

Elektrische Welle mit Leitfrequenz – Vergleich i950 - 9400**Inhalt**

1	Einleitung	1
2	Technische Daten	2
2.1	Vergleich	3
2.1.1	TA Elektronisches Getriebe 9400 vs. TA Electronic Gearbox i950	3
2.1.2	LF-Module 9400 vs. i950.....	3
2.2	Messverfahren: Signal-Übertragungszeiten	4
2.2.1	Bestimmung und Kompensation der Verzugszeit	5
3	Fazit	7

1 Einleitung**Erstellt von Lenze SE**

Elektronisch archiviertes Dokument, ohne Unterschrift gültig. Vervielfältigung unterliegt nicht dem Änderungsdienst.

Version: 4.0

Datum: 27.07.2026

Elektrische Welle mit Leitfrequenz – Vergleich i950 - 9400

Für die Leitfrequenzübertragung stellt Lenze spezielle Erweiterungsmodule bereit. In diesem Bericht werden die Leitfrequenzmodule der Baureihen 9400 und i950 betrachtet und miteinander verglichen.

Außerdem wird die zugehörige Technologieapplikation „Elektronisches Getriebe“ der beiden Umrichter gegenübergestellt. Darüber hinaus wird untersucht, welche Verzugszeiten bei der Übertragung eines Leitwertes vom Master zum Slave entstehen.

Ziel der Versuche ist es, die Eigenschaften, Unterschiede und Leistungsdaten der Lenze-Leitfrequenzmodule zu untersuchen. Dabei sollen sowohl für die Umrichter 9400 als auch i950 Richtwerte zur Totzeitkompensation ermittelt werden.

2 Technische Daten

Für die Durchführung der Versuche wird der Synchronlauf-Prüfstand verwendet (siehe Abbildung 1). Die Komponenten der Versuche sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Tabelle 1 - Komponenten Beschreibung

Tools/Geräte	Version Software/Firmware	Gerätebeschreibung
i950	V1.14.1.3628	3 Umrichter (Lenze)
3200 C	V3.20.1.4	1 Controller (Lenze)
9400 HighLine	V15	2 Umrichter (Lenze)
EK 1101	EtherCAT-Koppler	Hersteller: Beckhoff
EL 5101	Incremental Encoder Interface	Hersteller: Beckhoff
Motoren	MCS 09L51 (1321) (Geber: Am1024-8V-H)	2 Motoren (Lenze)
Drehgeber	WDG 58-H	Hersteller: Wachendorff
PLC-Designer	V4.1.0	Master+Slaves i950
PLC-Designer	V3.28.0	Messprogramm (Controller)
Engineer	V2.34	Master+Slaves 9400

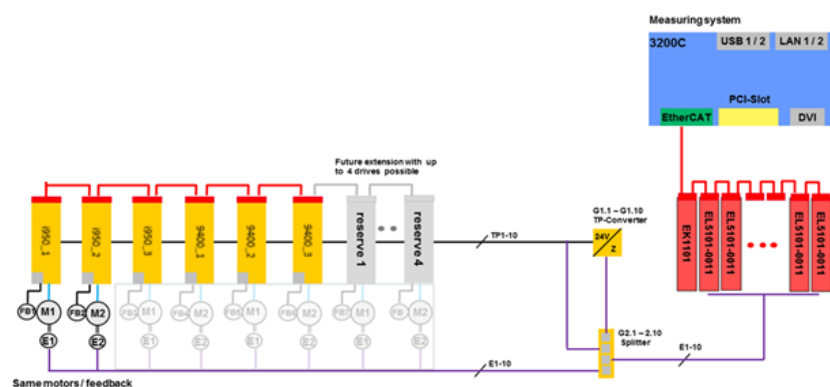


Abbildung 1 - Messaufbau

Elektrische Welle mit Leitfrequenz – Vergleich i950 - 9400

2.1 Vergleich

2.1.1 TA Elektronisches Getriebe 9400 vs. TA Electronic Gearbox i950

Für die Durchführung der Versuche wird im 9400 die TA Elektronisches Getriebe genutzt. Für den i950 gibt es eine vergleichbare TA „Electronic Gearbox“, die ebenfalls für diese Versuche verwendet wird. Nachfolgend werden die Eigenschaften dieser TA's dargestellt.

Tabelle 2 – TA-Vergleich

Eigenschaft	9400	i950
Bedienung und Konfiguration	Engineer	Easy Starter
Modifikation	FB-Editor	PLC-Designer
Virtueller Master	Ja	Ja
Kommunikation (Drive-to-Drive)	CANBus	OnBoard-EtherCAT
Steuersignale	Über Parameter anpassbar (Bool, 16+32 Bit)	Von TA fest vorgegeben 32 Bit
Statussignale	Über Parameter anpassbar (Bool, 16+32 Bit)	Von TA fest vorgegeben 32 Bit

Die Bearbeitung der Funktionsblockverschaltung des 9400 erfolgt über den FB-Editor. Es muss beachtet werden, dass beim Freischalten des FB-Editors die TA-spezifischen Dialoge nicht mehr verfügbar sind.

2.1.2 LF-Module 9400 vs. i950

Das Leitfrequenzmodul kann im 9400 am Steckplatz MXI 1 oder MXI 2 eingebracht werden. Das LF-Modul des i950 wird in Steckplatz B eingebracht. In der folgenden Tabelle wird das Modul des 9400 dem Modul des i950 gegenübergestellt.

Tabelle 3 - Vergleich der LF-Module

	9400		i950	
Leitfrequenzbereich	Input	0.0 500.0 kHz	Input	0.0 10.0 MHz
	Output	0.0 500.0 kHz	Output	0.0 2.0 MHz
Schutzart	IP20		IP20	
Kabel	Typ: EYD		Typ: EYD	
Anschlussart	Sub-D-Anschluss für LFin und LFout		Sub-D-Anschluss für LFin und LFout	
	X9:	Eingang Leitfrequenz, 9-poliger Sub-D-Stecker	X6.1:	Eingang Leitfrequenz, 9-poliger Sub-D-Stecker
	X10:	Ausgang Leitfrequenz, 9-polige Sub-D-Buchse	X6.2:	Ausgang Leitfrequenz, 9-polige Sub-D-Buchse
Inkrementalgeberart	TTL-Geber		TTL-Geber	
Signal Inkrementalgeber	2 um 90° versetzte 5V-Signale		2 um 90° versetzte 5V-Signale	
Folgeanschlüsse (parallel)	3 Antriebe		1 Antrieb	
Folgeanschlüsse (in Reihe)	bei 250.0 kHz: 20 Antriebe bei 500.0 kHz: 10 Antriebe		bei 250.0 kHz: 20 Antriebe bei 500.0 kHz: 10 Antriebe	
max. Leitungslänge zwischen zwei Geräten	50 Meter		50 Meter	

Erstellt von Lenze SE

Elektronisch archiviertes Dokument, ohne Unterschrift gültig. Vervielfältigung unterliegt nicht dem Änderungsdienst.

Version: 4.0

Datum: 27.07.2026

Elektrische Welle mit Leitfrequenz – Vergleich i950 - 9400

Pinbelegung DFin	 <table> <tr> <th>Pin</th><th>Bezeichnung</th><th>Erläuterung</th></tr> <tr><td>1</td><td>B</td><td>TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung</td></tr> <tr><td>2</td><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>+5 V</td><td>geregelter Spannungsversorgungs für Encoder (Pin 8 = Sense muss verwendet werden, max. Regelbereich 5 ... 9 V)</td></tr> <tr><td>5</td><td>GND</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>Z</td><td>TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung</td></tr> <tr><td>7</td><td>Z</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td>Die Funktion dieser Leitung muss im Grundgerät eingestellt werden: • Sense (Fühlerleitung bei Spannungsregelung, Lenze-Einstellung) • Lamp control • Enable</td></tr> <tr><td>9</td><td>B</td><td>TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung</td></tr> </table>	Pin	Bezeichnung	Erläuterung	1	B	TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung	2	A		3	A		4	+5 V	geregelter Spannungsversorgungs für Encoder (Pin 8 = Sense muss verwendet werden, max. Regelbereich 5 ... 9 V)	5	GND		6	Z	TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung	7	Z		8		Die Funktion dieser Leitung muss im Grundgerät eingestellt werden: • Sense (Fühlerleitung bei Spannungsregelung, Lenze-Einstellung) • Lamp control • Enable	9	B	TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung	s. 9400 zu Pin 4: max. Regelbereich 5...12V			
Pin	Bezeichnung	Erläuterung																																	
1	B	TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung																																	
2	A																																		
3	A																																		
4	+5 V	geregelter Spannungsversorgungs für Encoder (Pin 8 = Sense muss verwendet werden, max. Regelbereich 5 ... 9 V)																																	
5	GND																																		
6	Z	TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung																																	
7	Z																																		
8		Die Funktion dieser Leitung muss im Grundgerät eingestellt werden: • Sense (Fühlerleitung bei Spannungsregelung, Lenze-Einstellung) • Lamp control • Enable																																	
9	B	TTL-Eingangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung																																	
Pinbelegung DFout	 <table> <tr> <th>Pin</th><th>Bezeichnung</th><th>Erläuterung</th></tr> <tr><td>1</td><td>B</td><td>TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung</td></tr> <tr><td>2</td><td>A</td><td>Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal</td></tr> <tr><td>3</td><td>A</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>+5 V</td><td>V_{CC} ±6 %</td></tr> <tr><td>5</td><td>GND</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>Z</td><td>TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung</td></tr> <tr><td>7</td><td>Z</td><td>Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal</td></tr> <tr><td>8</td><td>Enable</td><td>Digitales Ausgangssignal</td></tr> <tr><td>9</td><td>B</td><td>TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal</td></tr> </table>	Pin	Bezeichnung	Erläuterung	1	B	TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung	2	A	Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal	3	A		4	+5 V	V _{CC} ±6 %	5	GND		6	Z	TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung	7	Z	Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal	8	Enable	Digitales Ausgangssignal	9	B	TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung			Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal	s. 9400
Pin	Bezeichnung	Erläuterung																																	
1	B	TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung																																	
2	A	Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal																																	
3	A																																		
4	+5 V	V _{CC} ±6 %																																	
5	GND																																		
6	Z	TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung																																	
7	Z	Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal																																	
8	Enable	Digitales Ausgangssignal																																	
9	B	TTL-Ausgangssignal vom Encoder oder Encodernachbildung																																	
		Ausgangsstrom: maximal 20 mA je Kanal																																	

Der auf 2 bzw. 10 MHz erweiterte Frequenzbereich bei i950 ermöglicht höhere Leitwert-Auflösungen. Beim Retrofit vom 9400 zu i950 können die Kabel zur Kopplung wiederverwendet werden, da die Pinbelegung der Buchsen gleich ist. Außerdem kann ein 9400 mit einem i950 (und umgekehrt) über das Leitfrequenzmodul verbunden werden. Dabei muss die Frequenzbegrenzung beachtet werden (9400 = 500 kHz, i950 = 2 MHz), die in der Applikationsrückführung angegeben werden muss.

2.2 Messverfahren: Signal-Übertragungszeiten

Die Übertragung eines Leitwertes aus der Applikation des Masters bis hin zur Motorsollwertbildung im Slave dauert je nach Gerät und abhängig von der Leitwertquelle unterschiedlich lange. Wenn der Sollwert im Slave später an der Motorwelle wirksam wird als im Master, dann zeigt sich ein geschwindigkeitsabhängiger Positionsversatz. Ist die Zeit bekannt kann sie durch eine Sollwert-Verzögerung im Master kompensiert werden. Im ersten Schritt ist also die Signal-Übertragungszeit für verschiedene beispielhafte Master-Slave-Topologien zu ermitteln:

- Servo-Umrichter i950 (Master) + i950 (Slave), Synchronisiert über OnBoard EtherCAT
- Servo-Umrichter 9400 (Master) + 9400 (Slave), Synchronisiert über CANBus
- Servo-Umrichter 9400 (Master) + i950 (Slave), Synchronisiert über OnBoard EtherCAT
- Servo-Umrichter i950 (Master) + 9400 (Slave), Synchronisiert über OnBoard EtherCAT

Zunächst werden alle Komponenten des Messsystems in Betrieb genommen. Dabei werden die Regler-Parameter miteinander verglichen und für jede Konfiguration einheitlich eingestellt. Die Leitwertquelle im Umrichter-Master ist der virtuelle Master. Als Signalquelle für DFOUT des Masters wird ein Wert aus PDO/Applikation eingestellt. Es muss beachtet werden, dass die Einstellungen (Strichzahl, Frequenzbegrenzung) des DFOUT des Masters mit den Einstellungen des DFIN des Slaves übereinstimmen.

Im i950 Slave wird die Leitwertquelle als Application Feedback (b) [1] und für DFOUT die Signalquelle Digital Frequency output DFIN [1] eingestellt. Für den 9400 Slave wird die Leitwertquelle als DFin-Modul und die Leitwertausgabe DF-Modul: Leitwert eingestellt.

Das Referenzprofil wird vom virtuellen Master des i950 für alle Konfigurationen und für eine Gesamtdauer von 20 Sekunden erzeugt.

Elektrische Welle mit Leitfrequenz – Vergleich i950 - 9400

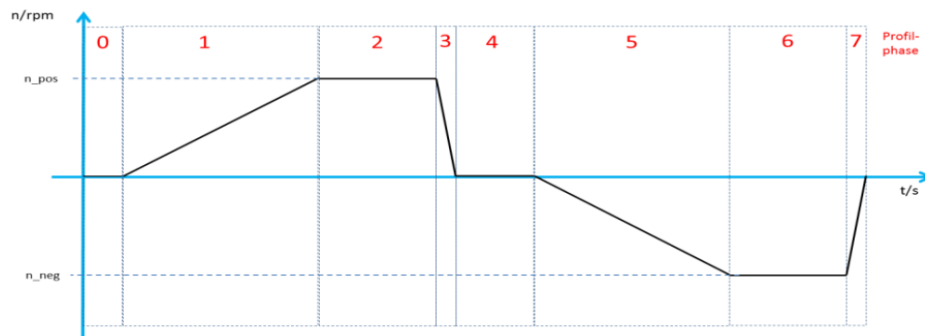


Abbildung 2 – Referenzprofil

Die Totzeiten werden während der Konstantfahrten (Phasen 2 und 6) durch die Positionsdivergenz zwischen beiden Motoren und der Durchschnittsgeschwindigkeit ermittelt:

$$t_{Delay} = \frac{s_{Motor\ 1} - s_{Motor\ 2}}{\Delta v}$$

$$\text{mit } \Delta v = \frac{v_{Motor\ 1} + v_{Motor\ 2}}{2}$$

Dabei ist Motor 1 der Masterachse zugeordnet und Motor 2 der Slaveachse.

2.2.1 Bestimmung und Kompensation der Verzugszeit

Für einen Leitfrequenz-Verbund i950 Master/Slave werden die folgenden Verzugszeiten bestimmt:

Tabelle 4 - Verzugszeiten i950 Master u. i950 Slave

Phase	Verzugszeit [ms]
2	2.63222
6	2.63158

Der i950 Slave folgt der Masterposition mit einem zeitlichen Versatz von 2,63 ms. Um diesen Versatz zu eliminieren, kann die Sollwert-Rückhaltung in der Motion_Axis des i950 im Master genutzt werden. Diese wird über die Parameter 0x500A:67 und 0x500A:68 konfiguriert. Im Parameter 0x500A:67 wird der Modus der Kompensation eingestellt (Manuell) und im Parameter 0x500A:68 der zu kompensierende Zeitversatz.

0x500A:67	Totzeitkompensation: Modus	Manuell (Offset in Sub 68) [3]
0x500A:68	Totzeitkompensation: Zeit-Offset	-2.630 ms

Abbildung 3 - Parameter zur Kompensation der Totzeit

Die Wirksamkeit der Sollwertrückhaltung im Master ist ersichtlich, wenn man mit passend konfigurierter Kompensation erneut den Zeitversatz ermittelt. Dieser geht dann gegen null, wie in Tabelle 5 zu sehen ist.

Tabelle 5 – Verzugszeiten nach Kompensation

Phase	Verzugszeit [ms]
2	0.00144
6	0.00284

Elektrische Welle mit Leitfrequenz – Vergleich i950 - 9400

Ersetzt man die i950 in dem gleichen Testaufbau durch zwei 9400 als Master und Slave wird eine Verzugszeit von 2.9125 ms bestimmt (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6 - Verzugszeiten 9400 Master u. 9400 Slave

Phase	Verzugszeit [ms]
2	2.91259
6	2.90675

Eine Besonderheit der TA Elektronisches Getriebe des 9400 ist, dass in dem FB-Editor bereits zwei ADD-Blöcke integriert sind, die in der Abarbeitungsreihenfolge vor der Weitergabe des Leitwertes eingebaut sind. So wird bereits eine Sollwertrückhaltung von 2 Millisekunden im Master kompensiert. Um die restliche Verzugszeit von ca. 0.9 ms zu kompensieren, wird hier im Test der Baustein *L_SdDelayComp* genutzt.

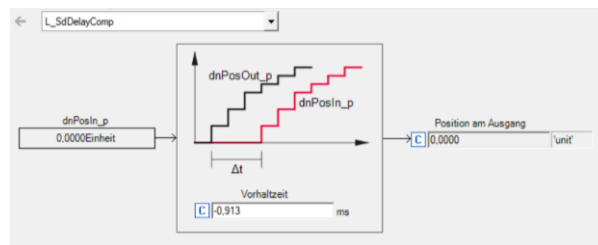


Abbildung 4 - Totzeitkompensation im 9400

Bei einem Mixbetrieb mit 9400 Master und einem i950 Slave werden folgende Verzugszeiten ermittelt.

Tabelle 7 - Verzugszeiten 9400 Master u. i950 Slave

Phase	Verzugszeit [ms]
2	3.8472
6	3.8474

Die Verzugszeit bei einem 9400 Master und einem i950 Slave beträgt 3.8474 ms und ist somit die größte Verzugszeit in allen Konfigurationen.

Die Verzugszeiten der Konfiguration i950 Master und 9400 Slave sind in der folgenden Tabelle zu sehen.

Tabelle 8 - Verzugszeiten i950 Master u. 9400 Slave

Phase	Verzugszeit [ms]
2	1.6929
6	1.6878

3 Fazit

Das Ziel der Versuche einen Richtwert der notwendigen Sollwertrückhaltung für die verschiedenen Master-Slave-Topologien zu geben, konnte erfüllt werden. In der nachfolgenden Tabelle 9 werden die ermittelten Richtwerte für die Totzeitkompensation dargestellt.

Tabelle 9-Richtwerte Verzugszeiten

System	Verzugszeit Applikation
i950 Master – i950 Slave	2,63 ms
i950 Master – 9400 Slave	1,69 ms
9400 Master – 9400 Slave	2,91 ms
9400 Master – i950 Slave	3,84 ms

Die Totzeit kann im Master i950 mit Hilfe der Parameter 0x500A:67/68 der Sollwertrückhaltung kompensiert werden. Im 9400 als Master muss zur vollständigen Kompensation der Totzeit der Baustein *L_SdDelayComp* im FB-Editor vor der Weitergabe des Leitwertes an die Applikation eingebaut werden. Ein oft hinreichende Sollwertrückhaltung von 2 ms ist bereits in der FB-Verschaltung durch die Aufrufreihenfolge der FBs realisiert.

Für die Kompensation in i950 stehen zwei Modi in 0x500A:67 zur Auswahl, nämlich „Automatisch für Sollwerte [1]“ und „Manuell (Offset in Sub 68) [3]“. Der automatische Modus bezieht sich auf die Totzeit, die bei der Leitwertübertragung via Systembus Onboard EtherCAT wirkt und ist somit unpassend, um die Übertragungszeit bei Leitfrequenz-Übertragung zu kompensieren.

Im manuellen Modus wird die Totzeit explizit über 0x500A:68 vorgegeben. Bei Vorgabe einer Zeit mit negativem Vorzeichen, wird der Sollwert um diese Zeit zurückgehalten. Diese Methodik ‚Sollwertrückhaltung‘ erfordert also die Parametrierung im Master und wirkt für alle Folgeantriebe (Slaves) im Verbund. Eine andere Methodik der Kompensation wäre eine Sollwert-Extrapolation. Diese kann erreicht werden durch Vorgabe der Kompensationszeit mit positivem Vorzeichen. Diese Parametrierung erfolgt also in allen Slaves. Diese Vorzeichenregel gilt ebenfalls für den 9400 im Zusammenhang mit dem Baustein *L_SdDelayComp*.

Es wird grundsätzlich nicht empfohlen, die Kompensation der Totzeit im Slave durchzuführen, da hierbei Extrapolationseffekte auftreten, die zu Ungenauigkeiten im Signalverlauf führen können.