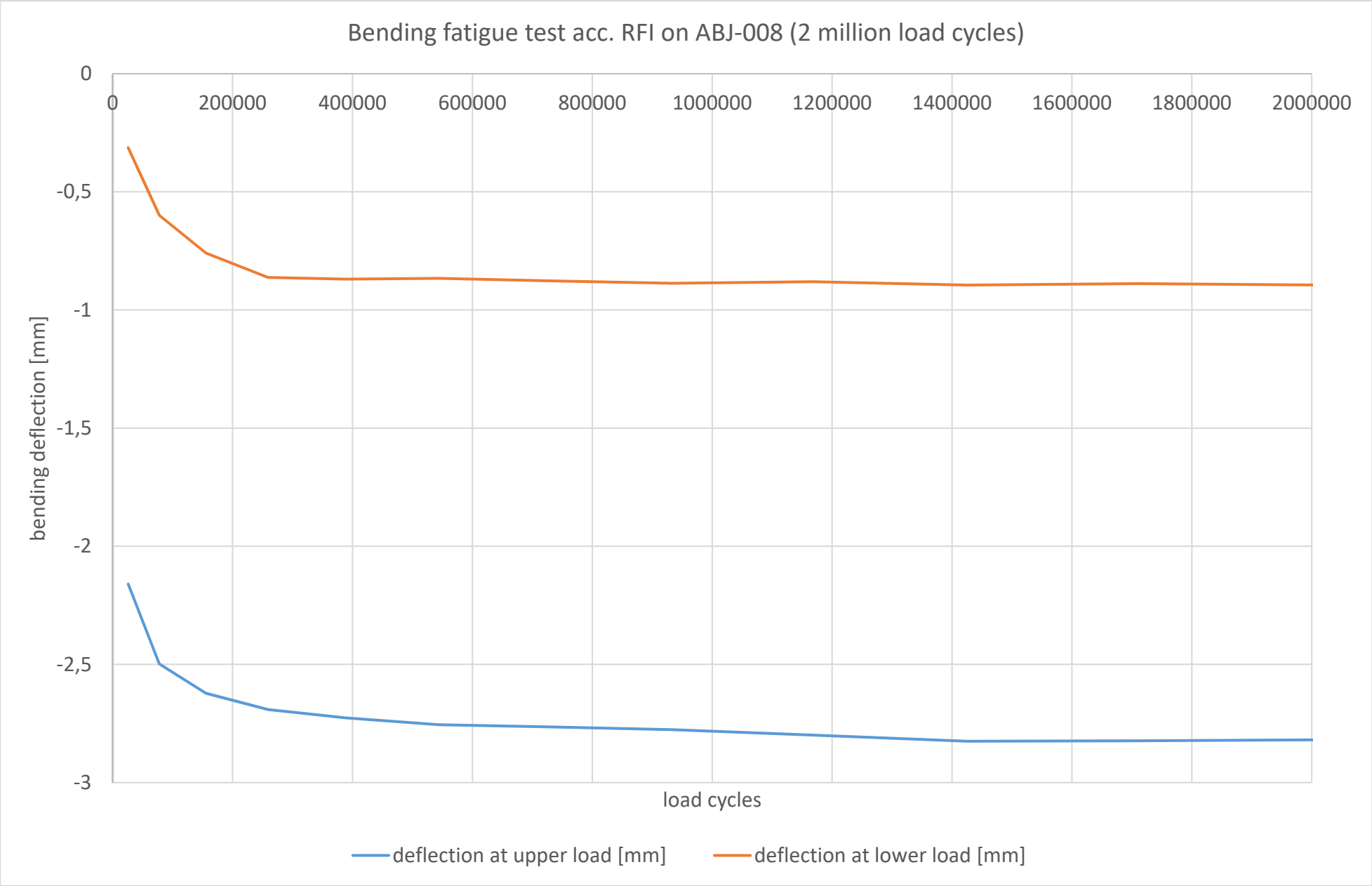
✕ remaining deflection after loading up to 1500 kN

Pull-apart test acc. RFI on sample ABJ-007



Deflection behaviour in bending fatigue test acc. RFI on ABJ-008





--- ENDE DES BERICHTS / END OF THE REPORT ---