

Prüfungsbericht

Prüfungsbericht Nummer	W22-Ex-063-V1-DA
Auftraggeber	Swissgrid AG
Auftragnehmer	Werkstoff Prüflabor der „RUAG AG“
Prüfgegenstand	Analysen Stahlversprödung Gittermaste Priorität 5
Prüfungen	Bestimmung der Stahlqualität; Abklärungen zur Thomasstahl-Thematik mit potenzieller Stahlversprödung.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel	Seite
1 Angewandte Verfahren	3
2 Mastprotokolle.....	4
3 Kommentare und Empfehlungen	310
4 Tabellarische Zusammenfassung	311

Thun 21. September 2022

Visiert

Visiert

Markus Zgraggen
Department Lead Material Testing

Martin Blunier
Test Engineer WP

Tel. direkt: +41 58 485 96 79
E-Mail: Markus.zgraggen@ruag.ch

Tel. direkt: +41 58 483 71 74
E-Mail: martin.blunier@ruag.ch

Auftragsdaten

Auftraggeber:	Swissgrid AG
Kontaktperson:	Herr Gregory Hemmen
Adresse:	Bleichmattstrasse 31
PLZ, Ort:	CH-5001 Aarau
Eingangsdatum Bestellung:	30.April 2022
Bestellnummer:	4500142209
Prüfgegenstand:	Die Masten der Prio 5 sind Gegenstand der Prüfung.
Eingangsdatum Prüfgegenstand:	Prüfung vor Ort 02.05 – 16.09. 2022
Prüfungen:	Chemische Analyse Wirbelstromprüfung (ET) Härteprüfung Schichtdickenmessung Sichtprüfung (VT) Metallographie
Prüfnorm:	n/a
Informationen über Prüfgegenstand:	Baujahr: Diverse
Aufbewahrung Prüfgegenstand:	Kein Restmaterial, Prüfung vor Ort

1 Angewandte Verfahren

1. 1 Visuelle Prüfung

Im Bodenbereich bis ca. 2 m Höhe wurde eine allgemeine Übersichtsprüfung als Zustandsbeurteilung vorgenommen. Gleichzeitig wurden die Querschnittsdimensionen von Eckstielen und Diagonalen aufgenommen. Zusätzlich wurde die Gesamtkorrosionsschutzschichtdicke mittels Wirbelstrom gemessen.

1. 2 Messmethodik für die Bestimmung der mechanischen Eigenschaften

Die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften erfolgte über mobile Härtemessverfahren (Equotip und Sonodur).

Zusätzlich wurden mittels Wirbelstrom elektromagnetische Messungen durchgeführt. Diese Messungen wurden abgeglichen mit Messwerten von Proben mit bekannter Kerbschlagzähigkeit aus Mastbaustählen ähnlicher Bauphasen.

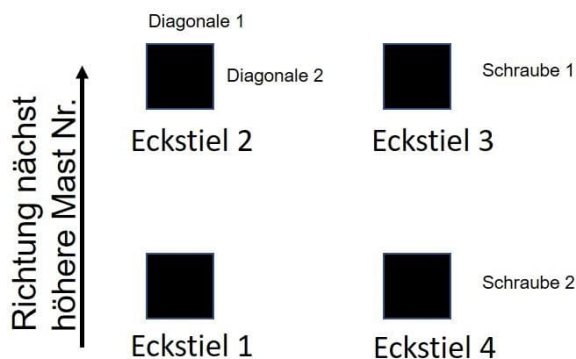
1. 3 Angaben zur Chemischen Analyse:

An den Bauteilen wurde mit Zirkonoxidpapier (Korn 80) eine Fläche von ca. 5x5 cm angeschliffen und mittels einem mobilen Laserablationsgerät vom Typus Niton Apollo analysiert. Details zu den Messstellen sind in den Mastprotokollen ab Seite 4 ersichtlich. Die Kalibration des Messgerätes erfolgte mit Kalibrationsproben des Geräteherstellers. Die relative Messunsicherheit ist Konzentrations- und Elementabhängig. Als Richtwert können erfahrungsgemäss ca. 1-2 % Relativprozentage angenommen werden.

1. 4 Metallographische Untersuchungen

Bei verdächtigen Wirbelstromsignalen sowie auffälliger Messwerte aus der chemischen Zusammensetzung und der Härtemessungen werden Ätzungen auf Frysche Kraftwirkungslinien durchgeführt. Das Vorliegen dieser Linien ist ein eindeutiger Nachweis von versprödet wirkenden Ausscheidungen auf Grund hoher Stickstoffgehalte.

Mast Nr: 25 / Trasse 1360 / Neu 1360x026



Anordnung der Messstellen

Bild 1: Mast Nr. 25

Visuelle Kurzbeurteilung:

Allgemeinzustand: gut

Keine Bleimeninge Grundierung erkennbar.

Eckstiele: 200x200x25 mm; Diagonalen 100x100x8 mm

Messwerte zu den mechanischen Eigenschaften:

	Wirbelstromsignal	Härte [HV 1]	Schichtdicke [µm]	Stahlzuordnung
Eckstiel 1	duktil	177	800	S355
Eckstiel 2	duktil	164	445	S355
Diagonale 1	duktil	134	244	S275
Diagonale 2	duktil	140	213	S275
Eckstiel 3	duktil	167	235	S355
Schraube 1	duktil	195	278	5.8
Eckstiel 4	duktil	168	231	S355

(schraube nicht zugänglich)

Mast Nr: 25 / Trasse 1360 / Neu 1360x026

Ergebnisse der Laserablationsmessungen:

Elemente	Messpositionen						
	Eck. 1	Diag. 1	Diag. 2	Eck. 2	Eck. 3	Sch. 1	Eck. 4
	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]
Kohlenstoff	0.19	0.15	0.17	0.09	0.15	0.19	0.21
Silizium	0.39	0.37	0.17	0.18	0.32	0.24	0.32
Mangan	1.1	0.5	0.5	1.1	1.2	0.6	1.4
Chrom	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nickel	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Aluminium	0.04	<0.01	<0.01	0.03	0.02	0.04	0.04
Kupfer	0.11	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Eisen	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis

< = unterhalb der Nachweisgrenze

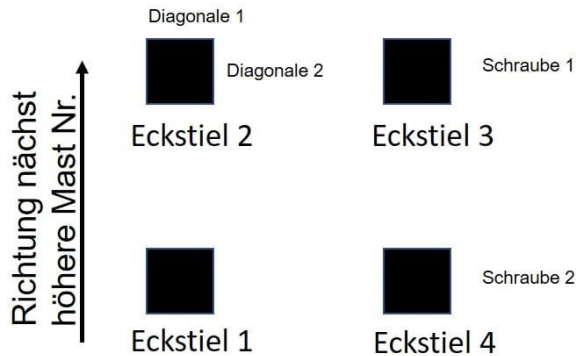
Bewertung der Stahlgüte:

Die Eckstiele sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S355 zuzuordnen.

Die Diagonalen sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S275 zuzuordnen.

Die Schrauben sind duktilen 5.8 Güten zuzuordnen.

Mast Nr: 124 / Trasse 1360 / Neu 1360x125



Anordnung der Messstellen

Bild 1: Mast Nr. 124

Visuelle Kurzbeurteilung:

Allgemeinzustand: gut

Keine Bleimeninge Grundierung erkennbar.

Eckstiele: 200x200x23 mm; Diagonalen 90x90x8 mm

Messwerte zu den mechanischen Eigenschaften:

	Wirbelstromsignal	Härte [HV 1]	Schichtdicke [µm]	Stahluordnung
Eckstiel 1	duktil	161	278	S355
Eckstiel 2	duktil	167	365	S355
Diagonale 1	duktil	140	273	S275
Diagonale 2	duktil	135	298	S275
Eckstiel 3	duktil	164	326	S355
Schraube 1	duktil	160	305	5.6
Eckstiel 4	duktil	185	235	S355

Mast Nr: 124 / Trasse 1360 / Neu 1360x125

Ergebnisse der Laserablationsmessungen:

Elemente	Messpositionen						
	Eck. 1	Diag. 1	Diag. 2	Eck. 2	Eck. 3	Sch. 1	Eck. 4
	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]
Kohlenstoff	0.15	0.12	0.12	0.16	0.18	0.14	0.14
Silizium	0.12	<0.01	<0.01	0.17	0.15	<0.01	0.27
Mangan	0.3	0.5	0.5	1.1	1.2	0.6	1.2
Chrom	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Nickel	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.31	<0.01
Aluminium	0.02	<0.01	<0.01	0.02	0.03	0.04	0.02
Kupfer	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.33	<0.01
Eisen	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis

< = unterhalb der Nachweisgrenze

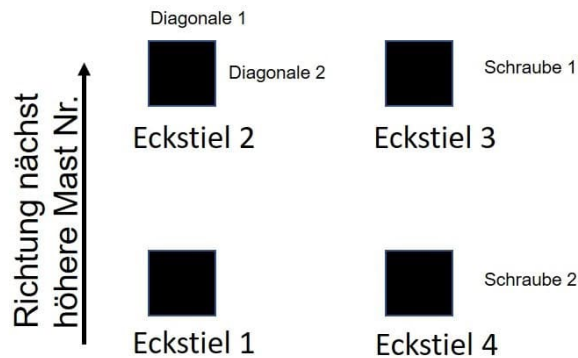
Bewertung der Stahlgüte:

Die Eckstiele sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S355 zuzuordnen.

Die Diagonalen sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S275 zuzuordnen.

Die Schrauben sind duktilen 5.6 Güten zuzuordnen.

Mast Nr: Prov.29 / Trasse 1360 / Neu 1360x156



Anordnung der Messstellen

Bild 1: Mast Nr. Prov. 29

Visuelle Kurzbeurteilung:

Allgemeinzustand: gut

Keine Bleimeningegrundierung erkennbar.

Eckstiele: 200x200x12 mm; Diagonalen 130x130x8 mm

Messwerte zu den mechanischen Eigenschaften:

	Wirbelstromsignal	Härte [HV 1]	Schichtdicke [µm]	Stahluordnung
Eckstiel 1	duktil	208	355	S355
Eckstiel 2	duktil	188	360	S355
Diagonale 1	duktil	202	413	S355
Diagonale 2	duktil	187	390	S355
Eckstiel 3	duktil	190	630	S355
Schraube 1	duktil	141	571	4.8
Eckstiel 4	duktil	190	363	S355

Mast Nr: Prov.29 / Trasse 1360 / Neu 1360x156

Ergebnisse der Laserablationsmessungen:

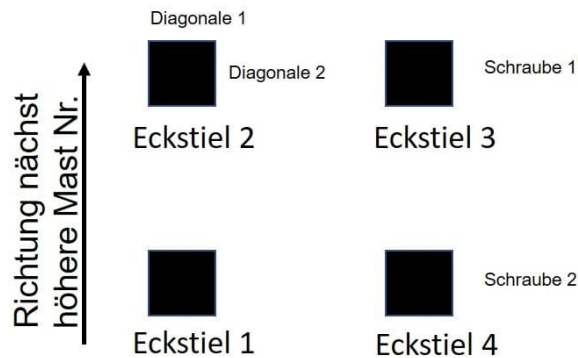
Elemente	Messpositionen						
	Eck. 1	Diag. 1	Diag. 2	Eck. 2	Eck. 3	Sch. 1	Eck. 4
	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]
Kohlenstoff	0.15	0.11	0.21	0.15	0.17	0.10	0.16
Silizium	0.24	0.20	0.16	0.22	0.25	0.24	0.23
Mangan	1.4	0.9	0.8	1.2	1.3	0.5	1.3
Chrom	0.11	0.13	0.17	0.12	0.11	0.11	0.12
Nickel	0.13	0.18	0.17	0.12	0.15	0.20	0.15
Aluminium	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
Kupfer	0.23	0.24	0.22	0.23	0.25	0.24	0.22
Eisen	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis

< = unterhalb der Nachweisgrenze

Bewertung der Stahlgüte:

Die Mastbauteile sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S355 zuzuordnen.
Die Schrauben sind duktilen 4.8 Güten zuzuordnen.

Mast Nr: Prov.34 / Trasse 1360 / Neu 1360x161



Anordnung der Messstellen

Bild 1: Mast Nr. Prov. 34

Visuelle Kurzbeurteilung:

Allgemeinzustand: gut

Keine Bleimeninge Grundierung erkennbar.

Eckstiele: 150x150x10 mm; Diagonalen 110x110x8 mm

Messwerte zu den mechanischen Eigenschaften:

	Wirbelstromsignal	Härte [HV 1]	Schichtdicke [µm]	Stahluordnung
Eckstiel 1	duktil	188	381	S355
Eckstiel 2	duktil	200	266	S355
Diagonale 1	duktil	161	307	S355
Diagonale 2	duktil	163	312	S355
Eckstiel 3	duktil	162	295	S355
Schraube 1	duktil	200	200	5.8
Eckstiel 4	duktil	180	337	S355

Mast Nr: Prov.34 / Trasse 1360 / Neu 1360x161

Ergebnisse der Laserablationsmessungen:

Elemente	Messpositionen						
	Eck. 1	Diag. 1	Diag. 2	Eck. 2	Eck. 3	Sch. 1	Eck. 4
	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]
Kohlenstoff	0.17	0.16	0.15	0.17	0.15	0.13	0.15
Silizium	0.21	0.27	0.26	0.24	0.24	<0.01	0.25
Mangan	1.2	1.1	1.1	1.3	1.3	0.5	1.3
Chrom	0.11	0.13	0.17	0.12	0.11	0.11	0.12
Nickel	0.17	0.17	0.17	0.15	0.14	0.21	0.14
Aluminium	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	<0.01	0.02
Kupfer	0.26	0.27	0.24	0.25	0.26	0.34	0.22
Eisen	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis

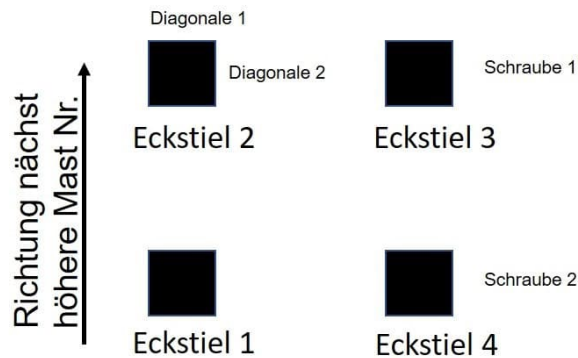
< = unterhalb der Nachweisgrenze

Bewertung der Stahlgüte:

Die Mastbauteile sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S355 zuzuordnen.

Die Schrauben sind duktilen 5.8 Güten zuzuordnen.

Mast Nr: Prov.42 / Trasse 1360 / Neu 1360x169



Anordnung der Messstellen

Bild 1: Mast Nr. Prov. 42

Visuelle Kurzbeurteilung:

Allgemeinzustand: gut
Keine Bleimeninge Grundierung erkennbar.

Messwerte zu den mechanischen Eigenschaften:

	Wirbelstromsignal	Härte [HV 1]	Schichtdicke [µm]	Stahlzuordnung
Eckstiel 1	duktile	168	356	S355
Eckstiel 2	duktile	172	340	S355
Diagonale 1	duktile	184	377	S355
Diagonale 2	duktile	175	400	S355
Eckstiel 3	duktile	178	280	S355
Schraube 1	duktile	145	320	4.8
Eckstiel 4	duktile	163	389	S355

Mast Nr: Prov.42 / Trasse 1360 / Neu 1360x169

Ergebnisse der Laserablationsmessungen:

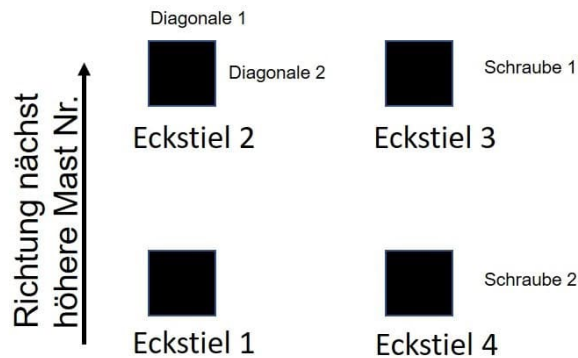
Elemente	Messpositionen						
	Eck. 1	Diag. 1	Diag. 2	Eck. 2	Eck. 3	Sch. 1	Eck. 4
	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]
Kohlenstoff	0.10	0.09	0.06	0.11	0.07	0.03	0.07
Silizium	0.31	0.22	0.17	0.15	0.24	0.20	0.18
Mangan	1.2	1.3	1.4	1.3	1.2	0.8	1.3
Chrom	0.12	0.11	0.14	0.12	0.16	0.09	0.17
Nickel	0.13	0.16	0.15	0.18	0.19	0.12	0.18
Aluminium	0.04	0.03	0.02	0.04	0.03	0.04	0.05
Kupfer	0.20	0.22	0.25	0.26	0.26	0.24	0.27
Eisen	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis

< = unterhalb der Nachweisgrenze

Bewertung der Stahlgüte:

Die Mastbauteile sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S355 zuzuordnen.
Die Schrauben sind duktilen 4.8 Güten zuzuordnen.

Mast Nr: Prov.51 / Trasse 1360 / Neu 1360x178



Anordnung der Messstellen

Bild 1: Mast Nr. Prov.51

Visuelle Kurzbeurteilung:

Allgemeinzustand: gut

Keine Bleimeningegrundierung erkennbar.

Eckstiele: 200x200x18 mm; Diagonalen 150x150x12 mm

Messwerte zu den mechanischen Eigenschaften:

	Wirbelstromsignal	Härte [HV 1]	Schichtdicke [µm]	Stahlzuordnung
Eckstiel 1	duktile	191	497	S355
Eckstiel 2	duktile	186	448	S355
Diagonale 1	duktile	182	375	S355
Diagonale 2	duktile	200	435	S355
Eckstiel 3	duktile	188	450	S355
Schraube 1	duktile	156	420	5.6
Eckstiel 4	duktile	195	655	S355

Mast Nr: Prov.51 / Trasse 1360 / Neu 1360x178

Ergebnisse der Laserablationsmessungen:

Elemente	Messpositionen						
	Eck. 1	Diag. 1	Diag. 2	Eck. 2	Eck. 3	Sch. 1	Eck. 4
	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]	g/100g [%]
Kohlenstoff	0.11	0.07	0.07	0.12	0.09	0.10	0.09
Silizium	0.26	0.22	0.25	0.30	0.32	0.16	0.27
Mangan	1.3	1.2	1.3	1.3	1.4	0.8	1.2
Chrom	0.12	0.11	0.14	0.12	0.16	0.09	0.17
Nickel	0.13	0.12	0.12	0.14	0.16	0.13	0.16
Aluminium	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.03
Kupfer	0.26	0.21	0.20	0.22	0.26	0.16	0.21
Eisen	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis	Basis

< = unterhalb der Nachweisgrenze

Bewertung der Stahlgüte:

Die Mastbauteile sind duktilen Stählen der Festigkeitsklasse S355 zuzuordnen.

Die Schrauben sind duktilen 5.6 Güten zuzuordnen.

Alte Mast Nr. / neue Mast Nr.	Bauteile	Festigkeits- klasse	Versprödungsanzeichen				Abminderung
			keine	leicht	mittel	stark	
Mast Nr: 25 / Trasse 1360 / Neu 1360x026	Eckstiele						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	3	S355	X				---
	4	S355	X				---
	Diagonalen						
	1	S275	X				---
	2	S275	X				---
	Schrauben	5.8	X				---
	Mast Nr: 124 / Trasse 1360 / Neu 1360x125	Eckstiele					
1		S355	X				---
2		S355	X				---
3		S355	X				---
4		S355	X				---
Diagonalen							
1		S275	X				---
2		S275	X				---
Schrauben		5.6	X				---
Mast Nr: Prov.29 / Trasse 1360 / Neu 1360x156		Eckstiele					
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	3	S355	X				---
	4	S355	X				---
	Diagonalen						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	Schrauben	4.8	X				---

Alte Mast Nr. / neue Mast Nr.	Bauteile	Festigkeits- klasse	Versprödungsanzeichen				Abminderung
			keine	leicht	mittel	stark	
Mast Nr: Prov.34 / Trasse 1360 / Neu 1360x161	Eckstiel						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	3	S355	X				---
	4	S355	X				---
	Diagonalen						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	Schrauben	5.8	X				---
Mast Nr: Prov.42 / Trasse 1360 / Neu 1360x169	Eckstiele						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	3	S355	X				---
	4	S355	X				---
	Diagonalen						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	Schrauben	4.8	X				---
Mast Nr: Prov.51 / Trasse 1360 / Neu 1360x178	Eckstiele						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	3	S355	X				---
	4	S355	X				---
	Diagonalen						
	1	S355	X				---
	2	S355	X				---
	Schrauben	5.6	X				---