

Die STI-Matrix – ein Verfahren zur Bewertung und Beurteilung von Restaurants, Büros und anderen Aufenthaltsräumen

Wolfgang Probst, Michael Böhm, Gilching

Zusammenfassung In Restaurants, Büros und anderen Aufenthaltsräumen handelt es sich bei beklagten Lärmproblemen meist um die Störung durch das unerwünschte Verstehen der Sprache aus anderen Bereichen oder aber auch um eine als zu schlecht empfundene Sprachverständlichkeit innerhalb des eigenen Kommunikationsbereichs. Mit dem Speech-Transmission-Index STI, mit dem eigentlich die Übertragungsqualität von Sprache zwischen einer Sprecher- und einer Hörerposition quantifiziert wird, kann bei Voraussetzung der situationsbedingt zutreffenden Emission an den Sprecherpositionen die Verstehbarkeit von Sprache an jedem einzelnen Arbeitsplatz beurteilt werden. Da der STI die Verringerung der Modulationstiefe aufgrund des Nachhalls im Raum unter Einbeziehung der Verdeckung bei lauten und der Hörschwelle bei leisen Geräuschen sowie aufgrund verdeckender Hintergrundgeräusche beschreibt, ist er das richtige Maß, um Fragen der potenziellen Störung durch Sprachschall oder auch der Sicherstellung eines angenehmen akustischen Klimas für entspannte Unterhaltung beantworten zu können. Mit den nunmehr verfügbaren Simulationstechniken eröffnen sich dabei völlig neue Möglichkeiten zur Prognose und zur Beurteilung unterschiedlicher Varianten bei der Planung von Restaurants, Büros und anderen im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit kritischen Aufenthaltsräumen und Arbeitsstätten. Mit diesem Beitrag wird mit der STI-Matrix ein neues Verfahren zur Bewertung der akustischen Qualität derartiger Räume mit einem einfachen Beispiel vorgestellt.

Der Schalldruckpegel von Sprache und der Sprachübertragungsindex STI zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit

Nach DIN EN ISO 3382-3 [1] sowie nach VDI 2569 [2] wird für Büros der A-bewertete Schalldruckpegel von Sprache und sein räumliches Abklingen entlang festgelegter Messpfade über die daraus abgeleitete räumliche Abklingrate der akustischen Beurteilung zugrunde gelegt. Ebenso wird der Sprachübertragungsindex STI entlang dieser Pfade sowie der daraus abgeleitete Ablenkungsabstand r_D mit einem STI von 0,5 sowie der Vertraulichkeitsabstand r_p mit einem STI von 0,2 bestimmt. Mit der Richtlinie VDI 2569 sind auch maximale Nachhallzeiten festgelegt, die für die Einordnung in festgelegte Raumakustik-Klassen nicht überschritten werden dürfen. Ähnliche, aber auch auf andere Raumnutzungen bezogene Festlegungen sind in DIN 18041 [3] getroffen.

Die auf Messpfade bezogenen Festlegungen in den genannten Normen und Richtlinien sind vor allem auf die Messung ausgerichtet. Dies erklärt auch, warum das für die Bestimmung des STI so wesentliche Fremd- und Hintergrundgeräusch völlig außer Betracht bleibt – die zu bestimmenden Kennwerte sollen im zwar fertig ausgestatteten, aber noch nicht durch Menschen genutzten Raum messtechnisch bestimmt werden können.

The STI Matrix – a method to assess the acoustic quality of restaurants, offices and other rooms with people communicating

Abstract In restaurants, offices and other rooms, the complaints about noise problems are usually caused by the disturbance due to the unwanted understanding of speech from other areas, or a poor understanding of speech within one's own communication area. With the Speech Transmission Index STI, which quantifies the transmission quality of speech between a speaker and a listener position, the intelligibility of speech at each individual place can be assessed assuming the situation-appropriate emission at the speaker positions. Since the STI describes the reduction of the modulation-depth due to the reverberation in the room, including the masking with high and the hearing threshold with low levels and the level of the background noise, it is the right quantity to decide about a possible disturbance by speech or to questions of potential interference with speech or even to assess the acoustic quality and to ensure the conditions necessary for relaxed communication. The acoustic simulation techniques nowadays available open up completely new techniques for the prediction of the acoustic quality of planned restaurants, offices and other rooms where the intelligibility of speech may be important. With this contribution the STI-Matrix is introduced as a new method to evaluate the acoustic quality of such rooms.

Die praktische Anwendung dieser STI-Bestimmung auf Messpfaden zeigt allerdings, dass sich ohne Berücksichtigung eines Grundgeräuschpegels keine mit der Erfahrung übereinstimmende Beurteilung durch die Prognose des STI ergibt. Auch wenn der Schalldruckpegel eines Sprachgeräuschs durch absorbierende und abschirmende Maßnahmen in größeren Abständen Sprecher – Hörer erheblich reduziert werden kann, bleibt der ohne Berücksichtigung eines Hintergrundgeräuschs oder gar der Hörschwelle bestimmte STI nahezu unverändert. Dies entspricht auch den beobachtbaren Tatsachen – in einem extrem ruhigen und bedämpften Raum ist die Sprache auch bei leisem Flüstern noch verstehbar. Nur die Berücksichtigung des betriebsbedingt unvermeidbaren untersten Geräuschniveaus und der Abnahme des Sprachgeräuschpegels zusammen führen zur einer Beurteilung, die auch der praktischen Erfahrung bei der Durchführung raumakustischer Maßnahmen entspricht.

Diese in den auf Messung bezogenen Normen geltende Beschränkung auf eine „fremdgeräuschfreie“ Bestimmung des STI gilt nicht für die Simulationsrechnung und die planerische Prognose. Und es ist ja auch tatsächlich so, dass der Grund für die negative Beurteilung eines Restaurants wegen der „schlechten Akustik“ meist darin liegt, dass die miteinander sprechenden Menschen einen Schalldruckpegel verursachen, der das Hören und Verstehen des eigenen Gesprächspartners erschwert

und eine entspannte Unterhaltung somit verhindert. Nachhallzeiten, Abklingraten und andere Kenngrößen sind stets nur indirekte diesen eigentlichen Effekt beeinflussende Parameter, während der mit der vorgesehenen Betriebsweise sich ergebende STI mit dem Gesprächspartner als Quelle unter Berücksichtigung des von allen anderen Personen erzeugten Hintergrundpegels die Kernaussage liefert.

Die Parameterabhängigkeit des STI ist zwar für das Folgende wesentlich, soll aber hier nicht weitergehend erläutert werden. Die grundlegenden Zusammenhänge enthält die seiner Definition zugrunde liegende Norm IEC 60268-16 [4] und in einem Beitrag in dieser Zeitschrift [5] ist das Konzept des STI und seine Anwendung ausführlich behandelt worden. Eine knappe und praxisbezogene Abhandlung des STI und seines Bezugs zur Raumakustik in den eingreifenden Normen enthält das Buch von Nocke [6].

Die Beurteilung der Sprachverständlichkeit aufgrund des STI

Zur Beurteilung von Räumen, in denen die menschliche Kommunikation eine wesentliche Rolle spielt, sind folgende Ausgangsdaten wesentlich. **Tabelle 1** setzt den Stimmaufwand beim Sprechen mit dem A-bewerteten Schalleistungspegel des vom Sprecher emittierten Sprachschalls in Beziehung und **Tabelle 2** zeigt mit ΔL_{speech} die Verteilung der Pegel auf die Oktavfrequenzbänder für männliche Stimmen (diese Werte sind bereits in [5] mitgeteilt und werden nur wegen der angestrebten Vollständigkeit dieses Beitrags wiederholt).

Zur Ermittlung des Schalleistungspegel-Frequenzspektrums von Sprachgeräuschen wird zu den Werten ΔL_{speech} in Tabelle 2 der für den Sprachaufwand zutreffende Wert aus Tabelle 1 adiiert.

Nachdem der Sprecherposition die gewünschte Emission zugewiesen und über eine Simulationsberechnung unter Berücksichtigung des Hintergrundgeräuschpegels für die Hörerposition der STI berechnet ist, kann die Beurteilung unter Berücksichtigung der in **Tabelle 3** genannten Bewertungsskala erfolgen.

Im Prinzip gibt es zwei unterschiedliche Anforderungen zwischen je zwei Bereichen, an denen sich Menschen aufhalten: Entweder die sprechende Person am Ort P1 soll von einer hörenden Person am Ort P2 gut verstanden werden (Sprecher und Hörer innerhalb eines Kommunikationsbereichs), oder es soll gewährleistet sein, dass der Inhalt des Gesprochenen möglichst nicht verstanden wird (Sprecher und Hörer in unterschiedlichen Kommunikationsbereichen).

Diesen Anforderungen kann auch durch eine Ampel-Farbkennzeichnung Rechnung getragen werden, wobei zu unterscheiden ist, ob das Ziel eine möglichst gute Sprachverständlichkeit bei entspannter Unterhaltung oder eben eine schlechte Sprachverständlichkeit zur Wahrung von Vertraulichkeit oder zur Sicherstellung von ungestörtem konzentrierten Arbeiten sein soll (**Tabelle 4**).

Allerdings kann eine gewünschte schlechte Sprachverständlichkeit zwischen unterschiedlichen Arbeitsplätzen im Büro oder zwischen unterschiedlichen Tischen im Restaurant auch durch einen unakzeptabel hohen Hintergrundgeräuschpegel erreicht werden – es ist offensichtlich, dass auch in solchen Fällen das akustische Klima des Raumes als schlecht empfunden wird, obwohl die den STI betreffende Anforderung erfüllt ist. Diesem Kriterium wird durch die in **Tabelle 5** genannten Werte des Hintergrundpegels Rechnung getragen.

Tabelle 1. A-bewerteter Schalleistungspegel sprechender Menschen in Abhängigkeit vom Sprechaufwand (nach Lazarus, 1986).

Sprechaufwand	L _{WA} dB
flüstern	47
leise	53
sehr entspannt	59
normal entspannt	65
normal angehoben	71
erhoben	77
laut	83
sehr laut	89
schreien	95

Tabelle 2. Auf einen A-bewerteten Gesamtpegel 0 dB normierte lineare Bandpegel ΔL_{speech} von männlicher Sprache (nach [4]).

Frequenz Hz	125	500	1000	2000	4000	8000
ΔL_{speech} dB	2,9	-0,8	-6,8	-12,8	-18,8	-24,8

Tabelle 3. Die Qualität der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Wert des STI, Auszug aus Tabelle F.1, DIN EN ISO 9921 [7].

Wertebereich STI	Sprachverständlichkeit
0,75 bis 1,00	sehr gut
0,60 bis 0,75	gut
0,45 bis 0,60	befriedigend
0,30 bis 0,45	schlecht
0,00 bis 0,30	sehr schlecht

Tabelle 4. Mögliche Kennzeichnung der Erfüllung von Anforderungen hinsichtlich Sprachverständlichkeit.

Sprecher und Hörer im selben Bereich		
Wertebereich	Qualifizierung	Farbe
STI ≥ 0,6	gut	grün
0,45 ≤ STI < 0,6	befriedigend	gelb
STI < 0,45	schlecht	rot
Sprecher und Hörer nicht im selben Bereich		
Wertebereich	Qualifizierung	Farbe
STI ≤ 0,2	gut	grün
0,2 < STI ≤ 0,45	befriedigend	gelb
STI > 0,45	schlecht	rot

Tabelle 5. Qualifizierung aufgrund des Hintergrund-Geräuschpegels.

Hintergrundpegel für beide Fälle		
Wertebereich L _{ambient}	Qualifizierung	Farbe
L _{ambient} < 35 dB(A)	gut	grün
35 dB(A) ≤ L _{ambient} < 50 dB(A)	befriedigend	gelb
L _{ambient} ≥ 50 dB(A)	schlecht	rot

Es erscheint sinnvoll, von den beiden Einstufungen der akustischen Qualität für einzelne Raumbereiche nach Tabelle 4 und Tabelle 5 die jeweils ungünstigere als kennzeichnend und final für diesen Bereich zu betrachten.

Die hier gewählten Bereichsgrenzen für STI und Hintergrund-Geräuschpegel werden für allgemeine Anwendungsfälle vorgeschlagen – sie können im konkreten Planungsfall selbstverständlich an die individuellen Anforderungen angepasst werden.

Das Konzept der STI-Matrix

Die Beurteilung von Räumen durch Bestimmung des Sprachpegels und insbesondere des STI auf möglichst geraden Messpfaden entlang von Arbeitsplätzen oder Aufenthaltsorten mag für eine messtechnische Untersuchung bei der Abnahme nach Fertigstellung sinnvoll sein – für die Planung und insbesondere zur Beurteilung von Planungsalternativen unter Anwendung von Simulationsrechnungen bieten sich aber wesentlich leistungsfähigere Verfahren an. Die Messpfade nach DIN EN ISO 3382-3 oder nach VDI 2569 können auf unterschiedliche Weise angeordnet werden und die daraus abgeleiteten Kennwerte sind deshalb relativ unpräzise. Wenn Arbeitsplätze voneinander abgeschirmt sind – z. B. durch auf den Schreibtisch aufgesetzte Teilschirme – ergeben sich insbesondere wegen der Anforderung, dass der erste Punkt des Pfads vor dem Schirm liegen muss erhebliche Probleme, weil die Sprecherposition selbst nur einen geringen Abstand vom Schirm hat.

Statt durch die Maßpfad-Anordnung einige wenige Sprecherpositionen als repräsentativ zu betrachten, wird nach dem hier vorgestellten Konzept die Sprachverständlichkeit zwischen allen möglichen Paarungen Sprecher – Hörer aus der Gesamtheit der Arbeitsplätze/Aufenthaltsorte bestimmt. Hierzu werden also mit jedem Arbeitsplatz/Aufenthaltsort als Quelle an jeweils allen anderen Plätzen die Impulsantworten berechnet. Weiter

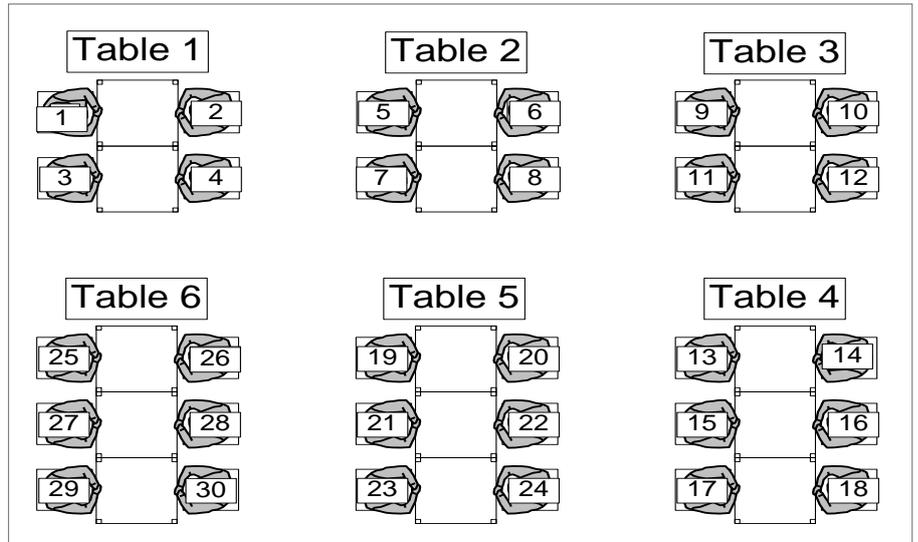


Bild 1. Nummerierung der Tische (Bereiche) sowie der Plätze.

wird jedem dieser Plätze der zu erwartende Hintergrundpegel zugewiesen. Bei Büros mit Publikumsverkehr kann zum Beispiel die Annahme eines von der vorgesehenen Nutzung abhängigen klassierten Pegels oder die Abschätzung eines von der raumluftechnischen Anlage bestimmten Hintergrundpegels sinnvoll sein. Für Restaurants und ähnliche Nutzungen ergibt sich der Hintergrundpegel durch die übrigen kommunizierenden Personen im Raum. Das Verfahren wird im Folgenden an dem in [5] beschriebenen Planungsbeispiel in seinen Grundsätzen erläutert.

Planungsbeispiel Kantine bzw. Restaurant

Aus Gründen der Übersichtlichkeit und Transparenz wird bewusst dieses einfache Beispiel einer Kantine mit wenigen Tischen verwendet. Das Verfahren stellt aber – wenn es die zur Verfügung stehende Rechnerleistung gestattet – keine Anforderungen an Größe und Art des zu beurteilenden Raumes. Aus Darstellungsgründen wird nur eine Variante V0 ohne (Bild 22 in [5]) und eine weitere Variante V1 mit schalltechnischen Maßnahmen

		Sprecher																		Beurteilung
		T1				T2				T3				T4						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	
Hörer	T1	P1																		
		P2																		
		P3																		
		P4																		
	T2	P5																		
		P6																		
		P7																		
		P8																		
	T3	P9																		
		P10																		
		P11																		
		P12																		
	T4	P13																		
		P14																		
		P15																		
		P16																		
P17																				
P18																				

Bild 2. Die vollständige Matrix zur Beschreibung von Paarbeziehungen zwischen den Plätzen (auf 4 Tische bzw. Bereiche beschränkte Darstellung).

men (Bild 25 in [5]) zugrunde gelegt – in der Praxis werden die im folgenden beschriebenen Schritte für alle untersuchten Alternativen durchlaufen.

Die Tische (Bereiche) sind in diesem Beispiel von 1 bis 6 nummeriert, die Plätze von 1 bis 30. Damit gibt es 870 Sprecher – Hörer Beziehungen, die zu beurteilen sind (**Bild 1**).

Die Einbeziehung aller dieser 870 „Sprachkanäle“ ist eine weit über die konventionelle Beurteilungstechnik hinausgehende Methodik, die durch den Stand der diesbezüglichen Softwaretechnik möglich wird und durch die Erfassung aller Plätze ein wesentlich vollständigeres Bild als die Bestimmung auf festgelegten Messpfaden liefert. Die mit jeder Kombination von Sprecher – Hörer ermittelten Kenngrößen wie insbesondere der letztlich erwartete Hintergrundpegel sowie der STI werden in Matrixform entsprechend **Bild 2** der jeweiligen Sprecher- und Hörerposition zugeordnet.

Die zu einem Tisch im Restaurant – oder auch zu einzelnen Kommunikationszonen in einer Bürolandschaft – gehörenden Plätze sind jeweils nebeneinander angeordnet. Durch diese Gruppierung ergeben sich in der Diagonale die – hier farblich gekennzeichneten – Bereiche, in denen eine gute Sprachverständlichkeit angestrebt wird und die im Hinblick auf den STI nach der oberen Hälfte der Tabelle 4 zu beurteilen sind. Für alle restlichen Bereiche ist eher Vertraulichkeit erwünscht und damit die untere Hälfte von Tabelle 4 heranzuziehen.

Für Restaurantbetriebe ist es dann sinnvoll, diese platzbezogene Beschreibung zu einfacheren Übersichten entsprechend **Bild 3** auf eine tischbezogene Darstellung zu verdichten. Hierzu können je nach Fragestellung die in einem Rechteck Tisch A – Tisch B stehenden Werte des STI oder des Hintergrundpegels gemittelt werden.

Vollbesetzung eines Restaurants

Im Beispiel von Restaurants und anderen Gaststättenbetrieben ist der wichtigste Zustand sicher die weitestgehende Vollbesetzung. Jeder kennt das Problem – man versteht bei hoher Besetzungsdichte das eigene Wort nicht mehr. Insbesondere für ältere Menschen werden längere Aufenthalte in derartigen Räumen sehr unangenehm und deshalb nach Möglichkeit vermieden.

Je nach Art der Gaststätte wird hier entsprechend dem angestrebten Zustand ein Sprachaufwand „normal entspannt“ oder – bei Weinkellern und Bierhallen mit längeren Tischen – von „normal angehoben“ entsprechend Tabelle 1 vorausgesetzt. Es sei angemerkt, dass dieses verwendete „Emissionsniveau“ keinen Einfluss auf die nachfolgende Beurteilung der Sprachverständlichkeit hat, solange keine weiteren Geräuschquellen zur Maskierung verwendet werden. Setzt man einen hohen Sprachpegel zur Berechnung des STI voraus, weil der Sprecher durch lauterer Sprechen besser verstanden werden will, so trifft diese Voraussetzung auch für die Sprecher an allen anderen Tischen zu und die Differenz zwischen dem Signalpegel vom Sprecher am eigenen Tisch und dem von den Personen an den anderen Tischen verursachten Hintergrundpegel bleibt gleich – dies führt dann bei lauterem Sprechen durch alle Anwesenden zum selben Wert des STI. Allerdings wird die erforderliche Sprachanstrengung größer und das akustische Klima wird entschieden negativer beurteilt werden.

Die Beurteilung bei Vollbesetzung erfolgt aufgrund der zu erwartenden Sprachverständlichkeit nach Tabelle 4 und des dabei zu erwartenden Lärmniveaus, gekennzeichnet durch den ermittelten Hintergrundpegel nach Tabelle 5.

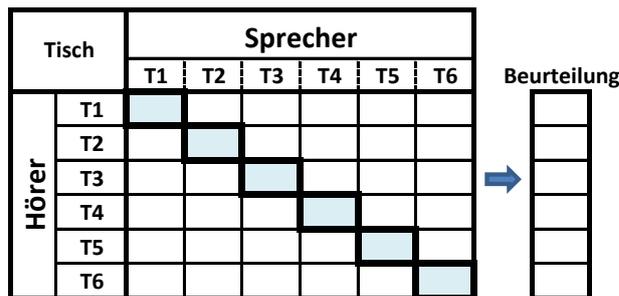


Bild 3. Die bereichsbezogene Matrix (hier für alle 6 Tische) Je nach Betriebszustand, der beurteilt werden soll, können sich die erforderlichen Eingangsparameter und auch der Ablauf unterschiedlich gestalten.

Tisch		Sprecher					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Hörer	T1	0,42	0,29	0,20	0,18	0,24	0,30
	T2	0,25	0,39	0,29	0,23	0,25	0,21
	T3	0,18	0,30	0,43	0,31	0,26	0,20
	T4	0,17	0,25	0,31	0,42	0,31	0,20
	T5	0,20	0,25	0,24	0,29	0,38	0,28
	T6	0,29	0,24	0,21	0,21	0,20	0,42

Bild 4. Tischbezogene STI-Matrix für Zustand V0.

Tisch		Sprecher					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Hörer	T1	56,1	54,8	55,5	55,5	55,2	54,8
	T2	56,0	57,1	55,8	56,2	56,1	56,3
	T3	56,1	55,3	56,7	55,4	55,7	56,0
	T4	56,0	55,7	55,3	56,6	55,2	56,0
	T5	56,5	55,7	56,3	56,0	57,2	56,0
	T6	55,2	55,6	55,7	55,7	55,8	56,4

Bild 5. Schalldruckpegel in dB(A) für Zustand V0.

Schwache Besetzung eines Restaurants

Bei schwach besetzten Gaststätten besteht das Hauptproblem in der oft fehlenden Vertraulichkeit, weil einzelne Gespräche an anderen Tischen mitgehört und verstanden werden. Auch dieses Problem entspricht einer häufigen Erfahrung – man sucht ein gemütliches Lokal auf, um ein vertrauliches Gespräch zu führen, stellt aber dann fest, dass die Personen an dem einzigen anderen besetzten Tisch jedes Wort auch bei leiser Unterhaltung mithören. Die Beurteilung erfolgt in ähnlicher Weise wie für die voll besetzte Gaststätte mit folgenden geänderten Annahmen.

Als Sprachaufwand nach Tabelle 1 wird entsprechend „sehr entspannt“ bis „leise“ ein Schalleistungspegel von 55 dB(A) vorausgesetzt. Da nur wenige Tische besetzt sind und der Hintergrundgeräuschpegel somit niedrig und durch nicht vermeidbare zusätzliche Geräuschquellen wie Lüftung und der gleichen bestimmt wird, wird ein einheitlicher von der Art des Lokals abhängiger Pegel – z. B. 30 dB(A) – vorausgesetzt (hier kann aufgrund der individuellen Beurteilung der vorgesehenen technischen Einrichtungen ein anderer Wert erforderlich sein). Mit

		Sprecher																		
		T1				T2				T3				T4						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	
Hörer	T1	P1		0,41	0,58	0,39	0,30	0,24	0,29	0,24	0,21	0,21	0,20	0,19	0,20	0,19	0,19	0,18	0,19	0,18
		P2	0,38		0,35	0,48	0,41	0,28	0,38	0,27	0,22	0,20	0,20	0,19	0,20	0,18	0,20	0,17	0,18	0,16
		P3	0,50	0,36		0,40	0,27	0,22	0,28	0,22	0,20	0,20	0,19	0,19	0,20	0,18	0,19	0,17	0,19	0,17
		P4	0,34	0,52	0,37		0,37	0,26	0,39	0,26	0,21	0,18	0,21	0,18	0,20	0,18	0,19	0,17	0,19	0,17
	T2	P5	0,27	0,39	0,27	0,37		0,38	0,53	0,34	0,26	0,22	0,26	0,22	0,23	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19
		P6	0,17	0,22	0,17	0,22	0,36		0,32	0,47	0,42	0,31	0,39	0,30	0,28	0,26	0,27	0,24	0,25	0,23
		P7	0,24	0,34	0,26	0,37	0,45	0,33		0,36	0,24	0,21	0,24	0,21	0,23	0,21	0,23	0,20	0,23	0,20
		P8	0,16	0,20	0,17	0,22	0,32	0,51	0,34		0,39	0,30	0,40	0,29	0,29	0,26	0,27	0,25	0,26	0,23
	T3	P9	0,15	0,19	0,16	0,20	0,29	0,40	0,28	0,39		0,40	0,53	0,36	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25
		P10	0,18	0,21	0,19	0,20	0,25	0,32	0,25	0,31	0,43		0,38	0,51	0,33	0,36	0,30	0,33	0,28	0,32
		P11	0,14	0,17	0,15	0,19	0,26	0,37	0,27	0,38	0,46	0,35		0,38	0,35	0,32	0,30	0,30	0,28	0,29
		P12	0,16	0,18	0,17	0,19	0,24	0,30	0,25	0,30	0,39	0,55	0,41		0,34	0,39	0,32	0,35	0,31	0,33
	T4	P13	0,14	0,17	0,16	0,18	0,22	0,27	0,23	0,29	0,29	0,29	0,33	0,30		0,38	0,53	0,36	0,38	0,33
		P14	0,15	0,17	0,17	0,19	0,22	0,28	0,23	0,28	0,33	0,36	0,35	0,40	0,40		0,37	0,50	0,34	0,40
		P15	0,14	0,17	0,16	0,18	0,21	0,26	0,24	0,28	0,27	0,27	0,30	0,29	0,46	0,35		0,40	0,55	0,38
		P16	0,16	0,17	0,17	0,19	0,23	0,27	0,24	0,28	0,31	0,34	0,33	0,36	0,39	0,55	0,42		0,39	0,52
		P17	0,14	0,16	0,16	0,19	0,21	0,26	0,24	0,27	0,26	0,26	0,28	0,28	0,37	0,34	0,48	0,38		0,42
		P18	0,16	0,18	0,17	0,19	0,22	0,26	0,24	0,27	0,30	0,32	0,32	0,35	0,36	0,43	0,41	0,56	0,44	

Bild 6. Die platzbezogene STI-Matrix für den Ausgangszustand V0 (ohne zusätzliche Maßnahmen).

Tisch		Sprecher					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Hörer	T1	0,74	0,28	0,02	0,00	0,16	0,43
	T2	0,23	0,70	0,32	0,09	0,22	0,27
	T3	0,02	0,36	0,74	0,34	0,29	0,08
	T4	0,01	0,18	0,44	0,74	0,32	0,02
	T5	0,12	0,18	0,28	0,21	0,69	0,26
	T6	0,38	0,28	0,05	0,05	0,00	0,70

Bild 7. Tischbezogene STI-Matrix für Zustand V1.

Tisch		Sprecher					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Hörer	T1	45,9	44,3	45,8	45,8	45,3	42,8
	T2	46,2	47,4	45,8	47,0	46,6	46,3
	T3	46,2	44,3	46,3	44,8	45,1	46,1
	T4	45,9	45,4	43,3	46,0	44,3	45,9
	T5	46,9	45,4	46,2	46,5	47,4	46,1
	T6	44,7	45,8	46,9	46,9	47,0	47,1

Bild 8. Schalldruckpegel in dB(A) für Zustand V0.

diesen Voraussetzungen werden wiederum für alle Sprecher – Hörer – Kombinationen die STI – Werte bestimmt.

Der Beurteilung für geringe Besetzung wird der STI gemäß dem unteren Teil von Tabelle 4 zugrunde gelegt.

Der Ablauf des Beurteilungsverfahrens für die Vollbesetzung

Die Beurteilung einer bestimmten Planungsvariante für den vollbesetzten Zustand erfolgt in folgenden Schritten:

1. Unter Voraussetzung des Sprechers an einem Platz wird der Schalldruckpegel und die energiebezogene Raumimpulsantwort an allen anderen Plätzen über Simulationsrechnung bestimmt. Diese Berechnung erfolgt nacheinander (oder softwaretechnisch auch parallel) mit dem Sprecher an allen Plätzen im Raum.

2. Bestimmung des erwarteten Hintergrundpegels für jeden Platz aus den so ermittelten Schalldruckpegeln. Die Immission von jedem der anderen Tische wird unter der Annahme bestimmt, dass an jedem dieser Tische jeweils eine Person spricht und die anderen Personen zuhören. Hierzu werden die an der zu beurteilenden Hörerposition ermittelten Pegel von allen Perso-

nen jedes dieser anderen Tische energetisch gemittelt und die so für alle Tische ermittelten Pegel energetisch addiert. Dieser Ablauf erfolgt für alle Plätze.

3. Im dritten Schritt wird – wiederum nacheinander für alle Plätze – aus der im Schritt 1 bestimmten Impulsantwort unter Einbeziehung des im Schritt 2 bestimmten Hintergrundpegels der STI bestimmt.

Dieser Ablauf macht natürlich nur Sinn, wenn er weitestgehend automatisch und programm-gesteuert ablaufen kann.

Beurteilung der Kantine im Ausgangszustand V0 „ohne Maßnahmen“

Für die Kantine im Planungszustand V0 – also ohne besondere schalltechnische Maßnahmen – ergeben sich nach Durchführung der oben beschriebenen Verfahrensschritte die auf einzelne Tische bezogenen verdichteten Darstellungen des STI und des bei Vollbesetzung zu erwartenden Lärmpegels in Form der Tabellen **Bild 4** und **Bild 5**.

Die vollständige und auf die einzelnen Plätze bezogene STI-Matrix, aus der sich die verdichtete tischbezogene Matrix Bild 4 ergeben hat, ist in **Bild 6** dargestellt.

Mit den beiden Tabellen Bild 4 und Bild 5 ist aufgrund der Farbcodierung sofort erkennbar, dass es sich um einen in akustischer Hinsicht negativ zu beurteilenden Kantinenbetrieb handelt. Die roten Diagonalelemente zeigen an, dass die Sprachverständlichkeit an den 6 betrachteten Tischen nicht akzeptabel ist. Dass die Vertraulichkeit durch „Nichtverstehen“ des an anderen Tischen Gesprochenen gewährleistet ist – angezeigt durch gelbe und grüne Farbe außerhalb der Diagonalelemente – wird durch den hohen Geräuschpegel im gesamten Lokal bewirkt. Dies führt dann auch aufgrund der Tabelle Bild 5 zur Negativbeurteilung aller Plätze.

Beurteilung der Kantine im Zustand V1 „mit Maßnahmen“

Wie in [5] mit Bild 25 dargestellt, wurden in diesem aus Darstellungsgründen sehr einfachen Beispiel trotz der schon sehr dichten Anordnung der Tische mit absorbierenden Teiltrennwänden, absorbierenden Wandverkleidungen und einer über der Tischanordnung abgehängten Kulissendecke schalltechnische Maßnahmen eingeplant. Die Neuberechnung des Hintergrundpegels und der STI-Matrix führt nun auf die tischbezogenen Darstellungen **Bild 7** und **8**.

Die Untersuchung zeigt deutlich, welche Vorzüge diese Beurteilung unter Einbeziehung aller Sprecher Hörer Kombinati-

nen aufweist. Durch Automatisierung des Verfahrens ist es über den üblichen Ablauf einer Vorausberechnung hinausgehend nur mehr erforderlich, die Position aller Plätze – zweckmäßig über grafische Eingabe – festzulegen und in der dargestellten Weise nach Tischen zu gruppieren. So kann dann für jede zu prüfende Variante die tischbezogene STI-Matrix unter zusätzlicher Berücksichtigung des zu erwartenden kommunikationsbedingten Lärmpegels in die Beurteilung der akustischen Qualität des Entwurfs einbezogen werden.

Die platzbezogene Gesamtmatrix entsprechend Bild 6 lässt es insbesondere bei der schalltechnischen Planung von Büros auch zu, typischerweise unterschiedliches Emissionsverhalten an den einzelnen Plätzen und auch unterschiedliche Anforderungen für einzelne Teilbereiche zu berücksichtigen. Dies erlaubt dann eine wesentlich gezieltere Planung von auf einzelne Arbeitsplätze bezogenen Einzelmaßnahmen. Für die Planung von Bürolandschaften ergeben sich damit erheblich verbesserte Strategien und es ist – unabhängig von der Präferenz des Planers für derartige Maßnahmen – auf der Basis der STI-Matrix auch möglich, den raum-, bereichs- oder gar platzbezogenen Pegel eines erforderlichen Maskierungsgeräuschs zu bestimmen, um den Anforderungen bezüglich der gewünschten Nichtverstehbarkeit von Sprachinformationen gerecht zu werden.

Ausblick

Das hier vorgestellte Verfahren wurde für die Zwecke der raumakustischen Planung mit Computersimulation entwickelt. Speziell bei der Planung von komplexeren Bürolandschaften mit versetzten Grundrissen, unterschiedlichen Funktionsbereichen und bei einem kreativen Einsatz von abschirmenden und absor-

bierenden Maßnahmen liefert es eine gesamtheitliche Information über die Sprachverständlichkeit im Raum, aus der dann jede erforderliche auf diese Eigenschaft bezogene Beurteilung für jeden einzelnen Arbeitsplatz oder Aufenthaltsort abgeleitet werden kann. Vor einer grundsätzlich sinnvollen Regelung derartiger Beurteilungsverfahren über Normen und/oder Richtlinien ist allerdings noch einiges an Arbeit zu leisten, um auch die mit der Vorausberechnung verbundenen Unsicherheiten im Hinblick auf die berechneten Zielgrößen abschätzen und bei der Beurteilung berücksichtigen zu können.



Dipl.-Phys. Dr. **Wolfgang Probst**
Geschäftsführer und Senior Consultant,
DataKustik GmbH
Dipl.-Phys. **Michael Böhm**
Senior Consultant
DataKustik GmbH

Literatur

- [1] DIN EN ISO 3382-3: 2012. Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 3: Großraumbüros (ISO 3382-3:2012). Berlin: Beuth-Verlag, Mai 2012.
- [2] VDI 2569 E: 2016-02. Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro. Berlin: Beuth-Verlag Februar 2016.
- [3] DIN 18041: 2016-03. Hörsamkeit in Räumen – Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung. Berlin: Beuth-Verlag März 2016.
- [4] IEC 60268-16:2011 „Sound system equipment – Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech trans-

- mission index“. Genf: International Electrotechnical Commission 2011.
- [5] *Probst W., Böhm M.*: Die Anwendung des Speech Transmission Index (STI) zur Beurteilung von Sprachgeräuschen. Lärmbekämpfung Bd. 12 (2017) Nr. 2 – März.
- [6] *Nocke C.*: Raumakustik im Alltag – Hören – Planen – Verstehen, S. 94 - 96, Fraunhofer IRB Verlag.
- [7] DIN EN ISO 9921: 2004. Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation. Berlin: Beuth-Verlag, Februar 2004.