

# Werteänderungen von Indikatoren der Sprachverständlichkeit in nicht-muttersprachlichem Kontext

Klaus-Hendrik Lorenz-Kierakiewitz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Peutz Consult GmbH, 40599 Düsseldorf, E-Mail: khl@peutz.de

## Einleitung

Dieser Beitrag befasst sich mit Änderungen der Werte der Indikatoren für Sprachverständlichkeit STI und AL<sub>cons</sub> in (nicht-)muttersprachlichen Situationen. Im Jahre 2006 wurden dazu in der frisch modernisierten Tonhalle Düsseldorf zwei Sprachverständlichkeitstests mit Logatomlisten in verschiedensprachigen Trägersätzen und 17 bzw. 37 Probanden durchgeführt. Die Stimuli bestanden aus pro Liste jeweils 25 reflexionsarm aufgenommenen Trägersätzen in den Sprachen Deutsch, Niederländisch, Englisch und Französisch mit verschiedenen Sets koartikulierter Logatome, welche über einen Lautsprecher mit Sprechercharakteristik wiedergegeben wurden. Die von den Probanden notierten Logatome wurden auf den Prozentsatz falsch verstandener Konsonanten hin ausgewertet. Weiters wurde an einer Position in Saalmitte die binaurale Raumimpulsantwort gemessen, um die nachhallfreien Sprachaufnahmen, gefaltet mit dieser Raumimpulsantwort für einen CD-basierten Hörtest mit mehr als 50 deutschsprachigen Probanden zu verwenden. In Abhängigkeit von Muttersprache und Sprachkenntnissen wurde untersucht, wie sich die Werte der Indikatoren für Sprachverständlichkeit AL<sub>cons</sub> (und daraus konvertiert STI) in Abhängigkeit von Trägersprache, Muttersprache und Sprachkenntnissen ändern. Dabei resultierten mit nicht-muttersprachlichen Trägersätzen signifikant schlechtere Werte der Indikatoren für Sprachverständlichkeit als mit muttersprachlichen Trägersätzen.

Diese Tendenz konnte in der Folge durch Gegenteilstests desselben CD-Hörtests mit Probanden niederländischer und französischer Muttersprache verifiziert werden. Zur Erzielung von Mindest-Sprachverständlichkeiten ergeben sich somit in situativen Kontexten, wo nicht von gleicher Muttersprachlichkeit von Sender und Empfänger ausgegangen werden kann, deutlich höhere Anforderungen an Werte der Indikatoren für Sprachverständlichkeit.

## Wortlistentests in der Tonhalle Düsseldorf

Ursprünglich zur Erforschung des Zusammenhangs zwischen Werten der Indikatoren für Sprachverständlichkeit und (der als gut beurteilten) Podienakustik (siehe [1]) wurden in der frisch modernisierten Tonhalle Düsseldorf im Juni 2006 (Nachhallzeit T<sub>mid</sub> unbesetzt = 2,0 s) zwei Sprachverständlichkeitstests durchgeführt, und zwar am 02.06.2006 in einem ersten Test mit 17 Audio-Professionals, Studenten und Akademikern; sowie in Wiederholung am 14.06.2006, nun jedoch mit 37 Testpersonen, darunter vielen professionellen Orchestermusikern.

Zusätzlich wurden an beiden Tagen Sprachverständlichkeitstests zur Untersuchung der räumlichen Verteilung der Sprachverständlichkeit im Saal durchgeführt,

siehe Abbildung 1, am zweiten Termin samt Messung der Raumimpulsantworten aller Hörerpositionen auf Podium und im Saal.



Abbildung 1: Räumliche Verteilung der Testpersonen der Sprachhörtests im Saal der Tonhalle Düsseldorf, 14.06.2006

## Testdurchführung:

Für die Testdurchführung wurde Folgendes verwendet:

- Künstlicher Sprecher NTI Talkbox am Bühnenrand;
- Je 3 x 25 Wortlisten, mit je 25 Logatomen (Typ: CVC, Konsonant - Vokal - Konsonant) in Trägersätzen der Sprachen D, EN, NL, gesprochen von autochtonen Sprechern, reflexionsarm aufgenommen (Sprecherkabine); 2 der englischen Listen enthielten echte Worte;
- Fragebögen für die Probanden mit den Trägersätzen in D, EN und NL als Lückentexten, siehe Abbildung 2;
- 17 bzw. 37 zumeist deutsche Probanden verteilt auf Podium und insbesondere linear im Saal, siehe Abb. 1.

PEUTZ Sprachverständlichkeitstest 1: Saal				Geschichte: Nationalität: Musikalische Erziehung:										
Name (Abkürz.):				Muttersprache: Beruf:										
Tonhalle Düsseldorf 4...26-06... Alter:				Hörposition: Saal Parke... Reihe: Platz:										
Liste Nr.	SO	SS	SE	Liste Nr.	C	J	II	Liste Nr.	109	110	112			
1. Zuerst kommt	cham	ksf	htr	als „china“.	1. First comes	baak	baa	daa	als „baan“.	11. Ein kommt	baa	baa	baa	als „baan“.
2. Jetzt kommt	cham	ksf	maat	als „china“.	2. Slow comes	baak	baa	lab	als „baan“.	12. Na kommt	soit	ksf	poet	als „soit“.
3. Darauf folgt	ksf	ksn	seag	als „ksf“.	3. Followed by	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	13. Daarna volgt	nos	ksn	ksn	als „nos“.
4. Achten Sie auf	kschb	ksj	ksf	als „kschb“.	4. Attention to	kschb	kschb	ksf	als „kschb“.	14. Let op	ksf	ksn	ksn	als „ksf“.
5. Jetzt kommt	saf	ksf	ksf	als „saf“.	5. Next one is	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	15. Na komt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
6. Und hiernach	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	6. And now	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	16. En hierna	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
7. Dann wieder	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	7. Here you are	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	17. Dan weer	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
8. Es folgt jetzt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	8. And subsequently	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	18. En vervolgens	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
9. Hören Sie auf	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	9. Listen to	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	19. Luister naar	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
10. Und auf	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	10. And to	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	20. En naar	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
11. Dann kommt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	11. Then comes	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	21. Dan komt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
12. Nun folgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	12. It follows	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	22. Nu volgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
13. Darauf folgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	13. Here you are	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	23. Daarna volgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
14. Achten Sie auf	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	14. Now	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	24. Let op	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
15. Nun kommt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	15. Next one is	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	25. En komt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
16. Und hiernach	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	16. Slow comes	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	16. En hierna	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
17. Dann wieder	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	17. Then	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	17. Dan weer	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
18. Es folgt dann	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	18. And hereafter	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	18. En vervolgens	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
19. Hören Sie auf	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	19. Listen to	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	19. Luister naar	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
20. Und jetzt auf	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	20. Followed by	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	20. En naar	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
21. Dann kommt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	21. And to	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	21. Dan komt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
22. Nun folgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	22. Then comes	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	22. Nu volgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
23. Darauf folgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	23. It follows	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	23. Daarna volgt	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
24. Achten Sie auf	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	24. Attention to	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	24. Let op	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.
25. Und zum Schluß	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	25. And finally	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.	25. En tenslotte	ksf	ksf	ksf	als „ksf“.

Abbildung 2: Wortlisten, Trägersätze und Logatome der Sprachtests in der Tonhalle der Trägersprachen D, EN, NL

Zu Vergleichszwecken wurde auch eine Messung der Raumimpulsantworten vom Ort des künstlichen Sprechers zu allen Empfangsorten durchgeführt (Maximalfolgen-

messsystem MLSSA mit Punktschallquelle Q=1; inklusive Berechnung der Werte der Indikatoren STI und AL<sub>cons</sub> aus den omnidirektionalen Messungen (und Konversion des AL<sub>cons</sub> für Q=2,5). Abbildung 3 zeigt die Messergebnisse für den Indikator AL<sub>cons</sub>, bestimmt aus MLSSA und eigenem MATLAB-Skript, sowie korrigiert für den Bündelungsgrad Q=2,5 im Vergleich zu den Werten nach der Theorie von Peutz 1971 [3] und 1988 [4]. Messtechnisch resultierten für den Abstandsbereich von 6 bis 12 m von der Quelle im Saal Werte für AL<sub>cons</sub> von 5 bis 8 %; Vorhersage aus Raumdaten nach [3] war 3 bis 5 %. Auf dem Podium wurden (mit Orchestermobiliar) je nach Empfangsort 2 bis 11 % AL<sub>cons</sub> gemessen, was die gute Beurteilung der Podienakustik durch die Orchestermusiker erklärt (siehe [3]).

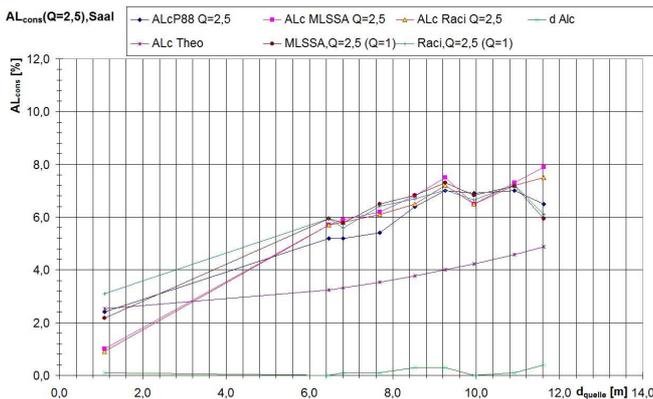


Abbildung 3: Messergebnisse Tonhalle (Saal) pro Empfangsort für Indikator AL<sub>cons</sub>, bestimmt aus MLSSA und MATLAB-Skript

In der Auswertung der ausgefüllten Fragebögen wurde jeder falsch verstandene Konsonant als Fehler markiert und aus den je 3 Wortlisten pro Sprache (=75 Sätze mit 150 Konsonanten der zu erkennenden Logatome) er Prozentsatz nicht korrekt verstandener Konsonanten ermittelt.

### Testergebnisse Spachtests Tonhalle

Für die Testteilnehmer mit deutscher Muttersprache ergaben sich bei ansonsten konstanten Randbedingungen in Abhängigkeit von der Sprache der Trägersätze folgende Mittelwerte der Konsonantenverluste (in Klammern Wertebereiche; blau: Muttersprache = Trägersprache):

Tabelle 1: Konsonantenverluste (Trägersprache) Hörtest Tonhalle

Konsonantenverlust [%]	Trägersprache der Wortlisten		
	D	EN	NL
Mittel Probanden Muttersprache D	14 (08...21)	27 (16...37)	20 (07...50)
dito, gemessene AL <sub>cons</sub> -Werte pro Position abgezogen	07 (02...15)	21 (11...31)	13 (02...43)

In der letzten Zeile obiger Tabelle ist jeweils der Wert angegeben, welcher als individueller Malus der Erkennungsrate a% der Hörer angesehen werden kann. Hierzu wurden pro Position die gemessenen AL<sub>cons</sub>-Werte subtrahiert. D.h., bei gleichen Randbedingungen sorgt die Verschiedensprachigkeit von Trägersätzen und Probanden für signifikant niedrige Konsonanten-Erkennungsrate bzw. signifikant höhere individuelle Malus-Werte der Erkennung.

Diese individuellen Malus-Werte bei den nicht-muttersprachlichen Wortlisten liegen dabei in einem durchweg deutlich höheren Wertebereich als der durch die Raumakustik verursachte Beitrag des rein physikalischen Übertragungswegs (AL<sub>cons</sub> aus Messungen: 5 bis 8 %)

Die in der Tonhalle durchgeführten Sprachhörests zeigen jedoch einerseits durch eine vergleichsweise begrenzte Probandenzahl, andererseits durch die verschiedenen Empfangspositionen eine gewisse Streuung der Ergebnisse. Es war notwendig, die Zahl variierender Faktoren zu verringern: Zur Verifikation der gewonnenen Resultate wurde mit einer binauralen Impulsantwortmessung vom zweiten Tonhallentest hierzu ein weiterer Hörtest vorbereitet und durchgeführt.

### CD-Hörtest

Mit der binauralen Raumimpulsantwort aus der Tonhalle (Position Mitte 1. Parkett, Reihe 5, Messwert 6% AL<sub>cons</sub>, siehe pinke Markierung in Abbildung 1) und den reflexionsarm aufgenommenen verschiedensprachigen Wortlisten wurde ein weiterer Hörtest durchgeführt:

Dabei wurden den Probanden CDs mit total 17 Wortlisten und zugehörigen Fragebögen mit Trägersatz-Lückentexten zur Verfügung gestellt, welche diese mit Kopfhörern abhören und notieren sollten, welche Logatome sie jeweils verstanden hatten. Trägersprachen waren D, NL und F (je 4 Listen) sowie EN (5 Listen, davon 4 mit echten Worten), siehe Abbildung 4. Davon waren pro Sprache die ersten beiden Listen reflexionsarm wie aufgenommen aus der CD enthalten, die restlichen Listen waren mit der binauralen RIA der Kunstkopfmessung in der Tonhalle gefaltet worden.

**Hörtest Sprachverständlichkeit: AUFLÖSUNG Test 7**  
 Auf der beiliegenden CD befinden sich 17 Wortlisten mit je 25 Sätzen. Hören Sie diese bitte über Kopfhörer ab und schreiben Sie bitte pro Satz das Wort in der Mitte jedes Satzes auf, so, wie Sie diese verstanden haben. Es sind stets Wörter der Form Konsonant-Vokal-Konsonant und meist haben sie keine Bedeutung.  
 Beispiele: TAK, DEP, NUK.

Alter: \_\_\_\_\_ Geschlecht: \_\_\_\_\_ Nationalität: \_\_\_\_\_  
 Fremdsprachenkenntnisse: \_\_\_\_\_  
 Muttersprache: \_\_\_\_\_ Beruf: \_\_\_\_\_  
 Musikalische Erfahrung: \_\_\_\_\_

Liste Nr.	19 (Track 1)	22 (Tr. 2)	20 (Tr. 3)	21 (Tr. 4)	Deutsch
1. Zuerst kommt	ren	ren	chem	gel	als „ein“.
2. Jetzt kommt	ren	geg	chem	gel	als „ne“.
3. Darauf folgt	notz	notz	not	not	als „die“.
4. Achten Sie auf	zinn	zinn	schak	not	als „vier“.
5. Jetzt kommt	wes	wes	schak	not	als „fun“.
6. Und hiernach	zamm	zamm	ret	not	als „sech“.
7. Dann wieder	zoh	zoh	sim	not	als „sieben“.
8. Es folgt jetzt	not	not	not	not	als „acht“.
9. Hören Sie auf	fon	fon	not	not	als „neun“.
10. Und auf	not	not	not	not	als „zehn“.
11. Dann kommt	sas	sas	scher	not	als „elf“.
12. Nun folgt	not	not	not	not	als „12“.
13. Dann folgt	not	not	not	not	als „13“.
14. Achten Sie auf	sun	sun	not	not	als „14“.
15. Nun kommt	ten	ten	not	not	als „15“.
16. Und hierauf	not	not	not	not	als „16“.
17. Dann wieder	not	not	not	not	als „17“.
18. Es folgt dann	not	not	not	not	als „18“.
19. Hören Sie auf	not	not	not	not	als „19“.
20. Und jetzt auf	not	not	not	not	als „20“.
21. Dann kommt	not	not	not	not	als „21“.
22. Nun folgt	not	not	not	not	als „22“.
23. Darauf folgt	not	not	not	not	als „23“.
24. Achten Sie auf	not	not	not	not	als „24“.
25. Und z. Schluß	not	not	not	not	als „25“.

Liste no.	K (Tr. 5)	M (Tr. 6)	C (Tr. 7)	N (Tr. 8)	B (Tr. 9)	Englisch
1. First comes	not	not	not	not	not	as "one".
2. Now comes	not	not	not	not	not	as "two".
3. Followed by	not	not	not	not	not	as "three".
4. Attention to	not	not	not	not	not	as "four".
5. Next one is	not	not	not	not	not	as "five".
6. And now	not	not	not	not	not	as "six".
7. Here you are	not	not	not	not	not	as "seven".
8. Listen to	not	not	not	not	not	as "eight".
9. Listen to	not	not	not	not	not	as "nine".
10. And to	not	not	not	not	not	as "ten".
11. Then comes	not	not	not	not	not	as "eleven".
12. It follows	not	not	not	not	not	as "twelve".
13. Here you are	not	not	not	not	not	as "thirteen".
14. Now	not	not	not	not	not	as "fourteen".
15. Next one is	not	not	not	not	not	as "fifteen".
16. Now comes	not	not	not	not	not	as "sixteen".
17. Then	not	not	not	not	not	as "seventeen".
18. And hereafter	not	not	not	not	not	as "eighteen".
19. Listen to	not	not	not	not	not	as "nineteen".
20. Followed by	not	not	not	not	not	as "twenty".
21. And to	not	not	not	not	not	as "twenty-one".
22. Then comes	not	not	not	not	not	as "twenty-two".
23. It follows	not	not	not	not	not	as "twenty-three".
24. Attention to	not	not	not	not	not	as "twenty-four".
25. And finally	not	not	not	not	not	as "twenty-five".

Liste nr.	121 (Track 10)	123 (Tr. 11)	109 (Tr. 12)	105 (Tr. 13)	Niederländisch
1. Eerst komt	goon	kuk	not	not	als „een“.
2. Nu komt	fat	gung	not	not	als „twee“.
3. Daarop volgt	pup	leer	not	not	als „drie“.
4. Let op	reem	muur	not	not	als „vier“.
5. Nu komt	lat	taat	not	not	als „vijf“.
6. En hierna	doeg	nin	not	not	als „zes“.
7. Dan weer	neit	veet	not	not	als „zeven“.
8. En vervolgens	naaf	hees	not	not	als „acht“.
9. Luister naar	zuss	soel	not	not	als „negen“.
10. En naar	law	peif	not	not	als „tien“.
11. Dan komt	mum	bot	not	not	als „elf“.
12. Nu volgt	nies	sus	not	not	als „twaalf“.
13. Daarop volgt	nem	gaar	not	not	als „dertien“.
14. Let op	soer	dat	not	not	als „veertien“.
15. Nu komt	hang	lin	not	not	als „vijftien“.
16. En hierna	gier	laet	not	not	als „zestien“.
17. Dan weer	bir	neip	not	not	als „zeventien“.
18. En vervolgens	dol	duig	not	not	als „achttien“.
19. Luister naar	keep	noop	not	not	als „negentien“.
20. En naar	ruing	not	not	not	als „twintig“.
21. Dan komt	not	not	not	not	als „21“.
22. Nu volgt	wan	fen	not	not	als „22“.
23. Daarop volgt	tuk	row	not	not	als „23“.
24. Let op	tul	tiem	not	not	als „24“.
25. En tenslotte	sit	zon	not	not	als „25“.

Liste Nr.	1 (Track 14)	2 (Tr. 15)	3 (Tr. 16)	4 (Tr. 17)	Französisch
T'abord viens	VOR	TOU	BER	DAK	comme „un“.
Enfin viens	NAC	GUU	CHU	NEU	comme „deux“.
Après succède	COL	BIT	ZOUS	GOR	comme „trois“.
Considé	RON	ROM	SOIN	SON	comme „quatre“.
Il suit	CHUD	DAD	CHOL	BOL	comme „cinq“.
Et après	GOR	TOU	JAL	NEU	comme „six“.
Enfin encore	KAB	GUU	BOC	CAM	comme „sept“.
Ecoute par	CHUR	BIT	FAH	MOF	comme „huit“.
Et par	DAS	MUN	DAN	MOF	comme „neuf“.
Et suivant	LID	DAD	LOH	CHAK	comme „dix“.
Ensuite viens	MOK	CHIR	MOR	RAT	comme „onze“.
Regarde	ZAK	JAM	LAIN	SUF	comme „douze“.
Après succède	LOT	ROT	MOUR	TOS	comme „treize“.
Vailler	GUS	LOW	MES	MEG	comme „quatorze“.
Alors	TID	AD	GUH	GIF	comme „quinze“.
Et après	BR	TAL	TK	SK	comme „seize“.
Puis encore	DAF	ZOUC	COR	LOM	comme „17“.
Regarde	ZOUT	MEUN	FEU	MEU	comme „18“.
Ecoute par	ZOUN	TIN	VI	VEU	comme „19“.
Et par	BD	GUD	ZOUD	SOT	comme „vingt“.
Alors viens	LIF	VUL	ROK	NUS	comme „21“.
Ecoute par	TIT	GUL	ROK	DAN	comme „22“.
Après volgt	TIT	GUL	ZOUL	PL	comme „23“.
Vailler	CON	BIN	BIS	LUS	comme „24“.
Et finalement	ROD	COK	COD	MEUK	comme „25“.

Abbildung 4: Wortlisten, Trägersätze und Logatome des CD-Sprachtests in den Trägersprachen D, EN, NL und F

Dies ermöglichte es, diesen erweiterten Sprachverständlichkeitstest unter gleichen Randbedingungen einer identischen Empfangsposition von einer größeren Zahl von Probanden verschiedener Muttersprachlichkeit durchführen zu lassen, und zwar zunächst 52 Probanden deutscher Muttersprache, vorwiegend musizierenden Studenten.

Die von den Probanden ausgefüllten Logatomwerten wurden analog zum oben beschriebenen Prozedere ausgewertet, wobei zunächst die reflexionsarmen Wortlisten und die mit der binauralen Raumimpulsantwort der Tonhalle gefalteten Listen getrennt ausgewertet wurden. Dabei ergab sich, dass der Hörereinfluss  $a\%$  noch stets individuell variierend ist. Über die Anzahl der Testteilnehmer wurden daher die Ergebnisse wiederum gemittelt.

Für die Testteilnehmer mit deutscher Muttersprache ergaben sich bei ansonsten konstanten Randbedingungen in Abhängigkeit von der Sprache der Trägersätze und dem Stimulus (reflexionsarm/gefaltet mit binauraler RIA (BIR) aus der Tonhalle) folgende Mittelwerte der Konsonantenverluste:

**Tabelle 2:** CD-Hörtest: Mittelwerte Konsonantenverluste {und daraus konvertierte STI-Werte}, Probanden Muttersprache **D**

Konsonantenverlust [%] {konvertierte STI-Werte}	Trägersprache der Wortlisten			
	D	NL	EN	F
Mittelwert Probanden Muttersprache <b>D</b> , gefaltet mit BIR Tonhalle	<b>08,2</b> {0,56}	<b>15,4</b> {0,44}	<b>20,6</b> {0,39}	<b>20,1</b> {0,39}
dito, gemessene $AL_{cons}$ -Werte der BIR (6%) abgezogen	<b>02,2</b> {0,80}	<b>09,4</b> {0,54}	<b>14,6</b> {0,45}	<b>14,1</b> {0,46}
Mittelwert Probanden Muttersprache <b>D</b> , reflexionsarme Wortlisten	<b>07,4</b> {0,58}	<b>09,6</b> {0,53}	<b>13,8</b> {0,46}	<b>15,9</b> {0,44}

In den letzten beiden Zeilen obiger Tabelle ist wiederum jeweils der Wert angegeben, welcher als individueller Malus der Erkennungsrate  $a\%$  der Hörer angesehen werden kann, welcher abhängig ist davon, ob die Trägersätze in der Muttersprache dargeboten werden. Hierzu wurde in Zeile 2 der gemessene  $AL_{cons}$ -Wert der Kunstkopffosition (6,0%) von den Mittelwerten in Zeile 1 subtrahiert, was einen besseren Vergleich mit den Mittelwerten in Zeile 3 ermöglicht, welche sich mit den reflexionsarmen Stimuli einstellen.

Nach Farrel Becker (zitiert nach [5]) ist es möglich, aus STI-Messungen über die empirisch gefundene Gleichung (1)  $AL_{cons}$ -Werte zu konvertieren:

$$AL_{cons} = 170,5405 \cdot e^{-5,419 \cdot STI} \quad [\%] \quad (1)$$

Es ist dazu anzumerken, dass diese Konversion eigentlich nur den physikalischen Anteil des Übertragungswegs erfasst. Dennoch ist es möglich, die obige Beziehung nach dem STI umzustellen und von den beide Einflüsse - den physikalischen Übertragungsweg und den Aspekt der Muttersprachlichkeit - beschreibenden  $AL_{cons}$ -Werten auf dementsprechende STI-Werte zu schließen.

Im hier betrachteten Fall wurde diese zusätzliche Darstellung gewählt, um die Verringerung der Sprachverständlichkeit, welche aus dem nicht-physikalischen Kontext der Nicht-Muttersprachlichkeit resultiert, und welche sich in der Erhöhung des  $AL_{cons}$  um den individuellen Malus manifestiert, auch im Kontext der Werte des STI darzustellen {siehe Werte in geschweiften Klammern in den Tabellen 2 bis 4}.

## Ergebnisse CD-Hörtest mit Vergleichsgruppen

In der Folge wurde der CD-Hörtest zusätzlich auch mit zwei Vergleichsgruppen anderer Muttersprache durchgeführt, und zwar der Muttersprache NL (14 Probanden, vornehmlich beratende Ingenieure) sowie der Muttersprache Französisch (7 Probanden, vornehmlich beratende Ingenieure).

Die Ergebnisse der beiden Vergleichsgruppen wurden analog zur oben beschriebenen Vorgehensweise ausgewertet und sind in den folgenden beiden Tabellen aufgeführt.

**Tabelle 3:** CD-Hörtest: Mittelwerte Konsonantenverluste {und daraus konvertierte STI-Werte}, Probanden Muttersprache **NL**

Konsonantenverlust [%] {konvertierte STI-Werte}	Trägersprache der Wortlisten			
	D	NL	EN	F
Mittelwert Probanden Muttersprache <b>NL</b> , gefaltet mit BIR Tonhalle	<b>09,4</b> {0,54}	<b>10,0</b> {0,52}	<b>19,8</b> {0,40}	<b>21,1</b> {0,39}
dito, gemessene $AL_{cons}$ -Werte der BIR (6%) abgezogen	<b>03,4</b> {0,72}	<b>04,0</b> {0,69}	<b>13,8</b> {0,46}	<b>15,1</b> {0,45}
Mittelwert Probanden Muttersprache <b>NL</b> , reflexionsarme Wortlisten	<b>09,5</b> {0,53}	<b>03,8</b> {0,70}	<b>14,0</b> {0,46}	<b>14,8</b> {0,45}

**Tabelle 4:** CD-Hörtest: Mittelwerte Konsonantenverluste {und daraus konvertierte STI-Werte}, Probanden Muttersprache **F**

Konsonantenverlust [%] {konvertierte STI-Werte}	Trägersprache der Wortlisten			
	D	NL	EN	F
Mittelwert Probanden Muttersprache <b>F</b> , gefaltet mit BIR Tonhalle	<b>13,5</b> {0,47}	<b>23,8</b> {0,36}	<b>18,2</b> {0,41}	<b>10,7</b> {0,51}
dito, gemessene $AL_{cons}$ -Werte der BIR (6%) abgezogen	<b>07,5</b> {0,58}	<b>17,8</b> {0,42}	<b>12,2</b> {0,49}	<b>04,7</b> {0,66}
Mittelwert Probanden Muttersprache <b>F</b> , reflexionsarme Wortlisten	<b>18,7</b> {0,41}	<b>19,2</b> {0,40}	<b>14,4</b> {0,46}	<b>05,3</b> {0,64}

Die Ergebnisse bei identischer Sprache von Trägersätzen und Muttersprache der Probanden (in obigen Tabellen blau markiert) zeigen sehr ähnliche Werte, woraus zu schließen ist, dass die jeweiligen autochtonen Sprecher der Wortlisten gut verständliche artikuliert haben.

Bei der Auswertung fiel weiterhin auf, dass nicht bei jedem Proband die reflexionsarm aufgenommenen Wortlisten die höchsten Erkennungsraten von Konsonanten aufwiesen: es gab Probanden, deren Erkennungsraten der Konsonanten durch den moderaten Raumeinfluss der binauralen

Raumimpulsantwort höher ausfiel als in den beinahe nachhallfreien Listen, was unter Umständen daran liegen könnte, dass leicht verhallte Konsonanten länger hörbar sind, was individuell die Erkennung erleichtern könnte.

## Zusammenfassung

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse des CD-Hörtests die Ergebnisse der Sprachtests in der Tonhalle nachdrücklich:

- eine Verschiedenheit der Sprache der Trägersätze und der Muttersprache Probanden sorgt für signifikant niedrigere Konsonanten-Erkennungs-raten bzw. signifikant höhere individuelle Malus-Werte der Konsonantenerkennung gegenüber dem gleichsprachlichen Fall.
- Die Erkennungsrate von Konsonanten und somit die durch Wortlisten messbare Sprach-verständlichkeit sinkt in nicht-muttersprachlichen Kontexten signifikant ab.

Die Ergebnisse der beiden Vergleichsgruppen mit niederländischen und mit französischen Muttersprachlern als Probanden fallen sehr ähnlich aus wie die Ergebnisse der größeren Probandengruppe mit deutscher Muttersprache:

- die Konsonantenerkennungsrate ist bei weitem am höchsten, wenn Muttersprache und Sprache der Trägersätze in den Logatomhörtests identisch ist.
- Dann wurden mit reflexionsarmen Stimuli Konsonantenverluste von im Mittel 2 bis 7 % erreicht - dies stellt den jeweils individuellen Konsonanten-Erkennung-Malus a% der Hörenden dar - entsprechend daraus konvertierten STI-Werten von ca. 0,6 und darüber.
- Bei unterschiedlicher Sprache der Trägersätze und Muttersprache der Probanden sinken die mittleren Konsonantenerkennungs-raten ab;
- mit reflexionsarmen Stimuli bei nahe verwandten Sprachen wie D und NL auf im Mittel ca. 10%, entsprechend daraus konvertierten STI-Werten von ca. 0,52 bis ca. 0,53.
- mit reflexionsarmen Stimuli bei weniger stark verwandten Sprachen wie EN bzw. FR auf im Mittel ca. 14% bis 16%, entsprechend daraus konvertierten STI-Werten von ca. 0,45 bis ca. 0,49.
- mit reflexionsarmen Stimuli bei wenig verwandten Sprachen wie FR und D bzw. NL auf Werte von ca. 18% bis 20% ab, entsprechend daraus konvertierten STI-Werten von ca. 0,40 bis ca. 0,42.

Je nach Verschiedenheit Muttersprache der Hörenden und Sprache der Trägersätze ist somit zu berücksichtigen, dass die Erkennungsrate der Konsonanten und damit die durch Logatomlisten direkt messbare Sprachverständlichkeit deutlich einbrechen kann, obwohl sich am physikalischen Übertragungsweg sonst nichts weiter ändert.

Dieser Effekt ist also unabhängig vom physikalischen Übertragungspfad, der bei nicht-reflexionsarmen

Übertragungen noch die Verständlichkeit verringern hinzu kommt.

Dies bedeutet, dass für eine gleich große Verständlichkeit in nicht-muttersprachlichen Kontexten Zuschläge {bzw. Abschläge} für die Indikatoren der Sprachverständlichkeit für die Verringerung der Konsonantenerkennungsrate {bzw. den daraus konvertierten STI} berücksichtigt werden sollten, und zwar in den folgenden Größenordnungen:

- bei nahe verwandten Sprachen wie D und NL zusätzliche Abschläge der Erkennungsrate / zusätzliche Erhöhung des  $AL_{\text{cons}}$  um ca. + 5%;
- bei entfernter verwandten Sprachen wie EN und FR zusätzliche Abschläge der Erkennungsrate / zusätzliche Erhöhung des  $AL_{\text{cons}}$  um ca. + 10%;

## Schlussfolgerung

Sind also bei sprachlicher Kommunikation Nicht-Muttersprachler Zielgruppe, und / oder ist davon auszugehen, dass Fremdsprachen verwendet werden, dann muss eigentlich, damit die Sprachverständlichkeit für die betroffenen Nicht-Muttersprachler so hoch ausfallen kann wie im gleichsprachigen Fall von Muttersprache der Hörer und verwendeter Sprache, für signifikant höhere Übertragungsqualität des physikalischen Übertragungswegs geplant und gesorgt werden als in dem Fall, wo die Kommunikationssprache stets identisch der Muttersprache der Hörer (und Sprecher) ist.

Es ist somit eine große Herausforderung, in üblichen akustischen Umgebungen eine gute Sprachverständlichkeit mit Verschiedensprachigkeit von Sprecher und Hörer zu realisieren.

## Literatur

- [1] Lorenz-Kierakiewitz, K.-H.; Vercammen, M.: Podienakustik und Sprachverständlichkeit in Konzertsälen, DAGA-Fortschritte der Akustik, Dresden 2008
- [2] ISO TR 4870: Acoustics – The construction and calibration of speech intelligibility tests. Genf 1991
- [3] Peutz, V.M.A.: Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room. J. Audio Eng. Soc., Vol. 19, Nr. 11, Dec. 1971
- [4] Peutz, V.M.A.: Speech Information and Speech Intelligibility. Preprint Audio Eng. Soc. 85. Conv. 1988
- [5] Davis, D., Patronis, E.: Sound System Engineering, New York, London 2014