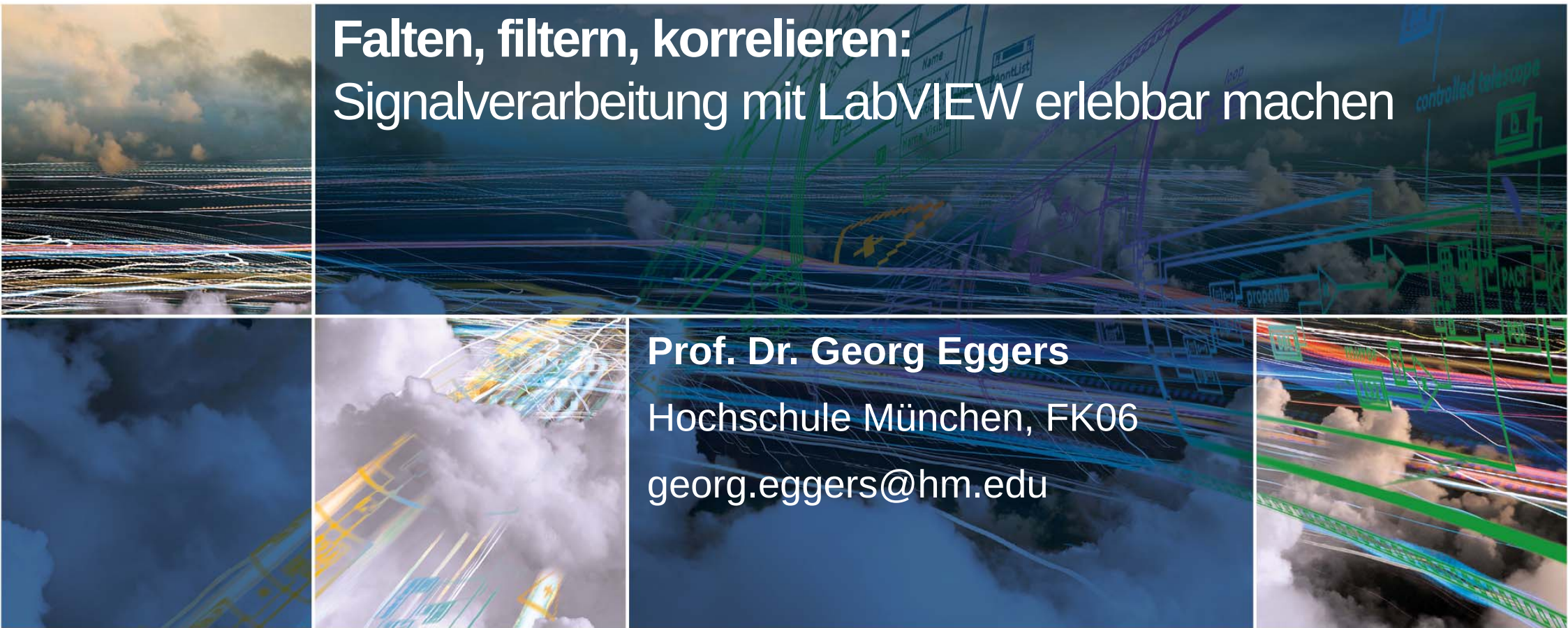




Falten, filtern, korrelieren: Signalverarbeitung mit LabVIEW erlebbar machen

Prof. Dr. Georg Eggers
Hochschule München, FK06
georg.eggers@hm.edu

Falten, filtern, korrelieren: Mehr als nur Formeln

Falten, filtern, korrelieren:

Signalverarbeitung mit LabVIEW in Hörsaalexperimenten erlebbar machen

Faltung, Korrelation und Signaltransformationen sind zentrale Bausteine der digitalen Signalverarbeitung und deshalb Gegenstand zahlloser Lehrbücher und Vorlesungen. Leider werden sie dort meist ohne direkte Anwendung vorgestellt.

Dieser Vortrag zeigt, wie Funktionsweise und Wirkung der Kreuzkorrelation, der Faltung und der Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale mit Hilfe von LabVIEW-Programmen unmittelbar im Hörsaal an echten Messdaten demonstriert und erprobt werden können. Hierzu werden Experimente zur Audiosignal-Filterung, Laufzeit-Distanzmessung, Mustererkennung und Nachhall-Simulation vorgestellt, die zur Datenaufnahme und Ausgabe lediglich die Hardware-Komponenten eines gewöhnlichen Notebooks verwenden. Die zugehörigen LabVIEW-Programme können also von den Studierenden auch selbst erprobt und weiterentwickelt werden.

Prof. Dr. Georg Eggers, Hochschule München – georg.eggerts@hm.edu

Beispielprogramme: <http://www.georg-eggerts.de/dozententag>

F/f/k: Messhardware eines typischen Notebooks



Soundkarte

Mikrofon (Mono)

$f_{\text{sampl}} = 44.100 \text{ Hz, 16-Bit}$



Soundkarte

Kopfhörer / Ext. Mikrofon



Soundkarte

Lautsprecher (Stereo)

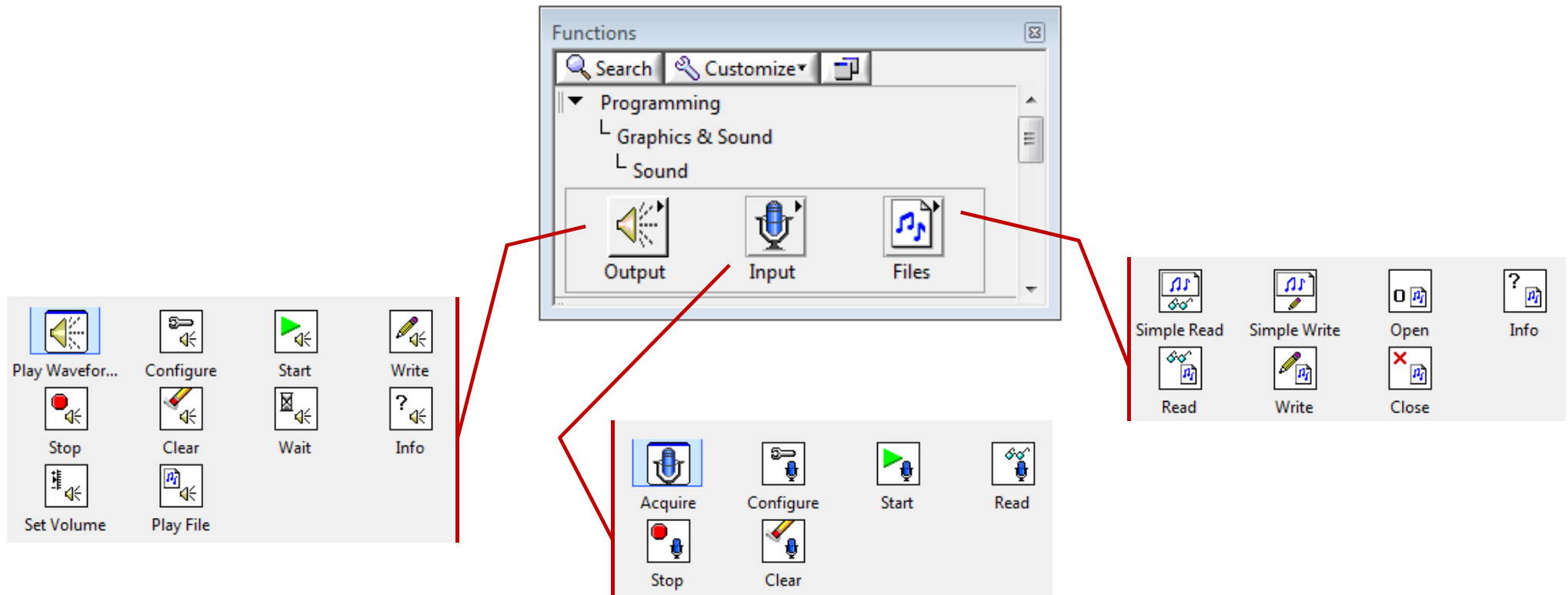


Webcam

1280 x 720 px, RGB



F/f/k: LabVIEW-Bedienung Soundkarte



F/f/k: Soundkarte als ADC/DAC



Vorteile

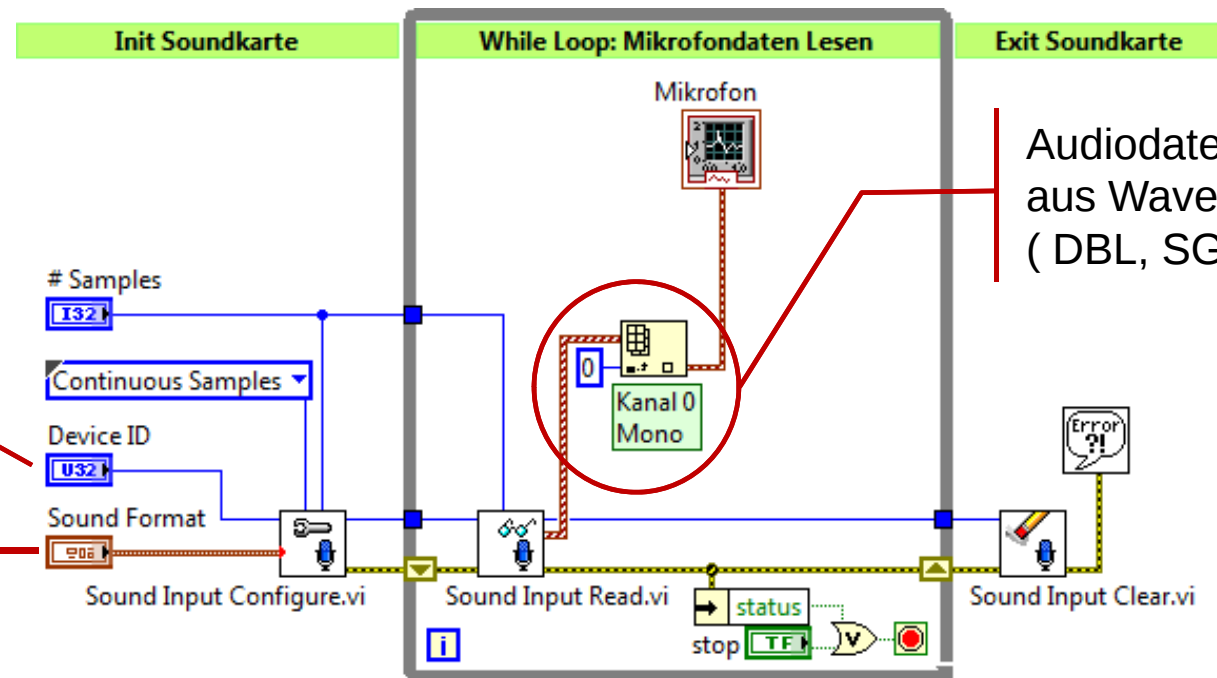
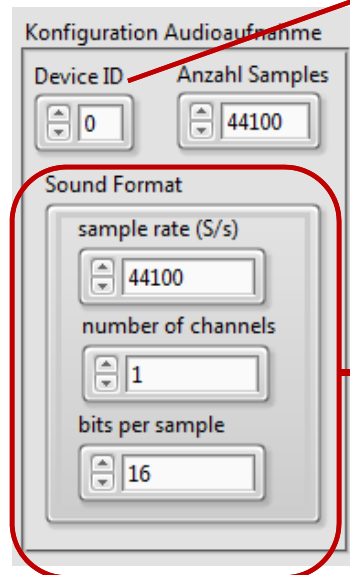
- Keine zusätzliche Hardware notwendig
- Sehr genaue Zeitbasis (typ. 44.100 Hz)

Einschränkungen

- Hochpass auf Ein- und Ausgängen → Keine Gleichspannungssignale messbar
- Keine normierten Signalverstärker → unskalierte Signalpegel
- Mikrofonsignal i.d.R. nur Mono → nur ein ADC-Eingangskanal
- I.d.R. keine hochwertigen Mikrophone anschließbar
- Keine Synchronisation von Eingang (Mikrofon) und Ausgang (Lautsprecher)
- Audiofiles in LabVIEW nur im wav-Format Lesbar/Schreibbar

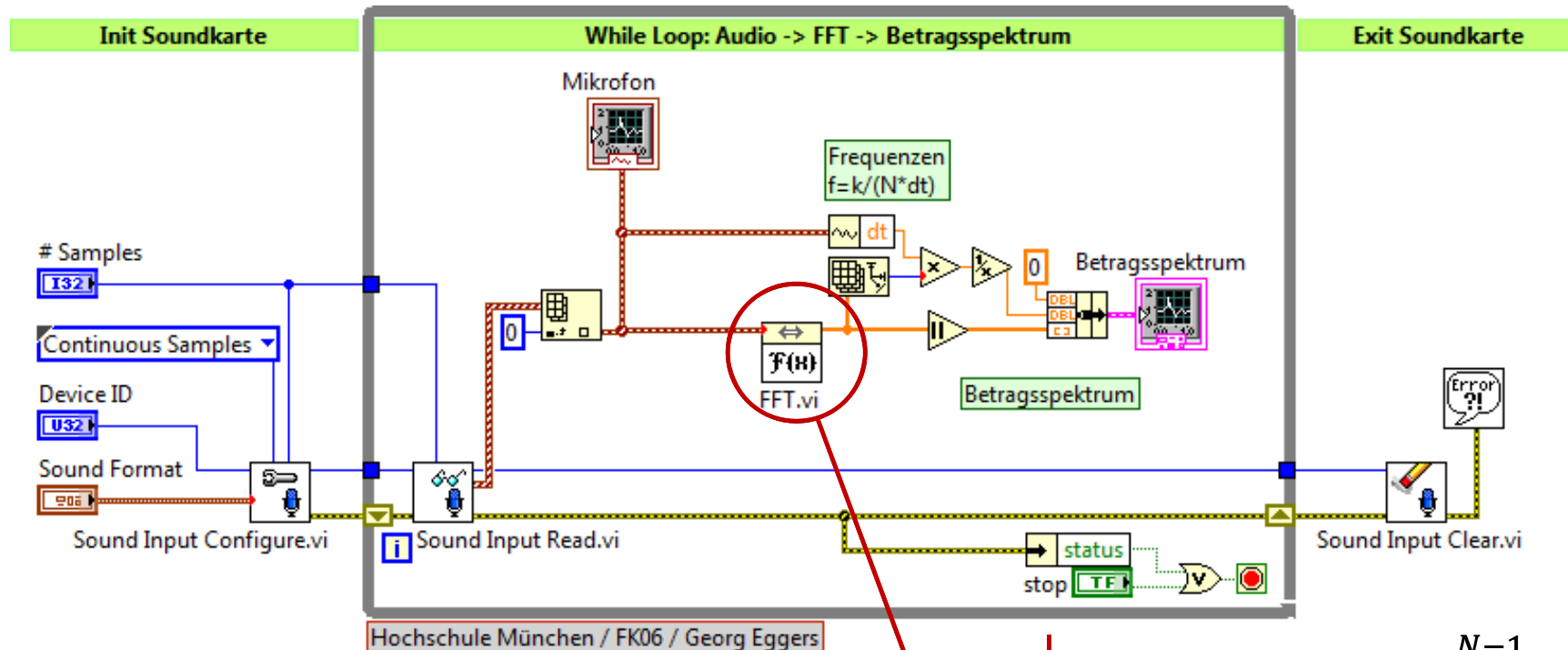
F/f/k-1: Aufnahme des Mikrofonsignals

Device ID:
Alle Soundkarten des PCs
werden von 0 ab nummeriert
(keine eindeutige Geräte-ID!)



Audiodaten: 1D-Array
aus Waveforms
(DBL, SGL, U8, I16 I32)

F/f/k-1: Fouriertransformation des Mikrofonsignals

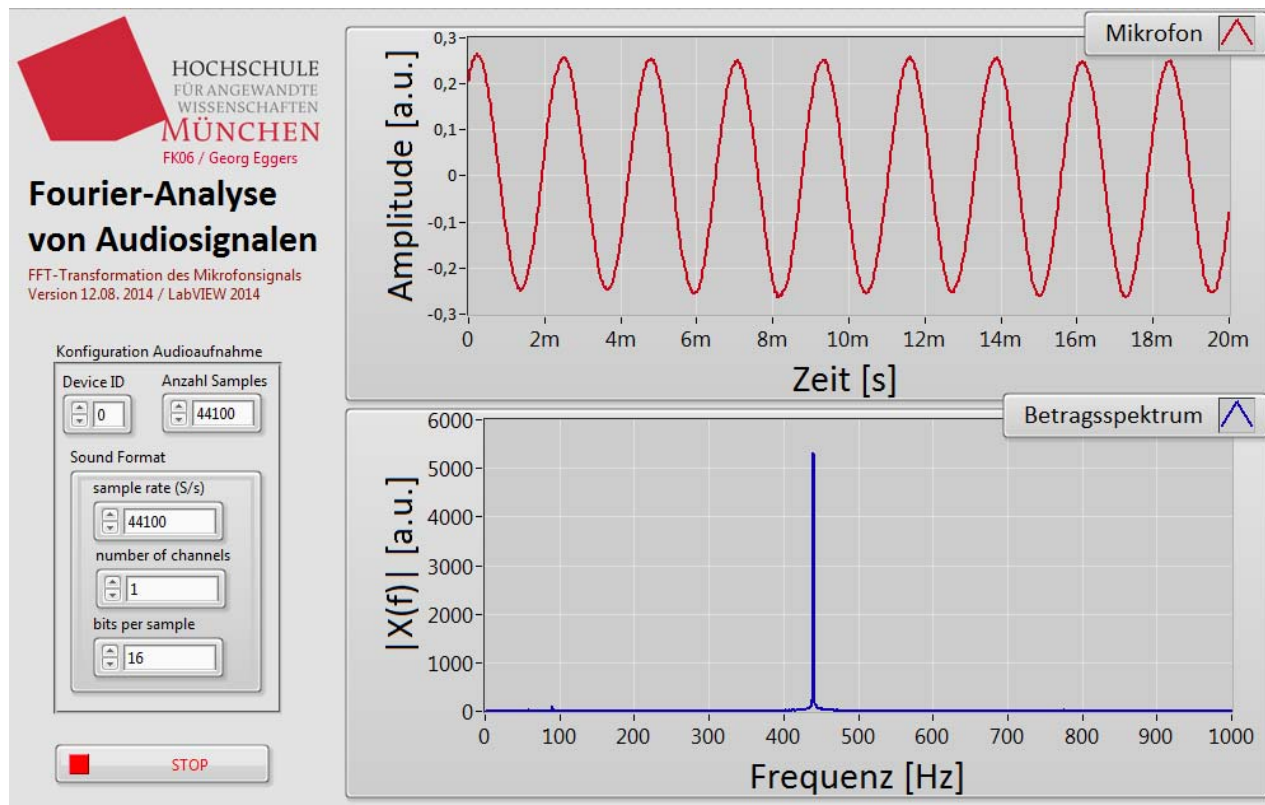


- **Diskrete Fourier-Transformation:**
Zeitsignal $x[n] \rightarrow$ Spektrum $\underline{X}[k]$

$$\underline{X}[k] = \mathcal{F}\{x[n]\} = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-i2\pi \frac{kn}{N}}$$

F/f/k-1: Fouriertransformation des Mikrofonsignals

- Diskrete Fourier-Transformation: Mikrofonsignal und Betragsspektrum

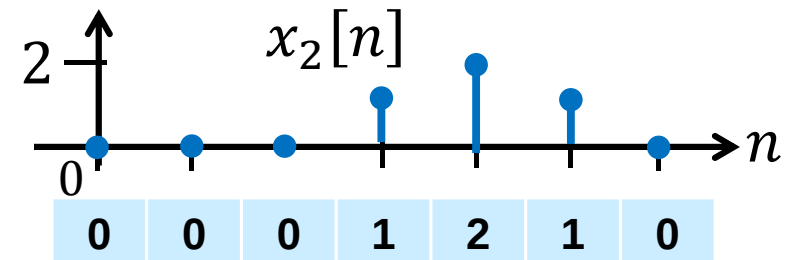
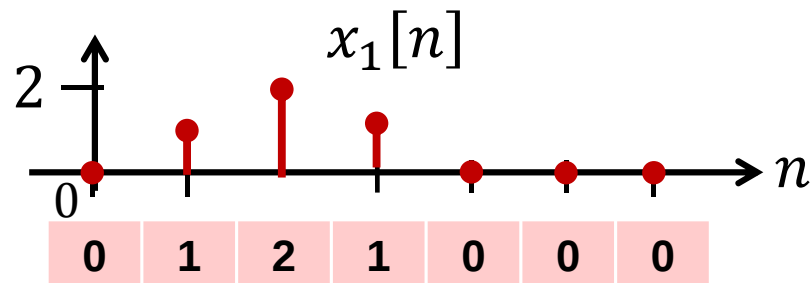


F/f/k-2: Kreuzkorrelation

- Kreuzkorrelation zweier Signalfolgen:

$$r_{x_1, x_2}[m] = \sum_n x_1[n] \cdot x_2[n + m]$$

Verschiebungsabhängige „Ähnlichkeit“ von $x_1[n]$, $x_2[n]$



Bsp: $m = 2$ ←

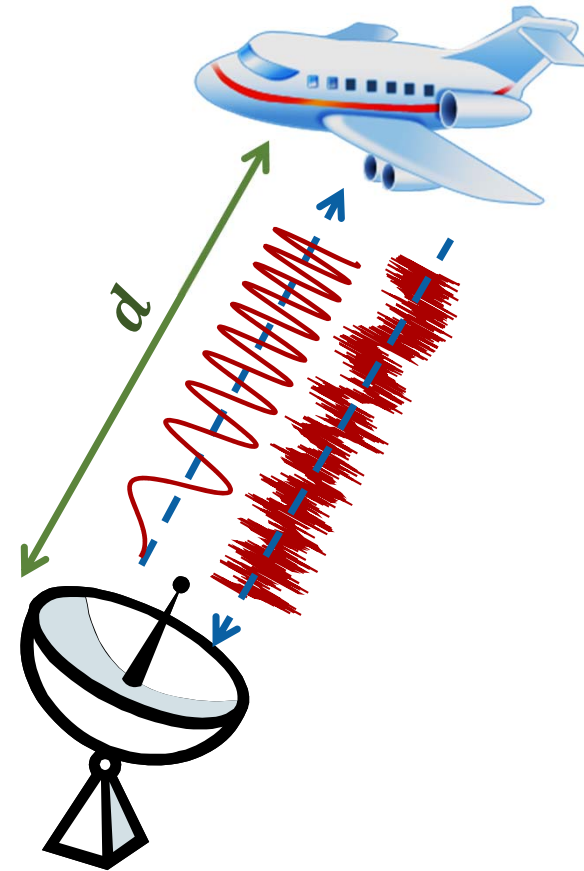
			0	1	2	1	0	0	0
			*	*	*	*	*		
	0	0	0	1	2	1	0		
			=	=	=	=	=		
			0	1	4	1	0	0	0

→ $\sum = 6$

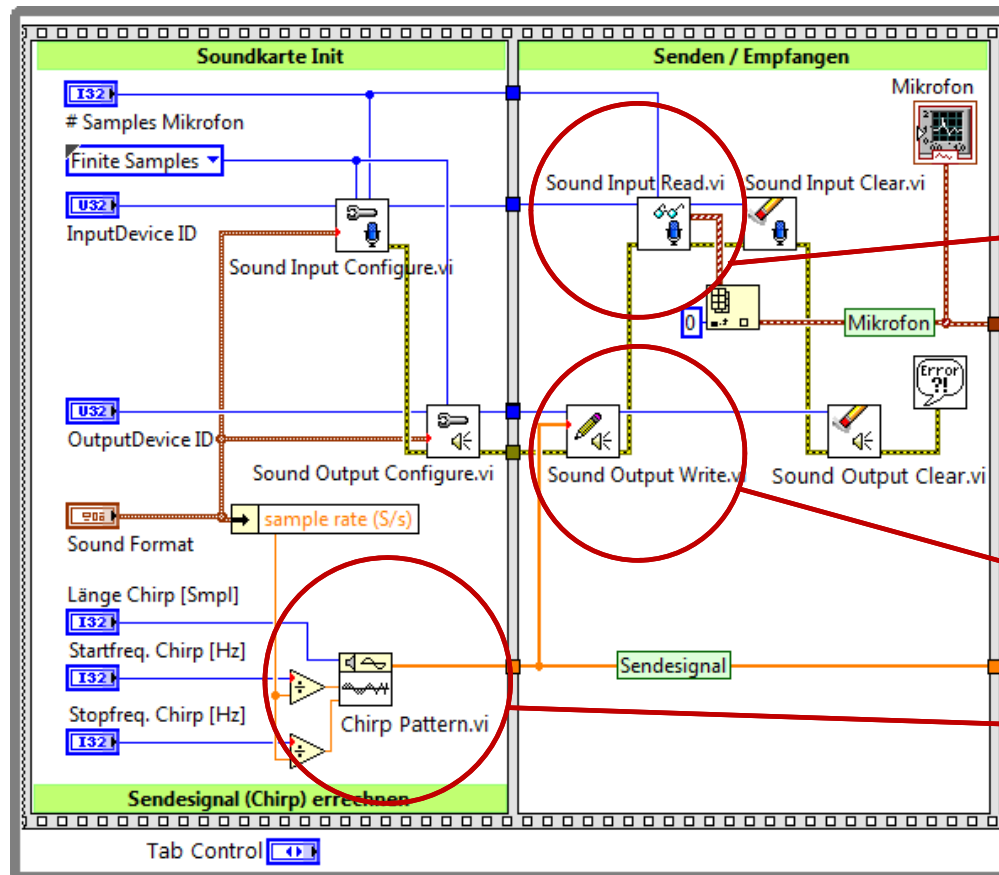
F/f/k-2: Kreuzkorrelation – praktischer Einsatz

$$r_{x_1, x_2}[m] = \sum_n x_1[n] \cdot x_2[n + m]$$

- Praktischer Einsatz: Distanzmessung durch Laufzeit im Primärradar
 - Aussenden eines Sweep/Chirp-Signals
 - Korrelation von Echo mit Sendesignal
 - Bestimmung der Signallaufzeit t_{Lauf} aus dem Maximum von $r_{\text{Sende, Echo}}[m]$
 - Bestimmung Distanz $d = \frac{t_{\text{Lauf}} \cdot c}{2} = \frac{\Delta m \cdot c}{2 t_{\text{Sampl}}}$



F/f/k-2: Kreuzkorrelation zur Distanzmessung

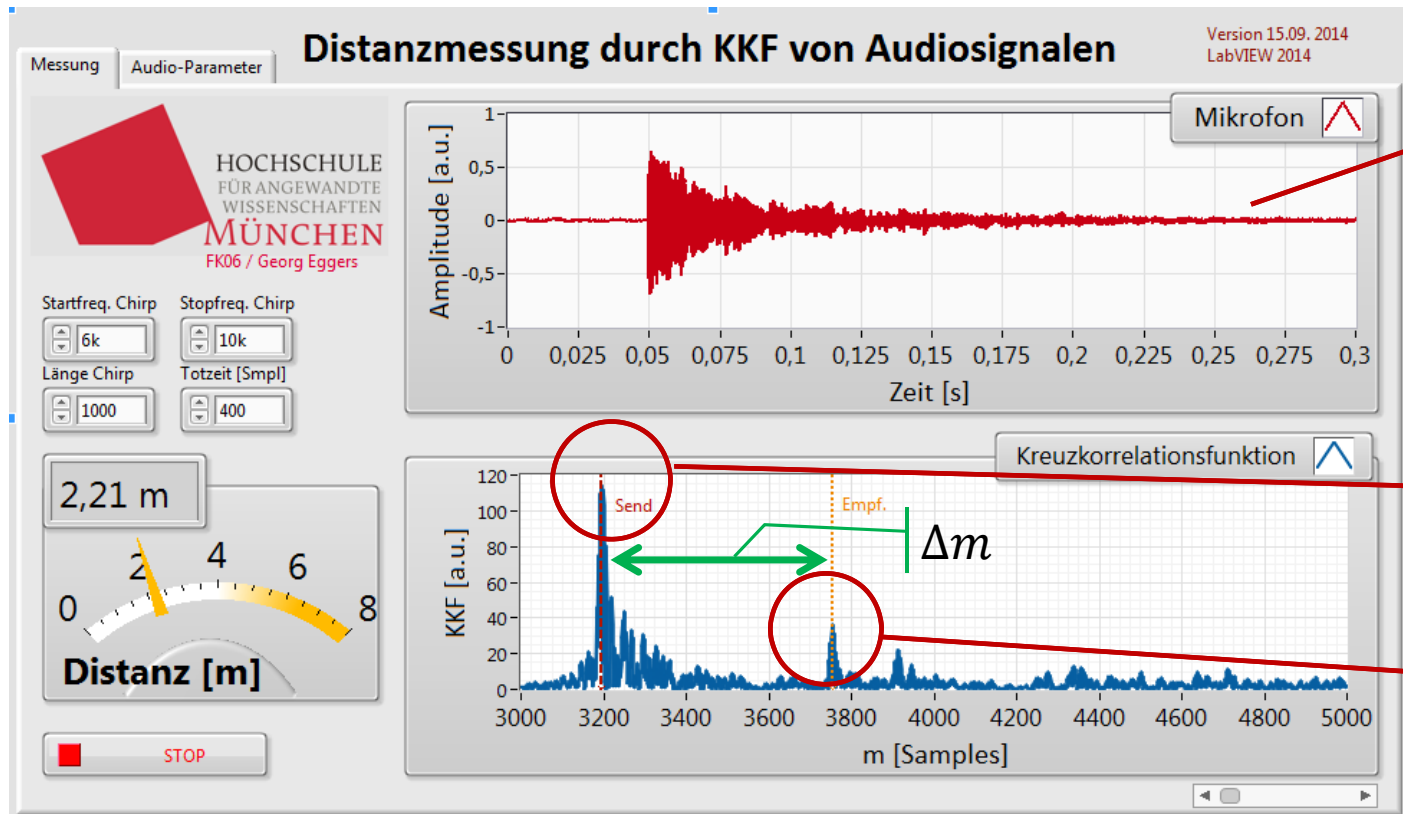


3. Mikrofoneingang lesen

2. Chirp auf Lautsprecher

1. Chirp Signal generieren

F/f/k-2: Kreuzkorrelation zur Distanzmessung



Mikrofonsignal

1. Max. KKF: Sendesignal passiert Mikrofon

2. Max. KKF: Echo trifft am Mikrofon ein

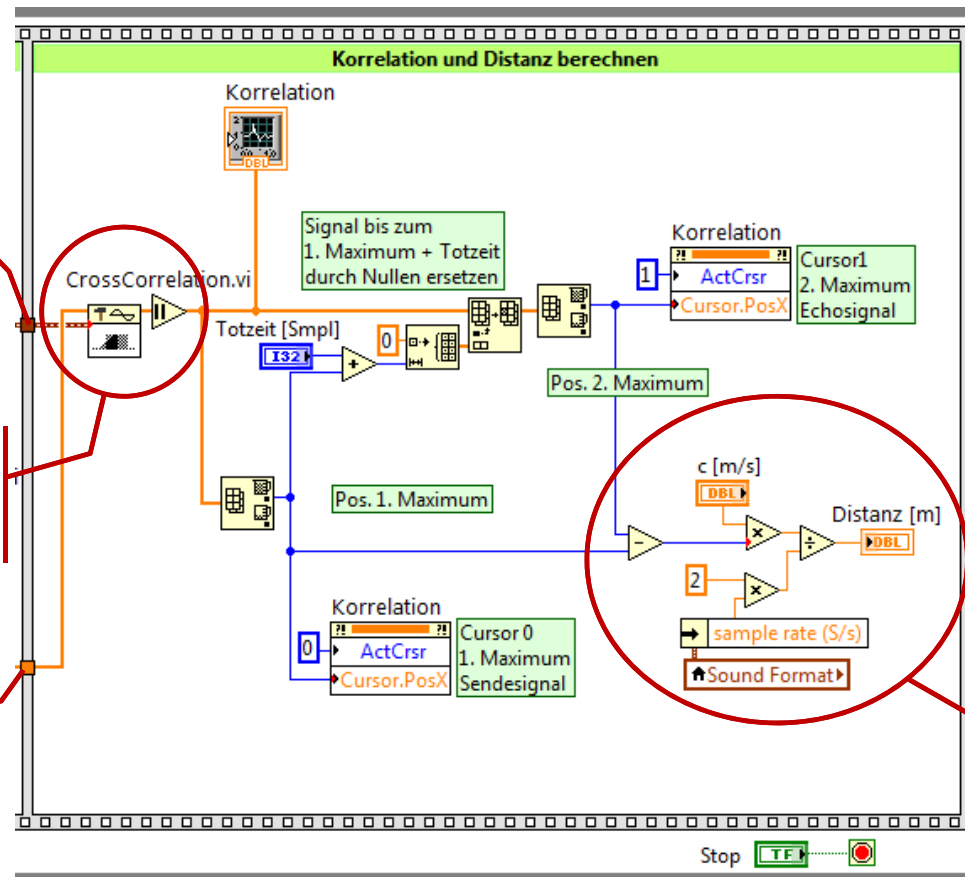
F/f/k-2: Kreuzkorrelation zur Distanzmessung

Mikrofonsignal

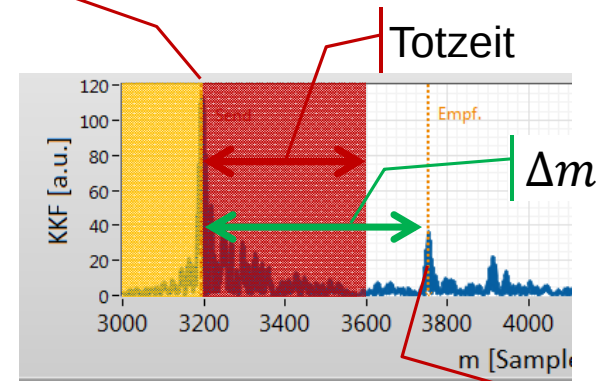
Kreuzkorrelation

$$r_{x_1, x_2}[m] = \sum_n x_1[n] \cdot x_2[n + m]$$

Lautsprechersignal



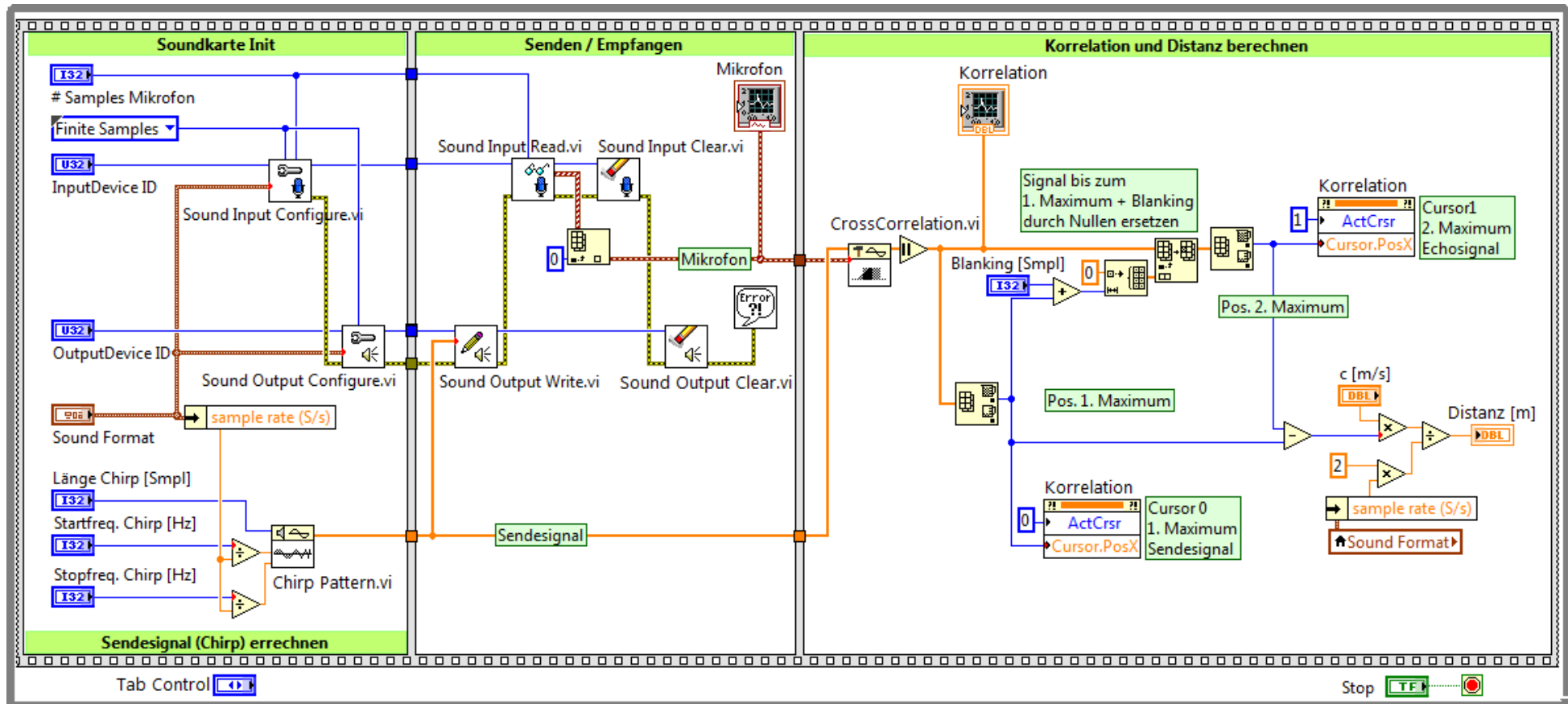
1. Max. KKF: Sendesignal



2. Max. KKF: Echol

$$d = \frac{\Delta m \cdot c}{2 t_{\text{Sampl}}}$$

F/f/k-2: Kreuzkorrelation zur Distanzmessung



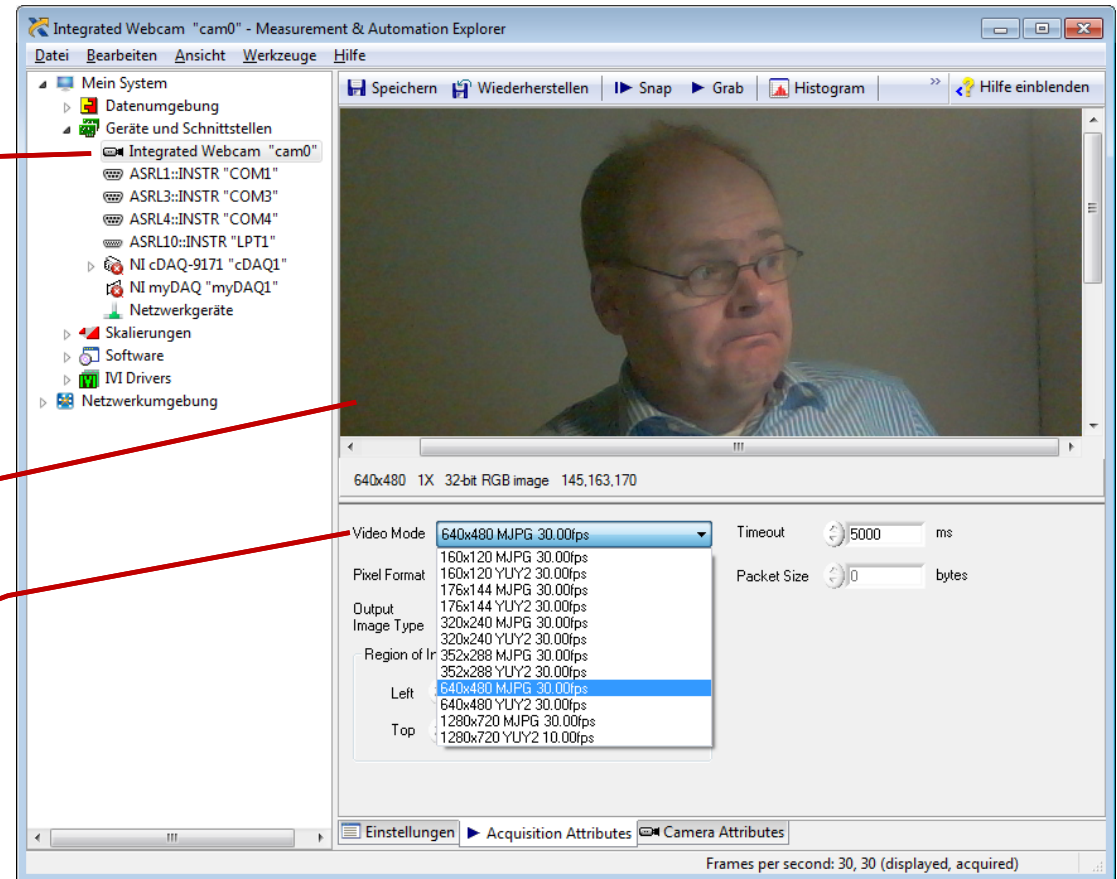
F/f/k-2: Kreuzkorrelation in zwei Dimensionen

■ Einlesen WebCam-Bilder

Kamera wird im Measurement & Automation Explorer angezeigt

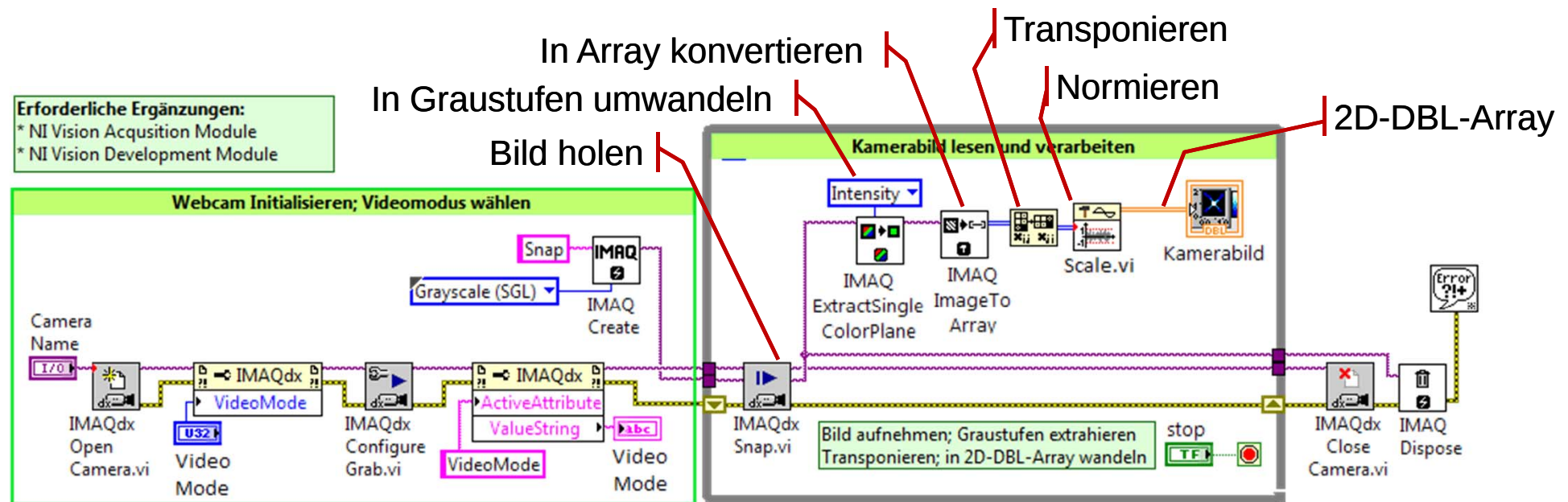
Testbetrieb möglich

Video-Modes der Kamera,
Auflösung, Frame Rate,
Nummerierung ab Null



F/f/k-2: Kreuzkorrelation in zwei Dimensionen

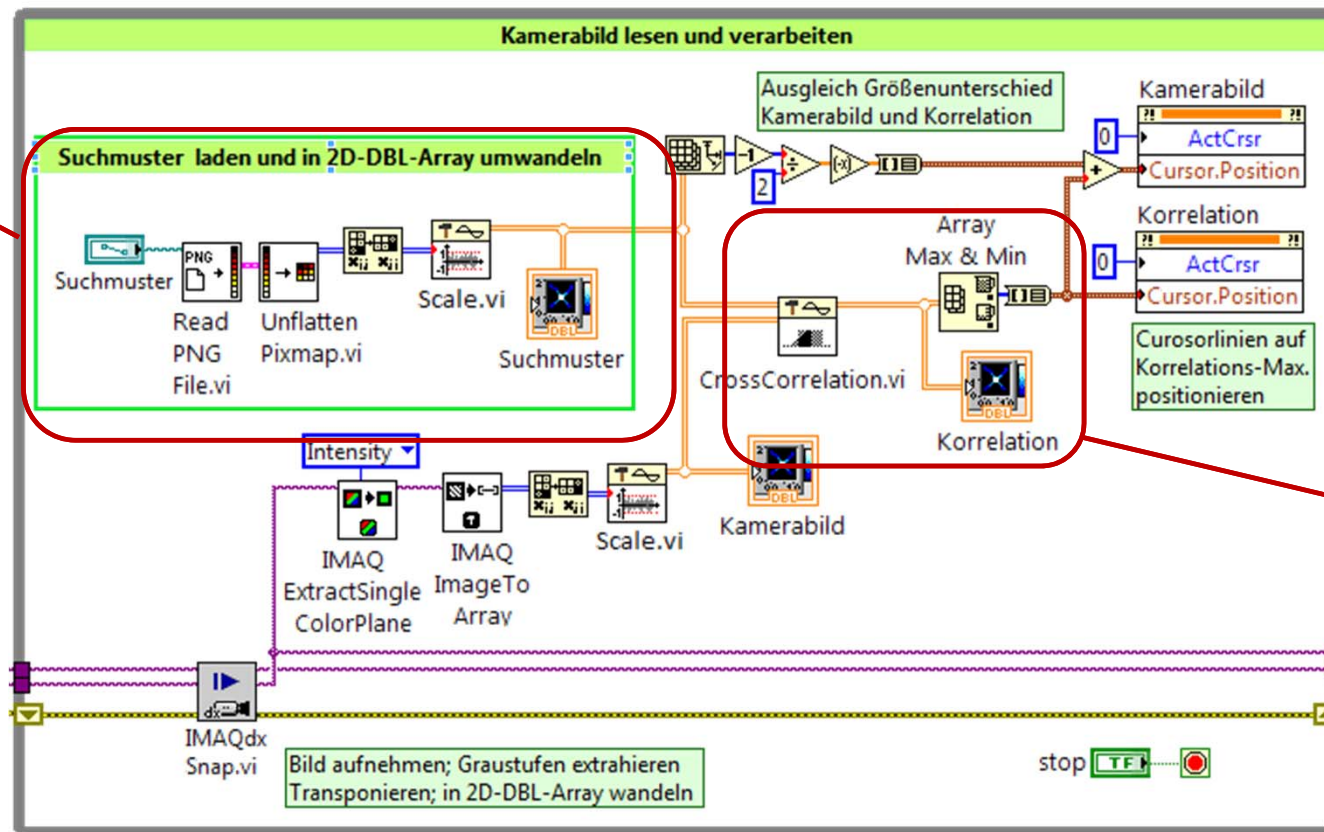
- Einlesen WebCam-Bilder als 2D-Daten
 - Erfordert LabVIEW Vision Acquisition / Vision Development Module
 - Umwandlung in 2D-DBL-Array zur Weiterverarbeitung



F/f/k-2: Kreuzkorrelation in zwei Dimensionen

- Kreuzkorrelation als (primitive) Mustererkennung

Suchmuster aus
Datei laden



2D-KKF
rechnen und
Max. suchen

F/f/k-2: Kreuzkorrelation in zwei Dimensionen

- Kreuzkorrelation als (primitive) Mustererkennung

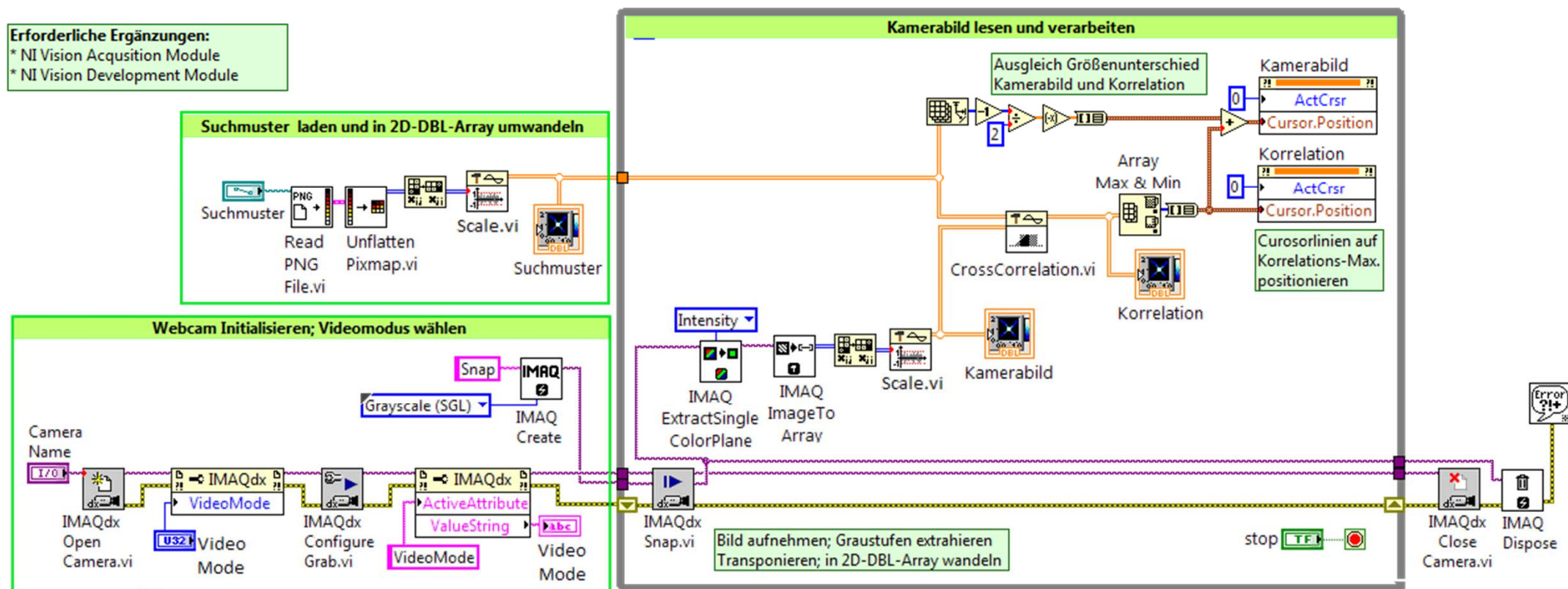


F/f/k-2: Kreuzkorrelation in zwei Dimensionen

■ Kreuzkorrelation als (primitive) Mustererkennung

Erforderliche Ergänzungen:

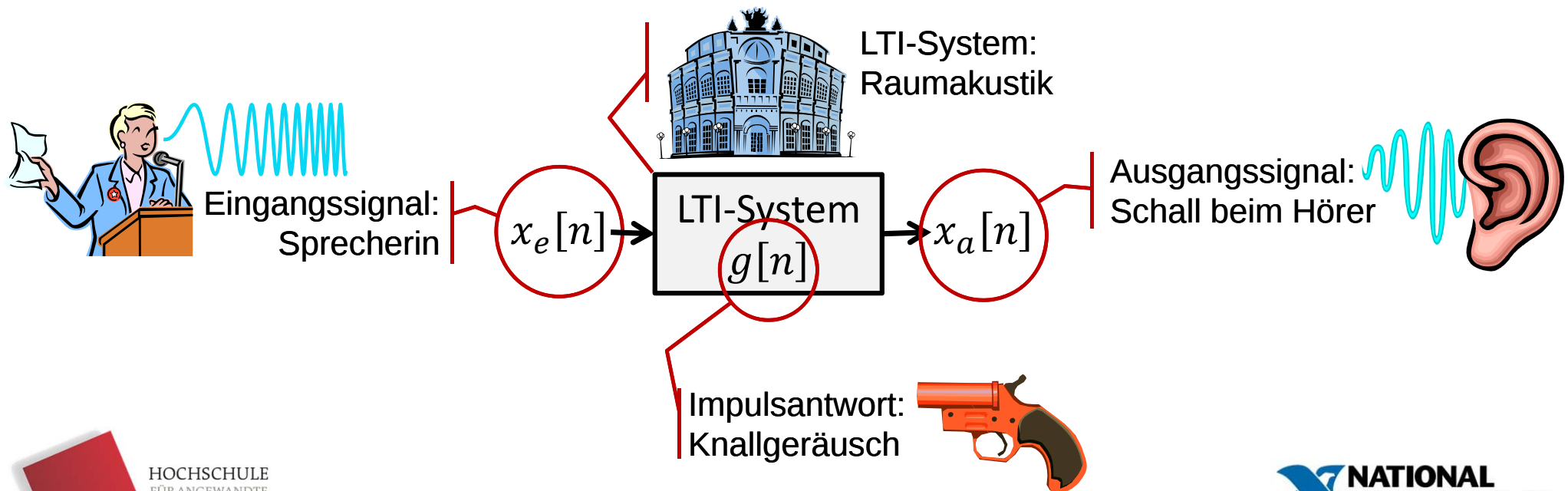
- * NI Vision Acquisition Module
- * NI Vision Development Module



F/f/k-3: Faltung von Audio-Signalen - Raumakustik

- Ausgangssignal $x_a[n]$ eines LTI-System ist die Faltung des Eingangssignals $x_e[n]$ mit der Impulsantwort $g[n]$ des Systems

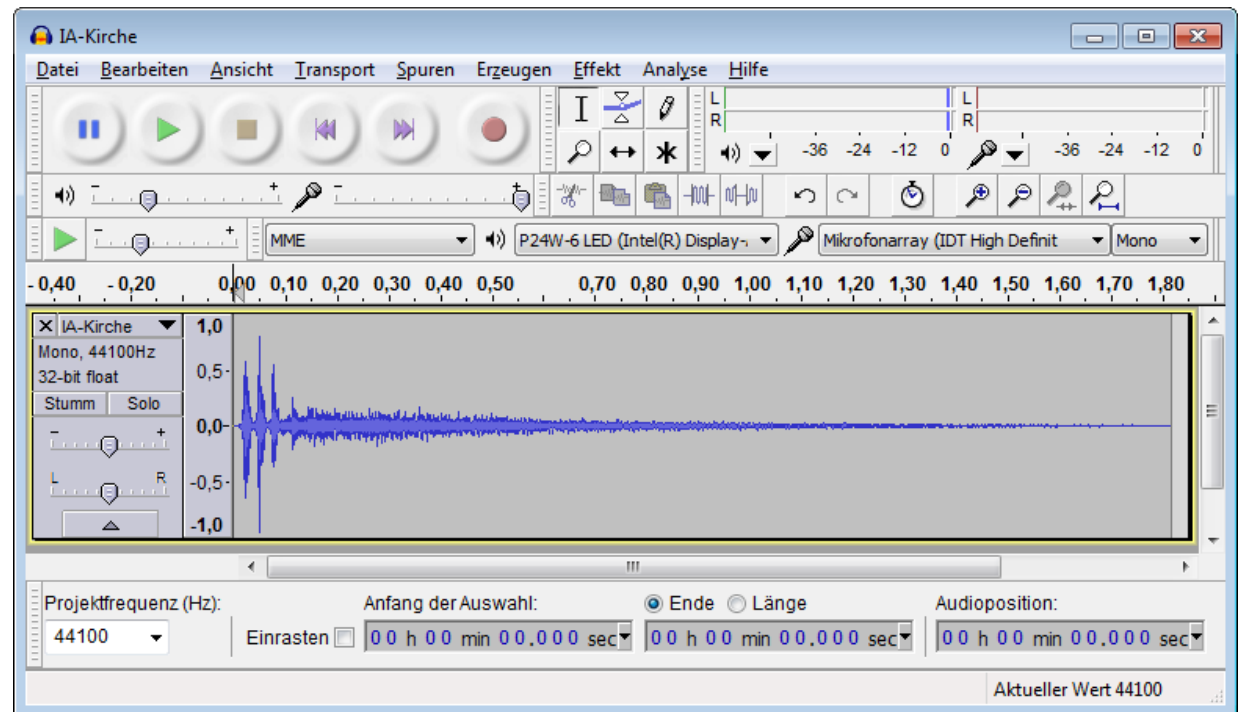
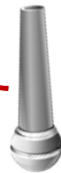
$$x_a[n] = x_e[n] \otimes g[n] = \sum_i x_e[i] \cdot g[n - i]$$



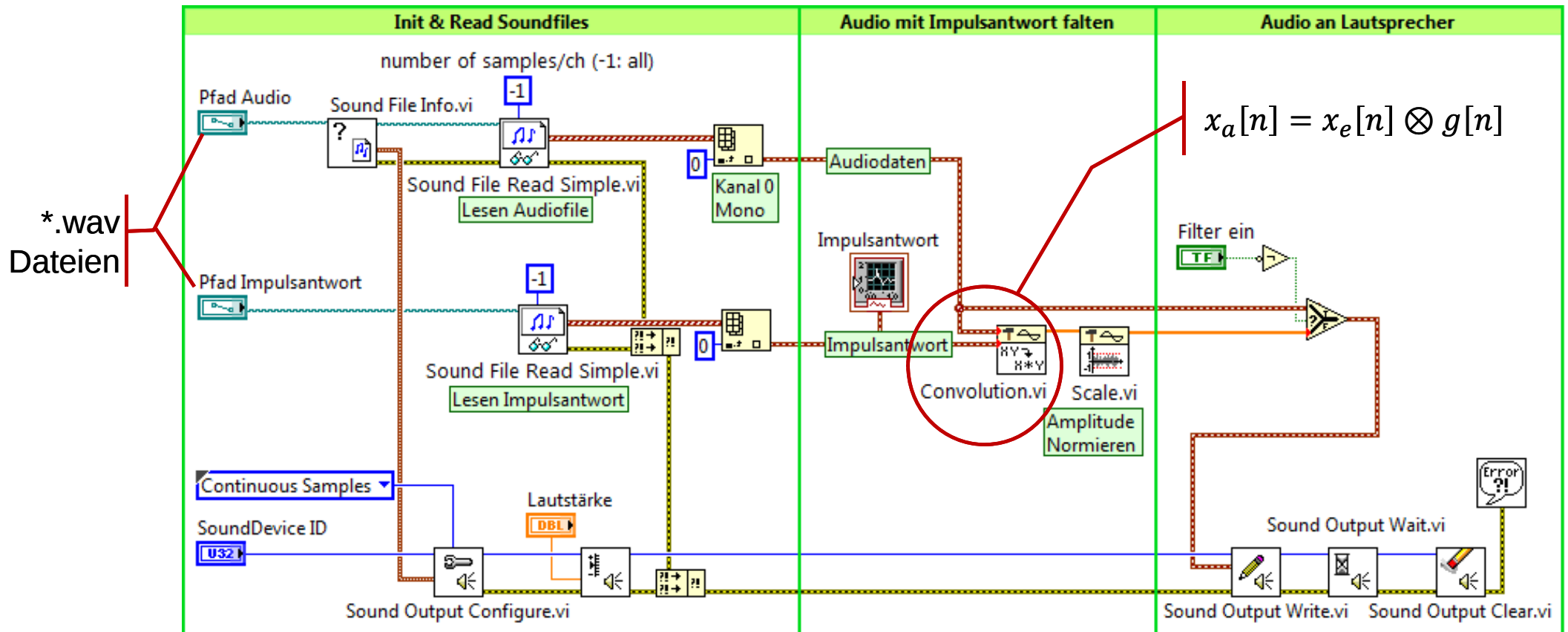
F/f/k-3: Faltung von Audio-Signalen - Raumakustik

- Aufnehmen der Impulsantwort z.B. mit Open-Source-SW „Audacity“
 - Knallgeräusch aufnehmen
 - Als wav-Datei speichern
 - Aussteuerung beachten (Pegelautomatik abschalten!)
 - **Vorsicht:** Schreckschusswaffen sind zu laut!

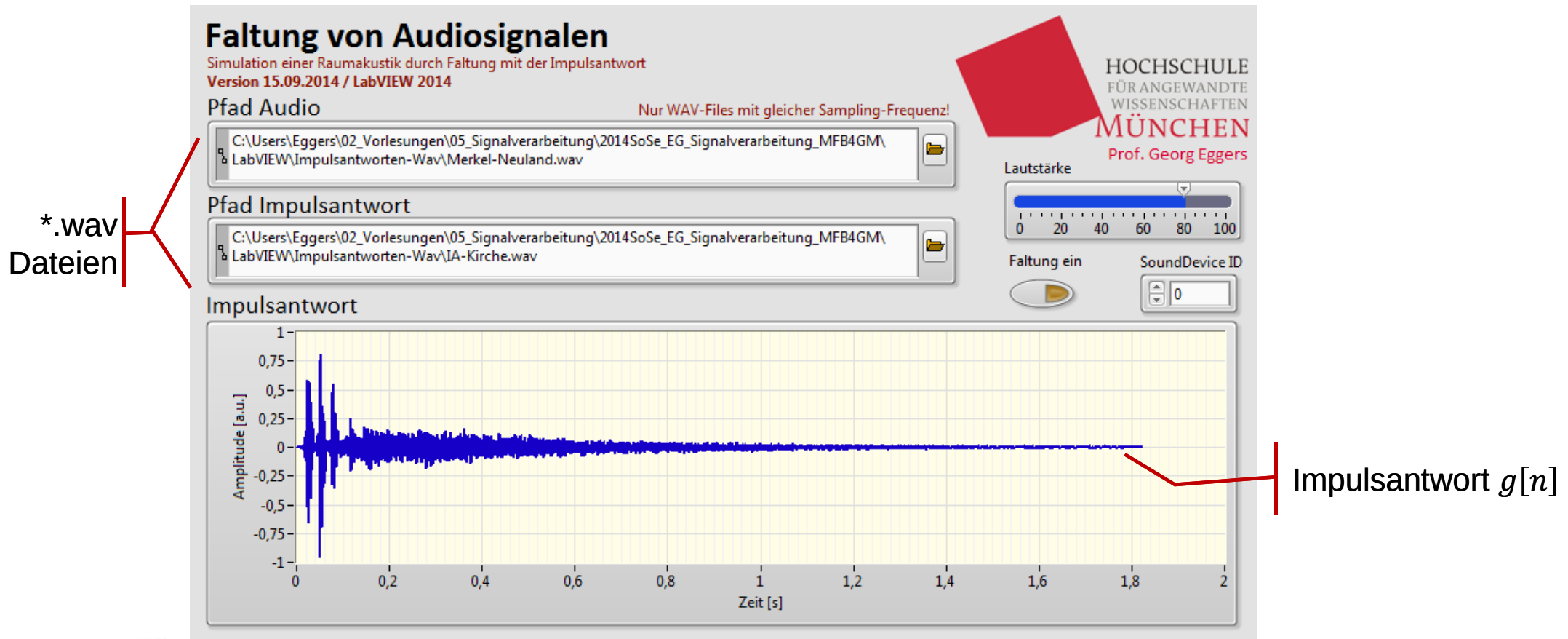
Impulsantwort:
Knallgeräusch



F/f/k-3: Faltung von Audio-Signalen - Raumakustik



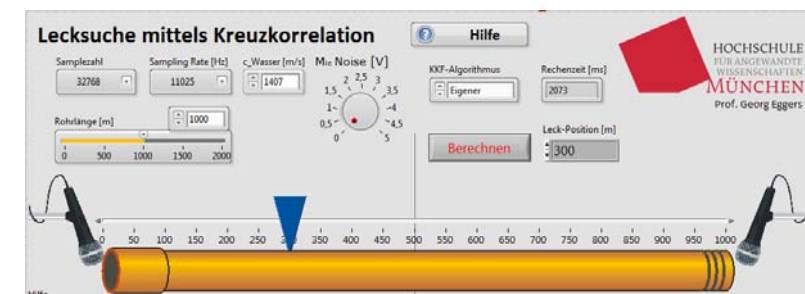
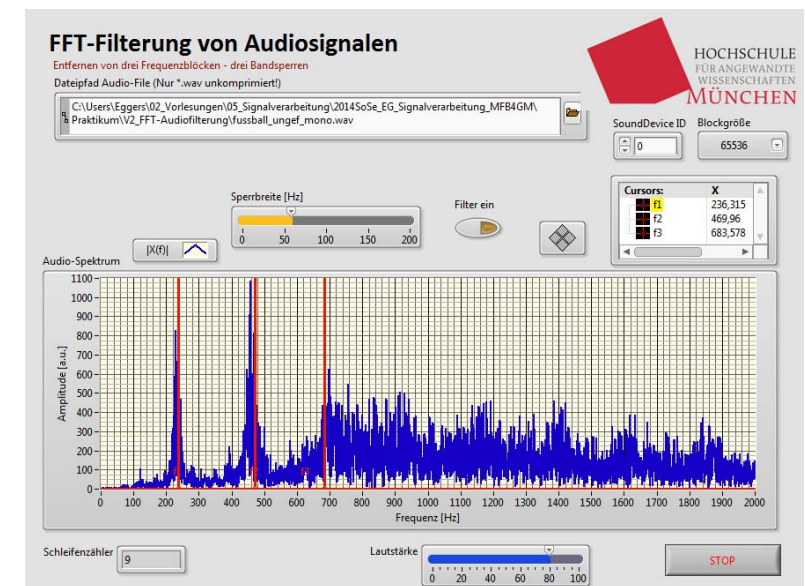
F/f/k-3: Faltung von Audio-Signalen - Raumakustik



F/f/k: Und sonst noch ...

Weitere Projekte zur Signalverarbeitung:

- Filtern des Vuvuzela-Hintergrundgeräusches einer Tonreportage der Fußball-WM 2010 durch Modifikation des Frequenzspektrums
- Kontinuierlicher Faltungshall mit „Continuous Convolution“
- Simulation der Lecksuche in Wasserrohren durch Korrelation von Mikrofonsignalen an den Rohrenden



F/f/k: Dank & Quellenangaben

Herzlichen Dank an:

- Studierende im Fach Mechatronik/Feinwerktechnik Bachelor der HM (Betatester)
- Stephan Diecke (Lehrbeauftragter LabVIEW HM)
- Jan Kniewasser (NI Academic Field Sales)

Weblinks

- LabVIEW-Code des Vortrags: <http://www.georg-eggers.de/dozententag>
- Akustische Impulsantworten: <http://www.samplicity.com/bricasti-m7-impulse-responses/>
- Audio-Editor „Audacity“: <http://audacity.sourceforge.net>

Literatur

- Rennert, Ines; Bundschuh, Bernhard (2013): Signale und Systeme. München: Hanser.
- Brigham, Elbert Oran (1997): FFT-Anwendungen. München u.a: Oldenbourg.

F/f/k: Referentenbiografie Georg Eggers

- Studium Physik:
 - Uni Göttingen, RWTH Aachen, FU Berlin
 - Promotion: Magnetooptische Rastersondenmikroskopie
- Berufstätigkeit
 - **Infineon Technologies AG:** Testautomatisierung, Signalintegrität
 - **Qimonda AG:** Entwärmung Halbleiterspeicher
 - **TST Biometrics:** Berührungslose Fingerabdruckleser
 - **CI Tech Components:** Zeilenkameras Banknotenprüfung
- Professur Hochschule München, Fakultät 06 für angewandte Naturwissenschaften und Mechatronik
 - Vorlesungen Signalverarbeitung, Messtechnik, Sensorik, Physik
 - Kontakt: georg.eggerts@hm.edu
- Und sonst?
 - www.Physik-des-Scheiterns.de