



# Roadmap

## *Python Filter Design und Analyse Tool (pyFDA)*

---

**Version 1.1**

**Christian Münker**

### Historie der Dokumentversionen

Version	Datum	Autor	Änderungsgrund / Bemerkungen
1.0	30.10.2013	Prof. Dr. Münker	Erstellung aus Aufgabenstellung für Abschlussarbeit
1.1	10.11.2014	Prof. Dr. Münker	Update auf Projektstand

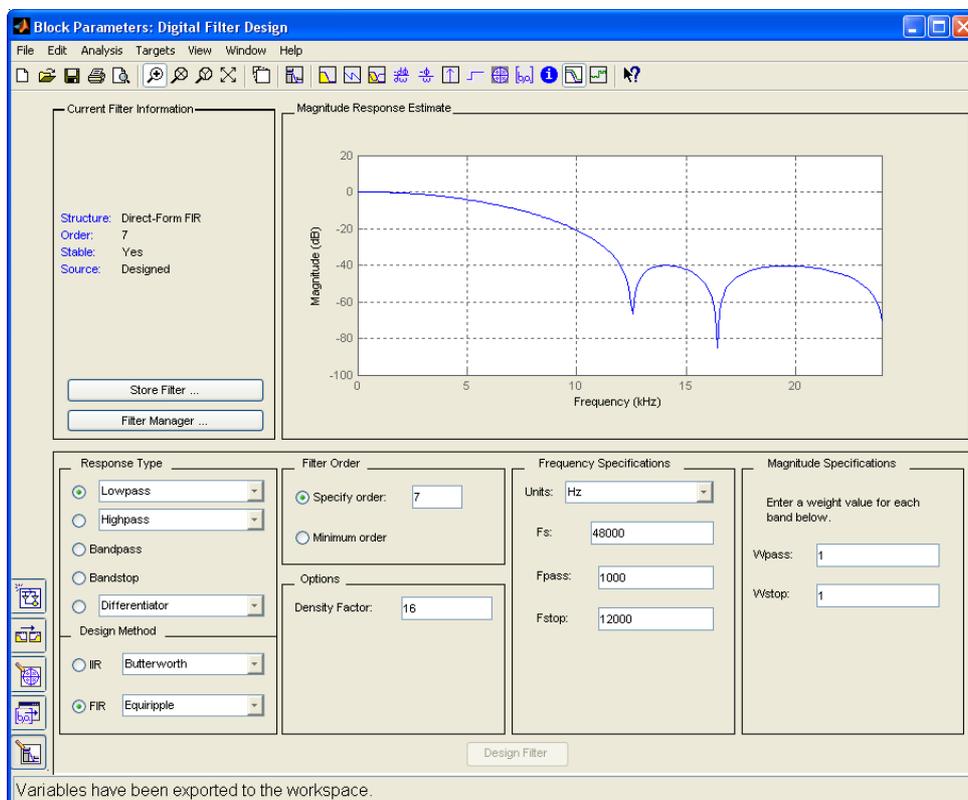


## Motivation

Analyse und Entwurf von zeitdiskreten Filtern sind zentrale Aufgaben der digitalen Signalverarbeitung, und nehmen auch in der Lehre entsprechenden Platz ein.

Es gibt bereits zahlreiche Softwarepakete für den rechnergestützten Filterentwurf aus den letzten 30 Jahren, die meisten davon werden aber nicht mehr weiterentwickelt und können nicht mehr ohne weiteres unter aktuellen Betriebssystemen betrieben werden. Die bekannteste aktuelle Software ist das „Filter Design and Analysis Tool“ (FDATool, Abb. 1), [1] von Mathworks, ein Graphical User Interface aus der MATLAB® Signal Processing Toolbox.

Das FDATool ermöglicht es, schnell und komfortabel digitale FIR oder IIR - Filter nach vorgegebenen Spezifikationen zu entwerfen. Filter können aus dem MATLAB® Workspace importiert und durch Hinzufügen, Verschieben oder Löschen von Polen und Nullen modifiziert werden. Die Eigenschaften des entworfenen Filters können auf verschiedene Arten dargestellt werden, z.B. durch Betrags- und Phasengang, Impuls- und Stoßantwort, Pol-Nullstellen Diagramme. Bei Fixpoint-Filtern kann zusätzlich das Spektrum des Quantisierungsrauschens angezeigt werden.



**Abb. 1:** Screenshot des Mathworks FDATools [1]

Weitere etablierte kommerzielle Produkte mit ähnlichen Möglichkeiten sind z.B. ScopeIIR [2] und ScopeFIR [3] von Iowegian International (Abb. 3 bzw. 4) oder das LabVIEW Filter Design Toolkit [4] oder der ASN Filter Designer von Advanced Solutions Nederland [5].

Die Softwarepakete Matlab® und Simulink® der Firma Mathworks haben sich als Quasi-Standard für Systemanalyse und -entwurf für die digitale Signalverarbeitung etabliert. Für den akademischen Bereich hätte die Verwendung von Open-Source Software verschiedene Vorteile:

- Ein Blick hinter die Kulissen zu werfen ist gerade für die Ausbildung sehr interessant
- Für die eigene Forschung und im Rahmen von studentischen Projekten und Abschlussarbeiten kann Open-Source Software leicht erweitert werden
- Zumindest für Mathworks-Produkte sind die Nutzungsrechte der vergünstigten (in Summe immer noch sehr teuren) Academic / Classroom Lizenzen ssehr restriktiv, es dürfen weder In-

dustrie- noch Drittmittel- oder sonstige Forschungsprojekte (z.B. Doktorarbeiten) damit durchgeführt werden.

- Es gibt immer wieder Schwierigkeiten bei der Lizenzvergabe (z.B. für Studierende im Master ohne Hochschulaccount)
- Starke Abhängigkeit von Hersteller, in der Vergangenheit wurden z.B. schon häufiger Lizenzierungsmodelle geändert.

Das Interesse von Studierenden und Entwicklern an einer Filterentwurfssoftware mit GUI wie dem FDATool ist groß, da Filter eine zentrale Rolle in der Signalverarbeitung spielen. Ein gut gemachtes Filterentwurfstool kann daher auch eine überzeugende Demonstration und Werbung für den Einsatz von Open-Source Software sein.

Interaktive Java-Applets sind eine gute Möglichkeit, schnell und ohne Installation mit verschiedenen Filtertypen und -optionen „herumzuspielen“. Ein sehr gelungenes Applet findet man z.B. unter [9]. Wie bei den meisten Applets steht allerdings auch bei diesem die Lehre im Vordergrund; zum ernsthaften Filterdesign eignet es sich mangels Import- und Exportmöglichkeiten nicht.

Für die Entwicklung wurde Python als „Lingua Franca“ der Open Source Community für Scientific Computing ausgewählt, da es hier bereits umfangreiche Bibliotheken für die Signalverarbeitung gibt; die Module NumPy / SciPy [10] und Matplotlib [11] stellen z.B. sehr viele Funktionen von Matlab zur Verfügung. Ein Skript ohne GUI mit Grundfunktionen des Filterdesigns wurde bereits von mir erstellt.

Mit PyQT können auch leistungsfähige Graphical User Interfaces (GUIs) konstruiert werden, Binaries können leicht für verschiedene Betriebssysteme kompiliert werden.

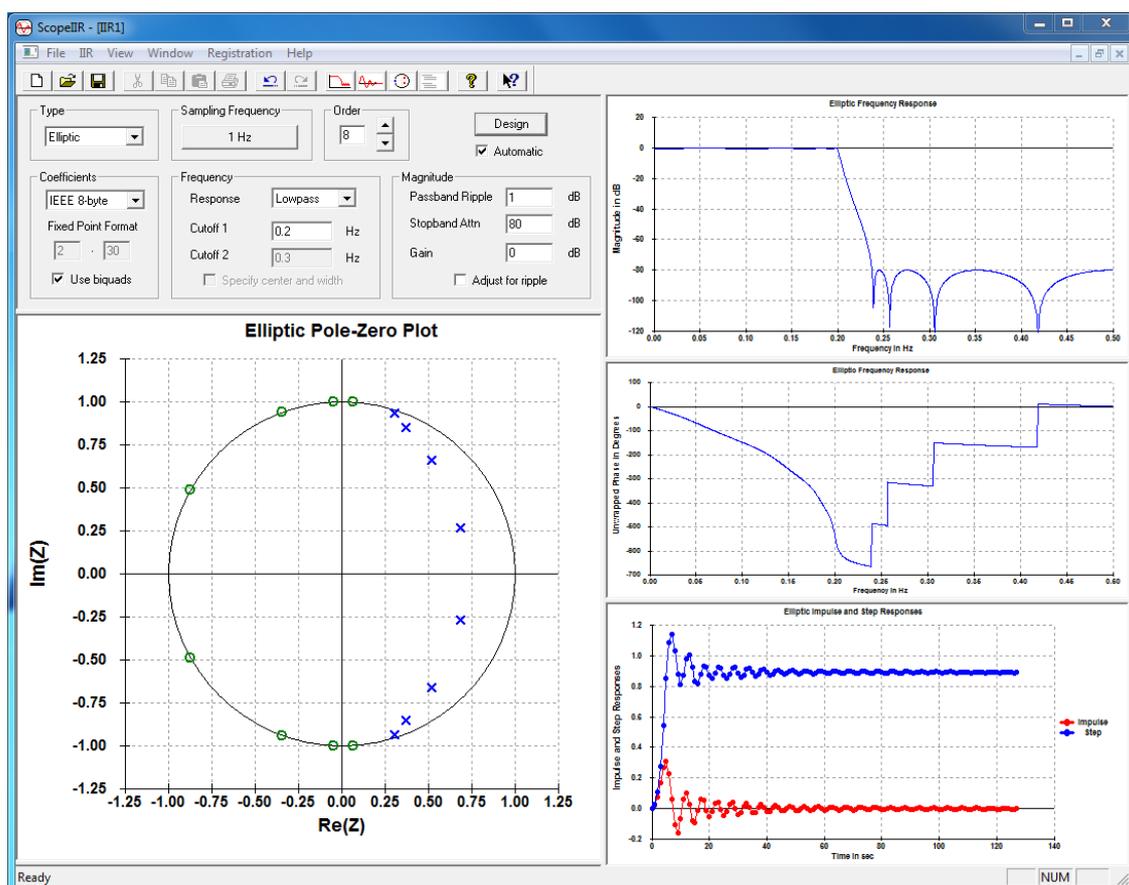


Abb. 2: Screenshot von ScopeIIR [2]

Auf GitHub wurde ein Repository eingerichtet, auf dem der Code gemeinsam weiterentwickelt wird.



# 1 Anforderungen und Zielstellung

Es soll eine Applikation erstellt werden, die die Vielzahl von Filterspezifikationen, Entwurfs- und Analysemethoden, Filtermodifikationen und Exportarten für den Benutzer übersichtlich strukturiert. Ein möglicher und üblicher Ansatz **für das GUI** ist eine

**Workflow-orientierte Struktur** (vgl. Microsoft Ribbons)

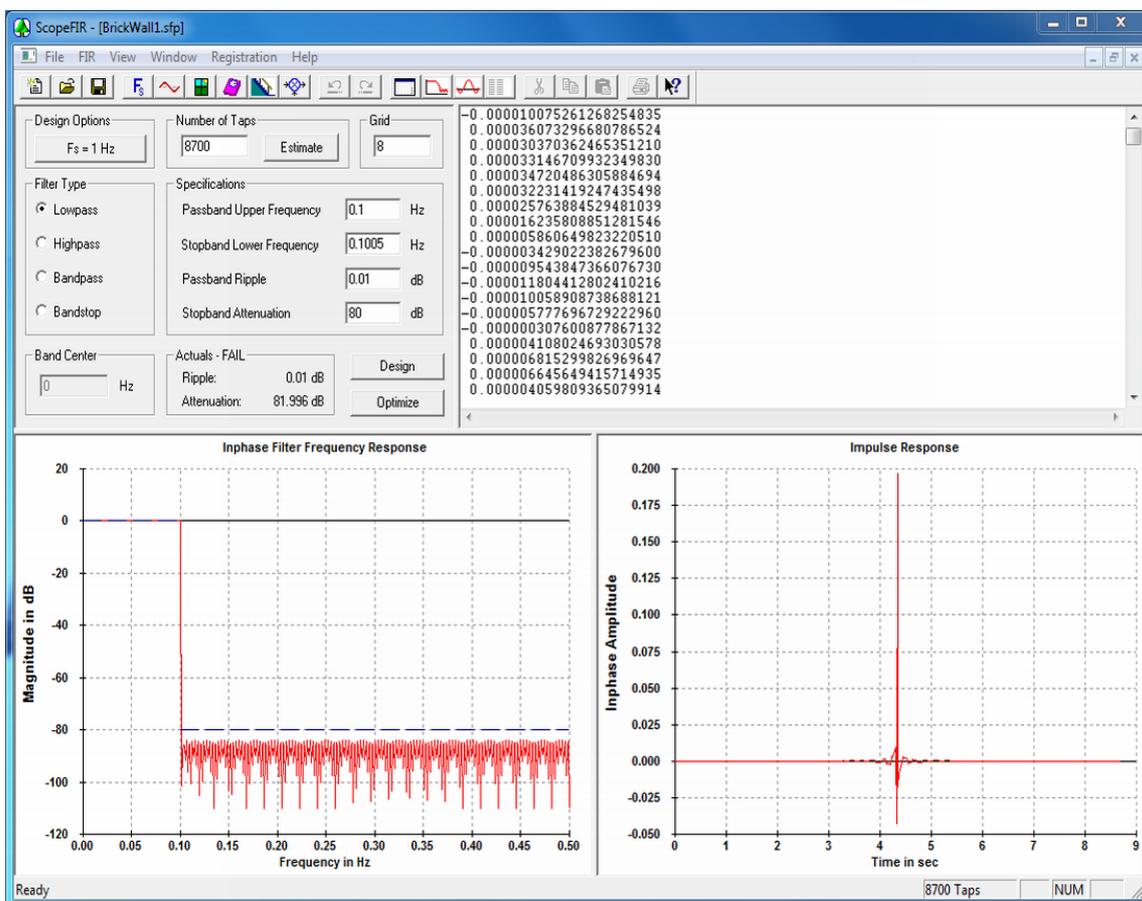
die weitgehend auch für das FDATool verwendet wurde (siehe Screenshots).

Aufgrund der vielfältigen Ein- und Ausgabeoptionen ist **für die Software** vermutlich eine

**Model-View-Architektur**

sinnvoll [13].

Generell ist es wichtig, den Code so zu gestalten, dass die Arbeit leicht als Open Source Projekt wei-



**Abb. 3:** Screenshot von ScopeFIR [3]

tergeführt werden kann. Übersichtlichkeit und Struktur ist wichtiger als Vollständigkeit!

Mathworks fdatool als OpenSource Projekt 1:1 nachzubauen, erscheint wenig sinnvoll, da sich aus den geplanten Einsatzfeldern andere Anforderungen ergeben. (+) kennzeichnet Features, die das fdatool nicht bietet:

## 1.1 Allgemeine Eigenschaften

- Filter-Manager zum Speichern und Verwalten verschiedener Entwürfe
- Automatische Dokumentation der Filtereigenschaften als PDF / PNG / ODT ... (+)
- Kontext-Hilfe und eine spätere Internationalisierung soll möglichst von vorneherein eingeplant werden, z.B. mit Hilfe von Qt Linguist



- Entwurf und Visualisierung von Multiraten-Filtern: Gesucht sind gute Visualisierungen und Entwurfsalgorithmen für Lehre und Labor

## 1.2 Lehre

- einfache, übersichtliche Bedienung, lieber auf ein paar Optionen verzichten. Auch Aufruf / Installation sollen möglichst einfach sein, daher sollen Binaries zur Verfügung gestellt werden.
- gleichzeitige Darstellung von zwei Plots z.B. Zeitbereich oder PN-Diagramm und Frequenzbereich (+)
- Visualisierung der Eigenschaften verschiedener Filtertypen und der Konsequenzen der Quantisierung. Hierfür ist es sehr hilfreich, wenn mehrere Entwürfe gleichzeitig dargestellt werden können (+)
- Audio-Unterstützung: Wie „klingt“ ein Filter? Quellen: Rauschen, Mehrton-Sinus, eigene Audiosignale (+)

## 1.3 Labor Schaltungstechnik und uC / FPGA-Entwickler

Nicht nur Studierende, sondern auch Hobby-Entwickler mit geringen Vorkenntnissen in digitaler Signalverarbeitung sind oft bereits mit einfachen Filterentwürfen überfordert. Das gilt vor allem, wenn es um die Abschätzung der Effekte begrenzter Wortlängen geht (Überläufe, eingeschränkter Dynamikbereich, Einfluss verschiedener Filtertopologien) und um die Implementierung (VHDL, C, ...).

- Entwurf effizienter rekursiver Filter (Multistage (S)CIC-Filter, CSD-Filteroptimierung, Resonator-Filter, u.U. WDF, Filter in  $\Sigma\Delta$ -Arithmetik, Lattice-Filter, ...): Für diese Filtertypen gibt es kaum Entwurfssoftware, die meisten Entwickler wissen nicht einmal, dass es Filter gibt, die nur einen Bruchteil der Ressourcen eines Direktform-Filters benötigen (++)
- Netzlisten – Export nach VHDL, Verilog, C etc. (+)
- Performance-Abschätzung von Dezimatorfiltern für verschiedene Rauschspektren (PCM,  $\Sigma\Delta^M$ , ...) (+)
- Filter für Asynchronous Sample Rate Conversion (ASRC) (+)

## 2 Struktur und Funktionen - Milestones

### 2.1 Entwurf / Import

Hier kann der Filtertyp (IIR / FIR) ausgewählt werden, Filterentwurfsmethode, Spezifikationen. Bestimmte Eingabefelder sollen dabei mit bestimmten Entwurfsmethoden gekoppelt sein. Um mehrere Filterentwürfe schnell mit einander vergleichen zu können, können mehrere Entwürfe gespeichert und schnell abgerufen werden.

### 2.2 Analyse

Die folgenden Analysen können dargestellt werden:

- Betrags- und Phasengang
- Gruppenlaufzeit
- Stabilität (\*)
- Impuls- und Stoßantwort
- Pol-Nullstellen Diagramm
- Filterkoeffizienten (textbasiert)
- Anzeige der Fensterungsfunktion bei fensterbasierten Methoden



## 2.3 Quantisierung und Filterstruktur

- **Koeffizientenquantisierung:** Hier kann das Fixpoint-Format der Koeffizienten gewählt und anschließend die Koeffizienten quantisiert werden. Eigenschaften von quantisiertem und unquantisiertem Filter können verglichen werden
- **Quantisierte Arithmetik:** Für das Signal-Rauschverhältnis von Fixpointfiltern sind die Filtertopologie und die internen Wortlängen (z.B. Reduktion der Wortlänge nach Multiplikationen) entscheidend. Daher müssen für jeden Filtertyp **interne Zahlenformate** (Akkumulatorlänge, Quantisierer) und **Filtertopologie** (Direktform, Transponierte Direktform, Biquad, Noiseshaping, ...) gewählt werden
- **Quantisierungsrauschen** von verschiedenen Filtertopologien und Wortlängen: Für schnelle Simulationen muss für jeden Filtertyp ein statistisches Rauschmodell erstellt werden

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen sollte spätestens in diesem Schritt eine objektorientierte Implementierung der verschiedenen Filter gewählt werden.

## 2.4 Export

Die Filterkoeffizienten werden im CSV und Matlab-Workspaceformat exportiert.

Ausgehend von den Filterkoeffizienten und der gewählten Topologie können „Codeschnipsel“ in C, Python oder VHDL/Verilog generiert werden und in eigene Projekte eingebunden werden. Dies wäre ein wichtiger USP für die Entwicklercommunity von Microcontrollern oder FPGA-Projekten!

## 3 Arbeitspakete

- **„Spike“ zu erster Version der Designsoftware und folgenden Fragen:**
  - Welche Interfaces benötige ich zwischen Eingabe-Entwurf-Analyse? Wie und wo werden die benötigten Parameter für einen Filterentwurf abgelegt (zentrale Verbindung zwischen GUI und Filterdesign)
  - Wie speichere ich Filter ab?

### 3.1 GUI-Design

Das GUI in PyQt / PySide soll den Workflow möglichst einfach abbilden, Plots sollen zunächst mit Hilfe der Matplotlib dargestellt werden (vielfältigere Plots, einfacher Export von Grafiken). Falls Real-Time Plotting erforderlich ist (z.B. Audio-I/O), können Plotwidgets der **Qwt** [17] / **PyQwt** [16] verwendet werden.

### 3.2 Audio I/O:

- Real-Time Audio Wiedergabe / Aufnahme mit pyAudio oder Phonon für Qt
- Generierung verschiedener Testsignale (Rauschen, SD-QNoise, Mehrton-Sinus, eigene Audiosignale)
- Implementieren eines einfachen Recorders / Players. Wichtig auch für Multirate / ASRC !

### 3.3 Verschiedenes

- **Automatische Erzeugung von Datenblättern (HTML / PDF / ODF)**
- **Interaktive Manipulation von Pol/Nullstellen**
- **Fixpoint-Funktionalität**
  - Koeffizienten-Quantisierung
  - Arithmetik-Quantisierung / Erstellung verschiedener parametrisierbarer Filter-Topologien in Python



- Einbinden von myHDL für Netzlistenexport
- „Spike“ Multirate / Polyphasenfilter-Design und Visualisierung
- „Spike“ ASRC Simulation und Design

## 4 Verwandte Projekte

- pyDSP: <http://pypi.python.org/pypi/PyDSP>
- gnuradio.org: <http://www.youtube.com/watch?v=N9SLAnGIGQs&list=PL618122BD66C8B3C4>
- gnuRadio Binaries: <http://gnuradio.org/redmine/projects/gnuradio/wiki/WindowsInstall>
- gnuRadio Filterdesign: <http://www.youtube.com/watch?v=20ZrfUZjUUA>

## 5 Referenzen

- [1] <http://www.mathworks.de/de/help/signal/ug/overview.html#br179zi-4>
- [2] <http://www.iowegian.com/scopeiir>
- [3] <http://www.iowegian.com/scopefir>
- [4] [http://www.ni.com/pdf/labview/us/final\\_dfd\\_tutorial.pdf](http://www.ni.com/pdf/labview/us/final_dfd_tutorial.pdf)
- [5] [http://www.advsolned.com/asn\\_filter\\_designer.html](http://www.advsolned.com/asn_filter_designer.html)
- [6] <http://www.gnu.org/software/octave/>
- [7] <http://www.scilab.org/>
- [8] [http://www.fh-kl.de/~hans.neuschwander/download\\_skripte/digfil/DigFilter.pdf](http://www.fh-kl.de/~hans.neuschwander/download_skripte/digfil/DigFilter.pdf)
- [9] <http://www.falstad.com/dfilter/>
- [10] <http://www.scipy.org>
- [11] <http://matplotlib.org/>
- [12] <http://packages.python.org/guiqwt/sift.html>
- [13] [http://openbook.galileocomputing.de/python/python\\_kapitel\\_24\\_007.htm](http://openbook.galileocomputing.de/python/python_kapitel_24_007.htm)
- [14] <http://www.daniweb.com/software-development/python/threads/191210/python-gui-programming>
- [15] <http://eli.thegreenplace.net/2009/01/19/moving-to-pyqt/>
- [16] <http://pyqwt.sourceforge.net/>
- [17] <http://qwt.sourceforge.net/>
- [18] <http://gnuradio.squarespace.com/home/2012/12/19/update-on-filter-design-tool.html>