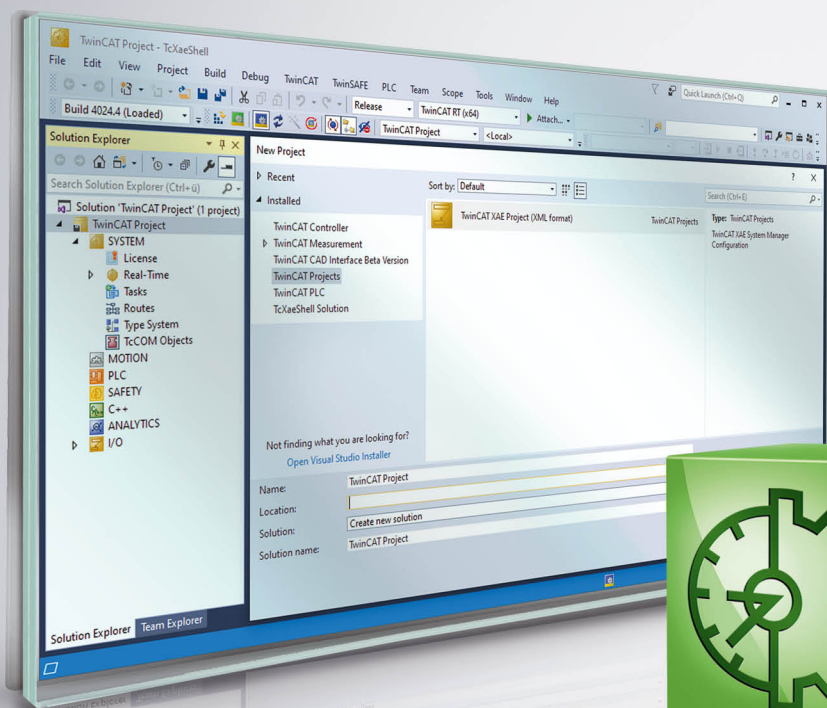


Handbuch | DE

TE131x

TwinCAT 3 | Filter Designer



Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	5
1.1	Hinweise zur Dokumentation	5
1.2	Sicherheitshinweise	6
2	Übersicht	7
3	Installation	8
3.1	Systemvoraussetzungen	8
3.2	Herunterladen der Setup-Datei	8
3.3	Installation	8
4	Technische Einführung	12
4.1	Digitale Filter	12
4.2	Filtertypen und Parametrierung	14
5	Konfiguration	20
5.1	Neues Projekt	20
5.2	Filter	22
5.2.1	Eigenschaften Filter Set	24
5.3	Verwendung	30
5.3.1	SPS	31
5.3.2	I/O	33
5.4	Speichern von Projekten und Filtern	37
6	Anhang	41
6.1	FAQ	41

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, für jede Installation und Inbetriebnahme die zu dem betreffenden Zeitpunkt veröffentlichte 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.

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

1.2 Sicherheitshinweise

Sicherheitsbestimmungen

Beachten Sie die folgenden Sicherheitshinweise und Erklärungen!
Produktspezifische Sicherheitshinweise finden Sie auf den folgenden Seiten oder in den Bereichen Montage, Verdrahtung, Inbetriebnahme usw.

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.

Erklärung der Symbole

In der vorliegenden Dokumentation werden die folgenden Symbole mit einem nebenstehenden Sicherheitshinweis oder Hinweistext verwendet. Die Sicherheitshinweise sind aufmerksam zu lesen und unbedingt zu befolgen!

GEFAHR

Akute Verletzungsgefahr!

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

WARNUNG

Verletzungsgefahr!

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

VORSICHT

Schädigung von Personen!

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

HINWEIS

Schädigung von Umwelt oder Geräten

Wenn der Hinweis neben diesem Symbol nicht beachtet wird, können Umwelt oder Geräte geschädigt werden.

Tipp oder Fingerzeig



Dieses Symbol kennzeichnet Informationen, die zum besseren Verständnis beitragen.

2 Übersicht

Der TwinCAT Filter Designer gehört zu der TwinCAT Measurement Produktfamilie. Das Tool ermöglicht ein einfaches Designen von digitalen Filtern. Die ermittelten Koeffizienten können Sie für die zugehörige Filter SPS-Bibliothek (TF3680) oder in die EtherCAT Messtechnikmodule (ELM3xxx) bequem herunterladen.

Der Filter Designer integriert sich dabei nahtlos in die vorhandene TwinCAT Entwicklungsumgebung und kann in einem Measurement Projekt angelegt werden. Sie haben die Möglichkeit die Filterkennlinien grafisch per Maus oder textbasiert in den Filter-Einstellungen zu individualisieren.

Für große Mess-Kampagnen, in denen beispielsweise mehrere ELM Module mit den gleichen Filterkoeffizienten auf unterschiedlichen Kanälen arbeiten sollen, bietet der TwinCAT Filter Designer Multi-Download-Strategien, um so das Engineering noch weiter zu vereinfachen.

3 Installation

3.1 Systemvoraussetzungen

Für eine einwandfreie Funktion des TwinCAT Filter Designers müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein.

Unterstützte Betriebssysteme

Windows 7, Windows 8.1 und Windows 10

TwinCAT

Minimum ist TwinCAT 3.1 Build 4022.29

.NET Framework

Version 4.6.2

Visual Studio® Entwicklungsumgebung

- Visual Studio® 2015
- Visual Studio® 2017
- TwinCAT XAE Shell

Grundsätzlich ist es ausreichend, die Visual Studio® Shell zu nutzen. Das „Full“ Setup bringt eine Shell in Form der TwinCAT XAE Shell mit. Das „Update“ Setup stellt nur ein Update der Filter Designer Sourcen zur Verfügung.

3.2 Herunterladen der Setup-Datei

Das TwinCAT Measurement Setup steht als Download auf den Beckhoff-Webseiten zur Verfügung. Hierbei handelt es sich um die jeweils aktuellste Version verschiedener Measurement Produkte wie Scope View, Scope Server, Bode Plot, Filter Designer etc.. Der teils unterschiedliche Funktionsumfang ist ausschließlich über die Lizenzen aktivierbar. Führen Sie folgende Schritte durch, um die Setup-Datei zu downloaden:

1. Starten Sie einen Webbrowser Ihrer Wahl und öffnen Sie die Beckhoff-Webseite www.beckhoff.com.
2. Navigieren Sie im Strukturbaum der Webseite zum Knoten Automation und wählen dort das jeweilige Produkt aus. Beispielsweise: > TwinCAT 3 > TE1xxx | TC3 Engineering > TE13xx | TC3 Scope View Professional.
3. Klicken Sie auf den Download-Link, um die Software in den Warenkorb zu legen. Klicken Sie anschließend auf **Download starten**.
4. (Optional) Übertragen Sie die heruntergeladene Datei auf das TwinCAT-Laufzeitsystem, auf welchem Sie das Produkt installieren möchten.

3.3 Installation

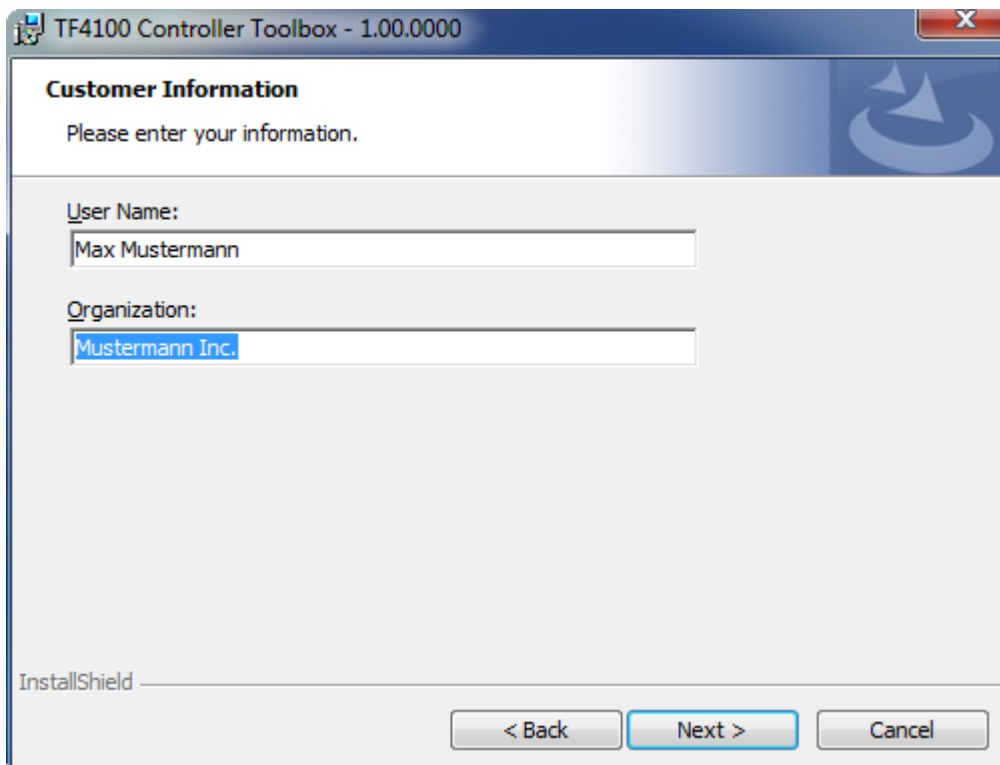
Nachfolgend wird beschrieben, wie die TwinCAT 3 Function für Windows-basierte Betriebssysteme installiert wird.

- ✓ 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.

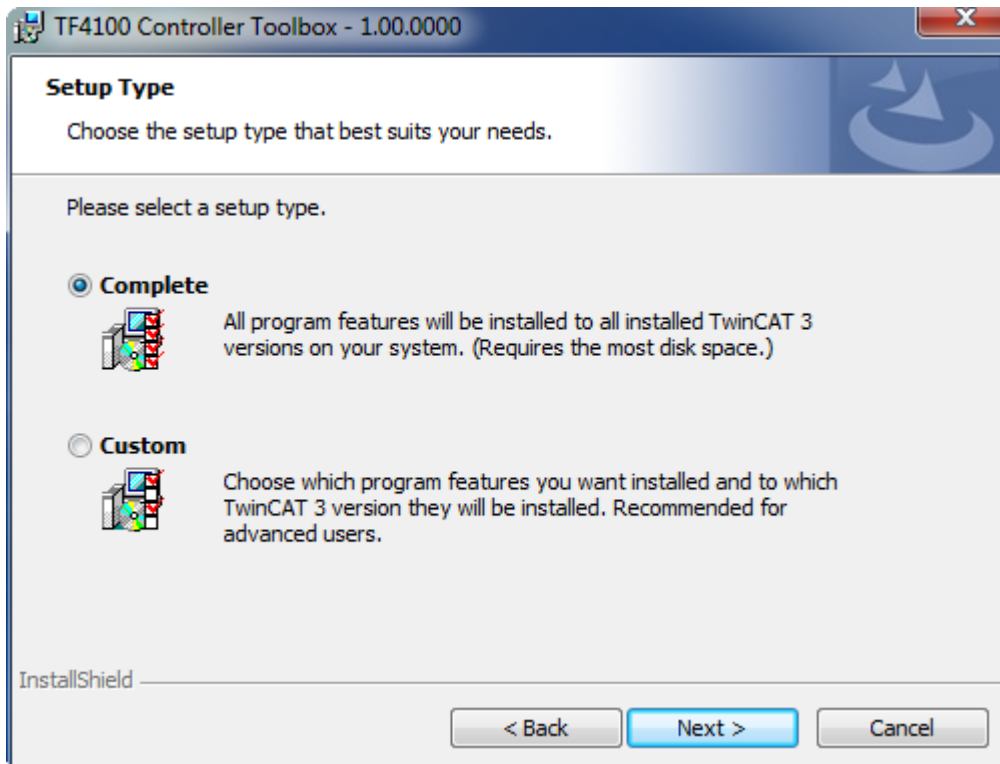
2. Akzeptieren Sie die Endbenutzerbedingungen und klicken Sie auf **Next**.



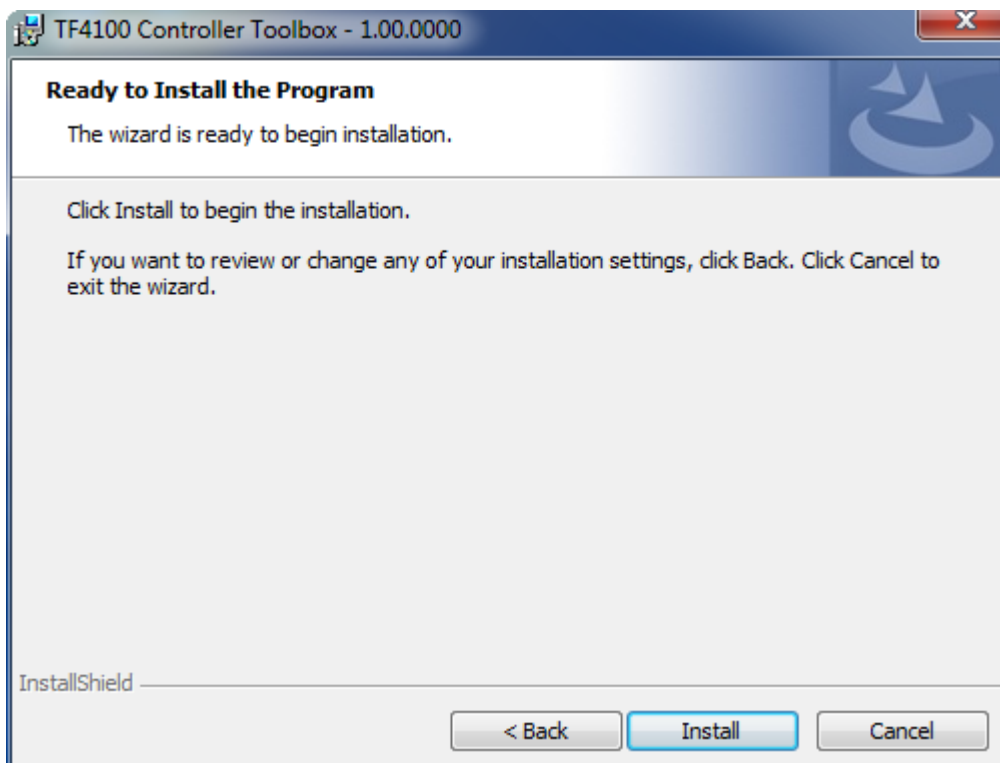
3. Geben Sie Ihre Benutzerdaten ein.



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**.

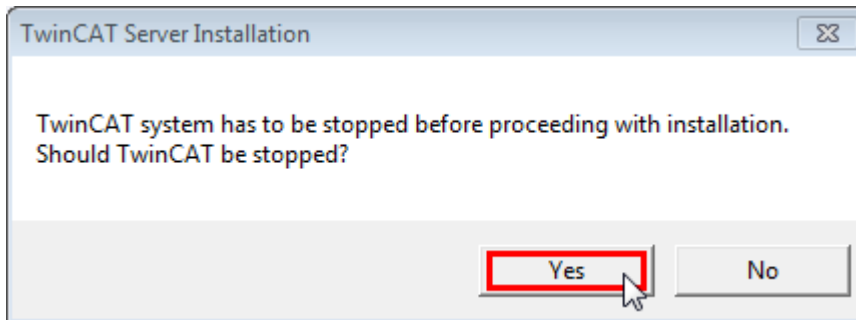


5. Wählen Sie **Next** und anschließend **Install**, um die Installation zu beginnen.

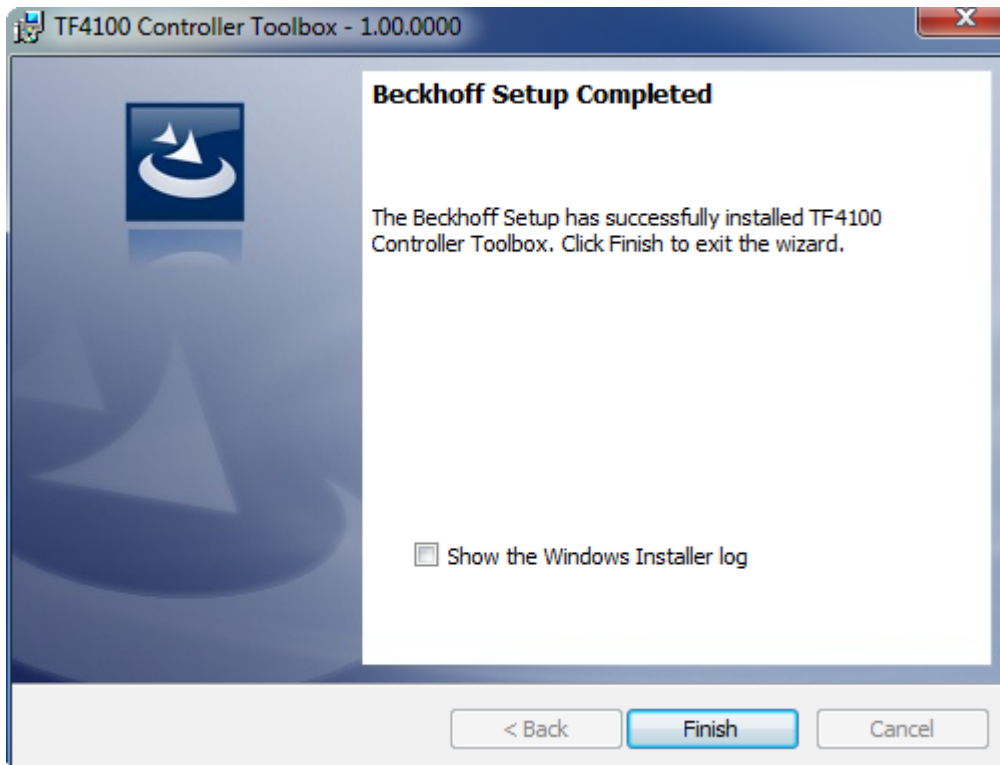


- ⇒ Ein Dialog weist Sie darauf hin, dass das TwinCAT-System für die weitere Installation gestoppt werden muss.

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



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



- ⇒ Die TwinCAT 3 Function wurde erfolgreich installiert und kann lizenziert werden (siehe Lizenzierung).

4 Technische Einführung

4.1 Digitale Filter

Digitalfilter oder digitale Filter werden verwendet, um digitalisierte (zeitdiskrete und wertquantisierte) Signale zu manipulieren. Die Manipulation zeigt sich dabei im Frequenzbereich, in dem bestimmte Bestandteile eines Signals hervorgehoben oder unterdrückt werden.

Eigenschaften

Digitale Filter können sich u. a. in dem Frequenzbereich unterscheiden, der das Filter passieren darf.

Filtertyp	Beschreibung	Einsatzbereich (Beispiele)
Tiefpass	Frequenzen unterhalb einer Grenzfrequenz können das Filter passieren.	Anti-Aliasing-Filter oder Filter zur Glättung eines Signals.
Hochpass	Frequenzen oberhalb einer Grenzfrequenz können das Filter passieren.	Beseitigung eines störenden Gleichanteils im Signal.
Bandpass	Frequenzen innerhalb eines Frequenzintervalls können das Filter passieren.	Sinnvoll bei amplitudenmodulierten Signalen (Funktechnik, optischen Messsignalen, Ultraschall-Signalen, ...), d. h. das Nutzsignal verteilt sich spektral um eine Trägerfrequenz, sodass tiefe und hohe Frequenzen außerhalb des Nutzsignals das SNR (Signal-Rausch-Verhältnis) verschlechtern und unterdrückt werden.
Bandstopp	Frequenzen außerhalb eines Frequenzintervalls können das Filter passieren.	Unterdrückung einer induktiv eingekoppelten Frequenz, z. B. der Netzfrequenz.

Die konkrete Implementierung des Filters bestimmt das Übergangsverhalten vom Durchlassbereich zum Sperrbereich.

Siehe auch: [Filtertypen und Parametrierung](#) [► 14]

Digitale Signale

Ein analoges Signal $x(t)$ wird durch einen Analog-Digital-Umsetzer, z. B. in einer EL3xxx oder ELM3xxx, in ein zeitdiskretes und wertquantisiertes Signal $x[n]$ überführt. Die Zeitdiskretisierung findet mit der Abtastperiodendauer T statt (Inverse der Abtastfrequenz f_s).

$$x[n] = x(t = nT)$$

Differenzgleichung

Die allgemeine Differenzgleichung für ein Eingangssignal $x[n]$ (Eingang in ein diskretes System, hier ein Filter) und ein zugehöriges Ausgangssignal $y[n]$ lautet:

$$a_0 y[n] + \sum_{k=1}^N a_k y[n-k] = \sum_{k=0}^M b_k x[n-k]$$

Dabei sind a_k und b_k i. d. R. reellwertige Koeffizienten (Filterkoeffizienten). Der aktuelle Ausgangswert $y[n]$ eines Systems wird also als Linearkombination von vergangenen Filtereingängen $x[n-k]$ mit $k > 0$, vergangenen Filterausgängen $y[n-k]$ mit $k > 0$ und dem aktuellen Filtereingang $x[n]$ ($k = 0$) berechnet.

Die Einbeziehung von vergangenen Filterausgängen in die Berechnung eines aktuellen Ausgangswerts stellt eine Rückkopplung dar und bedarf entsprechend einer Überprüfung hinsichtlich der Stabilität des Systems. Filter mit Rückkopplungen werden „IIR-Filter“ (Infinite-Impulse-Response-Filter) genannt. Filter ohne Rückkopplung werden „FIR-Filter“ (Finite-Impulse-Response-Filter) genannt. Der Vorteil von IIR-Filtern ist, dass mit geringen Filterordnungen bereits „gute“ Manipulationen am Signal $x[n]$ durchgeführt werden können. FIR-Filter hingegen können per Definition nie instabil sein.

Übertragungsfunktion

Durch z-Transformation der Differenzgleichung und unter Ausnutzung der Linearität und der Zeitverschiebungseigenschaft ergibt sich folgende allgemeine Darstellung der Filter-Übertragungsfunktion:

$$G(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^N a_k z^{-k}} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_M z^{-M}}{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_N z^{-N}}$$

Die Nenner-Koeffizienten a_k gehören zu den Koeffizienten in der Rückkopplung. Damit das Filter mit der Übertragungsfunktion $G(z)$ stabil ist, muss bei der Berechnung dieser Koeffizienten darauf geachtet werden, dass die Polstellen von $G(z)$ innerhalb des Einheitskreises in der komplexen Ebene liegen.

IIR-Filter mit hoher Filter-Ordnung können durch Quantisierungseffekte bei der Berechnung der Koeffizienten instabil werden. Um diese Herausforderung zu umgehen, werden IIR-Filter häufig in kaskadierten Biquad-Filter implementiert, in der Regel bekannt als second-order sections (SOS). Dabei wird die Gesamtübertragungsfunktion durch eine Multiplikation von mehreren Filtern 2ter Ordnung ausgedrückt. Die Übertragungsfunktion $G(z)$ wird dann beschrieben mit:

$$G(z) = \prod_{m=1}^M G_m(z) = \prod_{m=1}^M \frac{b_{0m} + b_{1m} z^{-1} + b_{2m} z^{-2}}{a_{0m} + a_{1m} z^{-1} + a_{2m} z^{-2}}$$

Aus der Übertragungsfunktion $G(z)$ kann durch Übergang in den Frequenzbereich (Frequenz f) mit

$z = \exp(j2\pi fT)$ der Frequenzgang eines Systems bestimmt werden. Der Amplitudengang entspricht dann dem Betrag des Frequenzgangs und der Phasengang dem Argument des Frequenzgangs.

Umsetzung in der SPS-Bibliothek

Die SPS-Bibliothek Tc3_Filter stellt verschiedene Funktionsbausteine zur Realisierung von digitalen Filtern zur Verfügung.

Mit dem Funktionsbaustein FB_FTR_IIRCoeff können Sie einen freien Filter realisieren. Die Filterkoeffizienten a_k und b_k können Sie dabei individuell berechnen und dem Funktionsbaustein über eine Konfigurationsstruktur übergeben. Für die Stabilität des Filters sind Sie selbst verantwortlich.

Mit dem Funktionsbaustein FB_FTR_IIRSos können Sie einen freien Filter strukturiert in SOS realisieren. Die Filterkoeffizienten a_k und b_k können Sie dabei individuell berechnen und dem Funktionsbaustein über eine Konfigurationsstruktur übergeben. Für die Stabilität des Filters sind Sie selbst verantwortlich.

Mit dem Funktionsbaustein FB_FTR_IIRSpec können Sie durch einfache Parametrierung vorgefertigte Filter vom Typ „Butterworth“ und vom Typ „Chebyshev“ realisieren. Die Filterkoeffizienten werden dabei intern als Biquads berechnet.

Mit dem Funktionsbaustein FB_FTR_MovAvg können Sie einen Moving-Average-Filter realisieren, der in vielen Anwendungen zum Glätten von Signalen genutzt wird.

Außerdem werden Ihnen weitere in der Systemtheorie und Regelungstechnik gebräuchliche Filter zur Verfügung gestellt: PT1-, PT2-, PT3- und PTn-Glieder.

Ein PT1-Glied und ein Butterworth-Tiefpassfilter 1. Ordnung können zwar äquivalent ineinander umgerechnet werden, jedoch sind die dargebotenen Parameter der Filter unterschiedlich.

Bilineare Transformation

Die Parametrierung der vordefinierten Filter erfolgt im Laplace-Bereich. Die Umsetzung von der zeitkontinuierlichen Darstellung des Systems in den zeitdiskreten z-Raum erfolgt intern mithilfe der bilinearen Transformation.

$$s = \frac{2}{T} \frac{z - 1}{z + 1}$$

Beim Filterentwurf wird der Effekt des „Frequency warping“ berücksichtigt.

4.2 Filtertypen und Parametrierung



Diese Beschreibung beschränkt sich auf Tiefpassfilter. Die Konzepte können jedoch auf weitere Filtertypen (Hochpass-, Bandpass- und Stopband-Filter) übertragen werden.

Gebräuchliche Realisierungen eines Digitalfilters sind das Butterworth-Filter und das Chebyshev-Filter.

Der Unterschied beider Realisierungen besteht im Wesentlichen in der Abwägung zwischen der zulässigen Welligkeit des Amplitudengangs im Durchlassbereich und der Steilheit des Amplitudengangs im Übergang vom Durchlass- in den Sperrbereich. Während das Butterworth-Filter einen maximal flachen Amplitudengang im Durchlassbereich besitzt, wird beim Chebyshev-Filter die zulässige Welligkeit des Amplitudengangs im Durchlassbereich als Parameter vorgegeben. Vorteil des Chebyshev-Filters ist dann eine steilere Abnahme des Amplitudengangs im Übergangsbereich vom Durchlass- in den Sperrbereich.

Nachfolgend werden die Filtertypen gegenübergestellt und näher beschrieben. Dazu werden zunächst einige grundlegende Begriffe kurz erläutert.

Übertragungsfunktion im Amplituden-Frequenz-Diagramm

Das Filter wird mathematisch durch die Übertragungsfunktion beschrieben (siehe [Digitale Filter \[► 12\]](#)). Die Übertragungsfunktion kann im Amplituden- und Phasengang dargestellt werden.

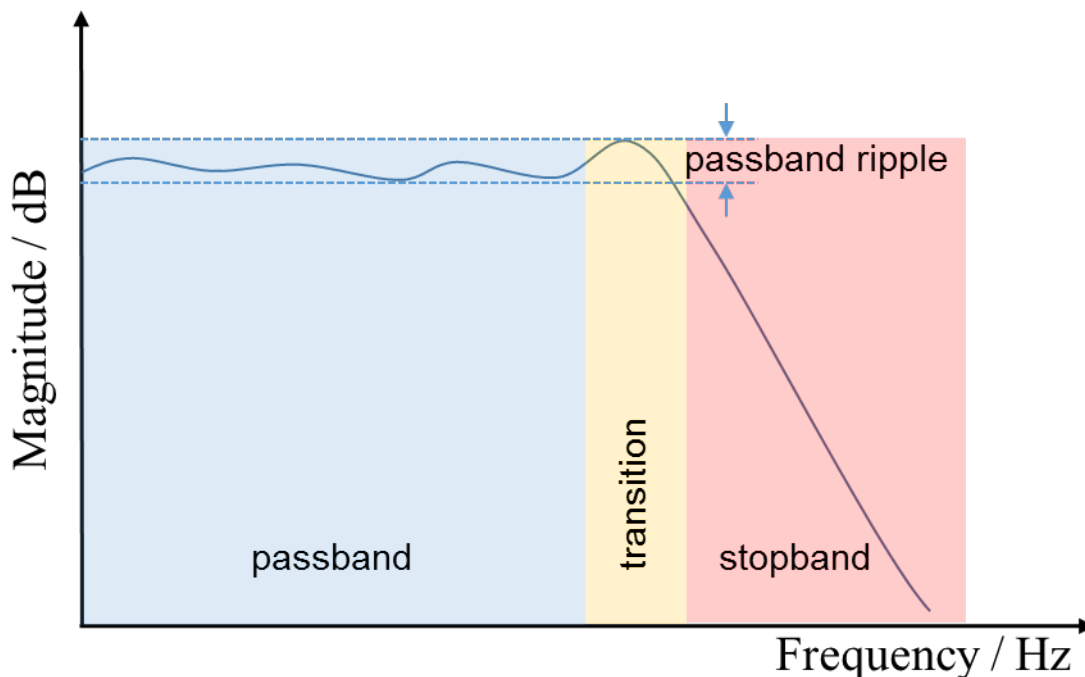


Abb. 1: Grafische Darstellung des Amplitudengangs eines Tiefpassfilters

Durchlassbereich (engl. Passband)

Der Durchlassbereich (blaue Zone) lässt spektrale Anteile eines Signals passieren und soll das Signal in diesem Frequenzbereich nicht möglichst verändern.

Sperrbereich (engl. Stopband)

Im Sperrbereich (rote Zone) dämpft das Filter die entsprechenden Frequenzanteile des Signals.

Übergangsbereich (engl. Transition)

Der Übergangsbereich (gelbe Zone) soll in der Regel möglichst klein sein und trennt Durchlass- und Sperrbereich. Das Design der Übergangsphase ist ein prägendes Kriterium für die Wahl des Filtertyps sowie dessen Parametrisierung.

Welligkeit (engl. Passband ripple)

Die Welligkeit im Durchlassbereich beschreibt den nicht-glaten Verlauf des Amplitudengangs im Durchlassbereich.

Parametrierung des Butterworth-Filters

Eigenschaften

Der Amplitudengang des Butterworth-Filters verläuft im Durchlassbereich maximal flach, sodass das Nutzsignal in diesem Bereich nur minimal manipuliert wird. Außerdem ist der gesamte Verlauf des Amplitudengangs monoton, d. h. ohne Welligkeit. Der Filtertyp ist daher einer der am häufigsten genutzten Filtertypen.

Parameter

Die Übertragungsfunktion des Butterworth-Filters enthält nur zwei zu definierende Parameter: die Grenzfrequenz (engl. Cutoff frequency) und die Filterordnung.

Filterordnung

Die Filterordnung bestimmt, wie steil der Amplitudengang im Übergangsbereich abnimmt. Je höher die Filterordnung ist, desto steiler nimmt der Amplitudengang ab und desto kleiner ist der Übergangsbereich.

Für die Steilheit des Amplitudengangs bei einem Butterworth-Filter gilt: $-n \times 20$ dB/Dekade, mit n = Ordnung, also -20 dB/Dekade für Filterordnung 1, -40 dB/Dekade für Filterordnung 2, usw.

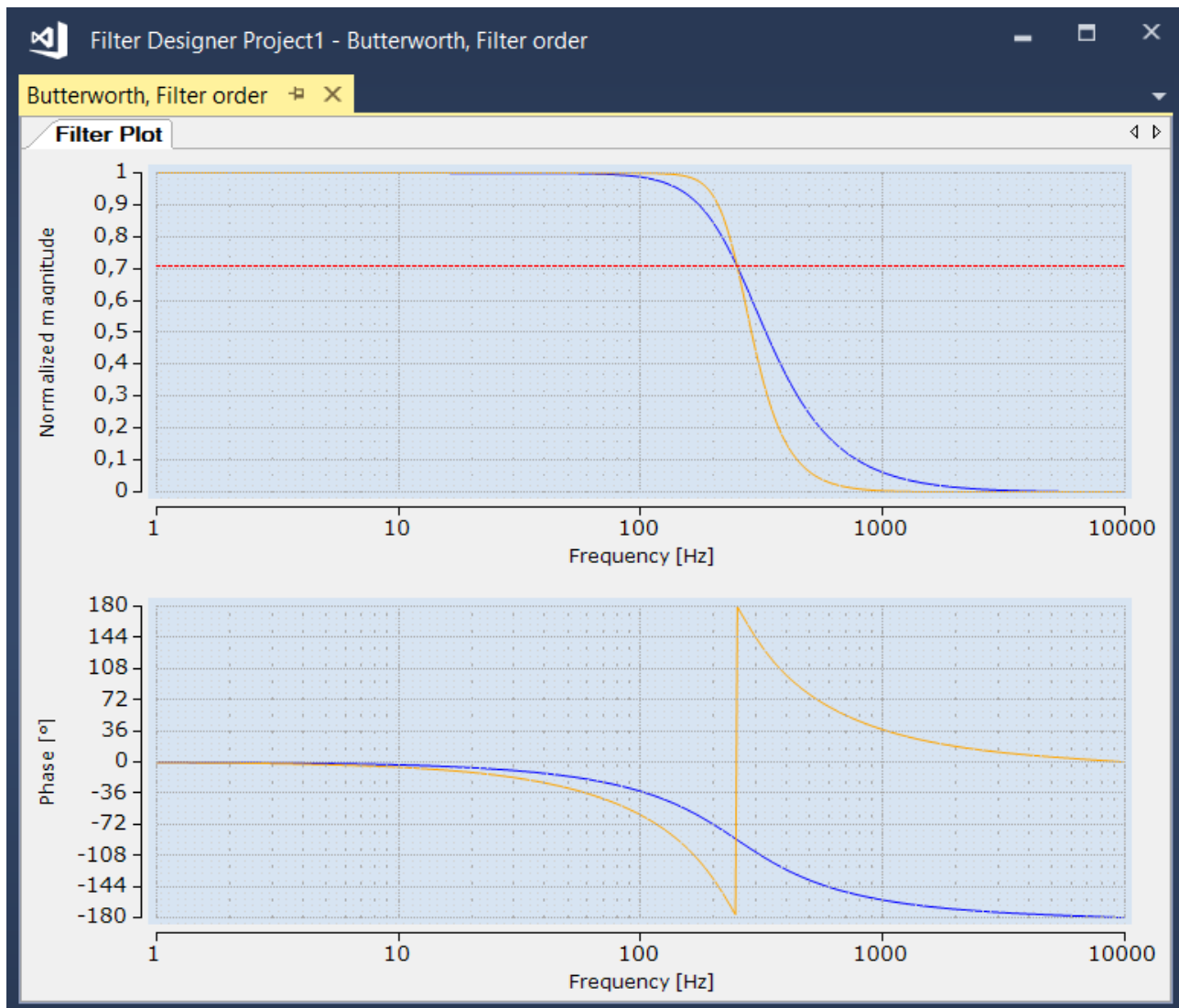


Abb. 2: Grafische Darstellung des Amplituden- und Phasengangs eines Butterworth-Filters (blau: Filterordnung 2, gelb: Filterordnung 4)

Grenzfrequenz

Die Grenzfrequenz des Butterworth-Filters ist nach dessen Übertragungsfunktion definiert als die Frequenz, bei der der normierte Amplitudengang den Wert $1/\sqrt{2} \approx -3$ dB annimmt. Dies gilt für alle Filterordnungen. Entsprechend ist bei der Auslegung des Filters darauf zu achten, dass spektrale Bestandteile eines Signals bei der Grenzfrequenz bereits um 3 dB gedämpft werden. Der Parameter bewirkt eine Parallelverschiebung des Amplitudengangs auf der Frequenzachse (Verzerrung aufgrund der logarithmischen Frequenzachse).

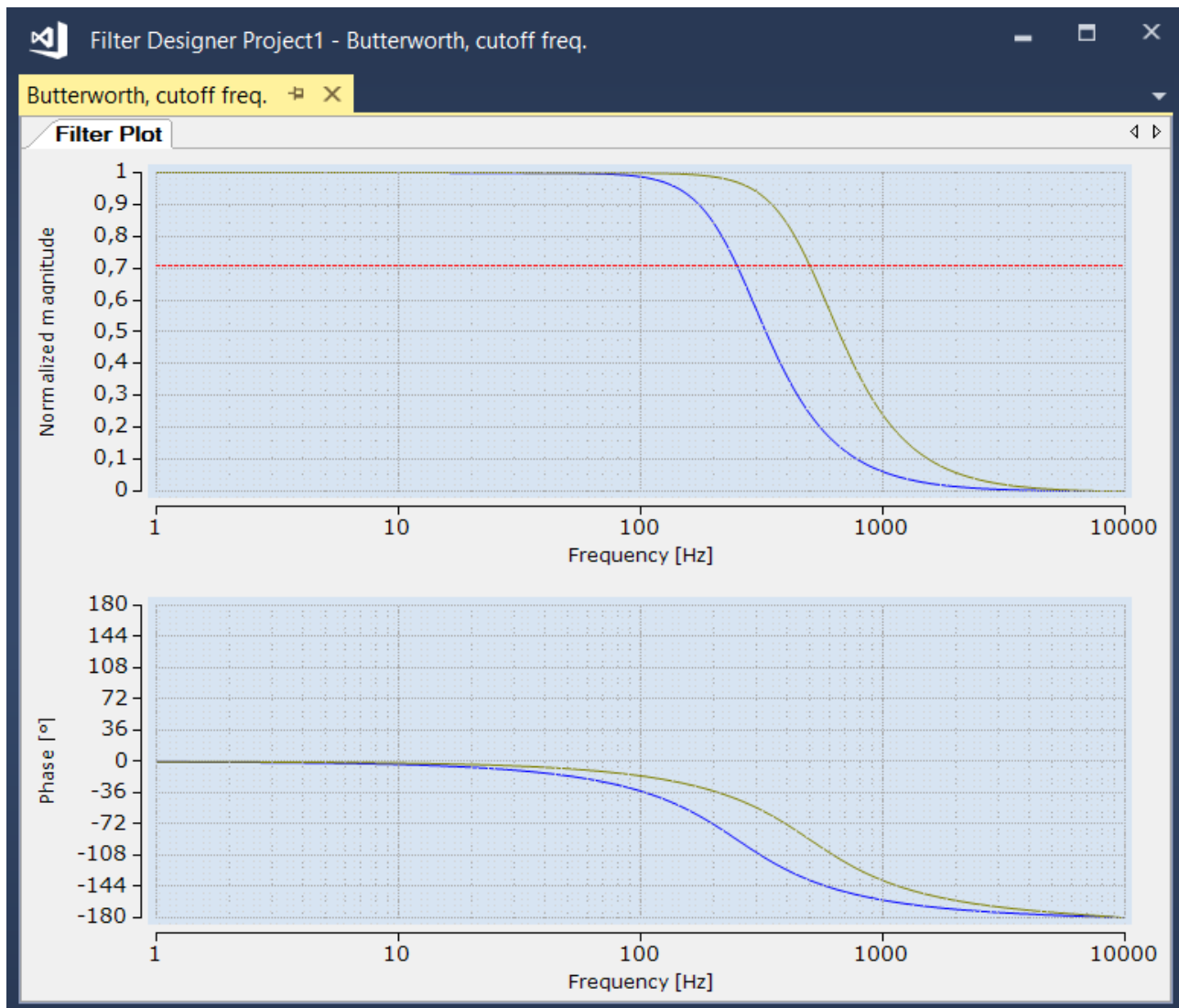


Abb. 3: Grafische Darstellung des Amplituden- und Phasengangs eines Butterworth-Filters (blau: Grenzfrequenz 400 Hz, grün: Grenzfrequenz 700 Hz)

Parametrierung des Chebyshev-Filters

Eigenschaften

Der Amplitudengang des Chebyshev-Filters weist im Durchlassbereich eine parametrierbare Welligkeit auf. Dafür nimmt der Amplitudengang jedoch bei kleiner Filterordnung im Übergangsbereich steil ab. Es gilt: Je größer die zulässige Welligkeit, desto kürzer der Übergangsbereich.

Parameter

Die Übertragungsfunktion des Chebyshev-Filters enthält neben der Filterordnung und der Grenzfrequenz als zu definierende Parameter zusätzlich den Welligkeitsparameter „Passband ripple“. Dieser wirkt sich auch auf die Definition der Grenzfrequenz aus.

Welligkeit

Der Parameter gibt die zulässige Welligkeit des Amplitudengangs im Durchlassbereich des Filters an. Durch Zulassen einer Welligkeit kann mit deutlich geringerer Filterordnung ein kurzer Übergangsbereich zwischen Durchlass- und Sperrbereich und somit eine steile Abnahme des Amplitudengangs erreicht werden.

Grenzfrequenz

Die Grenzfrequenz ist beim Chebyshev-Filter definiert als die Frequenz, an der der Amplitudengang die definierte Welligkeit „Passband ripple“ nach unten hin durchstößt.

Die Position des Übergangsbereichs auf der Frequenzachse geht somit nicht nur mit der Grenzfrequenz, sondern auch mit den Einstellungen zur Filterordnung und Welligkeit einher.

Das nachfolgende Diagramm zeigt drei verschiedene Chebyshev-Filter mit unterschiedlicher Filterordnung und Welligkeit, aber gleicher Grenzfrequenz.

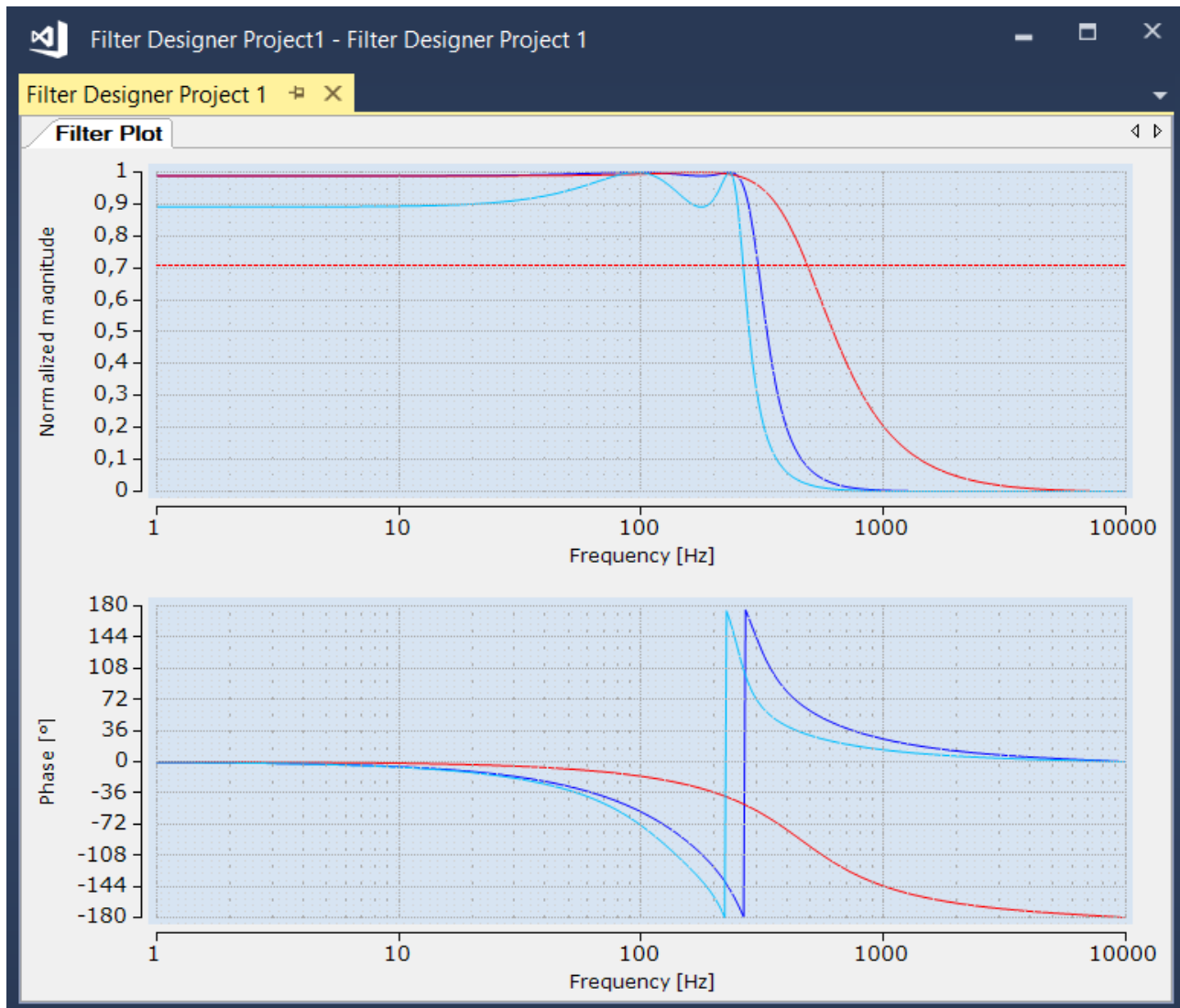


Abb. 4: Grafische Darstellung des Amplituden- und Phasengangs eines Chebyshev-Filters (blau: Filterordnung 4, Passband ripple 0,1 dB, rot: Filterordnung 2, Passband ripple 0,1 dB, cyan: Filterordnung 4, Passband ripple 1 dB)

Vergleich Butterworth- und Chebyshev-Filter

Die nachfolgende Grafik zeigt einen direkten Vergleich der Amplituden- und Phasengänge eines Butterworth-Filters und eines Chebyshev-Filters. Beide Filter sind so parametrisiert, dass sich deren Amplitudengänge in der Grenzfrequenz des Butterworth-Filters bei einer normierten Amplitude von $1/\sqrt{2}$ schneiden. Beide Filter sind als Filter fünfter Ordnung angesetzt. Der Welligkeitsparameter (Passband ripple) des Chebyshev-Filters beträgt 0.5 dB.

Es zeigt sich die angesprochene Abwägung zwischen zulässiger Welligkeit des Amplitudengangs im Durchlassbereich und Steilheit im Übergangsbereich bei gleicher Filterordnung. Bei gleicher Filterordnung nimmt beim Chebyshev-Filter der Amplitudengang im Übergangsbereich stärker ab als beim Butterworth-Filter. Dafür ist dessen Amplitudengang im Durchlassbereich nicht glatt, sodass hier das Nutzsignal stärker manipuliert wird als beim Butterworth-Filter.

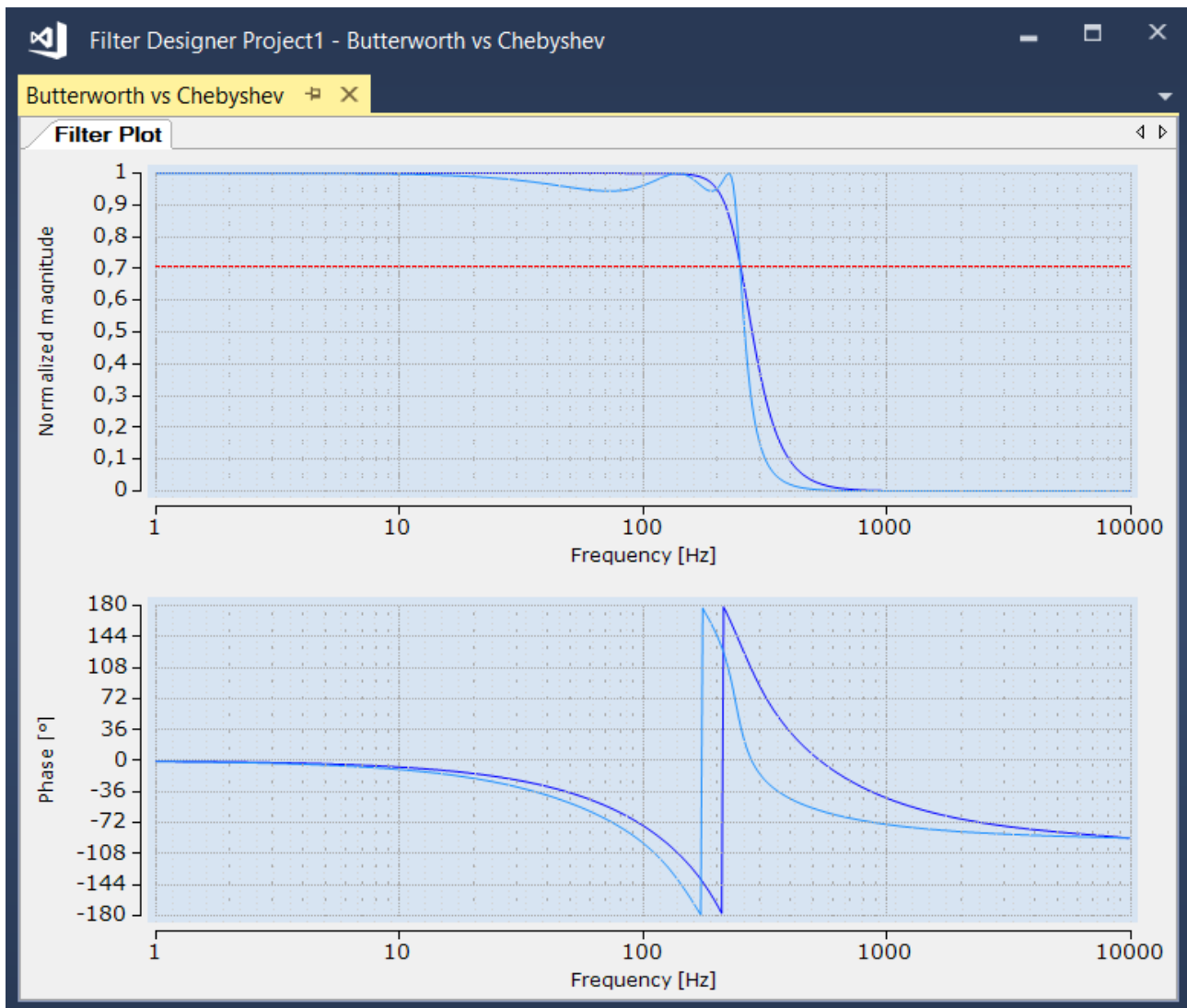


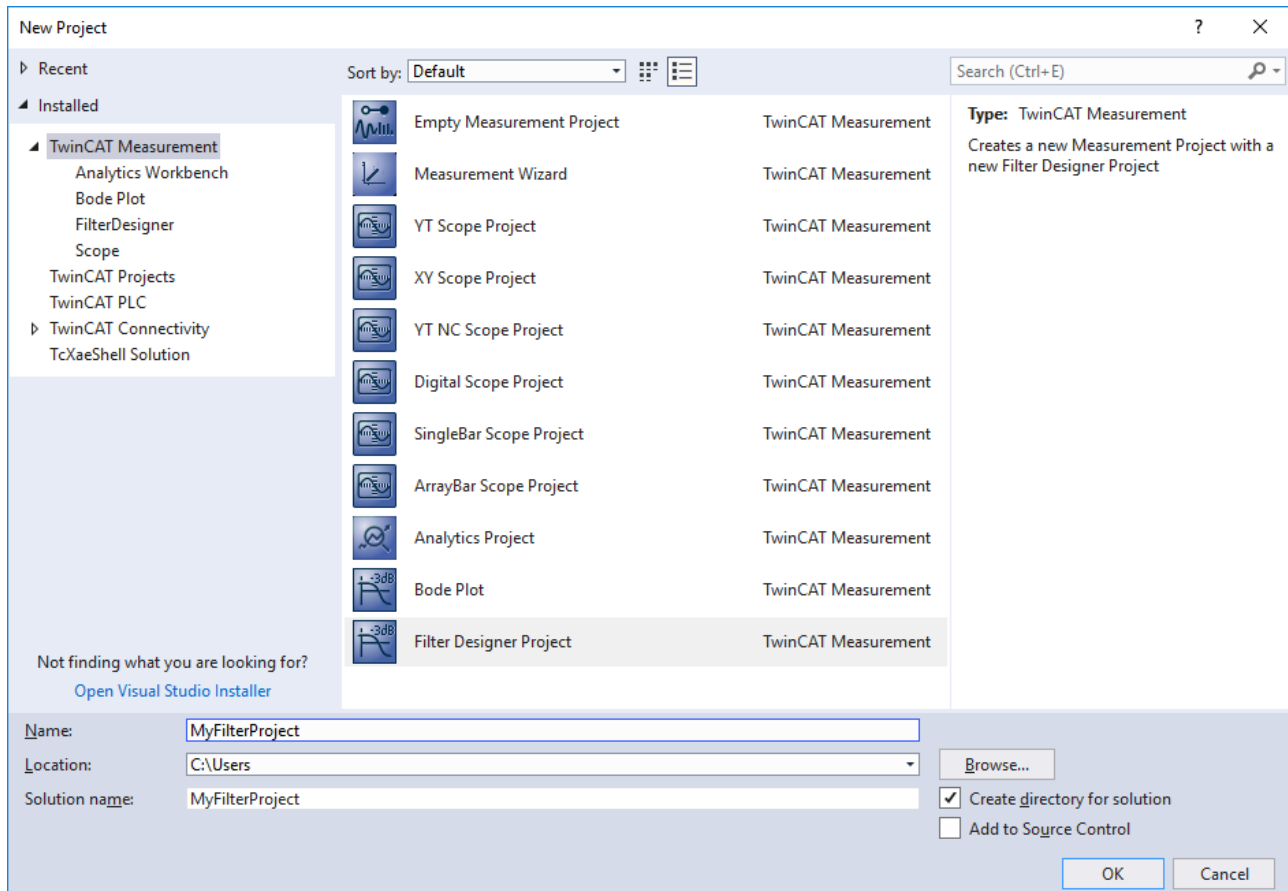
Abb. 5: Grafische Darstellung des Amplituden- und Phasengangs eines Butterworth-Filters (blau) und eines Chebyshev-Filters (cyan)

5 Konfiguration

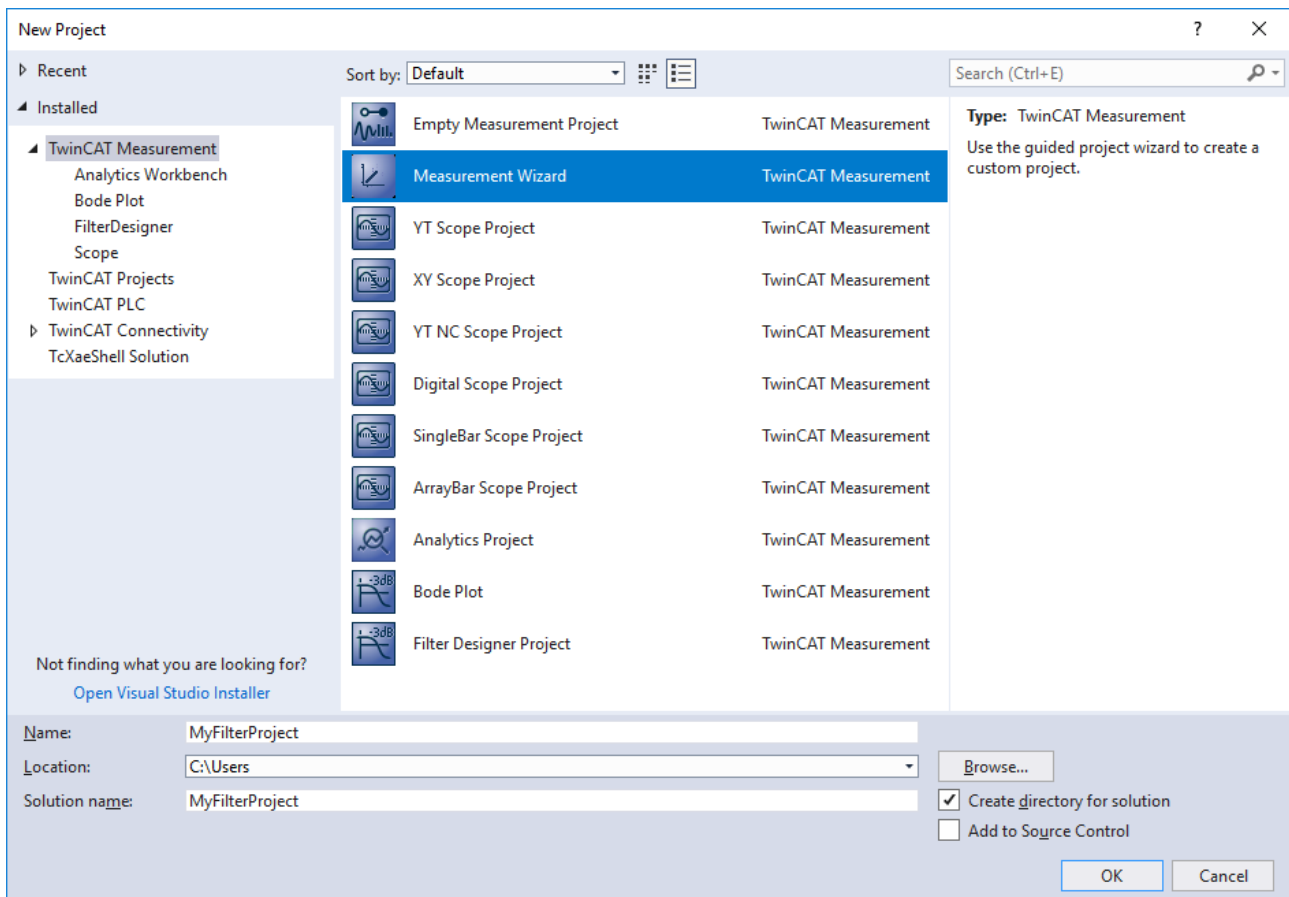
5.1 Neues Projekt

Um digitale Filter designen zu können, müssen Sie zunächst ein entsprechendes Projekt anlegen. Dafür gibt es verschiedene Wege. Grundsätzlich müssen Sie zuerst den Dialog **New Project** des Visual Studios® öffnen.

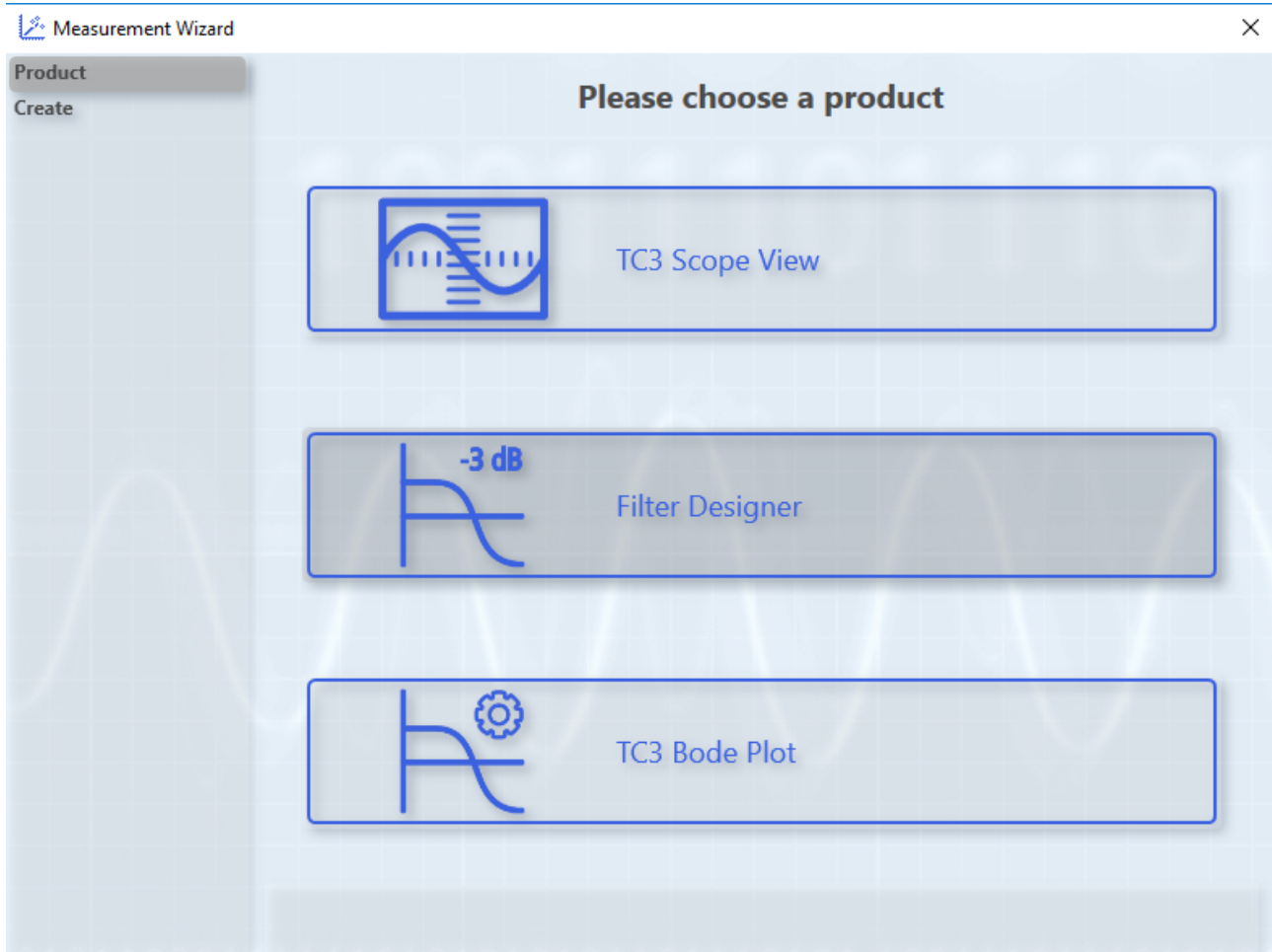
Im **New Project** Dialog können Sie direkt das **Filter Designer Project** auswählen und Ihren Projektnamen (z. B. MyFilterProject) eintragen. Danach wird das Projekt im Solution Explorer angelegt und mit einem Klick auf einen Eintrag im Baum wird der Editor mit der entsprechenden Filterkurve dargestellt.



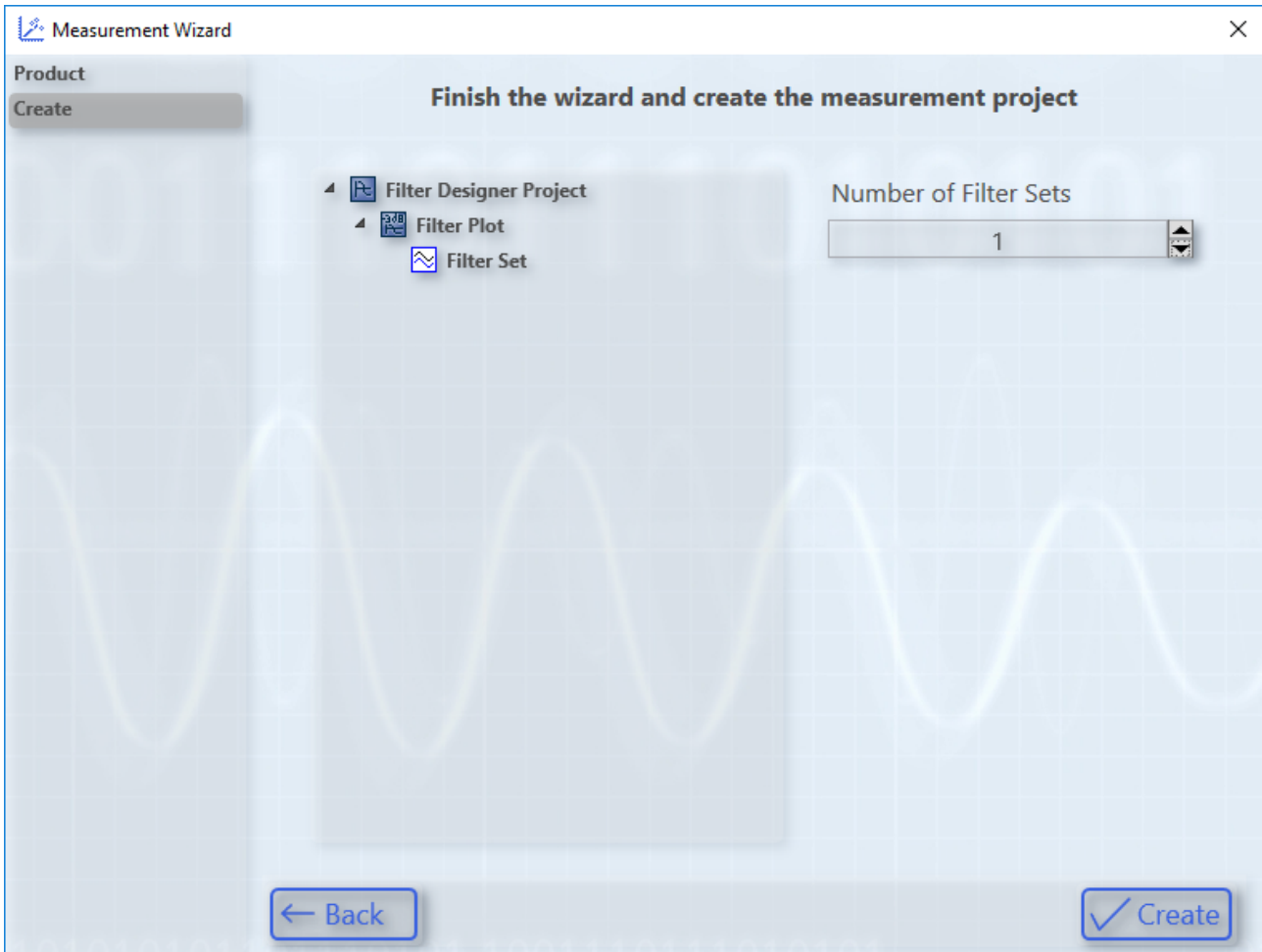
Alternativ kann der **Measurement Wizard** gewählt werden.



Er bietet unter anderem einen Eintrag für den **Filter Designer** an.

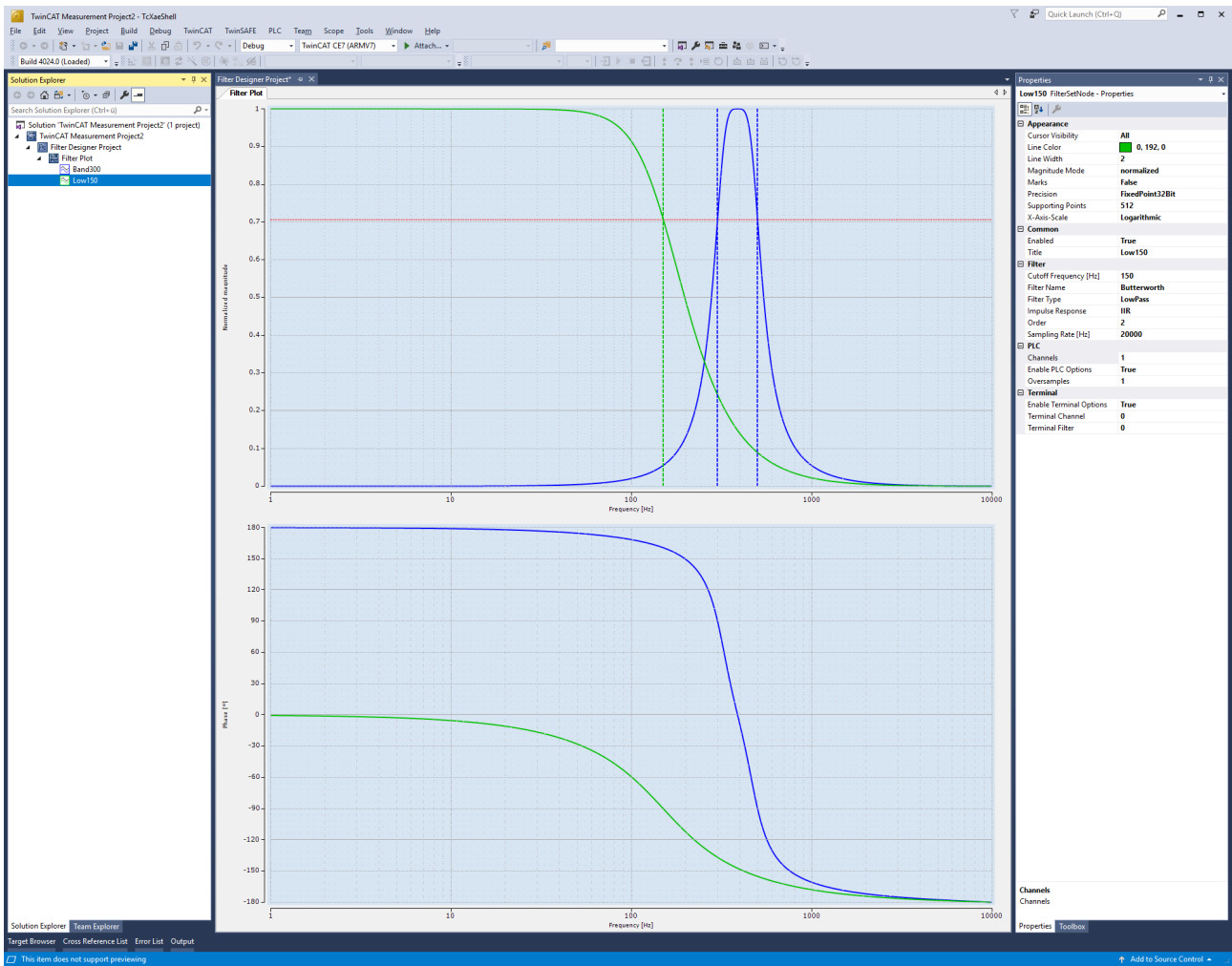


Dort können Sie vor dem Anlegen des Projektes angeben, wie viele Filterkurven erzeugt werden sollen.

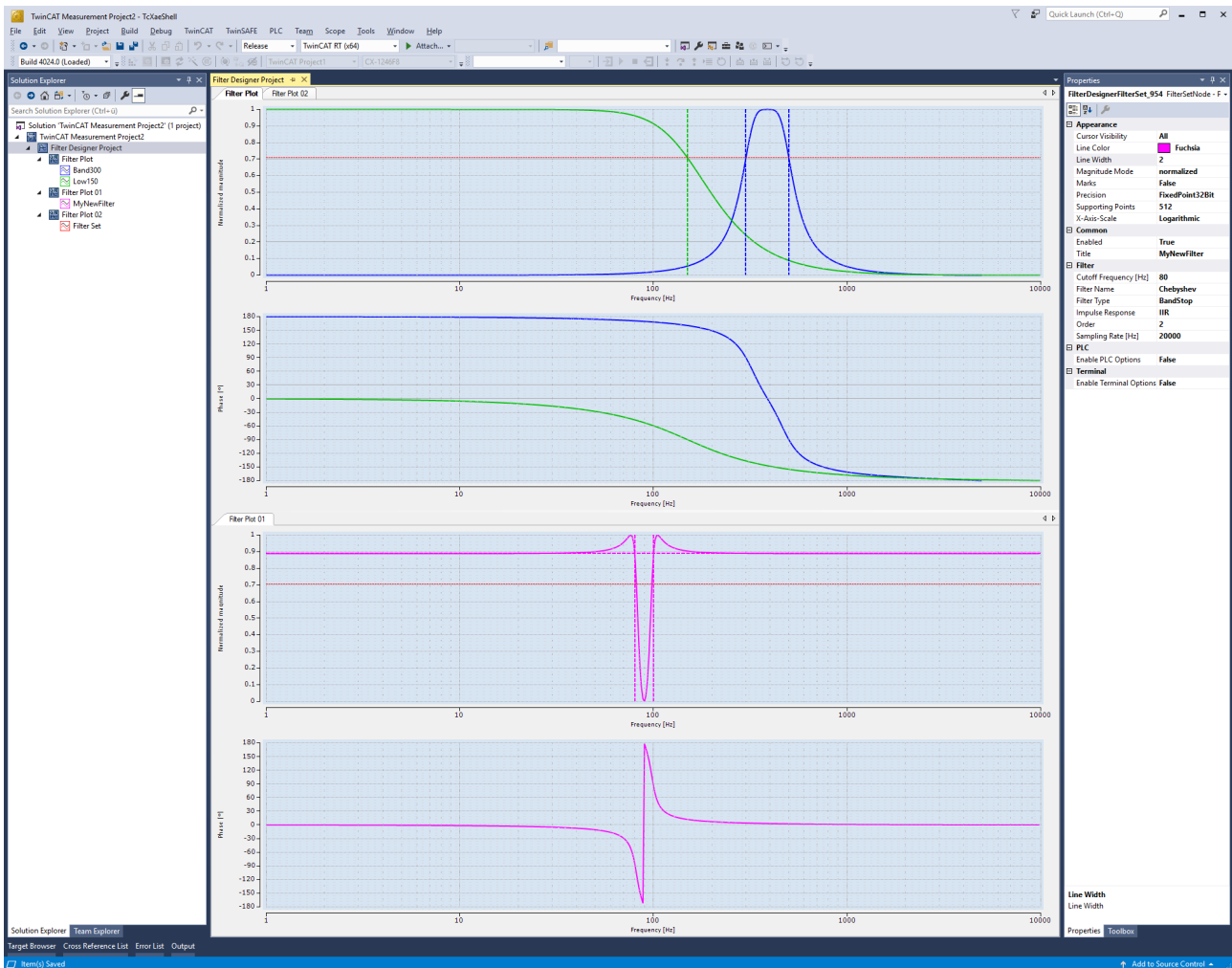


5.2 Filter

In Abhängigkeit davon wie Sie das Filter Projekt angelegt haben, sind im Baum des Solution Explorers mindestens ein oder mehrere Filter Sets zu sehen. Ein Filter Set bildet eine Filterkurve im Plot ab. Weitere Filter Sets können jederzeit über das Kontextmenü zu dem Plot hinzugefügt werden.



Natürlich ist es möglich auch mehrere Plots parallel in einem Projekt zu pflegen.



In den folgenden Unterkapiteln werden ausgehend von dem Filter und dem Filter Typ die entsprechenden Eigenschaften beschrieben.

5.2.1 Eigenschaften Filter Set

Einige Eigenschaften der Filter Sets sind unabhängig von dem Filter und dem Filter Typ. Diese allgemeingültigen Filter Set Eigenschaften sind hier näher beschrieben.

Properties ▾ □ ✕

Band300 FilterSetNode - Properties ▾

☰ ⌵ ⚙️

☑ **Appearance**

Cursor Visibility	All
Line Color	■ Blue
Line Width	2
Magnitude Mode	normalized
Marks	False
Precision	FixedPoint32Bit
Supporting Points	1024
X-Axis-Scale	Logarithmic

☑ **Common**

Enabled	True
Title	Band300

☑ **Filter**

☑ **PLC**

Channels	1
Enable PLC Options	True
Oversamples	1

☑ **Terminal**

Enable Terminal Options	True
Terminal Channel	0
Terminal Filter	0

Appearance

Properties Toolbox

Appearance:

Cursor Visibility:	Legt fest, ob der Drag & Drop Cursor für die Grenzfrequenz angezeigt wird.
Line Color:	Legt die Farbe des Filter Sets fest.
Line Width:	Linienstärke des Graphen. Die Linienstärke 1 verursacht den geringsten Rechenaufwand.
Magnitude Mode:	Hier kann zwischen zwei Modi gewählt werden. Der Default-Mode ist normalized und entspricht dem Betrag des Frequenzgangs. Der dB-Mode bewirkt, dass der Frequenzgang in logarithmischer Skalierung dargestellt wird.
Marks:	Gibt an, ob die Stützpunkte der Kennlinie dargestellt werden sollen.
Precision:	Die Filterkoeffizienten können mit unterschiedlicher Präzision berechnet werden. FixedPoint32Bit ist der Default-Mode und wird für die Messtechnikklemmen benötigt, da diese mit Festkommaarithmetik rechnet. Alternativ ist der FixedPoint64Bit-Mode (genauere Präzision) zu wählen, wenn die Koeffizienten in die SPS transferiert werden soll.
Supporting Points:	Anzahl der Stützpunkte im Bode Plot.
X-Axis-Scale:	Die Frequenzachse kann logarithmisch oder linear skaliert werden.

Common:

Enabled:	Mit dieser Eigenschaft können Sie die Anzeige der Filterkurve ein- und ausschalten.
Title:	Legt den Namen des Filter Sets fest.

PLC:

Channels:	Anzahl der Kanäle, mit der die Filterstruktur konfiguriert werden soll.
Enable PLC Options:	Muss True sein, wenn ein Filter in die SPS transferiert werden soll.
Oversamples:	Anzahl der Oversamples, mit der die Filterstruktur konfiguriert werden soll.

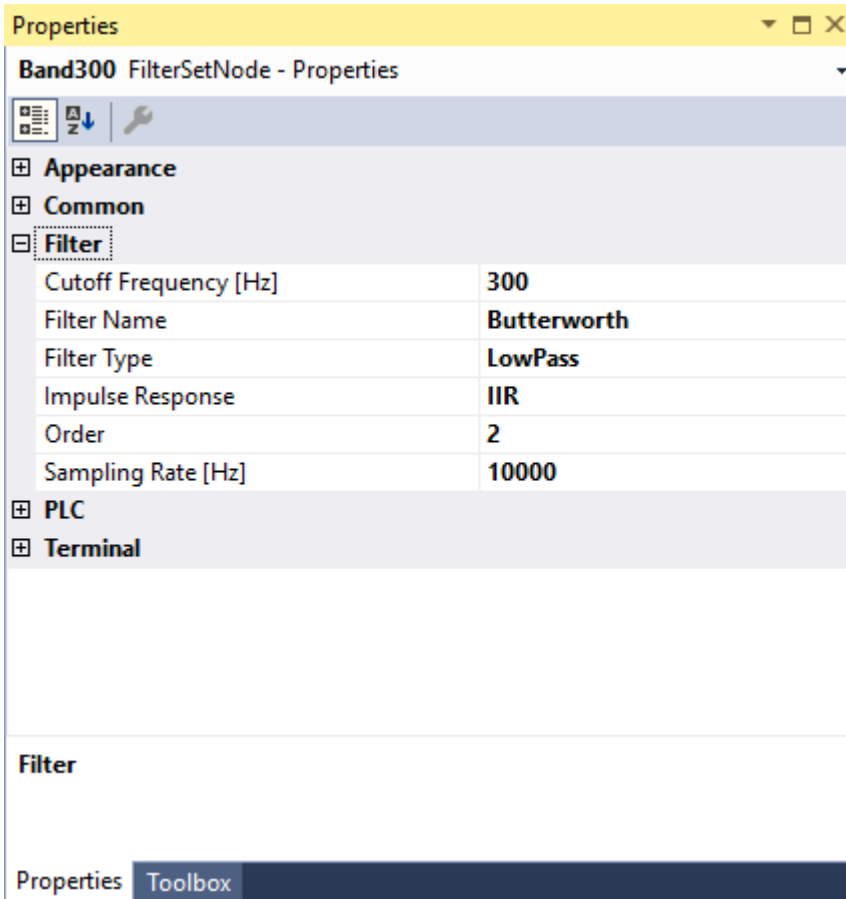
Terminal:

Enable Terminal Options:	Muss True sein, wenn ein Filter in Abhängigkeit der Kanal- und Filternummer zur Messtechnikklemme transferiert werden soll.
Terminal Channel:	Legt die Kanalnummer fest.
Terminal Filter:	Legt die Filternummer fest.

5.2.1.1 Butterworth

Hier werden die filterspezifischen Eigenschaften eines Butterworth Filters beschrieben.

Eigenschaften Butterworth Tiefpass und Hochpass



Filter

Cutoff Frequency [Hz]:	Legt die Grenzfrequenz fest. Diese muss zwischen 0 und Abtastrate/2 sein.
Filter Name:	Hier sollte Butterworth ausgewählt werden.
Filter Typ:	Hier kann zwischen Tiefpass, Hochpass, Bandpass und Bandstopp gewählt werden.
Impulse Response:	Zur Auswahl steht ein IIR-Filter (Infinite-Impulse-Response-Filter).
Order:	Die Ordnung muss > 0 und ≤ 10 (Bandpass/Bandstopp) bzw. ≤ 20 (Tiefpass/Hochpass) sein.
Sampling Rate [Hz]:	Die Abtastrate muss größer als 0 sein.

Eigenschaften Butterworth Bandpass und Bandstopp

Band300 FilterSetNode - Properties	
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Appearance Common Filter </div>	
Bandwidth [Hz]	200
Cutoff Frequency [Hz]	300
Filter Name	Butterworth
Filter Type	BandStop
Impulse Response	IIR
Order	2
Sampling Rate [Hz]	10000
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> PLC Terminal </div>	
Filter	

Filter

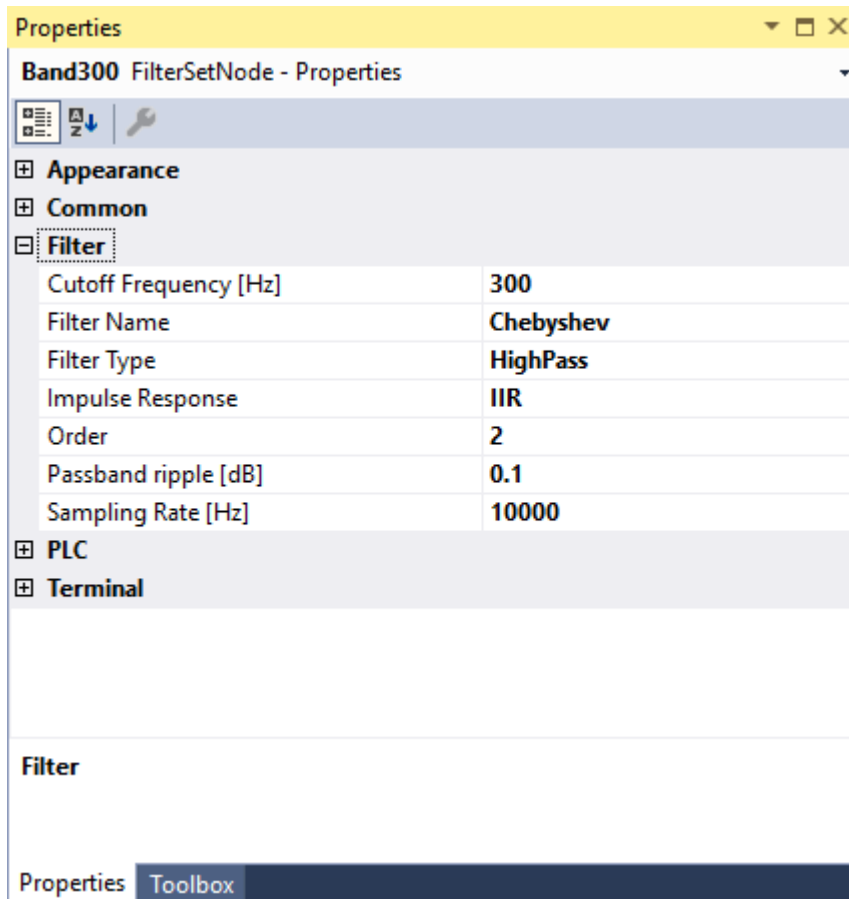
Für diese Typen ergänzende Eigenschaften

Bandwidth [Hz]:	Die Bandbreite muss > 0 und < (Abtastrate/2 - Grenzfrequenz) sein.
-----------------	--

5.2.1.2 Chebyshev

Hier werden die filterspezifischen Eigenschaften eines Chebyshev Filters beschrieben.

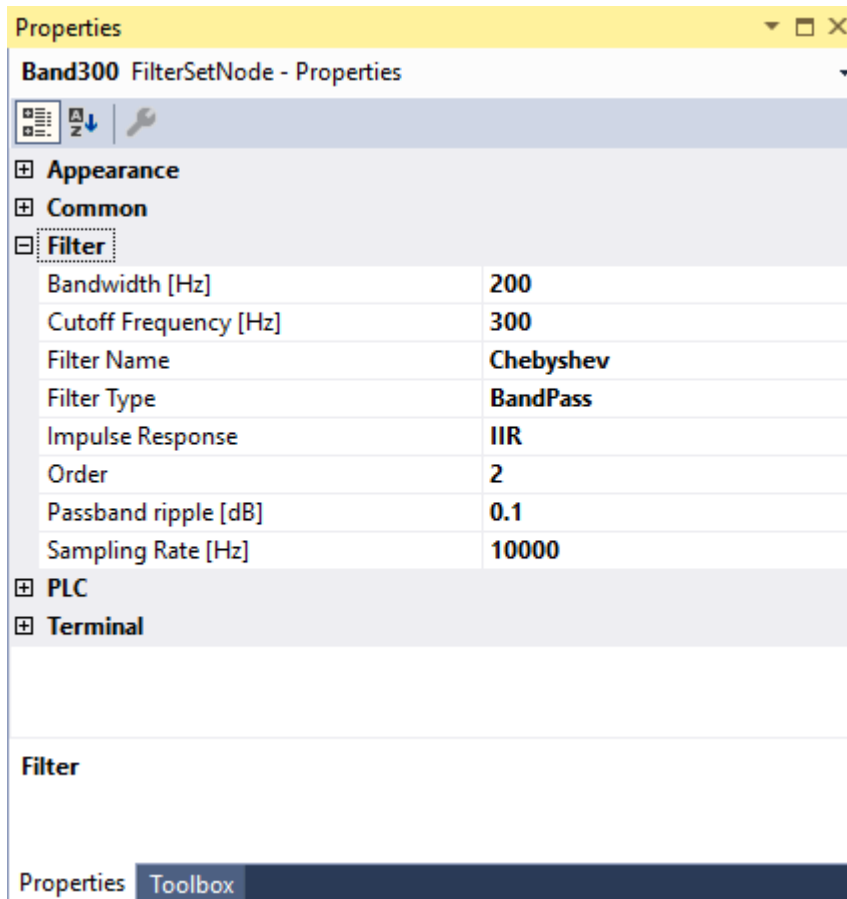
Eigenschaften Chebyshev Tiefpass und Hochpass



Filter

Cutoff Frequency [Hz]:	Legt die Grenzfrequenz fest. Diese muss zwischen 0 und Abtastrate/2 sein.
Filter Name:	Hier sollte Chebyshev ausgewählt werden.
Filter Type:	Hier kann zwischen Tiefpass, Hochpass, Bandpass und Bandstopp gewählt werden.
Impulse Response:	Zur Auswahl steht ein IIR-Filter (Infinite-Impulse-Response-Filter).
Order:	Die Ordnung muss > 0 und ≤ 10 (Bandpass/Bandstopp) bzw. ≤ 20 (Tiefpass/Hochpass) sein.
Passband Ripple [dB]:	Der Passband Ripple (>0) wirkt sich auf die Welligkeit im Durchlassbereich aus.
Sampling Rate [Hz]:	Die Abtastrate muss größer als 0 sein.

Eigenschaften Chebyshev Bandpass und Bandstopp



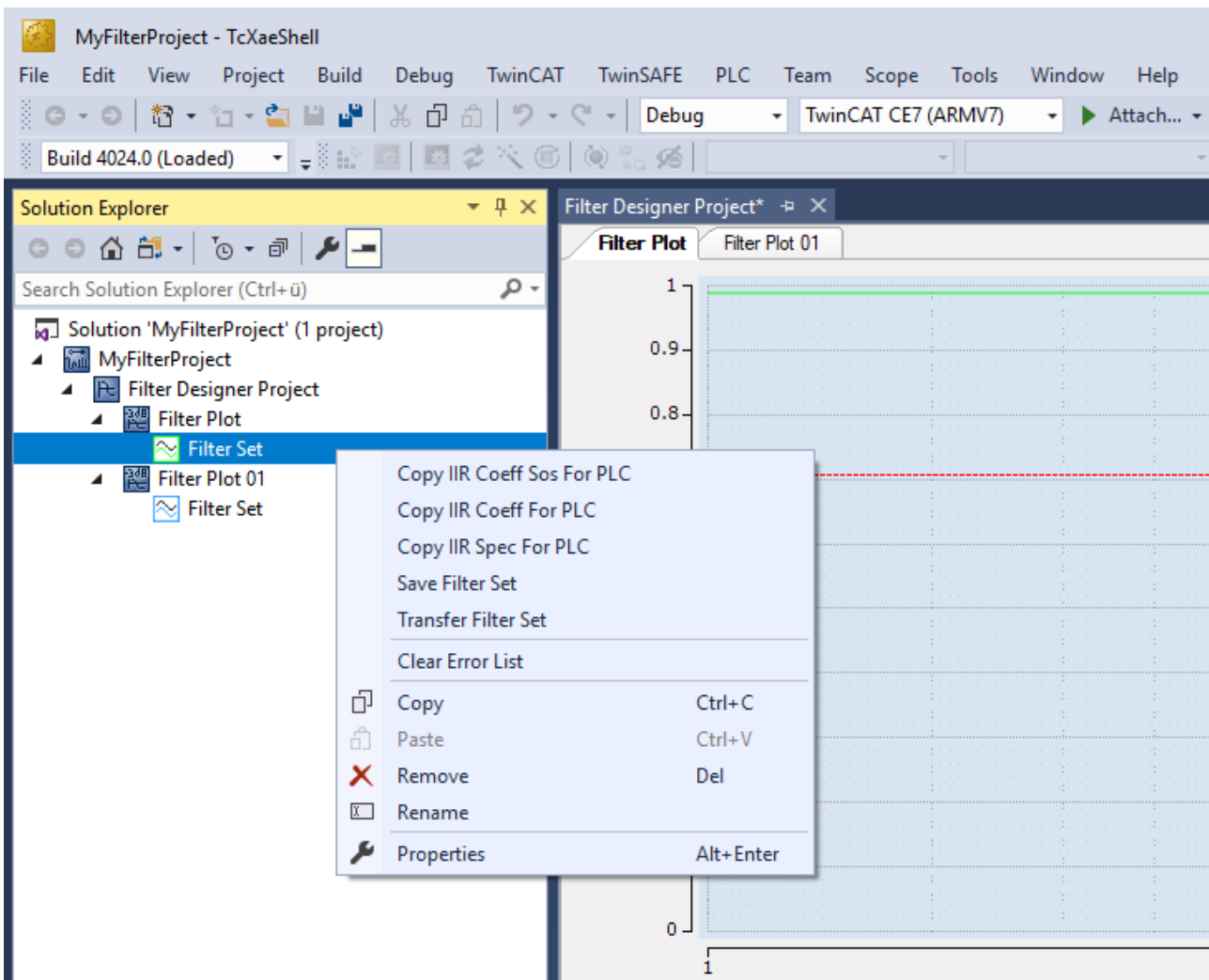
Filter

Bandwidth [Hz]:	Die Bandbreite muss > 0 und $< (\text{Abtastrate}/2 - \text{Grenzfrequenz})$ sein.
-----------------	--

5.3 Verwendung

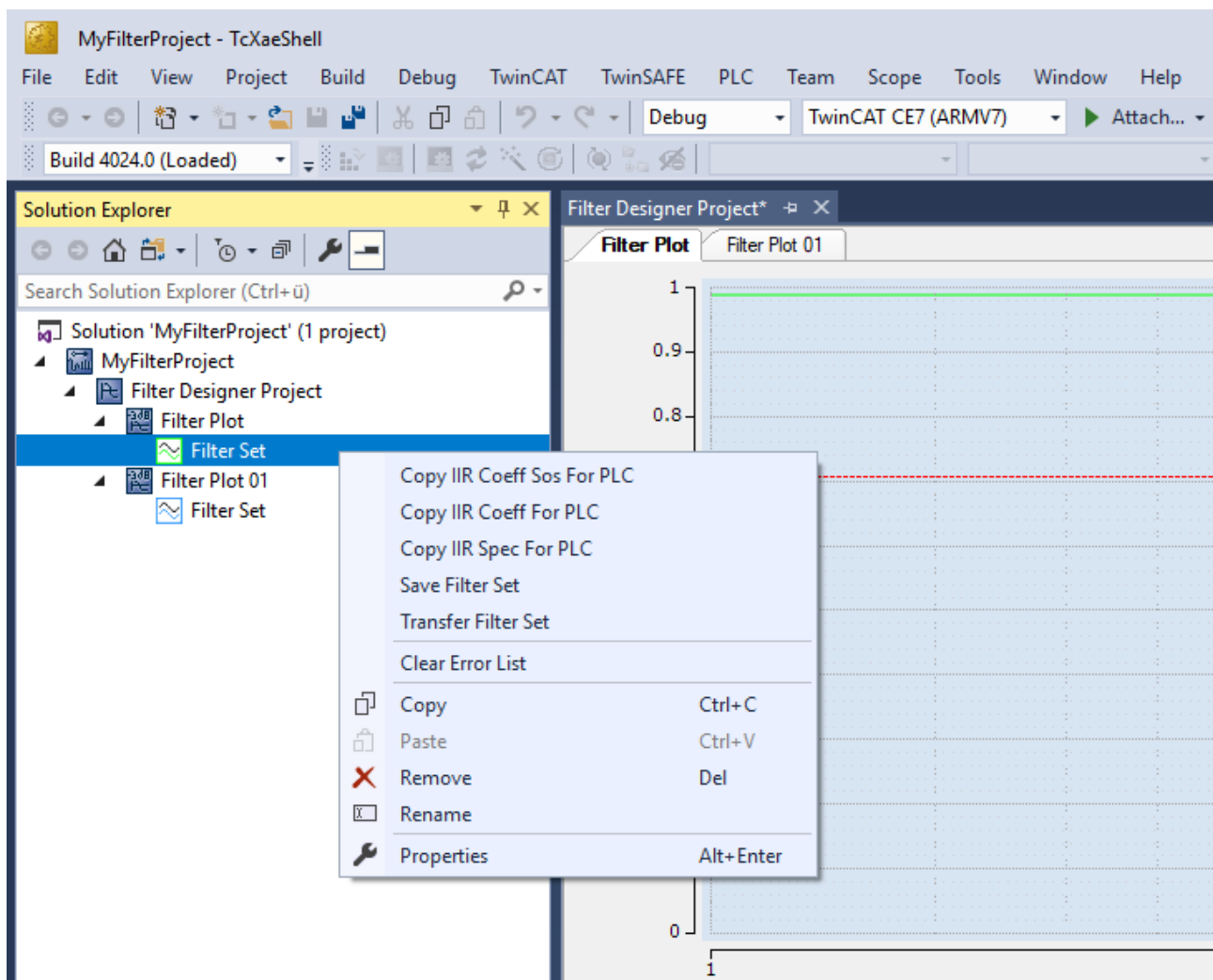
Die designten Filter können auf vielfältige Art und Weise in TwinCAT verwendet werden. Zum einen im Zusammenspiel mit der entsprechenden Filter SPS Bibliothek und zum anderen mit den Messtechnik Modulen der ELM-Serie. Beide Wege werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

Die Anwendungsmöglichkeiten sehen Sie bei einem Rechtsklick auf das entsprechende **Filter Set**, wodurch sich das Kontextmenu öffnet.



5.3.1 SPS

Um die Filter in Form von Spezifikationen oder Koeffizienten in die SPS zu transferieren, gibt es mehrere Möglichkeiten. Der einfachste Weg ist über das Kontextmenü zu gehen. Dieses öffnet sich durch einen Rechtsklick auf das entsprechende **Filter Set**.



Kopieren Sie die Daten des designten Filters in die Zwischenablage und gehen direkt in das bereits vorhandene SPS Projekt, um dort die Koeffizienten oder die entsprechende Spezifikation einzufügen. Aktuell gibt es drei verschiedene Kopier-Optionen.

Copy IIR Coeff Sos For PLC

Hier werden die Koeffizienten in einzelnen Biquads zerlegt und für den FB_FTR_IIRSos in einem Array, welches in einer Struktur ST_FTR_IIRSos angegeben werden muss, übergeben. Es müssen die Instanznamen des Arrays und der Struktur manuell deklariert werden.

```
//CoeffArray_Sos
: ARRAY [1..1] OF ARRAY [1..6] OF LREAL := [[0.894858606122573, -1.78971721224515, 0.894858606122573
, 1, -1.77863177782458, 0.800802646665708]];

: ST_FTR_IIRSos :=(
    nOversamples := 1,
    nChannels := 1,
    pCoefficientArrayAdr_Sos := ADR(),
    nCoefficientArraySize_Sos := SIZEOF());
```

Copy IIR Coeff For PLC

Hier werden die Koeffizienten nicht zerlegt und für den FB_FTR_IIRCoeff in zwei Arrays für die Koeffizienten A und B übergeben. Für beide Arrays müssen Instanznamen angegeben werden. Sie sind in der Struktur ST_FTR_IIRCoeff bekannt zu machen. Die Struktur benötigt noch einen Instanznamen.

```
//DenomCoeffArray_a
: ARRAY [1..3] OF LREAL := [1, -1.77863177782458, 0.800802646665708];
//DenomCoeffArray_b
: ARRAY [1..3] OF LREAL := [0.894858606122573, -1.78971721224515, 0.894858606122573];

: ST_FTR_IIRCoeff := (nOversamples := 1,
    nChannels := 1,
    pCoefficientArrayAdr_A := ADR(),
```



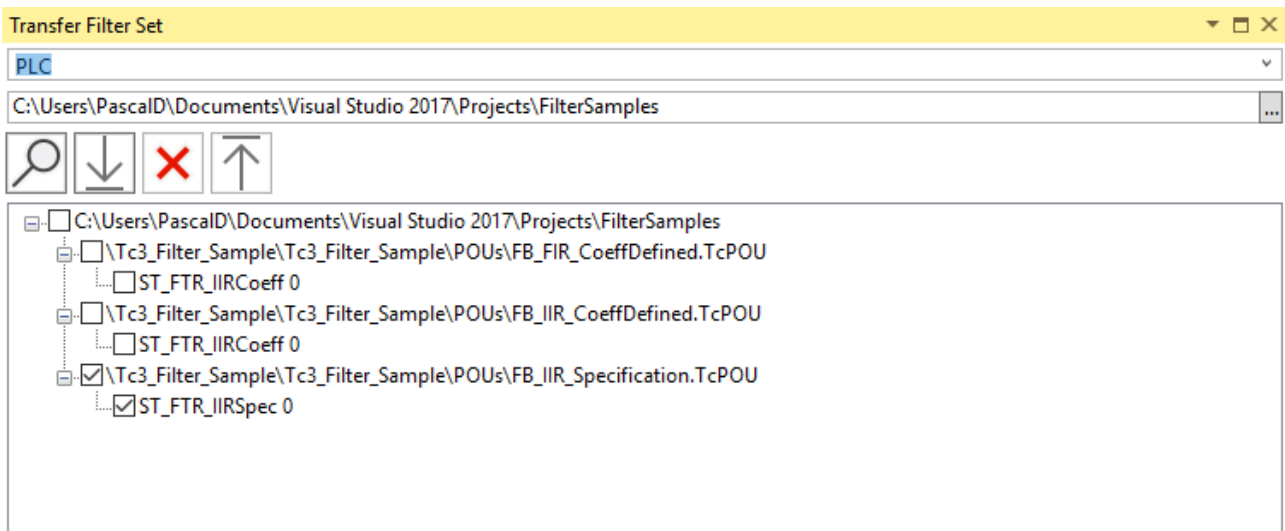
```
nCoefficientArraySize_A := SIZEOF(),
pCoefficientArrayAdr_B := ADR(),
nCoefficientArraySize_B := SIZEOF());
```

Copy IIR Spec For PLC

Hier wird die eingestellte Spezifikation des Filters in Klartext in Form des Strukturtypen ST_FTR_IIRSpec kopiert. Die Struktur benötigt noch einen Instanznamen.

```
: ST_FTR_IIRSpec :=(eFilterName := E_FTR_Name.eButterworth,
eFilterType := E_FTR_Type.eHighPass,
nFilterOrder := 2,
fCutoff := 250,
fSamplingRate := 10000,
nOversamples := 1,
nChannels := 1 );
```

Eine weitere Möglichkeit die Filter Eigenschaften in die SPS zu transferieren, bietet der Dialog **Transfer Filter Set**.

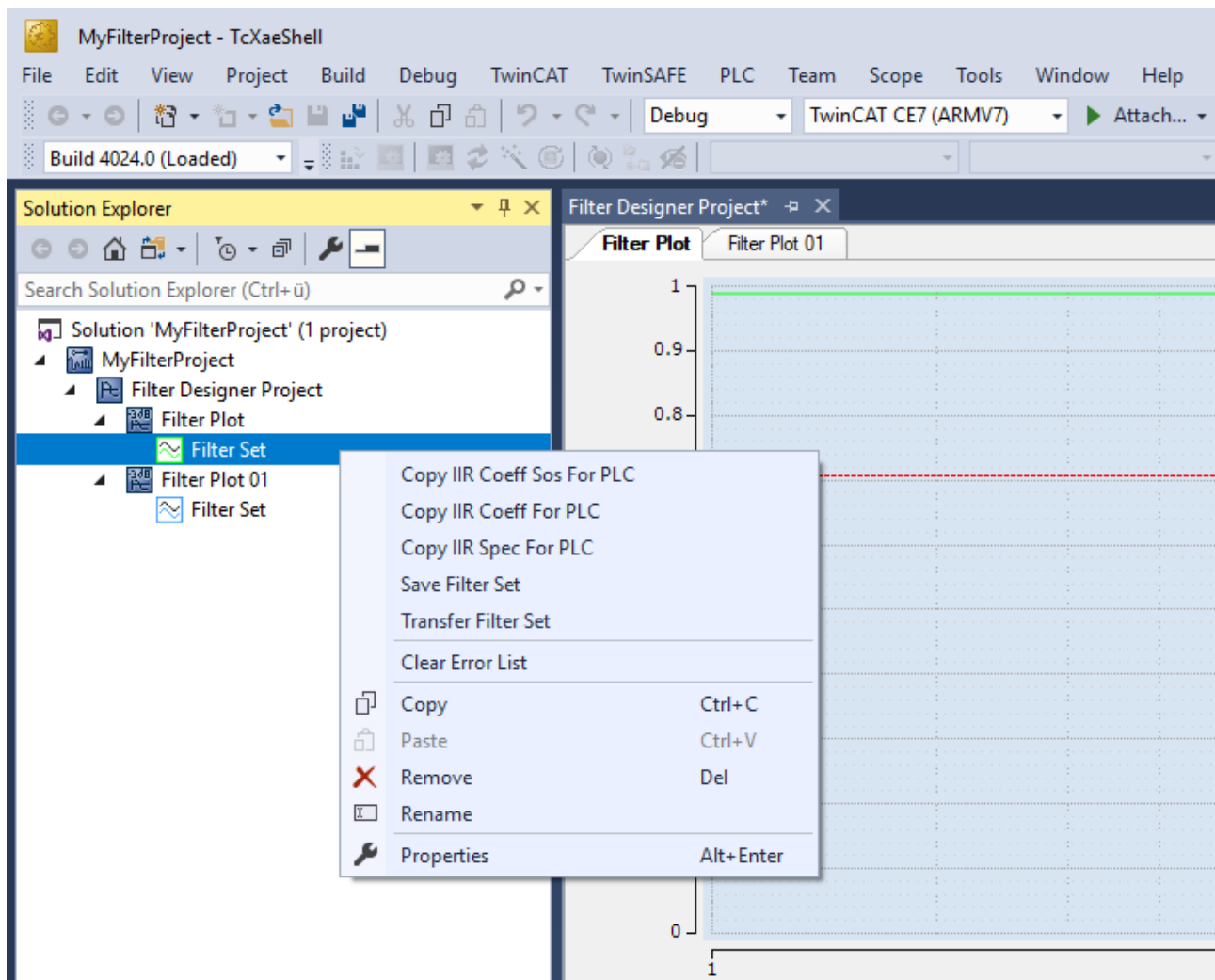


Hier können Sie zwischen SPS und I/O wählen. Im Falle der SPS ist es möglich einen Pfad, zum Beispiel zu einer Solution, anzugeben. Dieser wird auf mögliche POUs der Filter Bibliothek geprüft. Also auf Instanzen der Coeff oder Spec Strukturen. Den Scan-Vorgang lösen Sie mit dem Lupen-Button entsprechend aus.

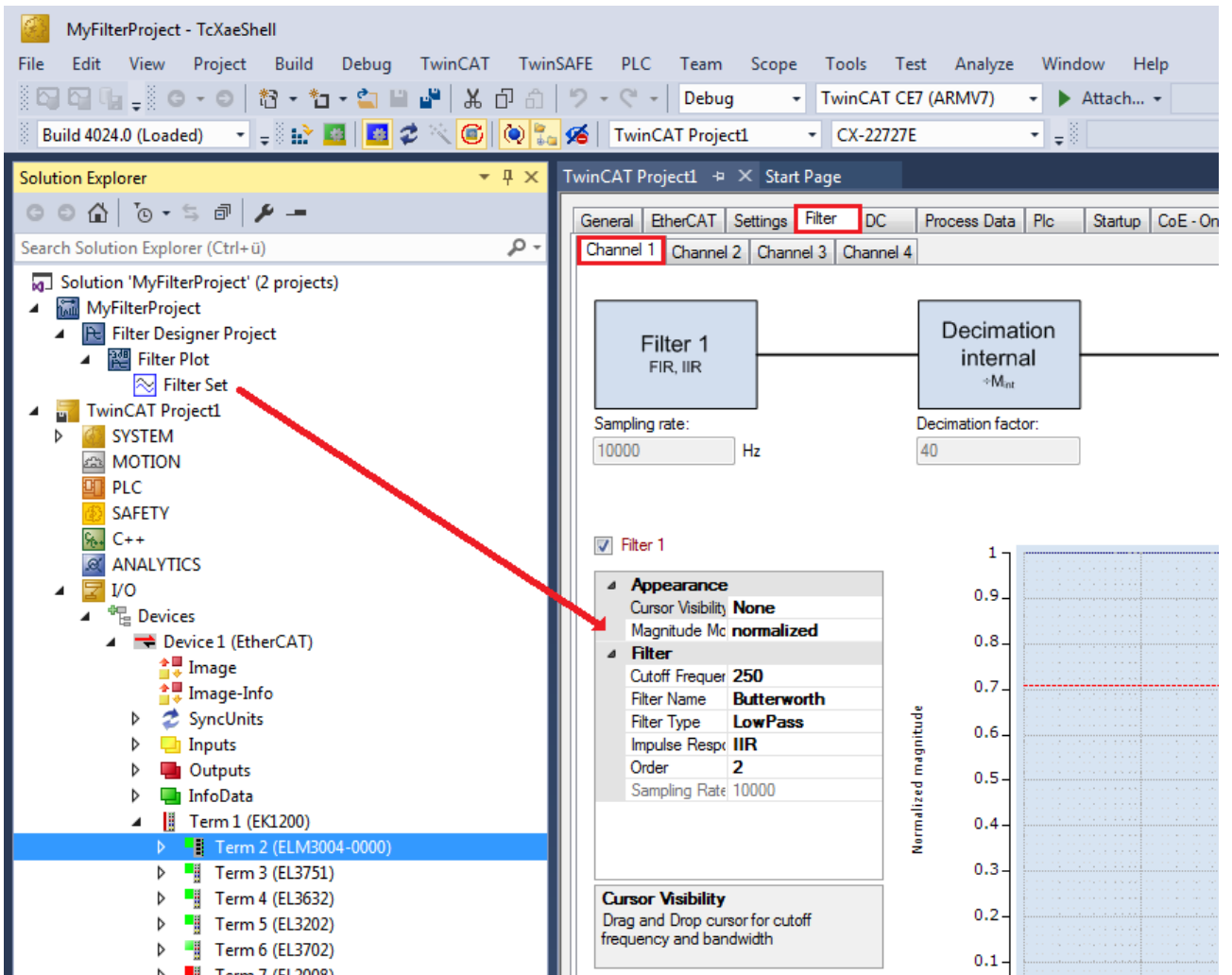
Nach dem Scan werden alle Treffer unten in einer Baumansicht dargestellt. Sie können nun wählen, welche Filterstruktur Instanz durch den designten Filter überschrieben werden soll. Diese Funktion steht auch zur Verfügung, wenn die gescannte Solution bereits geöffnet ist. Das Visual Studio® macht Sie darauf aufmerksam, dass sich die Datei extern geändert hat, und bietet einen Reload an.

5.3.2 I/O

Um die Filter in Form von Koeffizienten in eine oder mehrere Klemmen/Kanäle (Multidownload) zu transferieren, gibt es zwei Möglichkeiten. Sie können den Filter per Drag-and-drop übertragen oder über das Kontextmenü den Befehl **Transfer Filter Set** ausführen.



Im einfachsten Fall werden die Filterkoeffizienten zur Messtechnikklamme transferiert, indem Sie den erstellten Filter per Drag-and-drop auf den gewünschten Kanal ziehen.



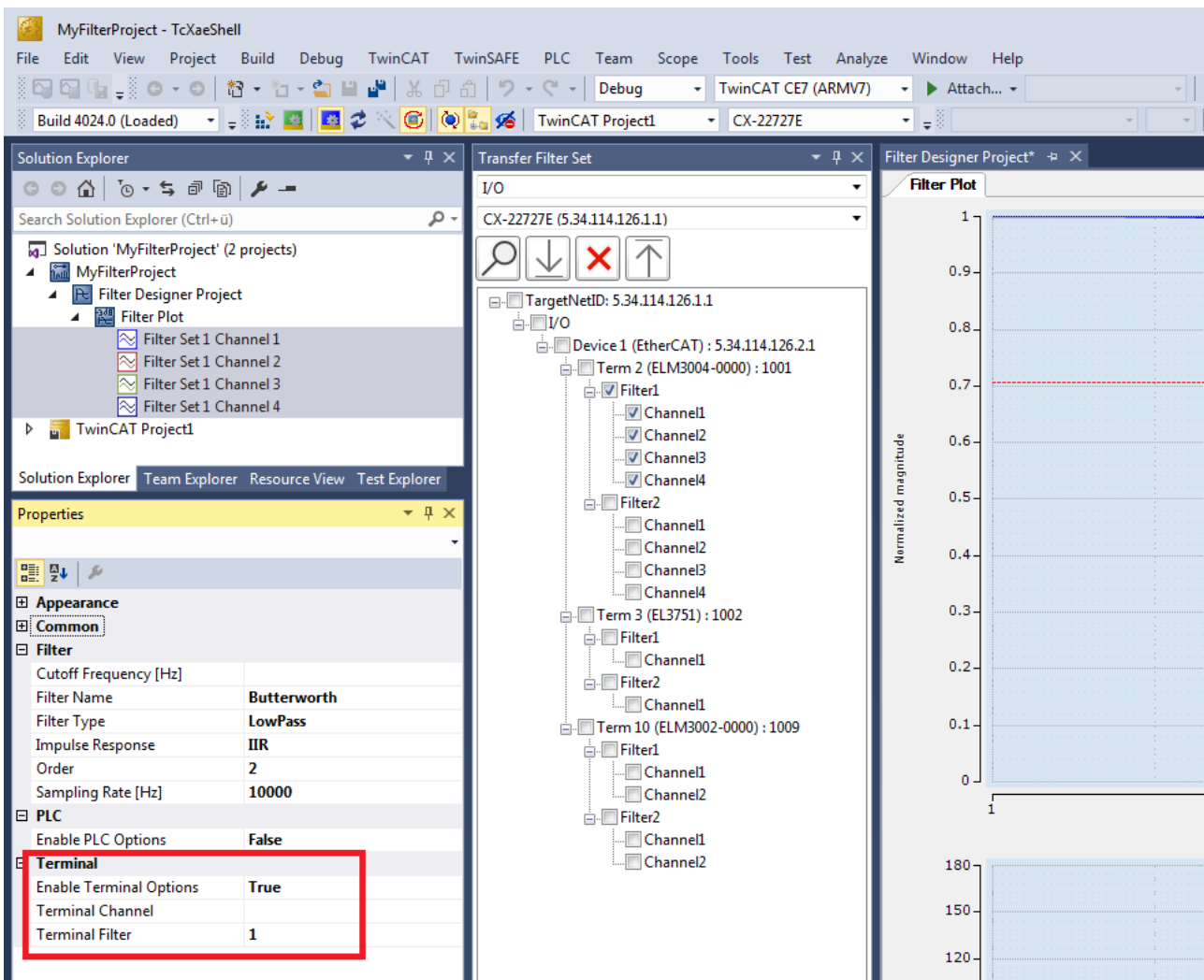
Transfer eines einzelnen Filter Sets (Enable Terminal Options = False)

Alternativ kann ein Filter über den Dialog **Transfer Filter Set** transferiert werden.

Hierfür muss I/O und das Zielsystem mit der entsprechenden NetId ausgewählt werden. Nach dem Scan-Vorgang werden alle vorhandenen Messtechnikmodule in einer Baumansicht dargestellt. Sie können nun einen oder mehrere Kanäle auswählen und den designten Filter transferieren. Außerdem können die in der Klemme eingestellten Filter sowohl entfernt als auch zum Filter Designer geladen werden.

Transfer von mehreren Filter Sets (Enable Terminal Options = True)

Mit der Filter Set Eigenschaft Enable Terminal Options ist es möglich, mehrere Filter Sets an unterschiedliche Filter Kanäle zu transferieren.



In diesem Beispiel sind vier Filter Sets mit Terminal Filter = 1 und Terminal Channel von 1-4 markiert. Alternativ bewirkt die Auswahl des Filter Plots das Gleiche, da dann alle Submembers ausgewählt werden. Im Transfer Filter Set Dialog sind bei der ELM3004 Klemme unter Filter1 Channel1-Channel4 ausgewählt. Ein Filter Transfer führt dazu, dass nur bei Übereinstimmung von Filter- und Kanalnummer zwischen Quelle (Filter Designer Filter Sets) und Ziel (ELM-Klemmenkanal) eine Übertragung stattfindet. Dies entspricht den folgenden vier Übertragungen:

- Filter Set 1 Channel 1 -> ELM3004:Filter1:Channel1
- Filter Set 1 Channel 2 -> ELM3004:Filter1:Channel2
- Filter Set 1 Channel 3 -> ELM3004:Filter1:Channel3
- Filter Set 1 Channel 4 -> ELM3004:Filter1:Channel4

Bemerkung:

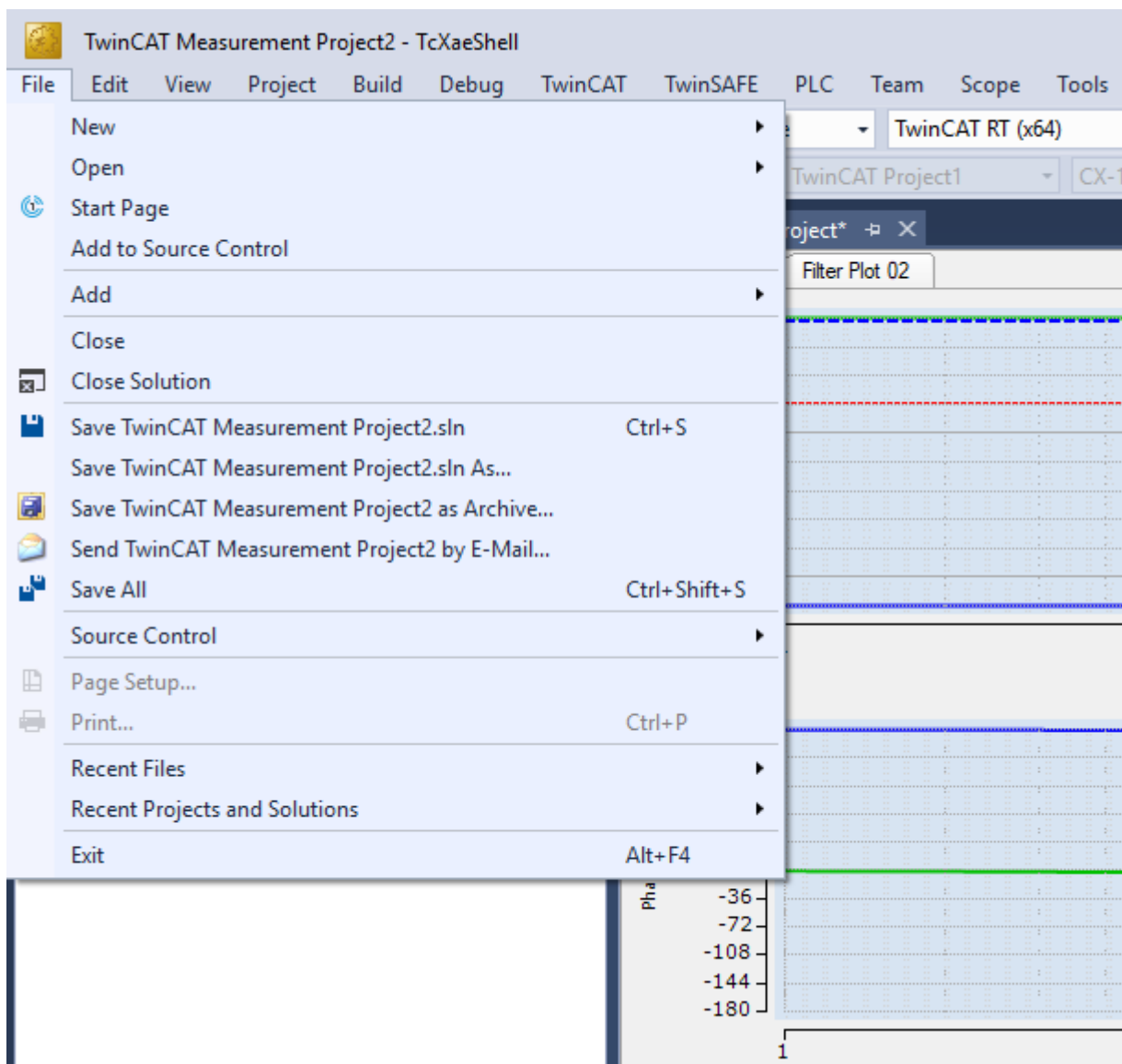
- Die ausgewählten Filter Sets müssen eindeutige Filter- und Kanalnummern haben.
- Die ausgewählten Filterkanäle im Transfer Filter Set Dialog können nicht eindeutige Filter- und Kanalnummern haben.
- Ein Filtertransfer findet statt, wenn die Filter- und Kanalnummer zwischen Quelle und Ziel übereinstimmt.

5.4 Speichern von Projekten und Filtern

Bei dem Abspeichern wird zwischen einem Projekt und einzelnen Filter Sets unterschieden.

Projekt abspeichern

Für das Abspeichern des gesamten Projektes mit allen Filter Plots und Sets stehen verschiedene Optionen zur Auswahl. Zum einen über die Disketten-Symbole in der Visual Studio® Toolbar und zum anderen über das Menü **Datei**.



Einzelne Filter Sets abspeichern und laden

Für die projektübergreifende Arbeit ist es sinnvoll, einzelne Filter Sets speichern und laden zu können. Öffnen Sie dazu das Kontextmenü des Filter Sets. Dort gibt es den Eintrag **Save Filter Set**.

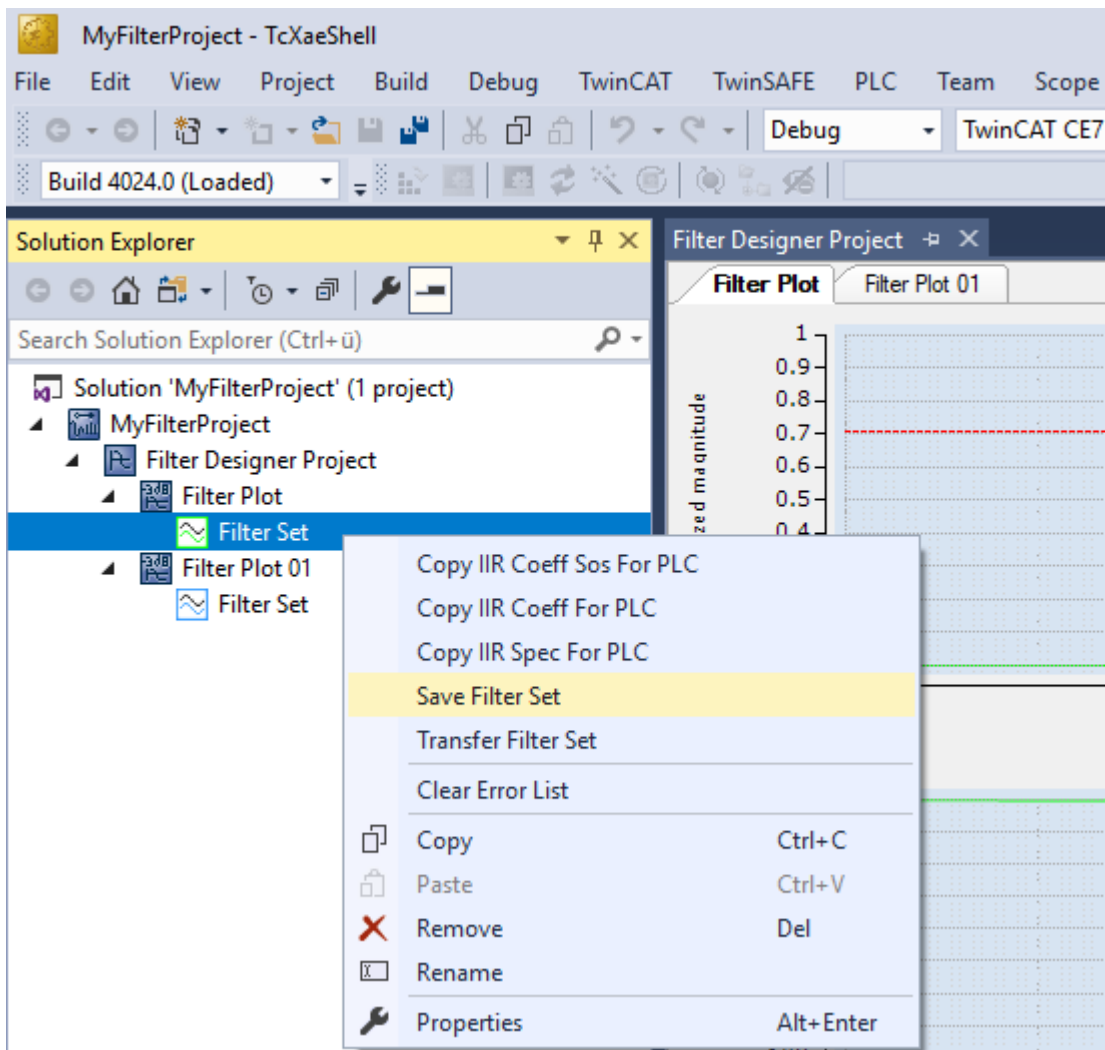


Abb. 6:

Möchten Sie ein Filter Set aus einer Ordnerstruktur des Engineering-Systems laden, können Sie auf der nächst höheren Hierarchieebene, dem Filter Plot, über das Kontextmenu **Open Filter Set** auswählen.

The screenshot displays the Beckhoff TwinCAT CE7 software interface. The title bar reads "MyFilterProject - TcXaeShell". The menu bar includes "File", "Edit", "View", "Project", "Build", "Debug", "TwinCAT", "TwinSAFE", "PLC", "Team", and "Scope". The status bar shows "Build 4024.0 (Loaded)" and "Debug TwinCAT CE7".

The "Solution Explorer" on the left shows a project structure:

- Solution 'MyFilterProject' (1 project)
 - MyFilterProject
 - Filter Designer Project
 - Filter Plot
 - Filter Set
 - Filter Plot 01
 - Filter Set
 - Filter Plot 02 (selected)

A context menu is open over "Filter Plot 02", listing the following options:

- New Filter Set
- Open Filter Set
- Transfer Filter Set
- Clear Error List
- Copy (Ctrl+C)
- Paste (Ctrl+V)
- Remove (Del)
- Rename
- Properties (Alt+Enter)

The main workspace shows the "Filter Designer Project" with three tabs: "Filter Plot", "Filter Plot 01", and "Filter Plot 02". The "Filter Plot 02" tab is active, displaying a graph with a y-axis labeled "Normalized magnitude" ranging from 0 to 1.0. A red dashed horizontal line is drawn at approximately 0.7. Below this, another graph is partially visible with a y-axis ranging from -108 to 180.

6 Anhang

6.1 FAQ

In diesem Bereich werden häufig gestellte Fragen beantwortet, um Ihnen die Arbeit mit dem TwinCAT 3 Filter Designer zu erleichtern. Wenn Sie weitere Fragen haben, kontaktieren Sie unseren Support (-157).

1. Welche Firmware Versionen der I/Os sind notwendig, um dort mit dem Filter Designer zu arbeiten bzw. um das sogenannte Filter Tab anzuzeigen? [► 41]
2. Werden in TwinCAT Measurement Produkten Open Source Softwarekomponenten verwendet? [► 41]

Welche Firmware Versionen der I/Os sind notwendig, um dort mit dem Filter Designer zu arbeiten bzw. um das sogenannte Filter Tab anzuzeigen?

Der Download der Filter Koeffizienten aus dem Filter Designer heraus in die I/Os wird ab folgenden Versionen unterstützt:

ELM3002:	ab FW02 und Rev 0017
ELM3004:	ab FW04 und Rev 0018
ELM3102:	ab FW02 und Rev 0017
ELM3104:	ab FW02 und Rev 0017
ELM3148:	ab FW02 und Rev 0016
ELM3502:	ab FW01 und Rev 0016
ELM3504:	ab FW01 und Rev 0016
ELM3602:	ab FW03 und Rev 0017
ELM3604:	ab FW03 und Rev 0017
EL3751:	ab FW11 und Rev 0022

Der Upload der bereits eingestellten Filter ist etwas später umgesetzt worden und ab folgenden Firmware Versionen unterstützt:

ELM3002:	ab FW04
ELM3004:	ab FW06
ELM3102:	ab FW04
ELM3104:	ab FW04
ELM3148:	ab FW02
ELM3502:	ab FW03
ELM3504:	ab FW03
ELM3602:	ab FW06
ELM3604:	ab FW06
EL3751:	ab FW13

Alle noch kommenden Klemmen im ELM Bereich werden diese Funktion von Beginn an unterstützen.

Werden in TwinCAT Measurement Produkten Open Source Softwarekomponenten verwendet?

Ja es werden verschiedene Open Source Komponenten verwendet. Eine Auflistung dieser finden Sie samt Lizenzbedingung im Verzeichnis ...*TwinCAT\Functions\TwinCAT Measurement\Legal*.

Mehr Informationen:
www.beckhoff.de/te1310

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

