

Betaflight / Deutsch

Dies hier ist eine Sammlung an Dokumenten die im Laufe meiner kurzen FPV-Fliegerei entstanden sind und auch weiter entstehen.

Hintergrund für diese Ansammlung der Dokumente ist, dass ich mehr Verständnis für mich selbst schaffen möchte und dadurch ein besseres Verständnis über die Zusammenhänge und dem Flugverhalten von FPV-Coptern zu erhalten.

Weiterhin möchte ich kein endloses Wiki in deutsch erstellen sondern einzelne Themenbereiche herauslösen - auch wenn es dadurch Redundanzen gibt. Für mich hat es den Vorteil, dass ich bestimmte Dokumente ausdrucken kann und mit zum Fliegen nehmen kann, wenn ich einen Copter optimieren möchte.

Tja und zum Schluß - ich kann mir einfach nicht alles im Kopf behalten, daher lese ich gerne nach und dann helfen mir kleinere Dokumente mehr als große.

Die einzelnen Seiten stehen auch zum Download als PDF zur Verfügung.

Alternative: Downloaded dieses Repository komplett und startet über Euren Browser [index.html](#)

Vielleicht hilft es dem ein oder Anderen

Du kannst alle Seiten als PDF downloaden über

Viel Spass und propwash freies Fliegen

LunaX - August 2020

Historie

Version	Datum	Inhalt
0.1	August 2020	initial
0.2	September 2020	Material Theme, vereinzelte Updates, Mermaid2 Plugin

Handhabung dieses Github-Repositories

Dies Repository basiert auf MKDocs (<https://mkdocs.org>) . Alle geschriebenen Seiten wurden als einfache Markdown-Dateien erstellt.

mkdocs.yml (Konfigurationsdatei für MKDocs)

docs/

xxxx.md Dateien (einzelne Markdown-Dateien zu den Themen)

sites/

pdf/combined.pdf (hier liegt die Gesamt-PDF-Datei)

<folder> (diverse Subfolder, enthalten HTML-Seiten zum Offline-Lesen)

- Betaflight / Deutsch
 - Historie
 - Handhabung dieses Github-Repositories

Hsgyqir xer fyp { n QoHsgw,l xt >3 { { 2, ohsgw2 k3-ywnk [mnhq np,l xt w3 kn yf 2sq 3 vwp ef w3 ohsgw1
{ mnhq np x i q i f } K v w Pef w2

BF 4.2 - Neuerungen

Historie

Version	Datum	Inhalt
0.1	August 2020	initial

Allgemeine Anpassungen

- BF-Configurator 10.7.0 ist notwendig
- Blackbox-Explorer 3.5.0 für BF 4.2
- Neue Tuning-Möglichkeiten (Slider)
- **Bei einigen Targets downgeloaded werden müssen, daher ist 10.7.0 wichtig.**
- **Keine Konfigurationen aus älteren Releases importieren** Einige Default-Werte haben sich geändert
- Es wird kein Motorprotokoll automatisch ausgewählt. Dies muss nach einem Update manuell durchgeführt werden.
- Wenn bidirektionales DShot ausgewählt wird, die Geschwindigkeit des Protokolls wird halbiert um die Bidirektionalität aufrecht zu erhalten. Dies gilt **nicht für DShot600**. Bei **DShot300** muss die PIDLoop auf 4k gesetzt werden. Bei **DShot150** auf 2k. Demnach bei **DShot600** auf 8k
- Bevor gearmt werden kann muss der Accelerometer kalibriert werden.
- Die Strommessung ist nun am Throttle-Signal gekoppelt, das ermöglicht besser Vorhersagen zum Stromverbrauch
-

Major

- Überarbeitung der Gyro-Loop. Diese läuft nun in der Geschwindigkeit der nativen Beschwindigkeit des Gyros
- zwei neue Rates auswählbar **ACTUAL** und **QUICK**
- VBat Kompensation, wenn die Batteriespannung nachläßt
- Neuer NFE Race Modus

Minor

- OSD Logo nun auch beim Armen sichtbar
- Unterstützung für verbesserte OSD-/CMS-Geräte hinzugefügt, wodurch es möglich wurde, das Highlighting von Text oder Symbolen zu unterstützen
- Unterstützung für FrSkyOSD OSD-Geräte hinzugefügt
- Unterstützung für das Redpine RC-Protokoll auf Geräten mit einem über SPI angeschlossenen CC2500-Chip (FrSky SPI) hinzugefügt

Hsgyq i r x e s s r f y n p { n i Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 i o h s g w 2 s k 3 y w n k [n n h q n p , l x t w 3 k n i y f 2 j s q 3 k v w p e f w 3 i o h s g w l { n n h q n p x i q i f } K v w k P e f w 2

BF 4.1 - Neuerungen

Historie

Version **Datum** **Inhalt**

0.1 August 2020 initial

Allgemeine Anpassungen

- **Keine Konfigurationen aus älteren Releases importieren** Einige Default-Werte haben sich geändert
- BF-Configurator 10.6.0 ist notwendig
- Blackbox-Explorer 3.4.0 für BF 4.1
- DSHot für bidirektionalen Einsatz mit RPM-Filtern wurde verbessert. BLHeli_32 ab Version 32.7 ist erforderlich
- VTX-Tabellen sind nun nach einem flashen neu zu laden. Hiermit können nun die VTX deutlich besser konfiguriert werden
- Eine Anpassungen an den OSD-Fonts

Major

- **NEU** Feedforward 2.0 (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/Feed-Forward-2.0>)
- Überarbeitetes bidirektionales DShot
- Dynamisches Leerlauf-Management nutzt nun RPM-Telemetrie
- voll konfigurierbare VTX über VTX-Tabellen

Minor

- Unterstützt nun Spektrum SRXL2 Protokoll
- Board spezifische Defaultwerte
- Unterstützung von willkürlichen Gyro & Magnetometer Ausrichtungen

Hsgyq i r x e s s f y n { n i Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 i o h s g w 2 s k 3 y w n k [m h q n p , l x t w 3 k n i y f 2 j s q 3 k v m x e f w 8 q o h s g w l { m h q n p x i q i f } K v m x P e f w 2

BF 4.0 - Neuerungen

Historie

Version **Datum** **Inhalt**

0.1 August 2020 initial

Allgemeine Anpassungen

- **Keine Konfigurationen aus älteren Releases importieren** Einige Default-Werte haben sich geändert
- BF-Configurator 10.5.1 ist notwendig
- Blackbox-Explorer 3.3.1
- BF 4.0 enthält

Major

- Echtzeit RPM feedback und Notch-Filter basieren auf RPM
- DTerm Management mit `d_min`
- Throttle basierendes dynamic gyro und DTerm Filterung
- Start Kontrolle (launch control)
- Umschaltbare OSD-Profile
- Vereinheitlichte Zielsysteme

Minor

- Kaskadierende dynamische Notch-Filter
- Schub Linearisierung
- Integrierte YAW Kontrolle
- Umschaltbare LED_Strip Profile
- Gimbal-Overlay im OSD
- Profil-Switching basierend die Anzahl der Lipo-Zellen
- Pro Profil Limitierung des maximalen Motor Outputs *

Hsgyq i r x e s s f y n { n } Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 } o h s g w 2 s k 3 y w n k [m h q n p , l x t w 3 k n i y f 2 g s q 3 k v m x e f w 3 o h s g w l { m h q n p x i q i f } K v m x P e f w 2

FILTER Ein mal Eins

Inhaltsverzeichnis

- FILTER Ein mal Eins
 - Inhaltsverzeichnis
 - Historie
- Allgemeines
 - Typische Frequenzen
 - Noise / Vibrationen
 - Oszillation
 - Harmonics
- Gyro-Data-Filtering
- Grundlage Filter-Arten
 - Lowpass-Filter
 - Notch-Filter
 - Static-Filter
 - Dynamic-Filter
- Betaflight-Filter
 - RPM-Filter
 - BF - Dynamic-Lowpassfilter
 - BF - Static Notchfilter
 - BF - Dynamic-Notchfilter
 - BF - Static-Lowpassfilter
 - PT1
 - BIQUAD
 - BF - Gyro-RPM-Filter
 - BF - Gyro-LowPass Filter
 - BF - DTerm LowPass Filter

{{TOC}}

Historie

Version	Datum	Inhalt
0.1	August 2020	initial

Allgemeines

Typische Frequenzen

Vibrationen die am Copter auftreten lassen sich in verschiedene Frequenzbereiche unterteilen

- 0 ~ 20Hz: normaler Frequenzbereich während des Fliegens (keine Filterung der Signale)

- 20 ~ 80Hz: Vibrationen niedriger Frequenz (häufig Propwash)
 - 80 ~ 1000Hz: hochfrequente Vibrationen (Noise) verursacht durch
 - Motorvibrationen & Prop-Resonanzen. Hier sieht man auch das typische Bild des Motor-Vibrations-Bandes Harmonics
 - Frame-Resonanzen
 - ...
-

Noise / Vibrationen

Ist eine Bezeichnung für Rauschen bzw. Gyro-Signale die nicht zu den gewünschten/benötigten Signalen sind, die durch den FC verarbeitet werden müssen. Dies entspricht demnach Messwerten, die irregulär sind und die Performance des Copters negativ beeinflussen.

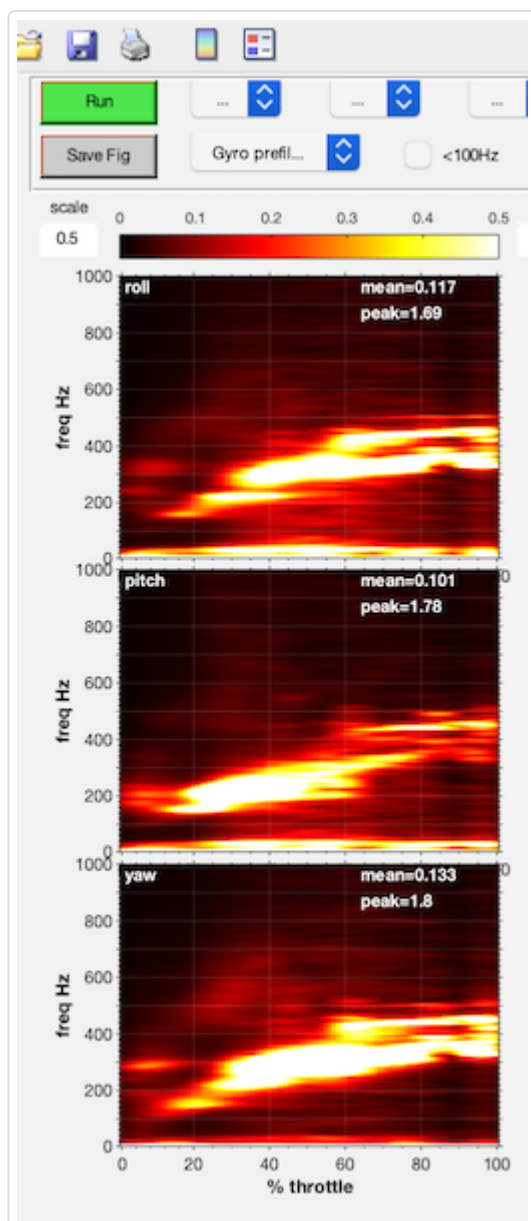
Noise (Rauschen) kann ausgelöst werden durch:

- äußere Einflüsse (z.B. Wind, Kontakte mit Ästen, ...)
- Vibrationen am Chassis (z.B. lose schrauben, dünne schwingende Arme, ...)
- Vibrationen durch Motoren (z.B. Lagerschäden, Unwucht, ...)
- Vibrationen durch Props (z.B. Unwucht, Prop-Wash, ...)
- Kombinationen aus allem •.

Noise wird durch den Gyro und anschließend durch den PID- Controller verarbeitet und kann zu fehlerhaften Verhalten führen.

Eingesetzte Filter LPF ⁵, NOTCH ⁴, RPM ¹, DTerm ⁶ versuchen dieses Rauschen zu eliminieren.

Eine Deiner Hauptaufgabe beim Tunen Deines Copters ist, dass du diese Vibrationen in den Griff bekommst ohne deutliche Delay zu bekommen.



Hinweis

Der DTerm-Anteil des PID-Controllers verstärkt Vibrationen deutlich. Daher ist eine Abstimmung der Filter mit dem DTerm gut abzustimmen.

Um Vibrationen zu analysieren musst du eine Blackbox-Analyse durchführen oder Tools wie `Blackbox-Explorer`, `PIDToolbox` oder `Plasmatree` verwenden.

Um einen ersten Eindruck von Vibrationen zu erhalten empfehle ich eine Spektral-Analyse (<https://github.com/mrRobot62/PIDtoolbox/wiki/SpectralAnalyzer>) . Hier sieht man sehr deutlich in welchem Frequenzband Vibrationen an Deinem Copter auftreten.

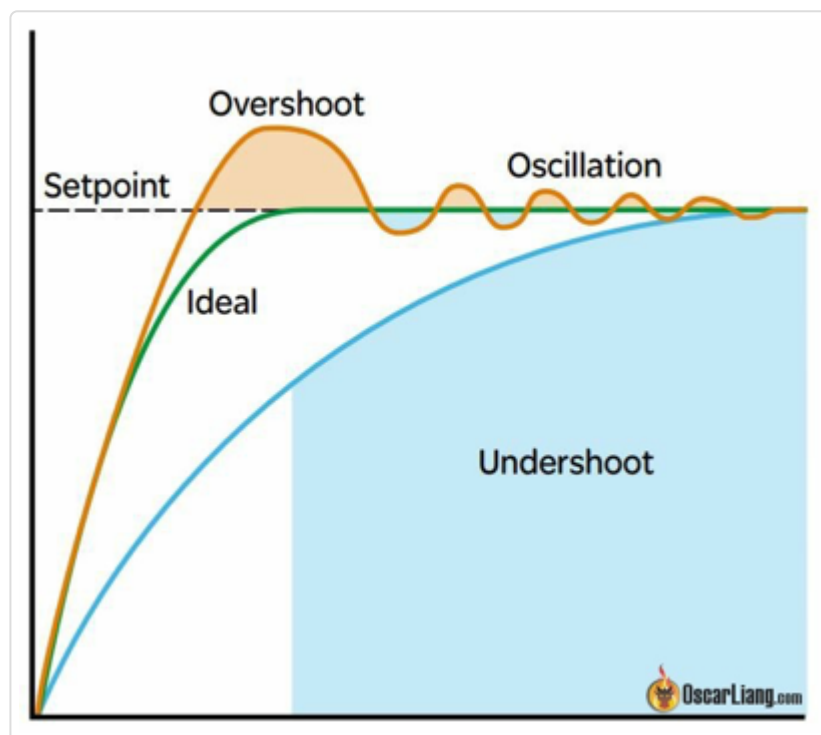
Filter helfen, diese Vibrationen möglichst aus den Signalen für den Flight-Controller herauszufiltern um anschließend den Motoren möglichst saubere Signale zu übermitteln.

Tip

Bevor du damit startetest die PID-Werte anzupassen, stelle Deine Filter optimal auf Deinen Copter ein. Erst dann fängst du mit den PID-Werten an. Versuche durch Deine Filter ein maximales Gyro & DTerm Delay von <5ms zu erreichen. Du kannst das sehr einfach mit `PIDToolbox` erkennen.

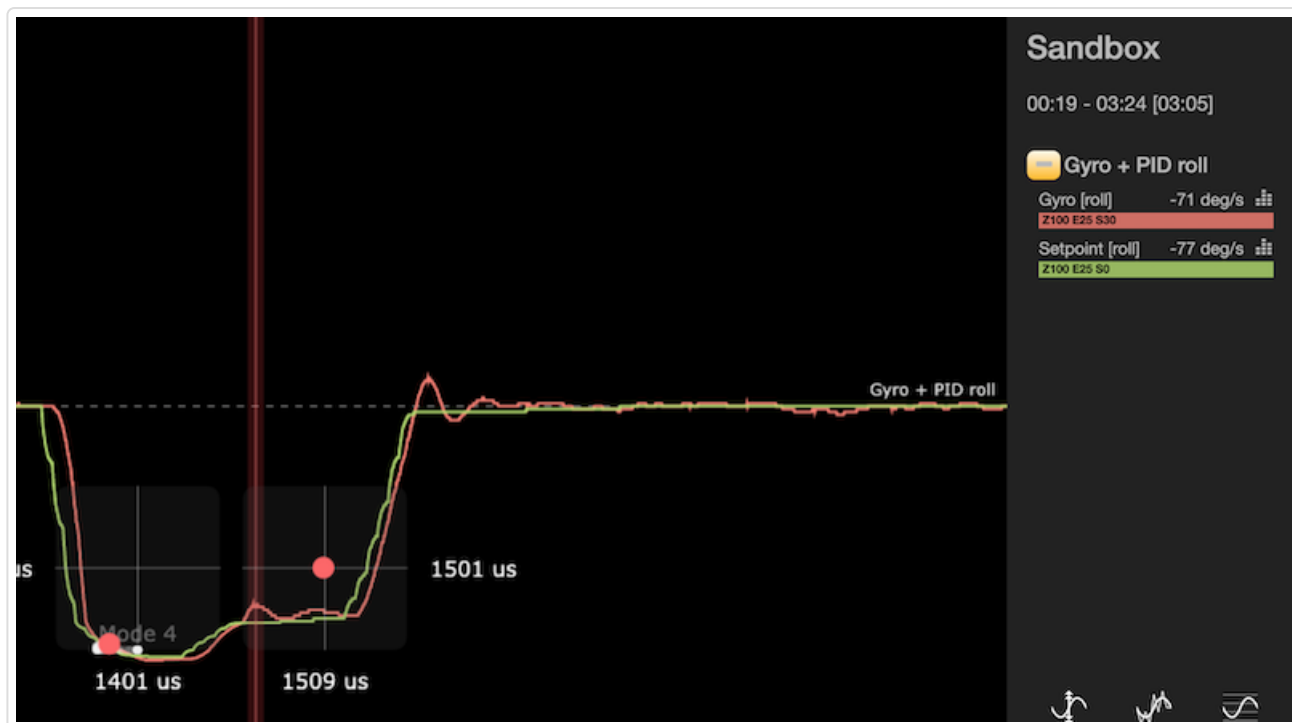
Oszillation

Eine Oszillation ist eine Schwingung. In Bezug auf den PID-Controller ist es ein Über- und Unterschwingen zur Ideallinie.

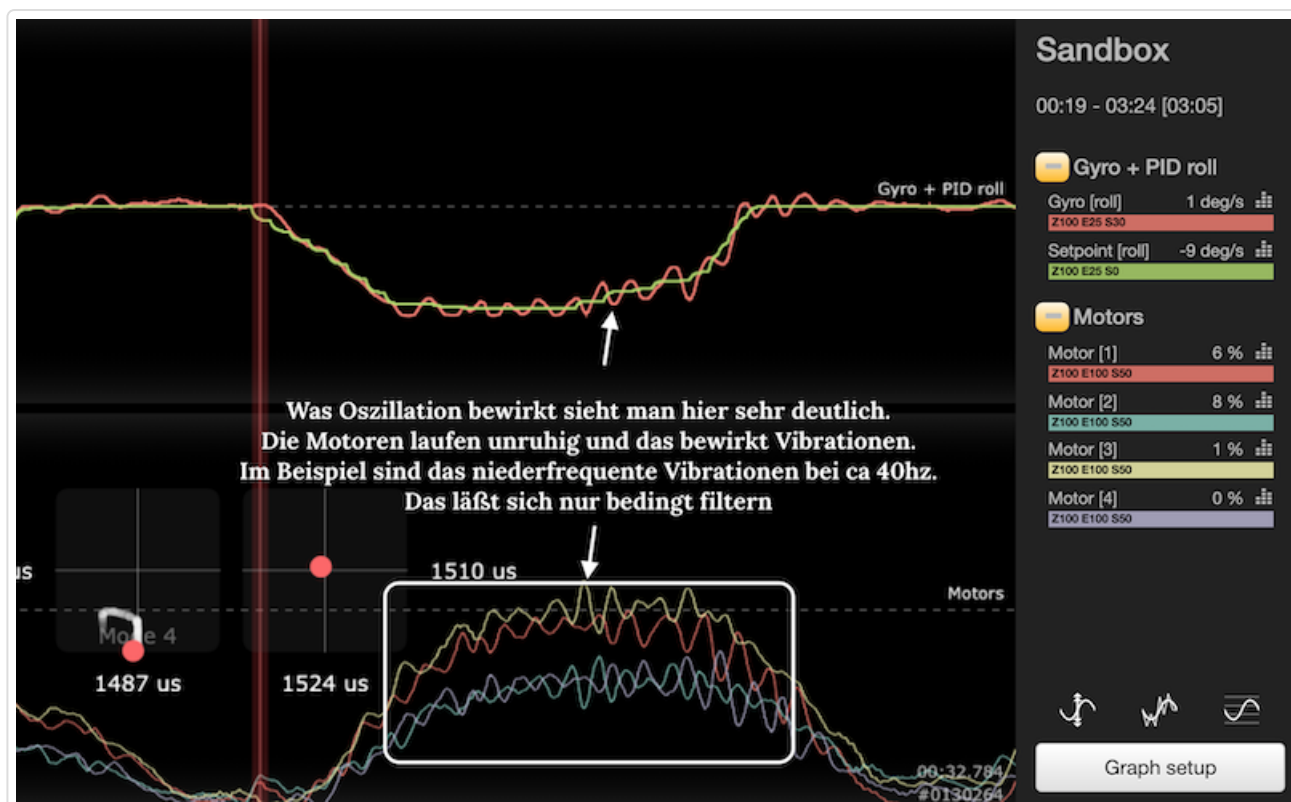


- **SetPoint** = SOLL-Wert = gestrichelte Linie (das ist das RC-Kommando z.B. 700deg/sec)
- **Orangene-Linie** ein Versuch sich möglichst schnell an den Soll-Wert heranzutasten. Man überschießt den Soll-Wert korrigiert und fällt unter den Soll-Wert, korrigiert dann wieder überschießt man usw. bis man irgendwann den Sollwert Erreicht.
- **Ideal** ist es, wenn man die **grüne Linie**) möglichst schnell ohne bzw. geringer Oszillation den Sollwert erreicht
- **Blauer Bereich** Schafft es der PID-Controller überhaupt nicht den Soll-Wert zu erreichen dann bewegt man sich in diesem Bereich. Schnelles Oszillieren wird als Vibration empfunden.

Nachfolgend ein Bild aus dem Blackbox-Explorer bei dem man sehr deutlich diese Oszillation sehen kann



Im nachfolgenden Bild sieht man im oberen Graphen die Oszillation auf der Roll-Achse und welche Auswirkungen diese auf die Motoren haben. Dies lässt sich nur bedingt durch Filter bereinigen, sondern über die PID-Einstellungen.



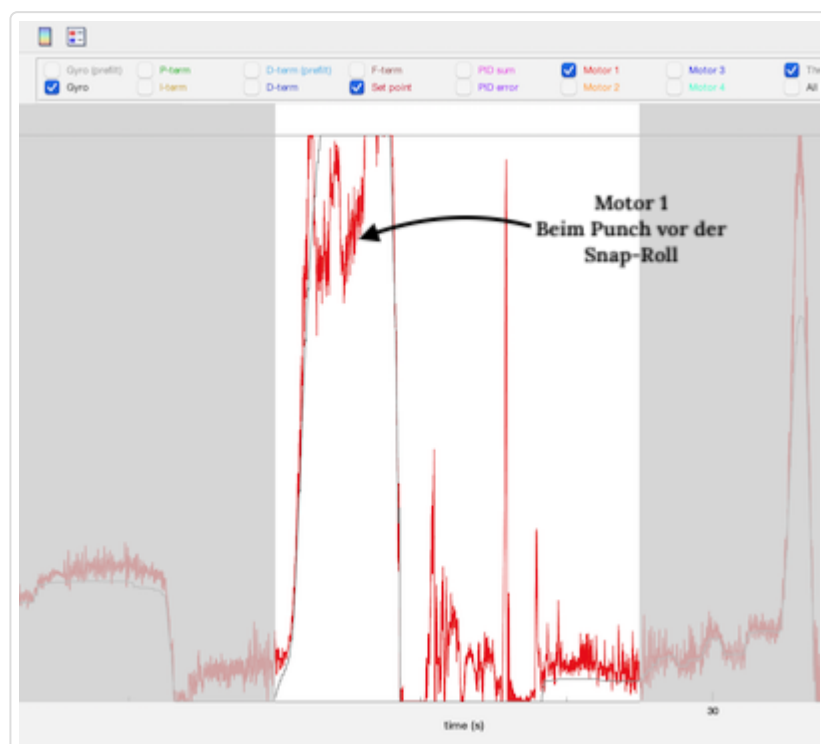
Nachfolgende Bildfolge zeigt die obigen beschriebenen Vibrationen der Motoren bei einem Punch.
Analyse über PIDToolbox[[^]PDT]

Roll

Info



Snap-Roll, deutlich sieht man die Oszillation beim Erreichen des Setpoints. Interessant sind auch die Ausschläge kurz vor der Snap-Roll. Diese Ausschläge sind vermutlich durch Vibrationen der Motoren indiziert



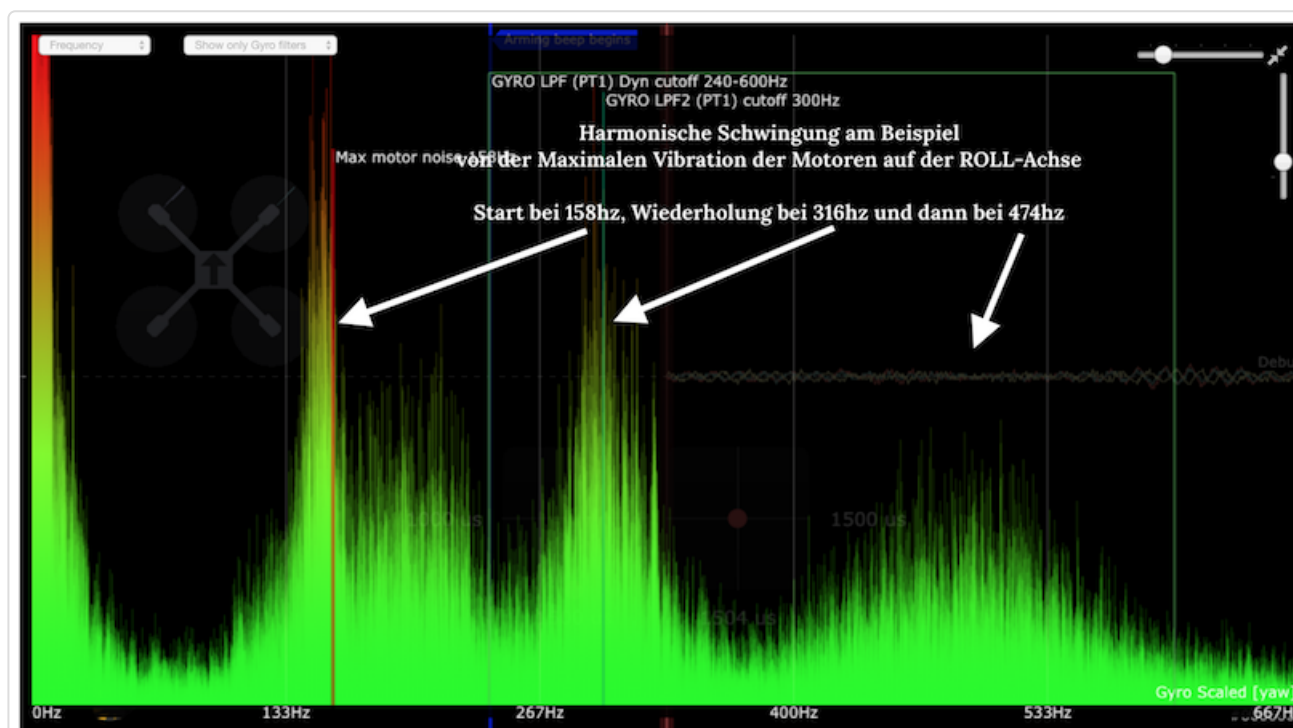
Dieses Bild zeigt Motor1 beim Punch kurz vor der Snap-Roll, man sieht das Vibrationen den PTerm und DTerm beeinflussen, was in Schwankungen der Motordrehzahl zeigt. Dadurch entstehen auch Vibrationen. Weiterhin führen unsaubere Motor-Signale zur Wärmeentwicklung des Motors das bis zur Zerstörung des Motors führen kann. Also immer die Motor-Temperatur im Auge behalten.

Harmonics

Harmonics oder Harmonische sind wiederkehrende Amplituden (Vibrationen) in den gleichen Frequenzabständen.

Das nachfolgende Bild zeigt deutlich drei sich im gleichen Abstand wiederholende Frequenz-Peaks von Vibrationen (Motor Vibrationen)

Beginnend mit dem Motor-Noise-Peak bei 158hz, dann die erste Harmonische Amplitude bei 316hz (2x158hz) und die dritte Amplitude bei 474hz (3x158).



Gyro-Data-Filtering

Signal & Prozessfluß zur Filterung

```
graph LR
    classDef dbg fill:#ddd
    classDef LP fill:#f96
    LS((Loop-Start<br>d/t)):::LP --> GY(Gyro)
    GY --> DBG1[DebugMode<br>Gyro_Raw<br>Notch<br>FFT]:::dbg
    DBG1 --> DNF(Dynamic Notch Filter)
    DNF --> DBGFFT[DebugMode<br>FFT]:::dbg
    DBGFFT --> SNF(Static Notch Filter)
    SNF --> GLPF(GLPF)
    GLPF --> PID(PID Loop)
    PID --> DTLPF(DTerm<br>LPF)
    DTLPF --> DTLNFD(Term<br>Notch Filter)
```

```
graph LR
    classDef dbg fill:#ddd
    classDef LP fill:#f96
    DTNF(DTerm<br>Notch Filter) --> M(Motoren)
    M --> LE((Loop-End)):::LP
```

Grundlage Filter-Arten

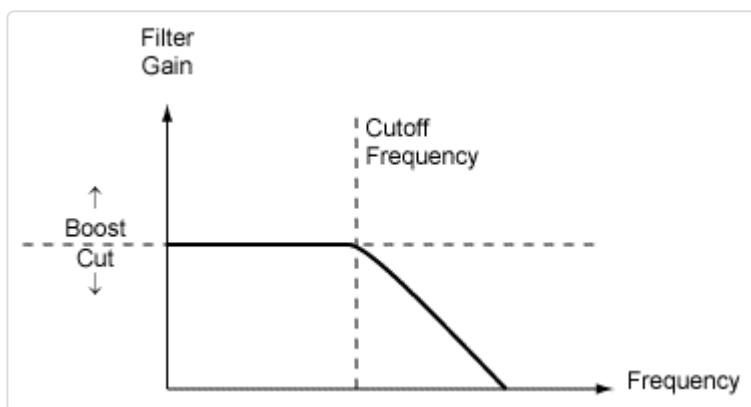
Lowpass-Filter

Niedrige Frequenzen werden durch den Filter durchgelassen, hohe Frequenzen werden gedämpft.

Hohe Frequenzen sind in der Regel im System nur Rauschen bzw. Vibrationen und werden für die Flugdaten nicht benötigt, daher versucht man sie herauszufiltern.

Mit dem LPF⁵ wird eine Grenzfrequenz (`cutoff`) angelegt und der FC reduziert die Signale die oberhalb dieser Grenzfrequenz liegen.

Die Dämpfungskurve ist eine Steigung. d.h. je höher die Signalfrequenz desto stärker die Dämpfung



Für den Einsatzbereich des Quadcopters ist der Frequenzbereich von 0-80Hz relevant, alles darüber sollte möglichst effizient weg gefiltert werden.

Beachten

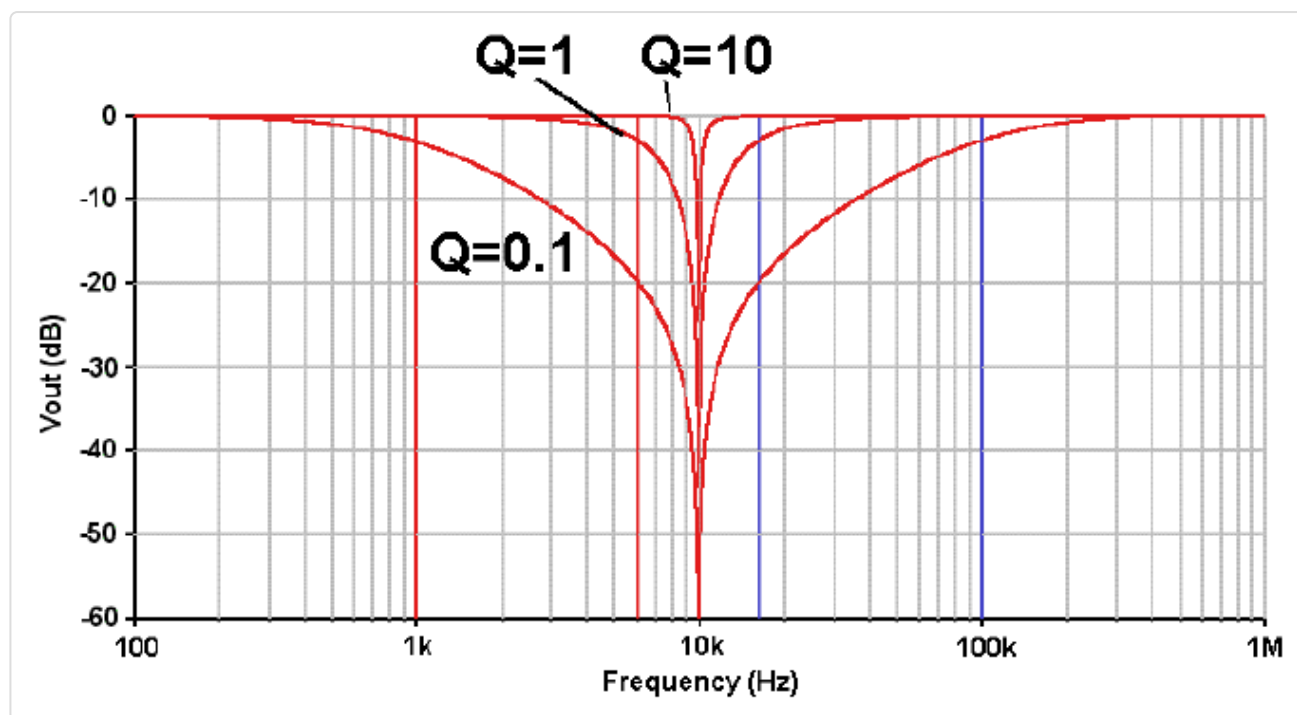
Ein fundamentaler Aspekt ist, je niedriger der Schwellwert(`cutoff`) für den Lowpass Filter ist - umso mehr muss gefiltert werden. Das wirkt sich auf dem Gesamtperformance aus. Daher gibt es mehrere andere Filter die andere Algorithmen verwenden und das System effizienter gestalten.

Notch-Filter

Notch-Filter⁴ eignen sich hervorragend zur Unterdrückung von Rauschen in einem sehr spezifischen Frequenzband.

Notch-Filter sind in der Regel effektiver zur Reduzierung von Motorrauschen als LPF- Filter aber ggf. müssen manuelle Abstimmungen durchgeführt werden um die Bandbreite und die Mittenfrequenz zu bestimmen (Notch=Kerbe)

Weiterhin können Notch-Filter zur Reduzierung von Propwash genutzt werden.



Der **Q-Faktor** (Quality-Factor) gibt die Güte des Notch-Filters an und beschreibt die Weite des Filters. Je größer der Q-Faktor, desto schmaler der Notch-Filter.

Beispiel

Es wird festgestellt das wir ein Vibrationsspitze bei ca 260Hz haben (z.B. hervorgerufen durch Propwash), dann kann der Notch-Filter **cutoff** bei ca. 200Hz beginnen und bei 300Hz enden

Static-Filter

Im Rahmen von Betaflight werden statische Filter als LowPass-Filter oder als Notch-Filter genutzt

Dynamic-Filter

Dynamic Filter reduzieren ebenfalls Rauschen, wenn die entsprechenden Parameter richtig eingestellt sind. Schwingungen, Motorgeräusche, ... können durch die Dynamic-Filter reduziert werden.

Ein Dynamic-Filter ist ein Algorithmus, der die Frequenz des Rauschens erkennen kann und er kann den Notch-Filter verwenden, um ihn automatisch zu reduzieren.

Nachteil

von Dynamic-Filtern ist die Erhöhung der CPU-Last und die Delays.

Betaflight-Filter

RPM-Filter

RPM-Filter ¹ sind eine besondere Filtertechnik in Betaflight und können über eine Vielzahl an Parameter ² konfiguriert werden. Eine detaillierte Beschreibung findet man im BF-Wiki BF-RPMFilter (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/Bidirectional-DSHOT-and-RPM-Filter>) .

RPM-Filter basieren auf mehreren Notch-Filter die präzise darauf ausgerichtet sind Motorvibrationen und ihre `Harmonics` zu filtern und möglichst komplett zu eliminieren. Für jeden Motore können bis zu drei Notch-Filter (max 3 Harmonics) generiert werden (Pro Achse). Das heißt insgesamt steht eine Bank von 36 Notch-Filtern zur Verfügung. $3 \text{ Achsen} * 3 \text{ Harmonics} * 4 \text{ Motoren} = 36 \text{ Notch-Filter}$.

Die RPM-Filter basieren auf die Drehzahl der Motoren und dem bidirektionalen DShot-Protokoll in Zusammenspiel mit den Gyrodaten - daher auch `Gyro-RPM-Filter`

Beachten

RPM-Filter benötigen für BLHeli32 ESC die aktuellste Firmware `>= 32.7` . Für BLHeli_S ESCs empfehle ich die FW von (auch wenn sie Geld kosten) JFlight ³

BF - Dynamic-Lowpassfilter

Neu ab [BF 4.0] (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.0-Tuning-Notes#Dynamic-lowpass-filtering>). BF bietet nun die Möglichkeit, die Grenzfrequenz des LPF ⁵ bei Vollgas im Vergleich zu 0-Throttle sanft auf einen höheren Wert zu verschieben. Die dem ersten Gyro und dem D-Lowpass-Filter zugewiesene Grenzfrequenz steigt nun dynamisch mit zunehmender Drosselung entlang einer Kurve an, die effektiv die Motordrehzahl beeinflusst. Dadurch wird die Verzögerung bei Vollgas verringert, und der Dynamische-Notch Filter ⁴ kann die Motor-Vibrations-Peaks besser verfolgen.

BF - Static Notchfilter

Statische Notchfilter werden explizit mit der Center-Frequenz auf die Herzzahl der höchsten Vibrationen (Peak) gesetzt. In BF kann man zwei dieser Notch-Filter aktivieren. Angegeben werden jeweils die cutoff-Frequenz und die Center-Frequenz.

BF - Dynamic-Notchfilter

Ab `BF 3.1` kann man auch `Dynamic Notch Filter`⁴ einsetzen. Dieser hocheffiziente Dynamische Notch-Filter setzt sich automatisch auf den Motor-Peak - also den aktuelle höchste Frequenz der Motor-Vibrationen, basieren auf die jeweils aktuelle FFT-Analyse. Hierdurch wirkt dieser Notch-Filter in allen Throttle-Stellungen und wandert demnach durch das Frequenzband.

Dynamische Notch-Filter haben eine geringere Latenzzeit als LP-Filter. Notch-Filter sind sehr effektiv und bei einer guten Abstimmung kann man sogar auf LPF-Filter verzichten. Dadurch steigert sich die Gesamtperformance des Copters.

LP-Filter aber einfach abschalten sollte wirklich mit bedacht gemacht werden.

Der Dyn-Notch-Filter ist per default eingeschaltet.

Es gibt zwei Notch-Filter für den GYRO. Einer oder beide können bei Bedarf abgestellt werden.

Default-Values sind auf 200Hz-400Hz. Diese Grenzfrequenzen arbeiten sehr gut und funktionieren bei den meisten Coptern.

Für eine Feinabstimmung ist es notwendig eine Blackbox- Auswertung durchzuführen (Blackbox-Explorer, PIDToolbox, Plasmamtree)

BF - Static-Lowpassfilter

In Betaflight wird zwischen zwei Static-LPF Filtern unterschieden

- PT1
- BIQUAD

Um einen LPF-Filter zu nutzen muss grundsätzlich die untere Grenzfrequenz (`cutoff`) angegeben werden. Der Filter beginnt dann ab dieser Frequenz zu arbeiten. Die Cutoff-Frequenz sollte **nicht** unter 80Hz liegen, da hier die normalen Flugfrequenzen liegen.

PT1

Dieser Filter hat eine etwas sanftere Kurve und ist ein LPF-Filter 1. Ordnung und hat dadurch eine geringere Latenzzeit. Der Nachteil dieses Filters, er filtert nicht so stark Vibrationen aus dem Signal (bedingt durch seine Kurvenausprägung)

Tip

verwende für den ersten LPF-Filter die Einstellung **PT1** , denn er ist der schnellere Filter.

BIQUAD

Dieser Filter hat eine deutliche steilere Kurve und filtert besser als ein PT1. Er ist ein Filter 2. Ordnung. Dadurch ist die Latenzzeit schlechter, das Filterergebniss besser.

BF - Gyro-RPM-Filter

Ein mächtiges neues Feature, das mit BF 4.0 eingeführt wurde und in den nachfolgenden Releases weiter verbessert wurde. Die RPM Filter wurden weiter oben schon beschrieben, nachfolgend eine Reihe von Detailinformationen.

Siehe auch die dazugehörigen Parameter (siehe `bf_tuning_parameters` Kapitel gyro-filter-gyro-rpm-notch-filter)

BF - Gyro-LowPass Filter

BF - DTerm LowPass Filter

Der DTerm verstärkt alles - auch Vibrationssignale - somit können ungefilterte DTerm Werte die direkt zu den Motoren gesendet werden dazu führen, dass die Motoren heiß werden oder sogar überhitzen und zerstört werden.

Hier kommen jetzt die DTerm-Lowpass Filter -> Einstellung wie bei den Static-Lowpassfilter

Allgemeinen ist ein Biquad-Filter das sinnvolle Minimum an Filterung mit einer Frequenz um 100 Hz bis hinunter zu 80 Hz, wenn man heiße Motoren hat.

Beachten

Den DTERM-LPF solltet ihr grundsätzlich **nicht** in Eurem Setup entfernen!

1. BF-Wiki RPM-Filter (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/Bidirectional-DSHOT-and-RPM-Filter>) ↩ ↩
2. siehe `bf_tuning_parameters` ↩
3. [JFlight ESC FW]: (<https://jflight.net/index.php>) ↩
4. Notch-Filter = Kerb-Filter ↩ ↩ ↩ ↩
5. Lowpass-Filter (Tiefpassfilter) ↩ ↩ ↩
6. Filter auf den DTerm-Wert ↩

Hsgyq i r x e s s r f y n p { n i Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 i o h s g w 2 s k 3 y w n k [n n h q n p , l x t w 3 k n i y f 2 j s q 3 k v w p e f w 3 i o h s g w l { n n h q n p x i q i f } K v w x P e f w 2

BF Blackbox-Analysen

Inhaltsverzeichnis

- BF Blackbox-Analysen
 - Inhaltsverzeichnis
 - Allgemeines

{{TOC}}

Allgemeines



Hsgyqir xers fyp { n QoHsgw,l xt >3 { { 2, ohsgw2 vk3 ywink [mnhq np,l xt w3 knl yf 2gsq 3 vvwef w3 ohsgw1
{ mnhq np x i q i f } KvwK Pef w2

PID - Controller

Inhaltsverzeichnis

- PID - Controller
 - Inhaltsverzeichnis
 - Historie
 - Allgemeines
 - Soll-Wert
 - IST-Wert
 - PID-Loop
 - P-Term (Proportionaler Fehler)
 - I-Term (Integraler Fehler)
 - D-Term Derivativer-Wert (Vorhersage)
 - Looptime (d/t)

{{TOC}}

Historie

Version	Datum	Inhalt
0.1	August 2020	initial

Allgemeines

Berechnung des Fehlerwertes zwischen dem SOLL und IST-Wert Der jeweilige Fehlerwert wird mit einer Konstanten (K_p , K_i , K_d) ¹ multipliziert. Die Summe aller der Fehler ergibt den Gesamt Fehler PIDError

Soll-Wert

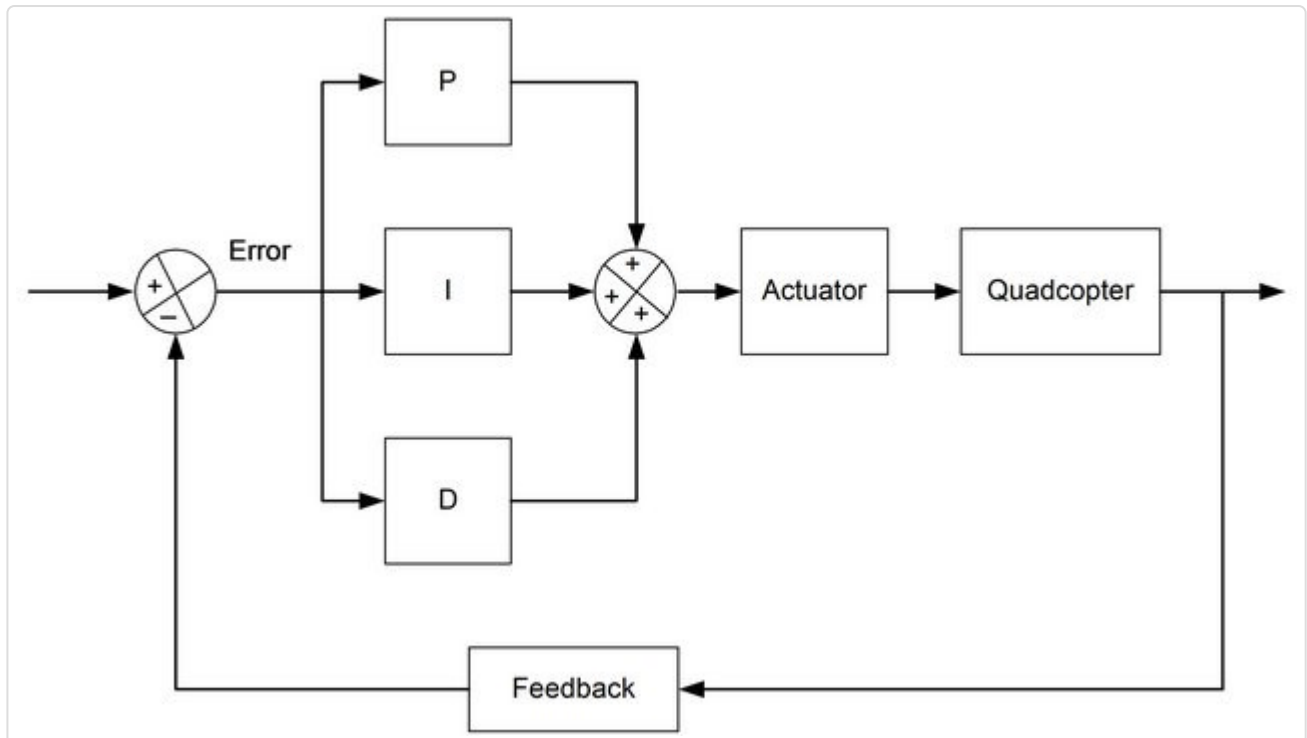
In Falle von Coptern ist der Sollwert, der Wert der durch die Gimbals vorgegeben wird (RC-Command). Entspricht also dem Zielwert, den der Copter erreichen soll (z.B. der Copter soll ein Rolle mit 700deg/sec durchführen.

IST-Wert

Ist der Wert, der durch das Gyro über alle drei Achsen gemessen wurde

Soll & IST werden in der PID-Loop kontinuierlich gelesen und ausgewertet. Signale werden geglättet und gefiltert. Das Endresultat entspricht für die aktuelle Zeiteinheit (d/t) den anliegenden PID-Error ²

- P proportionaler Anteil
- I integraler Anteil
- D derivativer Anteil



PID-Loop

Die PID-Loop in Betaflight beinhaltet (für **alle** Achsen) folgende Punkte (vereinfachte Darstellung und nicht 100% vollständig). Die PID-Loop beschreibt auch die maximale Looptime

```
graph LR
    classDef LP fill:#f96
    class LP
    LP --> Start((Start d/t))
    LP --> End((End))
    RC[RC-Cmd] --> RPM[RPM-Tele]
    RPM --> GY[Gyro]
    GY --> GF[Gyro<br>Filter]
    GF --> DT[DTerm<br>Filter]
    DT --> MIX[Mixer]
    MIX --> MOT[Motoren<br>1-4]
    MOT --> End
    SM[Smoothing] --> PERR[PID<br>Error]
    PERR --> PID[P-I-D<br>Terms]
    PID --> PSUM[PID<br>Sum]
    PSUM --> MIX
    subgraph PIDCTRL [PID-Controller]
        PERR --> PID
        PID --> PSUM
    end
```

P-Term (Proportionaler Fehler)

Der PTerm versucht den proportionalen Fehler möglichst schnell auf 0 zu reduzieren.

Vereinfacht gesagt: Wie hart der FC daran arbeitet den Fehler zu korrigieren. Je höher der PTerm um so schärfer ist die Reaktion. Ein zu hoher PTerm führt aber zu Oszillation und Überschwingen.

Eingabewerte:

- SOLL ist der RC-Command Wert (Stick)
- IST ist der GYRO Wert

Beispiel:

```

Kp = 0.2
Input = 100
GYRO = 60
Perr = Kp * (60-100) => 8

```

I-Term (Integraler Fehler)

Ist eine Aufsummierung aller bis dato aufgetretenen Fehler über die Zeit (d/t).

Mit dem ITerm wird eingestellt wie hart/schnell der FC reagieren soll gegen Umwelteinflüsse (z.B. Wind) um eine definierte Lage/Höhe beizubehalten.

Somit wird ein stetiger Fehler, der anliegt und durch den P-Wert nicht korrigiert werden konnte, durch den I-Wert kompensiert, um den Gesamtfehler möglichst schnell auf 0 zu bringen.

ITerm: Driftet der Copter ohne Steuerbefehl, dann den ITerm erhöhen.

Musst man sehr häufig die Flugbahn korrigieren (besonderen bei höheren Throttle) dann ist der ITerm zu niedrig

Beispiel:

Wenn bei schnellen Throttle-Bewegungen der Copter nicht stabil bleibt, ist häufig der ITerm zu niedrig.

d/t = Zeiteinheit – im Beispiel gehen wir von 1 aus (einfacher zu rechnen)

Im Beispiel gehen wir davon aus, dass lerrSum = -1 ist

```

Ki = 0.02
Input = 100
Gyro = 80
lerrSum = lerrSum + (80-100)
lerr = Ki * lerrSum * d/t
lerr = 0,02 * -1 * 1
lerr = -0,02

```

D-Term Derivativer-Wert (Vorhersage)

Der DTerm ist im Prinzip der Gegenpart zum PTerm und versucht eine Vorhersage zu treffen, wie der Fehlerwert in der Zukunft ist und versucht diesem entgegen zu wirken.

P & D hängen eng beieinander.

Der DTerm ist ein Dämpfungsglied für ein Überkorrigieren des P-Reglers und versucht „Overshoots“ zu minimieren. Ähnlich einem Schock-Absorber.

Den DTerm erhöhen kann eine Oszillation mehr glätten. Zu hohe DTerm führen aber zu heißen Motoren und können bis zur Zerstörung des ESCs oder des Motors führen.

Extensive D-Werte führen auch zu einer Verminderung des Anspruchverhaltens des Copters.

Im Beispiel gehen wir davon aus, dass $DerrAlt = -4$ ist

$Kd = 0.1$

$Input = 100$

$Gyro = 80$

$DerrTmp = (80 - 100) - DerrAlt = -16$

$Derr = Kd * (-16) * d/t$

$Derr = -1.6$

Looptime (d/t)

Den Zyklus den der PID-Controller benötigt das Eingangssignal (Eingangswert) und der daraus resultierenden Kalkulation und einen Ausgabewert zu berechnen bezeichnet man als „Loop“.

Die dazu benötigte Zeit wird „Looptime“ genannt Looptime wird in ms (Millisekunden) berechnet bzw. in Hz

$1 \text{ sek} = 1000 \text{ ms} = 1 \text{ Hz} = 1 \text{ Zyklus}$

$1 \text{ ms} = 0.001 \text{ sek} = 1 \text{ KHz}$

4k Looptime = 4000x die Loop durchlaufen pro Sekunde

Daher ist es auch wichtig, dass man in BF die Looptime so einstellt das der FC dies auch verarbeiten kann ohne Fehlberechnungen durchzuführen

Beispiel FC F405 4KHz = 4000 Loops pro Sekunde - das schafft der FC problemlos 8KHz = 8000 Loops ist für einige F4 FCs zu viel, wenn zusätzliche Filter eingeschaltet wurden. Bei F7 FCs ist 8K typisch.

1. Fehlerkonstanten, werden pro Achse in BF eingestellt. ↵

2. PID-Error, Summe aller anliegenden Fehlersignale. [^DT] : empty ↵

Hsgyq i r x e n s r f y n x { n t Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 i o h s g w 2 s k 3 y w n k [m h q n p , l x t w 3 k n t y f 2 j s q 3 k v m x p e f w 2 o h s g w l { m h q n p x l i q i f } K v m x P e f w 2

BF Allgemeine Tuning Tips

Allgemeines

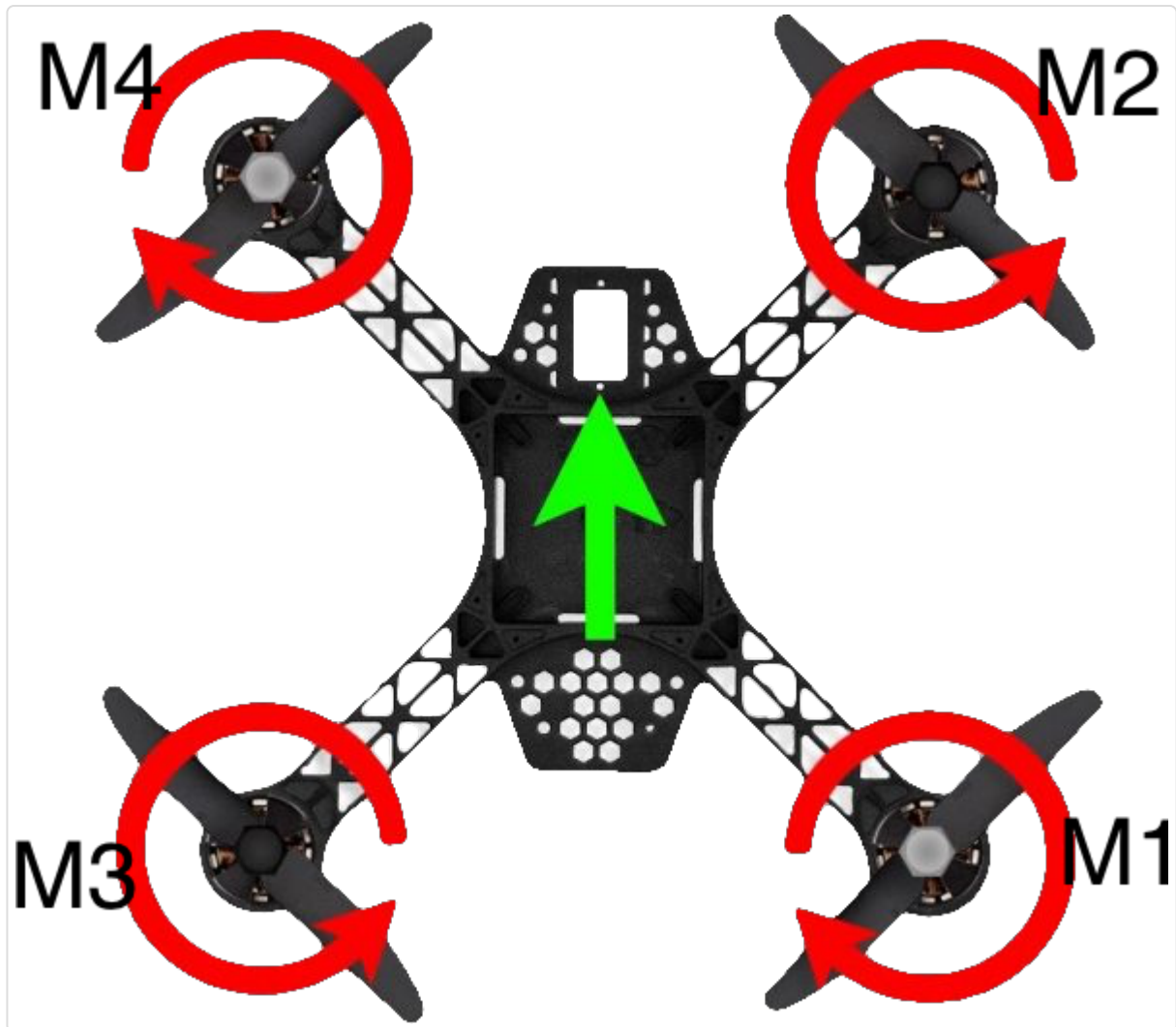
Um eine möglichst gut abgestimmten Copter zu besitzen sollte nachfolgende Reihenfolge versucht werden einzuhalten

1. **Sauber bauen** . Vermeide schlackernde Kabel. Der FC ² sollte vibrationsgedämpft verbaut sein. Prüfe ob den Gyro etwas berührt (**strikt vermeiden**). Sind alle Schrauben fest
2. **Versuche auf die aktuellste BF-Version aufzusetzen.** Mache vor Deinen Änderungen ein Backup der aktuellen FW. Sichere Deine Konfiguration mit `diff all` . Neue BF-Version versprechen Bugfixings und häufig verbesserte Filter/Tuning-Möglichkeiten. Leider ist der Update immer mit Arbeit verbunden.
3. **Sender kalibrieren** . Im Receiver-Tab sollten für alle drei Achsen die Einstellungen zwischenn **1000** und **2000** liegen. Hintergrund ist, liegen die aktuellen Werte unter-/oberhalb wird das RC-Signal beschnitten oder gespreizt, beides sorgt dafür, dass die Signalverarbeitung nicht optimal ist.
4. **Prüfe im BF-Configurator die Lage des Copters.** Der grüne Pfeil symbolisiert **Vorne** . Neige den Copter nach unten (PITCH-Forward), der simulierte Copter **muss** sich ebenfalls nach unten neigen. Wiederholen für alle Achsen. Der simulierte Copter **muss exakt** das gleiche tun als der echte Copter. Funktioniert das nicht - so kann man es prüfen:
 - Die Gyro-Lage in BF-Configurator stimmt nicht mit dem überein, wie Dein Gyro tatsächlich verbaut ist.
 - Gehe schrittweise vor und ändere immer in **90 Grad** Schritten
 - Beginne mit der PITCH-Achse (Querachse) und ändere die Einstellung in 90Grad Schritten solange bis der simulierte Copter das tut, was Dein Copter in der Hand auch tut.
 - Dann die Roll-Achse (Längsachse). Hier genauso vorgehen. Kippst du Copter in Flugrichtung nach links, dann muss der simulierte Copter auch nach links kippen, gleiches gilt für rechts.
 - YAW-Achse (Hochachse): drehe den Copter um Hochachse. Der simulierte Copter muss sich nun auch nach links/rechts beweg

Das ist eine **sehr, sehr wichtige** Funktionsprüfung, ansonsten wird der Copter beim Erststart vermutlich direkt einen Salto schlagen

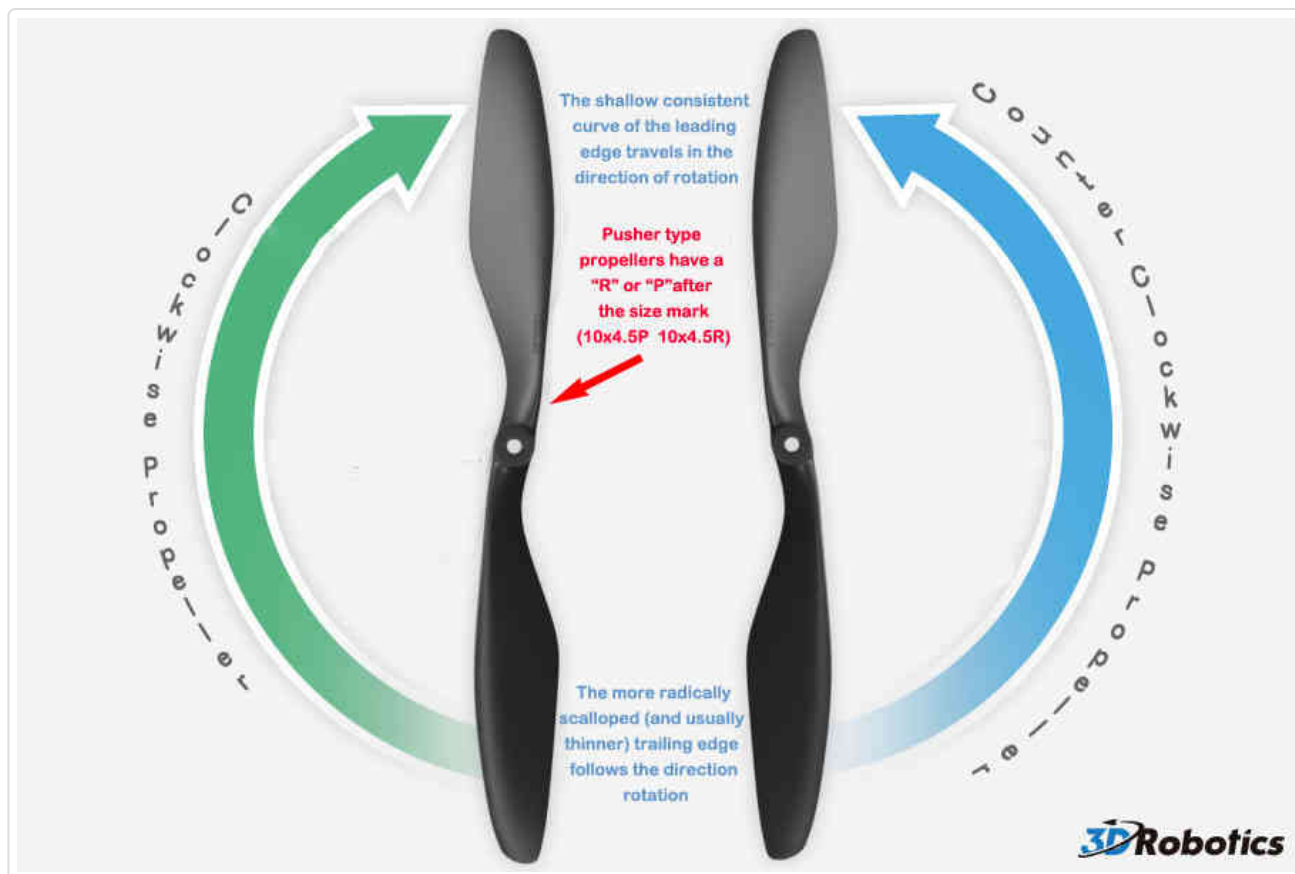
5. Motordrehrichtung prüfen

- Motor 2+3 müssen CCW ¹ drehen
- Motor 1+4 müssen CW drehen



6.

Prop-Montage, darauf achten, dass die Props in der korrekten weise montiert werden. Grundsätzlich gilt: Motor 1+3 und Motor 2+4 haben immer die gleichen Props montiert.



Filter reduzieren

Eigentlich votiere ich zu filtern, das heißt aber nicht "einfach alle Filter einschalten" sondern Filter mit bedacht aktivieren und andere Filter deaktivieren.

Das Reduzieren der Filter erhöht deutlich die Performance in Betaflight und die Latenzzeiten verringern sich. Dies resultiert in einem besseren "Stick-Gefühl", irgendwie direkter.

Andererseits geben Filter eine weicherer Gefühl, der Copter liegt irgendwie ruhiger, alles ist etwas gedämpfter (gemütlicher ;-)

Betaflight ist aber für 1000ende von Piloten konzipiert und von Race bis Smooth-Cruisen für HD-Qualitätsaufnahmen - und somit stehen auch eine Vielzahl an Setups zur Verfügung.

Also für jeden etwas.

Das im Vorwege.

Meine Setups die ich für meine Copter einstelle sind eher direkter - als Freestyler mag ich das lieber und ist mir auch wichtig.

Ich lebe mit Propwash und kleineren anderen Vibrationen. Filtere mich daher nicht "zu Tode" und vielleicht sind meine PID-Werte auch nicht optimal - aber ich fühle mich wohl mit meinen Coptern.

Tuning in a Nutshell

- 1: fliegen ist es was wir wollen
- 2: Konfiguriere Dicht nicht zu Tode
- 3: Baue so gut und sauber wie möglich
- 4: Das Setup sollte wenn möglich für Deine Copter gleicher Klasse mehr oder minder "kopierbar" sein.
- 5: beginne mit den Default-Einstellungen von PIDs und Filter
- 6: Erstflug - und prüfen wie das Setup ist.
- 7: Erstelle dir ein Tuning-Logbuch indem du pro Flug dir die Einstellungen/Änderungen merkst.
- 8: zum Tunen ist der Blackbox-Explorer, PIDToolbox unerlässlich.
- 9: Bevor du an den PID-Werten arbeitest, optimiere die Filter.
- 10: Nutze DN-Filter ³ mehr als LPF-Filter ⁴
- 11: behalte immer die Motor-Temperaturen im Auge, wenn du tunest
- 12: Filter sind ok, dann PID-Tuning durchführen.
- 13: Die Schritte 9-12 iterativ an Deinen Copter adaptieren und Schrittweise verbessern. Einen Schritt nach dem anderen. Nicht 2 Dinge gleichzeitig ändern.
- 98: **Tunen kostet viel Zeit**
- 99: **weniger tunen kann mehr sein**

Mit diesen Punkten baue und fliege ich meine 5"er

Heiße Motoren

Im allgemeinen gilt **warne Motoren** sind in Ordnung, werden sie heiß, dann muss etwas am Setup geändert werden.

Heiße Motoren sind ein Indiz dafür, das hohe Anteile an Rauschen(Noise) ⁶ Signale an die Motoren gesendet werden. Das sollte unter allen Umständen vermieden werden.

Mögliche Ursachen für heiße Motoren: * alte Motoren * Lagerschaden * Filter sind schlecht eingestellt * DTerm zu hoch * PID-Abstimmung im allgemeinen schlecht

DTerm-Problem

DTerm-Filterung ist die Empfehlung. Beginne mit der Reduzierung des DTerm-LPF-Filter in 20hz Schritten. Gehe **nicht** unter eine Cutoff-Frequenz von 80Hz.

Bei zwei DTerm-Filter setze den ersten auf eine minimale Grenzfrequenz von 100Hz, den zweiten Filter dann Stufenweise immer um 20Hz ab 100Hz erhöhen.

Immer wieder 20-30sec Fliegen und die Motor-Temperatur prüfen.

1. DTerm-LPF ⁵ Filter auf PT1 setzen
2. DTerm-LPF Filter auf BIQUAD setzen

Temperatur prüfen, prüfen prüfen

Beachten

Ohne Sinn & Verstand am DTerm rumspielen oder an DTerm-LPF Änderungen durchführen, kann zur vollständigen Zerstörung der Motoren führen



-
1. CW = clockwise = rechts, CCW = counter clockwise = links ↔
 2. Flight-Controller ↔
 3. siehe : [bf_filter.md#notch-filter](#) ↔
 4. Lowpass-Filter ↔
 5. siehe : [bf_filter.md#bf-static-lowpassfilter](#) ↔
 6. Noise/Vibrationen () ↔

Hsgyq i r x e s r f y n x { n i Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 i o h s g w 2 v k 3 y w n k [m h q n p , l x t w 3 k n i y f 2 g s q 3 k v m x e f w 8 q o h s g w l
 { m h q n p x i q i f } K v m x P e f w 2

Betaflight BF4.x Tuning-Parameters



Inhaltsverzeichnis

- Betaflight BF4.x Tuning-Parameters
- Inhaltsverzeichnis
- Historie
- Tuning-Parameter
 - Betaflight - Tuning-Tips
- DSHOT RPM Telemetrie-Daten
 - Allgemeines
 - IN
 - OUT
 - Parameter
- Gyro Filter
 - Allgemeines
 - IN
 - OUT
 - Gyro Filterarten
 - Gyro Filter => GYRO-RPM Notch Filter
 - Allgemeines
 - Parameter
 - Gyro Filter => Dynamic-Notch Filter
 - Allgemeines
 - Parameter
 - Gyro Filter => Static Gyro-Notch Filter (1 und 2)
 - Allgemeines
 - Parameter
 - Gyro Filter => Dynamic Gyro LowPass Filter
 - Allgemeines
 - Parameter
 - Gyro Filter => Static Gyro LowPass Filter
 - Allgemeines
 - IN
 - Parameter
- DTerm Filter
 - Allgemeines
 - IN

- OUT
- DTerm => Dynamic D lowpass
 - Allgemein
 - Parameter
- DTerm => Static D notch
 - AllgemeiHz
 - Parameter
- Feedforward
 - Allgemeines
 - IN
 - OUT
 - Parameter
- VBat
 - Allgemeines
 - IN
 - OUT
 - Parameter
- RC-Command
 - Allgemeines
 - IN
 - OUT
 - Parameter
 - rc_smoothing_auto_smoothness (Default:10)
- Setpoint
 - Allgemeines
 - IN
 - OUT
 - Parameter
- ITerm Parameter
 - Allgemeines

Historie

Version	Datum	Inhalt
0.1	August 2020	initial
0.2	August 2020	neu strukturiert

Tuning-Parameter

Nachfolgende eine Reihe der wichtigsten Tuning-Variablen.

Viel mehr Details findet man hier: BF4.2-Tuning-Notes (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.2-Tuning-Notes>)

ACHTUNG

Bei einem Update von BF <4.2 bitte **KEIN** Restore von alten Werten die durch `diff all` gespeichert wurden, importieren. Fangt bei **NULL** an

Betaflight - Tuning-Tips

Weitere Tuning-Tips findest du im BF-Wiki der jeweiligen Versionen: * BF4.2-Tuning-Notes (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.2-Tuning-Notes>) * BF4.1-Tuning-Notes (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.1-Tuning-Notes>) * BF4.0-Tuning-Notes (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.0-Tuning-Notes>) * BF4.0-Tuning-Notes (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/3.5-tuning-notes>)

DSHOT RPM Telemetrie-Daten

Allgemeines

Ab BF 4.0 werden Telemetriedaten des ESCs ausgelesen und analysiert. Diese Informationen sind elementar wichtig für viele nachgelagerte Filtertechniken und für den PID-Controller. Voraussetzung ist, dass man für den ESC ein DSHOT-Protokoll ausgewählt hat

IN

ESC - **Beachten:** die aktuelle Firmware des ESCs muss RPM-Telemetrie-Daten verarbeiten können.

OUT

RPM-Daten pro Motor

Parameter

Diese Parameter können nicht direkt beeinflusst werden. Zu beachten sind welches **DSHOT** Protokoll verwendet wird.

Bedenke: bei DSHOT300 und einer 8k PIDLoop erhältst du nur jede zweite PID-Loop Daten zugesendet. Daraus folgt, du solltest das passende **DSHOT-Protokoll** auf Deine PID-Loop auswählen

- **DSHOT150** : empfohlen bei 2k PIDLoop
- **DSHOT300** : empfohlen bei 4k PIDLoop
- **DSHOT600** : empfohlen bei 8k PIDLoop
- **DSHOT1200** : 8k PIDLoop

Gyro Filter

Allgemeines

Der Gyro ist das zentrale Bauelement auf dem FC und stellt die aktuellen **IST** Flugdaten zur Verfügung. Diese Daten werden dann bezogen auf die **SOLL** Daten (Die RC-Commands) verrechnet, gefiltert dem PIDController zur Verfügung gestellt. Anschließend gemixt und den Motoren als neue.

Jeder GYRO besitzt werkseitig einen internen LowPass-Filter. Je nach Bautyp des Gyros unterscheiden sich wie gut dieser interne Filter tatsächlich ist.

Die Gyro-Filter Parameter umfassen folgende Filterarten

Bei den weiteren beschriebenen Gyro Filtern wird nicht nochmals auf IN/OUT eingegangen.

IN

`gyro_scaled` Daten direkt aus dem Gyro.

OUT

Bereitstellung der Daten für nachgelagerte `DTerm-Filter` und als Mix-Daten für den

`P-Controller` => `Vorab-Fehler` `P-Berechnung`

Gyro Filterarten

Es wird unterschieden zwischen den Gyro-RPM Filtern, einem Dynamic NotchFilter und Static Notchfilter 1+2, einem Dynamische LowPassfilter und einem statischen Lowpassfilter.

- Gyro-RPM-Notch Filter

`gyro_rpm_notch_harmonics=3 gyro_rpm_notch_q=500 gyro_rpm_notch_min=100`

- Dynamic-Notch Filter `dyn_notch_min_hz dyn_notch_max_hz dyn_notch_width_percent dyn_notch_q`

- Static Gyro-Notch Filter (1 und 2) `gyro_notch1_hz gyro_notch1_cutoff gyro_notch2_hz gyro_notch2_cutoff`

- Dynamic Gyro LowPass Filter `gyro_lowpass_type gyro_lowpass_hz dyn_lpf_gyro_min_hz dyn_lpf_gyro_max_hz`

- Static Gyro LowPass Filter `gyro_lowpass2_type gyro_lowpass2_hz`

Gyro Filter => GYRO-RPM Notch Filter

Allgemeines

Der Gyro-RPM Notch Filter nutzt die vom ESC zurückgegeben RPM-Daten und liegt als erste Filterstufe direkt hinter dem `gyro_scaled` Daten.

BF 4.1/4.2 Bidirectional DSHOT and RPM Filter Guide (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/Bidirectional-DSHOT-and-RPM-Filter#Tuning>)

Parameter

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
<code>gyro_rpm_notch_harmonics</code>	3	Schwingungen treten in wiederkehrenden Amplituden auf. Eine harmonische Schwingung kann durch eine Sinusfunktion beschrieben werden (https://de.wikipedia.org/wiki/Schwingung#Harmonische_Schwingung). Das bedeutet, dass eine Vibration sich alle xHz wiederholt! Betaflight generiert somit pro Motor 3 (Anzahl Harmonics) Notch-Filter, somit werden alle Motordaten durch 12 individuellen RPM-Notch-Filter analysiert und schon vorgefiltert. Diesen Sachverhalt kann man in einer Blackboxauswertung sehr gut sehen (FFT-Spektrogramm). Der Q-Faktor des Notchfilters gibt die Breite der Kerbe (Notch=Kerbe) an. Je größer die Zahl (max 1000) umso schmaler wird der Notchfilter. Der <code>Q-Faktor</code> wird auch als Güte-Faktor bezeichnet. Je höher die Güte-Faktor (<code>Q-Faktor</code>) desto geringer die Dämpfung, desto schmaler der Notch-Filter. Kleine Q-Faktoren vergrößern den RPM-Filter Delay - was unerwünscht ist
<code>gyro_rpm_notch_q</code>	500	
<code>gyro_rpm_notch_min</code>	100	Beschreibt die untere Grenzfrequenz des Notch-Filters

Gyro Filter => Dynamic-Notch Filter

Allgemeines

Dieser Filter ist dem RPM-Filter nachgelagert und filtern nochmals bestimmte Frequenzen aus. Ohne RPM-Filter wird der Filter als Doppel-Notch Filter betrieben, dies wird über

`dyn_notch_width_percent` > 0 definiert. Ist dieser Wert 0, wird nur ein Notch-Filter erzeugt.

Das besondere an dynamic-notch-Filter ist, dass sie dynamisch sich an der aktuellen *RPM* des Systems orientieren und so laufend rund um den höchsten Frequenzbereich der Motor-Vibrationen arbeiten.

Grundsätzlich gilt, dynamische Notch-Filter haben eine geringere Latenzzeit als statische Notch-Filter. Bei einem gut abgestimmten Copter können andere Low-Pass Filter deaktiviert werden.

Parameter

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
<code>dyn_notch_min_hz</code>		Beschreibt die untere Grenzfrequenz dieses Notch-Filters in Hz
<code>dyn_notch_max_hz</code>		Beschreibt die obere Grenzfrequenz dieses Notch-Filters in Hz
<code>dyn_notch_width_percent</code>		Beschreibt (wenn > 0), wie weit beide Notch-Filter voneinander getrennt sind. Der Prozentsatz berechnet sich aus der Breite des Notch-Filters.
<code>dyn_notch_q</code>		Q-Faktor des Notch-Filters. (siehe hierzu Beschreibung weiter oben)

Gyro Filter => Static Gyro-Notch Filter (1 und 2)

Allgemeines

Zwei statische Notch-Filter für ein bestimmtes Frequenzband. Dieses Frequenzband wird während des Fluges nicht mehr angepasst (statisch).

Parameter

Parameter	BFDDefaultBezeichnung
gyro_notch1_hz	Center-Frequenz des Notch-Filters
gyro_notch1_cutoff	todo
gyro_notch2_hz	Center-Frequenz des Notch-Filters
gyro_notch2_cutoff	todo

Gyro Filter => Dynamic Gyro LowPass Filter

Allgemeines

Die Auswahl den Dyn-Notchfilters Frequenzbereiches kann über drei Auswahlmöglichkeiten voreingestellt werden * **LOW** : `dyn_lpf_gyro_max_hz` liegt bei 334hz oder ist 0 (deaktiviert) * **MEDIUM** : `dyn_lpf_gyro_max_hz` liegt bei 610hz * **HIGH** : `dyn_lpf_gyro_max_hz` liegt bei > 610hz

Die durchschnittlichen Werte für optimale Werte für diese Ranges liegen * **LOW** : 80-330hz (für Copter mit niedrigen Drehzahlen oder wenn Resonanzen in niedrigen Frequenzen auftreten) * **MEDIUM** : 140-550hz (für gut eingestellte 5" Copter) * **HIGH** : 230-800hz (für Copter mit hohen Drehzahlen 2,5" - 3")

Ab BF 4.0 wird zusätzlicher `dyn_notch_min_hz` Parameter zur Verfügung gestellt. Dieser Wert fängt den Bereich unterhalb des Dyn-LPF ab und hat seinen Default bei 150Hz.

Um 100Hz Peaks heraus zu filtern muss `LOW` aktiviert werden und der

Parameter

Parameter	BFDDefaultBezeichnung
dyn_notch_min_hz	
gyro_lowpass_type	LOW/MEDIUM/HIGH (siehe Beschreibung)
gyro_lowpass_hz	Static Gyro LPF, sind <code>dyn_lpf</code> gesetzt, dann ist der Static LPF deaktiviert
dyn_lpf_gyro_min_hz	untere Grenzfrequenz es DynLPF
dyn_lpf_gyro_max_hz	obere Grenzfrequenz des DynLPF

Gyro Filter => Static Gyro LowPass Filter

Allgemeines

IN

Throttle-Daten

Parameter

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
gyro_lowpass2_type	PT1/ 4.0 BIQUAD	
gyro_lowpass2_hz	4.0	unter Grenzfrequenz des LPF in Hz, wenn auf 0, dann ist der LPF deaktiviert

DTerm Filter

Allgemeines

Der DTerm-Filter besitzt eine Reihe von Parametern die dazu genutzt werden, das DTerm-Ausgangssignal zu bearbeiten und von Störungen (Vibrations-Frequenzen zu befreien). **Wichtig:** : Der DTerm des PID-Controllers verstärkt Vibrationen, daher ist es wichtig, dass dieses Signal möglichst frei von Störungs- / Vibrationssignalen ist.

D verstärkt höhere Frequenzen, der D-Anteil wird aber dringend benötigt um Vibrationen zwischen 30-80hz (Z.B. Propwash) auszugleichen. Das bedeutet wir benötigen soviel wie möglich D-Anteil bis 100hz und so wenig wie möglich über 100hz. DTerm-Filter sollten immer in der ersten Stufe als BIQUAD und in der zweiten Stufe als PT eingestellt werden.

DTerm Filter Daten sind zeitabhängig (`d/dt`)

Folgende DTerm-Filter werden genutzt: * **Dynamic D lowpass**

```

...
dterm_lowpass_type
dyn_lpf_dterm_min_hz
dyn_lpf_dterm_max_hz
dyn_lpf_dterm_curve_expo
...

```

- **Static D lowpass** `dterm_lowpass2_type dterm_lowpass2_hz`
- **Static D notch** `dterm_notch_hz dterm_notch_cutoff`

IN

Daten kommen aus den `Gyro Filter` Berechnungen

OUT

Daten gehen direkt an den `D-Controller`

DTerm => Dynamic D lowpass

Allgemein

Dynamischer Lowpass filter für den DTerm

Parameter

Parameter	BF Default	Bezeichnung
dterm_lowpass_type	4.0	PT1 / BIQUAD, sollte auf BIQUAD für LPF 1 stehen, LPF2 = PT1
dyn_lpf_dterm_min_hz	4.0	LowPass min Hz
dterm_lowpass2_hz	4.0	LowPass2 min Hz

DTerm => Static D notch

AllgemeiHz

Parameter

Parameter	BF Default	Bezeichnung
dterm_notch_hz		
dterm_notch_cutoff		

Feedforward

Allgemeines

Feedforward ist dem PID-Controller nachgelagert und unabhängig vom PID. FF verstärkt bzw. wirkt auf Deine Stickbewegung und hilft den Motoren schneller zu reagieren.

Mehr Infos zu Feedforward

- Feedforward BF 4.1 (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.1-Tuning-Notes#feed-forward-boost>)
- Feedforward 2.0 BF 4.2 (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/Feed-Forward-2.0>)

IN

OUT

Parameter

Parameter	BF Default	Bezeichnung
ff_boost	4.115	Der Booster verstärkt den gesamten FF-Wert aber zu einem sehr frühen Zeitpunkt und verringert damit ein Delay
ff_interpolate_sp4.1 ² (Average_2)		siehe Anhang der Tabelle Es wird eine effiziente verzögerungsfreie Dämpfungsmethode verwendet, die Erhöhung des boosts durch Spikes verringert bzw. vermeidet. Liegt der normale Boost-Wert unter dem limit wird er durchgelassen, alles weitere, hohe Boosts die durch Spikes verursacht werden, werden gedämpft.
ff_spike_limit	4.150	<code>ff_max_rate_limit</code> unterbricht den Feedforward, wenn die Geschwindigkeit mit dem der Stick bewegt wird wahrscheinlich sein Ende des mechanischen Verfahrensweges erreicht. Dadurch wird ein Überschwingen gerade bei Beginn von Flips reduziert.
ff_max_rate_limit	4.1100	

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
<code>ff_smooth_factor</code>	4.237	Glättungsfaktor für einkommende Signale. Funktioniert wie ein LowPassfilter. 0 = keine Glättung, höhere Werte wie der Defaultwert, erhöhen auch die Latenzzeit und wirkt dem eigentlich FF-Forward entgegen
<code>ff_interpolate_sp</code>	Ausprägung * OFF * ON * AVERAGE-2	: passt für die meisten Copter & Freestyler * AVERAGE-3 : * AVERAGE-4 :

VBat

Allgemeines

Ab BF 4.2 wir mit VBAT-SAG-Kompensation Weitere Informationen: (<https://github.com/betaflight/betaflight/wiki/4.2-Tuning-Notes#dynamic-battery-sag-compensation>)

IN

OUT

Parameter

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
<code>vbat_sag_compensation</code>	4.2100	100% Kompensation der Batterieentladung
<code>vbat_pid_gain</code>	? OFF	alte Version sollte immer OFF sein

RC-Command

Allgemeines

IN

Receiver-Daten Signal

OUT

Daten werden mit den eingestellten `Rates` verrechnet und gelten dann als das angewendete `RCCommand-Eingangs-Signal`

Parameter

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
<code>rc_interpolation</code>		
<code>rc_interp</code>		
<code>rc_inter_ch</code>		
<code>rc_inter_int</code>		

rc_smoothing_auto_smoothness (Default:10)

rc-smoothing-auto-smoothness setzt wie glatt der die RC-Signale sein sollen. Größere Werte erhöhen die Glättung vergrößern aber das RC-Delay. 10 ist optimal für die meisten allgemeinen Flüge. Racer bevorzugen 8 oder sogar 5. Das RC-Delay nimmt zwar ab, dafür können die Motor-Signale etwas unruhiger werden.

Setpoint

Allgemeines

In der weiteren Verarbeitung der Eingangssignale werden diese als **Setpoint** bezeichnet und spiegeln das RC-Signal wieder allerdings durch eine Reihe von Parametern geglättet

IN

Aufbereitetes RC-Command Signal

OUT

Daten die mittels **setpoint_smoothing** nochmals geglättet werden werden an * **Vorab-Fehler P-Berechnung** * **d/dt**

Parameter

Setpoint/Setpoint smoothing beinhaltet eine Reihe von Parametern die das eigentlich Signal nochmals aufbereiten.

Parameter	BF	Default	Bezeichnung
rc_smoothing_type			setzt wie glatt der die RC-Signale sein sollen. Größere Werte erhöhen die Glättung vergrößern aber das RC-Delay.
rc_smoothing_auto_smoothness	10		10 ist optimal für die meisten allgemeinen Flüge. Racer bevorzugen 8 oder sogar 5. Das RC-Delay nimmt zwar ab, dafür können die Motor-Signale etwas unruhiger werden
rc_smoothing_input_Hz			
rc_smoothing_input_type			

ITerm Parameter

Allgemeines

ITerm Parameter dienen dazu das I-Signal die PID-Controllers entweder vor der Bearbeitung von ITerm oder nach ITerm zu beeinflussen.

Insbesondere sollen hier Peaks im ITerm eliminiert werden.

Die Nachfolgende Tabelle beinhaltet zwei zusätzliche Spalten **IN** und **OUT** sie bezeichnen woher die Daten kommen (**IN**) und wer sie verwertet (**OUT**)

Parameter	BF	IN	OUT	Default	Bezeichnung
item_windup			MIXER	ITerm	item_windup ist eine alte Methode zur Unterdrückung der iTerm-Akkumulation, wenn das Motordifferential einen benutzerdefinierten Schwellenwert überschreitet. In BF 4.2 wirkt item_windup nur noch auf YAW
item_relax			ITERM	PID_SUM	item_relax hat item_windup zur Vermeidung von I-Anhäufungen auf Mini-Quads weitgehend ersetzt. item_relax ist hauptsächlich zur Vermeidung von bounce-backs

Parameter	BRN	OUT	Default	Bezeichnung
-----------	-----	-----	---------	-------------

item_relax_type		ITERM	PID_SUM	
-----------------	--	-------	---------	--

Wenn der Pilot eine Änderung der Drehgeschwindigkeit anfordert, die für das Quad zu schnell ist, eilt das Gyrosignal dem Sollwert (SetPoint) hinterher und daraus entsteht ein mehr oder minder großes Fehlersignal. Der I-Term versucht nun diesen Fehler zu akkumulieren (aufsummieren) und versucht diese zu korrigieren.

item_relax_cutoff		ITERM	PID_SUM	
-------------------	--	-------	---------	--

item_relax versucht nun diese Akkumulation zu kontrollieren. Reicht der item_relax nicht aus, sammeln sich die ITerm Fehler immer mehr an. Stoppt nun der Pilot seine Stickbewegung (z.B. in einem Flip), dann wird all der angesammelte ITerm-Fehler eine Gegenbewegung des Copters verursachen (BounceBack), der dann langsam ausklingen wird bis er wieder auf 0 ist. item_relax für Flip & Rolls und item_windup für YAW, versuchen diese Bouncebacks zu kontrollieren und abzumildern. item_relax_cutoff begrenzt die ITerm Akkumulation.

item_rotation		GYRO-		
---------------	--	-------	--	--

		Filter	ITerm	
--	--	--------	-------	--

Hsgyqirxssr fypx { n QoHsgw,l xt >3 { { 2, ohsgw2 vk3 ywink [mnhq np,l xt w3 kni yf 2gsq 3kvwpf w3 ohsgw1 { mnhq np,x i q i f } Kvwpf w2

DMin - Handling

Inhaltsverzeichnis

- DMin - Handling
 - Inhaltsverzeichnis
 - Allgemeines
 - Setup für den Erstflug
 - Prüfen des D Wertes im Flug
 - Parameter

{{TOC}}

Allgemeines

Mit DMin ist es nun möglich unterschiedliche Werte für D zu haben, je nachdem was der Copter gerade macht.

Im Normalflug erlaubt uns DMin mit reduzierten D-Werten zu fliegen und der DMax-Wert wird für schnelle Bewegungen genutzt (z.B. bei Fast-Roles, Flips, Propwash)

Außerdem bleiben die Motoren kühler

Wenn DMin im Konfigurator aktiviert wird, wird D in DMax umbenannt und es gibt eine neue Spalte DMin

DMin ist vom Profil abhängig (genau wie der D-Wert)

`d_min_boost_gain` steuert die Empfindlichkeit des Boost-Effekts (also wenn von DMin der DMax Wert verwendet werden soll, gibt der Booster an wie schnell das gehen soll.

Was bringen geringere D-Werte

Vorteil

weniger Vibrationen, kühlere Motoren Besseres Verhalten der Motoren bei Vollgas D-Wert bezogenes Oszillieren wird verringert

Nachteil

- mehr Propwash
 - Größeres Überschießen und Bounce-Backs
 - P Oszillation bei schnellen Manövern
 - Langsame und Lowlevel Oszillationen bei smoothen Flügen
-

Setup für den Erstflug

Default für DMin R23, P25, Y0

Beachten

wenn DMin aktiviert ist, wird der reguläre DMax Wert nur dann genutzt, wenn schnelle Manöver (z.B. Flips/Rolls) geflogen werden, in langsameren Flügen wird `DMIN` verwendet

Prüfen des D Wertes im Flug

- Anzeige im OSD, `set debug_mode=D_MIN` und im OSD die Anzeige `debug2 on-screen`. Die Anzeige zeigt dir den 10fachen Wert. Beispiel: Anzeige 350 = 35D
- Über die Log-Aufzeichnung. Auch hier `set debug_mode=D_MIN` DEBUG2 im Blackboxexplorer zeigt dir unmittelbar D für die ROLL-Achse, DEBUG3 für PITCH.

`DEBUG2` und `DEBUG3` zeigen den D-Wert vor `TPA`.

`DEBUG0` zeigt die Gyro-Anteil

Hinweis

Bei Verwendung von `DMIN` erhöht sich die CPU-Last ein wenig. Implementiert ist ein Biquad-Filter und ein PT1-Filter.

Parameter

Parameter	BFDefault	Bezeichnung
<code>d_min</code>	0/xx	0 = disabled DMin, Werte > 0 entsprechend dem DMin-Wert. Wenn DMin deaktiviert ist, ist aktuell immer der DMax (D) der genutzte Wert für D beschleunigt des boost-effekt, wenn sich Änderungen am <code>setpoint</code> ergeben (oder Gyro-Veränderungen). Wird unmittelbar bei Veränderungen durchgeführt bevor der Copter überhaupt die Bewegung ausführt. Der Wert kann zum Overshot beitragen, 0 deaktiviert diese Funktion und sollte bei Racern verwendet werden (und bei den meisten Coptern).
<code>d_min_advanced</code>	20	Verstärkungsfaktor, wie schnell bei schnellen Bewegungen D angepasst werden soll. 30-35 ist für normale Copter gut geeignet, 40-45 für wirklich sauber gebaute Freestyler. Wenn Propwash das Hauptproblem sind und die Motoren kühl sind, dann DMax erhöhen und den gain-Faktor ebenfalls (moderat!)
<code>d_min_boost_gain</code>		

Fine-Tuning des DMin Wertes geht nur über eine Blackboxauswertung. Für diese Analyse sollte der Debug-Mode `D-MIN` ausgewählt werden. Nur dann sieht man die aktuellen `D_Min` Werte im Flug

Hsgyq i r x e s r f y n x { n i Q o H s g w , l x t > 3 { { 2 i o h s g w 2 v k 3 y w n k [m h q n p , l x t w 3 k n i y f 2 g s q 3 k v m x e f w 8 q o h s g w l
 { m h q n p x i q i f } K v m x P e f w 2

Betaflight - CLI

Inhaltsverzeichnis

- Betaflight - CLI
 - Inhaltsverzeichnis
 - Allgemeines
 - Liste der meist gebrauchten CLI-Befehle

{{TOC}}

Allgemeines

CLI steht für `Command line interface` und kann für das manuelle setzen und löschen von Parametern genutzt werden.

Eine Konfigurationen können ausschließlich über das CLI durchgeführt werden (z.B. FC-Port rekonfigurationen, Dumps erstellen, ...)

Groß/Kleinschreibung wird nicht beachtet (bzw. ignoriert)

TIP

Bevor Änderungen vorgenommen werden, **erstelle immer ein Backup** des aktuellen Setups `diff all` und dann über den Button "Save" als Datei speichern

Liste der meist gebrauchten CLI-Befehle

Aufbau der Befehle

`[command] [conf-param] = [value]`

Beispiel:

`set roll_expo = 0`

Befehle Beispiel

save `save`

diff all `diff all`

dump `dump`

set `set tpa_rate = 10` setzt einen Konfigurationsparameter auf einen Wert

Info

speichert die aktuellen Änderungen im Speicher des FC und führt einen Reboot durch. **WICHTIG:** sämtliche Änderungen müssen explizit mit `save` gespeichert werden, ansonsten gehen alle Änderungen verloren (Häufig gemachter Fehler)

Auflistung aller Konfiguraitonsparameter, welche vom Default-BF Setup abweichen.

Ausgabe sämtlicher Konfigurationsparameter.

Befehle Beispiel

```
get      get
        rc_smoothing_type=
```

```
resource
```

Info

Liest den angegebenen Konfigurationsparameter. **TIP** : wenn nur ein Fragment des Konfigurationsparameters angegeben wird, zeigt BF eine Liste an Parametern an, die mit dem angegebenen Parameter beginnen.

```
Hsgyq i r x s r f y n { n QoHsgw,l xt >3 { { 2, ohsgw2 vk3 ywink [ mnhq np,l xt w3 knl yf 2gsq 3kvwef w8q ohsgw1
{ mnhq np x i q i f } KvwK Pef w2
```



(c) August 2020, Ritterhude

Hsgyq i r x e s s f y n { n QoHsgw, l x t > 3 { { 2, ohsgw 2 v k 3 y w n k [m h q n p, l x t w 3 k n l y f 2 g s q 3 k v m x e f w 8 q o h s g w l
 { m h q n p x i q i f } K v m x P e f w 2