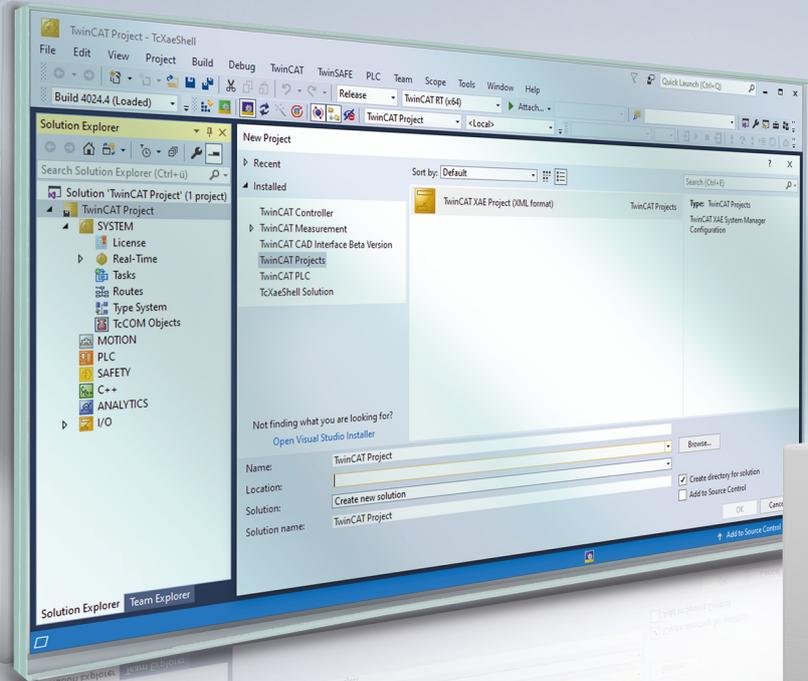


# BECKHOFF New Automation Technology

Handbuch | DE

# TE5960

TwinCAT 3 | Autotuning





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
1.1	Hinweise zur Dokumentation .....	5
1.2	Zu Ihrer Sicherheit.....	6
1.3	Hinweise zur Informationssicherheit .....	7
<b>2</b>	<b>Übersicht</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Installation</b> .....	<b>9</b>
3.1	Systemvoraussetzungen .....	9
3.2	Installation .....	9
3.3	Installation unter TwinCAT 4026 .....	12
<b>4</b>	<b>Technische Einführung</b> .....	<b>13</b>
4.1	Grundaufgabe Autotuning .....	13
4.2	Grundlagen Bodediagramm .....	13
4.3	Resonanzen .....	17
<b>5</b>	<b>Konfiguration</b> .....	<b>23</b>
5.1	Konfiguration und Ausführung.....	23
5.2	Stabilitätsbedingungen .....	24
5.3	Bode Einstellungen .....	24
5.4	Evaluierungswerte.....	26
5.5	Antriebs-Zielsystem Parameter .....	26
<b>6</b>	<b>Beispiele</b> .....	<b>28</b>
6.1	TwinCAT 3 Autotuning - Erste Schritte .....	28
6.2	Exportieren der Tuningresultate .....	36
<b>7</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>39</b>
7.1	FAQ - Häufig gestellte Fragen und Antworten .....	39
7.1.1	Fehlercode 0x6138 .....	39
7.1.2	Filterslots bei AX8000/AMP8000 .....	39
7.1.3	Fragmentierte Aufnahme .....	39
7.1.4	Instabile Validierungsmessung .....	40
7.1.5	Anregungsprobleme.....	42
7.1.6	Abweichungen in der Validierungsmessung .....	42
<b>8</b>	<b>Support und Service</b> .....	<b>44</b>



# 1 Vorwort

## 1.1 Hinweise zur Dokumentation

Diese Beschreibung wendet sich ausschließlich an ausgebildetes Fachpersonal der Steuerungs- und Automatisierungstechnik, das mit den geltenden nationalen Normen vertraut ist.

Zur Installation und Inbetriebnahme der Komponenten ist die Beachtung der Dokumentation und der nachfolgenden Hinweise und Erklärungen unbedingt notwendig.

Das Fachpersonal ist verpflichtet, stets die aktuell gültige Dokumentation zu verwenden.

Das Fachpersonal hat sicherzustellen, dass die Anwendung bzw. der Einsatz der beschriebenen Produkte alle Sicherheitsanforderungen, einschließlich sämtlicher anwendbaren Gesetze, Vorschriften, Bestimmungen und Normen erfüllt.

### Disclaimer

Diese Dokumentation wurde sorgfältig erstellt. Die beschriebenen Produkte werden jedoch ständig weiterentwickelt.

Wir behalten uns das Recht vor, die Dokumentation jederzeit und ohne Ankündigung zu überarbeiten und zu ändern.

Aus den Angaben, Abbildungen und Beschreibungen in dieser Dokumentation können keine Ansprüche auf Änderung bereits gelieferter Produkte geltend gemacht werden.

### Marken

Beckhoff®, ATRO®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, MX-System®, Safety over EtherCAT®, TC/BSD®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TwinSAFE®, XFC®, XPlanar® und XTS® sind eingetragene und lizenzierte Marken der Beckhoff Automation GmbH.

Die Verwendung anderer in dieser Dokumentation enthaltenen Marken oder Kennzeichen durch Dritte kann zu einer Verletzung von Rechten der Inhaber der entsprechenden Kennzeichnungen führen.



EtherCAT® ist eine eingetragene Marke und patentierte Technologie, lizenziert durch die Beckhoff Automation GmbH, Deutschland.

### Copyright

© Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, Deutschland.

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet.

Zuwendungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

### Fremdmarken

In dieser Dokumentation können Marken Dritter verwendet werden. Die zugehörigen Markenvermerke finden Sie unter: <https://www.beckhoff.com/trademarks>.

## 1.2 Zu Ihrer Sicherheit

### Sicherheitsbestimmungen

Lesen Sie die folgenden Erklärungen zu Ihrer Sicherheit. Beachten und befolgen Sie stets produktspezifische Sicherheitshinweise, die Sie gegebenenfalls an den entsprechenden Stellen in diesem Dokument vorfinden.

### Haftungsausschluss

Die gesamten Komponenten werden je nach Anwendungsbestimmungen in bestimmten Hard- und Software-Konfigurationen ausgeliefert. Änderungen der Hard- oder Software-Konfiguration, die über die dokumentierten Möglichkeiten hinausgehen, sind unzulässig und bewirken den Haftungsausschluss der Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.

### Qualifikation des Personals

Diese Beschreibung wendet sich ausschließlich an ausgebildetes Fachpersonal der Steuerungs-, Automatisierungs- und Antriebstechnik, das mit den geltenden Normen vertraut ist.

### Signalwörter

Im Folgenden werden die Signalwörter eingeordnet, die in der Dokumentation verwendet werden. Um Personen- und Sachschäden zu vermeiden, lesen und befolgen Sie die Sicherheits- und Warnhinweise.

### Warnungen vor Personenschäden

#### **GEFAHR**

Es besteht eine Gefährdung mit hohem Risikograd, die den Tod oder eine schwere Verletzung zur Folge hat.

#### **WARNUNG**

Es besteht eine Gefährdung mit mittlerem Risikograd, die den Tod oder eine schwere Verletzung zur Folge haben kann.

#### **VORSICHT**

Es besteht eine Gefährdung mit geringem Risikograd, die eine mittelschwere oder leichte Verletzung zur Folge haben kann.

### Warnung vor Umwelt- oder Sachschäden

#### **HINWEIS**

Es besteht eine mögliche Schädigung für Umwelt, Geräte oder Daten.

### Information zum Umgang mit dem Produkt



Diese Information beinhaltet z. B.:  
Handlungsempfehlungen, Hilfestellungen oder weiterführende Informationen zum Produkt.

## 1.3 Hinweise zur Informationssicherheit

Die Produkte der Beckhoff Automation GmbH & Co. KG (Beckhoff) sind, sofern sie online zu erreichen sind, mit Security-Funktionen ausgestattet, die den sicheren Betrieb von Anlagen, Systemen, Maschinen und Netzwerken unterstützen. Trotz der Security-Funktionen sind die Erstellung, Implementierung und ständige Aktualisierung eines ganzheitlichen Security-Konzepts für den Betrieb notwendig, um die jeweilige Anlage, das System, die Maschine und die Netzwerke gegen Cyber-Bedrohungen zu schützen. Die von Beckhoff verkauften Produkte bilden dabei nur einen Teil des gesamtheitlichen Security-Konzepts. Der Kunde ist dafür verantwortlich, dass unbefugte Zugriffe durch Dritte auf seine Anlagen, Systeme, Maschinen und Netzwerke verhindert werden. Letztere sollten nur mit dem Unternehmensnetzwerk oder dem Internet verbunden werden, wenn entsprechende Schutzmaßnahmen eingerichtet wurden.

Zusätzlich sollten die Empfehlungen von Beckhoff zu entsprechenden Schutzmaßnahmen beachtet werden. Weiterführende Informationen über Informationssicherheit und Industrial Security finden Sie in unserem <https://www.beckhoff.de/secguide>.

Die Produkte und Lösungen von Beckhoff werden ständig weiterentwickelt. Dies betrifft auch die Security-Funktionen. Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung empfiehlt Beckhoff ausdrücklich, die Produkte ständig auf dem aktuellen Stand zu halten und nach Bereitstellung von Updates diese auf die Produkte aufzuspielen. Die Verwendung veralteter oder nicht mehr unterstützter Produktversionen kann das Risiko von Cyber-Bedrohungen erhöhen.

Um stets über Hinweise zur Informationssicherheit zu Produkten von Beckhoff informiert zu sein, abonnieren Sie den RSS Feed unter <https://www.beckhoff.de/secinfo>.

## 2 Übersicht

Das TwinCAT 3 Autotuning ist ein in den TwinCAT 3 Drive Manager 2 eingebettetes Werkzeug zur automatischen Einstellung der Regelparameter von TwinCAT 3 kompatiblen Antrieben. Es vereinfacht die notwendige und intensive Analyse des Frequenzganges des mechanischen Systems im Ausgangszustand. Basierend auf einer qualitativen Ausmessung der Mechanik mit den aktiven Regelparametern erfolgt ein Tuning der ausgewählten Achse nach Stabilitäts- und Qualitätsbedingungen, wobei die einzuhaltenden Grenzwerte einfach über Vorlagen ausgewählt, aber auch individuell angepasst werden können.

Neben den primären Regelparametern, den Verstärkungsfaktoren  $K_p$  und  $K_v$ , der Integrationszeitkonstante  $T_n$  und der Lastträgheit des mechanischen Systems, kann eine Berechnung und Implementierung systemstabilisierender Stromsollwert-Filter durchgeführt werden.

Die Ergebnisse des Tunings werden abschließend gegenübergestellt und die Übernahme der Parameter und/oder Filter kann direkt erfolgen.

### Key-Features

- Frequenzgang basiertes Achs-Tuning der zentralen Antriebsparameter
- Berechnung der Gesamtmasse des mechanischen Systems
- Bestimmung systemstabilisierender Stromsollwert-Filter
- Einhaltung standardisierter Stabilitätskriterien unter Beachtung der Dynamik
- Integration in den TwinCAT 3 Drive Manager 2
- Nachverarbeitung mit Hilfe des Übersicht durch Export der Messdaten und Tuning-Resultate

### Funktionsprinzip

Im Verlauf des Autotunings wird die Achse mehrfach mittels eines Sinus-basierten Breitbandsignals in Schwingung gebracht. In der ersten Phase erfolgen kurze Anregungsphasen zur Kalibrierung der Anregungsamplituden für die initiale Aufnahme des Frequenzganges mit den vorab eingestellten Antriebsparametern.

Die fein aufgelöste Aufnahme der Initialmessung erfolgt in mehreren Schritten, wobei die bereits ermittelten Werte direkt graphisch angezeigt werden. Nach Abschluss der Aufnahme erfolgt die Berechnung der neuen Parameter (und Stromsollwert-Filter). Diese werden temporär aktiviert für eine Gegenüberstellung der Frequenzgänge. Hierfür erfolgt eine weitere Aufnahme.

Abschließend können die Ergebnisse begutachtet und heruntergespielt werden.

### **WARNUNG**

#### **Verletzungsgefahr durch automatisches Loslaufen der Antriebsachse**

Zur Erstellung des Bode-Diagramms führt die Antriebsachse einen von den Einstellungen abhängigen Bewegungsablauf durch. Mit dem Start der Aufnahme läuft die Antriebsachse eigenständig entsprechend des eingestellten Bewegungsprofils los und kann Mensch und Material gefährden. Während der Aufnahme ist die Antriebsachse weiterhin in den Applikationskontext eingebunden (z. B. Freigaben, Überwachung, ...).

- Sorgen Sie während der Aufnahme des Bode-Diagramms für eine entsprechende Sicherung.

### Unterstützte Antriebe

Feature	Typen	TwinCAT Autotuning
Support AX5000	rotatorisch	 Ab Firmware v2.15
Support AX8000	rotatorisch	 Ab Firmware v1.07
Support AMP8000	rotatorisch	 Ab Firmware v1.06

Weitere Informationen im Abschnitt [Systemvoraussetzungen](#) [► 9].

## 3 Installation

### 3.1 Systemvoraussetzungen

#### Softwareanforderungen unter TwinCAT 3.1.4024.x auf dem Entwicklungssystem (XAE)

Software	Ab Version (oder höher)
TwinCAT 3 XAE	3.1.4024.64
TE5950   TwinCAT 3 Drive Manager 2	1.1.96.0
TF13xx   TwinCAT 3 Measurement Update	3.4.3148.35
TcBodePlot (TMX)	1.1.5.0
<i>TcNcObjects (TMX)</i>	<i>3.1.0.4707 (optional)</i>

Falls kein versionierter TMX-Treiber des TcNcObjects auf dem Entwicklungssystem installiert ist, gelten die Softwareanforderungen für TwinCAT 3.1.4024.x für Laufzeitsysteme.

Bei der Verwendung von Zielsystemen mit TC/BSD® ist eine Installation von TcNcObjects (TMX) erforderlich.

#### Softwareanforderungen unter TwinCAT 3.1.4024.x auf dem Laufzeitsystem (XAR)

Software	Ab Version (oder höher)
TwinCAT 3 XAR	3.1.4024.64

#### Softwareanforderungen unter TwinCAT 3.1.4026.x auf dem Entwicklungssystem (XAE)

Software	Ab Version (oder höher)
TwinCAT Standard	4026.4.0
TE5950.DriveManager2.XAE	1.1.96

#### Systemanforderungen Servosystem

Hardware	Ab Firmware Version (oder höher)
AX5000	2.15
AX8000	1.07
AMP8000	1.06

## 3.2 Installation

#### Setup-Installation (TwinCAT 3.1 Build 4024)

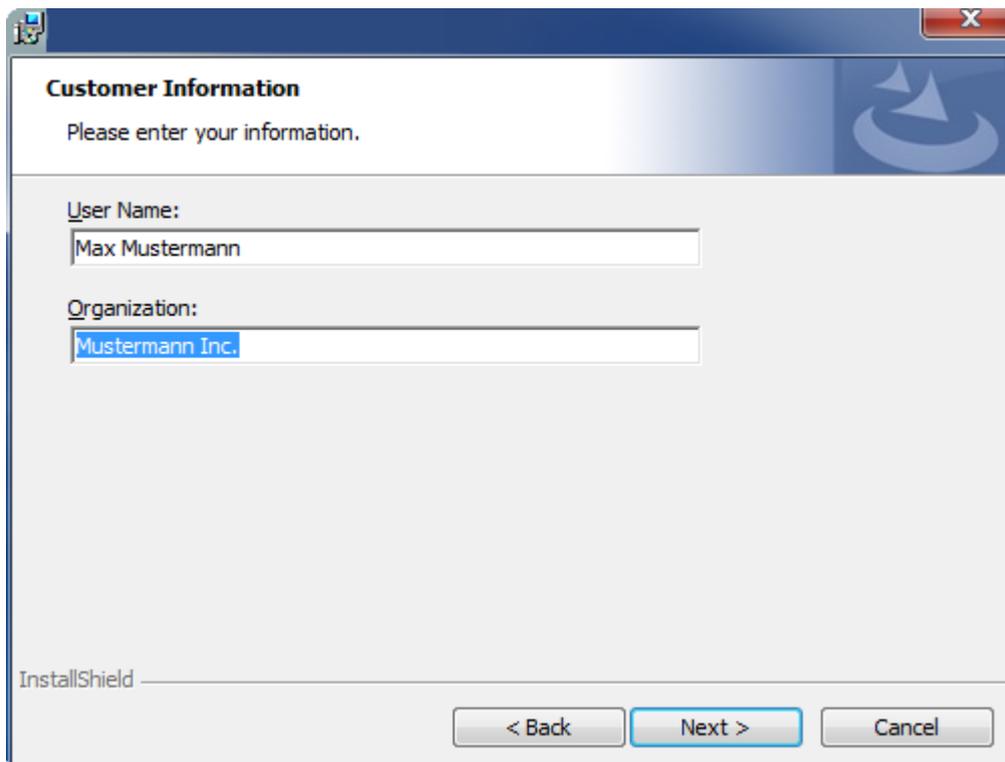
Nachfolgend wird beschrieben, wie die TwinCAT 3 Function für Windows-basierte Betriebssysteme installiert wird.

- ✓ Die Setup-Datei der TwinCAT 3 Function wurde von der Beckhoff-Homepage heruntergeladen.
- 1. Führen Sie die Setup-Datei als Administrator aus. Wählen Sie dazu im Kontextmenü der Datei den Befehl **Als Administrator ausführen**.
  - ⇒ Der Installationsdialog öffnet sich.

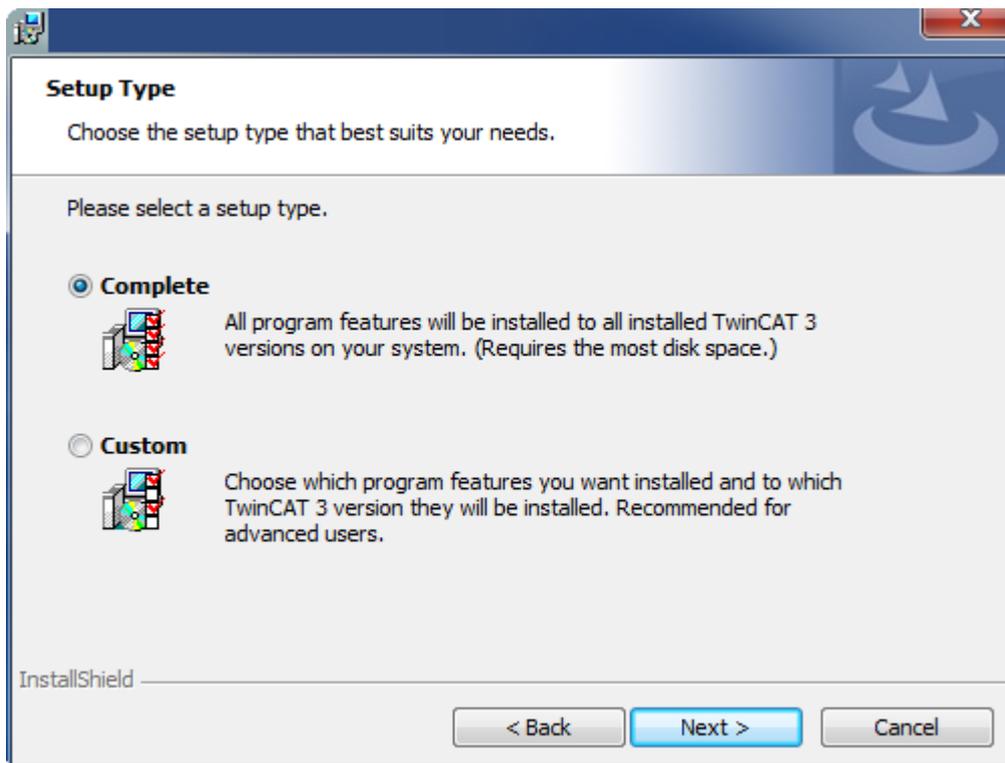
2. Akzeptieren Sie die Endbenutzerbedingungen und klicken Sie auf **Next**.



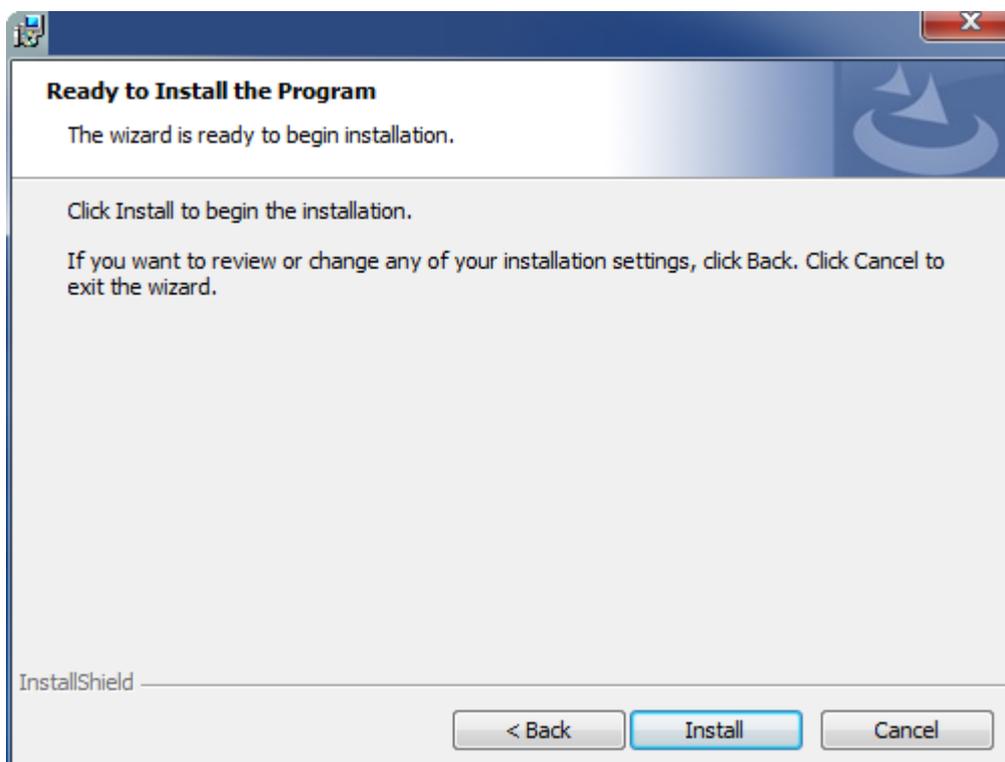
3. Geben Sie Ihre Benutzerdaten ein.



4. Wenn Sie die TwinCAT 3 Function vollständig installieren möchten, wählen Sie **Complete** als Installationstyp. Wenn Sie die Komponenten der TwinCAT 3 Function separat installieren möchten, wählen Sie **Custom**.

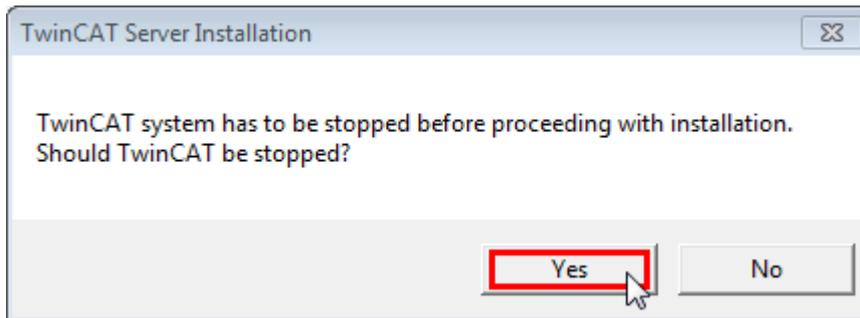


5. Wählen Sie **Next** und anschließend **Install**, um die Installation zu beginnen.

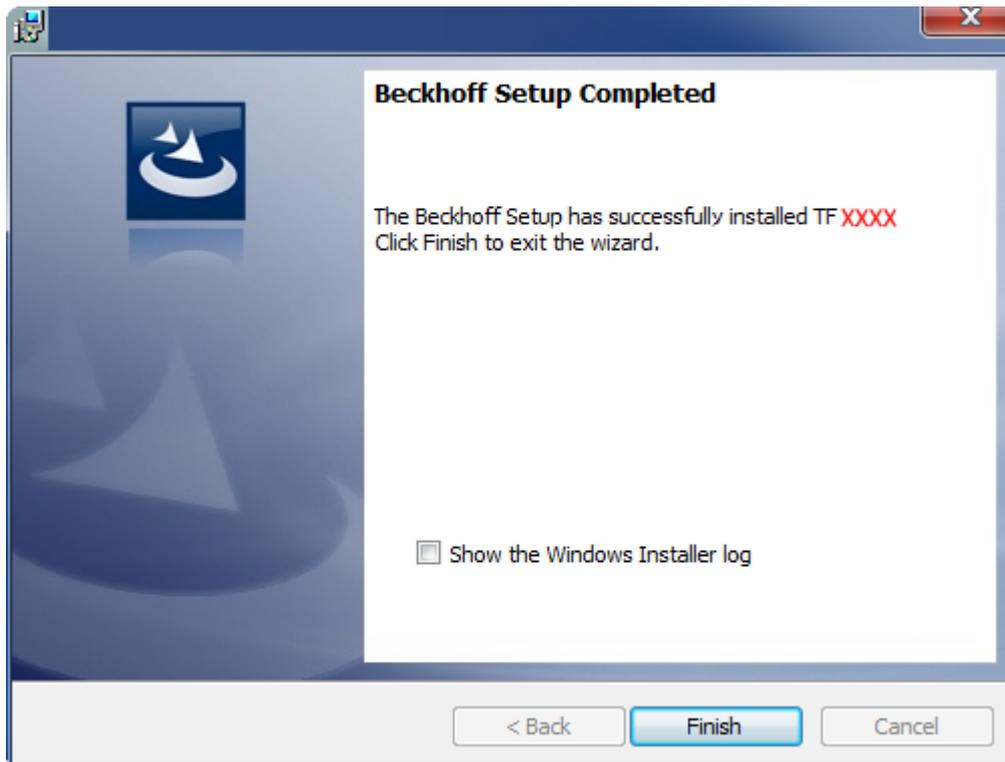


- ⇒ Ein Dialog weist Sie darauf hin, dass das TwinCAT-System für die weitere Installation gestoppt werden muss.

6. Bestätigen Sie den Dialog mit **Yes**.



7. Wählen Sie **Finish**, um das Setup zu beenden.



⇒ Die TwinCAT 3 Function wurde erfolgreich installiert.

### 3.3 Installation unter TwinCAT 4026

#### TwinCAT Package Manager: Installation (TwinCAT 3.1 Build 4026)

Eine ausführliche Anleitung zur Installation von Produkten finden Sie im Kapitel [Workloads installieren](#) in der [Installationsanleitung TwinCAT 3.1 Build 4026](#).

Installieren Sie den folgenden Workload, um das Produkt nutzen zu können:

- **TE5960 | TwinCAT 3 Autotuning**

## 4 Technische Einführung

### 4.1 Grundaufgabe Autotuning

Um präzise und zugleich dynamische Positionieraufgaben in der Automatisierungstechnik zu bewältigen, werden häufig Servoantriebe eingesetzt. Die Eigenschaften der von den Antrieben zu bewegenden Mechaniken beeinflussen dabei maßgeblich eine sinnvolle Parametrierung der Regelkreise, die zur bestmöglichen Bewältigung der Positionieraufgaben in Hinblick auf Genauigkeit und Dynamik bei Einhaltung der Systemstabilität erforderlich ist. Wesentliche mechanische Eigenschaften sind unter anderem die Massenträgheit und Systemresonanzen. Die exakten Eigenschaften der mechanischen Systeme sind dabei zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme meist unbekannt.

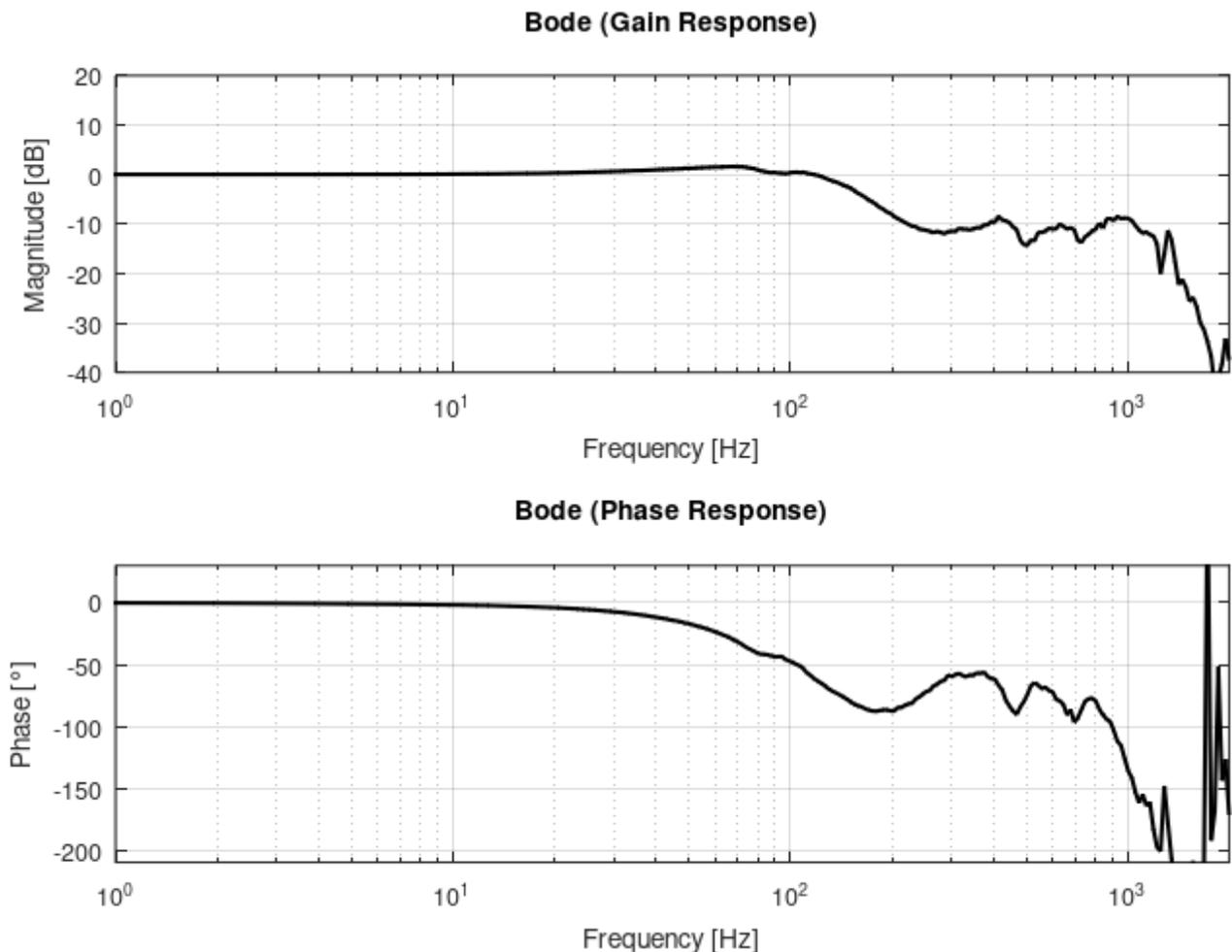
Die Grundaufgaben des Autotunings bestehen in den folgenden Punkten

- Messtechnische Ermittlung der wesentlichen Parameter des mechanischen Systems.
  - Dies erfolgt durch die Aufnahme eines Frequenzgangs in Betrag und Phase (Bodediagramm).
  - Ein interner Algorithmus ermittelt basierend auf dem Frequenzgang die Eigenschaften des mechanischen Systems. (Massenträgheit, Resonanzstellen, etc.)
- Ermittlung sinnvoller Regelparameter unter Berücksichtigung der Systemeigenschaften und der gegebenen Randbedingungen bezüglich Dynamik und Systemstabilität.
- Setzen und Parametrieren von Filtern, zum Beispiel zur Unterdrückung von Resonanzstellen. Durch die Nutzung von Filtern können die Eigenschaften des Regelungssystems bezüglich Dynamik und Stabilität weiter verbessert werden.

### 4.2 Grundlagen Bodediagramm

Ein Bodediagramm ist ein graphisches Werkzeug zur Darstellung der Frequenzcharakteristik eines Systems. Es besteht aus zwei Diagrammen, dem Amplitudengang und dem Phasengang.

- **Amplitudengang:** Gibt die Verstärkung des Systems (Verhältnis der Ausgangsamplitude zur Eingangsamplitude) in Abhängigkeit der Frequenz an.  
Die Angabe der Verstärkung erfolgt in Dezibel [dB].
- **Phasengang:** Gibt die Phasenverschiebung des Systems (relative Verzögerung vom Eingang zu Ausgang) in Abhängigkeit der Frequenz an.  
Die Angabe der Phasenverschiebung erfolgt in Grad [°].



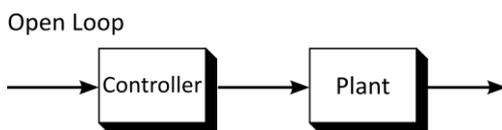
Durch das Bodediagramm können die spezifischen Eigenschaften eines mechanischen Antriebssystems grafisch dargestellt und ermittelt werden. Weiterhin liefert es Informationen über die Systemstabilität und die Dynamik des Systems.

Im Folgenden wird das Bodediagramm für mechanische Regelungssysteme insoweit erklärt, dass die Bedeutung der im Benutzerinterface verwendeten Größen und Parameter bezüglich Dynamik und Stabilität klar und ein grundlegendes Verständnis zum Lesen eines Bodediagramms vermittelt wird.

Zur Beschreibung der Systemeigenschaften über das Bodediagramm ist die Unterteilung des regelungstechnischen Antriebssystems in offenen und geschlossenen Regelkreis erforderlich.

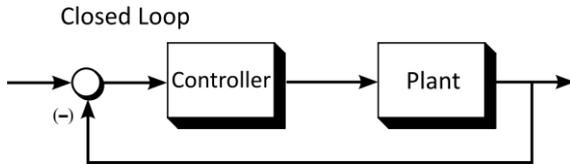
**i** In einer Regelung mit Kaskadenstruktur, von Innen nach Außen bestehend aus Strom,-Drehzahl und Positionsregelkreis, ist der Drehzahlregelkreis der Regelkreis, in dem die mechanischen Systemeigenschaften wirken.

- **Offener Regelkreis (Open Loop, kurz: OL)**



Regelkreis ohne Rückführung bestehend aus Regler, Regelstrecke (hier mechanisches System und Rückführung (Sensorik)).

• Geschlossener Regelkreis (Closed Loop, kurz: CL)



Regelkreis mit Rückführung

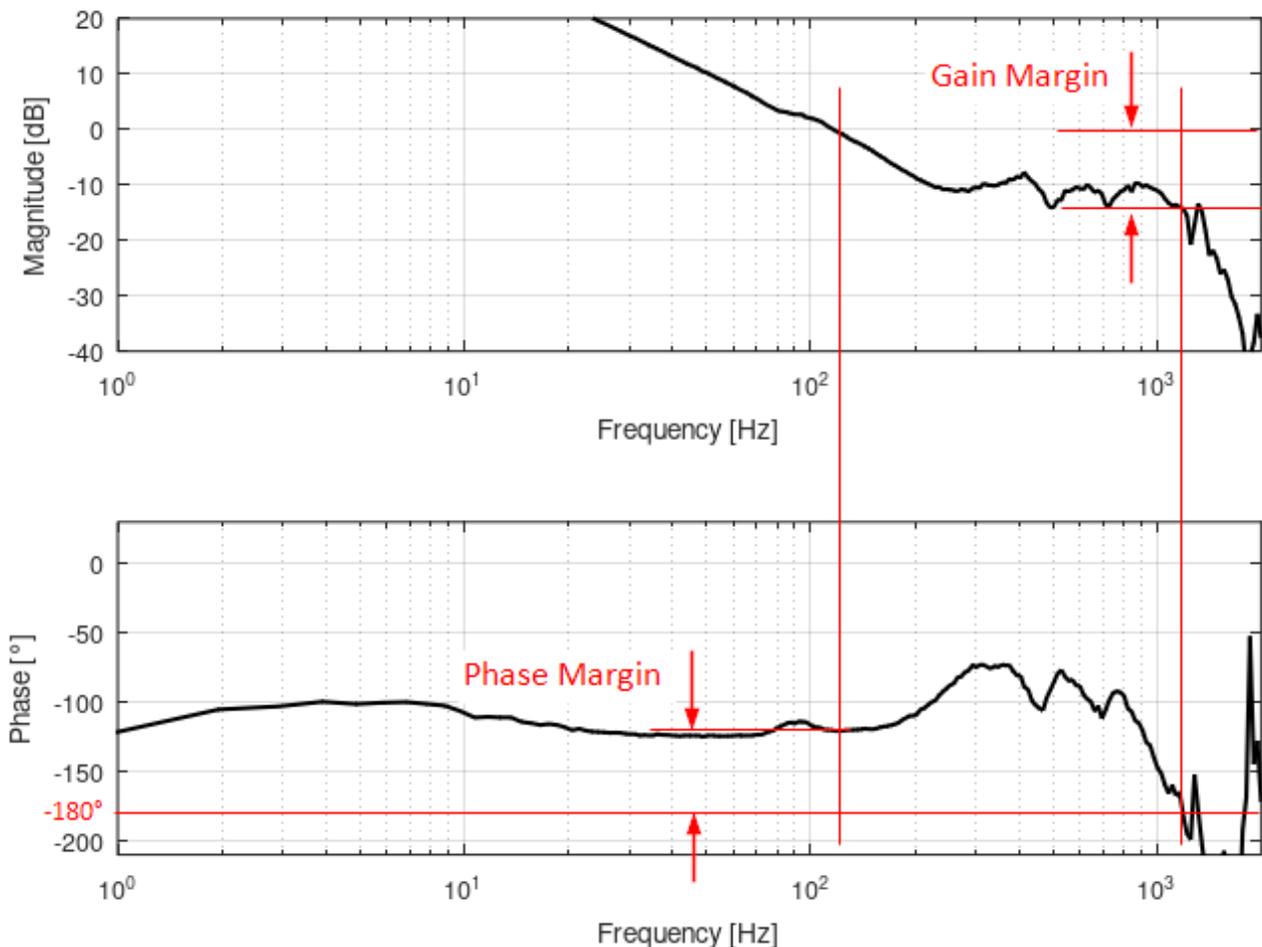
- Betrachtung der frequenzabhängigen Verstärkung und Phasenverschiebung der realen Antriebsregelung.
- Betrachtung der dynamischen Eigenschaften des Regelsystems.

**Offener Regelkreis (Stabilitätsbetrachtung)**

Die Systemstabilität wird anhand der Phasenreserve und der Amplitudenreserve ermittelt.

- **Phasenreserve** (Phase Response, [Stabilitätsbedingungen \[► 24\]](#))  
Abstand der Phase im Phasengang von 180°, an dem Punkt, an dem der Amplitudengang von links gesehen 0 dB unterschreitet.  
Die Phasenreserve sollte in der Praxis mindestens 30° - 40° betragen.
- **Amplitudenreserve** (Gain Response, [Stabilitätsbedingungen \[► 24\]](#))  
Abstand der Amplitude im Amplitudengang von 0 dB, an dem Punkt, an dem der Phasengang von links gesehen 180° unterschreitet.  
Die Amplitudenreserve sollte in der Praxis mindestens 6 – 8 dB betragen.

**Bode (Open Loop, OL)**



## Geschlossener Regelkreis

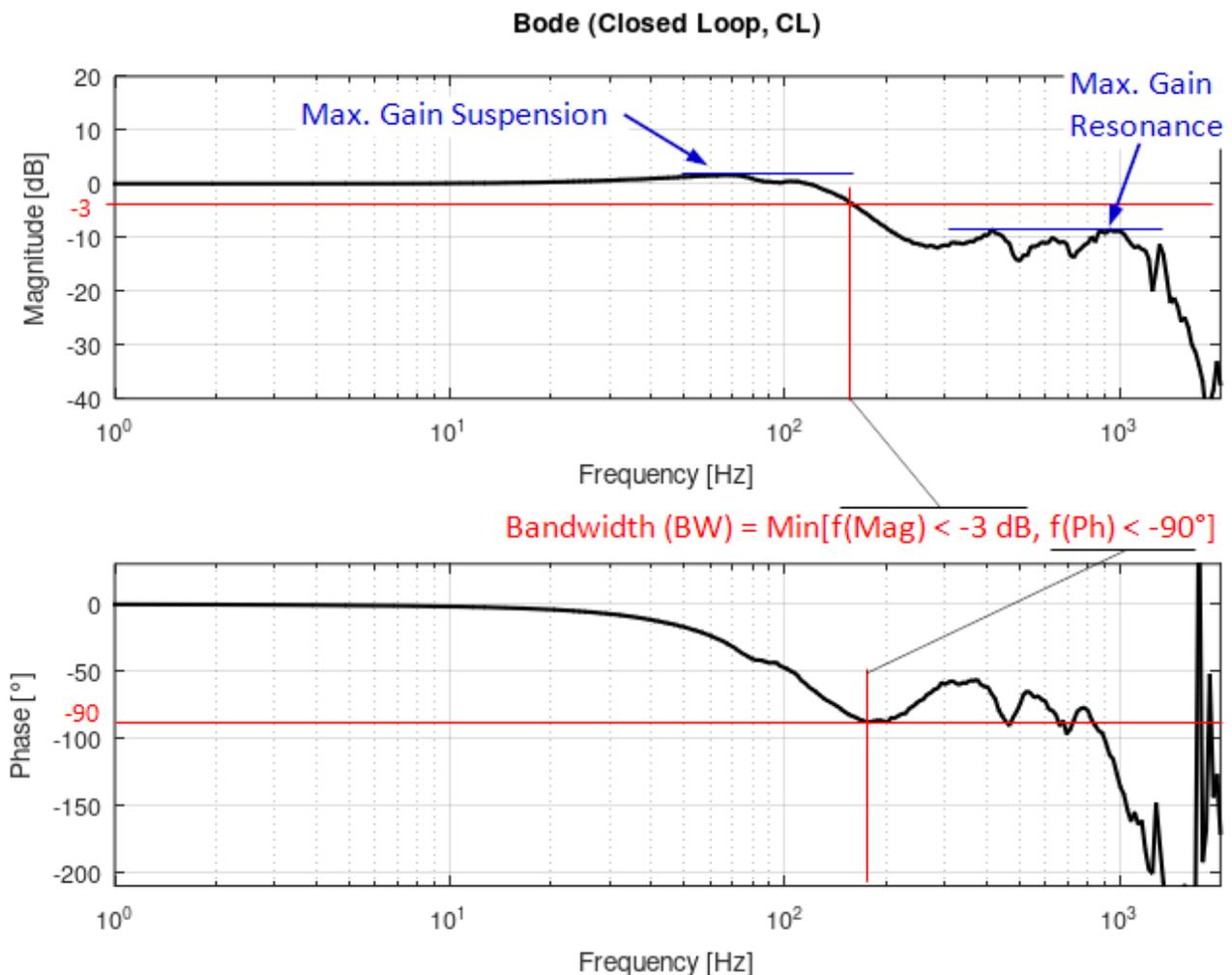
Das Bodediagramm des geschlossenen Regelkreises zeigt die frequenzabhängigen Verstärkungen und Phasenverschiebungen in ihrer physikalischen Wirkung.

Ideal wäre ein System, für das das Ausgangssignal für alle Frequenzen die gleiche Amplitude wie das Eingangssignal besitzt und im Verhältnis zum Eingangssignal keine Verzögerung aufweist. Ein solches System besitzt im Bodediagramm für Amplitude und Phase Werte von Null.

Praktisch gesehen ist dies aus energetischen und laufzeittechnischen Gründen in einem realen System nicht möglich. Für steigende Frequenzen wird das Ausgangssignal langfristig schwächer als das Eingangssignal und weist gegenüber dem Eingangssignal eine steigende Phasenverschiebung auf.

Weiterhin können Resonanzstellen und die Parametrierung des Reglers dazu führen, dass die Amplitude des Ausgangssignals die des Eingangssignals lokal für bestimmte Frequenzen überschreitet. In diesem Zusammenhang werden die Begriffe der Bandbreite und der maximalen Verstärkung definiert.

- **Bandbreite** (Bandwidth, [Stabilitätsbedingungen](#) [▶ 24])  
Minimum der beiden Frequenzen, an denen der Amplitudengang -3 dB von links gesehen unterschreitet und der Phasengang -90° von links gesehen unterschreitet.
- **Maximale Verstärkung** (Max. Gain, [Stabilitätsbedingungen](#) [▶ 24])  
Maximal zulässige Verstärkung in dB.  
In der Praxis kann dies je nach Anwendung zwischen 1 dB (Soft: Faktor 1,122) und 3 dB (Stiff: Faktor 1,413) gewählt werden.



## Optimierungsziele

Grundsätzlich sind für eine hohe Produktivität kurze Maschinendurchlaufzeiten erforderlich.

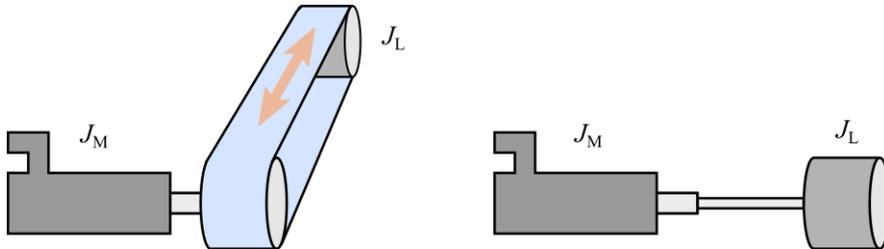
Diese erfordern für eine schnelle Verarbeitung bei Gewährleistung der Anforderungen an Genauigkeit und Präzision entsprechend hohe Bandbreiten der genutzten Antriebsregler.

Die Forderungen nach einer hohen Bandbreite und einer hohen Stabilität sind dabei meist gegensätzlich.

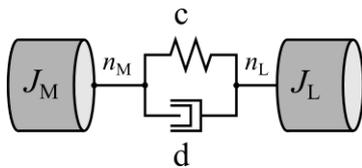
Eine Erhöhung der Bandbreite führt in der Regel zu einer geringeren Stabilität und umgekehrt. Ein weiteres Optimierungsziel können Anforderungen an die Laufruhe des Antriebs sein. Für eine hohe Laufruhe sind oft moderate Regler Verstärkungen vorteilhaft.

### 4.3 Resonanzen

Die meisten mechanischen Antriebssysteme sind mechanisch inhomogen aufgebaut. Dies kann beispielsweise ein Antrieb mit Riemen sein, bei dem der Riemen eine andere Festigkeit und Elastizität aufweist als weitere aus Metall bestehende Antriebsachsen.



Aber auch Antriebsachsen des gleichen Materials besitzen abhängig von ihrer Materialstärke unterschiedliche Festigkeiten. Physikalisch stellen solche Systeme Feder-Masse-Systeme mit „c“ als Federkonstante und „d“ als Dämpfungskonstante dar. Weiterhin stellt „J<sub>M</sub>“ exemplarisch das Trägheitsmoment eines Motors dar und „J<sub>L</sub>“ das Trägheitsmoment einer Last.



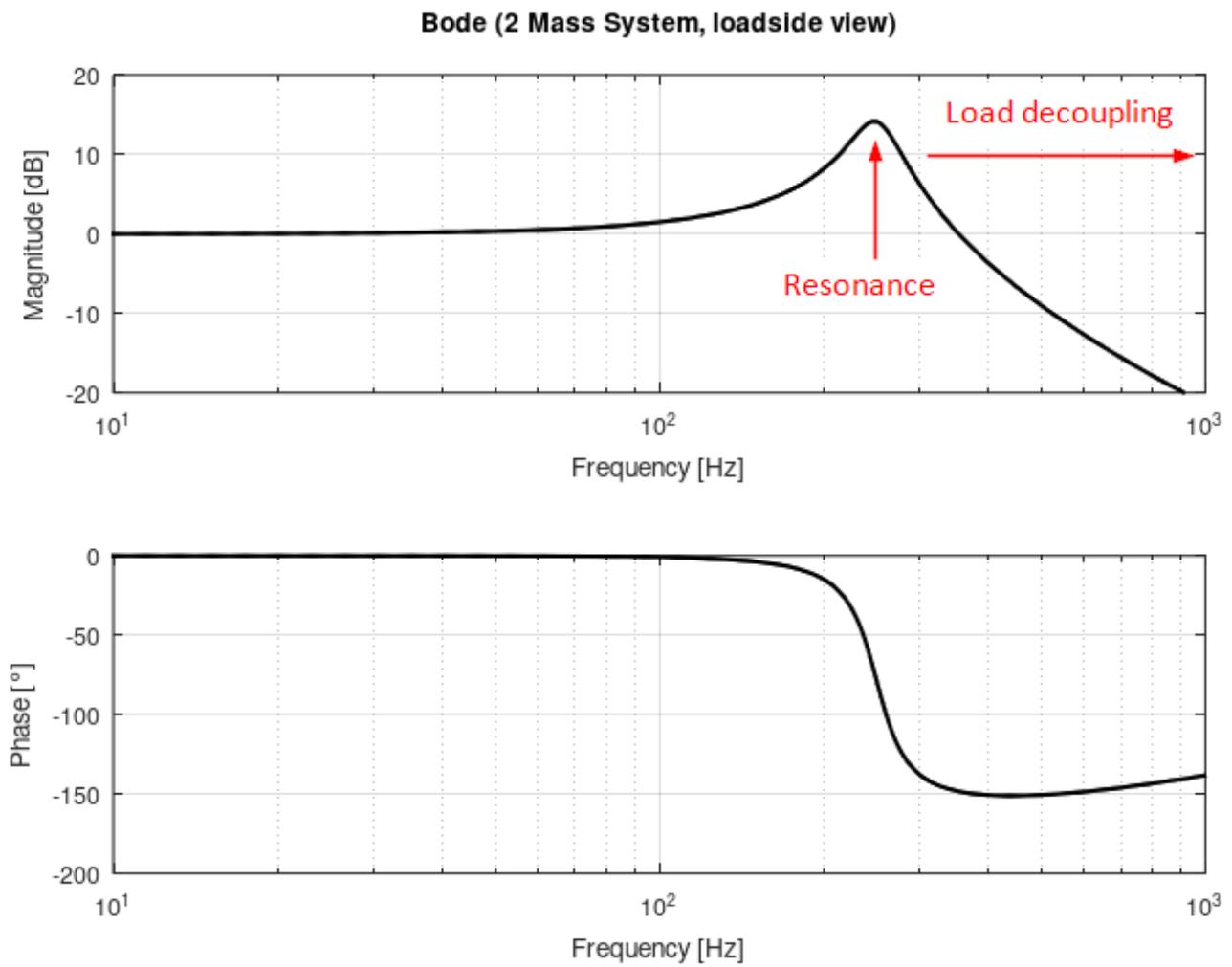
Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass dem Anwender die Information über die Position und Drehzahl der Last meist nicht zur Verfügung steht, da die Rückmessung der Position üblicherweise über einen Positionssensor erfolgt, der im Motor verbaut ist. Für den Anwender ist in der Regel aber das Verhalten auf Lastseite und nicht auf Motorseite interessant.

Für die Stabilitätsbetrachtung der Antriebsregelung ist jedoch immer die Seite relevant, von der die Information als Feedback in die Regelung einfließt. Dies ist in der Regel die Motorseite.

#### Verhalten eines Zweimassensystems

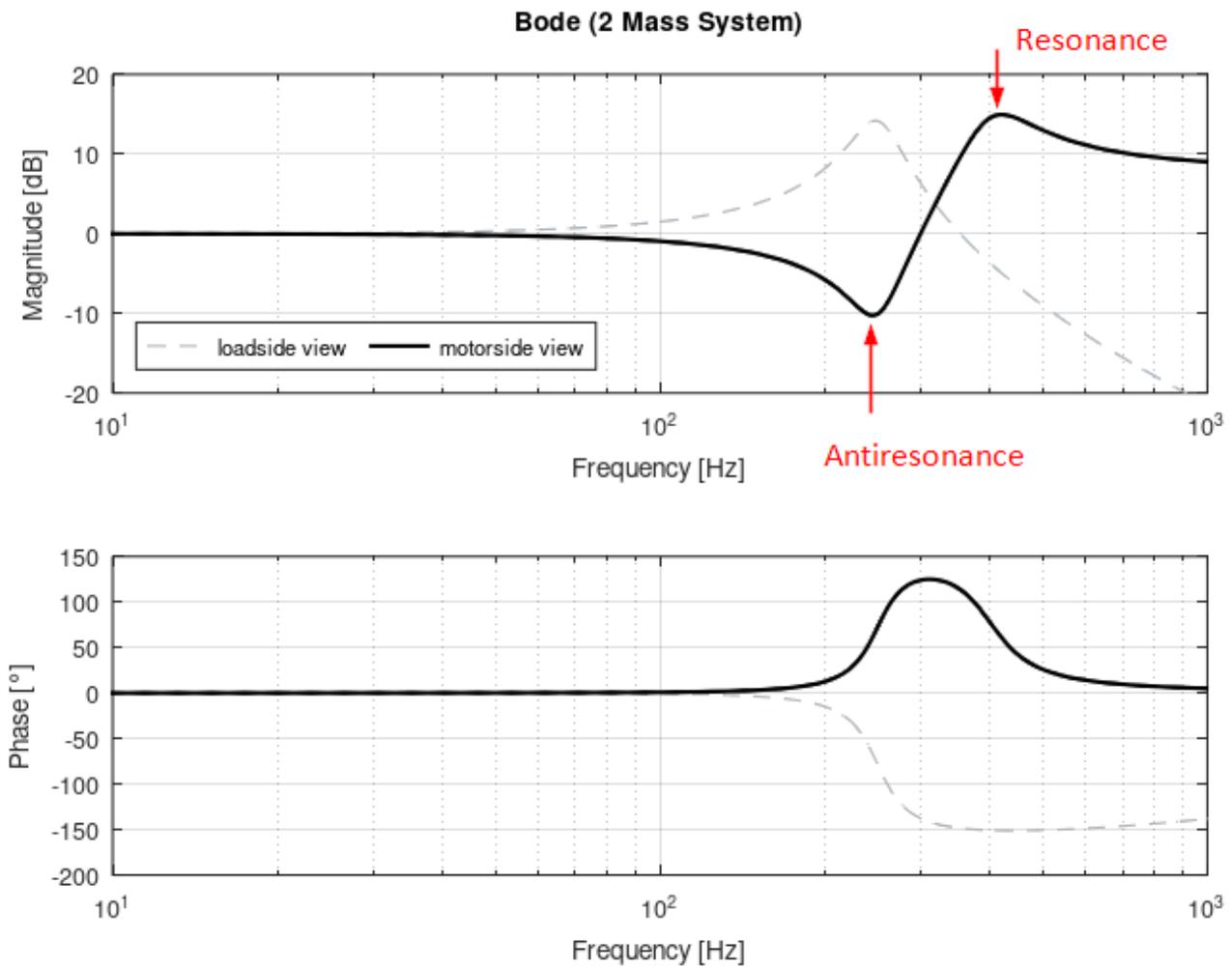
Im Folgenden wird zum Verständnis das ideale Verhalten eines Zweimassensystems ohne überlagerte Regelung betrachtet.

**Lastseite** (Lastdrehzahl als Istwert bezogen auf ein Drehmoment als Sollwert):  
 Bezieht man die Lastdrehzahl auf ein vorgegebenes Drehmoment eines Antriebs, so ergibt sich für ein exemplarisches Zweimassensystem idealisiert der folgende Frequenzgang.



Für niedrige Frequenzen unterhalb der Resonanzfrequenz kann die Last der Bewegung des Motors folgen. Für steigende Frequenzen oberhalb der Resonanzfrequenz ist dies immer weniger der Fall. Es findet dort eine Abkopplung der Last vom Motor statt. Aus diesem Grund ist es bei der Regler Auslegung nicht sinnvoll, eine Regler Bandbreite oberhalb der Resonanzfrequenz anzustreben.

**Motorseite** (Motordrehzahl als Istwert bezogen auf ein Drehmoment als Sollwert):



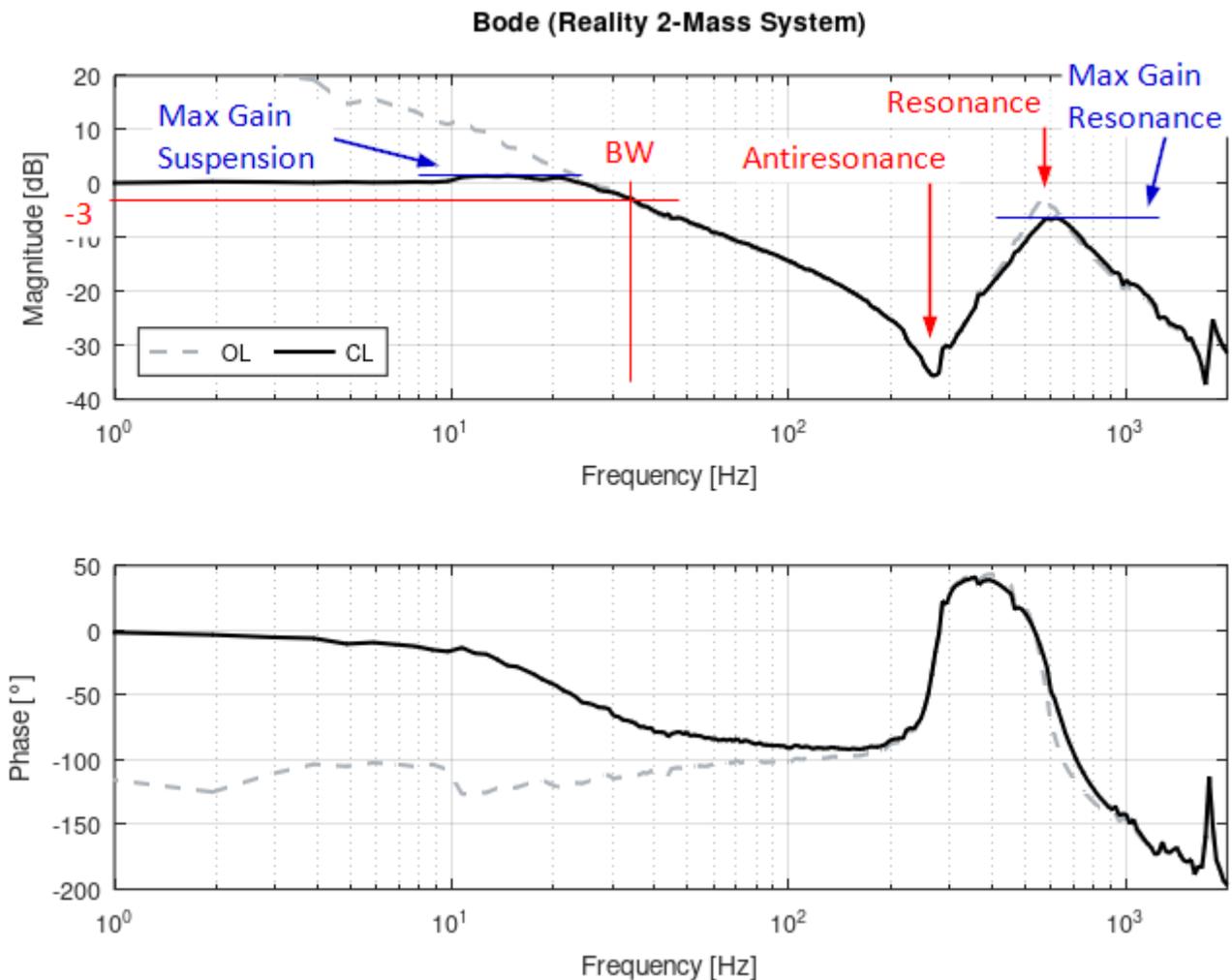
Das motorseitige Übertragungsverhalten des Zweimassensystems ist das für die Regler Auslegung ausschlaggebende Verhalten. (bei Nutzung des Positionssensors am Motor).  
 Es zeigt eine Antiresonanz an der Frequenz der Resonanz des lastseitigen Verhaltens. Des Weiteren zeigt es eine Resonanz, welche im Frequenzbereich über der Antiresonanz liegt.  
 Das Trägheitsverhältnis der Lastträgheit zur Motortragheit ist dabei abhängig vom Abstand der Resonanzfrequenz von der Antiresonanzfrequenz.

**Verhalten eines geregelten Systems mit Zweimassenmechanik**

(Servoverstärker AX8000, Basiseinstellung: Drehzahlbeobachter: Aus, keine Filter)

Nachfolgend ist der Frequenzgang eines realen Systems mit überlagerter Regelung und mechanischem Zweimassenverhalten gezeigt. (Das reale mechanische System hat andere Parameter als das gezeigte ideale System und keine Verbindung zu diesem.)

Weiterhin wurden keine Filter gesetzt und der Drehzahlbeobachter ist nicht aktiv.

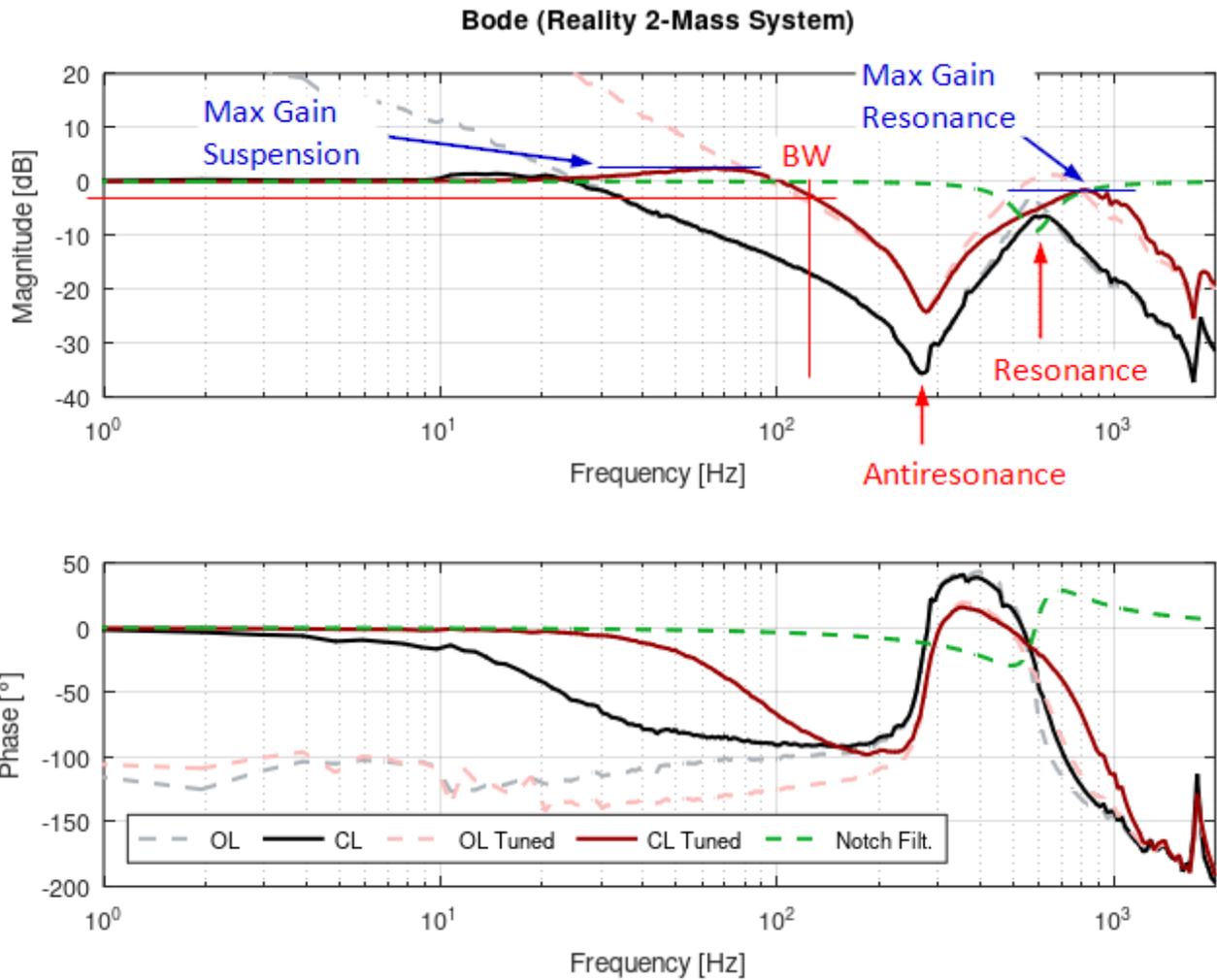


Die relevanten Stabilitätsparameter für das Tuning beziehen sich im Wesentlichen auf die Antwort des mechanischen Systems vor und hinter der führenden Resonanzstelle.

Die maximale Verstärkung vor der Resonanz (Max. Gain Suspension) kann je nach Wunsch an die Steifigkeit des Antriebs parametrisiert werden. Siehe [Stabilitätsbedingungen](#) [► 24].

Die Dämpfung von Frequenzkomponenten oberhalb der Regler Bandbreite (BW) erfolgt durch die Angabe der maximalen Resonanzverstärkung (Max. Gain Resonance)  
 In der Regel ist es erstrebenswert, dass Frequenzkomponenten oberhalb der Regler Bandbreite keinen oder nur geringen Einfluss auf das Regler Verhalten haben.  
 Aus diesem Grund ist es vorteilhaft diese Frequenzkomponenten ausreichend stark zu dämpfen. Häufig genutzte Werte für eine Dämpfung durch die maximale Resonanzverstärkung sind -6dB bis -3dB.

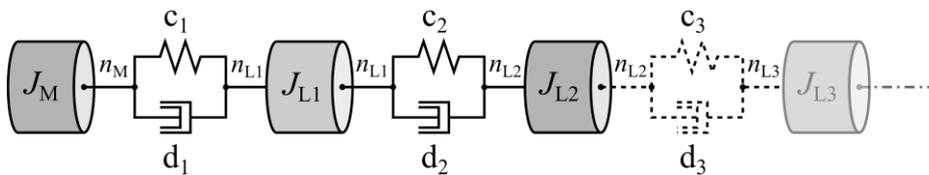
Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Zusammenhänge ermittelt das Tuningverfahren den folgenden optimierten Frequenzgang:



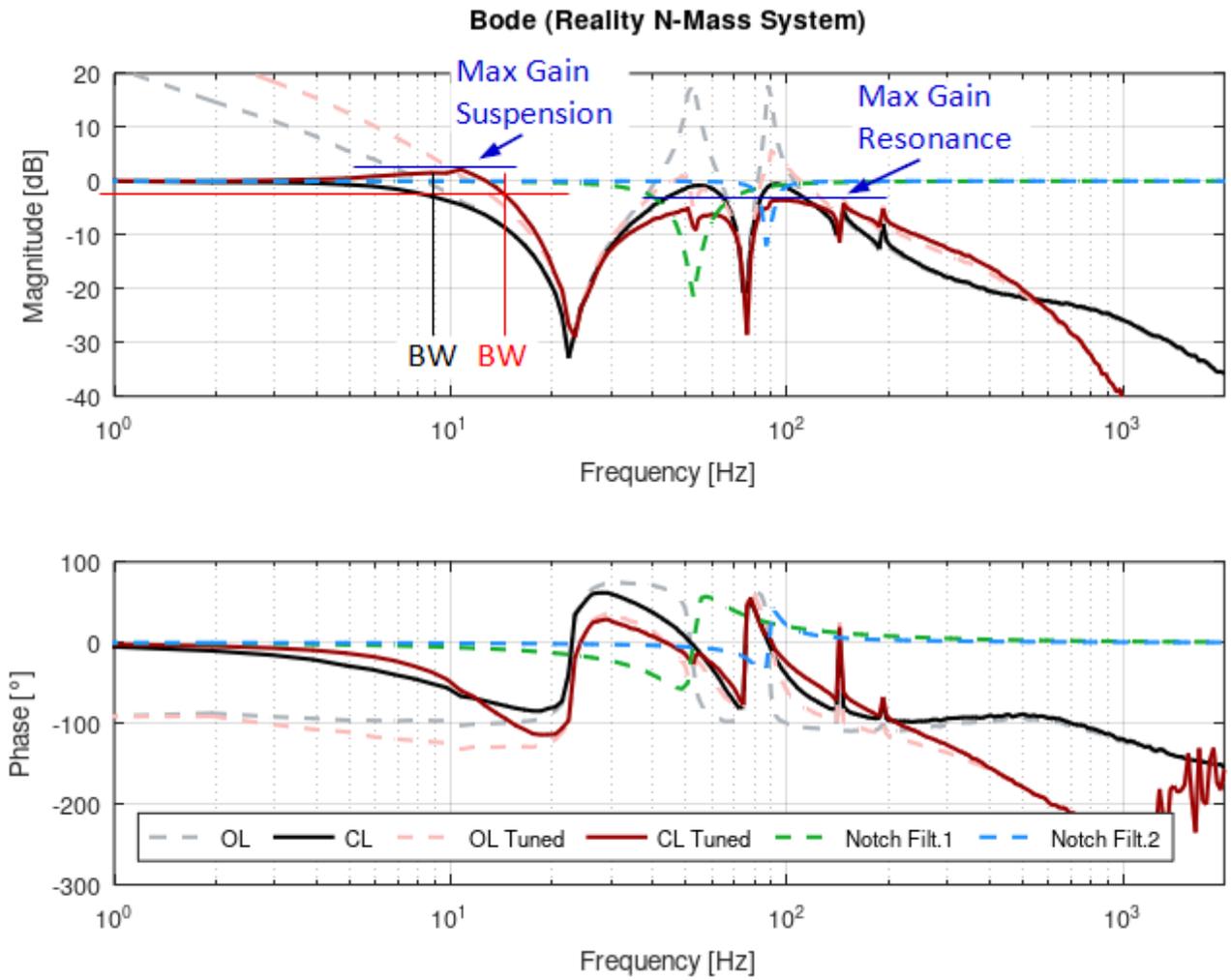
Im Gegensatz zum Ausgangsplot wurde die Bandbreite (BW) von 33 Hz auf über 100 Hz erhöht. Es wurde ein Notch Filter auf die Resonanzfrequenz gesetzt, wodurch diese aktiv gedämpft wurde. Dabei werden die Vorgaben bezüglich der maximalen Verstärkungen (Max. Gain Suspension (3dB) und Max. Gain Resonance (-3dB)) eingehalten.

**Verhalten eines geregelten Systems mit Mehrmassenmechanik**

In der Praxis verwendete Mechaniken haben häufig kein reines Zweimassenverhalten sondern Mehrmassenverhalten. Solche Systeme können durch eine Reihenschaltung mehrerer Zweimassensysteme modelliert werden.



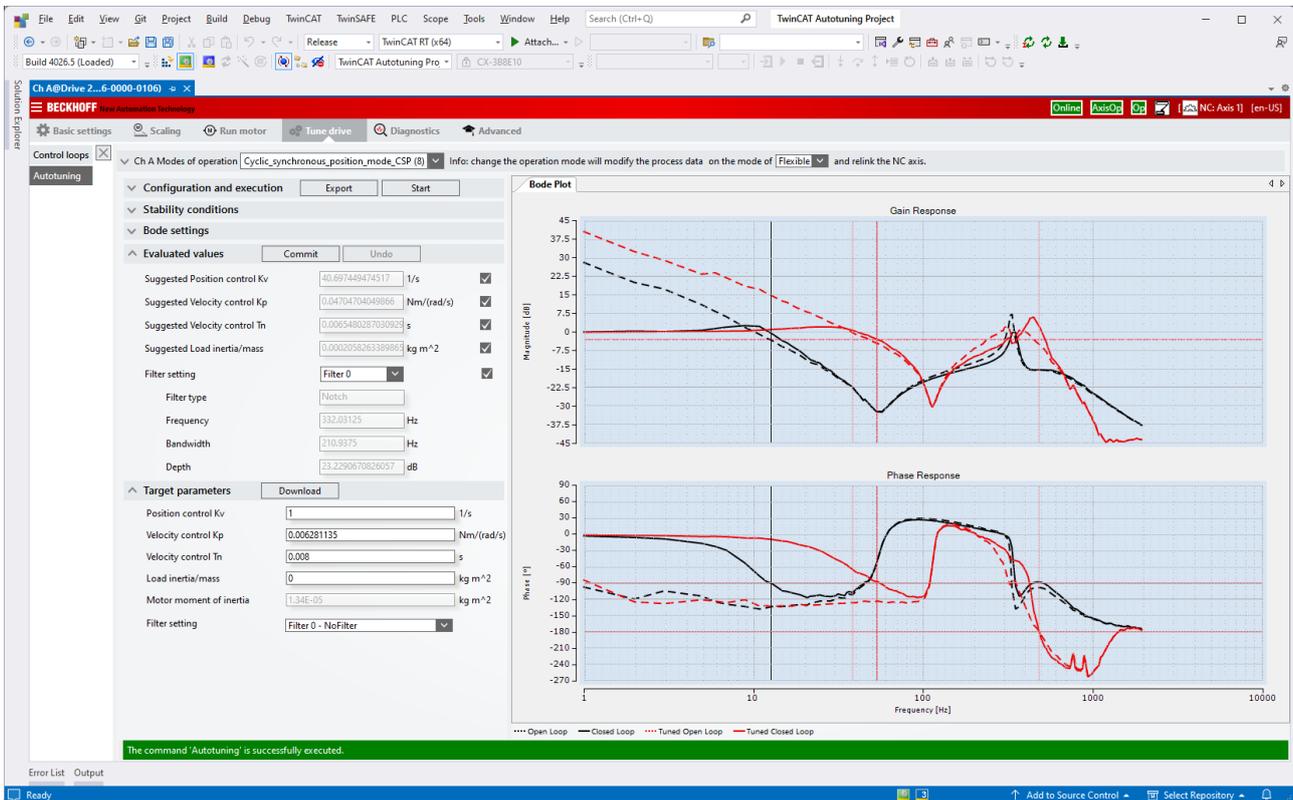
Für das Regler tuning ist dabei aus praktischer Sicht die niederfrequente Resonanz relevant, da dort auch die niederfrequente Lastabkopplung stattfindet. Ein Beispiel für das Tuning eines solchen Systems zeigt der folgende Frequenzgang.



# 5 Konfiguration

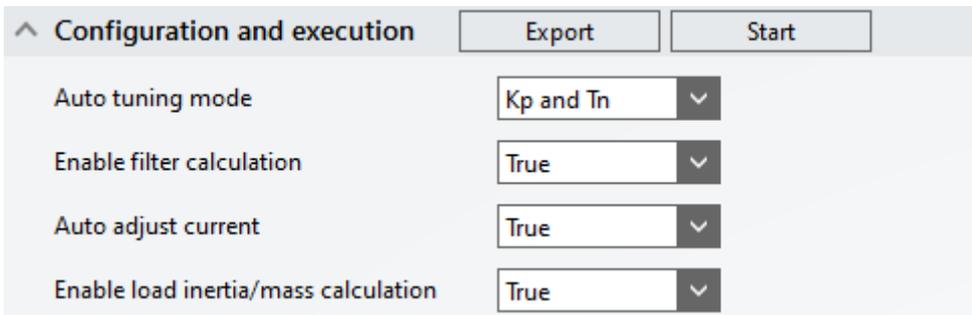
Das TwinCAT 3 Autotuning ermöglicht es, kompatible Achsen ohne spezielle Einstellungen performant in Betrieb zu nehmen. Die Antriebsparameter werden hierbei respektive der wesentlichen Stabilitätskriterien berechnet. Je nach Beschaffenheit der vorliegenden Mechanik können diese Kriterien, bestehend aus Amplitudenmaximum sowie Phasen- und Amplitudenreserve, aus vordefinierten Parametersätzen gewählt oder individuell festgelegt werden. Darüber hinaus können alle wesentlichen Einstellungen aus dem TwinCAT 3 Bode Plot angepasst werden.

Im Folgenden werden alle editierbaren Parameter beschrieben.



## 5.1 Konfiguration und Ausführung

Hier können die Ziele des Tunings definiert werden, der Prozess gestartet und Ergebnisse exportiert werden.



- **Export:** Öffnet das Dateifenster zum Speichern des erzeugten TwinCAT 3 Bode Plot-Projektes. Siehe hierzu: [Exportieren der Tuningresultate \[▶ 36\]](#)
- **Start:** Startet das Autotuning.
- **Auto tuning mode:** Definiert die zu suchenden Antriebsparameter für das Tuning. Zur Verfügung stehen:
  - **Kp and Tn:** Berechnung des Verstärkungsfaktors des Drehzahlreglers sowie der Integrationszeitkonstante.

- **Kp only:** Berechnung des Verstärkungsfaktors des Drehzahlreglers ohne Anpassung der Integrationszeitkonstante.
- **Filter based:** Reine Filterberechnung ohne Berechnung der übrigen Parameter. Nach Applikation der berechneten Filter wird eine Anpassung der Reglerparameter empfohlen.
- **Enable filter calculation:** De-/Aktiviert die Berechnung von Stromsollwert-Filtern bei verfügbaren Filter-Slots. Siehe: [ConfigureDriveManager](#) [► 32]
- **Auto adjust current:** De-/Aktiviert die automatische Einstellung der Basis- und Signalamplitude. Falls deaktiviert, können die Werte im Bereich [Bode settings](#) [► 24] angepasst werden.
- **Enable load inertia/mass calculation:** De-/Aktiviert die Berechnung der Lastträgheit des mechanischen Systems (Gesamtmasse).

## 5.2 Stabilitätsbedingungen

Hier können die Einstellungen für die im Tuning einzuhaltenden Grenzwerte für die Stabilität des Systems durchgeführt werden.

^ Stability conditions		
Load category	Stiff	▼
Max. closed loop gain (suspension)	3	dB
Max. closed Loop gain (resonance)	0	dB
Gain margin threshold	8	dB
Phase margin threshold	35	°

- **Load category:** Wählt einen Satz typischer Werte für die nachfolgenden Parameter. Als vorkonfigurierte Sätze stehen zur Verfügung:
  - **Stiff:** Grenzwerte für steif angebundene Masse im System; direkte Systemantwort erwartet.
  - **Medium:** Grenzwerte für mittelfest angebundene Masse im System.
  - **Soft:** Grenzwerte für weich angebundene Masse im System; späte Systemantwort erwartet.
- **Max. closed loop gain (suspension):** Maximale zulässige Amplitude im Frequenzbereich unterhalb der ersten Antiresonanz.
- **Max. closed loop gain (resonance):** Maximale zulässige Amplitude im Frequenzbereich oberhalb der ersten Antiresonanz.
- **Gain margin threshold:** Setzt die einzuhaltende Amplitudenreserve. Die Frequenz entspricht der Stelle, an welcher der Phasengang des offenen Regelkreises (open loop phase) den Wert  $-180^\circ$  unterschreitet.
- **Phase margin threshold:** Setzt die einzuhaltende Phasenreserve. Die Frequenz entspricht der Stelle, an welcher der Amplitudengang des offenen Regelkreises (open loop gain) unter den Wert von 0 dB fällt.

## 5.3 Bode Einstellungen

Hier können die Einstellungen für den Bode Plot, d.h. die Frequenzgänge der initialen Aufnahme und der Validierungsmessung, angepasst werden.

^ Bode settings		
Max frequency	<input type="text" value="2000"/>	Hz ▾
Min frequency	<input type="text" value="1"/>	Hz ▾
Frequency steps	<input type="text" value="200"/>	
Position monitoring window	<input type="text" value="180"/>	°
Velocity Amplitude Scaling Mode	<input type="text" value="1/5 at 1000Hz"/>	▾
Velocity base amplitude	<input type="text" value="16.292431"/>	°/s
Velocity signal amplitude	<input type="text" value="42.318002"/>	°/s
Max. current threshold	<input type="text" value="20"/>	%
Dynamic container id	<input type="text" value="0x30A0010"/>	▾
Check drive limitations	<input type="text" value="False"/>	▾
Max steps per response	<input type="text" value="20"/>	
Signal generator	<input type="text" value="MultiSinus"/>	▾
Autoscale gain	<input type="text" value="True"/>	▾
Trace level	<input type="text" value="Warning"/>	▾

- **Max frequency:** Gibt die obere Frequenzgrenze des Bode Plot [in Hz] an.
- **Min frequency:** Gibt die untere Frequenzgrenze des Bode Plot [in Hz] an.
- **Frequency Steps:** Anzahl der Messpunkte im Bode Plot.
- **Position Monitoring Window:** Definiert ein Fenster, welches während des Bode Plots überwacht wird. Das Objekt darf dieses Fenster nicht verlassen. Es wird die tatsächlich eingestellte Einheit ausgelesen und die Zahl entsprechend der Einheit interpretiert.
- **Velocity Amplitude Scaling Mode:** Skaliert die Signalamplitude während der Aufnahme, um bei steigender Frequenz nicht zu weite Bewegungen durchführen zu müssen. Verfügbar sind:
  - **Constant:** Die Amplitude entspricht der parametrisierten Signalamplitude und bleibt über den gesamten Frequenzbereich konstant.
  - **1 / X at 1000Hz:** Skaliert die Amplitude so, dass sie bei 1000Hz auf 1 / X der Startamplitude von 1Hz abgefallen ist ( $\sim 1/f$ ). Praktisch sinnvolle Verhältnisse lauten 1/5, 1/10 und 1/20.
- **Velocity Base Amplitude:** Stellt die Amplitude der Basisschwingung ( $\sim 1$ Hz) zur Überwindung der Haftreibung ein. Die Maßeinheit ist dabei aus den Systemeinstellungen (z.B. Drive, NC,...) zu entnehmen und kann hier nicht vorgegeben werden.
- **Velocity Signal Amplitude:** Stellt die Amplitude der Signal- (oder Mess-) Schwingung bei 1Hz dar (vgl. Velocity Amplitude Scaling Mode). Die Maßeinheit ist dabei den Systemeinstellungen (z.B. Drive, NC,...) zu entnehmen und kann hier nicht vorgegeben werden.
- **Max current threshold:** Zielwert in Prozent des gemessenen Stroms bei aktivierter automatischen Einstellung der Anregungsamplituden.
- **Dynamic Container id:** Stellt die ID des Containers für dynamische Prozessdaten ein. Der DynContainer wird im TwinCAT-Projekt an das EtherCAT-Device angefügt.
- **Check Drive Limitations:** Soll eine Kontrolle über die Achsen erfolgen, kann dies hier angegeben werden.
- **Maximum Steps per Response:** Stellt die Anzahl der Messpunkte je Systemantwort für Breitbandanregungen (z.B. MultiSine, Chirp, PRBS) ein.
- **Signal Generator:** Zeigt den Anregungs-Typ des verwendeten Signalgenerators an. Verfügbar sind:

- **Sine:** Standard Sinus-Schwingung bzgl. der eingestellten Amplitude.
- **MultiSine:** Amplitudenmodulierter Breitband-Sinus.
- **Chirp:** Zeitlich verändernde, sinusförmige Anregung, Zirpe.
- **PRBS:** Die Pseudorandom Binary Sequence (PRBS) approximiert ein breitbandiges, weißes Rauschen.
- **Autoscale Gain:** (De-)Aktiviert die automatische Skalierung im Chart des Amplitudengangs.
- **Trace Level:** Stellt den Detaillevel der in der Error List ausgegebenen und vom „Drive Diag –TcCom Object“ erzeugten Messages ein. Zur Verfügung stehen Always, Error, Verbose und Warning.

## 5.4 Evaluierungswerte

Hier können sie nach erfolgreichem Tuning die zu übernehmenden Parameter ausgewählt und für den Download übernommen oder zurück gesetzt werden.

^ Evaluated values		Commit	Undo
Suggested Position control Kv	<input type="text" value="40.697449474517"/>	1/s	<input checked="" type="checkbox"/>
Suggested Velocity control Kp	<input type="text" value="0.04704704049866"/>	Nm/(rad/s)	<input checked="" type="checkbox"/>
Suggested Velocity control Tn	<input type="text" value="0.0065480287030929"/>	s	<input checked="" type="checkbox"/>
Suggested Load inertia/mass	<input type="text" value="0.0002058263389865"/>	kg m <sup>2</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>
Filter setting	<input type="text" value="Filter 0"/>		<input checked="" type="checkbox"/>
Filter type	<input type="text" value="Notch"/>		
Frequency	<input type="text" value="332.03125"/>	Hz	
Bandwidth	<input type="text" value="210.9375"/>	Hz	
Depth	<input type="text" value="23.2290670826057"/>	dB	

- **Commit:** Bestätigt das Übernehmen der vorgeschlagenen Reglerparameter.
- **Undo:** Zurücksetzen der Reglerparameter auf die Voreinstellungen.
- **Suggested Position control Kv:** Vorgeschlagener Wert für den Verstärkungsfaktor des Positionsreglers.
- **Suggested Position control Kp:** Vorgeschlagener Wert für den Verstärkungsfaktor des Drehzahlreglers.
- **Suggested Position control Tn:** Vorgeschlagener Wert für die Integrationszeitkonstante des Drehzahlreglers.
- **Suggested Load inertia/mass:** Vorgeschlagene Lastträgheit / Gesamtmasse des Systems.
- **Filter setting:** Auswahl der vorgeschlagenen Filter. Je nach Filtertyp werden zugehörige Parameter angezeigt:
  - **Filter type:** Typ des zu implementierenden Filters.
  - **Frequency:** Frequenzpunkt in Hertz für den Stromsollwert-Filter.
  - **Bandwidth:** Bandbreite des Filters angegeben in Hertz.
  - **Depth:** Tiefe des Filters in Dezibel.

## 5.5 Antriebs-Zielsystem Parameter

Hier können die aktuellen Antriebsparameter und Filter eingesehen und geändert werden. Ein Download mehrerer geänderter Parameter (rot) ist durch die Schaltfläche Download

^ Target parameters		Download
Position control Kv	<input type="text" value="1"/>	1/s
Velocity control Kp	<input type="text" value="0.006281135"/>	Nm/(rad/s)
Velocity control Tn	<input type="text" value="0.008"/>	s
Load inertia/mass	<input type="text" value="0"/>	kg m <sup>2</sup>
Motor moment of inertia	<input type="text" value="1.34E-05"/>	kg m <sup>2</sup>
Filter setting	<input type="text" value="Filter 0 - NoFilter"/>	▼

- **Download:** Herunterladen der editierten (rot markierten) Antriebsparameter und Filter.
- **Position control Kv:** Aktueller Wert für den Verstärkungsfaktor des Positionsreglers.
- **Velocity control Kp:** Aktueller Wert für den Verstärkungsfaktor des Drehzahlreglers.
- **Velocity control Tn:** Aktueller Wert für die Integrationszeitkonstante des Drehzahlreglers.
- **Load inertia/mass:** Aktuell konfigurierte Lastträgheit / Gesamtmasse des Systems.
- **Motor moment of inertia:** Motorspezifische Trägheitskonstante.
- **Filter setting:** Anzeige der aktiven Stromsollwert-Filter.

## 6 Beispiele

### 6.1 TwinCAT 3 Autotuning - Erste Schritte

Im Folgenden werden die ersten wesentlichen Schritte zum Tuning einer TwinCAT kompatiblen Achse mit dem TwinCAT 3 Autotuning erläutert. Hierbei wird exemplarisch ein neues Projekt für das Tuning angelegt und alle notwendigen (und empfohlenen) Einstellungen durchgeführt. Diese lassen sich analog auch in bestehenden Projekten umsetzen.

#### ⚠️ WARNUNG

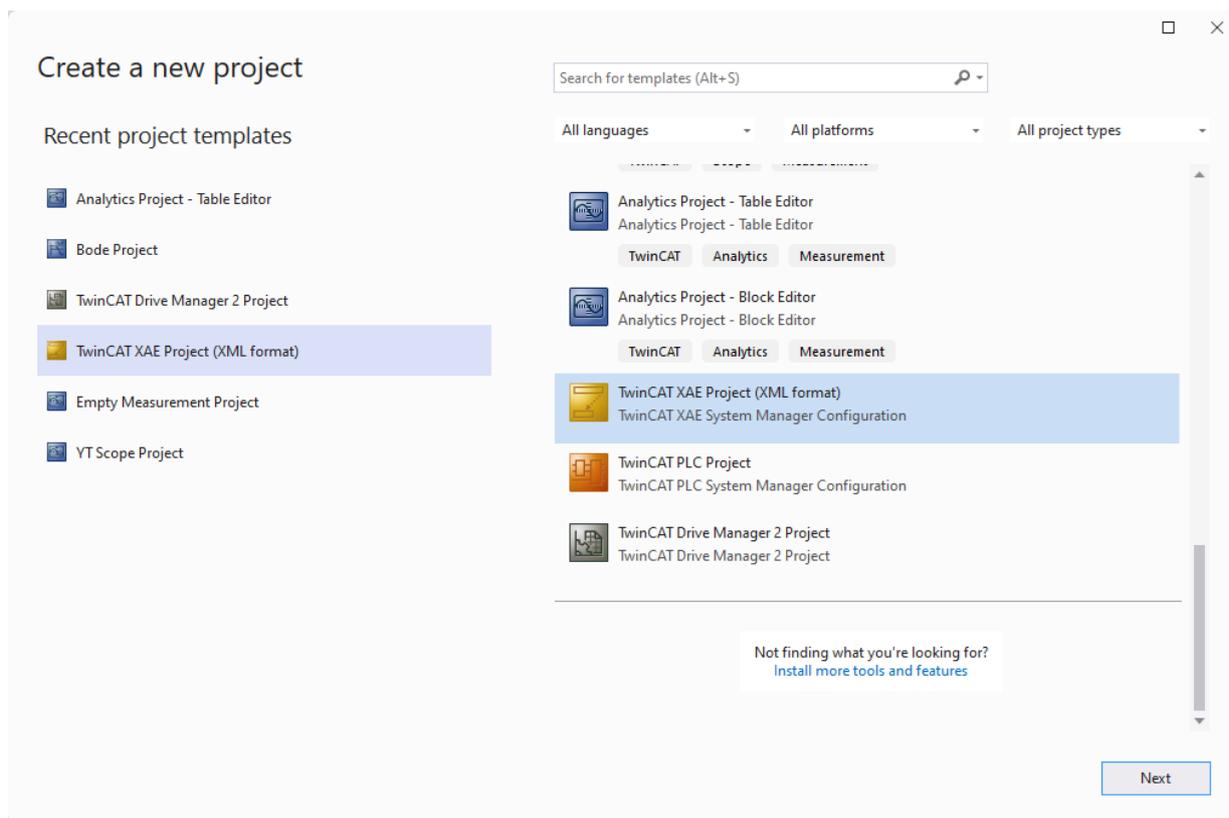
##### Verletzungsgefahr durch automatisches Loslaufen der Antriebsachse

Zur Erstellung des Bode-Diagramms führt die Antriebsachse einen von den Einstellungen abhängigen Bewegungsablauf durch. Mit dem Start der Aufnahme läuft die Antriebsachse eigenständig entsprechend des eingestellten Bewegungsprofils los und kann Mensch und Material gefährden. Während der Aufnahme ist die Antriebsachse weiterhin in den Applikationskontext eingebunden (z. B. Freigaben, Überwachung, ...).

- Sorgen Sie während der Aufnahme des Bode-Diagramms für eine entsprechende Sicherung.

#### TwinCAT-Projekt anlegen

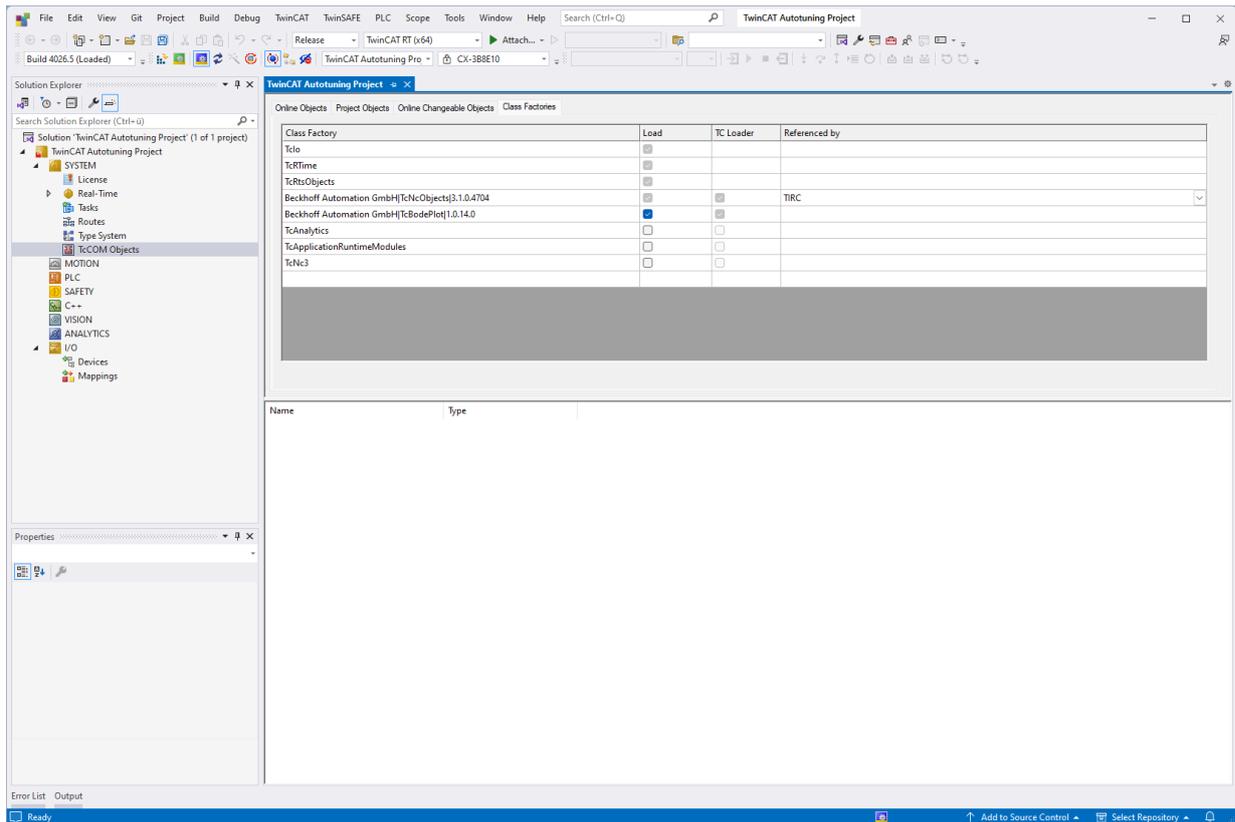
1. Öffnen Sie über **File > New > Project** ein neues TwinCAT XAE-Projekt (XML Format).  
⇒ Daraufhin wird eine neue Projektmappe angelegt und geöffnet.



#### Registrieren der Klassen

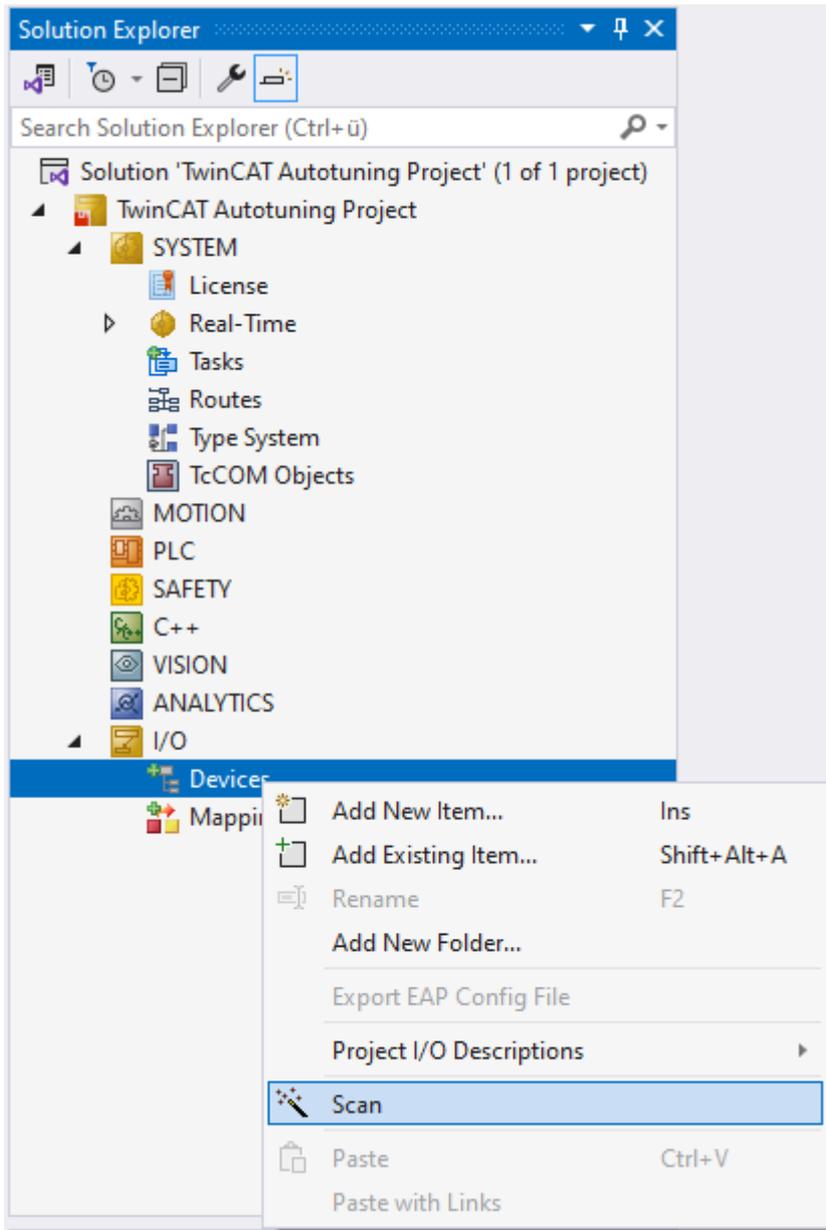
- ✓ Das TwinCAT 3 Autotuning basiert auf dem TwinCAT 3 Bode Plot. Dieser wird im TwinCAT-System von einem TcCOM-Objekt durchgeführt, welches automatisch erzeugt wird. Für die späteren Aufnahmen des Frequenzgangs ist es daher notwendig, die zugehörigen Klassenbeschreibungen für **TcBodePlot** (und **TcNcObjects**) bekannt zu machen.

1. Dies führen Sie unter dem Projektknoten **TcCOM Objects** in dem Reiter **Class Factories** durch.



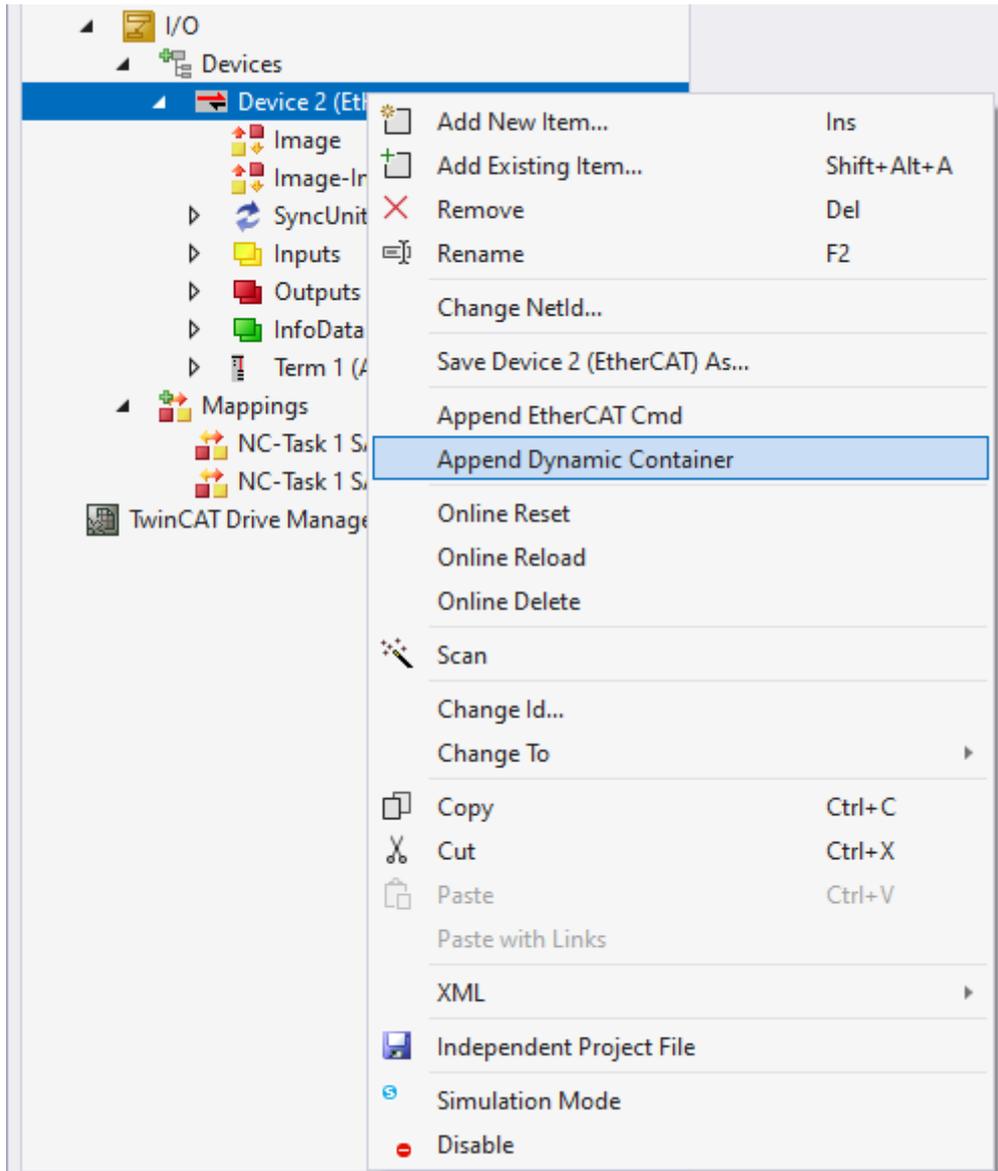
## Antriebe scannen und dynamischen Speicher anlegen

1. Suchen Sie im Projektbaum unter **I/O > Devices** auf dem gewählten Zielsystem nach verfügbaren Achsen, indem Sie **Scan** auswählen.

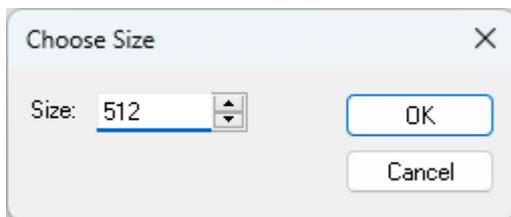


- ⇒ Für die verfügbaren Achsen werden unter dem Knoten MOTION automatisch zugehörige Elemente angelegt.
- ⇒ Die Kommunikation zwischen dem TcBodePlot und der NC / CNC erfolgt über das TcNcObjects und benötigt für das Oversampling im Antrieb einen dynamischen Speicherbereich.

- Diesen fügen Sie am zugehörigen Device über das Kontextmenü durch **Append Dynamic Container** hinzu.



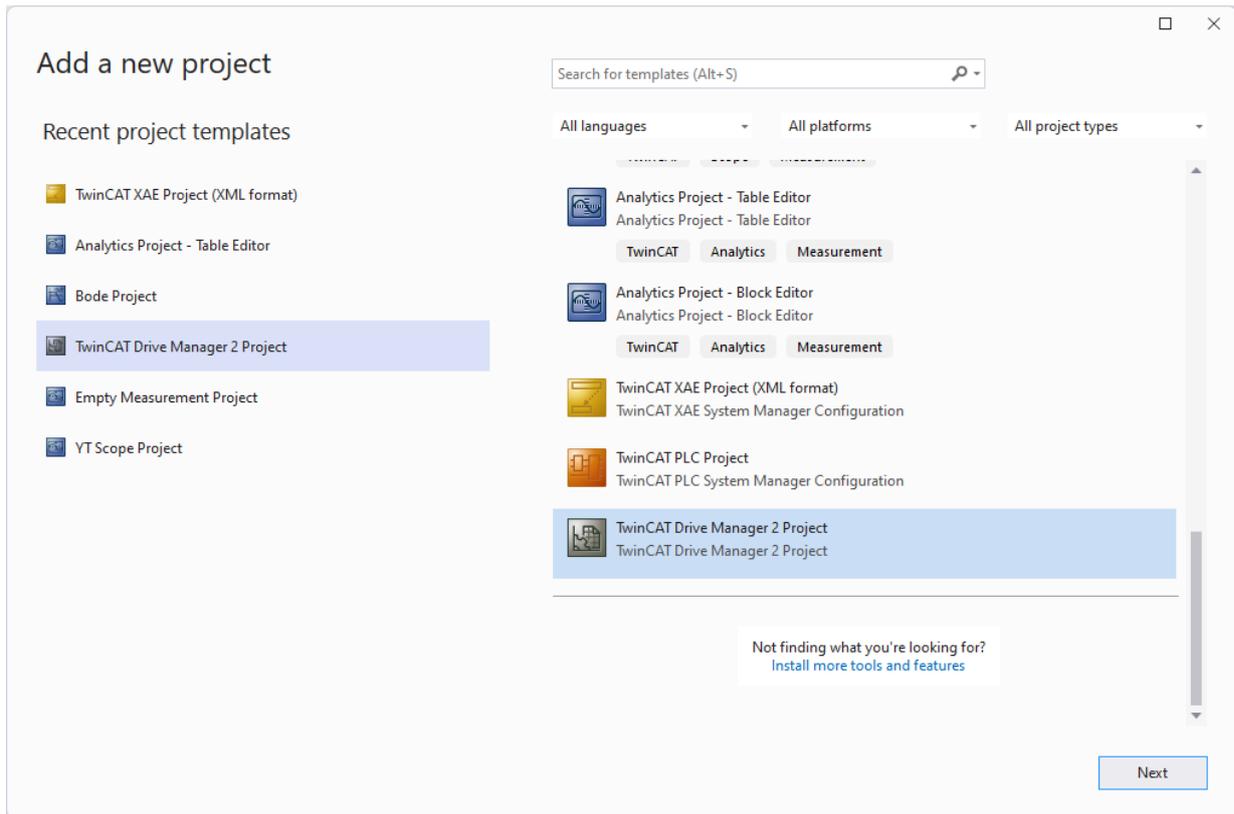
- Im sich öffnenden Fenster für die Einstellung der Größe des Dynamic Containers müssen Sie auf eine Größe von 512 anpassen.



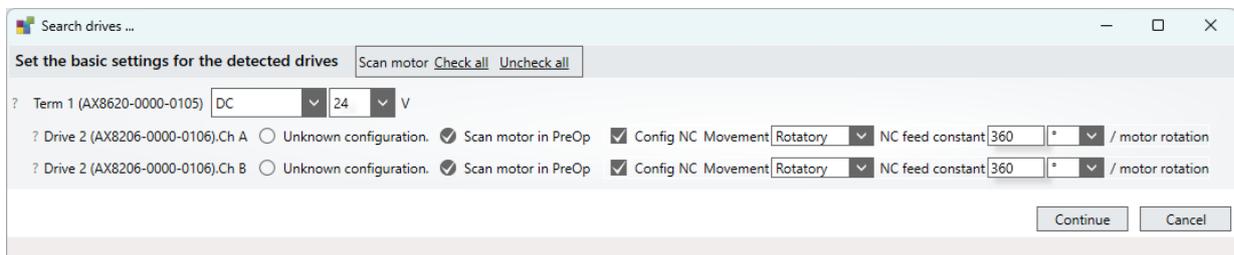
**Zuerst muss ein Drive Manager 2-Projekt der TwinCAT Solution hinzugefügt werden.**

- ✓ Die Parametrierung und Ausführung des TwinCAT 3 Autotuning erfolgt über den TwinCAT 3 Drive Manager 2.

1. Fügen Sie der Projektmappe hierfür ein neues Projekt hinzu:



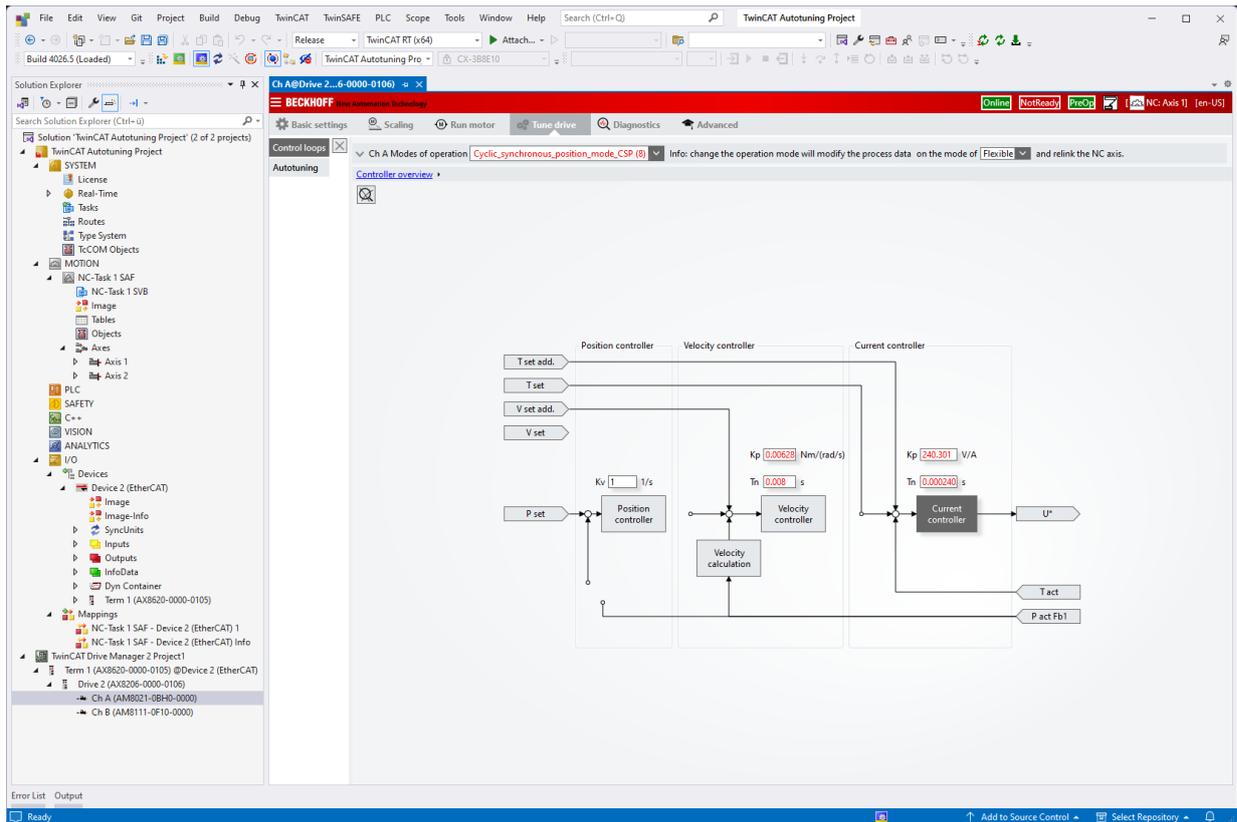
2. Öffnen Sie das angelegte Projekt und führen Sie die Suche nach Antrieben durch. Passen Sie falls notwendig die Parameter der erkannten Antriebe an.



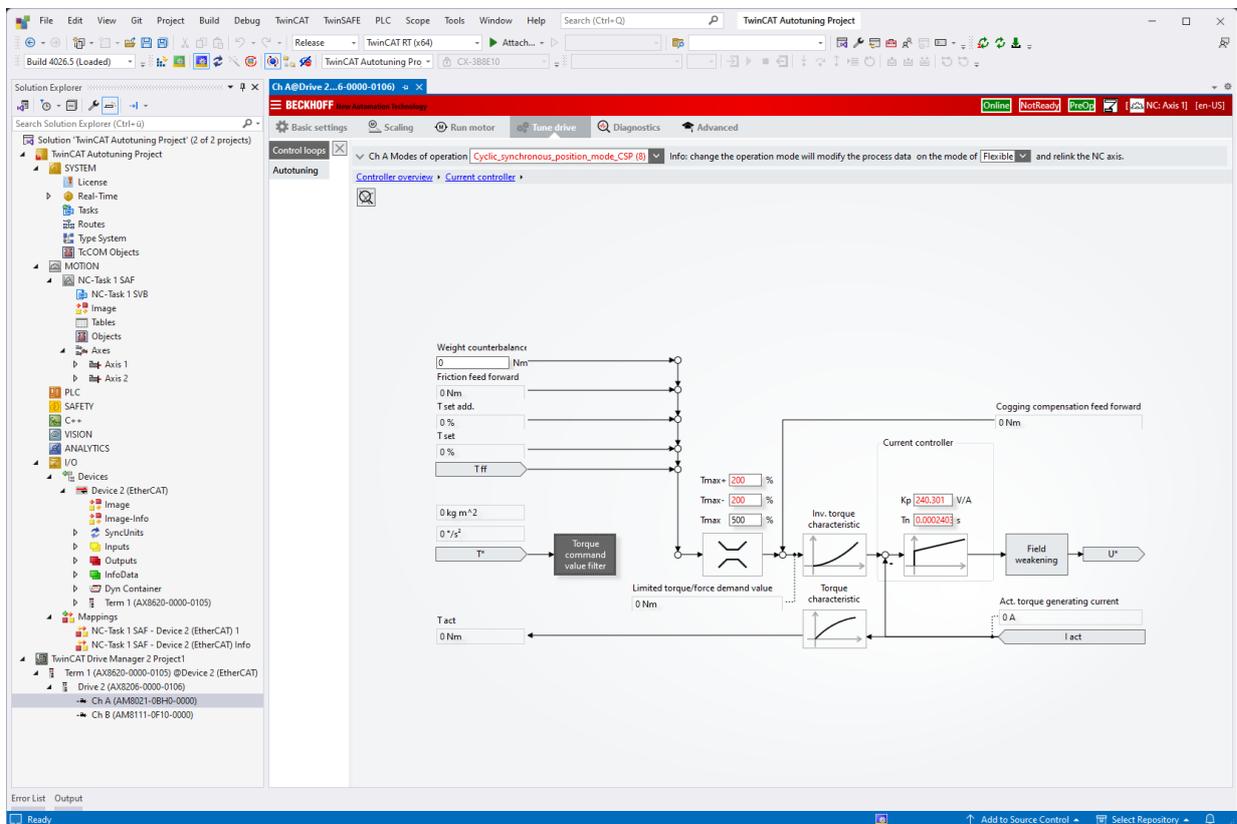
### Konfiguration im TwinCAT Drive Manager 2 (empfohlen)

- ✓ Für ein bestmögliches Ergebnis des Tunings wird empfohlen, die Verwendung von Stromsollwert-Filtern für den ausgewählten Antrieb zu aktivieren.
1. Wählen Sie im Drive Manager 2-Projekt für den gewünschten Antrieb den Reiter **Tune drive** aus.

2. Im sich öffnenden Fenster (**Regler-Übersicht**) wählen Sie den Stromregler (**Current controller**).

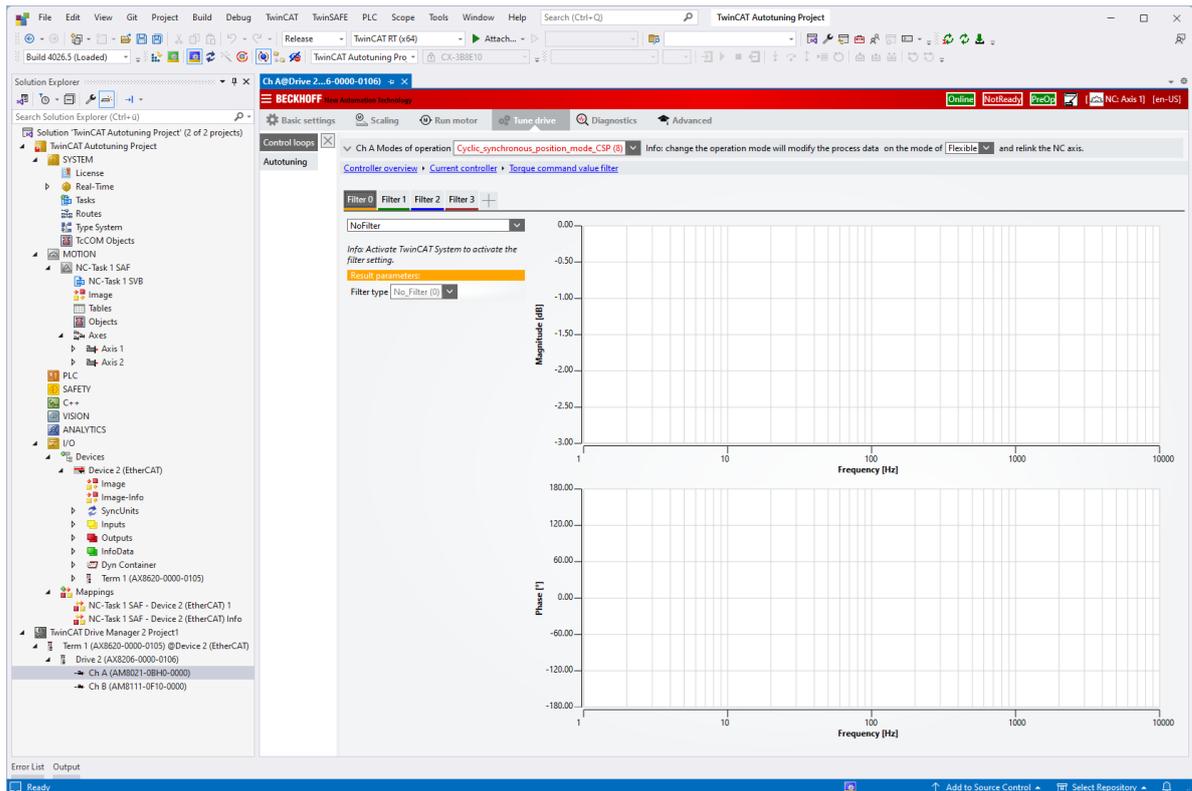


3. Anschließend öffnen Sie das Menü **Torque command value Filter**.



4. Fügen Sie je nach Möglichkeit einen oder mehrere unkonfigurierte Filter (**NoFilter**) hinzu.

⇒ Diese werden im folgenden Tuning falls erforderlich automatisch entsprechend parametrier.

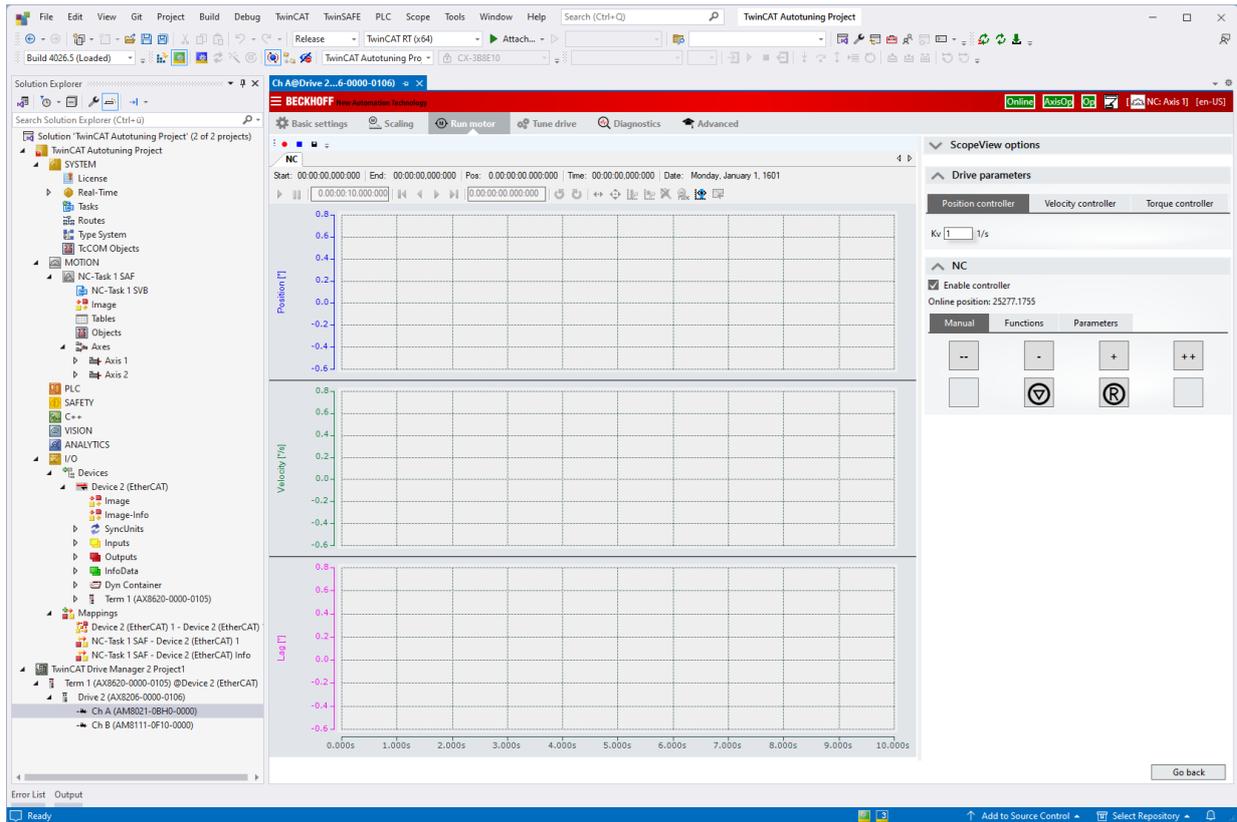


5. Nach einem (erneuten) Aktivieren der Solution sind die vorgenommenen Änderungen verfügbar.
6. Beachten Sie hierfür die Hinweise im Drive Manager 2-Projekt.
7. Führen Sie diesen Schritt falls notwendig noch einmal durch.

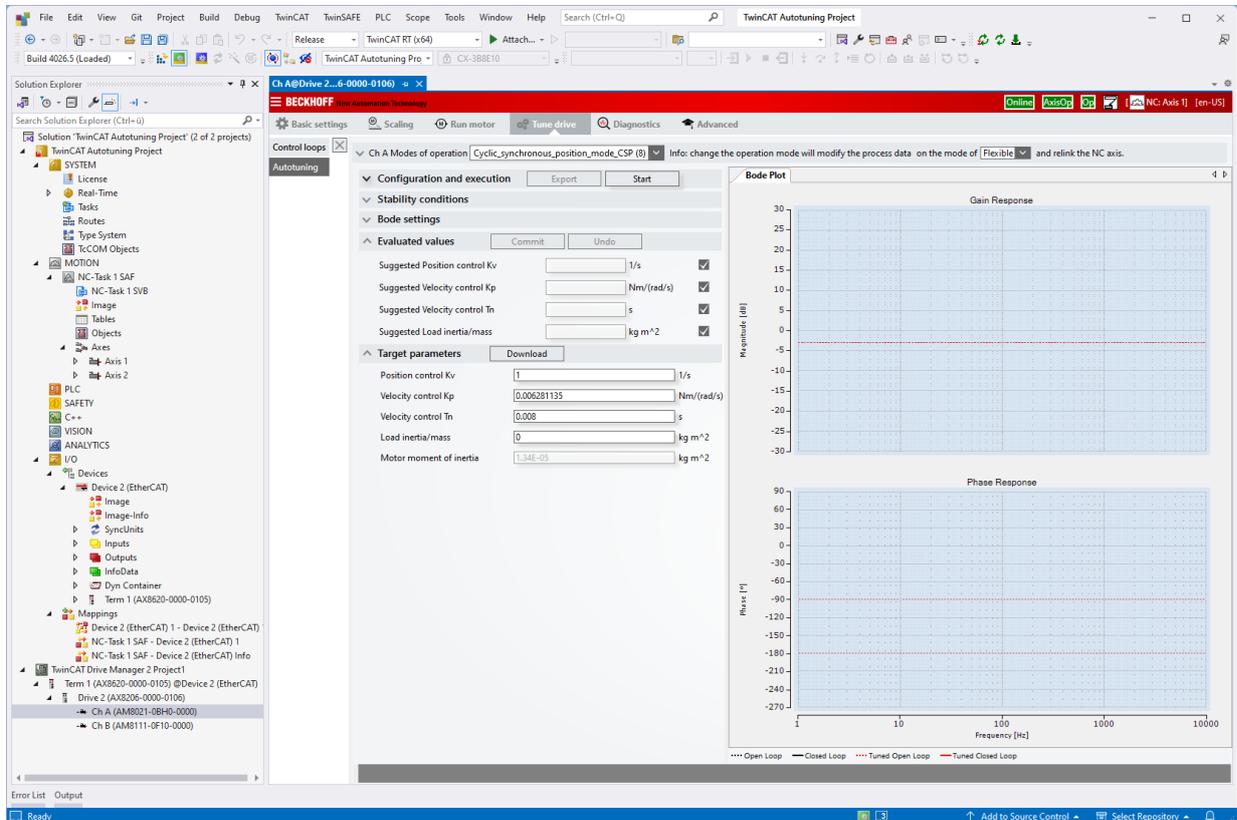
### Starten des Tunings

- ✓ Während der Durchführung des Tunings wird die Achse in Bewegung versetzt, sodass Sie hierfür die Regler aktivieren müssen.

1. Wählen Sie unter den Properties der NC den Reiter **Run motor**, aktivieren Sie den Regler unter **Enable controller**.



2. Wählen Sie bei scharf geschalteter Achse im Reiter **Tune drive** den Menüpunkt **Autotuning** und starten Sie den Vorgang mit einem Klick auf die Schaltfläche **Start**.



3. Nach erfolgreicher Berechnung der Antriebsparameter und der Durchführung einer Validierungsmessung haben Sie die Möglichkeit die vorgeschlagenen Werte zu übernehmen (**Commit**) und anschließend in den Antrieb herunterzuschreiben (**Download**).

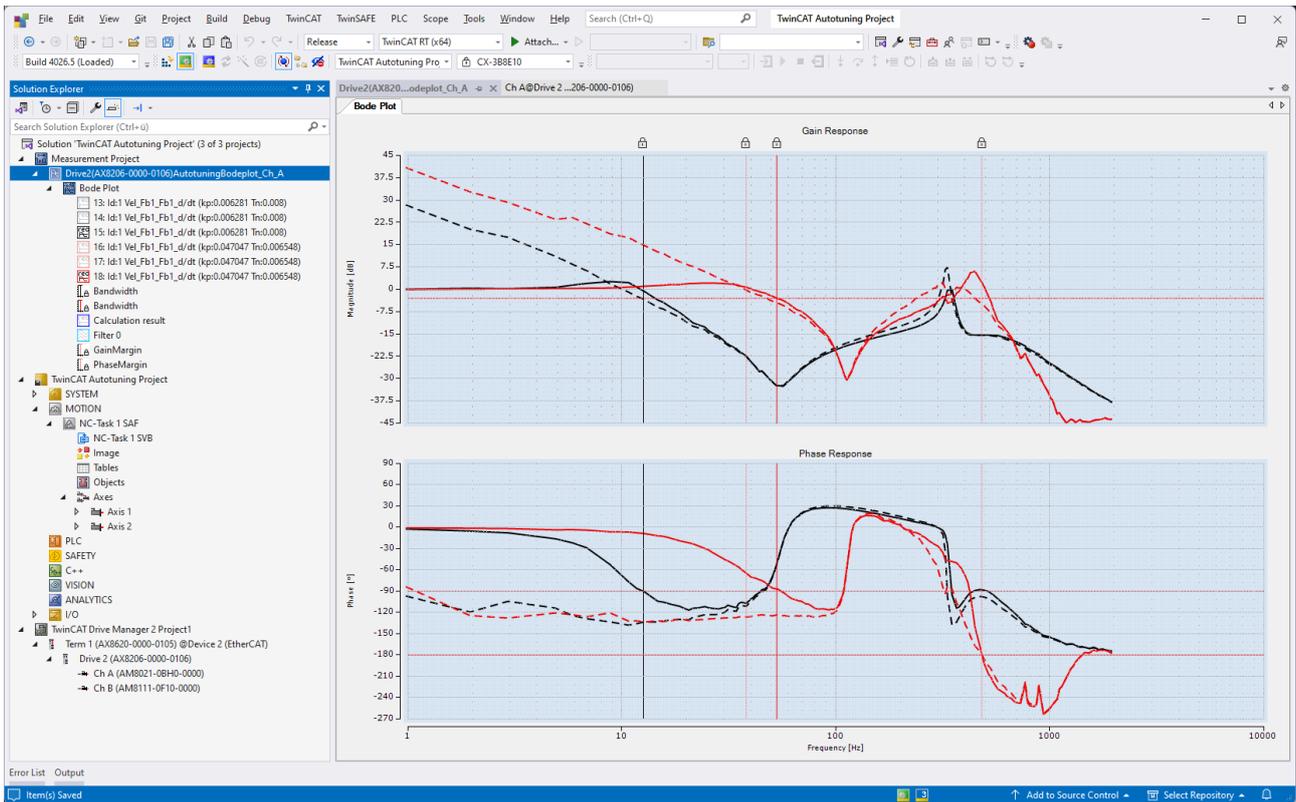
⇒ Für eine detaillierte Analyse, weiterer Verarbeitung der Ergebnisse oder zur Fehlerbehebung können die erzeugten Daten in ein TwinCAT 3 Bode Plot-Projekt exportiert werden.

Weitere Details hierzu finden Sie im Abschnitt [Exportieren der Tuningresultate](#) [► 36].

## 6.2 Exportieren der Tuningresultate

Die im Tuning berechneten Antriebsparameter und Stromsollwert-Filter werden in einem TwinCAT 3 Bode Plot-Projekt gespeichert und können nach der Berechnung sowohl zur intensiven Begutachtung der Resultate als auch zur Fehlerfindung genutzt werden.

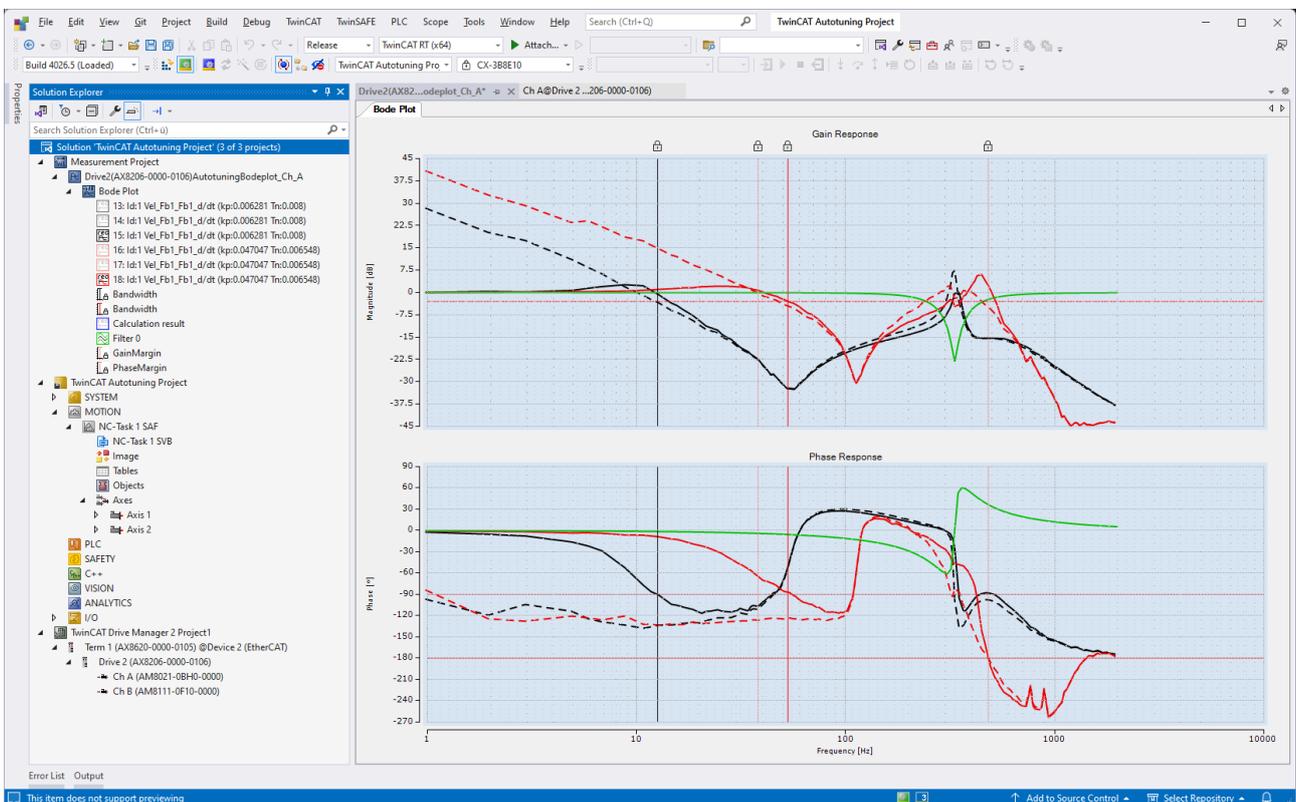
Das exportierte Projekt (\*.tcbodeprojx) kann als existierendes Projekt in ein TwinCAT Measurement-Projekt eingefügt werden.



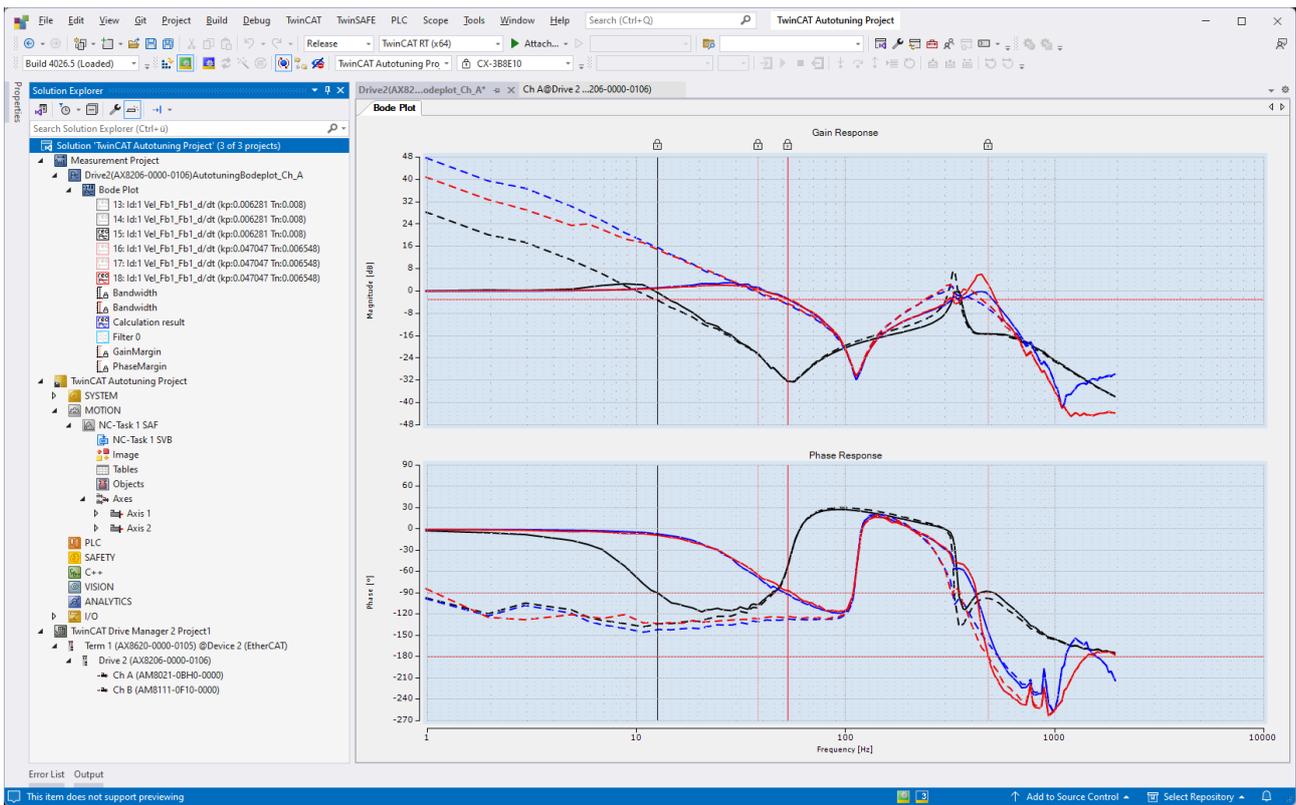
Über die Properties können die berechneten Filter angezeigt und Parameter angepasst werden. Über das Hinzufügen eines „Result Set“ können die Auswirkungen auf die initiale Aufnahme in einer Vorschau berechnet werden.



Das Ändern der Filterparameter erfolgt hier rein exemplarisch, die geänderten Werte werden nicht direkt in den Antrieb heruntergeladen.



Im Falle nicht konsistenter Tuning-Resultate können der simulierte und der gemessene Frequenzgang bzgl. der berechneten Antriebsparameter gegenübergestellt werden. Hierfür muss das „Record Set“ mit der Bezeichnung „Calculation result“ sichtbar gemacht werden.



## 7 Anhang

### 7.1 FAQ - Häufig gestellte Fragen und Antworten

Im Folgenden sind einige Szenarien beschrieben, in denen das TwinCAT 3 Autotuning nicht erfolgreich durchgeführt werden könnte. Die auftretenden Problemen werden skizziert und mögliche Lösungen beschrieben.

#### 7.1.1 Fehlercode 0x6138

##### Problemstellung

Die Aufnahme des Autotunings bricht mit dem Fehler 0x6138 ab.

##### Lösung

Bei der Verwendung des Servosystems AX8206 kann es zu dem genannten Fehler kommen. In diesem Fall entfernen Sie für die Dauer des Tunings der gewünschten Achse (Kanal) kurzzeitig den Feedback Slot des nicht genutzten Kanals.

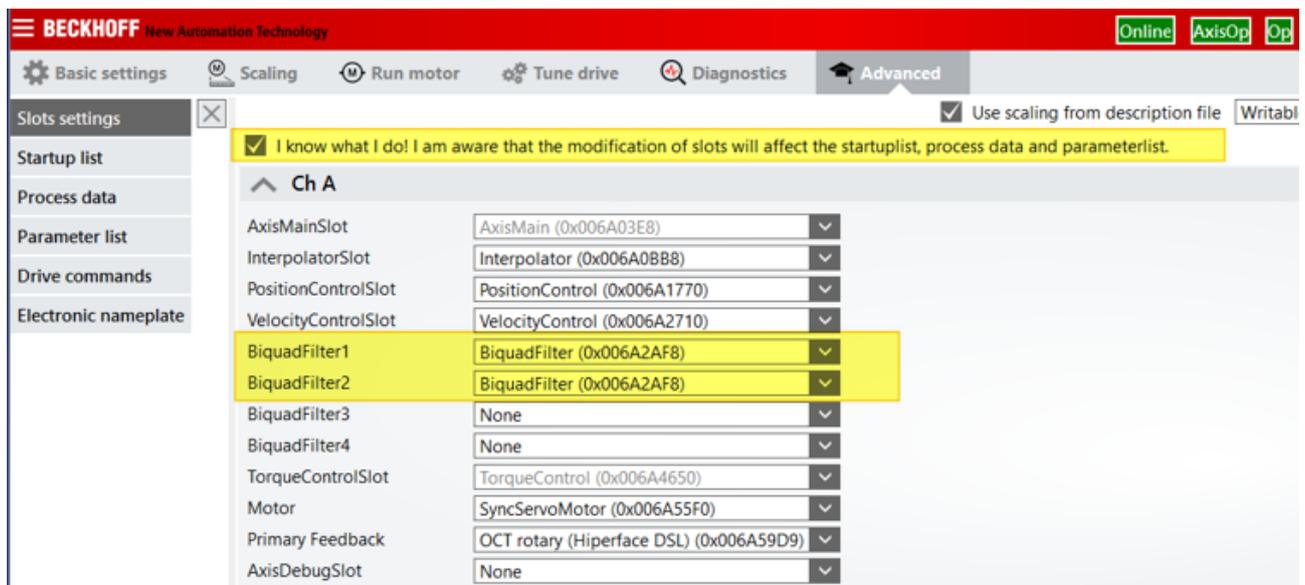
#### 7.1.2 Filterslots bei AX8000/AMP8000

##### Problemstellung

Die Verwendung von Filtern unter AX8000 / AMP8000 ist nicht möglich oder die Filter werden berechnet, aber nicht angewendet.

##### Lösung

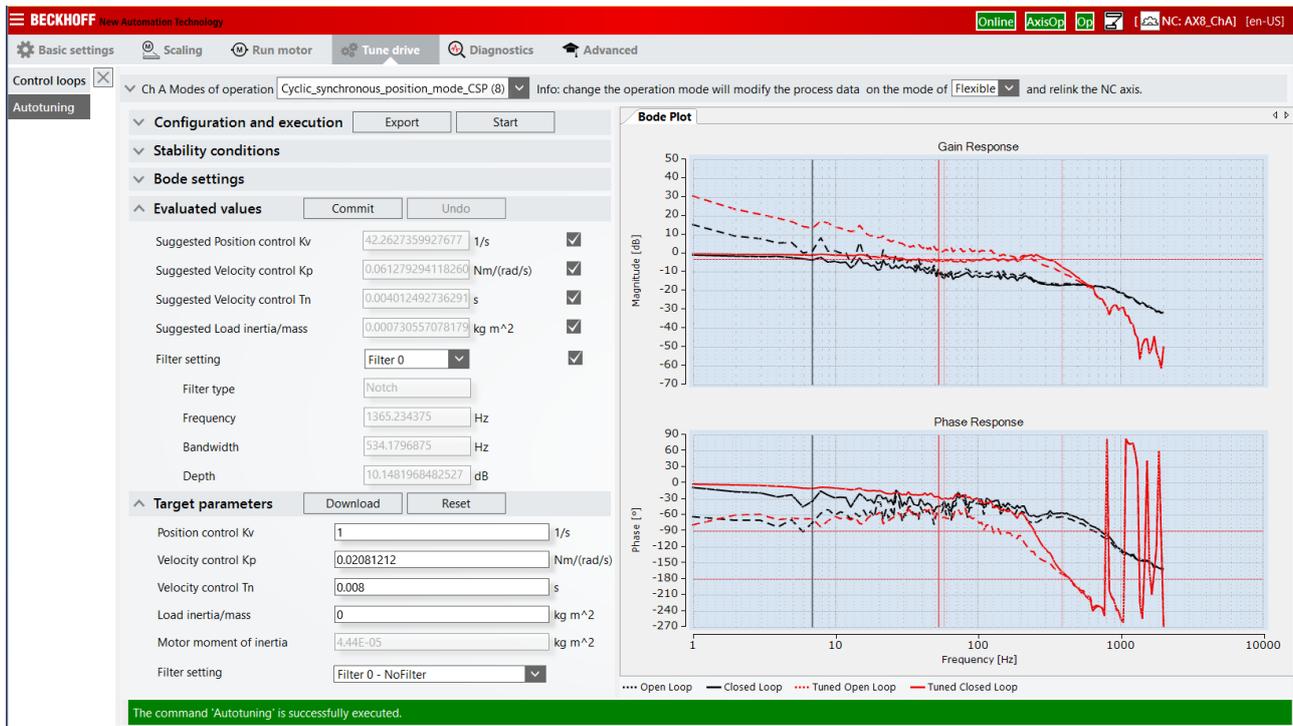
Aktivieren Sie in den erweiterten (Advanced) Einstellungen des Antriebs die gewünschte Anzahl an Filtern. Setzen Sie zudem einen Haken in der übergeordneten Rubrik. Die Filterslots stehen erst nach einem erneuten Aktivieren der Solution im Antrieb zur Verfügung.



#### 7.1.3 Fragmentierte Aufnahme

##### Problemstellung

Die initiale Aufnahme des Frequenzgangs (schwarz) weist im unteren Frequenzbereich deutliche Fragmente in Amplituden- und Phasengang auf.



## Lösung

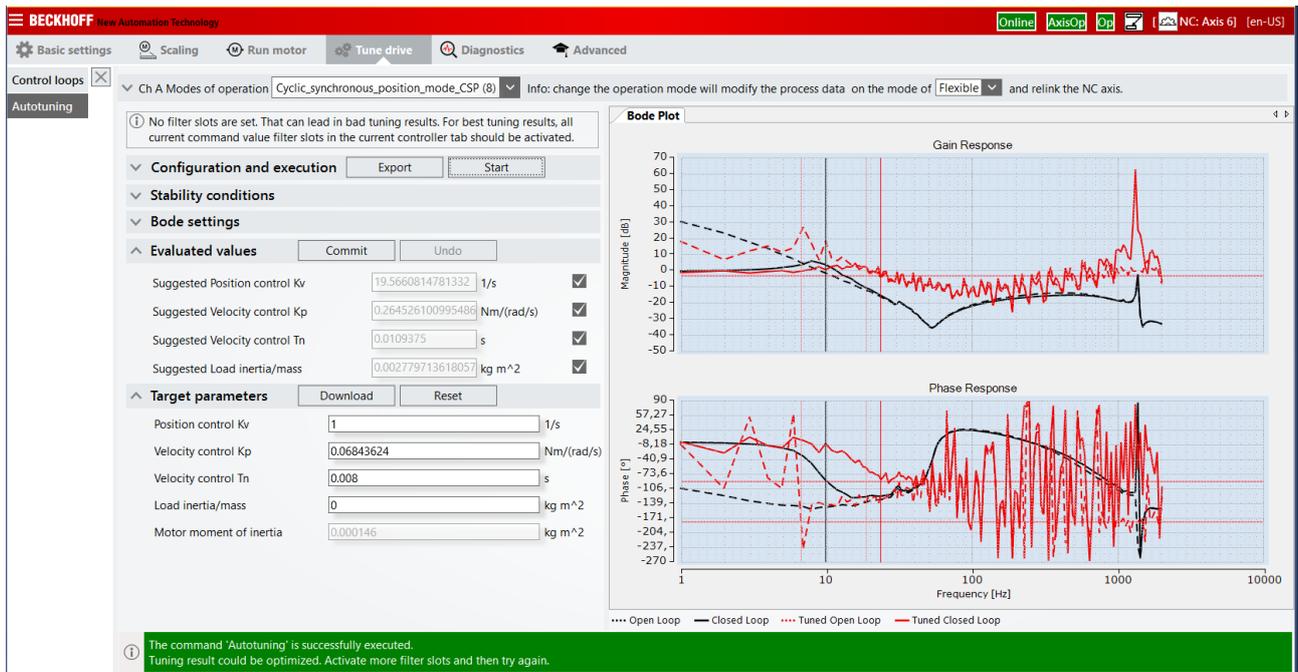
Eine Fragmentierung des Frequenzganges im unteren Frequenzbereich kann durch eine zu geringe Anregung der Achse begründet sein. Es bestehen folgende Möglichkeiten zur Fehlerbehebung:

- Verstärkung der Anregungsamplitude durch eine Erhöhung des prozentualen Schwellwertes bei aktivierter automatischer Ermittlung der Basis- und Signalamplitude. Den zugehörigen Parameter finden Sie in der Rubrik Bode Einstellungen [► 24] unter dem Eintrag „Max. current threshold“.
- Deaktivieren der automatischen Amplitudenermittlung in der Rubrik „Konfiguration und Ausführung [► 23] und manuelle Auswahl der Basis und Signalamplitude in den Bode Einstellungen [► 24].

## 7.1.4 Instabile Validierungsmessung

### Problemstellung

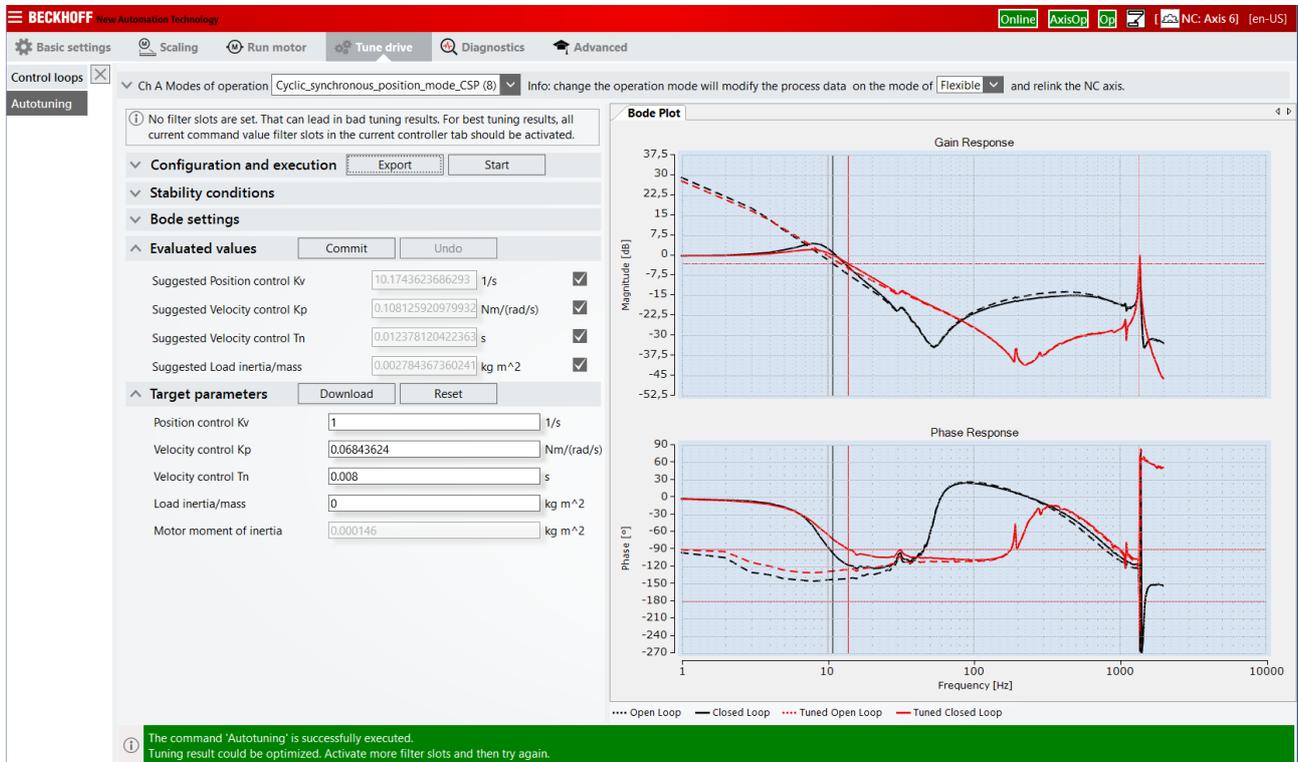
Das Tuning wurde erfolgreich durchgeführt, die Validierung der Ergebnisse (rot) zeigt jedoch ein instabiles Verhalten.



**Lösung**

Im obigen Beispiel wurde ein sehr hoher Wert für den Verstärkungsfaktor für den Drehzahlregler bestimmt, da die initiale Messung den Frequenzgang nicht scharf genug abgebildet hat. Dies hat zur Folge, dass Resonanz und Antiresonanz nicht genau genug bestimmt werden können und die Simulation der Mechanik nicht mit dem realen Verhalten übereinstimmt.

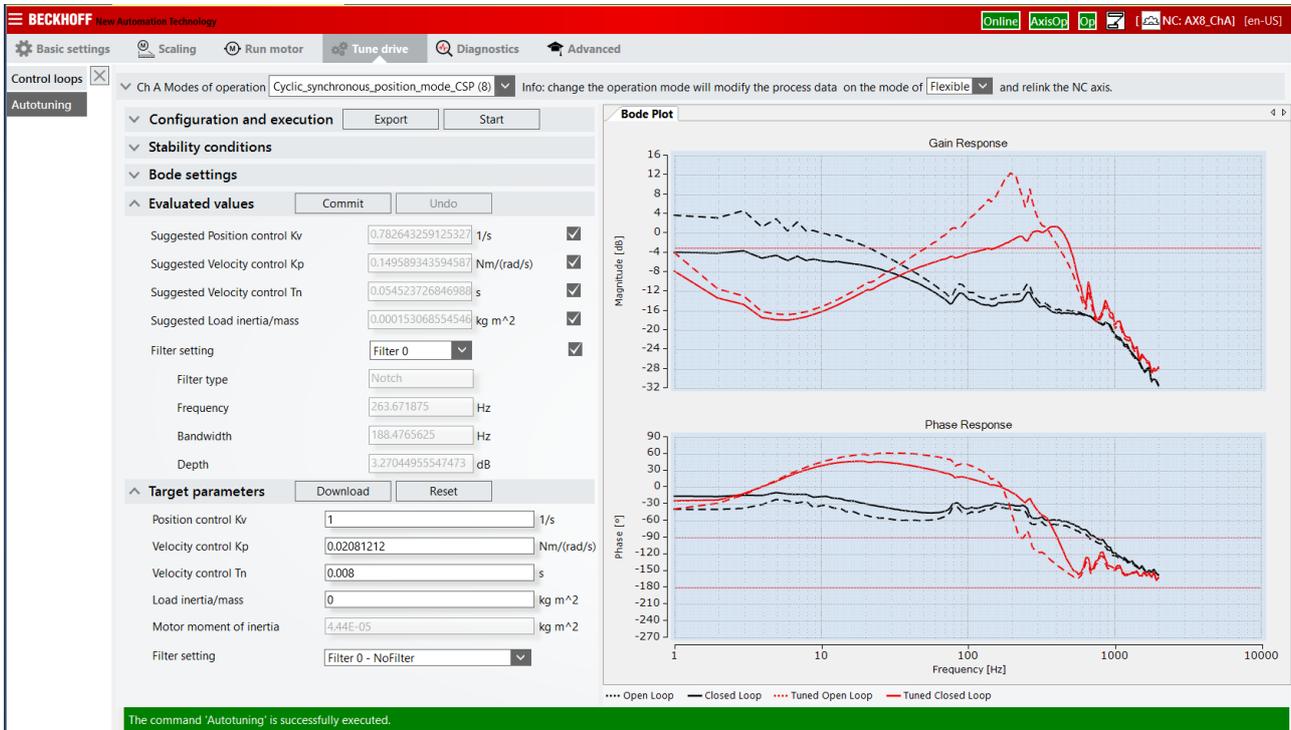
In diesem Fall erhöhen Sie die Auflösung des Frequenzganges im Frequenzbereich durch eine Erhöhung der Anzahl der Stützstellen („Frequency steps“) in der Rubrik Bode Einstellungen | 24].



## 7.1.5 Anregungsprobleme

### Problemstellung

Die Amplitude des getunten Frequenzgangs fällt im unteren Frequenzbereich deutlich unter einen Wert von 0 Dezibel.



### Lösung

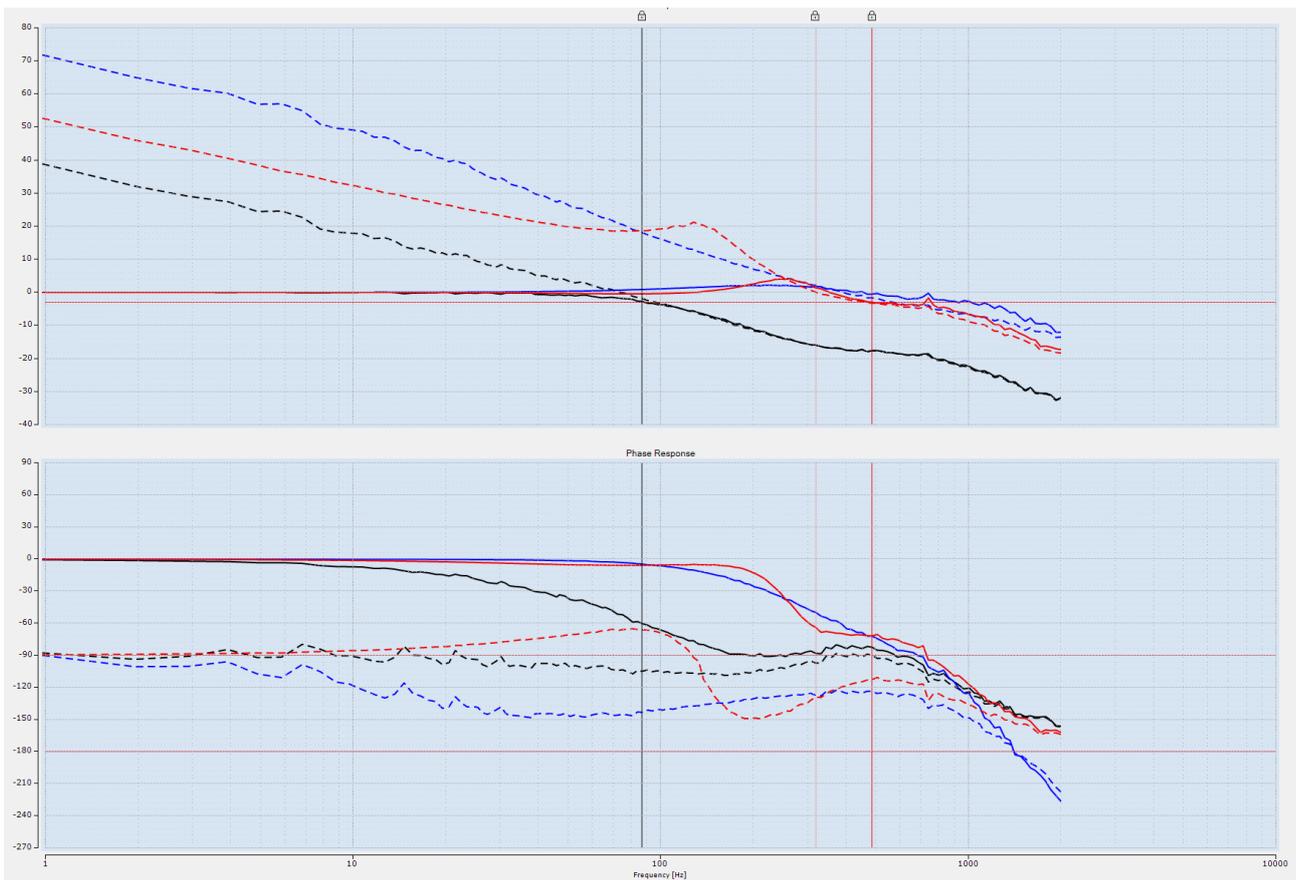
Ein unerwarteter, deutlicher Abfall der Amplitude ist oftmals durch eine zu geringe Anregung begründet. Erhöhen Sie die Anregungsamplitude in der Rubrik **Bode Einstellungen** [► 24], indem Sie entweder den prozentualen Schwellwert erhöhen oder die automatische Kalibrierung der Anregung deaktivieren und manuell einen passenden Wert konfigurieren.

Siehe auch: [Fragmentierte Aufnahme](#) [► 39]

## 7.1.6 Abweichungen in der Validierungsmessung

### Problemstellung

Die Ergebnisse des Autotunings sind nicht konsistent. Bei der Analyse des TwinCAT 3 Bode Plot-Projektes ist eine deutliche Abweichung zwischen dem propagierten („Calculation result“, blau) und dem gemessenen Frequenzgang (rot) mit den ermittelten Antriebsparametern zu erkennen.



**Lösung**

Verwenden Sie einen der unterstützten Beobachtermodi und beachten Sie die Hinweise im TwinCAT Drive Manager 2. Die Auswahl des Beobachters beeinflusst die Mechanik des Systems und muss korrekt gesetzt werden.

## 8 Support und Service

Beckhoff und seine weltweiten Partnerfirmen bieten einen umfassenden Support und Service, der eine schnelle und kompetente Unterstützung bei allen Fragen zu Beckhoff Produkten und Systemlösungen zur Verfügung stellt.

### Downloadfinder

Unser [Downloadfinder](#) beinhaltet alle Dateien, die wir Ihnen zum Herunterladen anbieten. Sie finden dort Applikationsberichte, technische Dokumentationen, technische Zeichnungen, Konfigurationsdateien und vieles mehr.

Die Downloads sind in verschiedenen Formaten erhältlich.

### Beckhoff Niederlassungen und Vertretungen

Wenden Sie sich bitte an Ihre Beckhoff Niederlassung oder Ihre Vertretung für den [lokalen Support und Service](#) zu Beckhoff Produkten!

Die Adressen der weltweiten Beckhoff Niederlassungen und Vertretungen entnehmen Sie bitte unserer Internetseite: [www.beckhoff.com](http://www.beckhoff.com)

Dort finden Sie auch weitere Dokumentationen zu Beckhoff Komponenten.

### Beckhoff Support

Der Support bietet Ihnen einen umfangreichen technischen Support, der Sie nicht nur bei dem Einsatz einzelner Beckhoff Produkte, sondern auch bei weiteren umfassenden Dienstleistungen unterstützt:

- Support
- Planung, Programmierung und Inbetriebnahme komplexer Automatisierungssysteme
- umfangreiches Schulungsprogramm für Beckhoff Systemkomponenten

Hotline: +49 5246 963-157

E-Mail: [support@beckhoff.com](mailto:support@beckhoff.com)

### Beckhoff Service

Das Beckhoff Service-Center unterstützt Sie rund um den After-Sales-Service:

- Vor-Ort-Service
- Reparaturservice
- Ersatzteilservice
- Hotline-Service

Hotline: +49 5246 963-460

E-Mail: [service@beckhoff.com](mailto:service@beckhoff.com)

### Beckhoff Unternehmenszentrale

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Hülshorstweg 20  
33415 Verl  
Deutschland

Telefon: +49 5246 963-0

E-Mail: [info@beckhoff.com](mailto:info@beckhoff.com)

Internet: [www.beckhoff.com](http://www.beckhoff.com)

## **Trademark statements**

Beckhoff®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TC/BSD®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC®, XTS® and XPlanar® are registered trademarks of and licensed by Beckhoff Automation GmbH.

## **Third-party trademark statements**

Microsoft, Microsoft Azure, Microsoft Edge, PowerShell, Visual Studio, Windows and Xbox are trademarks of the Microsoft group of companies.

Mehr Informationen:  
**[www.beckhoff.com/te5960](http://www.beckhoff.com/te5960)**

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG  
Hülshorstweg 20  
33415 Verl  
Deutschland  
Telefon: +49 5246 9630  
[info@beckhoff.com](mailto:info@beckhoff.com)  
[www.beckhoff.com](http://www.beckhoff.com)

