Inhaltsverzeichnis

1.1.1 Das Ohr	Inhaltsverzeichnis	1 2 5 5 5 5 5
1.3 Head Related Transfer Functions .7 2. Darstellungsformen .10 3. Programm zur Visualisierung der HRTFs .21 3.1 Übersicht über das Programm .21 3.2 Bedienungsbeschreibung zum Programm .24 3.3 Beschreibung der Programmfunktionen .25 3.3.1 Einlesen der Daten .26 3.3.2 Verarbeitung der Daten .26 3.3.3 Visualisierung der Daten .27 4. Auswertungen mit dem Programm .28 4.1 Darstellung einzelner HRTFs .28 4.2 Darstellung mit Mesh .32 5. Ausblick .38 Selbstständigkeitserklärung .39 Quellen .40 Anhang A .41 Anhang C	1.1.1 Das Ohr1.1.2 Das räumliche Hören1.2 Arbeitsumfeld	
2. Darstellungsformen 10 3. Programm zur Visualisierung der HRTFs 21 3.1 Übersicht über das Programm 21 3.2 Bedienungsbeschreibung zum Programm 24 3.3 Beschreibung der Programmfunktionen 25 3.3.1 Einlesen der Daten 25 3.3.2 Verarbeitung der Daten 26 3.3 Visualisierung der Daten 26 3.3.3 Visualisierung der Daten 27 4. Auswertungen mit dem Programm 28 4.1 Darstellung einzelner HRTFs 28 4.2 Darstellung mit Mesh 32 5. Ausblick 38 Selbstständigkeitserklärung 39 Quellen 40 Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang E 43 Inhaltsverzeichnis 44 1. Deutsch 45 1.1 Die Oberfläche des Programms 45 1.2 Funktionen 46 1.3 Hilfe/ Problembeseitigung 54 1.4 Besonderheiten 55 2. Englisch 56	1.3 Head Related Transfer Functions	7
3.2 Bedienungsbeschreibung zum Programm 24 3.3 Beschreibung der Programmfunktionen 25 3.3.1 Einlesen der Daten 26 3.3.2 Verarbeitung der Daten 26 3.3.3 Visualisierung der Daten 27 4. Auswertungen mit dem Programm 28 4.1 Darstellung einzelner HRTFs 28 4.2 Darstellung mit Mesh 32 5. Ausblick 38 Selbstständigkeitserklärung 39 Quellen 40 Anhang A 41 Anhang B 42 Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang B 43 Handbuch zum HRTFGui 43 Inhaltsverzeichnis 44 1. Deutsch 45 1.1 Die Oberfläche des Programms 45 1.2 Funktionen 45 1.4 Besonderheiten 55 2. Englisch 56 2.1 User Interface 56 2.2 Functions 57 2.3 Help/ removal of an error 56 2.4 Specialities 66	 Darstellungsformen Programm zur Visualisierung der HRTFs 3.1 Übersicht über das Programm 	
3.3 Beschreibung der Programmfunktionen 25 3.3.1 Einlesen der Daten 25 3.3.2 Verarbeitung der Daten 26 3.3.3 Visualisierung der Daten 27 4. Auswertungen mit dem Programm 28 4.1 Darstellung einzelner HRTFs 28 4.2 Darstellung mit Mesh 32 5. Ausblick 38 Selbstständigkeitserklärung 39 Quellen 40 Anhang A 41 Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang D Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang E 43 Hadbuch zum HRTFGui 43 Inhaltsverzeichnis 44 1. Deutsch 45 1.1 Die Oberfläche des Programms 45 1.2 Funktionen 45 1.4 Besonderheiten 55 2. Englisch 56 2.1 User Interface 56 2.2 Functions 57 2.3 Help/ removal of an error 56 2.4 Specialities 66	3.2 Bedienungsbeschreibung zum Programm	
3.3.1 Einlesen der Daten 25 3.3.2 Verarbeitung der Daten 26 3.3.3 Visualisierung der Daten 27 4. Auswertungen mit dem Programm 28 4.1 Darstellung einzelner HRTFs 28 4.2 Darstellung mit Mesh 32 5. Ausblick 38 Selbstständigkeitserklärung 39 Quellen 40 Anhang A 41 Anhang B 42 Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang D Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang E 43 Handbuch zum HRTFGui 43 Inhaltsverzeichnis 44 1. Deutsch 45 1.1 Die Oberfläche des Programms 45 1.2 Funktionen 45 1.4 Besonderheiten 55 2. Englisch 56 2.1 User Interface 56 2.2 Functions 57 2.3 Help/ removal of an error 56 2.4 Specialities 66	3.3 Beschreibung der Programmfunktionen	
4.2 Darstellung mit Mesh 32 5. Ausblick 38 Selbstständigkeitserklärung 39 Quellen 40 Anhang A 41 Anhang B 42 Anhang C Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang D Fehler! Textmarke nicht definiert. Anhang E 43 Handbuch zum HRTFGui 43 Inhaltsverzeichnis 44 1. Deutsch 45 1.1 Die Oberfläche des Programms 45 1.2 Funktionen 46 1.3 Hilfe/ Problembeseitigung 54 1.4 Besonderheiten 55 2. Englisch 56 2.1 User Interface 56 2.2 Functions 57 2.3 Help/ removal of an error 65 2.4 Specialities 66	 3.3.1 Einlesen der Daten	
5. Ausblick	4.2 Darstellung mit Mesh	
Handbuch zum HRTFGui	5. Ausblick	38 39 40 41 Fehler! Textmarke nicht definiert. Fehler! Textmarke nicht definiert. 43
Inhaltsverzeichnis.441. Deutsch.451.1 Die Oberfläche des Programms.451.2 Funktionen.461.3 Hilfe/ Problembeseitigung.541.4 Besonderheiten.552. Englisch.562.1 User Interface.562.2 Functions.572.3 Help/ removal of an error.652.4 Specialities.66	Handbuch zum HRTFGui	43
1. Deutsch.451.1 Die Oberfläche des Programms.451.2 Funktionen.461.3 Hilfe/ Problembeseitigung.541.4 Besonderheiten.552. Englisch.562.1 User Interface.562.2 Functions.572.3 Help/ removal of an error.652.4 Specialities.66	Inhaltsverzeichnis	44
1.1 Die Oberfläche des Programms451.2 Funktionen461.3 Hilfe/ Problembeseitigung541.4 Besonderheiten552. Englisch562.1 User Interface562.2 Functions572.3 Help/ removal of an error652.4 Specialities66	1. Deutsch	
2.1 User Interface .56 2.2 Functions .57 2.3 Help/ removal of an error .65 2.4 Specialities .66	 1.1 Die Oberfläche des Programms 1.2 Funktionen 1.3 Hilfe/ Problembeseitigung 1.4 Besonderheiten 2. Englisch 	
2.3 Help/ removal of an error	2.1 User Interface	
	2.3 Help/ removal of an error 2.4 Specialities	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1- 1: Aufbau des menschlichen Ohres [1]	. 5
Abbildung 1- 2: Aufbau der Zeitsignal-Dateien [4]	. 9
Abbildung 1- 3: Aufbau der HRTF-Dateien [4]	10

Abbildung 2- 1: BHRTFs: (φ=0°-360°, δ=90°, Nackt, HRTFGui (farbig)),(φ=0°, 45°,90°,
135°, 180°, 225°, 270°, 315°, δ=90°, Nackt [3])11
Abbildung 2- 2: HRTFs in Horizontalebene dargestellt mit plot3 (Amplitude linear)12
Abbildung 2- 3: 2D: HRTFs in Horizontalebene dargestellt mit mesh (Amplitude linear)12
Abbildung 2-4: HRTFs in Horizontalebene dargestellt mit mesh (Amplitude linear)13
Abbildung 2- 5: 2D Mesh: $\delta=0^\circ$; $\delta=0^\circ-359^\circ$, Kunstkopf Nackt (AHRTFs), (Amplitude
logarithmisch)13
Abbildung 2- 6: 3D Mesh: $\delta=0^{\circ}$; $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$, Kunstkopf Nackt (AHRTFs), (Amplitude
logarithmisch)14
Abbildung 2- 7: Mesh mit 512 Frequenzwerten: $\delta = 0^\circ$; $\varphi = 0^\circ$ -359°, Kunstkopf Nackt
(AHRTFs), (Amplitude logarithmisch)14
Abbildung 2- 8: Mesh mit Azimutauflösung = 3° : $\delta=0^\circ$; $\varphi=0^\circ-359^\circ$, Kunstkopf Nackt
(AHRTFs), (Amplitude logarithmisch)15
Abbildung 2- 9: Darstellung einzelner AHRTFs, (Amplitude logarithmisch)15
Abbildung 2- 10: 3D-Polar-Plot der HRTFs: °: $\delta=0^{\circ}$; $\varphi=0^{\circ}$ -359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)
Abbildung 2- 11: 3D-Polar-Contour: $\delta=0^{\circ}$; $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)17
Abbildung 2- 12: 3D-Polar-Mesh: $\delta=0^\circ$; $\varphi=0^\circ-359^\circ$, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)18
Abbildung 2- 13: Elevationswinkel
Abbildung 2- 14: $\phi=0^{\circ}$; $\delta=0^{\circ}-359^{\circ}$, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)20
Abbildung 2-15: einzelne Zeitkanaldarstellung (links), Zeitanimation zweikanalig (rechts).21

Abbildung 3-1: Programmablaufplan GUI	22
Abbildung 3- 2: Programmablaufplan GUI-Load	22
Abbildung 3- 3: Programmablaufplan GUI-Presentation1	23
Abbildung 3- 4: Programmablaufplan GUI-Presentation2	23
Abbildung 3- 5: HRTFDs, Brille, P00 (links: ungefiltert) (rechts: gefiltert (-10: +15))	
	= •

Abbildung 4- 1: A-und BHRTF: $\varphi=90^\circ$, $\delta=0^\circ$, Nackt (HRTFGui)	28
Abbildung 4- 2: AHRTFs: φ=0-360°, δ=0°, Kunstkopf Nackt	29
Abbildung 4- 3: AHRTFs: $\varphi=0^\circ$, $\delta=0^\circ$, Nackt, Haare, Brille, Kappe	30
Abbildung 4- 4: AHRTFs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=90^{\circ}$, Nackt	31
Abbildung 4- 5: AHRTFs: φ=250°-270°, δ=0°, Nackt	32
Abbildung 4- 6: AHRTFs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=0^{\circ}$, Nackt (kartesisch links, polar rechts)	33
Abbildung 4- 7: AHRTFDs: φ=0°-360°, δ=0°, Nackt [3]	33
Abbildung 4- 8: AHRTFDs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=0^{\circ}$, Nackt, Polar	34
Abbildung 4- 9: AHRTFDs: $\phi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=0^{\circ}$, Nackt, Mesh 2D	34

- Abbildung Anh. A- 1: AHRTFDs, Haare δ=-10°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 2: AHRTFDs, Kappe δ=-10°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 3: AHRTFDs, Brille δ =-10°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 4: AHRTFDs, Haare δ=-5°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 5: AHRTFDs, Kappe =-5°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)...... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 6: AHRTFDs, Brille δ =-5°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 7: AHRTFDs, Haare δ=0°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)...... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 8: AHRTFDs, Kappe $\delta=0^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 9: AHRTFDs, Brille $\delta=0^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts) Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 10: AHRTFDs, Haare $\delta=5^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 11: AHRTFDs, Kappe $\delta=5^\circ$, $\varphi=0^\circ-359^\circ$; 2D(links), 3D(rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 12: AHRTFDs, Brille δ=5°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 13: AHRTFDs, Haare δ=10°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 14: AHRTFDs, Kappe $\delta=10^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 15: AHRTFDs, Brille δ =10°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 16: AHRTFDs, Haare $\delta=15^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 17: AHRTFDs, Kappe δ =15°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 18: AHRTFDs, Brille δ =15°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 19: AHRTFDs, Haare $\delta=20^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 20: AHRTFDs, Kappe δ =20°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 21: AHRTFDs, Brille δ =20°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.

- Abbildung Anh. A- 22: AHRTFDs, Haare $\delta=25^{\circ}$, $\varphi=0^{\circ}-359^{\circ}$; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 23: AHRTFDs, Kappe δ =25°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 24: AHRTFDs, Brille δ =25°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 25: AHRTFDs, Haare δ=30°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 26: AHRTFDs, Kappe δ =30°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 27: AHRTFDs, Brille δ =30°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 28: AHRTFDs, Haare δ=45°, φ=0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 29: AHRTFDs, Kappe δ =45°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 30: AHRTFDs, Brille δ =45°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 31: AHRTFDs, Haare δ =60°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts)... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 32: AHRTFDs, Kappe δ =60°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts).. Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. A- 33: AHRTFDs, Brille δ =60°, φ =0°-359°; 2D(links), 3D(rechts) ... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 1: AHRTFs, Nackt δ =-40°, φ =0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)......42
- Abbildung Anh. B- 2: AHRTFs, Nackt δ=-30°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 3: AHRTFs, Nackt δ =-25°, φ =0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 4: AHRTFs, Nackt δ =-20°, φ =0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 5: AHRTFs, Nackt δ =-10°, φ =0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)..... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 6: AHRTFs, Nackt δ=-5°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)...... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 7: AHRTFs, Nackt δ=0°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)...... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 8: AHRTFs, Nackt δ=5°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)...... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 9: AHRTFs, Nackt δ=10°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)...... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 10: AHRTFs, Nackt δ =15°, φ =0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 11: AHRTFs, Nackt δ=20°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 12: AHRTFs, Nackt δ=25°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.

- Abbildung Anh. B- 13: AHRTFs, Nackt δ=40°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 14: AHRTFs, Nackt δ=45°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 15: AHRTFs, Nackt δ=60°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 16: AHRTFs, Nackt δ=70°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 17: AHRTFs, Nackt δ=80°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.
- Abbildung Anh. B- 18: AHRTFs, Nackt δ=90°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts).... Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abb. Anh. C- 1: δ=-10°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 2: δ =-5°, ϕ =0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 3: $\delta = 0^{\circ}$, $\phi = 0^{\circ} - 359^{\circ}$	u.	Abb. Anh. C- 4: $\delta = 5^{\circ}$, $\phi = 0^{\circ} - 359^{\circ}$ Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 5: δ =10°, ϕ =0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 6: δ =15°, φ =0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 7: δ=20°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 8: δ =25°, φ =0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 9: δ=30°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 10: δ=35°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 11: δ=60°, φ=0°-359°		Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. Anh. C- 12: δ=-10°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 13: δ=-5°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 14: δ=0°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 15: δ=5°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 16: δ=10°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 17: δ =15°, φ =0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 18: δ=20°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 19: δ=25°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 20: δ=30°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 21: δ=45°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 22: δ=60°, φ=0°-359°		Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. Anh. C- 23: δ=-10°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 24: δ=-5°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 25: δ=0°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 26: δ=5°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 27: δ=10°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 28: δ=15°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 29: δ=20°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 30: $\delta=25^{\circ}$, $\phi=0^{\circ}-359^{\circ}$ Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 31: δ=30°, φ=0°-359°	u.	Abb. Anh. C- 32: δ=45°, φ=0°-359° Fehler!
Textmarke nicht definiert.		
Abb. Anh. C- 33: δ =60°, φ =0°-359°		Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildung H- 1: Programmoberfläche	45
Abbildung H- 2: Datenstruktur HRTF [1]	46
Abbildung H- 3: Datenstruktur Zeitdaten [1]	

figure M-	- 1: Program surface	56
figure M-	· 2: datastructure HRTF [1]	57
figure M-	- 3: data structur time files [1]	59

1. Einleitung

1.1 Akustische Grundlagen

1.1.1 Das Ohr

Das menschliche Ohr ist für den Empfang von mechanischen Longitudinalwellen (Schallwellen) in einem Frequenzbereich von ca. 20 Hz bis 20 kHz optimiert. Nach der Definition des Schallpegels ist der Mensch in der Lage Amplituden von 0 dB (Ruhehörschwelle bei 4 kHz) bis 120 dB (Schmerzgrenze) wahrzunehmen. Der Aufbau des Ohres ist in der Abbildung 1-1 zusehen.



Abbildung 1- 1: Aufbau des menschlichen Ohres [1]

Die Ohrmuschel wirkt als Trichter zur Aufnahme der Schallwellen. Durch sie werden die akustischen Wellen in den Gehörgang geleitet. Es liegt auf der Hand, dass die Ohrmuschel die

Schallwellen in Abhängigkeit der Richtung aus der die Wellen kommen mehr oder weniger gut aufnimmt. Der Gehörgang hat etwa eine Länge von 2,5 cm und stellt somit einen optimalen Resonator für eine Frequenz von ca. 3 kHz dar.

Treffen die Schallwellen auf das Trommelfell regt dieses den Hammer an. Hammer, Ambos und Steigbügel stellen einen Impedanzwandler zwischen der Luftimpedanz und der Impedanz der Gehörflüssigkeit in der Hörschnecke dar.

In der Hörschnecke befinden sich Härchen, die sich mit der ankommenden Welle bewegen, eine Frequenzanalyse vornehmen und die Informationen über den Hörnerv an das Gehirn weiter geben.

1.1.2 Das räumliche Hören

Der Mensch ist relativ gut in der Lage, die Herkunft akustischer Wellen zu orten. Möglich ist dies durch Pegeldifferenzen zwischen den beiden Ohren, Phasen und Laufzeitunterschiede der akustischen Wellen an den Ohren und die Form der Ohrmuschel. Besonders in geschlossenen Räumen gibt es zusätzlich zu der Schallwelle, die direkt von der Schallquelle kommt, zahlreiche Reflexionen. Das HAASsche Gesetz besagt, dass im Fall von Reflexionen die Welle als Referenzwelle verwendet wird, die zuerst am Ohr ankommt. Zur Quellenlokalisation verwendet der Mensch jedoch zum überwiegenden Teil die visuellen Informationen, wodurch ein Fehler in der Ortung von bis zu 15° entstehen kann. Für die Übertragung der akustischen Informationen vom Freifeld zum Innenohr sind neben den Dimensionen des Ohres auch die Größe und Form des Kopfes, Oberkörpers und anderen Elementen in der Nähe des Kopfes ausschlaggebend.

1.2 Arbeitsumfeld

Diese Arbeit ist Teil eines Forschungsprojektes zur Erschaffung einer virtuellen akustischen Umwelt. Es soll ermöglicht werden, die Ereignisse, die sich auf dem Bildschirm eines Computers abspielen, akustisch nachzubilden. Dazu ist es einerseits notwendig, für die unterschiedlichen Aktionen und Ereignisse Klänge zu finden, die diese möglichst gut repräsentieren und zum anderen muss ein System erschaffen werden, welches in der Lage ist diese Klänge so wiederzugeben, dass der Hörer in der Lage ist die Herkunft des Schallereignisses zu orten. Durch diese Notwendigkeiten ergeben sich eine Anzahl an Fragen, die zur Erfüllung des Projektes beantwortet werden müssen.

Es muss erörtert werden, welche akustischen Ereignisse für die Identifikation von Programmen, Aktionen wie Speichern oder Schließen oder Meldungen geeignet sind. An geeigneten akustischen Ereignissen stehen drei grundlegende Varianten zur Verfügung: Auditory Icons, Spearcons und Earcons. Das Auditory Icon repräsentiert ein Schallereignis, welches dem Menschen aus seinem akustischen Umfeld vertraut ist und welches er einem bestimmten Ereignis zuordnen kann. Das Earcon hingegen ist ein Schallereignis, welches nicht im natürlichen Zusammenhang mit dem Ereignis steht und erst erlernt werden muss. Das Spearcon stellt gekürzte Sprache dar, bei der die in der Sprache vorhandene Redundanz durch spezielle Algorithmen beseitigt wird. Die geeigneten Schallereignisse werden durch Befragung hörender und tauber Menschen ermittelt.

Neben den Schallereignissen ist zu untersuchen, welche räumliche Auflösung ein Mensch akustisch wahrnehmen kann, wie das gemessen und wie eine Schallquelle künstlich an einem bestimmten Ort erzeugt werden kann. Diese Fragen beantworten im Wesentlichen die HRTFs, auf welche unter 1.3 genauer eingegangen wird. Nach Abschluss aller Untersuchungen sollten blinde Personen in der Lage sein, mittels eines GUIB (Graphical User Interface for Blind persons) einen Computer zu bedienen.

1.3 Head Related Transfer Functions

Head Related Transfer Functions (HRTFs), zu Deutsch kopfbezogene Übertragungsfunktionen, beschreiben den Schalldruckpegel am Trommelfell in Abhängigkeit von Richtung und Frequenz der Schallquelle. Für die Messung von HRTFs können Menschen oder Kunstköpfe genutzt werden. In beiden Fällen wird eine Schallquelle in konstantem Abstand um den Kopf bewegt und der Schalldruck über alle für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Frequenzen gemessen. Es hat sich herausgestellt, dass für die Messungen eine horizontale Schrittweite von einem Grad und eine vertikale Schrittweite von fünf Grad ausreichend sind. Das vom Lautsprecher ausgesendete Signal ist, um ein ausgeglichenes Frequenzspektrum zu erhalten, weißes Rauschen. Über die in einem schalltoten Raum gemessenen Signale gelangt man durch Gleichung 1 zu den HRTFs.

$$HRTF = \frac{P_{1(j\omega)}}{P_{2(j\omega)}}$$
(1)[3]

 $P_{1(j\omega)}$ - Schalldruck am Trommelfell

 $P_{2(j\omega)}$ - Schalldruck der Quelle

Während die HRTFs, welche mit einem Menschen individuell angefertigt sind, für diesen Menschen optimal sind, sind HRTFs, welche mit einem Kunstkopf angefertigt wurden, für diesen Menschen weniger optimal aber einfacher zu erstellen. Neben Messungen mit dem kahlen Kunstkopf wurden auch Messungen mit dem Kunstkopf mit Brille, Basecap und verschiedenen Haarschnitten angefertigt. Diese Messungen zeigen den Einfluss dieser kopfnahen Elemente auf die HRTFs. Mit Gleichung 2 erhält man die so genannten Head Related Transfer Function Differences, welche ausschließlich den Einfluss des jeweiligen Objektes auf die HRTFs verdeutlichen.

$$HRTFD = \frac{HRTF_{C1}}{HRTF_{C2}}$$
(2)[3]

C1 – Referenz-HRTF C2 – modifiziertes HRTF

Die gemessenen Zeitsignale sind als *.DAT Dateien binär abgespeichert. In den Dateien sind die Amplituden für beide Ohren mit je 4096 4-byte-Werten abgelegt. Der Aufbau der Dateien ist aus Abbildung 1-2 ersichtlich.



Abbildung 1- 2: Aufbau der Zeitsignal-Dateien [4]

Aus der Abtastfrequenz von 50 Hz ergeben sich eine zeitliche Auflösung von 20 µs/Sample und eine Messzeit von 81,92 ms. Für die HRTFs ergibt sich aus der Abtastfrequenz 25 kHz und der 2048 Samples eine Frequenzauflösung von 12,21 Hz. Neben der Amplitudeninformation ist in den HRTF Dateien auch die Phaseninformation gespeichert. Der Aufbau der HRTF-Dateien, welche in *.SPE Dateien gespeichert sind, ist aus Abbildung 1-3 zu erkennen.



Abbildung 1- 3: Aufbau der HRTF-Dateien [4]

Wird eine dieser in den HRTFs gespeicherten Übertragungsfunktionen mit einem akustischen Signal multipliziert und einer Person mittels Kopfhörer vorgespielt, besagt die Theorie, dass der Proband in der Lage sein sollte, das Signal aus der Richtung kommend zu identifizieren, von der das HRTF erstellt wurde.

2. Darstellungsformen

Für die Auswertung der gemessenen Daten müssen diese visualisiert werden. Es sollte unter MATLAB ein Programm erstellt werden, mit welchem der Benutzer in der Lage ist, die gemessenen Daten möglichst aussagekräftig und komfortabel darzustellen. Dieses Programm wurde entworfen und programmiert und trägt den Namen HRTFGui. MATLAB bietet für die Darstellung von Daten eine Reihe an Befehlen. Die Wichtigsten sollen im Kommenden kurz erläutert werden.

Für die Darstellung von zweidimensionalen Problemen eignet sich die Darstellung mit Plot. Dieser Befehl kann mehrfach auf ein Grafikfenster angewendet werden und wird auch bei der Erstellung von Animationen genutzt. Varianten des Plot- Befehls erlauben das Darstellen der Daten mit einer oder zwei logarithmischen Achsen. Für die Darstellung dreidimensionaler Probleme eignen sich die Befehle plot3, mesh und contour. Während plot3 die Daten einfarbig darstellt, werden die Amplituden bei mesh und contour in Abhängigkeit ihres Wertes farbig dargestellt. Die folgenden Abbildungen zeigen alle genannten Darstellungsformen und stellen zugleich einen Vergleich zu früheren Darstellungen her. Der ist in allen Darstellungen die Bewegung der Schallquelle um den Kopf, beginnent mit 0° in Front des Kopfes. Der Winkel schreitet im Uhrzeigersinn voran.



Abbildung 2- 1: BHRTFs: (φ=0°-360°, δ=90°, Nackt, HRTFGui (farbig)),(φ=0°, 45°,90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°, δ=90°, Nackt [3])

Abbildung 2-1 zeigt auf, dass die Auswertungen mit Hilfe der HRTFGui mit vorausgegangenen Auswertungen grundlegend übereinstimmen. Unterschiede entstehen durch unterschiedliche Amplitudenverarbeitung und unterschiedliche Darstellungsbereiche. Der Proportionalitätsfaktor der Amplitude zwischen der Darstellung der HRTFGui und der Dissertation von Wersènyi [3] beträgt etwa 2,25. Eine genauere Aussage ist durch die Ungewissheit der Amplitudenberechnung der Darstellung bei Wersènyi nicht zu erreichen. In der HRTFGui werden alle Amplituden nach $A_{dB} = 20 \cdot \lg(a)$ berechnet und dargestellt. Die HRTFGui bietet gegenüber der Darstellungsmethode, die Wersènyi zur Verfügung hatte, den Vorteil, dass statt maximal 20 bis zu 360 HRTFs dargestellt werden können.



Abbildung 2- 2: HRTFs in Horizontalebene dargestellt mit plot3 (Amplitude linear)

Bei der Darstellung mit plot3 wird deutlich, dass weite Teile der Amplituden nicht zu erkennen sind. Die Darstellung mit plot3 eignet sich nur für die Darstellung geringerer Datenmengen. In allen dreidimensionalen Darstellungen bildet die x-Achse die Frequenz, die y-Achse den Azimut oder die Elevation und die z-Achse die Amplitude ab.



Abbildung 2- 3: 2D: HRTFs in Horizontalebene dargestellt mit mesh (Amplitude linear)



Abbildung 2- 4: HRTFs in Horizontalebene dargestellt mit mesh (Amplitude linear)



Abbildung 2- 5: 2D Mesh: δ=0°; δ=0°-359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs), (Amplitude logarithmisch)



Abbildung 2- 6: 3D Mesh: δ=0°; φ=0°-359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs) , (Amplitude logarithmisch)



Abbildung 2- 7: Mesh mit 512 Frequenzwerten: $\delta=0^\circ$; $\phi=0^\circ$ -359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs), (Amplitude logarithmisch)



Abbildung 2- 8: Mesh mit Azimutauflösung = 3° : δ = 0° ; φ = 0° -359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs), (Amplitude logarithmisch)



Abbildung 2- 9: Darstellung einzelner AHRTFs, (Amplitude logarithmisch)

In den verschiedenen Darstellungen, welche mit der Funktion Mesh erzeugt wurden, sind zwei oder drei charakteristische Punkte markiert. Hervorgehoben sind der kleine Einbruch mit großer negativer Amplitude um Az = 70° , f = 11 kHz (schwarzer Kreis), die kammförmige

Erhebung um $Az = 125^{\circ}$, f = 23 kHz (blauer Kreis) und der große Einbruch um $Az = 270^{\circ}$, f = 10 kHz. Diese charakteristischen Stellen sind in allen Darstellungen gleichermaßen zu finden. In den dreidimensionalen Darstellungen ist der kleine Einbruch aufgrund der Verdeckung durch andere Amplituden nicht zu sehen. Bei der Darstellung mit verringerter Frequenzauflösung ist festzustellen, dass die Amplitude des Kammes nicht so stark ausgeprägt ist wie bei den anderen Darstellungen. Dies lässt sich damit begründen, dass dieser Kamm über einen schmalen Frequenzbereich ausgeprägt ist, welcher bei verminderter Frequenzauflösung im gezeigten Beispiel nicht komplett unter die dargestellten Frequenzwerte fällt.

Alle Darstellungen zeigen somit richtig den Verlauf der Amplituden der HRTFs über alle Messungen einer Ebene. Die zweidimensionale Darstellung ermöglicht ein genaues Ablesen der Frequenzen und Winkel an bestimmten Punkten. Die dreidimensionale Darstellung hingegen vermittelt einen besseren Eindruck über die Amplitudenunterschiede und lässt einzelne Amplitudenspitzen besser erkennen. Die Darstellung mit verringerter Frequenz- oder Azimutauflösung benötigt weniger Systemleistung und bildet die HRTFs ebenfalls gut ab. Problemebei der Darstellung mit verringerter Auflösung können nur bei schnellen, großen Amplitudenänderungen in den HRTFs entstehen.

In Abbildung 2-9 sind einzelne HRTFs der zuvor in den Mesh-Darstellungen gezeigten Messreihe dargestellt, welche noch einmal die betroffenen Gebiete repräsentieren. Hier sind die genannten charakteristischen Stellen wieder zu finden. Es ist ein HRTF bei 359°(blau), ein HRTF bei 70°(grün), ein HRTF bei 125°(hellblau) und ein HRTF bei 270°(rot) dargestellt.

Das HRTF bei 359° zeigt exakt den Verlauf des äußersten HRTFs in den dreidimensionalen logarithmischen Darstellungen. Bei dem HRTF des Azimutwinkels 70° ist der schmale Amplitudeneinbruch bei etwa 11 kHz zu sehen. Das 125°-HRTF zeigt die Amplitudenspitze bei etwa 23 kHz und das HRTF bei 270° präsentiert den Amplitudeneinbruch ab etwa 5 kHz.

Da es sich bei HRTFs um Messungen handelt, die durch die Rotation der Quelle um den Kopf charakterisiert sind, bietet sich die Darstellung der Ergebnisse in einem Polarkoordinatensystem an. Die folgenden Grafiken zeigen die Ergebnisse des Teilprogramms polar3d.m [2].



Abbildung 2- 10: 3D-Polar-Plot der HRTFs: °: δ=0°; φ=0°-359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)



Abbildung 2- 11: 3D-Polar-Contour: δ=0°; φ=0°-359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)



Abbildung 2- 12: 3D-Polar-Mesh: δ=0°; φ=0°-359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)

Die Grafiken wurden aus dem zuvor genannten m-file mit den vordefinierten Funktionen (plot, contour, meshl) erstellt und weißen teilweise unzureichende Achsenbeschriftungen auf. In den drei Darstellungen der HRTFs in Polarkoordinaten bedeuten Theta den Azimut in $^{\circ}$, der Radius repräsentiert die Frequenz (12 Hz – 25 kHz) und die Tiefe/Färbung die Amplitude in dB (Wertzuordnung wie in der Colorbar).

Aus der Darstellung als Plot, welche als einzige drei räumliche Dimensionen besitzt, lässt sich nur schlecht Information entnehmen, da es sich um einen einfarbigen plot handelt, bei dem räumlich hinten liegende Werte durch räumlich weiter vorn dargestellte Werte verdeckt werden. Weiterhin wird der Plot ohne Koordinatensystem dargestellt.

Die Darstellung mit contour hingegen weißt ein ausreichend beschriftetes Achsensystem auf. Bei der Darstellung mit contour werden Ebenen gleicher Amplitude zusammengefasst und auf einer Höhenlinie dargestellt. Zwischen den Höhenlinien sind weiße Bereiche, welche als Platzhalter dienen. Das Auslesen der Daten fällt jedoch aufgrund dieser Darstellung teilweise schwer.

Die Illustration mit meshl erzeugt, wie auch der contourplot, ein Polarkoordinatensystem mit Darstellung der Amplitude als Färbung. Hier werden jedoch keine Höhenlinien zusammengefasst und abgebildet, sondern jedem Wert wird tatsächlich ein Farbwert zugeordnet. Dies erleichtert das Auslesen der Amplituden. In der Originalversion der Funktion polar3d.m ist bei der Darstellung mit mesh nur die Achse des Azimuts beschriftet. Das Programm wurde um die Frequenzachse erweitert.

Da MATLAB keine vordefinierte Funktion einer dreidimensionalen Darstellung von Daten in einem Polarkoordinatensystem besitzt und die Daten für eine solche Darstellung aufwendig berechnet werden müssen, ist eine relativ hohe Systemleistung erforderlich. In Abhängigkeit des Computers, an dem die Darstellung ausgeführt wird, kann diese bis zu einigen Minuten in Anspruch nehmen.

Neben der Darstellung der HRTFs in Abhängigkeit von Frequenz und Azimut mit starrer Elevation, ist auch eine Darstellung in Abhängigkeit von Frequenz und Elevation mit starrem Azimut sinnvoll. Wie in Abbildung 2-13 dargestellt, schreitet der Winkel der Elevation mit dem Uhrzeigersinn voran und beginnt unten.



Abbildung 2-13: Elevationswinkel

Abbildung 2-14 zeigt die AHRTFs des Azimuts von 0° gemessen mit dem nackten Kunstkopf.



Abbildung 2- 14: φ=0°; δ=0°-359°, Kunstkopf Nackt (AHRTFs)

Aus Abbildung 2-14 werden einige Probleme bei der Darstellung der HRTFs in Abhängigkeit der Elevation deutlich. Die kontinuierlich roten Bereiche, welche die Amplitude 0 dB darstellen, entstehen, da nicht in allen Elevationen HRTFs vorhanden sind. Durch diese fehlenden Bereiche ist es schwierig einen zusammenhängenden Amplitudenverlauf zu erkennen.

Neben den starren Darstellungen existiert die Möglichkeit die HRTFs in einer Animation darzustellen. In der Animation werden die HRTFs in Abhängigkeit von Frequenz und Amplitude über den voranschreitenden Azimut oder die voranschreitende Elevation dargestellt.

Aus den verschiedenen vorgestellten Darstellungen wurden die mesh-Darstellungen mit logarithmischer Amplitude und logarithmischer Frequenzachse in das Programm zur Visualisierung der HRTFs aufgenommen. Diese Darstellungsformen stehen als zwei- und dreiachsiges kartesisches und als Polar Koordinatensystem im entworfenen Programm zur Verfügung. Außerdem können einzelne HRTFs in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dargestellt und eine Animation erstellt werden. Außer den HRTFs lassen sich auch die gemessenen Zeitdateien darstellen. Da diese weißes Rauschen enthalten, ist es nicht sinnvoll jede Amplitude auszuwerten. Für die Auswertungen sind daher die Darstellung einzelner Zeitdateien und die Animation mit dem Azimut als Variable ausreichend. Für die Einzeldarstellung der Zeitdaten ist auszuwählen, welcher Kanal (rechtes oder linkes Ohr) dargestellt werden soll. In der Animation werden beide Kanäle zugleich visualisiert. Beispiele für beide Darstellungsformen zeigt die Abbildung 2-15.



Abbildung 2-15: einzelne Zeitkanaldarstellung (links), Zeitanimation zweikanalig (rechts)

3. Programm zur Visualisierung der HRTFs

3.1 Übersicht über das Programm

Zur einfachen Handhabe der verschiedenen möglichen Darstellungen wurde eine grafische Benutzeroberfläche (engl. Grafical User Interface, GUI) erschaffen, über die die HRTFs in unterschiedlichen Zusammenhängen geöffnet, bearbeitet und dargestellt werden können. Um ein leicht erweiterbares und übersichtliches Programm zu erhalten, wurde ein Großteil der Anwendungen in Funktionen geschrieben, die in gesonderten m-Files gespeichert sind. Eine Übersicht über den Programmaufbau erhält man in den Grafiken 3-1 bis 3-4. In diesen Grafiken ist die Verbindung der GUI mit den Funktionen über die Buttons, Radiobuttons und das Popupmenü visualisiert.



Abbildung 3-1: Programmablaufplan GUI



Abbildung 3- 2: Programmablaufplan GUI-Load



Abbildung 3- 3: Programmablaufplan GUI-Presentation1



Abbildung 3- 4: Programmablaufplan GUI-Presentation2

3.2 Bedienungsbeschreibung zum Programm

Für das Programm wurde ein Benutzerhandbuch in Deutsch und Englisch erstellt. Dieses ist in der Anlage E zu finden. Das Handbuch wurde von der Arbeit separiert um bei Bedienungsfragen einen leichteren Zugang zu haben. Weiterhin wurde das Handbuch in Deutsch und Englisch verfasst, um auch nicht deutschsprachigen Personen die Möglichkeit zu geben das verfasste Programm zu bedienen.

3.3 Beschreibung der Programmfunktionen

3.3.1 Einlesen der Daten

Die zu lesenden HRTF-Dateien müssen prinzipiell dem folgenden Bezeichnungsschema entsprechen: 500-x-.SPE. Zeitdateien müssen dem Bezeichnungsschema –x-500.DAT entsprechen. Für eine korrekte Darstellung muss die HRTF-Datei, welche bei einem Azimut von 0° gemessen wurde, mit der Nummer 500 beginnen. Weitere HRTFs des gleichen Ordners müssen ebenfalls in der Dateibezeichnung die Zahl "500+Azimut" aufweisen. Sind die Eingaben und die Daten beim Einlesevorgang korrekt, wird eine Matrix (Amp) erstellt, in der sich die Amplitudeninformationen aller A- oder B-HRTFs befinden, die im gewählten Ordner vorhanden sind. Eine weitere Matrix (phase) enthält die dazugehörigen Phaseninformationen. Ist die Optionsschaltfläche Calculate 2nd HRTF aktiviert, werden bei Drücken der Schaltfläche Load HRTF die Amplituden- und Phaseninformationen in die Matrizen Amp2 und phase2 geschrieben. Das ermöglicht das Laden zweier HRTF-Reihen.

Mit der Funktion Load vertikal HRTF data können HRTFs unterschiedlicher Elevationen eingelesen werden. Sind alle Eingaben und Daten beim Laden der Funktion korrekt, wird eine Matrix "Vertikal" mit den Amplitudeninformationen über 360° in der gewählten Ebene erstellt. Weiterhin wird ein Vektor "counter" erstellt, der die Winkelinformationen enthält. Diese Winkelinformationen werden in der Animation der Zeitdaten angezeigt. Ist die Optionsschaltfläche Calculate 2nd HRTF aktiviert, werden bei Drücken der Schaltfläche Load vertikal HRTF data die Amplitudeninformationen in die Matrix "Vertkal1" eingelesen. Dies ermöglicht das Lesen einer zweiten Reihe an in der Vertikalebene gemessenen HRTFs.

Zeitinformationen können mit der Funktion openZeit.m geöffnet werden. Diese Funktion öffnet bei korrekter Bezeichnung alle Zeitdaten eines Ordners und lädt die Information des einen Kanals in die Matrix "Ampt1" und die Informationen des zweiten Kanals in die Matrix "Ampt2".

Treten beim Einlesen der Zeit- oder HRTF-Dateien Fehler durch beschädigte oder falsch gespeicherte Daten auf, wird die betroffene Datenreihe mit Nullen aufgefüllt und eine Fehlermeldung ausgegeben.

3.3.2 Verarbeitung der Daten

In dem HRTFGui wurden zwei Funktionen zur Bearbeitung der HRTFs angelegt. Zum einen können die Amplituden der HRTFs begrenzt und zum Anderen können HRTFs aus mehreren gemessenen HRTF-Reihen gemittelt und gespeichert werden.

Die Funktion mittelwert.m zur Begrenzung der Amplituden wird auf die Matrix Amp angewandt, welche alle HRTFs einer bestimmten Elevation enthält. Die einzelnen HRTFs werden von der niedrigen zur hohen Frequenz untersucht. mittelwert.m ermittelt aus jedem der geladenen HRTFs den individuellen Mittelwert und weist allen Werten, die die vom Benutzer eingegebene Abweichung vom Mittelwert überschreiten, den Wert der zuvor untersuchten Amplitude zu. Dies ermöglicht, stark abweichende Amplituden zu beseitigen. Dies kann für die zufrieden stellende Darstellung mit der Funktion mesh nötig sein. Abbildung 3-5, welche einen HRTF-Datensatz gefiltert und ungefiltert zeigt, verdeutlicht die Notwendigkeit einer Filterfunktion. Nur in der Darstellung der gefilterten Daten sind die für die HRTFDs typischen und wichtigen, geringen Amplitudenunterschiede zu erkennen. Die im Kopfschattenbereich auftretenden starken Abweichungen können dabei abgeschnitten werden. Diese Amplitudendifferenzen entstehen. wie später genauer erläutert, durch Messungenauigkeiten.



Abbildung 3- 5: HRTFDs, Brille, P00 (links: ungefiltert) (rechts: gefiltert (-10; +15))

Die Funktion average.m ermöglicht es aus mehrfach gemessenen HRTF-Reihen Mittelwerte zu bilden und diese Informationen in neuen HRTF-Dateien abzuspeichern. Ist eine HRTF-Datei beschädigt oder nicht vorhanden, wird dem Benutzer vorgeschlagen eine andere HRTF-Reihe, die in die gemittelten Daten eingehen soll, zu laden. Existiert keine komplette HRTF-Reihe, muss der Benutzer die HRTFs zuerst über load HRTF laden und danach speichern. Die gespeicherten Daten enthalten dann alle HRTFs und können gemittelt werden. Die bessere Variante ist, wenn eine komplette HRTF-Reihe vorhanden ist. In diesem Fall kann diese zuerst mit der Funktion average.m geladen werden und bei weiteren HRTF-Reihen, die eventuell fehlerhaft sind, werden die fehlerhaften HRTFs durch die entsprechenden HRTFs der ersten HRTF-Reihe ersetzt.

3.3.3 Visualisierung der Daten

Für die Visualisierung der Daten stehen mehrere Funktionen zur Verfügung. Die HRTFs können zweidimensional starr oder animiert mit variablem Azimut oder variabler Elevation dargestellt werden. Weiterhin ist die dreidimensionale Darstellung mit starrer Elevation und veränderlichem Azimut oder mit starrem Azimut und veränderlicher Elevation möglich. Zeitinformationen können ebenfalls starr und animiert dargestellt werden.

Bei allen Darstellungsformen der HRTFs lassen sich die Achsendimensionen einstellen. Dazu muss die Variable, welche die Amplitudeninformationen enthält, nach den getätigten Eingaben ausgelesen werden. Weiterhin lassen sich alle Darstellungen als Bitmaps oder Avi-Filme speichern. Somit stehen die Ergebnisse jeder Untersuchung für spätere Päsentationen unabhängig von MATLAB bereit.

4. Auswertungen mit dem Programm

Im kommenden Abschnitt werden einige Messungen, die mit dem HRTFGui erstellt wurden, ausgewertet. Dabei wird noch einmal auf die Nützlichkeit der einzelnen Funktionen eingegangen und es werden Vergleiche mit vorausgegangenen Auswertungen vorgestellt. Neben den dargestellten Grafiken existieren Videos verschiedener Animationen, welche auf der CD zur Arbeit zu finden sind.

4.1 Darstellung einzelner HRTFs



Abbildung 4- 1: A-und BHRTF: φ=90°, δ=0°, Nackt (HRTFGui)

In Abbildung 4-1 sind die Messergebnisse der Messungen des linken und rechten Ohres bei $\delta=0^{\circ}$ und $\phi=90^{\circ}$ im direkten Vergleich dargestellt. Der Grafik ist aufgrund der

Amplitudenhöhen eindeutig zu entnehmen, dass es sich bei der blauen Kurve um das HRTF des rechten und bei der grünen Kurve um das HRTF des linken Ohres handeln muss. Im Frequenzbereich oberhalb vom 5 kHz ist in der HRTF des rechten Ohres zudem der Effekt des Kopfschattens zu sehen. Durch den Kopfschatten entstehen so genannte random effects, bei denen es zu großen Amplitudenabweichungen über kleine Frequenzschritte kommt.



Abbildung 4- 2: AHRTFs: φ=0-360°, δ=0°, Kunstkopf Nackt

Die Darstellung aller HRTFs einer Elevation zeigt auf, dass Änderungen in der Amplitude der HRTFs, bei Variation des Azimuts, mit höherwerdender Frequenz zunehmen. Dies ist dadurch zu begründen, dass Wellen mit niedriger Frequenz und damit großer Wellenlänge durch die Abmaße des menschlichen Kopfes und das Ohr kaum beeinflusst werden und somit fast ausschließlich die Entfernung von der Schallquelle für Amplitudendifferenzen verantwortlich ist. Mit steigender Frequenz nehmen Beugung, Brechung und Reflexion durch den Kopf und die Geometrie des Ohres zu.



Abbildung 4- 3: AHRTFs: φ=0°, δ=0°, Nackt, Haare, Brille, Kappe

Abbildung 4-3 zeigt den Vergleich der HRTFs des nackten Kunstkopfes (dunkelblau), des Kunstkopfes mit Haaren (grün), mit Brille (rot) und mit Basecap (cyan). Es wird deutlich, dass lediglich die HRTF des Kunstkopfes mit Haaren eine größere Abweichung zu den anderen HRTFs um 8 kHz hervorrufen. Das Basecap führt erst bei höheren Elevationswinkeln zu deutlichen Abweichungen. Die Brille führt auf Grund ihrer geringen Abmaße nur im hochfrequenten Bereich zu geringen Abweichungen.



Abbildung 4- 4: AHRTFs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=90^{\circ}$, Nackt

In Abbildung 4-4 sind alle HRTFs der Elevation δ =90° dargestellt. Es ist zu erkennen, dass die 360 HRTFs keinen wesentlichen Unterschied aufweisen, da die Schallquelle bei einer Elevation von δ =90° unabhängig vom Azimutwinkel an einer Stelle fixiert ist.



Abbildung 4- 5: AHRTFs: $\varphi = 250^{\circ} - 270^{\circ}$, $\delta = 0^{\circ}$, Nackt

Abbildung 4-5 zeigt die HRTFs der Azimutwinkel, bei denen der Kopfschatten die größte Auswirkung hat. Verglichen mit Abbildung 4-2, welche alle HRTFs dieser Elevation zeigt, wird deutlich, dass in diesem Bereich die größte Varianz vorherrscht.

4.2 Darstellung mit Mesh

Die kommenden Grafiken zeigen die HRTFs in einer dreidimensionalen Darstellung in Abhängigkeit der Frequenz und des Azimuts. Diese Darstellungsform vermittelt einen Eindruck über die gesamte Messreihe um den Kopf bei fester Elevation. Es gibt drei unterschiedliche Darstellungsvarianten: die Darstellung mit zwei Achsen und Farbgebung in Abhängigkeit der Amplitude in kartesischen und Polarkoordinaten und die Darstellung mit drei Achsen und Farbgebung in Abhängigkeit der Amplitude im kartesischen Koordinatensystem. Da die Darstellung mit drei Achsen nur für genauere Untersuchungen bestimmter Bereiche Vorteile bringt, werden in den kommenden zusammengehörigen Grafiken zunächst nur die Zwei-Achsen-Systeme dargestellt.



Abbildung 4- 6: AHRTFs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=0^{\circ}$, Nackt (kartesisch links, polar rechts)

Die Abbildung 4-6 zeigt übersichtlich die HRTFs des nackten Kunstkopfes bei $\delta=0^{\circ}$ in kartesischen und Polarkoordinaten. Bei diesen Darstellungsformen werden der Bereich des Kopfschattens und die Entwicklung der Amplituden bei veränderlichem Azimut besonders deutlich.



Abbildung 4- 7: AHRTFDs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}$, $\delta=0^{\circ}$, Nackt [3]



Abbildung 4- 8: AHRTFDs: $\varphi=0^{\circ}$ -360°, $\delta=0^{\circ}$, Nackt, Polar



Abbildung 4- 9: AHRTFDs: $\varphi=0^{\circ}-360^{\circ}, \delta=0^{\circ}$, Nackt, Mesh 2D

Die Abbildungen 4-7 bis 4-9 zeigen je die HRTFDs des Nackten Kunstkopfes bei einer Elevation von $\delta=0^{\circ}$ über den gesamten azimutalen Bereich. Die dargestellten HRTFDs zeigen die Differenzen wiederholt gemessener HRTFs bei angegebenen Einstellungen und spiegeln somit die Zuverlässigkeit der Messergebnisse wieder. Im Bereich des Kopfschattens, in dem die Amplituden stark variieren, zeigen sich deutlich die Zufallseffekte, die in jeder wiederholten Messung andere Amplituden hervorrufen.

Während in der Darstellung der HRTFs im kartesischen Koordinatensystem Amplituden gleicher Frequenz leicht abgelesen werden können, liefern die Darstellungen im Polarkoordinatensystem eine bessere Vorstellung des Azimuts. Beim Vergleich der beiden Polarkoordinatensysteme wird deutlich, dass in der Darstellung des HRTFGui eine bedeutend höhere Auflösung in Frequenz und Azimut erreicht wird. Auch die maximal angezeigte Frequenz liegt bei einem bedeutend höheren Wert.

In weiteren Untersuchungen wurden die HRTFDs des Kunstkopfes mit Haaren, Brille und Kappe mit starrer Elevation und variablem Azimut über 360° in zwei- und dreiachsigem kartesischen Koordinatensystemen dargestellt. Da dies für alle gemessenen Elevationen erfolgt ist, entstand eine große Anzahl an Grafiken, welche in Anhang A zu finden sind. In Anhang С befinden sich diese Messungen noch einmal dargestellt in Polarkoordinatensystemen. Weiterhin wurden Messungen in zwei- und dreiachsigen kartesischen Koordinatensystemen des nackten Kunstkopfes bei starrer Elevation und variablem Azimut über 360° angefertigt. Die Grafiken zu diesen Messungen, welche ebenfalls für alle gemessenen Elevationswinkel angefertigt wurden, befinden sich in Anhang B.

Für die AHRTFs des nackten Kunstkopfes bei der Elevation $\delta=0^{\circ}$ ergab sich die Besonderheit, dass der Bereich des Kopfschattens um $\varphi=90^{\circ}$ abgebildet wurde. Das dies nur auf eine falsche Speicherung der HRTFs zurück zu führen ist, zeigt sich bei Betrachtung der AHRTFs der zweiten Messung und der BHRTFs. In der Grafik der AHRTFs der zweiten Messung ist zu sehen, dass der Kopfschatten sich im erwarteten Bereich befindet. Die Betrachtung der BHRTFs macht deutlich, dass A- und BHRTFs vertauscht wurden.



Abbildung 4- 10: AHRTFs, Nackt δ=0°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)



Abbildung 4- 11: AHRTFs, Nackt δ=0°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts) (2nd)



Abbildung 4- 12: BHRTFs, Nackt δ=0°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)



Abbildung 4- 13: Zeitsignale: δ=0°, φ=0°; rechter Kanal (unten), linker Kanal (oben)

Die obige Abbildung zeigt die gemessenen Zeitsignale der Messungen bei der sich das Quellensignal bei der Elevation $\delta=0^{\circ}$ und dem Azimut $\phi=0^{\circ}$ befand. Die aufgenommenen Signale der beiden Ohren sind nahezu identisch, da beide vom gleichen Quellensignal aufgenommen wurden und dieses Signal aus dem Winkel 0° nahezu gleiche Bedingungen auf dem Weg zu den aufnehmenden Mikrofonen hatte.

5. Ausblick

Mit dem geschaffenen Programm ist es bedeutend einfacher, schneller, genauer und vielfältiger möglich HRTFs auszuwerten. Dies sollte zum einen dazu führen, in Präsentationen bessere Mittel zur Erklärung und zum anderen eine gute Möglichkeit zum Voranschreiten des Projektes zu haben. Simultan zu dieser Arbeit wurde eine Arbeit verfasst, bei der es darum geht die optimalen Geräusche für die Ereignisse, welche durch die Blinden am PC erkannt werden sollen, zu finden. Die passenden Geräusche werden durch Befragungen von Blinden und Sehenden gefunden. In diesen Befragungen geht es zum einen um die passenden Earcons, wobei es darauf ankommt, dass die darzustellenden Ereignisse durch die Geräusche optimal wiedergegeben werden. Zum anderen werden Spearcons erstellt, die Ereignisse wiedergeben sollen, die nicht durch Earcons dargestellt werden können. Weitere Untersuchungen mit diesen Geräuschen und den HRTFs werden zu einer Technik führen, die es den Blinden erlauben wird mit Hilfe der Akustik Computer zu bedienen. In Befragungen wurde herausgefunden, dass Blinde darauf Wert legen Schreibprogramme, Tabellenkalkulationsprogramme, Spiele und ähnliches bedienen zu können. Die Ergebnisse aller Untersuchungen müssen dann in der Praxis weiter erprobt und verbessert werden.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als angegeben verwendet habe. Insbesondere versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.

Ort:

Datum:

Unterschrift:

Quellen

- [1] http://www.interton.de/ohr.html
- [2] http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=7656&objectType=file
- [3] Dissertation: HRTFs in Human Localization: Measurement, Spectral Evaluation and Practical Use in Virtual Audio Environment, Dipl.-Ing. Wersènyi György, 09.07.2002
- [4] Daten und Dokumentations-CD, Wersènyi György, G:\HRTF\Docs\HUN\FOLY4.DOC
- [5] http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/Diss_Wersenyi.pdf
- [6] http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/EJTA.pdf
- [7] http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/FAC2.pdf
- [8] http://vip.tilb.sze.hu/~wersenyi/JINCE.pdf
- [9] Vorlesungsscript Elektroakustik, Graf M., Hochschule für Telekommunikation, Leipzig
- [10] http://de.wikipedia.org/wiki/Schmerzgrenze

Anhang A

Die folgenden Abbildungen zeigen das Verhalten der AHRTFDs des Kunstkopfes mit Haaren, Kappe oder Brille. Jeweils zwei nebeneinander liegende Grafiken stellen eine Reihe von HRTFDs mit bestimmter Elevation δ und dem Azimut $\phi=0^{\circ}-359^{\circ}$ in zwei- und dreidimensionalen kartesischen Koordinaten dar. Die Vor- und Nachteile beider Darstellungsformen wurden bereits erwähnt. Die HRTFDs gleicher Elevation vom Kunstkopf mit Haaren, Kappe und Brille sind jeweils auf einer Seite angeordnet. Bei Vergleichen zwischen den HRTFDs ist auf die jeweilige Amplituden-Farbe-Zuordnung zu achten.

Die dargestellten HRTFDs sind aus den wiederholten Messungen Gemittelte. Da bei den Wiederholungsmessungen oft nicht alle 359° in 1°-Schritten gemessen wurden, sind nur einige der jeweils 359 dargestellten HRTFs die Mittelwerte mehrerer Messungen. Die Messungen der HRTFs bei der Elevation δ =60° weisen unabhängig von der Messreihe ab 346° Fehler auf.

Alle Grafiken zeigen, dass die größten Amplitudenabweichungen im hochfrequenten Kopfschattenbereich liegen. Die Ursachen für diese Abweichungen entstehen durch Reflexionen und Brechungen am Kopf und nicht durch die Utensilien. Unter den drei pro Seite darsgestellten Grafiken ist zu erkennen, dass die HRTFDs der Messungen des Kunskopfes mit Brille die geringsten Änderungen hervorrufen. Alle drei Veränderungen am Kunstkopf lassen sich eindeutig und relativ unabhängig von der Elevation voneinander unterscheiden.

Anhang B

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die AHRTFs des nackten Kunstkopfes in jeweils zwei- und dreidimensionaler Darstellung nebeneinander. Jede Grafik zeigt die AHRTFs einer bestimmten Elevation δ und den Azimutwinkeln $\phi=0^{\circ}-359^{\circ}$. In den Messungen der Elevation $\delta=45^{\circ}$ tritt ab dem Azimut $\phi=339^{\circ}$ der Fehler auf, dass die Amplituden gleich Null sind. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die HRTF-Dateien ab diesem Azimut nicht existieren.

Es ist festzustellen, dass sich die Amplituden in Abhängigkeit des Azimuts, bei Entfernung der Schallquelle von der Horizontalebene, zunehmend angleichen. Bei einer Elevation von δ =90° ergibt sich richtig keine Abhängigkeit der Amplitude vom Azimut.



Abbildung Anh. B- 1: AHRTFs, Nackt δ=-40°, φ=0°-359°; 2D (links), 3D (rechts)

Anhang E

Handbuch zum HRTFGui

Das HRTFGui bietet die Möglichkeit HRTFs bequem einzulesen, Fehler zu beseitigen und sie auf unterschiedliche weise Darzustellen.

Das HRTFGui und alle weiteren Funktionen wurden mit MATLAB erstellt. Sich daraus ergebende Besonderheiten werden ebenfalls in diesem Handbuch erläutert.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	
1. Deutsch	
1.1 Die Oberfläche des Programms	
1.2 Funktionen	159
1.2.1 Daten einlesen	
1.2.2 Daten bearbeiten	
1.2.3 Daten darstellen	
1.3 Hilfe/ Problembeseitigung	54
1.4 Besonderheiten	55
2. Englisch	
2.1 User Interface	
2.2 Functions	57
2.2.1 read data	
2.2.2 Filter data	60
2.2.3 View data	61
2.3 Help/ removal of an error	
2.4 Specialities	
2.2.2 Finter data2.2.3 View data2.3 Help/ removal of an error2.4 Specialities	6

1. Deutsch



1.1 Die Oberfläche des Programms

Abbildung H- 1: Programmoberfläche

Die Programmoberfläche ist so aufgebaut, dass sich am linken Rand des GUI Schaltflächen, Optionsschaltflächen, ein Aktionsmenü und ein Schieberegler zur Steuerung der Programmfunktionen befinden. Der Rest des GUI steht zur Visualisierung der Ergebnisse zur Verfügung.

1.2 Funktionen

1.2.1 Daten einlesen

Die zu lesenden Daten müssen prinzipiell dem folgenden Bezeichnungsschema entsprechen: 500-x-.SPE.

Für eine korrekte Darstellung muss die HRTF, welche bei einem Azimut von 0° gemessen wurde, mit der Nummer 500 beginnen. Weitere HRTFs des gleichen Ordners müssen ebenfalls in der Dateibezeichnung die Zahl "500+Azimut" aufweisen.

Die HRTFs selbst müssen die Daten entsprechend der folgenden Grafik beinhalten.



Abbildung H- 2: Datenstruktur HRTF [4]

Für das Einlesen der Daten stehen verschiedene Varianten zur Verfügung. Zum Einlesen und Darstellen einzelner HRTFs lesen sie bitte die unter 1.3.3 dargestellten Hinweise.

Load HRTF

Das Einlesen aller HRTFs eines Ordners mit dem korrekten Bezeichnungsschema kann über das Drücken der Schaltfläche Load HRTF geschehen. Wird diese Schaltfläche gedrückt, öffnet sich ein Dialog, in dem der Benutzer die erste HRTF aus dem Ordner auswählen muss, aus dem er die HRTFs geladen haben möchte. Ist dies geschehen öffnet sich ein zweiter Dialog, in dem der Benutzer die Schrittweite der HRTFs eingeben muss. Dies ist notwendig, da für manche Elevationseinstellungen nicht in 1° Azimut-Schritten gemessen wurde. Aus diesem Grund kann sich auch ein anderer Endwinkel als 359° ergeben, welcher dann ebenfalls eingegeben werden muss.

Durch Drücken der Schaltfläche Calculate 2nd HRTF und anschließendes Drücken der Schaltfläche Load HRTF kann ein zweiter Datensatz an HRTFs gelesen werden.

Load vertikal HRTF data

Wird die Schaltfläche Load vertikal HRTF data gedrückt, können die HRTFs unterschiedlicher Elevationen eingelesen werden. Nach Drücken der Schaltfläche öffnet sich ein Dialog, in dem der Benutzer den Ordner auswählen muss, in dem sich die Ordner mit den unterschiedlichen Elevationen befinden. Ist dies geschehen öffnet sich ein zweiter Dialog, in dem je nach dem ob es benötigt wird oder nicht, ein Unterordner eingegeben werden kann. Dies wird benötigt, wenn sich die HRTFs nicht direkt im Ordner mit der Elevationsbeschreibung befinden, sondern in einem weiteren Unterordner. Neben dem Unterordner muss noch der Dateiname der ersten Datei angegeben werden, die gelesen werden soll. Dies ist notwendig, da das Programm Informationen dazu braucht, welche HRTFs eingelesen werden sollen (A oder B, Medialebene oder Seitenebene). Es können nur Dateinamen der Winkel 0° und 90°, d.h. 500-x-.SPE und 590-x-.SPE, eingegeben werden. Können Dateien nicht gelesen werden, wird im MATLAB- Arbeitsfeld eine Warnung ausgegeben.

Load Timedata

Wird die Schaltfläche Load Timedata gedrückt, können Zeitinformationen eingelesen werden. Nach Drücken der Schaltfläche Load Timedata öffnet sich ein Dialog, in dem der Benutzer die Datei auswählen muss, in der sich die Zeitinformation befindet, die zu dem Azimut 0° gehört. Die Zeitdaten müssen dem Bezeichnungsschema –x-500.DAT entsprechen. Die Datenstruktur der Dateien muss der in der folgenden Grafik gezeigten entsprechen.



Abbildung H- 3: Datenstruktur Zeitdaten [4]

1.2.2 Daten bearbeiten

Daten filtern

Es kommt vor, dass in den HRTF-Dateien fehlerhafte Daten enthalten sind. Dies äußert sich beispielsweise durch Werte, die deutlich über oder unter dem Mittelpegel der entsprechenden HRTF liegen. Werden diese Daten dargestellt, kann dies zu einer schlechten Visualisierung führen. Um dieses Problem zu beheben, verfügt die HRTFGui über eine Filterfunktion. Wird die Schaltfläche HRTF filter gedrückt, öffnet sich ein Dialog, in dem der Benutzer die maximale positive und negative Abweichung des Mittelwertes der jeweiligen HRTF eingeben kann. Liegt beim Ausführen der Funktion ein Pegel, in den zuvor über die Schaltfläche Load HRTF eingelesenen HRTFs, über der Ober- oder unter der Untergrenze, wird diesem Pegel der Wert des vorangegangenen Pegels zugewiesen.

Über die Schaltfläche Save HRTFs können diese gefilterten Daten gespeichert werden. Es werden alle zuvor eingelesenen und anschließend gefilterten HRTFs im Originalverzeichnis in den Unterordner New geschrieben.

Durch das Filtern der Daten kann auch bei HRTFDs eine bessere Visualisierung erreicht werden.

HRTFs mitteln

Über die Schaltfläche Average data können beliebig viele HRTF-Reihen, die dem unter 1.3.1 beschriebenen Schema entsprechen, eingelesen und gemittelt werden. Die Funktion errechnet eine HRTF-Reihe, welche die Mittelwerte der eingelesenen HRTF-Reihen enthält.

Nach Drücken der Schaltfläche Average data öffnet sich ein Dialog, in welchen der Benutzer die Anzahl der HRTF-Reihen eingeben muss, die er laden und mitteln möchte. Der folgende Dialog zur Auswahl der HRTF-Reihe erscheint bis die zuvor angegebene Anzahl an HRTF-Reihen geladen ist. In einem weiteren Dialog muss der Benutzer das Verzeichnis angeben, in welches die errechneten HRTF-Dateien gespeichert werden sollen. Im letzten Dialog hat der Benutzer die Möglichkeit den generellen Namen für die zu speichernden HRTFs anzugeben.

1.2.3 Daten darstellen

Für die Darstellung der Daten wurde eine Reihe an Funktionen entwickelt. Diese können über das Aktionsmenü aufgerufen werden. Die Eigenschaften dieser Funktionen werden im Kommenden vorgestellt.

Für die Darstellungen mit Mesh, mesh w. reduced azimut, mesh w. reduced values und mesh vertikal HRTFs kann durch das Drücken des Wahlschalters 2D/3D ausgewählt werden, ob die Daten in einem zwei- oder dreidimensionalen Koordinatensystem dargestellt werden sollen.

Compare HRTFs

Diese Funktion stellt HRTFs zweidimensional in Abhängigkeit von Amplitude und Frequenz dar. Mit dieser Funktion können automatisch bis zu 360 azimutal aufeinander folgende, oder einzeln beliebig viele HRTFs eingelesen und dargestellt werden. Wird diese Darstellungsform ausgewählt, öffnet sich ein Dialog, in dem der Benutzer die Möglichkeit hat die Anzahl der HRTFs anzugeben, die azimutal nach dem zu wählendem HRTF liegen. Alternativ kann auch die Anzahl der manuell zu öffnenden HRTFs angegeben werden. Ist eine der Möglichkeiten eingetragen und bestätigt, öffnet sich ein weiterer Dialog. In diesen kann der Nutzer die Maximal- und Minimalwerte für die Amplituden und Frequenzachse eingeben. Ist dies geschehen, öffnet sich ein dritter Dialog, in welchem eine Datei ausgewählt werden kann. Ist die manuelle Dateiwahl ausgewählt worden, öffnet sich dieser Dialog bis die zuvor gewählte Anzahl an HRTFs geöffnet wurde. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Grafik in einer Bitmap im Arbeitsverzeichnis des Programms gespeichert.

Mesh 3D

Bei Auswahl der Darstellungsmethode Mesh 3D werden dem Benutzer die geladenen HRTFs in einer dreidimensionalen, farbigen Grafik präsentiert. In dieser Grafik entspricht die x-Achse der Frequenz, die y-Achse dem Azimut und die z-Achse der Amplitude. Um diese Darstellung ausführen zu können, müssen die HRTFs zuvor über die Schaltfläche Load HRTF eingelesen werden. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Grafik in einer Bitmap im Arbeitsverzeichnis des Programmes gespeichert. Die Achsendimensionen können in dem Dialog eingestellt werden, der sich nach Auswahl der Funktion mesh öffnet.

Mesh 2D

Werden die HRTFs mit Mesh 2D dargestellt, so entspricht diese Darstellung der zweidimensionalen Darstellung der Funktion Mesh 3D. Aufgrund der Färbung entsprechend der Amplitude ist eine zweidimensionale Darstellung möglich. Weitere Informationen sind unter Mesh 3D nachzulesen.

Mesh with reduced azimut

Diese Darstellung entspricht der Darstellung Mesh 3D. Sollen die HRTFs nicht vollständig, sondern mit einer azimutalen Schrittweite von 3° dargestellt werden, ist diese Funktion zu verwenden. Die darzustellenden HRTFs müssen zuvor über die Schaltfläche Load HRTF eingelesen und über Reduce data reduziert werden. Die Darstellung mit weniger Werten ist schneller und benötigt weniger Systemleistung. Genauere Informationen zur Darstellung sind unter Mesh 3D zu finden.

Mesh with reduced values

Diese Darstellung entspricht der Darstellung mit Mesh w. reduced Azimut, mit dem Unterschied, dass bei dieser Funktion der Azimut in 1° Schritten dargestellt wird und die Daten der einzelnen HRTFs von 2048 auf 512 heruntergerechnet sind und dargestellt werden. Das bedeutet eine Darstellung mit kleinerer Frequenzauflösung. Nähere Informationen sind unter Mesh w. reduced Azimut zu finden. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Grafik in einer Bitmap im Arbeitsverzeichnis des Programmes gespeichert.

Mesh vertikal HRTFs

Diese Darstellung zeigt die über die Schaltfläche Load vertikal HRTFs eingelesenen Daten. Die x-Achse bildet die Elevation ab, die y-Achse die Frequenz und die z-Achse den Pegel. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Grafik in einer Bitmap im Arbeitsverzeichnis des Programmes gespeichert. Die Achsendimensionen können in dem Dialog eingestellt werden, der sich nach Auswahl der Funktion mesh vertikal HRTFs öffnet.

Animated HRTFs

Bei Auswahl dieser Darstellungsmethode werden die über die Schaltfläche Load HRTFs eingelesenen HRTFs in einer Animation dargestellt, bei der der Azimut die Veränderliche ist. Bevor die Animation startet, hat der Benutzer die Möglichkeit die Achsen einzustellen. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Animation in einer AVI Datei im Arbeitsverzeichnis des Programms gespeichert.

Animated reduced HRTFs

Diese Darstellung entspricht der Darstellung Animated HRTFs mit dem Unterschied, dass die eingelesenen Daten zuvor über die Schalfläche reduce data reduziert werden müssen und der Azimut in 3° Schritten animiert wird. Weitere Informationen sind unter Animated HRTFs zu finden. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Animation in einer AVI Datei im Arbeitsverzeichnis des Programms gespeichert.

Animated vert. HRTFs

Diese Darstellung animiert die über die Schaltfläche Load vertikal data eingelesenen HRTFs. Die Veränderliche ist dabei die Elevation. Bevor die Animation startet, hat der Benutzer die Möglichkeit die Achsen einzustellen. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Animation in einer AVI Datei im Arbeitsverzeichnis des Programms gespeichert.

Animated Timedata

Diese Darstellung animiert die über die Schaltfläche Load Timedata eingelesenen Zeitinformationen. Die Veränderliche ist dabei der Azimut.

Compare timedata

Mit dieser Funktion können automatisch bis zu 360 azimutal aufeinander folgende, oder einzeln beliebig viele Zeitfunktionen eingelesen und dargestellt werden. Wird diese Darstellungsform ausgewählt, öffnet sich ein Dialog, in dem der Benutzer die Möglichkeit hat die Anzahl der Zeitfunktionen anzugeben, die dargestellt werden sollen. Alternativ kann auch die Anzahl der manuell zu öffnenden HRTFs angegeben werden. Ist eine der Möglichkeiten eingetragen und bestätigt, öffnet sich ein weiterer Dialog. In diesen kann der Nutzer die Maximal- und Minimalwerte für die Amplituden und Frequenzachse eingeben. Ist dies geschehen, öffnet sich ein dritter Dialog, in welchem eine Datei ausgewählt werden kann. In einem vierten Dialog kann der Benutzer die Auswahl treffen, ob der linke oder rechte Kanal der gewählten Datei(en) dargestellt werden soll. Ist die manuelle Dateiwahl ausgewählt worden, öffnen sich der dritte und vierte Dialog bis die zuvor gewählte Anzahl an HRTFs geöffnet wurde. Wird vor der Darstellung der Wahlschalter Save image aktiviert, wird die Grafik in einer Bitmap im Arbeitsverzeichnis des Programms gespeichert.

1.3 Hilfe/ Problembeseitigung

In das GUI wurden einige Fehlermeldungen und Hilfedialoge eingebaut. Darüber hinaus werden bei auftretenden Fehlern auch im MATLAB-Abreitsbereich Fehlermeldungen angezeigt. Diese zeigen an, an welcher Stelle im Programm ein Fehler aufgetreten ist. Die Ursache für das Auftreten des Fehlers kann allerdings nicht angezeigt werden. In Tabelle H 1 sind einige Fehlermeldungen und ihre möglichen Ursachen angeführt.

Hilfe zu den Funktionen erhält man durch Rechtsklick auf das jeweilige Element und Auswahl des Punktes HELP im Kontextmenü.

Fehlermeldung	Mögliche Ursache
Improper assignment with rectangular empty	Dateien sind beschädigt
matrix.	
Error using ==> fread Invalid fid.	Konnte Datei nicht lesen, da sie nicht
	existiert/ Falsche Eingabe
Index exceeds matrix dimensions.	Falsche Eingabe beim Laden der Daten
	(Endwinkel bei der Eingabe nicht mit 500
	addiert)
Error using ==> surface, Z must be a matrix,	Falsche Eingabe beim Laden der Daten
not a scalar or vector.	(Endwinkel bei der Eingabe nicht mit 500
	addiert)
Undefined function or variable 'Amp2'.	Funktion wurde versucht auf zweite geladene
	HRTFs anzuwenden, ohne das diese geladen
	sind/ Calculate 2 nd HRTF ist versehentlich
	aktiviert

Tabelle H 1: Fehlertabelle

1.4 Besonderheiten

Aus der Programmierumgebung MATLAB und der großen Menge an Daten bei der Darstellung mehrerer HRTFs ergeben sich einige Besonderheiten, die im Kommenden erläutert werden.

Schieberegler Animationspeed

Es wurde in allen Animationsfunktionen und in dem GUI vorbereitet, dass die Geschwindigkeit der Animationen reguliert werden kann. In MATLAB sind Animationen auf eine Geschwindigkeit von zwölf Bildern pro Sekunde voreingestellt. Auf Computern, die diese Geschwindigkeit nicht erreichen, wird die Animation so schnell wie möglich abgespielt. Mit dem Schieberegler lässt sich die Animationsgeschwindigkeit zwischen 0,75 Bildern pro Sekunde und zwölf Bildern pro Sekunde regeln. Da dies allerdings das Speichern aller Animationsframes voraussetzt und dies sehr viel Arbeitsspeicher benötigt, ist diese Funktion in der aktuellen Version des Programms ausgesetzt.

Logarithmische Frequenzachse in den Animationen

Für alle Animationen wurde für die Frequenz eine logarithmische Achseneinteilung angegeben. Gelegentlich kann es jedoch vorkommen, dass die Achse linear dargestellt wird. Ist dies der Fall kann versucht werden zuerst vertikale, reduzierte oder einzelne HRTFs zu animieren. Nach einer dieser Animationen kann versucht werden die Animation der anderen HRTFs erneut darzustellen. Wichtig: Soll die Animation gespeichert werden, darf das zusätzliche Grafikfenster nach der Alternativdarstellung nicht geschlossen werden.

2. Englisch

2.1 User Interface



figure M-1: Program surface

The program surface consists of two parts. On the left side are buttons, radiobuttons, a pulldown-menu and a slider to control the functions. The rest of the interface is to present the data.

2.2 Functions

2.2.1 read data

The filename to read must have the following schema: 500-x-.SPE. To present the HRTFs in the right way it is necessary that the HRTF which is meassured at the azimut 0° start with "500" in the filename. Following HRTFs from the same directory must also have the filename "500+azimut".

The datastructure in the HRTF files has to be like in the following figure.



figure M- 2: datastructure HRTF [4]

To read and present the data there are different possibilities. To read and present single HRTFs please read the hints in 1.3.3.

Load HRTF

To read all HRTFs in a folder (any horizontal plane) you have to press the button Load HRTF. After you have pressed this button a dialog will be shown. In this dialog the user has to choose the first HRTF from the folder from which he wants to open all HRTFs. After this a second diolog will be shown. In this dialog the user has to type in the step width and the number of the last HRTF. This is necessary because for some elevations the HRTFs are not meassured in 1° azimut steps.

The radiobutton calculate 2nd HRTF gives the possibility to load a second folder of HRTFs without deleting the first loaded HRTFs.

Load vertikal HRTF data

To load the HRTFs from different elevations the user has to press the button Load vertikal HRTF data. After pressing this button a dialog will be shown. In this dialog the user has to enter the directory in which the folders with the different elevation-folders are. When this is done a second dialog will be shown. In this dialog the user has the option to type in a subfolder in which the HRTF files are. This is needed when the HRTFs are not directly saved in the folders which stand for the different elevations. Furthermore the user has to type in the filename of the first HRTF. This is necessary because the programm needs the information which HRTFs the user will load (A or B, median plane or collateral plane). It is only possible to enter filenames of the azimut 0° or 90° , meaning 500_x .SPE or 590-x-.SPE. If it is impossible to read files a warning will be displayed in the MATLAB main window.

Are all inputs and data korrect, a matrix which consists of the magnitude informations from the choosen plane, will be computized.

Load Timedata

Timeinformation can be read with pressing the button Load Timedata. After pressing this button a dialog will be shown. In this dialog the user has to choose the file which contains the timedata of the measurement made with 0° azimut. The files must have the schema -x-500.DAT. The structure of the data has to be like in the following figure shown.



figure M- 3: data structur time files [4]

2.2.2 Filter data

Some HRTF files contain errors. This can mean, that some values are much higher or lower then the average. While showing this data it can be a bad presentation because of these values. To solve this problem the HRTFGui has a filter function. When the user press the button HRTF filter a dialog will be shown. In this dialog the user has to enter the maximal and the minimal difference from the square root of each HRTF from the before loaded HRTFs. During the calculation the function gives values which are higher than the maximum or lower than the minimum the value from the measurementpoint before.

When the user presses the button Save HRTFs the filtered data will be saved in the directory where from the data are in the subfolder new.

Filtering the HRTFD data can also lead to a better visualization.

Average data

With Average data it is possible to read and average as much HRTF-rows as wanted. The function calculates a HRTF-row, which contains the square root of the loaded HRTF-rows.

After pressing the button Average data dialog will be shown. In this dialog the user has to enter the number of HRTF-rows to average. The following dialog to open the HRTF-rows will be shown till the entered number of HRTF-rows are opened. In the following dialog the user has to choose the directory in which he wants to save the calculated HRTFs. In the last dialog the user has the possibility to enter the common name for the new files.

2.2.3 View data

To show the data a lot of functions were developed. To open these functions the user can choose in the pull-down-menu. The features of the functions are described in the following. With the toggle button 2D/3D the user can change the view of the mesh functions before they are selected.

Compare HRTFs

This function shows HRTFs in two dimensions. The x-axis represents the frequency and the y-axis represents the magnitude. With this function the user is able to load and visualize up to 360 HRTFs with increasing azimut, which are saved in one folder, by selecting the first file. It is also possible to visualize single choosen HRTFs. After pressing the button Compare HRTFs a dialog will be shown. In this dialog the user has the possibility to enter the number of HRTFs he will visualize. When the user will show some HRTFs which are from the same elevation and have a 1° step foreward in azimut, he has to enter the number of HRTFs in the upper array. Otherwise when the user will select the HRTFs by themselfe he has to enter the number of HRTFs to show in the bottom array. After this a second dialog will be shown. In this dialog the user has to choose the HRTF(s). When the radiobutton Save images is activated before showing the data, the figure will be saved in the directory of the main programm.

Mesh 3D

The function Mesh 3D shows the user the loaded HRTFs in a three dimensional, colored figure. In this figure the x-axis represents the frequency, the y-axes represents the azimut and the z-axis represents the magnitude. To show the data with this function, the HRTFs must be loaded with Load HRTF before. When the radiobutton Save images is activated before showing the data, the figure will be saved in the directory of the main programm. The axis can be modified in the the dialog, wich will be showed after the user opens the function mesh 3D.

Mesh 2D

The function Mesh 2D shows the data in the same way like Mesh 3D with the difference, that the result is shown in two dimensional view. This is possible because the data is colored depending on the values. You can get further informations from Mesh 3D.

Mesh w. reduced azimut

The function Mesh w. reduced azimut shows the data in the same way like Mesh with the difference, that the HRTFs will be shown with the stepwidth 3° in azimut. To show the HRTFs with this function needs to reduce the data first. The advantage to show the data with reduced azimutal resolution is that it is faster then showing with full resolution and don't need so much performance. You can get further informations from Mesh 3D.

Mesh w. reduced values

The function Mesh w. reduced values shows the data in the same way like Mesh 3D with the difference, that the HRTFs will be shown in 1° azimut steps and the data from the single HRTFs contain only 512 values. That means that the presentation has a smaller frequency resolution. You can get further informations from Mesh 3D.

Mesh vertikal HRTFs

This figure shows the data read with the button Load vertikal HRTFs. The x-axis represents the elevation, the y-axis represents the frequency and the z-axis represents the magnitude. When the radiobutton Save images is activated before showing the data, the figure will be saved in the directory of the main programm.

Mesh vert. HRTFs 2D

This figure ist he two dimensional figure of the function Mesh vertikal HRTFs. You can get further informations from Mesh vertikal HRTFs. When the radiobutton Save images is activated before showing the data, the figure will be saved in the directory of the main programm.

Animated HRTFs

When the user chooses this type of presentation, the data read with Load HRTF will be shown in an animation. In this animation the azimut is the variable. Before the animation starts, the user has to type in the axes properties.

Animated reduced HRTFs

This type of presentation animates the loaded and reduced data. The azimut is the variable, which changes in 3° steps. You can get further informations from Animated HRTFs.

Animated vert. HRTFs

This animates the HRTFs read with Load vertikal data. In this animation the elevation is the variable.

Animated Timedata

This animates the time information read with the button Load Timedata. In this animation the azimut is the variable.

Compare timedata

With this function the user is able to load and visualize up to 360 timefiles with increasing azimut, which are saved in one folder, by selecting the first file. It is also possible to visualize single choosen timefile content. After pressing the button Compare timedata a dialog will be shown. In this dialog the user has the possibility to enter the number of timefiles he will visualize. When the user will show some timedata which are from the same elevation and have a 1° step foreward in azimut, he has to enter the number of HRTFs in the upper array. Otherwise when the user will select the timefiles by themselfe he has to enter the number in the bottom array. After this a second dialog will be shown. In this dialog the user can enter the maximum and the minimum of the amplitude axis and the frequency axis. When the user has entered the axes properties and has klicked the OK button, a third dialog will be shown. In this dialog the user has to choose the timefile. In a fourth dialog the user has to enter which channel he want to visualize. When the radiobutton Save images is activated before showing the data, the figure will be saved in the directory of the main programm.

2.3 Help/ removal of an error

Some errors and help diages are built in the GUI. Furthermore errors will be shown in the MATLAB main window. These errors show in which part of the programm the error is occurred. The reason why this error is shown is not named. In chart M 1 you can find some possible reasons for typical errors.

Furthermore you can get help in the GUI while pressing the right mouse button on the unknown function and choosing HELP in the contextmenu.

Error message	Potential reason
Improper assignment with rectangular empty	File error
matrix.	
Error using ==> fread Invalid fid.	Unable to read the file because it doesn't
	exist/ wrong input
Index exceeds matrix dimensions.	Wrong input while load the data (final angle
	not added with 500)
Error using ==> surface, Z must be a matrix,	Wrong input while loading the data (final
not a scalar or vector.	angle not added with 500)
Undefined function or variable 'Amp2'.	Tryed to use the function on 2nd loaded
	HRTFs without loading it before/ Calculate
	2 nd HRTF is activated

chart	М	1:	error	chart

2.4 Specialities

Because of the programming environment MATLAB and the large amount of data while computing multiple HRTFs there are some specialities in the HRTFGui. These specialities are explained in the following.

Slider Animationspeed

In all animation functions and in the GUI it is prepared that the user will be able to regulate the speed of the animation. The animation speed in MATLAB is preset to twelve frames per second. Computers which are not able to animate so fast, show the animation as fast as possible. The user can regulate the amination speed with the slider from 0,75 frames per second to 12 frames per second. For regulating the speed it is necessary to save all animation frames. This needs a lot of RAM. That's why in the actual release of the programm this function is disabled.

Logarithmic frequency axis in animations

For all animations the frequency axis are set to logarithmic. Sometimes the axis will be shown linear. In this case it can help to animate the vertikal or reduced or single HRTFs. After this the user can try to animate the other HRTFs again.