Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **11**

2. Wahrnehmung von Sprache **15**
2.1 Wahrnehmung von Sprache in geräuschvoller Umgebung 15
2.2 Wahrnehmungsveränderungen durch Hörschäden 17
2.3 Qualitätswahrnehmung von Sprache 19
2.4 Zusammenfassung 20

3. Messung und Vorhersage der Wahrnehmung von Sprache **21**
3.1 Quantifizierung der Wahrnehmung von Sprache 21
3.1.1 Sprachqualität 21
3.1.2 Sprachverständlichkeit 22
3.1.3 Kommunikationsqualität 22
3.2 Modellierung der Wahrnehmung von Sprache 23
3.2.1 Sprachqualität 23
3.2.2 Sprachverständlichkeit 24
3.2.2.1 Speech Intelligibility Index (SII) 25
3.2.2.2 Speech Transmission Index (STI) 26
3.2.2.2.1 Speech Transmission Index for Public Adress Systems (STIPA) 27
3.2.2.3 Binaurale Sprachverständlichkeitsmodelle 28
3.3 Empirische Befunde zur Modellgüte 29
3.3.1 Sprachqualitätsmodelle 29
3.3.2 Sprachindizes 30
3.3.2.1 Zusammenhang mit der Sprachverständlichkeit 30
3.3.2.2 Zusammenhang mit der Höranstrengung 33
3.4 Zusammenfassung 33

4. Fragestellung und Übersicht der empirischen Untersuchungen **35**

5. Datenbank zur Beschreibung der akustischen Bedingungen im Fahrzeug **37**
5.1 Die Hörsituation im Fahrzeug 37
5.1.1 Die Störgeräuschsituation im Fahrzeug 37
5.1.2 Darstellung des Signalübertragungswegs im Fahrzeug 38
5.1.3 Die binaurale Hörsituation im Fahrzeug 40
5.1.4 Zusammenfassung 41
5.2 Erstellung der Datenbank 41
5.2.1 Binaurale Aufnahmen 41
5.2.1.1 Innenohrmikrofone - Soundman Originalkopf-Mikrofone . 42
5.2.1.2 Kunstkopf - Head Acoustics Head Measurement System III 42
5.2.2 Erzeugung der Sprachsignale 42
5.2.2.1 Insassenkommunikation 43

5.2.2.2 Telefon . . . 44
5.2.3 Versuchsplan . . . 44
5.2.4 Durchführung . . . 46
5.2.4.1 Aufnahme der Innenraumgeräusche . . . 46
5.2.4.2 Aufnahme der Sprachsignale . . . 46
5.2.5 Datenaufbereitung . . . 47
5.2.6 Datenauswertung . . . 47
5.2.6.1 Frequenzspektren . . . 47
5.2.6.2 Pegel . . . 48
5.2.6.3 Pegeldifferenzspektren . . . 48
5.2.6.4 Modulationsspektren . . . 48
5.3 Ergebnisse . . . 48
5.3.1 Störgeräuschaufnahmen . . . 48
5.3.1.1 Einfluss der Geschwindigkeit . . . 48
5.3.1.2 Einfluss der Karosserie . . . 50
5.3.1.2.1 Baureihe . . . 50
5.3.1.2.2 Kabinenzustand . . . 50
5.3.1.3 Einfluss der Sitzposition . . . 53
5.3.1.3.1 Beifahrersitz und Rückbank . . . 53
5.3.1.3.2 Fahrer- und Beifahrersitz . . . 54
5.3.2 Sprachaufnahmen . . . 58
5.3.2.1 Einfluss der Signalquelle . . . 58
5.3.2.1.1 Sprachwiedergabesysteme . . . 58
5.3.2.1.2 Fahrer als Sprecher . . . 59
5.3.2.2 Einfluss der Karosserie . . . 62
5.3.2.2.1 Baureihe . . . 62
5.3.2.2.2 Kabinenzustand . . . 63
5.3.2.3 Einfluss der Sitzposition . . . 65
5.3.2.3.1 Entertainmentwiedergabe auf Beifahrerplatz und Rückbank . . . 65
5.3.2.3.2 Insassenkommunikation zwischen Fahrer und Personen in der zweiten bzw. dritten Sitzreihe im SUV . . . 66
5.4 Zusammenfassung . . . 68

6. Experiment 1 - Evaluation der Sprachindizes für Störgeräusche im Kfz 71
6.1 Hypothesen . . . 72
6.2 Methode . . . 75
6.2.1 Personen . . . 75
6.2.2 Versuchsaufbau . . . 75
6.2.2.1 Apparatur . . . 75
6.2.2.2 Stimuli . . . 76
6.2.3 Versuchsplan . . . 77
6.2.4 Durchführung . . . 78
6.2.5 Modellierung der Sprachverständlichkeit durch die Sprachindizes . 80
6.2.6 Datenauswertung und Statistik . . . 81
6.3 Ergebnisse 1 . . . 81
6.3.1 Tonaudiometrie . . . 81

6.3.2 Güte der Sprachindizes in den Validierungs- und Mischbedingungen 82
6.3.3 Güte der Sprachindizes im Fahrzeug 84
6.3.3.1 Normalhörende 84
6.3.3.2 Hörgeschädigte 86
6.3.4 Einfluss einzelner Wirkgrößen auf die Güte der Sprachindizes 87
6.3.4.1 Normalhörende 87
6.3.4.2 Hörgeschädigte 88
6.3.5 Auswirkungen von Geschwindigkeit und Sitzposition auf die empirischen SRTs 88
6.3.5.1 Normalhörende 88
6.3.5.2 Hörgeschädigte 89
6.4 Ergebnisse 2 89
6.4.1 Güte des $BSIM_T$ in den Validierungs- und Mischbedingungen . . . 89
6.4.2 Güte des $BSIM_T$ im Fahrzeug 90
6.4.2.1 Normalhörende 90
6.4.2.2 Hörgeschädigte 92
6.4.3 Einfluss einzelner Wirkgrößen auf die Güte des $BSIM_T$ 92
6.4.3.1 Normalhörende 93
6.4.3.2 Hörgeschädigte 93
6.5 Diskussion 94
6.5.1 Vergleich der Ergebnisse der Validierungsbedingungen mit den Daten aus Beutelmann und Brand (2006) 94
6.5.2 Vergleich der Modellgüte des SII und des BSIM in der Validierung I- und den Mischbedingungen 95
6.5.3 Modellgüte des $BSIM_T$ 96
6.5.3.1 Vergleich der Modellgüte in der Validierung I mit den Mischbedingungen 97
6.5.4 Modellgüte des $BSIM_T$ in den Hauptbedingungen 97
6.5.5 Vergleich der Modellgüte des SII und BSIM in den Hauptbedingungen 98
6.5.6 Einfluss einzelner Wirkgrößen auf die Güte des SII und des BSIM . . 99
6.5.7 Auswirkungen von Geschwindigkeit und Sitzposition auf die empirischen SRTs 101
6.5.8 Zusammenfassung 102

7. Experiment 2 - Evaluation der Sprachindizes für Sprachsignale im Kfz 103
7.1 Fragestellung und Hypothesen 103
7.2 Methode 105
7.2.1 Personen 105
7.2.2 Versuchsaufbau 105
7.2.2.1 Apparatur 105
7.2.2.2 Stimuli 105
7.2.3 Versuchsplan 106
7.2.4 Durchführung 106
7.2.5 Modellierung der Sprachverständlichkeit 107
7.2.6 Datenauswertung und Statistik 107
7.3 Ergebnisse 108
7.3.1 Güte der Sprachindizes im Fahrzeug 108

7.3.2 Einfluss einzelner Wirkgrößen auf die Güte der Sprachindizes 109
7.3.2.1 Fahrer als Sprecher im Vergleich zum Entertainmentsystem 109
7.3.2.2 Sitzplatz 110
7.3.2.3 Sprachwiedergabesysteme als Signalquelle 111
7.3.3 Auswirkung von Signalquelle und Sitzplatz auf die empirischen SRTs 111
7.3.3.1 Fahrer als Sprecher im Vergleich zum Entertainmentsystem 111
7.3.3.2 Sitzplatz 112
7.3.3.3 Sprachwiedergabesysteme als Signalquelle 112
7.4 Diskussion 113
7.4.1 Güte der Sprachindizes im Fahrzeug 113
7.4.2 Einfluss einzelner Wirkgrößen auf die Güte des SII_T und des $BSIM_T$ 114
7.4.3 Auswirkung von Signalquelle und Sitzplatz auf die empirischen SRTs 116
7.4.4 Zusammenfassung 118

8. Experiment 3 - Sprachindizes und Kommunikationsqualität im Kfz 119
8.1 Fragestellung und Hypothesen 121
8.2 Methode 123
8.2.1 Personen 123
8.2.2 Versuchsaufbau 123
8.2.2.1 Apparatur 123
8.2.2.2 Stimuli 125
8.2.3 Versuchsplan 125
8.2.4 Durchführung 126
8.2.5 Modellierung der Sprachverständlichkeit 127
8.2.6 Bestimmung der Messpunkte für die Kommunikationsqualität . . . 127
8.2.6.1 Normalhörende 128
8.2.6.2 Hörgeschädigte 128
8.2.7 Datenauswertung und Statistik 128
8.3 Ergebnisse 129
8.3.1 Tonaudiometrie 129
8.3.2 Methodische Betrachtungen 130
8.3.2.1 Mittelwerte der Items in Abhängigkeit des SNR 130
8.3.2.1.1 Normalhörende 130
8.3.2.1.2 Hörgeschädigte 130
8.3.2.2 Beiträge der Items zur Kommunikationsqualität 131
8.3.2.2.1 Normalhörende 132
8.3.2.2.2 Hörgeschädigte 132
8.3.2.3 Qualitativer Vergleich der SNR- und SRT-basierten Kommunikationsqualität im Kfz 133
8.3.2.3.1 Normalhörende 133
8.3.2.3.2 Hörgeschädigte 134
8.3.3 Zusammenhänge der Items der Kommunikationsqualität 135
8.3.3.1 Normalhörende 135
8.3.3.2 Hörgeschädigte 136
8.3.4 Veränderung der Kommunikationsqualität, der Sprachverständlichkeit und des $BSIM_T$ in Abhängigkeit des SNR 136
8.3.4.1 Normalhörende 137
8.3.4.2 Hörgeschädigte 138

8.3.4.3 Korrelationen zwischen Sprachverständlichkeit bzw. Kommunikationsqualität und den Sprachindizes 139
8.3.5 SRT-basierte Qualitätsniveaus für Kommunikation im Kfz 139
8.3.5.1 Normalhörende 140
8.3.5.2 Hörgeschädigte 140
8.4 Diskussion 142
8.4.1 Methodische Betrachtungen 143
8.4.1.1 Mittelwerte der Items in Abhängigkeit des SNR 143
8.4.1.2 Beiträge der Items zur Kommunikationsqualität 143
8.4.1.3 Qualitativer Vergleich der SNR- und SRT-basierten Kommunikationsqualität im Kfz 144
8.4.2 Zusammenhänge der Items der Kommunikationsqualität 145
8.4.3 Veränderung der Kommunikationsqualität, der Sprachverständlichkeit und des $BSIM_T$ in Abhängigkeit des SNR 146
8.4.4 SRT-basierte Qualitätsniveaus für Kommunikation im Kfz 148
8.4.4.1 Normalhörende 148
8.4.4.2 Hörgeschädigte 149
8.4.5 Zusammenfassung 150

9. Gesamtdiskussion **153**
9.1 Modellgüte der Sprachindizes im Kfz 153
9.2 Zusammenhang zwischen den Sprachindizes und der Kommunikationsqualität 155
9.3 Modellgüte der Sprachindizes für Personen mit Höreinschränkungen 155
9.4 Anwendungen in der Infotainmententwicklung der Audi AG 156

10. Zusammenfassung **161**

Literaturverzeichnis **165**

Anhang **171**
A1 Experiment 1 171
A1.1 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten - Normalhörende 171
A1.2 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten - Hörgeschädigte 174
A1.3 Test der Anwendungsvoraussetzungen für das ALM zur Modellgüte des SII und des BSIM in den Validierungs- und Mischbedingungen - Normalhörende 178
A1.4 Test der Anwendungsvoraussetzungen für das ALM zur Modellgüte des SII und des BSIM in den Validierungs- und Mischbedingungen - Hörgeschädigte 179
A1.5 Test der Anwendungsvoraussetzungen für das ALM zum Vergleich der Modellgüte des SII und des BSIM über die Hauptbedingungen - Hörgeschädigte 180
A1.6 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten bzgl. der Modellgüte des $BSIM_T$ - Normalhörende 181

A1.7 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten bzgl. der Modellgüte des $BSIM_T$ - Hörgeschädigte 182
A1.8 Test der Anwendungsvoraussetzung für das ALM zur Modellgüte des $BSIM_T$ mit dem BSIM in den Validierungs- und Mischbedingungen - Normalhörende 183
A1.9 Test der Anwendungsvoraussetzung für das ALM zur Modellgüte des $BSIM_T$ mit dem BSIM in den Validierungs- und Mischbedingungen - Hörgeschädigte 183
A2 Experiment 2 184
A2.1 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten bzgl. der Modellgüte des SII_T und des $BSIM_T$ - Normalhörende 184
A2.2 Test der Anwendungsvoraussetzung für das ALM zur Modellgüte des SII_T und $BSIM_T$ bzgl. der Signalquellen - Normalhörende . . . 185
A2.3 Test der Anwendungsvoraussetzung für das ALM über die empirischen SRTs bzgl. der Signalquellen - Normalhörende 186
A3 Experiment 3 187
A3.1 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten bzgl. SV, KQ und $BSIM_T$ - Normalhörende 187
A3.2 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Normalverteilung der Daten bzgl. SV, KQ und $BSIM_T$ - Hörgeschädigte 190
A3.3 Test der Anwendungsvoraussetzung für das ALM über die SNRs bzgl. SV, KQ und $BSIM_T$ - Normalhörende 193
A3.4 Test der Anwendungsvoraussetzung für das ALM über die SNRs bzgl. SV, KQ und $BSIM_T$ - Normalhörende 194