

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

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



Bericht Nr. 4910 vom 22. Oktober 2024
Report No. 4910 of 22 October 2024

FORSCHUNGSBERICHT
RESEARCH REPORT

**Zulassungsprüfungen an der Isolierfuge „ABJ“
auf Basis von ÖBB TL 07.09.26 bzw. TCDD IRC Spezifikation**

**Approval tests of insulation joint „ABJ“
on basis of ÖBB TL 07.09.26 resp. TCDD IRC Specification**

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

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Prüfamt für Verkehrswegebau

München, 22. Oktober 2024
simon/Overail_2024-115

Forschungsbericht 4910

**Zulassungsprüfungen an der Isolierfuge „ABJ“
auf Basis von ÖBB TL 07.09.26 bzw. TCDD IRC Spezifikation**

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

Research Report 4910

***Approval tests of insulation joint „ABJ“
on basis of ÖBB TL 07.09.26 resp. TCDD IRC Specification***

(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)	6
3.2	Biegewiederholprüfung (Dauerfestigkeitsprüfung)	6
3.3	Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit	7
4.	Versuchsdurchführung und Ergebnisse	8
4.1	Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)	8
4.2	Biegewiederholprüfung (Dauerfestigkeitsprüfung)	10
4.3	Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit	11
5.	Zusammenfassung	14
	Anlagenverzeichnis	29

TABLE OF CONTENTS

1.	<i>General</i>	<i>16</i>
2.	<i>Test specimen</i>	<i>16</i>
3.	<i>Test procedures and requirements</i>	<i>17</i>
3.1	<i>Tensile strength test (pull-apart test).....</i>	<i>17</i>
3.2	<i>Bending fatigue test (dynamic bending test)</i>	<i>18</i>
3.3	<i>Electrical insulation test and dielectric strength test.....</i>	<i>19</i>
4.	<i>Test execution and results</i>	<i>20</i>
4.1	<i>Tensile strength test in longitudinal rail direction (pull-apart test)</i>	<i>20</i>
4.2	<i>Bending fatigue test (dynamic bending test)</i>	<i>21</i>
4.3	<i>Electrical insulation test and dielectric strength test.....</i>	<i>23</i>
5.	<i>Summary.....</i>	<i>26</i>
	<i>Table of appendices</i>	<i>29</i>

1. Allgemeines

Im Auftrag von OVERAIL s.r.l., 00138 Rom, PI 14348631004, Italien, wurden Untersuchungen auf Basis des österreichischen Regelwerks „ÖBB TL 07.09.26 (Ausgabe 2021)“ bzw. der türkischen Spezifikation „TCDD – Insulated rail seal (IRC) – Technical Specification (Ausgabe 2021)“ 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 gemäß Vorgaben der genannten Normen begleitet. Um mit der Untersuchung an den Proben weitere Prüfnormen mit abweichenden Vorgaben zu bedienen, wurden an den vorliegenden Proben auch mechanische Prüfungen durchgeführt, welche nicht Bestandteil der hier genannten Normen sind. Diese weiteren Prüfungen werden im vorliegenden Bericht lediglich erwähnt, wenn sie zeitlich vor den hier detailliert beschriebenen Prüfungen stattgefunden haben. Hinsichtlich der Prüfvorgaben bestehen zwischen den Vorschriften der ÖBB und der TCDD nur geringe Unterschiede, welche im Bericht benannt werden.

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 Abschnitt 3 dieses Berichts werden die für die durchgeführten Zulassungsprüfungen relevanten Teile der „ÖBB TL 07.09.26“ (im Weiteren: ÖBB TL) bzw. der „TCDD – Insulated rail seal (IRC) – Technical Specification“ (im Weiteren: TCDD IRC) kurz beschrieben. Für die Durchführung der Untersuchung wurde vom Auftraggeber eine englische Übersetzung der türkischen Spezifikation TCDD IRC zur Verfügung gestellt.

3.1 Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)

Kapitel 5.3.1 der ÖBB TL beschreibt den Zugversuch zur Prüfung der Lastabtragung in Schienenlängsrichtung. Demnach ist für Isolierstöße des Schienenprofils 60E1 eine Zugkraft von 2000 kN in Schienenlängsrichtung aufzubringen. Die Anforderung an den Zugversuch gilt als erfüllt, wenn Infolge dieser Belastung keine Schäden an der Verklebung auftreten. Darüber hinaus nennt die ÖBB TL keine weiteren Vorgaben zur mechanischen Festigkeitsprüfung in Längsrichtung.

Gemäß Kapitel 5.2.4 der TCDD IRC wird für Isolierstöße des Schienenprofils 60E1 ebenso eine Längskraftbelastung der Probe bis 2000 kN gefordert. Weiter präzisiert die türkische Spezifikation die Geschwindigkeit der Laststeigerung ($v_{\max} = 20 \text{ kN/s}$) und fordert, dass die Maximalbelastung von 2000 kN für die Dauer von 60 Sekunden konstant gehalten wird und anschließend die vollständige Entlastung erfolgt. Als Anforderung an den Isolierstoß wird gefordert, dass die Belastung keine Öffnung der Isolierfuge verursacht, dass keine Brüche auftreten und dass nach der Belastung die elektrische Isolationswirkung weiterhin besteht. Der Probenzustand ist mit Fotos zu dokumentieren.

Auf Basis der Vorgaben beider Normen wurden die Prüfbedingungen gemäß TCDD-IRC für die Versuchsdurchführung gewählt. Somit werden auch die Forderungen der ÖBB TL umfänglich abgedeckt.

3.2 Biegewiederholprüfung (Dauerfestigkeitsprüfung)

Kapitel 5.3.2 der ÖBB TL beschreibt die Vorgaben des Biegeschwellversuchs anhand konkreter Abmessungen im Prüfaufbau und korrespondierender Prüflasten.

In einem 3-Punkt-Biegeschwellversuch (Auflagerabstand: 1000 mm) über 5 Millionen Lastspiele ($f_{\max} = 20 \text{ Hz}$) soll die Dauerfestigkeit des Isolierstoßes zwischen einer Oberlast von $P_o = 200 \text{ kN}$ und einer Unterlast von $P_U = 15 \text{ kN}$ geprüft werden. Spezifische Anforderungen an den Zustand der Probe nach der Prüfung werden nicht formuliert.

Gemäß Kapitel 5.2.5 des TCDD IRC sind die Versuchsparameter der türkischen Spezifikation im Biegeschwellversuch identisch zu den Parametern der ÖBB TL. Die Anforderungen des TCDD IRC an den Isolierstoß nach dem Biegeschwellversuch lautet, dass die Belastung kein Gleiten zwischen den verbundenen Schienenprofilen verursacht, dass keine Brüche auftreten

und dass nach der Belastung die elektrische Isolationswirkung weiterhin besteht. Der Probenzustand ist mit Fotos zu dokumentieren.

Mit den spezifischen Abmessungen des Isolierstoßes ABJ (reduzierte Steghöhe im Bereich der Schienenverbindung auf einer Länge von > 1000 mm) ist es nicht möglich, im Prüfaufbau des 3-Punkt-Biegeschwellversuchs den geforderten Auflagerabstand von 1000 mm zu realisieren. Aus diesem Grund wurden die Prüflasten für die Durchführung der Prüfung mit größerem Auflagerabstand von 1100 mm so angepasst, dass das resultierende Biegemoment auf die Probe den Vorgaben von ÖBB TL bzw. TCDD IRC entspricht.

Tabelle 1 stellt die Prüfparameter der Spezifikationen (Auflagerabstand: 1000 mm) den Versuchsparametern im gewählten Prüfaufbau (Auflagerabstand: 1100 mm) gegenüber. In beiden Fällen verursacht die Oberlast ein Biegemoment von 50 kNm und die Unterlast ein Biegemoment von $3,8$ kNm. Somit entspricht der gewählte Prüfaufbau den Anforderungen an den Dauerfestigkeitsnachweis gemäß ÖBB TL und TCDD IRC.

Tabelle 1: Vergleich der Prüfparameter gemäß Spezifikation mit den Versuchsparametern im Prüfaufbau des 3-Punkt-Biegeschwellversuchs

Parameter	Gemäß Spezifikation	Im Versuchsaufbau
Auflagerabstand [mm]	1000	1100
Oberlast [kN]	200	181,8
Unterlast [kN]	15	13,7

3.3 Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit

Kapitel 5.3.3 der ÖBB TL beschreibt die „elektrische Widerstandsprüfung“ an Isolierstößen. Demnach ist unter anderem der Isolationswiderstand (Kap. 5.3.3.1) und die Durchschlagfestigkeit (Kap. 5.3.3.2) an einer nicht belasteten Probe zu ermitteln. Als Anforderung wird bei Anlegen einer Gleichspannung von 1000 V DC ein Isolationswiderstand von > 30 M Ω gefordert. Die Spannungsfestigkeit ist bei Anlegen einer Wechselspannung von 4000 V AC (50 Hz) über die Dauer von 60 Sekunden zu prüfen. Hierbei darf es nicht zum Durchschlagen (= Entladung) zwischen den miteinander verbundenen Schienenprofilen kommen.

Die Prüfparameter gemäß Kapitel 5.2.6.1 (Isolationsprüfung) und Kapitel 5.2.6.2 (Durchschlagfestigkeit) der TCDD IRC entsprechen weitgehend jenen der ÖBB TL. Als Präzisierung ist bei der Isolationsprüfung gemäß TCDD IRC die Messdauer auf 60 Sekunden festgelegt und dass insgesamt sechs Messungen durchzuführen sind (bei Wechsel der Polung der angelegten Gleichspannung). Der hierbei ermittelte, geringste Isolationswiderstand ist das Prüfergebnis. Als weiterer Unterschied fordert die TCDD IRC die Ermittlung von Isolationswiderstand und Durchschlagfestigkeit nicht nur an neuen Proben, sondern auch nach Durchführung des Zugversuchs und nach Durchführung des Biegeschwellversuchs.

Die Anforderungen gemäß TCDD sind identisch mit jenen der ÖBB TL (Isolationswiderstand $> 30 \text{ M}\Omega$ und Nachweis der Durchschlagfestigkeit bei 4000 V AC), wobei diese Anforderungen gemäß TCDD IRC auch für die Proben nach den mechanischen Prüfungen gelten.

4. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

4.1 Mechanische Festigkeitsprüfung in Längsrichtung (Zugversuch)

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

Um mit der Untersuchung an dieser Probe weitere Prüfnormen zu bedienen, wurde vor dem Zugversuch gemäß TCDD IRC zunächst die Zugprüfung gemäß der italienischen Spezifikation RFI TCAR SF AR 07 008 A (Belastung mit $v = 30 \text{ kN/min}$ auf 1000 kN und auf 1500 kN) und anschließend gemäß EN 16843 (Belastung mit $v = 20 \text{ kN/s}$ auf 1450 kN und auf 2000 kN) durchgeführt. Nach diesen Belastungen erfolgte die hier beschriebene Zugprüfung gemäß TCDD IRC, welche auch die Vorgaben gemäß ÖBB TL abdeckt.

Abbildung 3 zeigt den Prüfaufbau des Zugversuchs. Über zwei Hydraulikzylinder wird die Zugkraft in Schienenlängsrichtung in die Isolierstoßprobe eingeleitet. Die resultierende Relativbewegung zwischen den verbundenen Schienenprofilen wird am Schienenkopf gemessen.



Abbildung 3: Probe ABJ-007 im Prüfaufbau zum Nachweis der Längskraftabtragung

Die Messwertaufzeichnungen des Zugversuchs sind in den Anlagen 2.1 (Kraft-Weg Diagramm) und 2.2 (Kraft-Zeit-Diagramm) abgebildet. Demnach verursachte die Belastung auf 2000 kN und halten der Maximalbelastung für die Dauer von 60 Sekunden eine bleibende Relativbewegung nach Entlastung zwischen den verbundenen Schienenprofilen von 0,11 mm.

Nach der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurde die Anforderung an die Abtragung von Längs-Zugkräften eingehalten. Abbildung 4 zeigt die Probe ABJ-007 nach Durchführung des Zugversuchs ohne erkennbare Beschädigungen.



Abbildung 4: Probe ABJ-007 ohne Beschädigung nach dem Zugversuch (während der anschließenden Messung des Isolationswiderstandes)

4.2 Biegewiederholprüfung (Dauerfestigkeitsprüfung)

Die Dauerfestigkeitsprüfung unter 3-Punkt-Biegebeanspruchung (gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.2) wurde mit einer Belastungsfrequenz von $f = 6,6 \text{ Hz}$ an Probe „ABJ-009“ durchgeführt.

Um mit der Untersuchung an dieser Probe weitere Prüfnormen zu bedienen, wurde vor der Dauerfestigkeitsprüfung gemäß TCDD IRC bzw. ÖBB TL zunächst die Dauerfestigkeitsprüfung gemäß EN 16843 (4-Punkt-Biegebeanspruchung über 3 Millionen Lastspiele mit maximalem Biegemoment von 26,5 kNm) durchgeführt. Nach der Prüfung gemäß EN 16843 erfolgte die hier beschriebene Dauerfestigkeitsprüfung gemäß TCDD IRC bzw. ÖBB TL.

Während der Prüfung wurde die hervorgerufene Durchbiegung wiederholt aufgezeichnet. Abbildung 5 zeigt die Probe „ABJ-009“ im Prüfaufbau während der Versuchsdurchführung.



Abbildung 5: Probe ABJ-009 in der Dauerfestigkeitsprüfung

Die Isolierstoß-Konstruktion zeigte unter der zyklischen Biegebeanspruchung ein lineares Verformungsverhalten (siehe Anlage 3.1). Die vertikale Schwingweite zwischen der Unterlast von 13,7 kN und der Oberlast von 181,8 kN betrug zu Beginn der Prüfung 1,11 mm. Dieser Wert stieg über die Dauer von 5 Millionen Lastspielen geringfügig auf 1,25 mm an (siehe Anlage 3.2).

Vor und nach der Dauerfestigkeitsprüfung wurde das Verformungsverhalten unter statischer Belastung gemessen (siehe Anlage 3.3). Demnach verursachte die Dauerbelastung eine bleibende Durchbiegung von 0,16 mm und eine Zunahme der elastischen Durchbiegung (bei 181,8 kN) um 0,15 mm.

Die Abbildungen 6 und 7 zeigen die Probe ABJ-009 nach der Dauerfestigkeitsprüfung aus zwei Perspektiven. Nach der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurde die Anforderung an die dauerhafte Abtragung von Biegebeanspruchungen eingehalten.



Abbildung 6: Ansicht der Probe ABJ-009 nach der Dauerfestigkeitsprüfung



Abbildung 7: Gegenseitige Ansicht der Probe ABJ-009 nach der Dauerfestigkeitsprüfung

4.3 Elektrische Isolationsprüfung und Durchschlagfestigkeit

Die Prüfung des Isolationswiderstandes und der Durchschlagfestigkeit (gemäß Beschreibung in Abschnitt 3.3) ist gemäß ÖBB TL lediglich an neuen, zuvor unbelasteten Proben durchzuführen, während die TCDD IRC diese Messungen auch nach der Zugprüfung und nach

dem Dauerfestigkeitsnachweis fordert. Somit gelten die Ergebnisse der Messungen vor den mechanischen Prüfungen für beide Spezifikationen und die abschließenden elektrischen Messungen für die TCDD IRC.

Die Messungen zum Isolationsverhalten wurden mit einem Hochspannungsprüfgerät „ATS-400“ des Herstellers ETL durchgeführt. Abbildung 8 zeigt die Probe ABJ-009 bei der Isolationsprüfung im Anschluss an die Dauerfestigkeitsprüfung.



Abbildung 8: Messung des Isolationswiderstandes an ABJ-009 nach der Dauerfestigkeitsprüfung

Gemäß TCDD IRC wurde der elektrische Isolationswiderstand jeweils sechsmal gemessen, wobei in jeder Messung die Polung der angelegten Gleichspannung gewechselt wurde. (Gemäß ÖBB TL ist eine Messung an einer neuen Probe gefordert.)

In allen Messungen mit angelegter Gleichspannung von 1000 V DC (vor und nach den mechanischen Prüfungen) betrug der Isolationswiderstand $> 1200 \text{ M}\Omega$. Die Tabellen 2 und 3 fassen die Ergebnisse zusammen.

Tabelle 2: Isolationswiderstand der Probe ABJ-007 vor und nach der Zugprüfung

Messung # / Probenstatus	Polung	Isolationswiderstand [$\text{M}\Omega$]
1 / Neu	Plus – Minus	> 1200
2 / Neu	Minus - Plus	> 1200
3 / Neu	Plus – Minus	> 1200
4 / Neu	Minus - Plus	> 1200
5 / Neu	Plus – Minus	> 1200
6 / Neu	Minus - Plus	> 1200
1 / Nach Zugprüfung	Plus – Minus	> 1200
2 / Nach Zugprüfung	Minus - Plus	> 1200
3 / Nach Zugprüfung	Plus – Minus	> 1200
4 / Nach Zugprüfung	Minus - Plus	> 1200
5 / Nach Zugprüfung	Plus – Minus	> 1200
6 / Nach Zugprüfung	Minus - Plus	> 1200

Tabelle 3: Isolationswiderstand der Probe ABJ-009 vor und nach Dauerfestigkeitsprüfung

Messung # / Probenstatus	Polung	Isolationswiderstand [MΩ]
1 / Neu	Plus – Minus	> 1200
2 / Neu	Minus - Plus	> 1200
3 / Neu	Plus – Minus	> 1200
4 / Neu	Minus - Plus	> 1200
5 / Neu	Plus – Minus	> 1200
6 / Neu	Minus - Plus	> 1200
1 / Nach Dauerfestigkeitsprüfung	Plus – Minus	> 1200
2 / Nach Dauerfestigkeitsprüfung	Minus - Plus	> 1200
3 / Nach Dauerfestigkeitsprüfung	Plus – Minus	> 1200
4 / Nach Dauerfestigkeitsprüfung	Minus - Plus	> 1200
5 / Nach Dauerfestigkeitsprüfung	Plus – Minus	> 1200
6 / Nach Dauerfestigkeitsprüfung	Minus - Plus	> 1200

Somit wurde die Anforderung an den Isolationswiderstand ($> 30 \text{ M}\Omega$) von den geprüften Proben sicher eingehalten.

Die Prüfung der Durchschlagfestigkeit wurde an den Proben ABJ-007 und ABJ-009 vor und nach den mechanischen Prüfungen durchgeführt. Bei keiner dieser Messungen kam es bei angelegter Speisespannung von 4000 V AC zum Durchschlagen (= Entladung).

Die Tabellen 4 und 5 zeigen die während den Durchschlagprüfungen erfassten Stromflüsse und die Erfüllung des Anforderungskriteriums, dass es zu keiner Entladung (Durchschlagen) kommen darf.

Tabelle 4: Durchschlagprüfung bei Wechselspannung 4000 V AC an der Probe ABJ-007 vor und nach der Zugprüfung

Probenstatus	Stromfluss [mA]	Durchschlagen JA/NEIN
Neu	2,163	NEIN
Nach Zugprüfung	2,157	NEIN

Tabelle 5: Durchschlagprüfung bei Wechselspannung 4000 V AC an der Probe ABJ-009 vor und nach der Dauerfestigkeitsprüfung

Probenstatus	Stromfluss [mA]	Durchschlagen JA/NEIN
Neu	2,107	NEIN
Nach Dauerfestigkeitsprüfung	2,089	NEIN

Somit wurden die Anforderungen der TCDD IRC wie auch der ÖBB TL an 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 des österreichischen Regelwerks „ÖBB TL 07.09.26 (Ausgabe 2021)“ bzw. der türkischen Spezifikation „TCDD – Insulated rail seal (IRC) – Technical Specification (Ausgabe 2021)“ 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 gemäß Vorgaben der genannten Normen begleitet. Hinsichtlich der Prüfvorgaben bestehen zwischen den Vorschriften der ÖBB und der TCDD nur geringe Unterschiede, welche im Bericht benannt werden.

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). Nach der geforderten Belastung auf 2000 kN (und Halten der Oberlast für 60 Sekunden) betrug die bleibende Relativbewegung nach Entlastung zwischen den verbundenen Schienenprofilen 0,11 mm.

Nach dem Zugversuch konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurde die Anforderung an die Abtragung von Längs-Zugkräften eingehalten.

An Probe „ABJ-009“ erfolgte der Dauerfestigkeitsnachweis unter 3-Punkt-Biegezugbelastung (Biegewiederholprüfung) über 5 Millionen Lastspiele. Die geforderte Biegebeanspruchung, entsprechend einem Biegemoment von 50 kNm, verursachte eine elastische Durchbiegung (Schwingweite) des Isolierstoßes von 1,11 mm zu Beginn der Prüfung und 1,25 mm zum Abschluss nach 5 Millionen Lastspielen. Nach Abschluss der Prüfung konnten keine Risse in der Verklebung oder sonstige Verbundlösungen festgestellt werden. Somit wurde die Anforderung der Biegewiederholprüfung eingehalten.

Vor und nach den mechanischen Untersuchungen wurde der elektrische Isolationswiderstand und die Durchschlagfestigkeit an beiden Proben nach Vorgabe der türkischen Spezifikation

TCDD IRC ermittelt. (Die österreichische Regelwerk ÖBB TL fordert lediglich die Messung des Isolationsverhaltens an neuen, zuvor unbelasteten Proben.)

Bei angelegter Gleichspannung von 1000 V DC ergaben alle Widerstandsmessungen (vor und nach den mechanischen Prüfungen) zwischen den verbundenen Schienenprofilen einen Isolationswiderstand von $>1200 \text{ M}\Omega$. Die Anforderung ($> 30 \text{ M}\Omega$) wird somit sicher eingehalten. Bei der Prüfung der Durchschlagfestigkeit (Speisespannung: 4000 V AC) vor und nach den mechanischen Prüfungen kam es an keiner der Proben zur Entladung. Somit wird die Anforderung an die Durchschlagfestigkeit eingehalten.

1. General

On behalf of OVERAIL s.r.l., 00138 Rome, PI 14348631004, Italy, tests were carried out on insulated joint 'ABJ' on the basis of the Austrian Standard "ÖBB TL 07.09.26 (Release 2021)" respectively the Turkish Specification "TCDD – Insulated rail seal (IRC) – Technical Specification (Release 2021)". 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 in accordance with the standards. In order to use the investigation for other test standards with different requirements, mechanical tests were also carried out on these samples, which are not part of the standards mentioned here. These further tests are only mentioned in the present report if they took place before the tests described in detail here. With regard to the test specifications, there are only minor differences between the ÖBB and TCDD regulations, which are mentioned in the report.

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

In Section 3 of this report, the parts of the 'ÖBB TL 07.09.26' (hereinafter: ÖBB TL) and the 'TCDD - Insulated rail seal (IRC) - Technical Specification' (hereinafter: TCDD IRC) that are relevant for the approval tests carried out are briefly described. The client provided an English translation of the Turkish specification TCDD IRC for the purpose of the investigation.

3.1 Tensile strength test (pull-apart test)

Chapter 5.3.1 of the ÖBB TL describes the tensile test for checking the load transfer in the longitudinal direction. According to this, a tensile force of 2000 kN (for rail profile type 60E1) is to be applied in the longitudinal direction of the insulated rail connection. The requirement for the tensile test is considered to be met if no damage occurs to the adhesive bond as a result

of this load. The ÖBB TL does not specify any further requirements for the mechanical strength test in the longitudinal rail direction.

According to chapter 5.2.4 of the TCDD IRC, a longitudinal load of up to 2000 kN is also required for insulated joints of rail profile type 60E1. The Turkish specification also specifies the rate of load increase ($v_{\max} = 20 \text{ kN/s}$) and requires that the maximum load of 2000 kN be maintained constantly for a period of 60 seconds, after which the load is to be completely released. The requirement for the insulated joint is that the load does not cause the insulated joint to open, that no fractures occur and that the electrical insulation performance continues to exist after the load. The condition of the specimen is to be documented with photos.

On the basis of the specifications of both standards, the test conditions according to TCDD IRC were selected for the execution of the tests. Thus, the requirements of ÖBB TL are also fully covered.

3.2 Bending fatigue test (dynamic bending test)

Chapter 5.3.2 of the ÖBB TL describes the requirements of the bending fatigue test on the basis of specific dimensions in the test set-up and corresponding test loads.

In a 3-point bending fatigue test (support spacing: 1000 mm) of total 5 million load cycles ($f_{\max} = 20 \text{ Hz}$), the fatigue strength of the insulated rail joint is to be tested between an upper load of $P_o = 200 \text{ kN}$ and a lower load of $P_U = 15 \text{ kN}$. No specific requirements are defined for the condition of the sample after the test.

According to Chapter 5.2.5 of the TCDD IRC, the test parameters of the Turkish specification in the bending fatigue test are identical to the parameters of the ÖBB TL. Requirements of the TCDD IRC for the test specimen after the bending fatigue test are, that the load does not cause any sliding between the connected rail profiles, that no fractures occur and that the electrical insulation performance continues to exist after the load. The condition of the test specimen is to be documented with photos.

With the specific dimensions of the ABJ insulated joint (reduced web height in the area of the rail connection over a length of $> 1000 \text{ mm}$), it is not possible to realise the required support spacing of 1000 mm in the test setup of the 3-point bending fatigue test. For this reason, the

test loads for the test with a larger support span of 1100 mm were adjusted so that the resulting bending moment on the sample corresponds to the specifications of ÖBB TL and TCDD IRC.

Table 1 compares the test parameters of the specifications (support spacing: 1000 mm) with the test parameters in the selected test setup (support spacing: 1100 mm). In both cases, the upper load causes a bending moment of 50 kNm and the lower load causes a bending moment of 3.8 kNm. Thus, the selected test setup meets the requirements for the fatigue strength test according to ÖBB TL and TCDD IRC.

Table 1: Comparison of the test parameters according to the specification and the test parameters in the test setup of the 3-point bending fatigue test

Parameter	Acc. to Specification	In the test setup
Support Spacing [mm]	1000	1100
Upper load [kN]	200	181,8
Lower load [kN]	15	13,7

3.3 Electrical insulation test and dielectric strength test

Chapter 5.3.3 of the ÖBB TL describes the 'electrical resistance test' on insulated joints. According to this, the insulation resistance (Section 5.3.3.1) and the dielectric strength (Section 5.3.3.2), among other things, are to be determined on an unloaded sample. The requirement is an insulation resistance of $> 30 \text{ M}\Omega$ when a DC voltage of 1000 V DC is applied. The dielectric strength is to be tested when an AC voltage of 4000 V AC (50 Hz) is applied for a period of 60 seconds. There must be no breakdown (= discharge) by sparking between the interconnected rail profiles.

The test parameters according to chapter 5.2.6.1 (insulation test) and chapter 5.2.6.2 (dielectric strength) of the TCDD IRC largely correspond to those of the ÖBB TL. As a clarification, the measurement duration for the insulation test at 1000 V DC according to the TCDD IRC is set to 60 seconds and a total of six measurements are to be carried out (reversing the polarity of the applied DC voltage between the tests). The lowest insulation resistance determined in this way is the test result. Another difference is that the TCDD IRC requires the insulation resistance and dielectric strength to be determined not only on new samples, but also after the tensile test and the bending fatigue test have been carried out.

The requirements according to TCDD are identical to those of ÖBB TL (insulation resistance of $> 30 \text{ M}\Omega$ and confirmation of dielectric strength at 4000 V AC), whereby these requirements according to TCDD IRC also apply to the samples after the mechanical tests.

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'. In order to use this sample for testing in accordance with other testing standards, the tensile test was carried out first according to the Italian specification RFI TCAR SF AR 07 008 A (loading with $v = 30 \text{ kN/min}$ to 1000 kN and 1500 kN) and then according to EN 16843 (loading at $v = 20 \text{ kN/s}$ to 1450 kN and 2000 kN). After these tests, the tensile test described here was carried out according to TCDD IRC, which also covers the requirements according to ÖBB TL.

Figure 3 shows the test setup 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 3: Sample ABJ-007 in the test setup to verify the longitudinal tensile strength

The measurement recordings of the tensile test are shown in Appendices 2.1 (force-displacement diagram) and 2.2 (force-time diagram). According to these, applying a load of

2000 kN and holding the maximum load for a period of 60 seconds caused a permanent relative movement of 0.11 mm between the connected rail profiles after the load was removed.

After the test, no cracks in the adhesive bond or other bond failures could be detected. Thus, the requirement for the transfer of longitudinal tensile forces was met. Figure 4 shows the specimen ABJ-007 after the tensile test without any visible damage.



Figure 4: Sample ABJ-007 without damage after the tensile test (during the subsequent measurement of the insulation resistance)

4.2 Bending fatigue test (dynamic bending test)

The fatigue strength test under 3-point bending stress (as described in Section 3.2) was carried out on sample 'ABJ-009' at a loading frequency of $f = 6.6$ Hz.

In order to use this sample for further test standards, a fatigue test according to EN 16843 (4-point bending test of total 3 million load cycles with a maximum bending moment of 26.5 kNm) was carried out before the fatigue strength test according to TCDD IRC and ÖBB TL, which is described here.

During the test, the deflection caused was recorded periodically.

Figure 5 shows the sample ABJ-009 in the test setup whilst test execution.



Figure 5: Sample ABJ-009 in the test setup of the 3-point-bending fatigue test

The insulated rail joint “ABJ” exhibited linear deformation behaviour under the cyclic bending stress (see Appendix 3.1). The vertical amplitude of oscillation between the lower load of 13.7 kN and the upper load of 181.8 kN was 1.11 mm at the beginning of the test. This value increased slightly to 1.25 mm over the duration of 5 million load cycles (see Appendix 3.2). Before and after the fatigue test, deflection behaviour under static loading was measured. According to this, the dynamic test caused a permanent deflection of 0.16 mm and an increase in the elastic deflection (at 181.8 kN) by 0.15 mm.

Figures 6 and 7 show sample ABJ-009 from two perspectives after the fatigue strength test. No cracks in the bonding or other separations were detected after the test. Thus, the requirement for the fatigue strength under bending stresses was met.



Figure 6: View of sample ABJ-009 after the bending fatigue test



Figure 7: *Opposite view of sample ABJ-009 after the bending fatigue test*

4.3 Electrical insulation test and dielectric strength test

According to ÖBB TL, the test for insulation resistance and dielectric strength (as described in Section 3.3) is only to be carried out on new, previously unloaded samples, while the Turkish standard TCDD IRC also requires these measurements after the tensile test and after the fatigue strength test. Thus, the results of the measurements before the mechanical tests apply to both specifications and the final electrical measurements for the TCDD IRC.

The measurements of the insulation behaviour were carried out using an 'ATS-400' high-voltage tester from the manufacturer ETL. Figure 8 shows the sample ABJ-009 during the insulation test following the fatigue strength test.



Figure 8: *Measurement of insulation resistance on ABJ-009 after fatigue strength test*

In accordance with TCDD IRC, the electrical insulation resistance was measured six times, with the polarity of the applied DC voltage changed in each measurement. (According to ÖBB TL, one measurement is required on a new sample.)

In all measurements with an applied DC voltage of 1000 V DC (before and after the mechanical tests), the insulation resistance was > 1200 MΩ. Tables 2 and 3 summarise the results.

Table 2: Insulation resistance of sample ABJ-007 before and after tensile test

No. of measurement / Status of sample	Polarity	Insulation resistance [MΩ]
1 / New	plus - minus	>1200
2 / New	minus - plus	>1200
3 / New	plus - minus	>1200
4 / New	minus – plus	>1200
5 / New	plus - minus	>1200
6 / New	minus - plus	>1200
1 / After tensile test	plus - minus	>1200
2 / After tensile test	minus - plus	>1200
3 / After tensile test	plus - minus	>1200
4 / After tensile test	minus – plus	>1200
5 / After tensile test	plus - minus	>1200
6 / After tensile test	minus - plus	>1200

Table 3: Insulation resistance of sample ABJ-009 before and after bending fatigue test

No. of measurement / Status of sample	Polarity	Insulation resistance [MΩ]
1 / New	plus - minus	>1200
2 / New	minus - plus	>1200
3 / New	plus - minus	>1200
4 / New	minus – plus	>1200
5 / New	plus - minus	>1200
6 / New	minus - plus	>1200
1 / After bending fatigue test	plus - minus	>1200
2 / After bending fatigue test	minus - plus	>1200
3 / After bending fatigue test	plus - minus	>1200
4 / After bending fatigue test	minus – plus	>1200
5 / After bending fatigue test	plus - minus	>1200
6 / After bending fatigue test	minus - plus	>1200

The requirements for the insulation resistance (> 30 MΩ) were thus clearly met by the tested samples.

The dielectric strength test was carried out on samples ABJ-007 and ABJ-009 before and after the mechanical tests. In none of these measurements did a breakdown (= discharge) occur when a voltage of 4000 V AC was applied.

Tables 4 and 5 show the currents measured during the dielectric strength tests and the fulfilment of the requirement that no discharge (breakdown) may occur.

Table 4: *Dielectric strength tests at 4000 V AC on sample ABJ-007 before and after tensile strength test*

Status of sample	Current flow [mA]	Breakdown YES/NO
<i>New</i>	<i>2.163</i>	<i>NO</i>
<i>After tensile strength test</i>	<i>2.157</i>	<i>NO</i>

Table 5: *Dielectric strength tests at 4000 V AC on sample ABJ-009 before and after bending fatigue test*

Status of sample	Current flow [mA]	Breakdown YES/NO
<i>New</i>	<i>2.107</i>	<i>NO</i>
<i>After bending fatigue test</i>	<i>2.089</i>	<i>NO</i>

Thus, the requirements of the TCDD IRC and the ÖBB TL for 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 insulated joint 'ABJ' on the basis of the Austrian Standard "ÖBB TL 07.09.26 (Release 2021)" respectively the Turkish Specification "TCDD – Insulated rail seal (IRC) – Technical Specification (Release 2021)". 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 in accordance with the standards. With regard to the test specifications, there are only minor differences between the ÖBB and TCDD regulations, which are mentioned in this report.

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 'ABJ-007' sample was used to demonstrate the transfer of longitudinal force (tensile test). After the required load of 2000 kN (and holding the upper load for 60 seconds), the permanent relative movement between the connected rail profiles was 0.11 mm after unloading. After the tensile test, no cracks in the adhesive bond or other bond failures could be detected. Thus, the requirement for the transfer of longitudinal tensile loads is met.

The fatigue strength of sample 'ABJ-009' was verified in a 3-point bending tensile test (repetitive bending test) of total 5 million load cycles. The required bending stress corresponding to a bending moment of 50 kNm caused an elastic deflection (vibration amplitude) of the insulated joint of 1.11 mm at the beginning of the test and 1.25 mm at the end after 5 million load cycles. After the test, no cracks in the adhesive bond or other bond failures were detected. The requirement for the bending fatigue strength was therefore met.

Before and after the mechanical tests, the electrical insulation resistance and the dielectric strength were determined on both samples in accordance with the Turkish specification TCDD IRC. (The Austrian ÖBB TL standard only requires the measurement of the insulation

performance on new, previously unstressed samples.) When a DC voltage of 1000 V DC was applied, all resistance measurements (before and after the mechanical tests) between the connected rail profiles showed an insulation resistance of >1200 MΩ. The requirement (> 30 MΩ) is thus clearly met.

During the dielectric strength test (test voltage: 4000 V AC) before and after the mechanical tests, no discharge occurred at any of the samples. Thus, the requirement for dielectric strength is met.

München, 22. Oktober 2024

Munich, 22 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

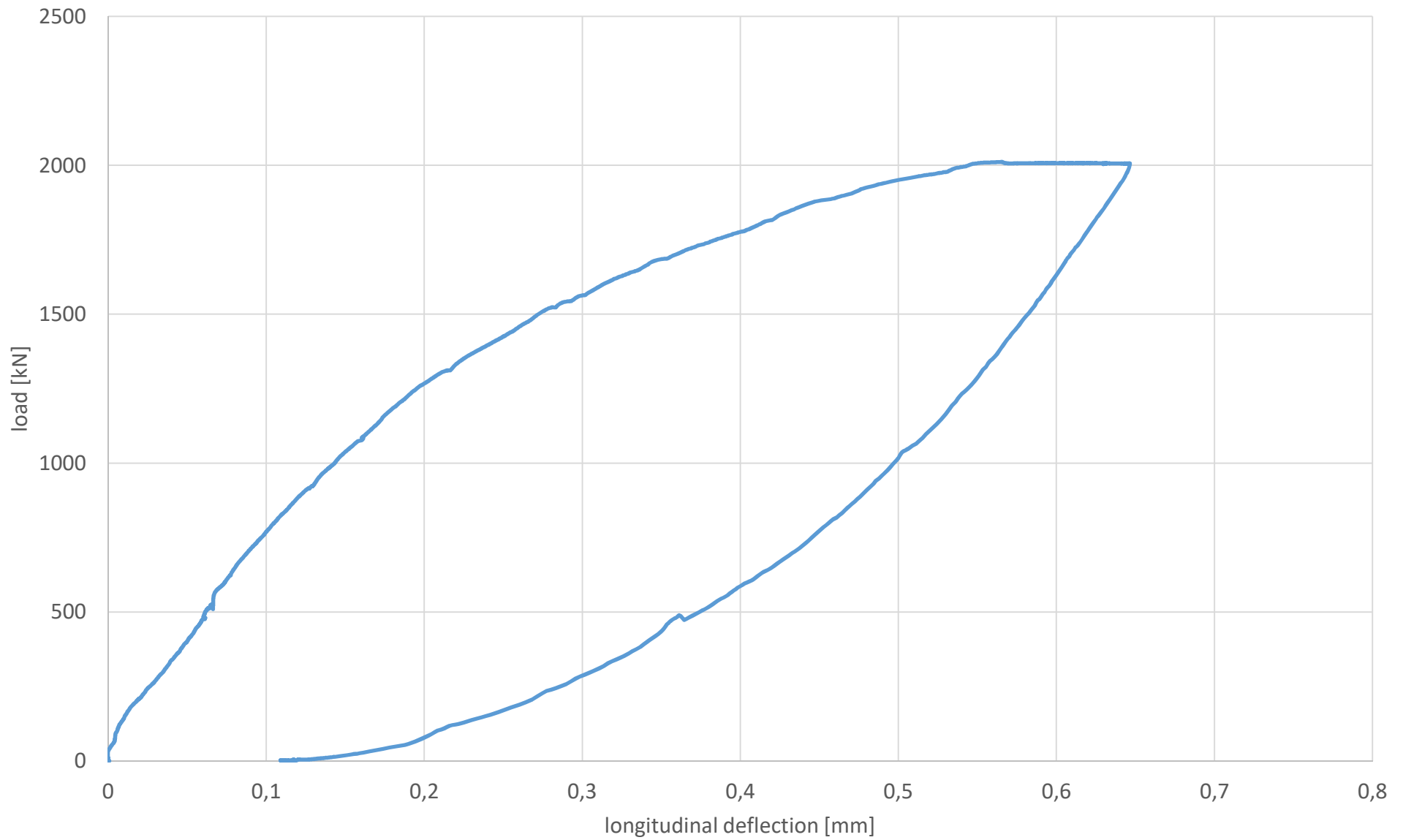
- 1: Technische Zeichnung der Isolierfuge „ABJ“
- 2.1 - 2.2: Messwertaufzeichnungen der Zugprüfung
- 3.1 - 3.3: Messwertaufzeichnungen der Biegeschwellprüfung (Dauerfestigkeitsnachweis)

TABLE OF APPENDICES

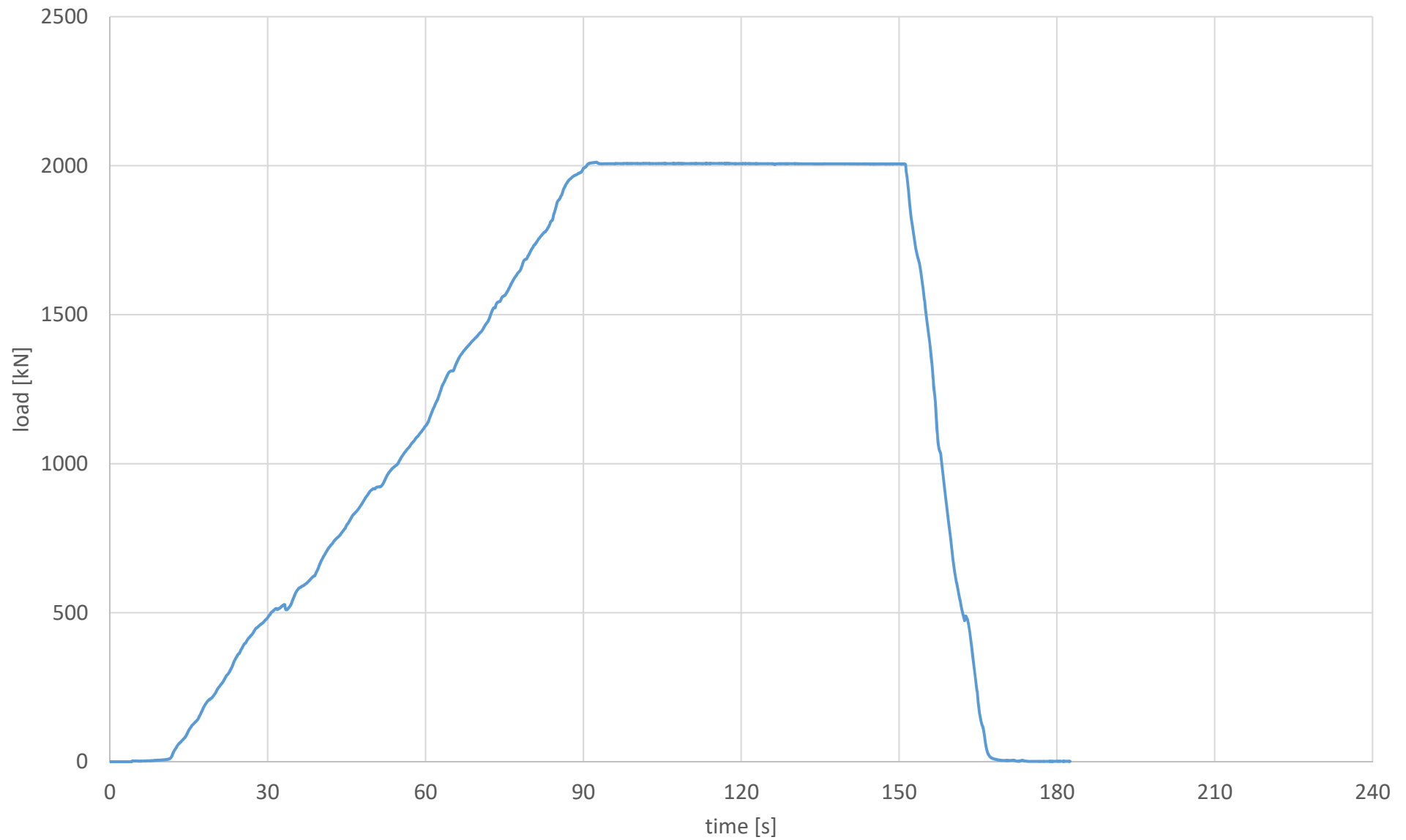
- 1: *Technical drawing of insulation joint "ABJ"*
- 2.1 - 2.2: *Measurement recordings of tensile test in longitudinal rail direction*
- 3.1 – 3.3: *Measurement recordings of 3-point bending test (fatigue strength test)*



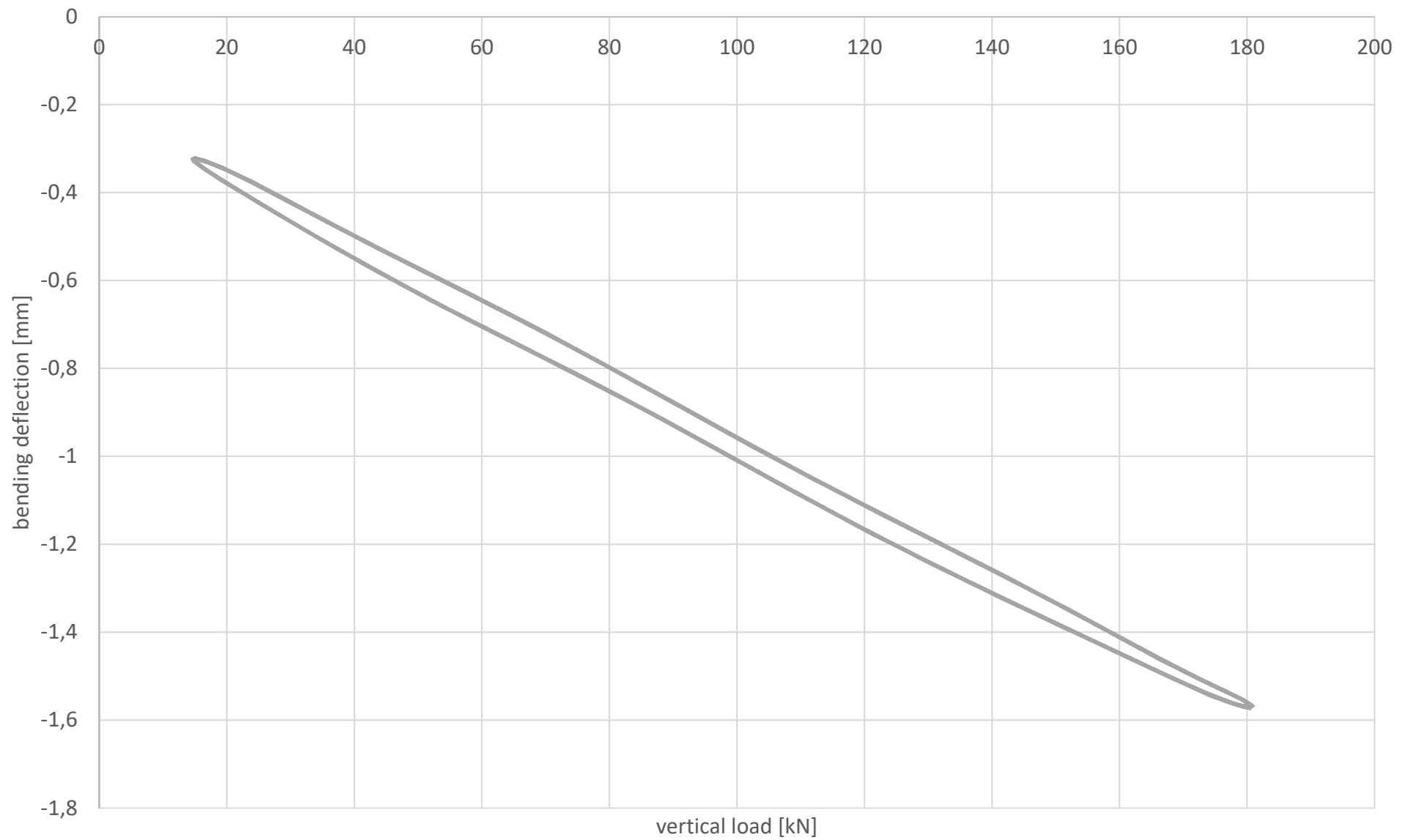
Pull-apart test acc. Turkish Standard "TCDD IRC" on sample ABJ-007



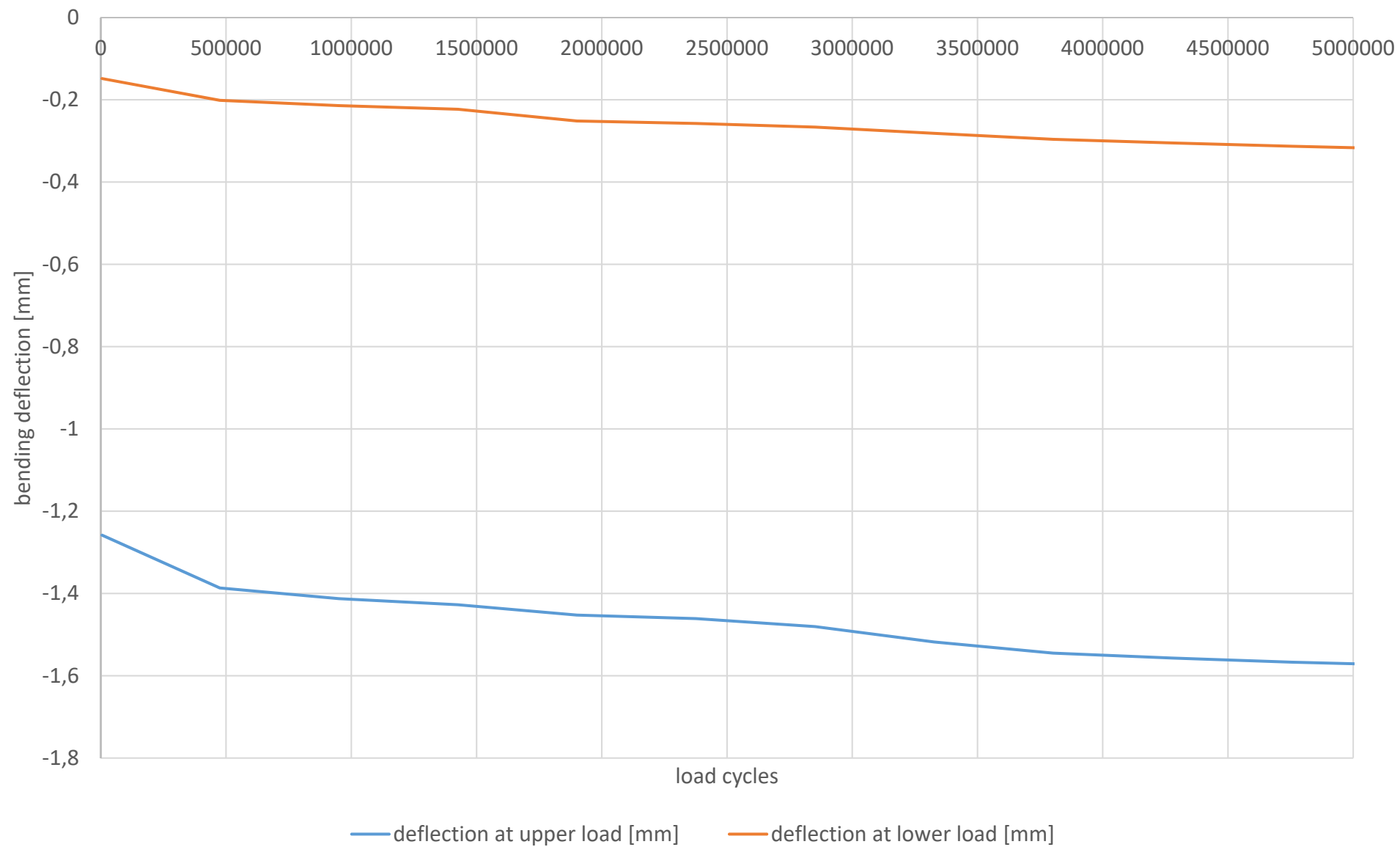
Pull-apart test acc. Turkish Standard "TCDD IRC" on sample ABJ-007



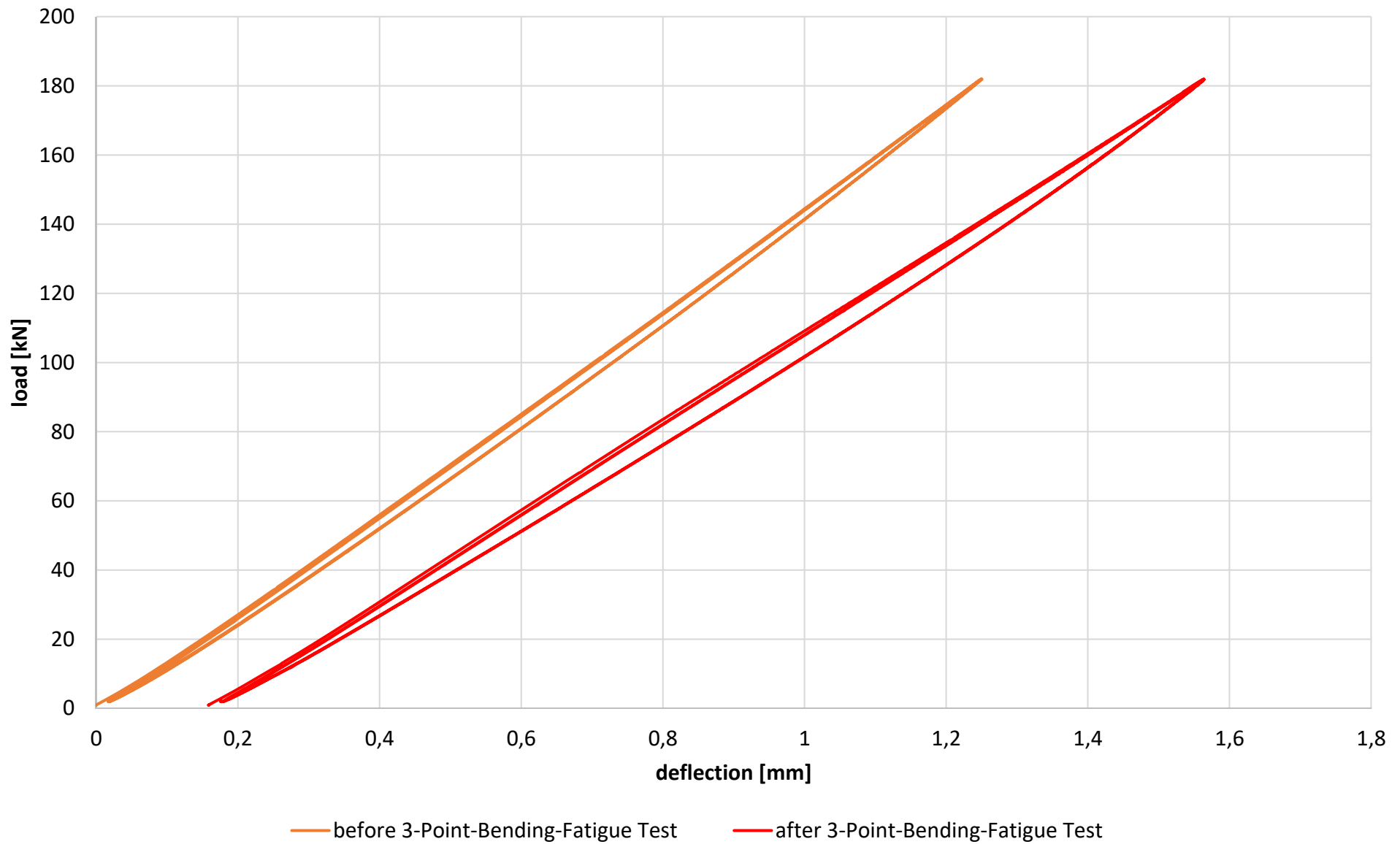
Deflection behaviour in 3-point-bending fatigue test acc. ÖBB TL resp. TCDD on ABJ-009



3-Point-Bending fatigue test acc. ÖBB TL resp. TCDD on ABJ-009 (5 million load cycles)



ABJ-009 _ static load-deflection-behaviour before and after 3-Point-Bending-Fatigue Test



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