

# Die STI-Matrix - ein Verfahren zur schalltechnischen Bewertung und Beurteilung von Büros und anderen Aufenthaltsräumen

Wolfgang Probst

DataKustik GmbH, 82205 Gilching, E-Mail: wolfgang.probst@datakustik.de

## Einleitung

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 potentiellen 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 Verfahren in seinen Grundzügen vorgestellt, welches wesentlich besser als die bisherige Bestimmung des Sprachpegels und des STI längs festgelegter Pfade geeignet ist, die zu erwartende Qualität des akustischen Raumklimas im Planungsfalle zu beurteilen.

## Die Beurteilung der Sprachverständlichkeit aufgrund des STI

Zur Beurteilung von Räumen, in denen die menschliche Kommunikation eine wesentliche Rolle spielt, ist der Stimmumfang beim Sprechen mit zugehörigem Schalleistungspegel und Frequenzspektrum (siehe [1]) entscheidend.

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 1 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

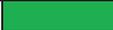
Kommunikationsbereichs), oder es soll gewährleistet sein, dass der Inhalt des Gesprochenen möglichst nicht verstanden wird (Sprecher und Hörer in unterschiedlichen Kommunikationsbereichen).

**Tabelle 1:** Die Qualität der Sprachverständlichkeit in Abhängigkeit vom Wert des STI, Auszug aus Tabelle F.1, DIN EN ISO 9921 [2]

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

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 sein soll.

**Tabelle 2:** Mögliche Kennzeichnung der Erfüllung von Anforderungen hinsichtlich Sprachverständlichkeit

Sprecher und Hörer im selben Bereich		
Wertebereich	Qualifizierung	Farbe
$STI \geq 0,6$	gut	
$0,45 \leq STI < 0,6$	befriedigend	
$STI < 0,45$	schlecht	
Sprecher und Hörer nicht im selben Bereich		
Wertebereich	Qualifizierung	Farbe
$STI \leq 0,2$	gut	
$0,2 < STI \leq 0,45$	befriedigend	
$STI > 0,45$	schlecht	

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 3 genannten Werte des Hintergrundpegels Rechnung getragen.

Es erscheint sinnvoll, von den beiden Einstufungen der akustischen Qualität für einzelne Raumbereiche nach Tabelle 2 und Tabelle 3 die jeweils ungünstigere als kennzeichnend und final für diesen Bereich zu betrachten.

Die hier gewählten Bereichsgrenzen für STI und Hintergrundgeräuschpegel werden für allgemeine Anwendungsfälle vorgeschlagen – sie können im konkreten Planungsfall

selbstverständlich an die individuellen Anforderungen angepasst werden.

**Tabelle 3:** Qualifizierung aufgrund des Hintergrund-Geräuschpegels

Hintergrundpegel für beide Fälle		
Wertebereich $L_{ambient}$	Qualifizierung	Farbe
$L_{ambient} < 35 \text{ dB(A)}$	gut	grün
$35 \text{ dB(A)} \leq L_{ambient} < 50$	befriedigend	gelb
$L_{ambient} \geq 50 \text{ dB(A)}$	schlecht	rot

### 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[3] oder nach VDI 2569[4] 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 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.

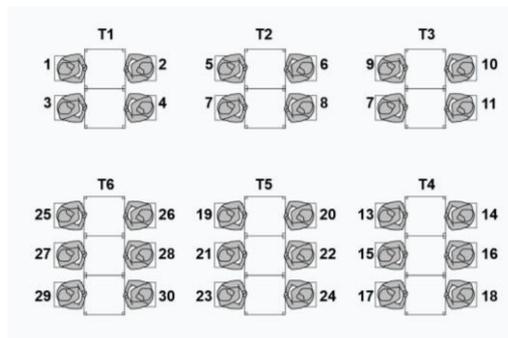
Das Verfahren wird im Folgenden an dem in [1] beschriebenen Planungsbeispiel in seinen Grundsätzen erläutert.

### 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 [1]) und eine weitere Variante V1 mit schalltechnischen Maßnahmen (Bild 25 in [1]) zugrunde

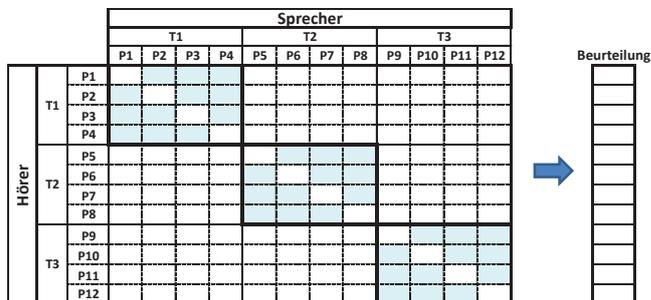
gelegt – in der Praxis werden die im folgenden beschriebenen Schritte für alle untersuchten Alternativen durchlaufen.

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.



**Abbildung 1:** Nummerierung der Tische (Bereiche) sowie der Plätze

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 Abbildung 2 der jeweiligen Sprecher- und Hörerposition zugeordnet.



**Abbildung 2:** Die vollständige Matrix zur Beschreibung von Paarbeziehungen zwischen den Plätzen (auf 3 Tische bzw. Bereiche beschränkte Darstellung)

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 erwartet wird und die im Hinblick auf den STI nach der oberen Hälfte der Tabelle 2 zu beurteilen sind. Für alle restlichen Bereiche ist eher Vertraulichkeit erwünscht und damit die untere Hälfte von Tabelle 2 heranzuziehen.

Für Restaurantbetriebe ist es dann sinnvoll, diese platzbezogene Beschreibung zur einfacheren Übersicht entsprechend Abbildung 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.

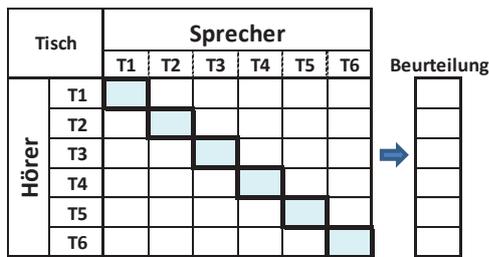


Abbildung 3: Die bereichsbezogene Matrix (hier für alle 6 Tische)

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

1. Emission von Sprachschall von jedem einzelnen Platz und Bestimmung der Immission an jedem anderen Platz.
2. Bestimmung des erwarteten Hintergrundpegels für jeden Platz – im Beispielfall wurde hier die Immission von jedem der anderen Tische unter der Annahme bestimmt, dass an jedem Tisch jeweils eine Person spricht und die anderen Personen zuhören. Hierzu werden die an der zu beurteilenden Hörerposition ermittelten Pegel von allen Personen des betreffenden Tisches 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 – dort die Schallquellenposition angenommen und an allen anderen Plätzen die Impulsantwort bestimmt. Aus dieser wird – unter Einbeziehung des für den jeweiligen Immissionsort im vorigen Schritt ermittelten Hintergrundpegels – der STI bestimmt.

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

Je nach Betriebszustand, der beurteilt werden soll, können sich die erforderlichen Eingangsparameter und auch der Ablauf unterschiedlich gestalten. Im Beispiel von Restaurants und anderen Gaststättenbetrieben ist der wichtigste Zustand sicher die weitestgehende Vollbesetzung. 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“ 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, weil auch der Signalpegel des Sprechers mit demselben Niveau vorausgesetzt wird. Dagegen wird die erforderliche Sprachanstrengung im zweitgenannten Fall höher sein und zu einer entsprechend schlechteren Beurteilung des akustischen Klimas führen.

Bei schwach besetzten Gaststätten besteht das Hauptproblem in der oft fehlenden Vertraulichkeit, weil die einzelnen Gespräche an Nachbartischen mitgehört und verstanden werden. Die Beurteilung erfolgt in ähnlicher Weise wie für die voll besetzte Gaststätte mit folgenden geänderten Annahmen.

Als Sprechaufwand wird entsprechend „sehr entspannt“ bis „leise“ ein Schallleistungspegel von 55 dB(A) vorausgesetzt. Da nur wenige Tische besetzt sind und der Hintergrundgeräuschpegel somit niedrig und durch nicht vermeidbare zusätzliche Geräuschquellen wie Lüftung u. dgl. 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 diesen Voraussetzungen werden wiederum für alle Sprecher – Hörer – Kombinationen die STI – Werte bestimmt. Der Beurteilung des STI für geringe Besetzung wird der untere Teil von Tabelle 2 zugrunde gelegt.

### Beurteilung der Kantine im Ausgangszustand V0 „ohne Maßnahmen“

Für die Kantine im vollbesetzten 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 Abbildung 4 und Abbildung 5. Mit Abbildung 6 ist die auf die Tische 1 bis 3 bezogene vollständige STI-Matrix zur Beurteilung einzelner Plätze dargestellt.

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

Abbildung 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

Abbildung 5: Schalldruckpegel in dB(A) für Zustand V0

Hörer		Sprecher											
		T1				T2				T3			
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
T1	P1		0.41	0.58	0.39	0.30	0.24	0.29	0.24	0.21	0.21	0.20	0.19
	P2	0.38		0.35	0.48	0.41	0.28	0.38	0.27	0.22	0.20	0.20	0.19
	P3	0.50	0.36		0.40	0.27	0.22	0.28	0.22	0.20	0.20	0.19	0.19
	P4	0.34	0.52	0.37		0.37	0.26	0.39	0.26	0.21	0.18	0.21	0.18
T2	P5	0.27	0.39	0.27	0.37		0.38	0.53	0.34	0.26	0.22	0.26	0.22
	P6	0.17	0.22	0.17	0.22	0.36		0.32	0.47	0.42	0.31	0.39	0.30
	P7	0.24	0.34	0.26	0.37	0.45	0.33		0.36	0.24	0.21	0.24	0.21
	P8	0.16	0.20	0.17	0.22	0.32	0.51	0.34		0.39	0.30	0.40	0.29
T3	P9	0.15	0.19	0.16	0.20	0.29	0.40	0.28	0.39		0.40	0.53	0.36
	P10	0.18	0.21	0.19	0.20	0.25	0.32	0.25	0.31	0.43		0.38	0.51
	P11	0.14	0.17	0.15	0.19	0.26	0.37	0.27	0.38	0.46	0.35		0.38
	P12	0.16	0.18	0.17	0.19	0.24	0.30	0.25	0.30	0.39	0.55	0.41	

Abbildung 6: Die platzbezogene STI-Matrix für den Ausgangszustand V0 (ohne zusätzliche Maßnahmen)

Mit den beiden Tabellen Abbildung 4 und Abbildung 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 aufgrund der Tabelle Abbildung 5 zur Negativbeurteilung aller Plätze.

### Beurteilung der Kantine im Zustand V1 „mit Maßnahmen“

Wie in [1] 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 Abbildungen 7 und 8.

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

Abbildung 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

Abbildung 8: Schalldruckpegel in dB(A) für Zustand V1

Die Untersuchung zeigt deutlich, welche Vorzüge diese Beurteilung unter Einbeziehung aller Sprecher Hörer Kombinationen 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 Abbildung 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 absorbierenden 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.

### Literatur

- [1] Probst W., Böhm M.: Die Anwendung des Speech Transmission Index (STI) zur Beurteilung von Sprachgeräuschen. Lärmbekämpfung Bd. 12 (2017) Nr. 2 – März
- [2] DIN EN ISO 9921: 2004. Ergonomie – Beurteilung der Sprachkommunikation. Berlin: Beuth-Verlag, Februar 2004.
- [3] DIN EN ISO 3382-3:2012 „Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik –Teil 3: Großraumbüros“, Beuth Verlag
- [4] VDI 2569 E:2016 „Schallschutz und akustische Gestaltung im Büro“, Beuth Verlag