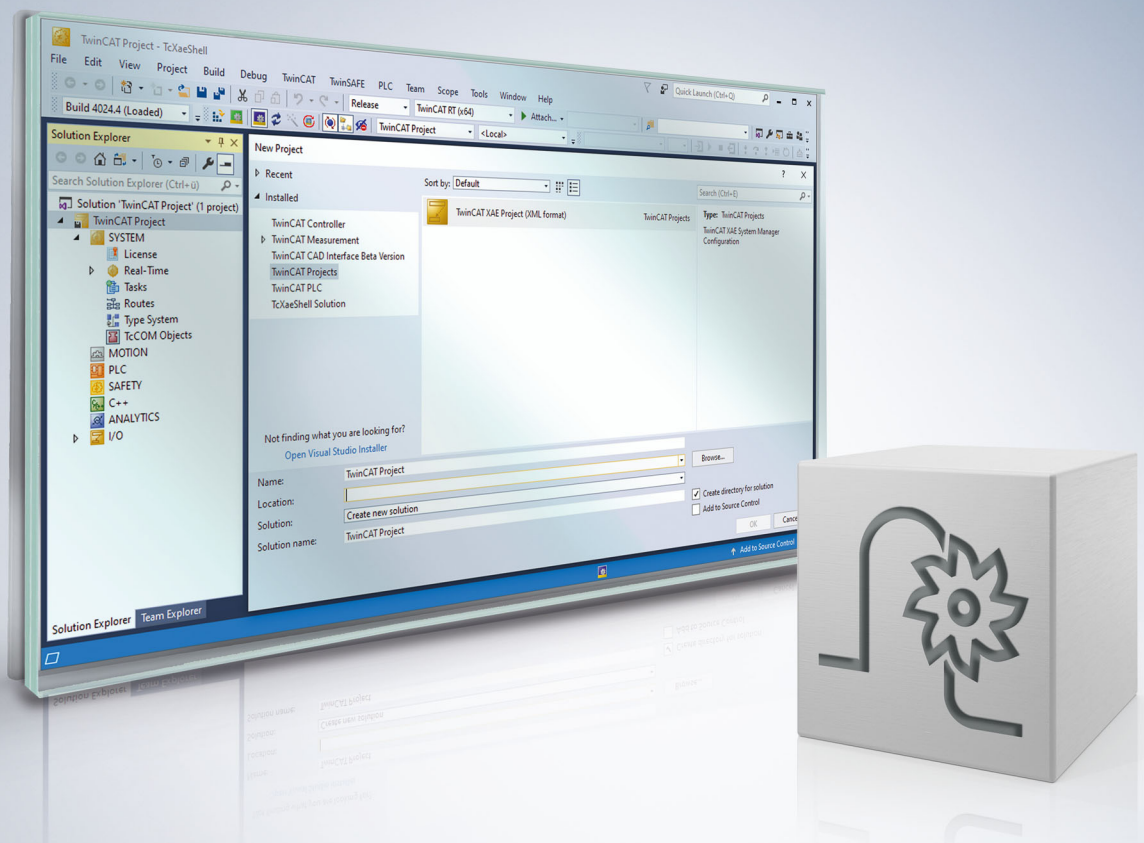
BECKHOFF New Automation Technology

Funktionsbeschreibung | DE

TF5200 | TwinCAT 3 CNC

Achsfilter



06.06.2025 | Version: 1.05

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, für jede Installation und Inbetriebnahme die zu dem betreffenden Zeitpunkt veröffentliche 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 weiter entwickelt.
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®, TwinCAT®, TwinCAT/BSD®, TC/BSD®, EtherCAT®, EtherCAT G®, EtherCAT G10®, EtherCAT P®, Safety over EtherCAT®, TwinSAFE®, XFC®, XTS® und XPlanar® 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 Bezeichnungen führen.

Patente

Die EtherCAT-Technologie ist patentrechtlich geschützt, insbesondere durch folgende Anmeldungen und Patente:
EP1590927, EP1789857, EP1456722, EP2137893, DE102015105702
mit den entsprechenden Anmeldungen und Eintragungen in verschiedenen anderen Ländern.

EtherCAT®

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

Allgemeine und Sicherheitshinweise

Verwendete Symbole und ihre Bedeutung

In der vorliegenden Dokumentation werden die folgenden Symbole mit nebenstehendem Sicherheitshinweis und Text verwendet. Die (Sicherheits-) Hinweise sind aufmerksam zu lesen und unbedingt zu befolgen!

Symbole im Erklärtext

1. Gibt eine Aktion an.

⇨ Gibt eine Handlungsanweisung an.

⚠ GEFAHR

Akute Verletzungsgefahr!

Wenn der Sicherheitshinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, besteht unmittelbare Gefahr für Leben und Gesundheit von Personen!

⚠ VORSICHT

Schädigung von Personen und Maschinen!

Wenn der Sicherheitshinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, können Personen und Maschinen geschädigt werden!

HINWEIS

Einschränkung oder Fehler

Dieses Symbol beschreibt Einschränkungen oder warnt vor Fehlern.

Tipps und weitere Hinweise

Dieses Symbol kennzeichnet Informationen, die zum grundsätzlichen Verständnis beitragen oder zusätzliche Hinweise geben.

Allgemeines Beispiel

Beispiel zu einem erklärten Sachverhalt.

NC-Programmierbeispiel

Programmierbeispiel (komplettes NC-Programm oder Programmsequenz) der beschriebenen Funktionalität bzw. des entsprechenden NC-Befehls.

Spezifischer Versionshinweis

Optionale, ggf. auch eingeschränkte Funktionalität. Die Verfügbarkeit dieser Funktionalität ist von der Konfiguration und dem Versionsumfang abhängig.

Inhaltsverzeichnis

Hinweise zur Dokumentation ... **3**

Allgemeine und Sicherheitshinweise ... **5**

1 Übersicht ... **8**

2 Beschreibung ... **9**

2.1 Standardfilter ... 9

2.1.1 Tiefpassfilter ... 10

2.1.2 Hochpassfilter ... 13

2.1.3 Bandpassfilter ... 15

2.1.4 Bandstoppfilter ... 16

2.1.5 Allpassfilter ... 20

2.1.6 PT1-Filter ... 21

2.1.7 PT2-Filter ... 23

2.1.8 Zeitverzögerungsfilter ... 25

2.2 HSC-Filter ... 27

2.3 Filterprototypen ... 29

3 Parameter ... **30**

3.1 Übersicht ... 30

3.2 Achsfilterparameter ... 32

3.3 Zusatzschnittstellenparameter ... 36

4 Anwendung ... **39**

5 Support und Service ... **40**

Stichwortverzeichnis ... **41**

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Amplituden-Frequenzgang der Filterprototypen (4. Ordnung) 11
Abb. 2 Sprungantwort der Filterprototypen (4. Ordnung) 12
Abb. 3 Amplituden-Frequenzgang von Hochpassfiltern (4. Ordnung) 13
Abb. 4 Sprungantwort von Hochpassfiltern (4. Ordnung) 14
Abb. 5 Amplituden-Frequenzgang von Bandpassfiltern (4. Ordnung, Güte = 1) 15
Abb. 6 Amplituden-Frequenzgang von Bandstoppfiltern (4. Ordnung, Güte = 1) 16
Abb. 7 Amplitudengang von Bandstoppfiltern 17
Abb. 8 Schwingverhalten von Bandstoppfiltern 18
Abb. 9 Bodediagramm eines Allpassfilters 20
Abb. 10 Amplitudengang des PT1-Filters 21
Abb. 11 Amplitudengang des PT2-Filters 23
Abb. 12 Sprungantwort des PT2-Filters 24
Abb. 13 Signalverläufe des Zeitverzögerungsfilters 25
Abb. 14 Sprungantwort des HSC-Filters 27
Abb. 15 Konturfehler pro Filterordnung an einer 90° Ecke 28
Abb. 16 Sprungantwort von Tiefpassfiltern unterschiedlicher Ordnung 39

1 Übersicht

Aufgabe

Filter werden eingesetzt, um einen Signalverlauf zu beeinflussen.

Die Filter lassen sich entsprechend der erforderlichen Wirkung als Tiefpass-, Hochpass-, Bandpass- oder Bandstopp-, sowie als Allpassfilter definieren. Je nach Filterart ist folgendes möglich:

- Signalverlauf glätten
- Bandbreiten einzuschränken
- Rauschen unterdrücken
- Frequenzbänder selektieren
- Frequenzbänder abschwächen
- Totzeiten kompensieren

Auch zur Minderung von Resonanzerscheinungen werden die Filter eingesetzt.

Die Filter wirken auf die Werte für die absolute Sollposition, die durch die Interpolation der Bahn berechnet wurden.

Eigenschaften

Filter lassen sich nach ihrem charakteristischen Übertragungsverhalten und Einsatzzweck klassifizieren. Für die Steuerung können die Filtertypen mit unterschiedlichen Eigenschaften angewendet werden. Man unterscheidet zwischen Standard- und HSC-Filtern. Die Filterprototypen 1-4 sind dabei von der Art Standardfilter und der Filterprototyp 5 beschreibt HSC-Filter.

Die parametrierbaren Filter sind wirksam bei:

- Linearachsen
- Rundachsen ohne Modulorechnung, d.h. solche, die einen eingeschränkten Verfahrbereich besitzen (s. P-AXIS-00015)
- Rundachsen mit Modulobehandlung, d.h. endlos drehend
- Spindeln (ab CNC-Version V3.00). Für Spindeln stehen nur die Standardfilter zur Verfügung, HSC-Filter können nicht eingesetzt werden.

Parametrierung und Programmierung

Die Konfiguration und Anpassung der Filtereinstellungen erfolgt in den Achslisten. Die Standardfilter werden auch in den Achslisten aktiviert. HSC-Filter werden in den Achslisten nur vorkonfiguriert, ihre Aktivierung erfolgt durch einen NC-Befehl.

Obligatorischer Hinweis zu Verweisen auf andere Dokumente

Zwecks Übersichtlichkeit wird eine verkürzte Darstellung der Verweise (Links) auf andere Dokumente bzw. Parameter gewählt, z.B. [PROG] für Programmieranleitung oder P-AXIS-00001 für einen Achsparameter.

Technisch bedingt funktionieren diese Verweise nur in der Online-Hilfe (HTML5, CHM), allerdings nicht in PDF-Dateien, da PDF keine dokumentenübergreifenden Verlinkungen unterstützt.

2 Beschreibung

Allgemein

Die Filteralgorithmen, die in der Steuerung implementiert sind, zeichnen sich durch hohe Trennschärfe bei niedriger Ordnung des Filters aus. Über den Achsparameterdatensatz lassen sich achsspezifisch die Eigenschaften der verwendeten Filter festlegen.

Das Verhalten eines Filters wird im Wesentlichen bestimmt durch:

- Filterprototypen
- Filtertyp
- Ordnung
- Charakteristische Frequenz.

Für bestimmte Filtertypen ist zusätzlich die Güte P-AXIS-00080 ein Merkmal.

Bei einem Standardfilter (Ausnahme HSC-Filter) können für jede Achse bis zu 3 Filter definiert werden, welche dann hintereinandergeschaltet sind. Zusätzlich kann für jede Achse 1 Filter für die Zusatzschnittstelle parametriert werden.

2.1 Standardfilter

Für jede Achse können bis zu 3 Achsfilter hintereinandergeschaltet und parametriert werden. Ein Filter ist aktiv, wenn der Parameter filter[i].enable auf 1 und der Wert des Parameters filter[i].order > 0 ist. Zusätzlich kann für jede Achse ein Filter für die Zusatzschnittstelle parametriert werden.

Die Wirkungsweise der Standardfilter kann mit Hilfe der folgenden CNC-Objekte der Geo-Task kontrolliert werden:

Name	Index-Gruppe	Index-Offset	Datentyp	Beschreibung
Active position	0x121300 +<ch_id> Bsp. 1. Kanal: 0x121301	0x61 +0x10000*<ax_idx> Bsp. 1. Achse: 0x10061	SGN32	ACS-Sollposition ungefiltert [Einheit 0,1µm oder 10^-4°]
Ft_sollwert_gestern	0x121300 +<ch_id> Bsp. 1. Kanal 0x121301	0x1C +0x10000*<ax_idx> Bsp. 1. Achse 0x1001C	SGN64	ACS-Sollposition nach Filterkaskade [Einheit 0,1µm oder 10^-4°]

<ch_id> Kanal-ID, <ax_idx> Index der Achse im NC-Kanal

Folgende Standardfilter stehen zur Verfügung:

- **Tiefpassfilter**
  Alle Frequenzen unterhalb einer bestimmten Grenzfrequenz werden durch den Filter übertragen. Ab dieser Grenzfrequenz werden höhere Frequenzen abgeschwächt oder gar nicht mehr übertragen. Die hohen Frequenzen werden herausgefiltert.
- **Hochpassfilter**
  Die niederen Frequenzen eines Signales werden abgeschwächt oder gar nicht übertragen. Erst ab einer Grenzfrequenz werden die Frequenzen unverändert übertragen.
- **Bandstoppfilter**
  Aus dem zu übertragenden Frequenzspektrum wird ein Frequenzbereich herausgefiltert. Alle übrigen Frequenzen werden nahezu ungedämpft übertragen. Die charakteristische Frequenz wird Mittenfrequenz genannt.
- **Bandpassfilter**
  Alle Frequenzen bis auf das gewünschte Frequenzband werden durch den Filter herausgefiltert. Die übrigen Frequenzen werden gedämpft.
- **Allpassfilter**
  Diese Filter haben eine konstante Verstärkung, erzeugen aber eine frequenzabhängige Phasenverschiebung. Sie werden zur Phasenkorrektur eingesetzt und um Signale zu verzögern.
- **PT1-Filter**
  Bei dem PT1-Filter handelt es sich um ein Verzögerungsglied erster Ordnung, das ein ähnliches Übertragungsverhalten wie ein Tiefpassfilter mit Ordnung 1 besitzt. Unterhalb der Grenzfrequenz fg = 1 / (2 * Pi * filter[i].time_constant) werden die Frequenzen durch den Filter übertragen. Frequenzen > der Grenzfrequenz werden mit –20dB / Dekade abgeschwächt.
- **PT2-Filter**
  Bei dem PT2-Filter handelt es sich um ein Verzögerungsglied 2. Ordnung, dessen Übertragungsfunktion $G(s)=1/(1+Ts)^2$ zwei hintereinandergeschalteten Verzögerungsgliedern erster Ordnung entspricht. Das Übertragungsverhalten ähnelt einem Tiefpassfilter mit Ordnung 2. Frequenzen bis zur Filtergrenzfrequenz fg = 1 / (2 * Pi * filter[i].time_constant) werden durch den Filter übertragen, während darüberliegende Frequenzen mit –40dB / Dekade abgeschwächt werden.
- **Zeitverzögerungsfilter** (ab CNC-Build 2013, 2803 bzw. 3013)
  Mit dem Zeitverzögerungsfilter kann ein Signal zeitlich verzögert werden. Dabei wird der Signalverlauf nicht verändert.

2.1.1 Tiefpassfilter

Frequenzgang

Das nachfolgende Diagramm zeigt das Frequenzübertragungsverhalten von Tiefpassfiltern, die jeweils auf einem der Filterprototypen basieren. Zur Veranschaulichung des charakteristischen Übertragungsverhaltens wurden Filter der 4. Ordnung ausgewählt, da durch eine höhere Ordnung die Charakteristika stärker ausgeprägt sind.

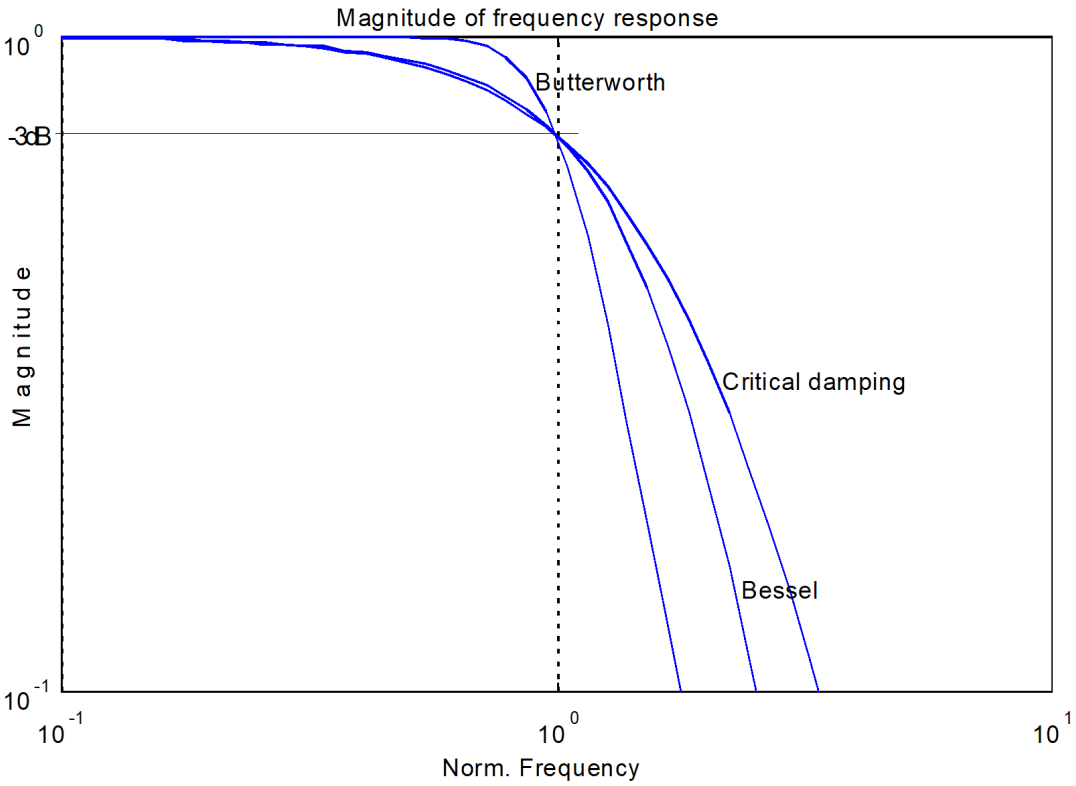


Abb. 1: Amplituden-Frequenzgang der Filterprototypen (4. Ordnung)

Im Bereich unterhalb der Grenzfrequenz verhalten sich Tiefpassfilter der Prototypen „Kritische Dämpfung“ und „Bessel“ sehr ähnlich. Die Butterworth-Filter übertragen in diesem Bereich die Frequenzen über einen weiten Bereich nahezu ungedämpft. Erst kurz vor der Grenzfrequenz setzt die Dämpfung der zu übertragenden Frequenzen ein. Der Butterworth-Filter besitzt im Bereich oberhalb der Grenzfrequenz die höchste Dämpfung der hier vorgestellten Filter.

Sprungantwort

Die Sprungantwort eines Tiefpassfilters mit „kritischer Dämpfung“ zeigt kein Überschwingen. Deshalb ist dieser Filter sehr gut für Steuerungsanwendungen geeignet, trotz seines gegenüber den anderen Filtern geringeren Frequenzselektionsverhaltens.

Bei Bessel-Tiefpassfilter ist ein geringfügiges Überschwingen bei Filterordnungen > 1 zu beobachten. Deshalb sollte dieser Filter nicht auf Positionswerte angewendet werden.

Bei Butterworth-Tiefpassfiltern zeigt sich ein beachtliches Überschwingen als Reaktion auf einen Sprung am Eingang. Das Überschwingen nimmt mit zunehmender Ordnung des Filters zu. Wegen dieser heftigen Reaktion ist der Butterworth-Tiefpassfilter für Steuerungsanwendungen ungeeignet.

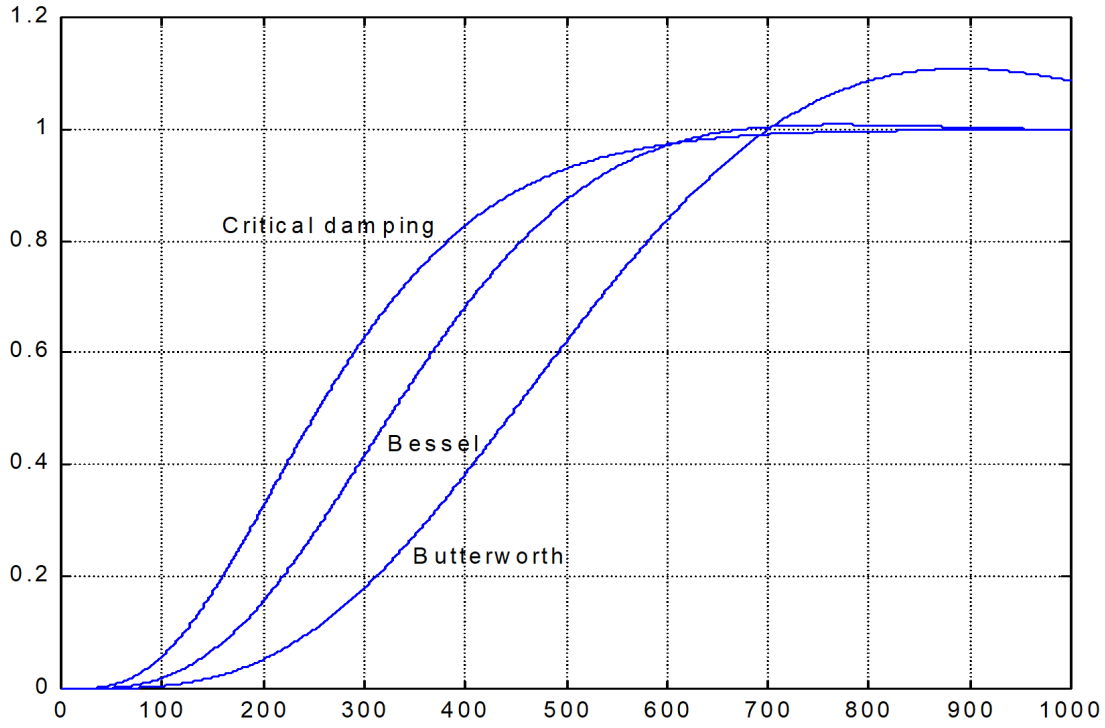


Abb. 2: Sprungantwort der Filterprototypen (4. Ordnung)

Achsfilter: Tiefpassfilter 4. Ordnung mit Grenzfrequenz 15 Hz:

filter[0].enable	1
filter[0].order	4
filter[0].prototype	CRIT_DAMPING
filter[0].type	LOWPASS
filter[0].fg_f0	15
filter[0].share_percent	100

Zusatzschnittstelle: Tiefpassfilter 3. Ordnung mit Grenzfrequenz 8 Hz

lr_param.add_interface.enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].order	3
lr_param.add_interface.filter[0].prototype	BUTTERWORTH
lr_param.add_interface.filter[0].type	LOWPASS
lr_param.add_interface.filter[0].fg_f0	8
lr_param.add_interface.filter[0].share_percent	100

2.1.2 Hochpassfilter

Frequenzgang

Der Frequenzgang von Hochpassfiltern ergibt sich aus der Spiegelung des Frequenzganges des entsprechenden Tiefpassfilters an der Linie der Grenzfrequenz.

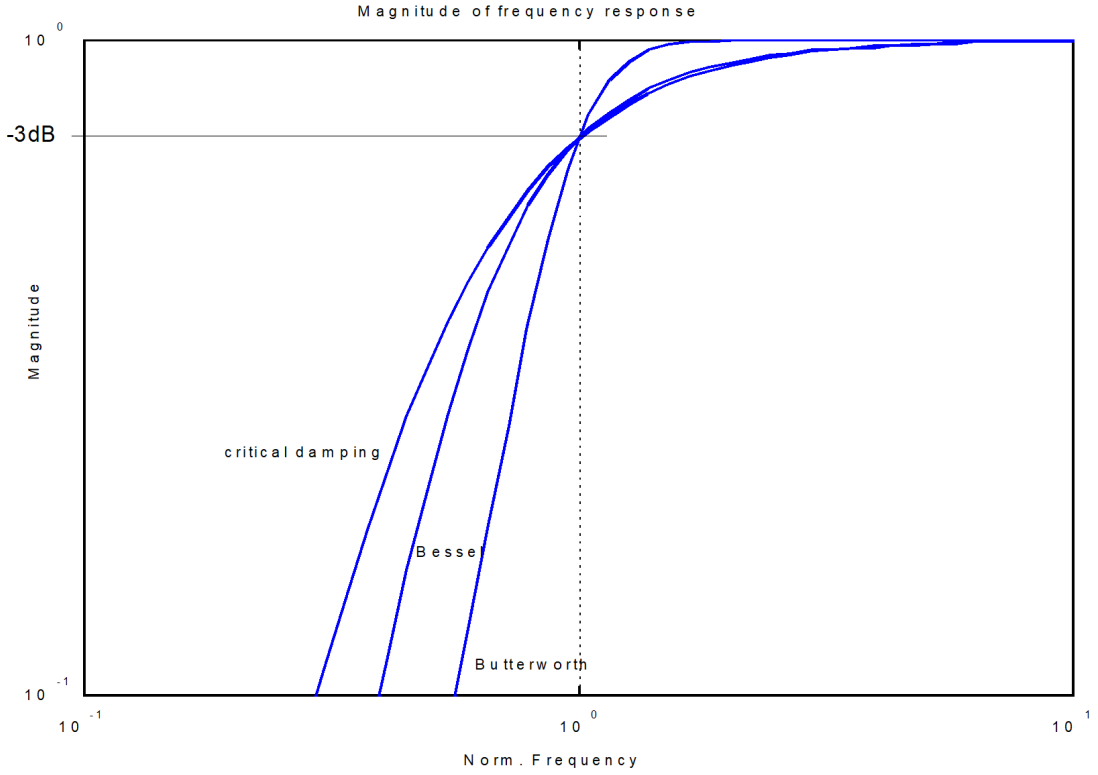


Abb. 3: Amplituden-Frequenzgang von Hochpassfiltern (4. Ordnung)

Sprungantwort

Im Gegensatz zu Tiefpassfiltern schwingen die Filterausgangswerte der Sprungantwort bei Hochpassfiltern um den stationären Wert.

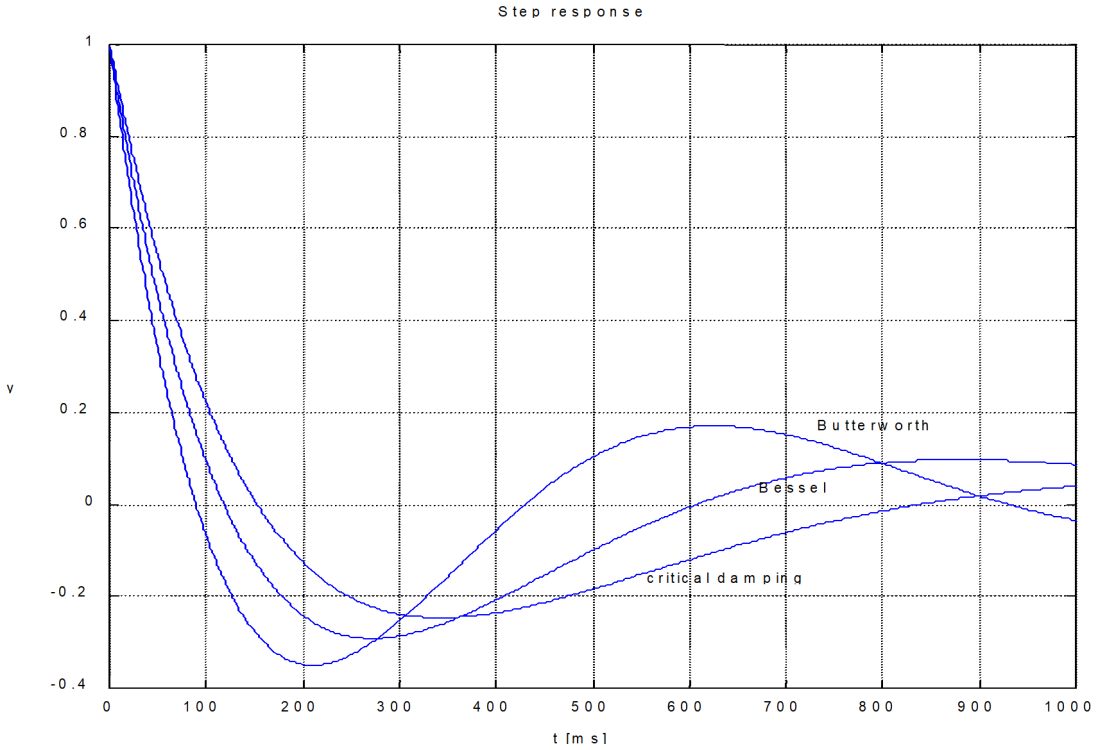


Abb. 4: Sprungantwort von Hochpassfiltern (4. Ordnung)

2.1.3 Bandpassfilter

Frequenzgang

Die Bandbreite $\Delta\Omega = f_0 - f_u$ im Durchlassbereich des Bandpassfilters ist durch die Grenzfrequenzen f_0 und f_u festgelegt. Sie sind definiert als die Frequenzen, bei der die Amplitude um –3dB (~0.707) überschritten hat. Bei der Parametrierung des Bandpassfilters wird die Bandbreite durch die Angabe der Güte (filter[i].guete [▶ 32]) festgelegt. Der Gütefaktor ist das Verhältnis aus charakteristischer Filterfrequenz durch die Bandbreite ΔΩ:

$$P - AXIS - 00080 = \frac{P - AXIS - 00064}{f_0 - f_u}$$

Bei größerer Güte wird daher der Frequenzbereich f_0-f_u kleiner. Zwischen der charakteristischen Frequenz des Bandpassfilters und den Grenzfrequenzen f_0 und f_u besteht folgender Zusammenhang (geometrisches Mittel):

$$P - AXIS - 00064 = \sqrt{f_0 * f_u}$$

Bei Bandpassfiltern hat der Filterprototyp nur einen geringen Einfluss auf das Filterverhalten.

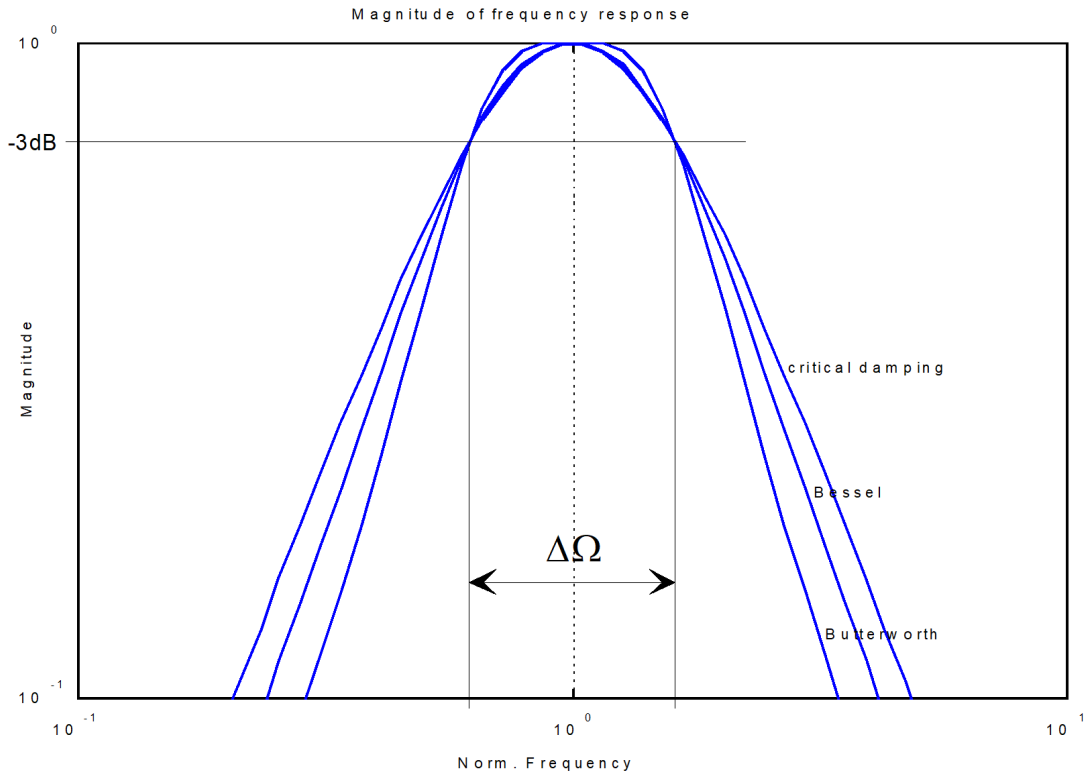


Abb. 5: Amplituden-Frequenzgang von Bandpassfiltern (4. Ordnung, Güte = 1)

2.1.4 Bandstoppfilter

Frequenzgang

Die Bandbreite $\Delta\Omega = f_0 - f_u$ im Sperrbereich des Bandstoppfilters ist durch die Grenzfrequenzen f_0 und f_u festgelegt. Sie sind definiert als die Frequenzen, bei der die Amplitude um –3dB (~0.707) abgefallen ist. Bei der Parametrierung des Bandstoppfilters wird die Bandbreite durch die Angabe der Güte (filter[i].guete [▶ 32]) festgelegt. Der Gütefaktor ist das Verhältnis aus charakteristischer Filterfrequenz durch die Bandbreite ΔΩ:

$$P - AXIS - 00080 = \frac{P - AXIS - 00064}{f_0 - f_u}$$

Bei größerer Güte wird daher der Frequenzbereich f_0-f_u kleiner. Zwischen der charakteristischen Frequenz des Bandstoppfilters und den Grenzfrequenzen f_0 und f_u besteht folgender Zusammenhang (geometrisches Mittel):

$$P - AXIS - 00064 = \sqrt{f_0 * f_u}$$

Bei Bandstoppfiltern hat der Filterprototyp nur einen geringen Einfluss auf das Filterverhalten.

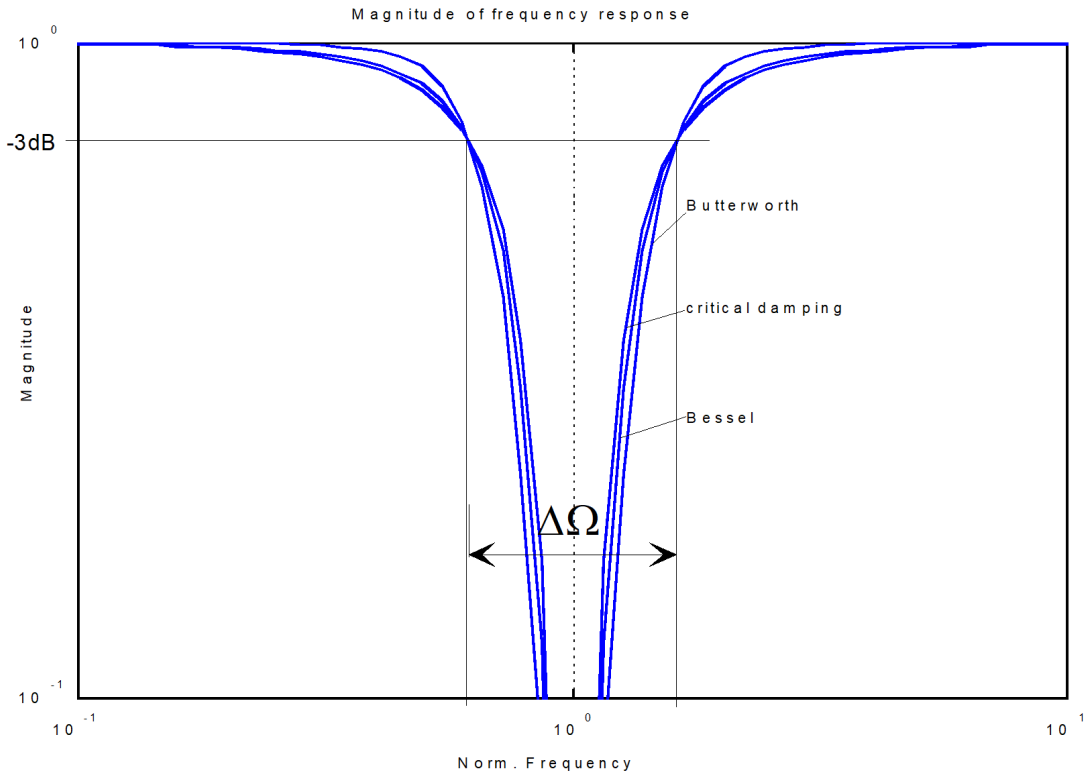


Abb. 6: Amplituden-Frequenzgang von Bandstoppfiltern (4. Ordnung, Güte = 1)

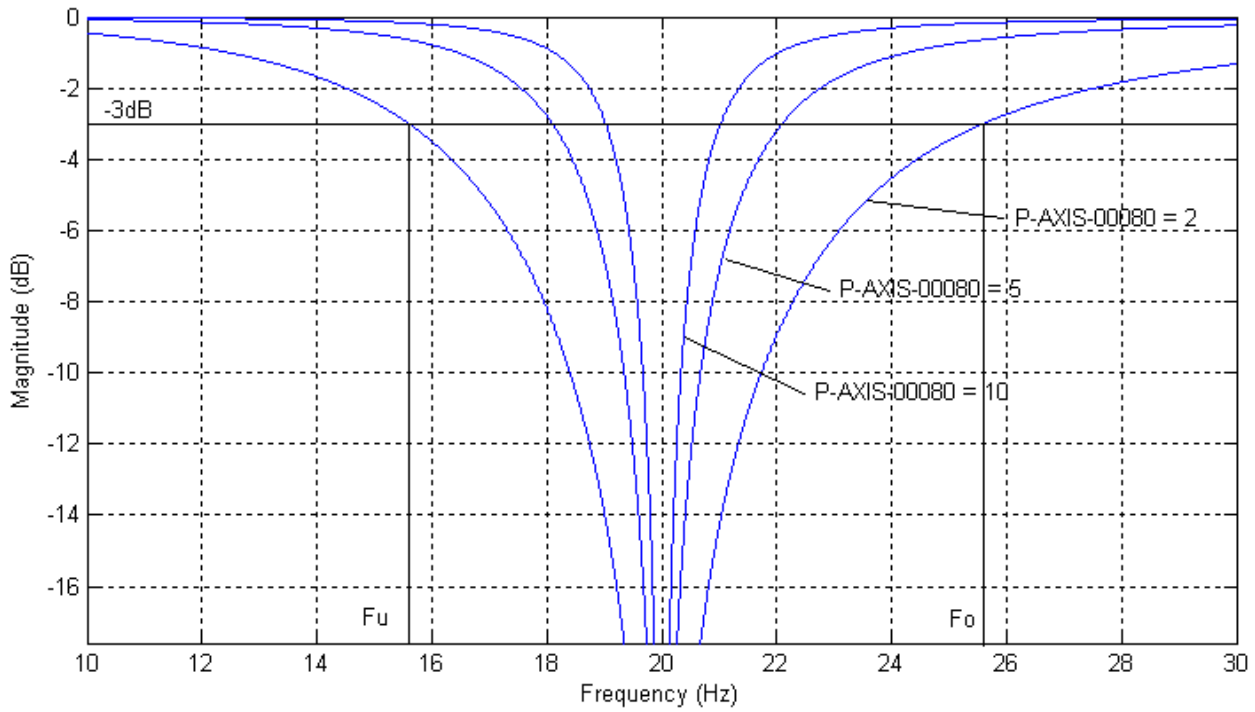


Abb. 7: Amplitudengang von Bandstoppfiltern

Das Bild zeigt den Amplitudengang von Bandstoppfiltern in Abhängigkeit des vorgegebenen Gütefaktors (2. Ordnung, charakteristische Frequenz fg_f0 = 20 Hz)

Verhalten

Durch das starke Abschwächen der charakteristischen Frequenz neigen Bandsperrfilter generell zum Schwingen. An Satzübergängen kann dadurch auch ein Überschwingen der Achsen auftreten.

Je größer die Filterordnung oder je kleiner die Grenzfrequenz fg_f0 ist, desto größer kann das Überschwingen ausgeprägt sein. Im Allgemeinen ist dieser Fehler jedoch deutlich kleiner als der Konturfehler, der durch das Anregen einer Resonanzfrequenz entstehen kann. Dies ist jedoch für den konkreten Anwendungsfall zu überprüfen. Ansonsten ergibt der Einsatz eines Bandstoppfilters keinen Sinn.

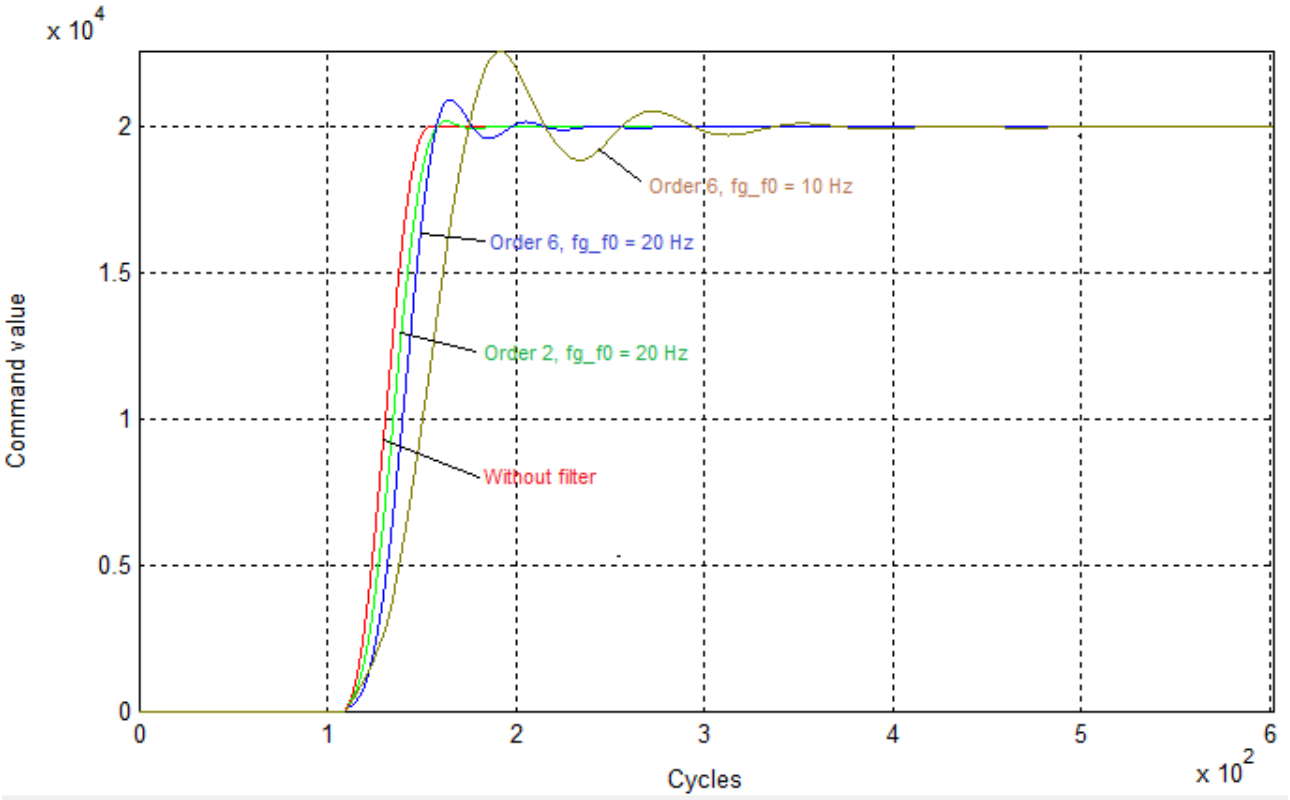


Abb. 8: Schwingverhalten von Bandstoppfiltern

Das Bild zeigt das Schwingverhalten von Bandstoppfiltern in Abhängigkeit der Ordnung und charakteristischer Frequenz.

Durch das Überschwingen der Bandstoppfilter können die Dynamiküberwachungen in der CNC ansprechen. In diesem Fall muss entweder die Achsdynamik reduziert werden oder eine (geringfügig!) höhere Überschreitung der Sollgeschwindigkeit zugelassen werden (s. P-AXIS-00440)

Achsfilter: Bandstopp 2. Ordnung mit charakteristischer Frequenz 20 Hz und Güte 4:

filter[0].enable	1
filter[0].order	2
filter[0].prototype	BUTTERWORTH
filter[0].type	BANDSTOP
filter[0].fg_f0	20
filter[0].guete	4
filter[0].share_percent	100

Zusatzschnittstelle: Bandstopp 3. Ordnung mit charakteristischer Frequenz 17Hz und Güte 1.8

Lr_param.add_interface.enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].order	3
lr_param.add_interface.filter[0].prototype	BUTTERWORTH
lr_param.add_interface.filter[0].type	BANDSTOP
lr_param.add_interface.filter[0].fg_f0	17
lr_param.add_interface.filter[0].guete	1.8
lr_param.add_interface.filter[0].share_percent	100

2.1.5 Allpassfilter

Allpassfilter übertragen alle Frequenzen mit einem Verstärkungsfaktor von 1. Allpassfilter verändern nur die Phase von Sinusförmigen Eingangssignalen. Sie werden zur Phasenkorrektur eingesetzt und um Signale zu verzögern.

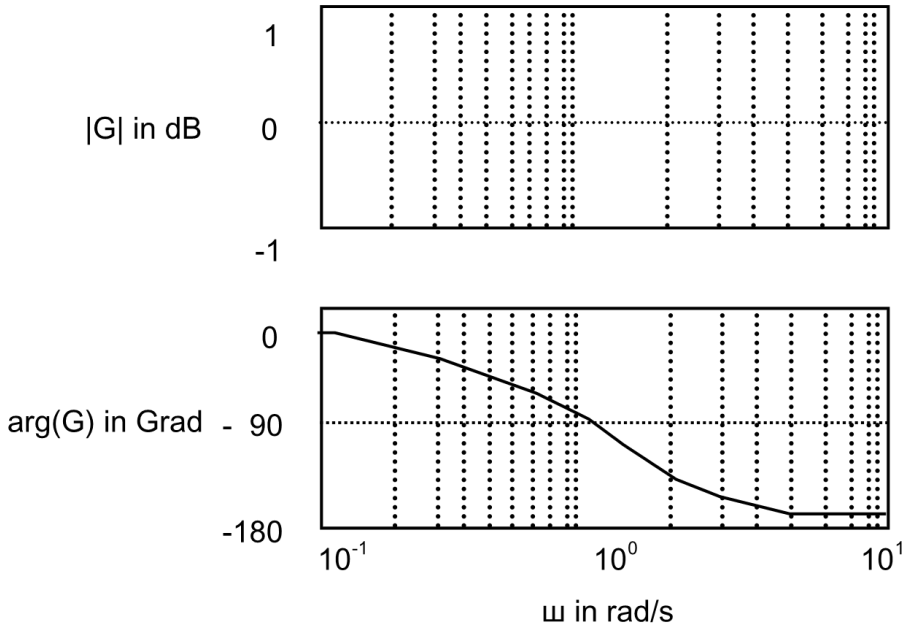


Abb. 9: Bodediagramm eines Allpassfilters

Wird ein Allpassfilter parametriert, wird empfohlen, den Bessel-Filterprototyp gleichfalls zu parametrieren, da er eine konstante Gruppenlaufzeit für alle Frequenzen annähert.

Die Gruppenlaufzeit ist die Zeit, die eine „Gruppe“ von cos-förmigen Schwingungen beim Durchgang durch ein Übertragungssystem benötigt.

2.1.6 PT1-Filter

Frequenzgang

Der PT1-Filter besitzt das Übertragungsverhalten eines Verzögerungsglieds 1. Ordnung. Im Gegensatz zu den anderen Achsfiltern wird er über die Angabe einer Zeitkonstante (filter[i].time_constant) parametriert. Für diesen Filtertyp muss kein Filterprototyp angegeben werden. Um den Filter zu aktivieren, muss zudem eine Ordnung > 1 (filter[i].order) eingestellt werden.

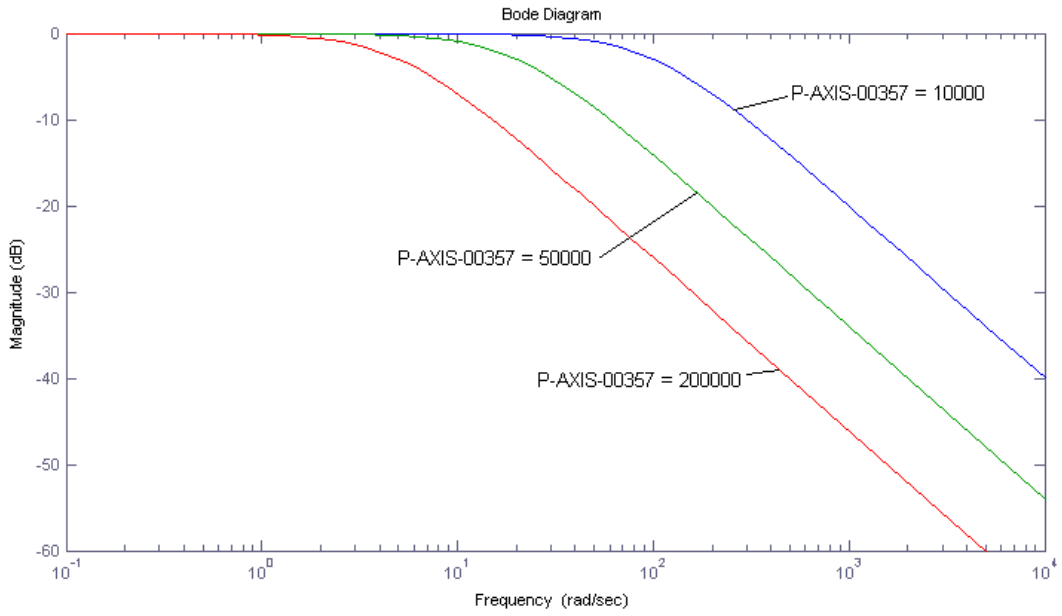


Abb. 10: Amplitudengang des PT1-Filters

Das Bild zeigt den Amplitudengang des PT1-Filters in Abhängigkeit der Filterzeitkonstanten filter[i].time_constant.

Achsfilter: PT1-Filter mit Zeitkonstante 0,01 Sekunden:

filter[0].enable	1
filter[0].order	1
filter[0].type	PT1
filter[0].time_constant	10000
filter[0].share_percent	100

Zusatzschnittstelle: PT1-Filter mit Zeitkonstante 0,01 Sekunden

Lr_param.add_interface.enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].order	1
lr_param.add_interface.filter[0].type	PT1
lr_param.add_interface.filter[0].time_constant	10000
lr_param.add_interface.filter[0].share_percent	100

2.1.7 PT2-Filter

Frequenzgang

Der PT2-Filter besitzt das Übertragungsverhalten eines Verzögerungsglieds 2. Ordnung. Im Gegensatz zu den anderen Achsfiltern wird er über die Angabe einer Zeitkonstante (filter[i].time_constant) parametriert. Für diesen Filtertyp muss kein Filterprototyp angegeben werden. Um den Filter zu aktivieren, muss zudem eine Ordnung > 1 (filter[i].order) eingestellt werden.

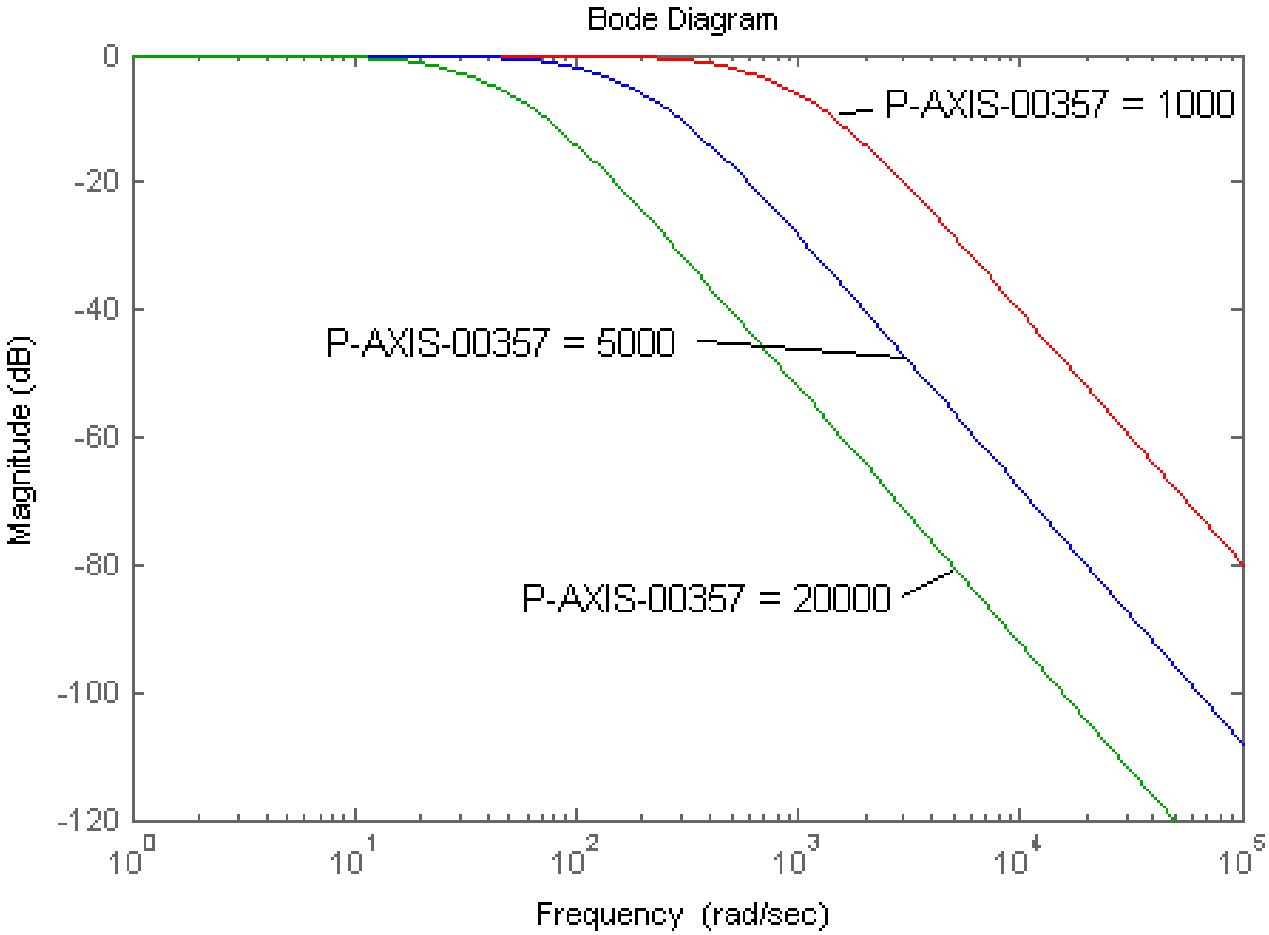


Abb. 11: Amplitudengang des PT2-Filters

Das Bild zeigt den Amplitudengang des PT2-Filters in Abhängigkeit der Filterzeitkonstanten filter[i].time_constant.

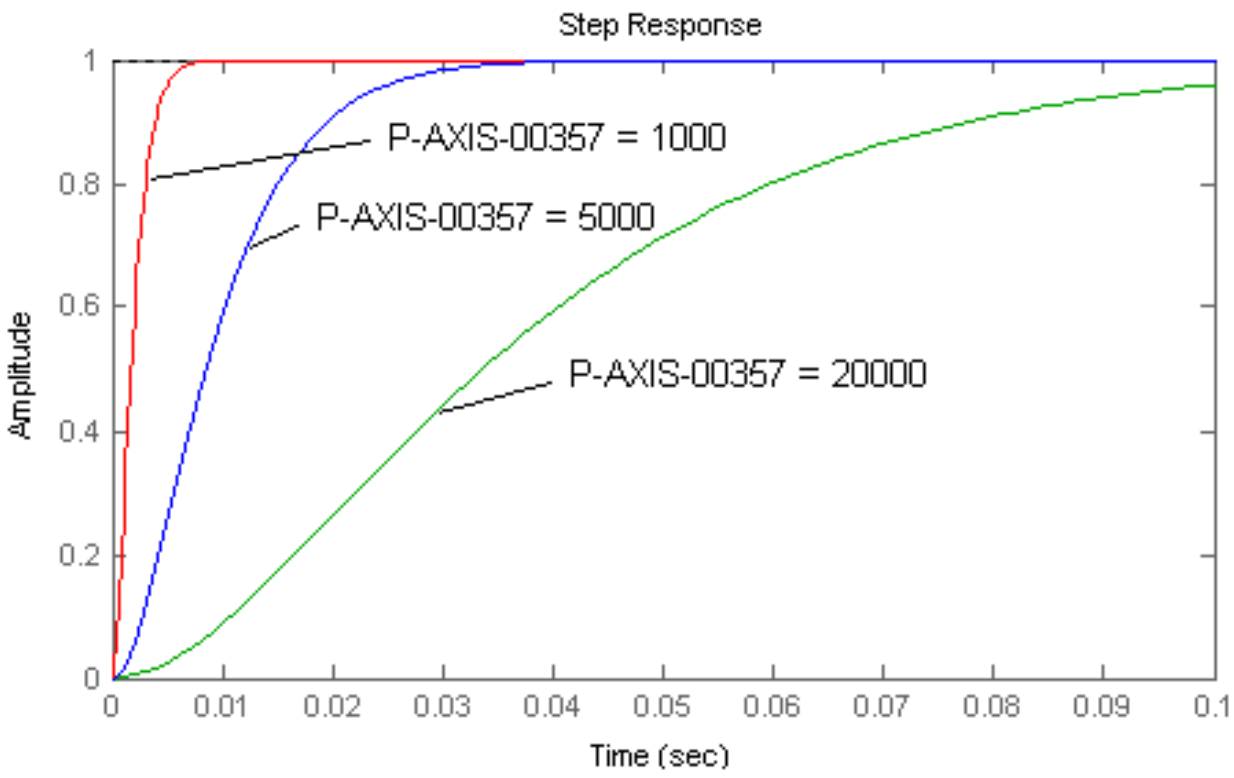


Abb. 12: Sprungantwort des PT2-Filters

Das Bild zeigt die Sprungantwort des PT2-Filters in Abhängigkeit der Filterzeitkonstanten filter[i].time_constant.

Achsfilter: PT2-Filter mit Zeitkonstante 0,005 Sekunden:

filter[0].enable	1
filter[0].order	2
filter[0].type	PT2
filter[0].time_constant	5000
filter[0].share_percent	100

Zusatzschnittstelle: PT2-Filter mit Zeitkonstante 0,005 Sekunden

lr_param.add_interface.enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].order	2
lr_param.add_interface.filter[0].type	PT2
lr_param.add_interface.filter[0].time_constant	5000
lr_param.add_interface.filter[0].share_percent	100

2.1.8 Zeitverzögerungsfilter

Der Zeitverzögerungsfilter ist in den jeweiligen CNC-Versionen ab V2.11.2013, V2.11.2803 bzw.V3.00.3013 verfügbar.

Verhalten

Mit dem Zeitverzögerungsfilter kann ein Signal zeitlich verzögert werden. Der Amplitudengang dieses Filters ist konstant 1, d.h. der Signalverlauf wird dabei nicht verändert. Eine Einsatzmöglichkeit ist z.B. die Kompensation von Totzeiten im Antriebsstrang, falls diese nicht für alle Achsen identisch sind. Die Verzögerungszeit des Filters muss im Intervall 0 ≤ Filterzeitkonstante (filter[i].time_constant) < 6 * Zykluszeit der NC-Steuerung liegen.

Der Filter wird durch Festlegen der gewünschten Filterzeitkonstanten (filter[i].time_constant) parametriert. Die Angabe eines Filterprototypen oder einer Grenzfrequenz ist für den Zeitverzögerungsfilter nicht notwendig. Für das Aktivieren des Filters muss zusätzlich eine Filterordnung > 0 (filter[i].order) vorgegeben werden. Die Ordnung wird jedoch in der CNC bei Erstellen der Filterkoeffizienten in Abhängigkeit der eingestellten Verzögerungszeit neu berechnet.

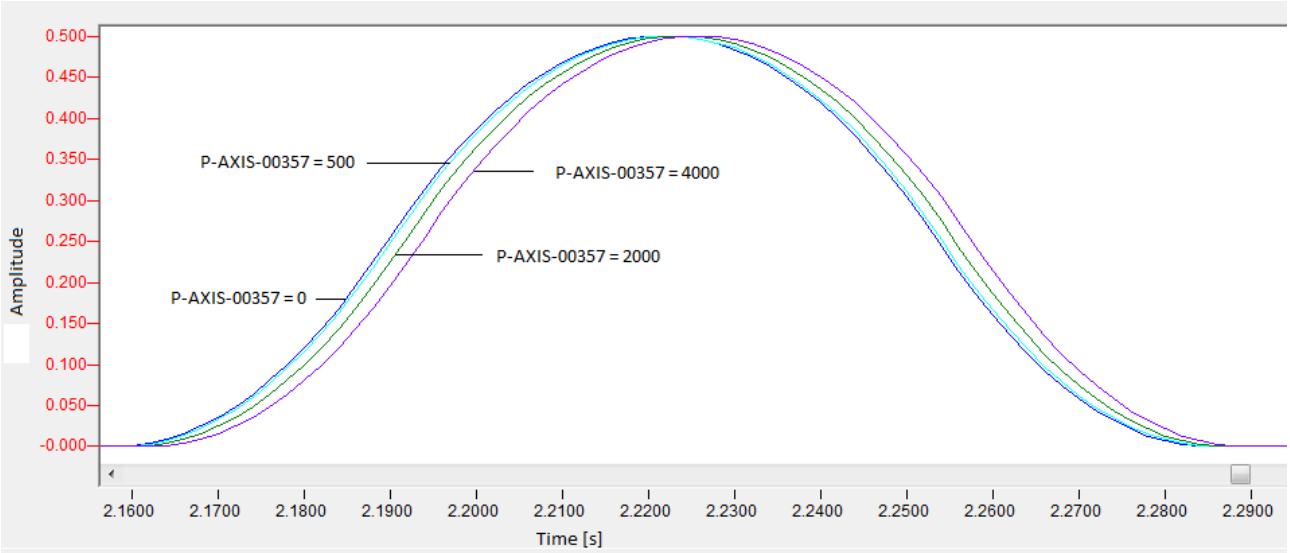


Abb. 13: Signalverläufe des Zeitverzögerungsfilters

Das Bild zeigt die Signalverläufe des Zeitverzögerungsfilters mit unterschiedlichen Zeitkonstanten (filter[i].time_constant).

Achsfilter: Zeitverzögerungsfilter mit Zeitverzögerung 0,002 Sekunden:

filter[0].enable	1
filter[0].order	1
filter[0].type	TIME_DELAY
filter[0].time_constant	2000
filter[0].share_percent	100

Zusatzschnittstelle: Zeitverzögerungsfilter mit Zeitverzögerung 0,002 Sekunden

lr_param.add_interface.enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].enable	1
lr_param.add_interface.filter[0].order	1
lr_param.add_interface.filter[0].type	TIME_DELAY
lr_param.add_interface.filter[0].time_constant	2000
lr_param.add_interface.filter[0].share_percent	100

2.2 HSC-Filter

Ab CNC-Version V3.1.3075.02 wird empfohlen die FIR-Filter in FCT-C37 einzusetzen. Diese ersetzen die hier beschriebenen HSC-Filter und haben einen größeren Funktionsumfang.

Bei diesen Filtern ist nur ein HSC-Filter pro Achse erlaubt; dieser muss zwingend der erste Filter (filter[0]) sein. HSC-Filter werden in den Achslisten nur vorkonfiguriert, wirksam werden sie erst durch den NC-Befehl #FILTER ON[HSC] im NC Programm. Bei der Vorkonfiguration ist darauf zu achten, dass alle Achsen eines Achsverbundes gleich konfiguriert sind, da es sonst zu asynchronem Achsverhalten kommt. Es ist auch möglich, HSC-Filter während der Bearbeitung auszuschalten bzw. umzuparametrieren.

Nachfolgende Filtertypen sind nur in Verbindung mit dem Prototyp HSC zu verwenden:

- **HSC-Mittelwert**
  Bei dem HSC-Mittelwertfilter handelt es sich um einen akausalen Zeitbereichsmittelwertfilter. Die Wirkung im Frequenzbereich ist die eines Tiefpasses.
- **HSC-NoVib**
  Bei dem HSC-NoVib handelt es sich um einen akausalen FIR-Filter. Durch einen geeigneten Filterkern, der u.a. von der Eigenfrequenz abhängt, wirkt dieser Filter schwingungsunterdrückend.

Sprungantwort

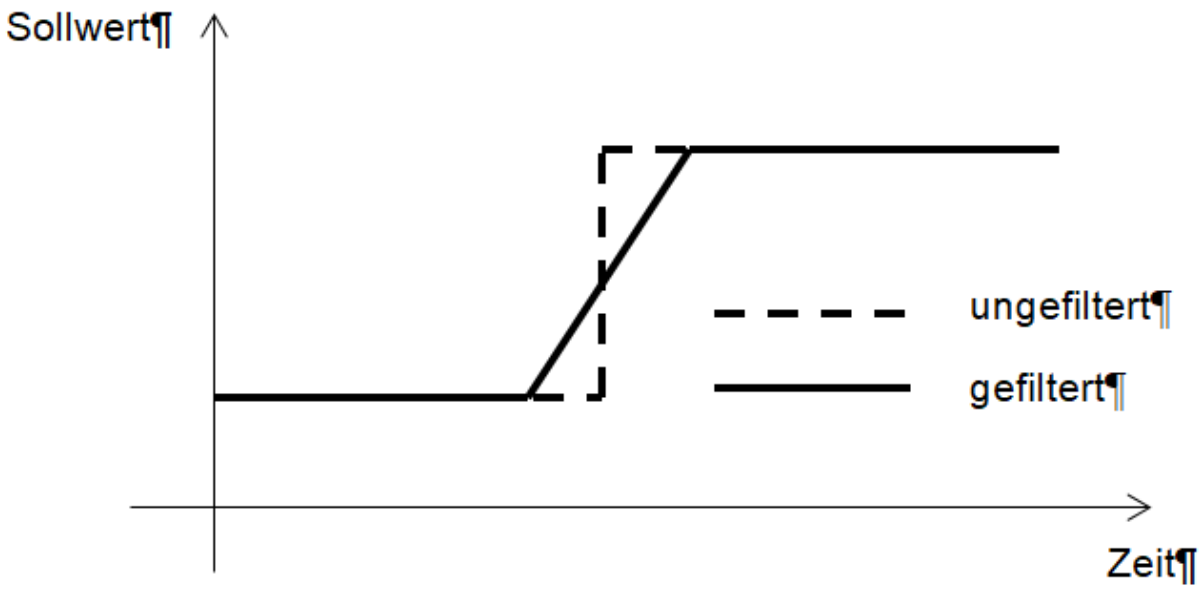


Abb. 14: Sprungantwort des HSC-Filters

Einstellhilfe Konturabweichung

Die Konturabweichung bei Verwendung von HSC-Achsfiltern setzt sich aus 3 Bestandteilen zusammen:

1. Zykluszeit
2. Filterordnung
3. Gefahrener Vorschub

Es gelten folgende einfache Zusammenhänge:

- Doppelte Zykluszeit = doppelter Fehler
- Doppelter Vorschub = doppelter Fehler
- Doppelte Filterordnung = doppelter FehlerDie folgende Grafik ist erstellt für Zykluszeit 1ms und F1000 Vorschub an einer 90° Ecke. Bei anderen Randdaten sind die Filterordnungen nach obigen Zusammenhängen umzurechnen.

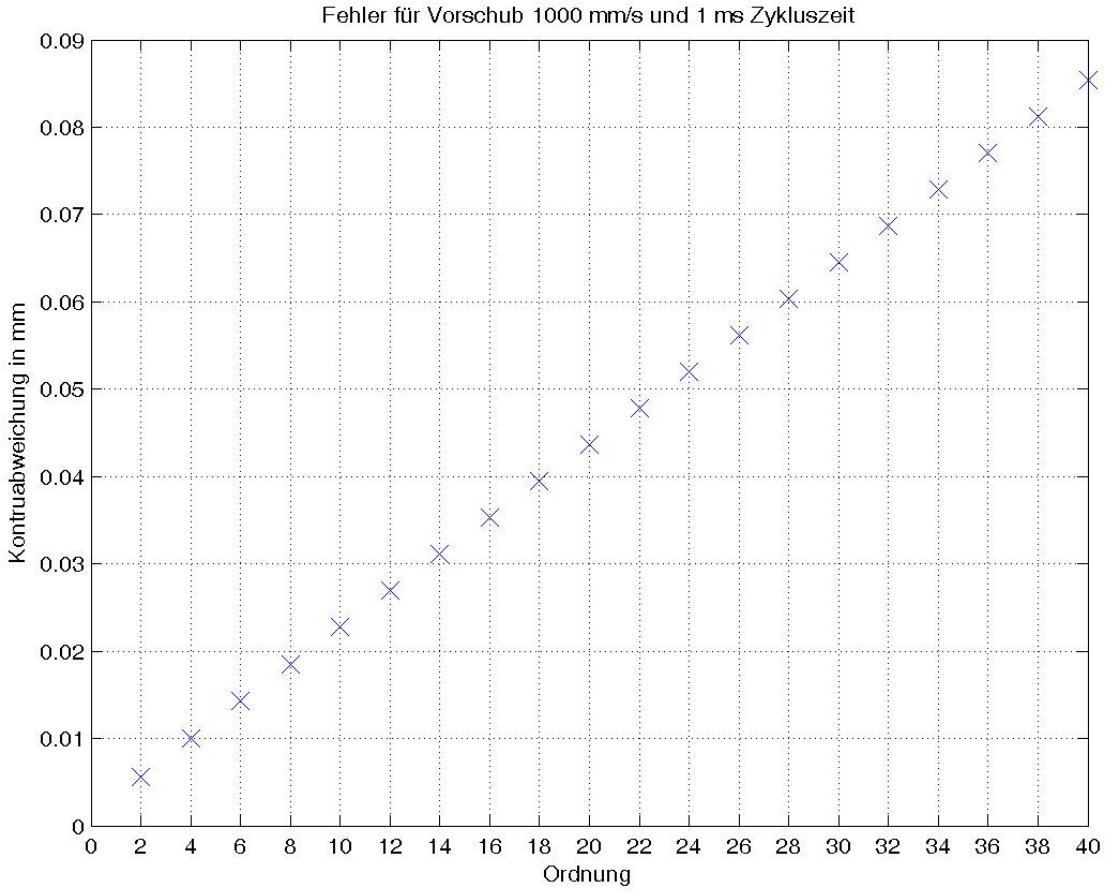


Abb. 15: Konturfehler pro Filterordnung an einer 90° Ecke

In oben stehendem Bild wird von einer Eckgeschwindigkeit von 1000mm/s und einer Taktzeit von 1ms ausgegangen.

2.3 Filterprototypen

Es können 4 unterschiedliche Prototypen von Filtern eingestellt werden. Sie unterscheiden sich wesentlich durch ihr Verhalten beim Übertragen von Frequenzen und ihrer Reaktion auf eine sprungförmige Anregung (Sprungantwort des Filters).

Es handelt sich um:

- Filter mit kritischer Dämpfung
- Bessel-Filter
- Butterworth-Filter
- HSC

3 Parameter

3.1 Übersicht

Es stehen folgende Parameter für die Anpassung der Filter im Achsparameterdatensatz zur Verfügung:

ID	Parameter	Beschreibung
P-AXIS-00319	enable	Aktiviert Standardfilter
P-AXIS-00067	fg_f0	Charakteristische Frequenz eines Filters
P-AXIS-00080 **P-AXIS-00740***	guete	Güte des Filters
P-AXIS-00140	order	Ordnung des Filters
P-AXIS-00153	prototype	Filtercharakteristik
P-AXIS-00164 **P-AXIS-00741***	share_percent	Anteil des Signals, der durch den Filter geführt wird
P-AXIS-00204	type	Art des Filters
P-AXIS-00357	time_constant	- Verwendung bei Standardfiltern: Zeitkonstante des PT1-, PT2-Filters bzw. des Zeitverzögerungs-filters. - Verwendung bei HSC-Filtern: Filterordnung in µs [alternativ zu P-AXIS-00140 [▶ 33])
P-AXIS-00735	enable	Aktiviert Standardfilter der Zusatzschnittstelle
P-AXIS-00739	fg_f0	Charakteristische Frequenz eines Filters der Zusatzschnittstelle
P-AXIS-00740	guete	Güte des Filters der Zusatzschnittstelle
P-AXIS-00736	order	Ordnung des Filters der Zusatzschnittstelle
P-AXIS-00737	prototype	Filtercharakteristik der Zusatzschnittstelle
P-AXIS-00741	share_percent	Anteil des Signals, der durch den Filter geführt wird
P-AXIS-00738	type	Art des Filters der Zusatzschnittstelle
P-AXIS-00742	time_constant	- Verwendung bei Standardfiltern der Zusatzschnittstelle: Zeitkonstante des PT1-, PT2-Filters bzw. des Zeitverzögerungs-filters. - Verwendung bei HSC-Filtern: Filterordnung in µs [alternativ zu P-AXIS-00140)

Parameter	Standardfilter	HSC-Filter
enable	X	- (**)
fg_f0	X (*)	X (*)
guete	X (*)	-
order	X	X
prototype	X	X
share_percent	X	X
type	X	X
time_constant	X (*)	X

(*) Abhängig von Filtertyp

(**) Aktivierung über NC-Befehl

Die relevanten Filterparameter für den jeweiligen Filtertyp sind:

Filtertyp	Ordnung	Charakter. Frequenz	Prototyp	Zeitkonstante	Güte	Signalanteil
Tiefpass	X	X	X			X
Hochpass	X	X	X			X
Band-stopp	X	X	X		X	X
Bandpass	X	X	X		X	X
Allpass	X	X	X			X
PT1	(X)			X		X
PT2	(X)			X		X
Zeitverzö-gerung	(X)			X		X
HSC-Mit-telwert*	X		X	X		X
HSC-No-Vib*	(X)	X	X	(X)		X

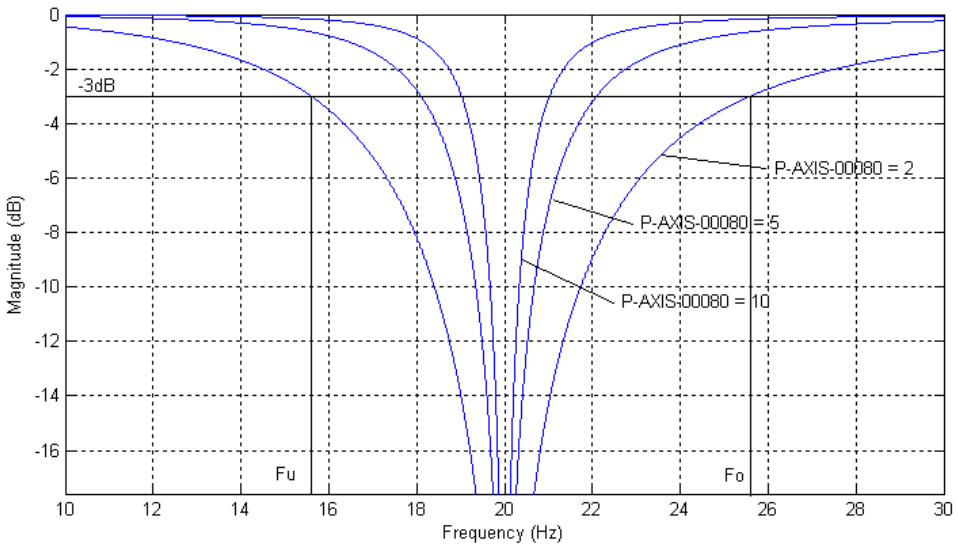
(X) nur für die Aktivierung des Filters, Ordnung wird intern berechnet

* Nur als Achsfilter verwendbar

3.2 Achsfilterparameter

P-AXIS-00319	**Aktivierung des achsspezifischen Sollwertfilters (für Standardfilter)**	
Beschreibung	Mit diesem Wert wird die Filterfunktion ein- bzw. ausgeschaltet.	
Parameter	filter[i].enable	
Datentyp	BOOLEAN	
Datenbereich	0: Filter ist ausgeschaltet 1: Filter ist eingeschaltet	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	0	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen	Die Filterfunktion wird nur bei Filterordnung > 0 aktiviert (P-AXIS-00140).	

P-AXIS-00067	**Charakteristische Frequenz des achsspezifischen Sollwertfilters**	
Beschreibung	- Für folgende Standardfilter definiert der Parameter den Frequenzbereich: • Tiefpass : Anfang des Frequenzsperrbereiches (idealer Filter) • Hochpass : Anfang des Frequenzdurchlassbereiches (idealer Filter) • Bandpass- und Bandstoppfilter : Mittlere Frequenz - Für den HSC-NoVib definiert der Parameter die erste zu unterdrückende Eigenfrequenz	
Parameter	filter[i].fg_f0	
Datentyp	REAL64	
Datenbereich	$0 \leq fg_f0 < 0.5/T_{Ab}$ (mit T_{Ab} als NC-Zykluszeit)	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: Hz	R,S: Hz
Standardwert	3.000000e+001	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00080	**Bandbreite des achsspezifischen Sollwertfilters**
Beschreibung	Angabe vom Kehrwert der Bandbreite für die Filtertypen Bandpass und Bandstop. Nachfolgende Abbildung verdeutlicht das Verhalten des Parameters. 
Parameter	filter[i].guete

Datentyp	REAL64	
Datenbereich	1 ≤ guete ≤ 10	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	1.0	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00140	**Ordnung des achsspezifischen Sollwertfilters**	
Beschreibung	Mit diesem Parameter wird die Ordnung des Filters angegeben. Weiter ist dieser Parameter ein Wert, mit dem der Abfall des Frequenzganges (Abfall = - order x 20 dB/ Dekade.) ausgedrückt wird. Der Wert **order = 0** bedeutet: kein Filter zugeschaltet. Im Fall vom HSC-NoVib oder Zeitverzögerungsfilter wird die Ordnung intern berechnet, aber eine Ordnung > 0 wird benötigt, sonst ist der Filter nicht aktiv.	
Parameter	filter[i].order	
Datentyp	UNS32	
Datenbereich	0 ≤ order ≤ 6 für Tiefpass-, Hochpass- und Allpassfilter 0 ≤ order ≤ 3 für Bandpass- und Bandstoppfilter order = 0 oder 1 für PT1-Filter order = 0 oder 2 für PT2-Filter order = 0 oder > 0 für Zeitverzögerungsfilter 0 ≤ order ≤ 200 für HSC-Filter	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	0	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00153	**Charakteristik des achsspezifischen Sollwertfilters**	
Beschreibung	Der Parameter definiert die Filter - Charakteristik.	
Parameter	filter[i].prototype	
Datentyp	STRING	
Datenbereich	CRIT_DAMPING 1: Filtercharakteristik 'Critical damping”: BUTTERWORTH 2: Filtercharakteristik 'Butterworth” BESSEL 3: Filtercharakteristik 'Bessel” HSC - 5: Filtercharakteristik 'HSC'	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	CRIT_DAMPING	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00164	**Signalanteil des achsspezifischen Sollwertfilters**
Beschreibung	Mit diesem Parameter wird der Signalanteil festgelegt, der durch den Filter geführt wird.
Parameter	filter[i].share_percent
Datentyp	REAL64
Datenbereich	0 ≤ share_percent ≤ 100
Achstypen	T, R, S

Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	1.000000e+002	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00204	**Typ des achsspezifischen Sollwertfilters**	
Beschreibung	Der Parameter definiert den Filter - Typ.	
Parameter	filter[i].type	
Datentyp	UNS32	
Datenbereich	1 ≤ type ≤ 12 mit:	
	1	Tiefpass - Filter
	2	Hochpass - Filter
	3	Bandpass - Filter
	4	Bandstopp - Filter
	5	Allpass - Filter
	6	PT1-Filter
	7	reserviert
	8	HSC-Mittelwert
	9	reserviert
	10	PT2-Filter
	11	Zeitverzögerungsfilter (ab CNC-Build 3013)
	12	HSC-NoVib
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	1 für Standardfilter (filter[i].prototype 1-4) 8 für HSC-Filter (filter[i].prototype 5)	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00357	**Zeitkonstante des achsspezifischen Sollwertfilters**
Beschreibung	- Anwendung bei Standardfiltern: Der Parameter definiert die Zeitkonstante des PT1-, PT2- und Zeitverzögerungsfilters. - Anwendung bei HSC-Filtern: Filterordnung in µs (alternativ zu Parameter P-AXIS-00140 [▶ 33]. Der Wert time_constant wird nur verwendet, wenn P-AXIS-00140 [▶ 33]nicht konfiguriert ist bzw. den Wert 0 hat. Ist time_constant < NC-Zykluszeit, dann ist der Filter nicht aktiv, es sei denn der Parameter order P-AXIS-00140 [▶ 33] hat einen gültigen Wert, welcher in diesem Fall verwendet wird. Im Fall vom HSC-NoVib wird die Ordnung intern berechnet, aber eine Ordnung > 0 wird benötigt, sonst ist der Filter nicht aktiv.
Parameter	filter[i].time_constant
Datentyp	UNS32
Datenbereich	- Standardfilter: Für PT1- / PT2-Filter: TAb ≤ P-AXIS-00357 ≤ MAX(UNS32) Für Zeitverzögerungsfilter: 0 ≤ P-AXIS-00357 < 6 * TAb (mit TAb als NC-Zykluszeit in s) - HSC-Filter: TAb < P-AXIS-00357 < 200 * TAb (mit TAb als NC-Zykluszeit in µs)

Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: µs	R,S: µs
Standardwert	10000	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

3.3 Zusatzschnittstellenparameter

P-AXIS-00735	**Aktivierung des Filters der Zusatzschnittstelle**	
Beschreibung	Mit diesem Wert wird die Filterfunktion ein- bzw. ausgeschaltet.	
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].enable	
Datentyp	BOOLEAN	
Datenbereich	0: Filter ist ausgeschaltet 1: Filter ist eingeschaltet	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T:----	R,S: ----
Standardwert	0	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen	Die Filterfunktion wird nur bei Filterordnung > 0 aktiviert (filter[i].order)	

P-AXIS-00739	**Frequenzbereich des Filters der Zusatzschnittstelle**	
Beschreibung	Der Parameter definiert den Frequenzbereich für: • Tiefpass: Anfang des Frequenzsperrbereiches (idealer Filter) • Hochpass: Anfang des Frequenzdurchlassbereiches (idealer Filter) • Bandpass- und Bandstoppfilter: Mittlere Frequenz	
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].fg_f0	
Datentyp	REAL64	
Datenbereich	0 < FG_F= > $0.5/T_{Ab}$ (mit T_{Ab} als NC-Zykluszeit)	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: Hz	R,S: Hz
Standardwert	30	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00740	**Bandbreite des Filters der Zusatzschnittstelle**	
Beschreibung	Angabe vom Kehrwert der Bandbreite für die Filtertypen des Bandpass und Bandstopp. Das Verhalten ist analog zum Parameter P-AXIS-00080.	
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].guete	
Datentyp	REAL64	
Datenbereich	1 < guete < 10	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: ----	R,S: ----
Standardwert	1.0	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00736	**Ordnung des Filters der Zusatzschnittstelle**
Beschreibung	Mit diesem Parameter wird die Ordnung des Filters angegeben. Weiter ist dieser Parameter ein Wert, mit dem der Abfall des Frequenzganges (Abfall = -order x 20 dB/Dekade.) ausgedrückt wird. Der Wert order = 0 bedeutet: kein Filter zugeschaltet.
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].order
Datentyp	UNS32

Datenbereich	0 < order < 6 für Tiefpass-, Hochpass- und Allpassfilter 0 < order < 3 für Bandpass- und Bandstoppfilter order = 0 oder <= 1 für PT1-Filter order = 0 oder <= 1 für PT2-Filter	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T:----	R,S: ----
Standardwert	2	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen	Für die Filtertypen PT1, PT2 und TIME_DELAY muss lediglich eine Ordnung < 1 angegeben werden um den Filter zu aktivieren. Die Entsprechende Ordnung wird intern bestimmt.	

P-AXIS-00737	**Charakteristik des Filters der Zusatzschnittstelle**	
Beschreibung	Der Parameter definiert die Filter-Charakteristik.	
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].prototype	
Datentyp	STRING	
Datenbereich	CRIT_DAMPING: Filtercharakteristik 'Critical damping' BUTTERWORTH: Filtercharakteristik 'Butterworth‘ BESSEL: Filtercharakteristik 'Bessel‘	
Achstypen	T	
Dimension	T:----	
Standardwert	CRIT_DAMPING	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00741	**Signalanteil des Filters der Zusatzschnittstelle**	
Beschreibung	Mit diesem Parameter wird der Signalanteil festgelegt, der durch den Filter geführt wird.	
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].share_percent	
Datentyp	REAL64	
Datenbereich	0 < sahre_percent < 100	
Achstypen	T	
Dimension	T:----	R, S: ----
Standardwert	1.000000e+002	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00738	**Typ des Filters der Zusatzschnittstelle**
Beschreibung	Der Parameter definiert den Filter-Typ
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].type
Datentyp	STRING

Datenbereich	LOWPASS	Tiefpass - Filter
	HIGHPASS	Hochpass - Filter
	BANDPASS	Bandpass - Filter
	BANDSTOP	Bandstopp - Filter
	ALLPASS	Allpass - Filter
	PT1	PT1-Filter
	HSC_SINE	HSC-Sinc
	HSC_MEAN	HSC-Mittelwert
	HSC_GAUSS	HSC-Gauss
	PT2	PT2-Filter
	TIME_DELAY	Zeitverzögerungsfilter (ab CNC-Build 3013)
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T:----	R,S: ----
Standardwert	PT2	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

P-AXIS-00742	**Zeitkonstante des Filters der Zusatzschnittstelle**	
Beschreibung	Der Parameter definiert die Zeitkonstante des PT1-, PT2- und Zeitverzögerungsfilters.	
Parameter	lr_param.add_interface.filter[i].time_constant	
Datentyp	UNS32	
Datenbereich	Für PT1- / PT2-Filter: TAb ≤ filter[i].time_constant ≤ MAX(UNS32) (mit TAb ->NC-Zykluszeit) Für Zeitverzögerungsfilter: 0 ≤ filter[i].time_constant < 6 * TAb (mit TAb ->NC-Zykluszeit)	
Achstypen	T, R, S	
Dimension	T: µs	R,S: µs
Standardwert	0	
Antriebstypen	----	
Anmerkungen		

4 Anwendung

Signalglättung mit Tiefpassfiltern

Die Eigenschaft von Tiefpassfiltern, hohe Frequenzen zu dämpfen, wird zur Glättung von Signalverläufen genutzt. Das folgende Diagramm zeigt die Sprungantwort von Tiefpassfiltern unterschiedlicher Ordnung, aber derselben Grenzfrequenz von 1Hz.

Es zeigt sich, dass die maximale Steigung der Sprungantwort nahezu unabhängig von der Ordnung des Filters ist. Sie kann deshalb aus der Steigung zu Beginn der Sprungantwort eines Filters 1. Ordnung abgeschätzt werden, welche einfach zu berechnen ist.

Für einen Schritt Δx am Eingang eines Tiefpassfilters mit der Grenzfrequenz von f_g erhalten wir die folgende Gleichung für die maximale Steigung des Ausgangssignals:

$$\left.\frac{dy}{dt}\right|_{max} \cong \Delta x 2\pi f_g$$

Diese Gleichung ist wichtig, da sie den Zusammenhang zwischen der Bandbreite des Signals und der maximalen Steigung des gefilterten Signals wiedergibt.

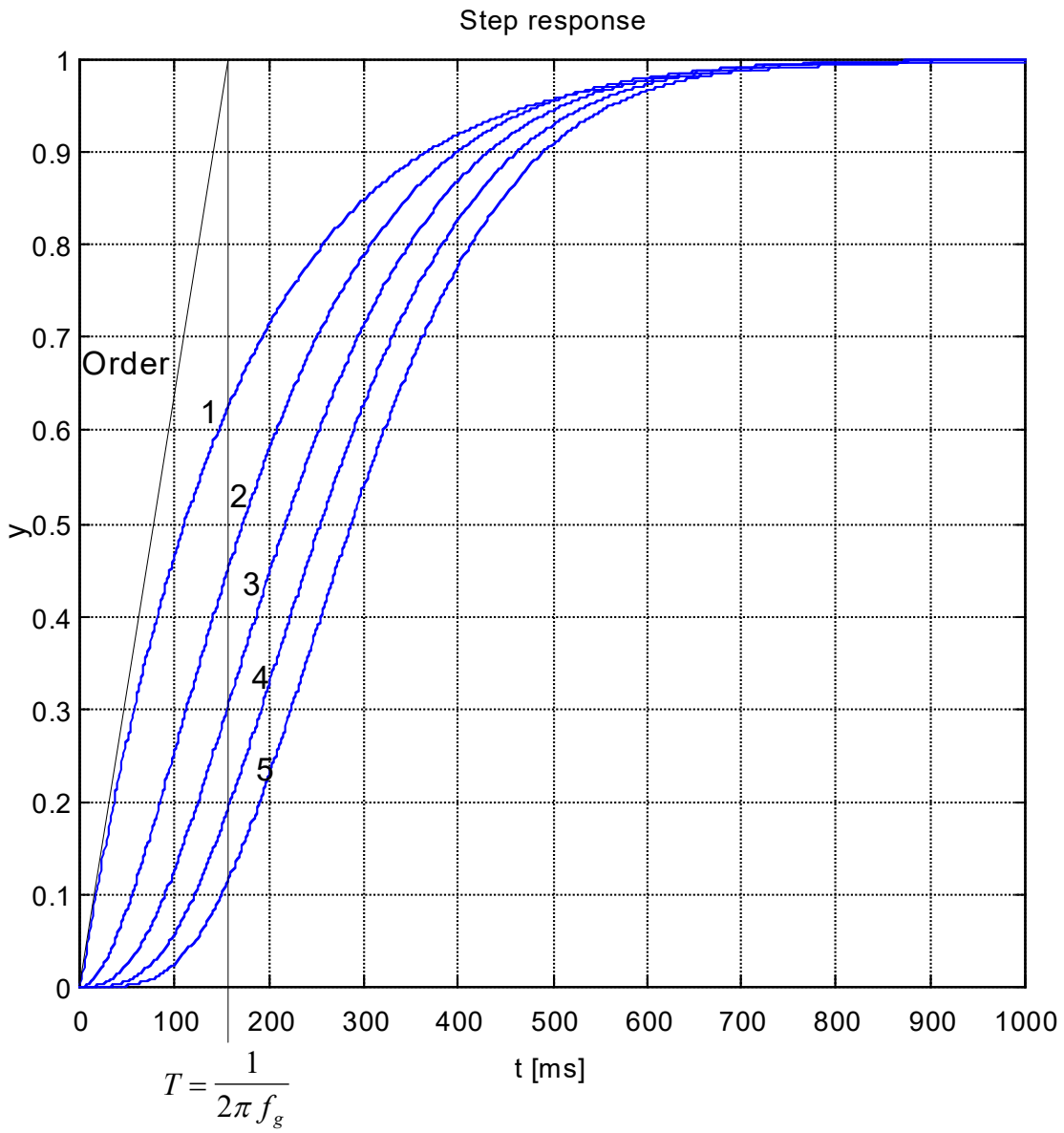


Abb. 16: Sprungantwort von Tiefpassfiltern unterschiedlicher Ordnung

5 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

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

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

Beckhoff Unternehmenszentrale

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG

Hülshorstweg 20
33415 Verl
Deutschland

Telefon:	+49 5246 963-0
E-Mail:	info@beckhoff.com
Internet:	www.beckhoff.com

Stichwortverzeichnis

P

P-AXIS-00067 32
P-AXIS-00080 32
P-AXIS-00140 33
P-AXIS-00153 33
P-AXIS-00164 33
P-AXIS-00204 34
P-AXIS-00319 32
P-AXIS-00357 34
P-AXIS-00735 36
P-AXIS-00736 36
P-AXIS-00737 37
P-AXIS-00738 37
P-AXIS-00739 36
P-AXIS-00740 36
P-AXIS-00741 37
P-AXIS-00742 38

Mehr Informationen:
www.beckhoff.de/TF5200

Beckhoff Automation GmbH & Co. KG
Hülshorstweg 20
33415 Verl
Deutschland
Telefon: +49 5246 9630
info@beckhoff.com
www.beckhoff.com