

AAC – Audio & Acoustics Consulting Aachen

Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz
In der Linen 21
52134 Herzogenrath

TAC – Technische Akustik

Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz
Mühlenstraße 123
41352 Korschenbroich

Arbeitsgebiete:

- Audiomesssysteme
- Beschallungsanlagen
- Lautsprecher
- Controller
- Planung, Design
- Tests
- Gutachten
- Schulung

Unsere Leistungen:

- Raumakustik
- Bauakustik
- Elektroakustik
- Immissionsschutz
- Schwingungstechnik
- Beratung
- Messung
- Schulung
- Sachverständigen-gutachten

Bericht AAC-TAC-696-08

Objekt:

Projekt zur „Verbesserung der Sprachverständlichkeit für Hörbehinderte im öffentlichen Verkehr“ – Teil 1



Von der Industrie- und Handelskammer Mittlerer Niederrhein Krefeld – Mönchengladbach – Neuss öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Bau-, Raum- und Elektroakustik

Zertifizierte Güteprüfstelle nach DIN 4109
VMPA-SPG-211-04-NRW

Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG zur Ermittlung von Emissionen und Immissionen von Geräuschen

Gegenstand:

Bestimmung der objektiven Beschallungsqualität (STI-Index) des Ist-Zustandes in den Bahnhöfen Zug, Neuenburg, Bern und Basel

Auftraggeber:

Bundesamt für Verkehr BAV
Hanspeter Oprecht
Mühlenstraße 6
3063 Ittigen
Schweiz

Erstellt am:

23. Dezember 2008

Bearbeiter:

Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz
Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes „Verbesserung der Sprachverständlichkeit für Hörbehinderte im öffentlichen Verkehrsraum – Teil 1“ wurde im Sinne einer Bestandsaufnahme die Sprachverständlichkeit der Beschallungsanlagen in Form des STI-Wertes (Speech Transmission Index) in vier verschiedenen Bahnhöfen der Schweiz, in Zug, Neuenburg, Bern und Basel in unterschiedlichen Bahnhofsbereichen ermittelt. Die Ermittlung soll als Grundlage weiterer Projektschritte dienen, deren Ziel es ist, in öffentlichen Verkehrsräumen – hier Bahnhöfen – Bereiche einzurichten, in denen die Sprachverständlichkeit gegenüber den anderen Bereichen des Bahnhofes so signifikant verbessert ist, dass dort für hörgeschädigte Personen eine ähnlich gute Sprachverständlichkeit wie für normal hörende Personen in den übrigen Raumbereichen gegeben ist.

Die Messungen zur Bestandsaufnahme des Ist-Zustandes wurden in den folgenden Bahnhöfen bzw. Bereichen durchgeführt:

- Bahnhof Zug: Verkehrsbereich Gleis 1/3, Gleis 2, Gleis 2 Wartehäuschen und Gleis 3
- Bahnhof Neuenburg: Verkehrsbereiche Gleis 1 und 2, Eingangshalle, Seilbahn
- Bahnhof Bern: Verkehrsbereiche Gleis 5 und 6, Passerelle, Personentunnel
- Bahnhof Basel: Gleis 5, Passerelle, Eingangshalle

Bei den Messungen zur Bestimmung der „reinen“ Sprachverständlichkeit wurden auch die folgenden wichtigen schalltechnischen Größen erfasst:

- Frequenzgang der Beschallungsanlage an jedem Messpunkt
- Maximalpegel der Anlage an ausgesuchten Messpunkten
- Störgeräuschsituation für verschiedene Situationen (ohne Zugverkehr, Personenzugfahrt, Güterzugfahrt)

Aus den verschiedenen messtechnisch ermittelten schalltechnischen Parametern wurde anschließend berechnet, welche Sprachverständlichkeit sich in Abhängigkeit der Störgeräuschpegel für die verschiedenen Betriebsbedingungen in den entsprechenden Verkehrsbereichen des Bahnhofs ergeben. Die Ergebnisse wurden mit den Empfehlungen der DIN EN 60849 verglichen, in denen die Mindestanforderungen an Beschallungsanlagen für elektroakustische Notfallwarnsysteme beschrieben sind. Demnach sind für die Sprachverständlichkeitswerte STI bzgl. des räumlichen Mittelwertes (MW) minus der Standardabweichung (Stabw) ein Wert von $STI_{MW-Stabw} \geq 0,50$ zu erreichen. Diese Anforderungen korrespondieren mit einer Sprachverständlichkeit von ca. 95% für normal hörende Personen.

Die Ergebnisse der Messungen und Berechnungen in den vier Bahnhöfen fallen erwartungsgemäß sehr unterschiedlich aus. Die Beschallungskonzepte insbesondere in den Verkehrsbereichen unterscheiden sich signifikant, so dass auch deutliche Unterschiede hinsichtlich der räumlichen Abdeckung (akustische „Ausleuchtung“), der erzielbaren Maximalpegel sowie letztlich der

Sprachverständlichkeit ohne und mit Störgeräusch gegeben sind. Die Ergebnisse lassen sich im Einzelnen wie folgt zusammenfassen:

Bahnhof Zug: Verkehrsbereich Gleis 1/3, Gleis 2, Gleis 2 Wartehäuschen und Gleis 3

In den Verkehrsbereichen des Bahnhofs Zug ist die Sprachverständlichkeit ohne Störgeräusch durchweg gut. Mit zunehmendem Störgeräuschniveau nimmt die Sprachverständlichkeit jedoch erheblich ab ($STI_{MW-Stubw} = 0,27 - 0,44$). Grund für die starke Verschlechterung ist der geringe erzielbare Maximalpegel der Beschallungsanlage $L_{AFmax} = 81$ dB(A). Zudem wird der Sprachpegel der Anlage im Bahnhof Zug automatisch gesteuert. Der Sprachpegel wird zum Zeitpunkt des Aufschaltens des Sprechersignals mit Hilfe einer Messung des zu diesem Zeitpunkt herrschenden Störgeräuschniveaus festgelegt. Veränderungen des Störgeräuschniveaus während einer Ansage werden somit nicht mehr berücksichtigt.

Bahnhof Neuenburg: Verkehrsbereiche Gleis 1 und 2, Eingangshalle, Seilbahn

In den Verkehrsbereichen des Bahnhofs Neuenburg wurden hinsichtlich der erzielten Sprachverständlichkeit ähnliche Ergebnisse wie im Bahnhof Zug vorgefunden. Für den störgeräuschfreien Fall sind die erzielten Sprachverständlichkeiten mit $STI_{MW-Stubw} \geq 0,6$ gut, aber auch hier reicht der Maximalpegel der Anlage mit $L_{AFmax} = 85$ dB(A) nicht aus, um bei störschallerfüllter Umgebung, z.B. beim Durchfahren eines Zuges, eine hinreichende Sprachverständlichkeit zu gewährleisten.

Die Beschallungsqualität der Eingangshalle ist mit einer Sprachverständlichkeit von $STI_{MW-Stubw} = 0,39$ schlecht. Das Beschallungskonzept, ein an der Decke aufgehängter Kugellautsprecher, ist nicht auf die herrschende Nachhallzeit und somit auf die gegebenen raumakustischen Randbedingungen abgestimmt.

Bahnhof Bern: Verkehrsbereiche Gleis 5 und 6, Passerelle, Personentunnel

Für die Verkehrsbereiche des Bahnhofs Bern, die außerhalb der Bahnhofshalle liegen, finden sich ähnliche Ergebnisse wie in den Bahnhöfen Zug und Neuenburg. Die störgeräuschfreien STI-Werte sind gut, jedoch ist wiederum der Maximalpegel zu gering, um bei Vorhandensein von Störschall hinreichend gute Ergebnisse zu erzielen. Die schlechteren raumakustischen Verhältnisse innerhalb der Verkehrshalle des Bahnhofs bewirken, dass für diesen Bereich die Sprachverständlichkeit schon im störgeräuschfreien Fall mit $STI_{MW-Stubw} \geq 0,46$ nicht hinreichend gut ist. Mit Störgeräuschen von einfahrenden Zügen sinkt die erzielbare Sprachverständlichkeit auf Werte von $STI_{MW-Stubw} \leq 0,23$ ab.

Mit dem Beschallungskonzept der Passerelle wird weder die auf Grund der längeren Nachhallzeit erforderliche Richtwirkung noch ein ausreichender Schalldruckpegel zur Überwindung des Störgeräuschniveaus erzielt. Dies schlägt sich direkt in den ermittelten Werten für die

Sprachverständlichkeit nieder, die bereits im störgeräuschfreien Fall mit $STI_{MW-Stubw} \geq 0,48$ nicht die Anforderungen der DIN EN 60849 erfüllen, jedoch mit Störgeräuschen weiter auf $STI_{MW-Stubw} \leq 0,40$ absinken.

Wegen der vergleichsweise langen Nachhallzeit werden mit dem gegebenen Beschallungskonzept im Personentunnel schon im störgeräuschfreien Fall mit $STI_{MW-Stubw} = 0,38$ sehr schlechte Sprachverständlichkeitswerte erzielt. Mit Störgeräusch sinken diese Werte auch hier entsprechend weiter ab.

Bahnhof Basel: Gleis 5, Passerelle, Eingangshalle

In den Verkehrsbereichen außerhalb der Bahnhofshalle herrschen bzgl. der erzielbaren Sprachverständlichkeit ähnliche Bedingungen wie zuvor bei den Bahnhöfen Zug, Neuenburg und Bern.

Auf Grund des besonderen Beschallungskonzeptes, bei dem die Bahnsteige mit großen Hörnern von der Hallendecke aus beschallt werden, ergibt sich in der Verkehrshalle eine sehr ungleichmäßige räumliche Verteilung der Sprachverständlichkeit. Wenngleich der Mittelwert der Sprachverständlichkeit für den störgeräuschfreien Fall mit $STI_{MW} = 0,55$ hinreichend gut ist, werden die Anforderungen mit einem $STI_{MW-Stubw} = 0,44$ deutlich verfehlt. Zudem reicht auch hier der Maximalpegel der Anlage nicht aus, um bei entsprechenden Störgeräuschen ein deutliches Absinken des Sprachverständlichkeitsniveaus zu verhindern.

Mit dem Beschallungskonzept der Passerelle wird, wie auch im Bahnhof Bern, weder die auf Grund der längeren Nachhallzeit erforderliche Richtwirkung noch ein ausreichender Schalldruckpegel zur Überwindung des Störgeräuschniveaus erzielt. Dies schlägt sich direkt in den ermittelten Werten für die Sprachverständlichkeit nieder, die bereits im störgeräuschfreien Fall mit $STI_{MW-Stubw} \geq 0,40$ nicht die Anforderungen der DIN EN 60849 erfüllen, jedoch mit Störgeräuschen auf $STI_{MW-Stubw} \leq 0,34$ absinken.

Die Eingangshalle besitzt eine vergleichsweise lange Nachhallzeit. Der an der Decke installierte Hornlautsprecher erzielt zwar hinreichend hohe Pegel, vermag aber mit einem ermittelten $STI_{MW-Stubw} = 0,36$ bei weitem keine ausreichende Sprachverständlichkeit zu entwickeln. Das Beschallungskonzept erweist sich so für die Beschallung der Eingangshalle als ungeeignet.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	6
2 Normen, Richtlinien und verwendete Unterlagen	8
3 Anforderung an die Sprachverständlichkeit	9
3.1 Raumakustische Grundlagen	9
3.2 Aufgabe der Beschallungsanlage	11
3.3 Sprachverständlichkeit STI	11
3.4 Anforderungen nach der DIN EN 60849	13
3.5 Bestimmung des STI-Wertes mit und ohne Verdeckung	14
3.6 Bestimmung des STI-Wertes mit und ohne Störgeräusch	15
3.7 Zusammenfassung der Unterschiede: STI-Berechnung gemäß DIN EN 60268-16, 2004-01 und DIN EN 60849	16
4 Allgemeine Beschreibung zur Durchführung der Messungen	18
4.1 Messung der Nachhallzeit	18
4.2 Messung des Störgeräusches	18
4.3 Messung der Signalpegel	20
4.4 Messung der Sprachverständlichkeit	21
4.5 Auswertung der Messungen zur Sprachverständlichkeit	22
5 Messungen im Bahnhof Zug	23
5.1 Durchführung der Messung	24
5.2 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche	27
5.3 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels	28
5.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit	29
6 Messungen im Bahnhof Neuenburg	40
6.1 Messungen auf den Bahnsteigen	40
6.2 Messungen in der Eingangshalle	52
6.3 Messungen im Bahnhof der Seilbahn	58
7 Messungen im Bahnhof Bern	63
7.1 Messungen außerhalb der Bahnhofshalle	64
7.2 Messungen auf der Passerelle	70
7.3 Messungen in der Bahnhofshalle	77
7.4 Messungen im Personentunnel	86
8 Messungen im Bahnhof Basel SBB	93
8.1 Messungen auf den Bahnsteigen innerhalb der Bahnhofshalle	93
8.2 Messungen auf dem Bahnsteig außerhalb der Bahnhofshalle	102
8.3 Messungen auf der Passerelle	106
8.4 Messungen in der Eingangshalle	112
9 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Sprachverständlichkeit	121
Anhang: Vergleich zwischen den STI-Werten für männliche und weibliche Sprecher	125

1 Einleitung

Die Sprachverständlichkeit von Beschallungsanlagen aller Art wird heutzutage in der Regel „objektiv“ mit Hilfe des STI „Speech Transmission Index“ bewertet. Dieser Kennwert, der die Verständlichkeit der Sprache einer Beschallungsanlage auf einer Skala von 0 bis 1 abbildet, wurde Anfang der siebziger Jahre entwickelt, um anstelle der bis dahin durchgeführten subjektiven Sprachtests ein objektives Verfahren zu haben, das ohne entsprechend aufwändige Tests mit Versuchspersonen auskommt. Das Verfahren wurde im Laufe der Jahre sehr stark weiterentwickelt, so dass der nach heutigen Methoden objektiv bestimmbare STI-Index mit wenigen Ausnahmen sehr gut mit dem subjektiven Sprachverstehen korreliert. Aus diesem Grund ist der STI-Index heute für Beschallungsanlagen der wichtigste Parameter, der über die Beschallungsqualität einer Anlage Auskunft gibt. In ihm sind andere Parameter wie Sprachpegel und Störgeräuschniveau bereits entsprechend berücksichtigt.

Während die Korrelation des STI-Index mit dem subjektiven Sprachempfinden für normal hörende Personen sehr weit untersucht ist, gibt es leider bislang nur sehr wenig Information darüber, wie der STI-Index mit dem Sprachverstehen Hörbehinderter korreliert. Der Grund hierfür scheint zu sein, dass es in den letzten Jahren schon sehr viel Anstrengung bedurfte, für normal hörende Personen eine Mindestsprachverständlichkeit und somit einen Mindest-STI-Index standardmäßig für Beschallungsanlagen sowie für Notfallwarnsysteme im öffentlichen Bereich einzuführen und durchzusetzen.

Wenngleich auch heute viel zu oft bei Beschallungsanlagen im öffentlichen Bereich die Anforderungen an die Beschallungsqualität und die Sprachverständlichkeit für normal hörende Personen nicht erreicht werden, beabsichtigt das Bundesamt für Verkehr der Schweiz bei der Übertragung von Kundeninformationen auch die Bedingungen für Hörbehinderte im Rahmen eines Projektes zu verbessern. Gemäß der Projektbeschreibung müssen die heute gültigen Anforderungen an die Hörbehindertengerechtigkeit überarbeitet werden, da diese *„im Grundsatz den Vorgaben des Behindertengleichstellungsgesetzes nicht entsprechen“*. So sei in den Richtlinien lediglich festgehalten, dass im öffentlichen Verkehr Informationen für Hörbehinderte *„gut verständlich“* sein müssen.

Was „gut verständlich“ bedeutet, ist jedoch nicht beschrieben, so dass die Frage, welche Sprachverständlichkeit für Hörbehinderte „gut“ ist und somit welcher STI-Index schließlich erzielt werden muss, offen bleibt. Der Ansatz, die Sprachverständlichkeit einfach grundsätzlich, d.h. überall, zu verbessern, scheitert meist an den folgenden Faktoren:

- a.) Die Sprachverständlichkeit ist bei störschallerfüllter Umgebung maßgeblich auch mit dem Sprachpegel verknüpft. Eine generelle Anhebung des Sprachpegels würde im öffentlichen Bereich im emissionstechnischen Sinne zu übermäßigen Schallimmissionen bei den Anwohnern führen.

b.) In vielen öffentlichen Raumbereichen sind die akustischen Randbedingungen (Störgeräuschniveau, Nachhallniveau) so schlecht, dass eine grundsätzliche flächendeckende Verbesserung der Beschallungsqualität nur mit erheblichem Aufwand oder überhaupt nicht möglich ist.

Daher sollen sowohl an öffentlichen Haltepunkten als auch in Fahrzeugen ausgewiesene Bereiche, sog. „Hot Spots“ eingerichtet werden, in denen die Sprachverständlichkeiten so verbessert werden, dass sie dort für Hörbehinderte dem Sprachverstehen normal hörender Personen außerhalb der Hot Spots entsprechen.

Derzeit ist jedoch völlig unklar, welcher Unterschied (Δ STI) hinsichtlich der objektiven Sprachverständlichkeit STI im Hot-Spot-Bereich realisiert werden muss, um das obige Ziel zu erreichen. Dabei wird der zu fordernde Δ STI-Wert zum einen vom STI-Niveau selber abhängen, das derzeit in den öffentlichen Bereichen vorhanden ist. Zum anderen wird die Art der Hörschädigung der Personen den notwendigen Δ STI-Wert mitbestimmen.

Um hier schnellstmöglich zu Aussagen zu kommen, die eine entsprechende Handlungsfähigkeit und Umsetzung erlauben, ist das ausgeschriebene Projekt in drei Teile aufgeteilt:

1. Bestimmung der objektiven Beschallungsqualität (STI-Index) des Ist-Zustandes an mehreren Bahnhöfen in den verschiedenen Bahnhofsbereichen
2. Durchführung von Hörversuchen zur Sprachverständlichkeit an 20 hörbehinderten Versuchspersonen und Ableitung des notwendigen Δ STI
3. Bestimmung der objektiven Beschallungsqualität (STI-Index) des Ist-Zustandes in Bahnwagen.

Audio & Acoustics Consulting und TAC – Technische Akustik sind mit dem ersten Teil des Projektes beauftragt worden. Hierbei handelt es sich um die Bestimmung der objektiven Beschallungsqualität (STI-Index) des Ist-Zustandes in den verschiedenen Bahnhofsbereichen folgender Bahnhöfe:

- Zug
- Neuenburg
- Bern
- Basel

2 Normen, Richtlinien und verwendete Unterlagen

- [1] DIN EN 60849, Ausgabe: 1999-05
Elektroakustische Notfallwarnsysteme (IEC 60849:1998); Deutsche Fassung EN 60849:1998
- [2] DIN EN ISO 3382-2, 2008-09
Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik - Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen (ISO 3382-2:2008); Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008
- [3] DIN EN 60268-16 Norm, 1999-02
Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex; Deutsche Fassung EN 60268-16:1998
- [4] DIN EN 60268-16 Norm , 2004-01
Elektroakustische Geräte - Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex (IEC 60268-16:2003); Deutsche Fassung EN 60268-16:2003
- [5] Grundrisse und Schnittzeichnungen, elektronisch übersandt durch die Schweizerische Bundesbahnen SBB

3 Anforderung an die Sprachverständlichkeit

Zur Kennzeichnung der Qualität von Beschallungsanlagen hat sich seit geraumer Zeit der Parameter der Sprachverständlichkeit international etabliert. Im folgenden Abschnitt werden die Grundlagen zur Raumakustik und Sprachverständlichkeit zusammenfassend erläutert.

3.1 Raumakustische Grundlagen

Die Akustik in einem Raum wird durch die am Zuhörerort eintreffenden Schallanteile bestimmt. Wird beispielsweise in einem Raum von einem Sender ein Schallimpuls abgestrahlt, so kommen an einem Zuhörerort neben dem sog. Direktschall, der ohne Umwege vom Sender zum Zuhörer gelangt, auch zahlreiche weitere Impulse an, die durch Einfach- oder Vielfachreflexion an den Raumbegrenzungsflächen zum Zuhörer geleitet werden. Am Ort des Zuhörers entsteht ein sog. Reflektogramm, das die zeitliche Abfolge der eintreffenden Schallimpulse sowie deren Energieinhalt aufzeigt (siehe Abbildung 3.1). Bei diesem Reflektogramm wird zwischen drei Bereichen, dem Direktschallbereich, dem Bereich der frühen Reflexionen sowie dem Nachhallbereich unterschieden.

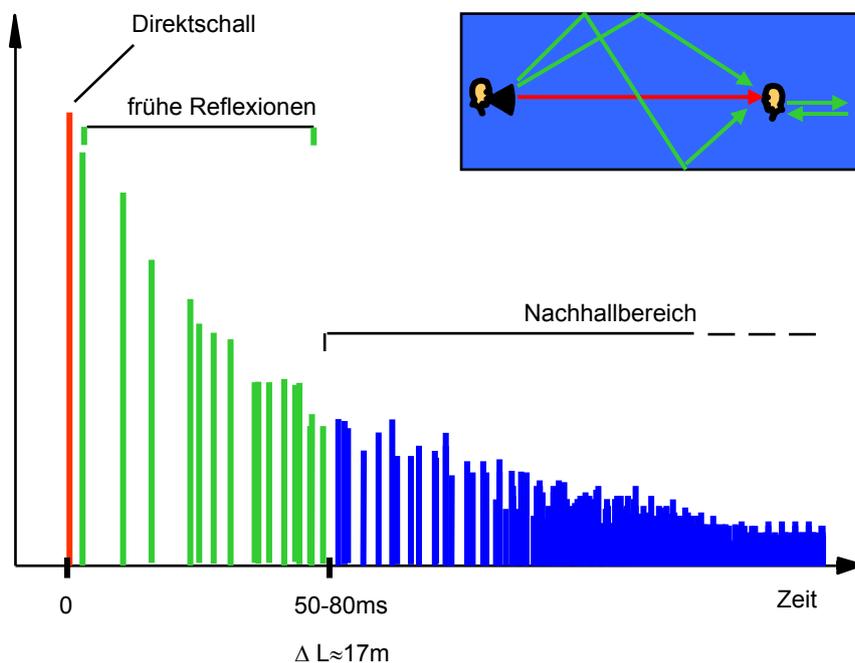


Abbildung 3.1: Reflektogramm (schematische Raumenergieimpulsantwort)

Die akustische Wirkung der eintreffenden Schallanteile ist in den drei zeitlich unterteilten Bereichen sehr unterschiedlich und kann wie folgt zusammenfassend beschrieben werden:

Direktschall

- bestimmt Schalleinfallrichtung (Lokalisation)
- legt Grundpegel fest
- bestimmt maßgeblich Klangfarbe
- variiert mitunter stark zwischen den Empfängerpositionen

Frühe (nützliche) Reflexionen

- unterstützen den Direktschall hinsichtlich der Intensität
- seitliche frühe Reflexionen bewirken Räumlichkeitseindruck
- Anzahl, Abfolge und Stärke variiert meist stark innerhalb der Empfängerpositionen

Nachhallbereich

- bestimmt Raumgröße („Klangvolumen“)
- bewirkt Verschmelzung von zeitlich strukturierten Signalen
- bewirkt Verschlechterung der Deutlichkeit und Sprachverständlichkeit
- Nachhall ist weitgehend ortsunabhängig bei „kompakten“ Raumgeometrien

Direktschallpegel

Der Direktschallpegel gibt an, mit welchem Pegel der direkt vom Sender zum Zuhörerort gelangte Schall eintrifft. Der Direktschallpegel sollte ausreichend hoch sein und innerhalb des betrachteten Empfangsbereiches (z.B. Zuhörerreihen) nicht stark variieren.

Frühe Reflexionen

Frühe Reflexionen, die einen geringeren Umweg als 50 ms gegenüber dem Direktschall besitzen, unterstützen den Direktschall hinsichtlich seiner Intensität und fördern die Sprachverständlichkeit.

Nachhallzeit T

Die Nachhallzeit ist bei kompakten Raumgeometrien eine Eigenschaft des Raumes und ist ein Maß für das zeitliche Abklingverhalten der Schallenergie in einem Raum. Die Nachhallzeit ist allgemein frequenzabhängig, da die Raumbegrenzungsflächen meist stark frequenzabhängige Absorptionsgrade aufweisen. Für eine gute Sprachübertragung in Räumen sollte der Nachhallverlauf über der Frequenz ausgeglichen sein. Das Nachklingen von Schallanteilen führt grundsätzlich zum Verschleifen und Verwischen der zeitlich strukturierten Sprachanteile und somit zu einer Verringerung der Sprachverständlichkeit. **Je länger die Nachhallzeit des Raumes ist, umso schlechter ist die Sprachverständlichkeit.** Die Länge der Nachhallzeit kann durch Wahl der Absorptionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen in bestimmten Bereichen variiert werden.

3.2 Aufgabe der Beschallungsanlage

Gemäß den obigen Ausführungen hat der Einbau von Beschallungsanlagen grundsätzlich folgende Ziele:

Ziele der Beschallungstechnik Diffusfeld (Räume, Stadien, Hallen usw.)

- Verstärkung des Nutzpegels auf das jeweils erforderliche Maß
- Erhöhung des Direktschall-Diffusschall-Energieverhältnisses durch den Einsatz gezielt strahlender Lautsprecher (Richtstrahler)
- Zeitrichtiges Abstrahlen des Schalls für räumlich versetzte Lautsprecher (Delay) zur Vermeidung von Echos und Erhöhung der Direktschallenergie
- Gewährleistung einer hinreichend gleichmäßigen Direktschallpegelverteilung (z.B. $\Delta L_{\max} = 10$ dB) in dem für eine Sprachübertragung wichtigen Frequenzbereich von 1 kHz bis 4 kHz

Beim Einsatz von Beschallungssystemen kann der Direktschallpegel durch eine räumliche Bündelung der Schallenergie im Vergleich zum Diffusschall zum Teil deutlich erhöht werden. Sofern sich die Zuhörer im Nahbereich des Strahlers, d.h. innerhalb der Richtentfernung, befinden, ist auch bei großen Nachhallzeiten immer noch eine hinreichende Sprachverständlichkeit gegeben. Als Richtentfernung wird der räumliche Abstand zu einem bündelnden Schallstrahler verstanden, bei dem der direkt abgestrahlte Schallanteil energetisch gleich dem durch den Raum erzeugten diffusen Schallfeldanteil ist. Je weiter die Distanz zwischen Zuhörer und Lautsprecher ist, desto stärker muss bei gleich bleibender Sprachverständlichkeit und gleich bleibender Nachhallzeit die Bündelung des Lautsprechers sein. Alternativ kann bei Vergrößerung des Abstandes zwischen Schallquelle und Empfänger zur Erhaltung einer guten Sprachverständlichkeit die Nachhallzeit entsprechend gesenkt werden.

3.3 Sprachverständlichkeit STI

Auf Grund der oben beschriebenen Zusammenhänge reicht für die Kennzeichnung der Qualität von Beschallungsanlagen der erzielte Maximalpegel bzw. der Frequenzgang bei weitem nicht aus. Zur Beurteilung von Sprache hat sich ein spezieller Parameter etabliert, der nicht nur das energetische Verhältnis von Direktschall zu Nachhall beurteilt, sondern sich an die Eigenschaften der Sprache direkt anlehnt.

Werden Informationen oder Sprache über eine Beschallungsanlage übertragen, muss neben der Beachtung von Parametern wie z.B. Frequenzgang und Richtcharakteristik auch dafür Sorge getragen werden, dass die Sprachmodulation, also das pegelmäßige Auf- und Abschwelen von Tönen und Lauten, hinreichend übertragen wird. Die Sprachmodulation und damit auch die erzielbare Modulationstiefe ist der eigentliche Informationsträger. Die Modulationstiefe wird prinzipiell durch zwei Effekte gestört. Zum einen kann ein erhöhtes Störgeräusch (Hintergrundgeräusch, Grundpegel o.ä.) das notwendige Absinken des Sprachpegels innerhalb der Amplitudenmodulation begrenzen. Statt einer Modulationssenke wird dann das Hintergrundgeräusch wahrgenommen. Zum anderen werden die durch die Modulation verursachten Pegelanhebungen und Pegelsenkungen durch den Nachhall in

einem Raum derart gestört, dass die im Nachhall nachklingenden Laute die Modulation verwischen und verschmieren. Auch dann ist die effektiv wirksame Modulationstiefe deutlich geringer und die Sprachverständlichkeit sinkt.

Bei der Betrachtung der erzielbaren Sprachverständlichkeit sind daher immer die raumakustischen Verhältnisse (Nachhall) sowie die Störgeräuschsituation zwingend zu **berücksichtigen**.

Die rechnerische oder messtechnische Ermittlung der Sprachverständlichkeit beruht darauf, dass für 7 verschiedene Oktavfrequenzbänder (125 Hz - 8 kHz) und innerhalb der Oktaven wiederum für 14 verschiedene Modulationsfrequenzen (0,63 Hz bis 12,5 Hz) untersucht wird, in welcher Weise der Modulationsindex bzw. die Modulationsübertragungsfunktion vermindert wird. Aus den nunmehr 98 Einzelwerten wird dann der Einzahlwert, der STI-Index, abgeleitet.

Die Zuordnung der STI-Werte zur erzielten Sprachverständlichkeit ist wie folgt:

STI-Werte	Bewertung
0,75 – 1	ausgezeichnet
0,6 – 0,75	gut
0,45 – 0,6	angemessen
0,3 – 0,45	schwach
0 – 0,3	schlecht

Tabelle 3.1: Zuordnung der STI-Werte

Der Wertebereich der in der Praxis anzutreffenden STI-Werte liegt zwischen $STI \approx 0,25$ bis 0,8. Ein $STI \approx 0,25$ wird beispielsweise in großen Kirchen erreicht, wenn die Sprachübertragung ohne Beschallungsanlage erfolgt. $STI \approx$ wird in stark bedämpften Räumen bei ansonsten gutem Sprachpegel ohne Hintergrundgeräusch erzielt. Daher ist der Bewertungsbereich der STI-Skala in den für die Praxis relevanten Wertebereich in Stufen zu $\Delta STI = 0,15$ unterteilt. Der wahrnehmbare Unterschied zwischen zwei STI-Werten liegt typischerweise bei $\Delta STI = 0,03$, so dass jede Bewertungsstufe ca. fünf unterscheidbare STI-Stufen enthält.

Da historisch mehrere Verfahren zur Kennzeichnung der Sprachverständlichkeit entwickelt wurden, die alle auf unterschiedlichen Skalen basieren, wurde international eine gemeinsame Skala, die sog. CIS-Skala (Common Intelligibility Scale), entwickelt. Die STI-Werte lassen sich mit Hilfe der Gleichung (1) einfach in die der CIS-Skala umrechnen.

$$CIS = 1 + \log(STI) \quad (1)$$

Wenngleich der Sprache und dem zugehörigen Sprachverstehen sehr komplexe Vorgänge zu Grunde liegen, ist mit dem STI-Index ein Parameter geschaffen worden, der durch die Kennzeichnung der Sprachverständlichkeit mit nur einer Zahl einen einfachen Vergleich verschiedener Situationen und

Systeme erlaubt. Die Reduzierung der komplexen Sachverhalte auf einen Zahlenwert hat zwingend zur Folge, dass differenzierte Aussagen und Analysen, insbesondere auch bezüglich der subjektiven Sprachverständlichkeit, so nicht möglich sind.

Ferner ist zu beachten, dass zwar der Sprachverständlichkeitsindex STI prinzipiell mit der subjektiven Sprachverständlichkeit korreliert und so auch die verschiedenen Verständlichkeitsniveaus gut abbildet, jedoch im Einzelfall der objektive Parameter vom subjektiven Eindruck deutlich abweichen kann. So hat z.B. die akustische Bandbreite eines Übertragungssystems ebenso wie ein akustisches Echo nur wenig Auswirkung auf den Sprachverständlichkeitsindex, wenngleich diese Parameter sehr wohl erhebliche Auswirkungen auf die subjektive Sprachverständlichkeit besitzen.

Der STI-Index ist derzeit der gebräuchlichste objektive Parameter zur Beschreibung der Sprachverständlichkeit elektroakustischer Anlagen.

3.4 Anforderungen nach der DIN EN 60849

In der DIN EN 60849 sind Anforderungen an elektroakustische Notfallwarnsysteme auch bzgl. der Mindestsprachverständlichkeit gestellt. Diese Norm wurde international geschaffen, um insbesondere für Bereiche, in denen für Notfälle Sprachansagen etwa zu Evakuierungszwecken o. ä. durchgeführt werden müssen, Minimalbedingungen festzulegen, die einen sicheren Betrieb der Anlage und eine sichere Funktionsfähigkeit gewährleisten. Wenngleich unter Experten bekannt ist, dass einige Aspekte der Norm nicht sachgerecht bzw. umsetzbar sind, ist jedoch unumstritten, dass u.a. die grundsätzlichen Anforderungen an die Mindestsprachverständlichkeit mit

$$\text{CIS} = 0,7 \text{ bzw. } \text{STI} = 0,5 \quad (2)$$

in allen relevanten Raumbereichen zunächst sinnvoll sind. Diese Anforderungen können demnach als Basis zur Beurteilung der Anlage herangezogen werden.

Weiterhin schreibt die Norm vor, die Sprachverständlichkeit in sinnvoll gewählten räumlichen Abständen an verschiedenen Raumpunkten zu erfassen. Aus den Werten der verschiedenen Raumpunkte ist nunmehr der Mittelwert I_{av} und die Standardabweichung σ zu berechnen. Die Anforderungen gelten dann als erfüllt, wenn der Mittelwert minus der Standardabweichung größer als der geforderte CIS- bzw. STI-Wert ist.

$$I_{av} - \sigma \geq 0,7 \text{ (CIS)}$$

$$I_{av} - \sigma \geq 0,5 \text{ (STI)} \quad (3)$$

Bei Erfüllung dieser Anforderungen liegen unter Voraussetzung einer statistischen Normalverteilung 84% der Messwerte oberhalb des Grenzwertes entsprechend 16 % darunter.

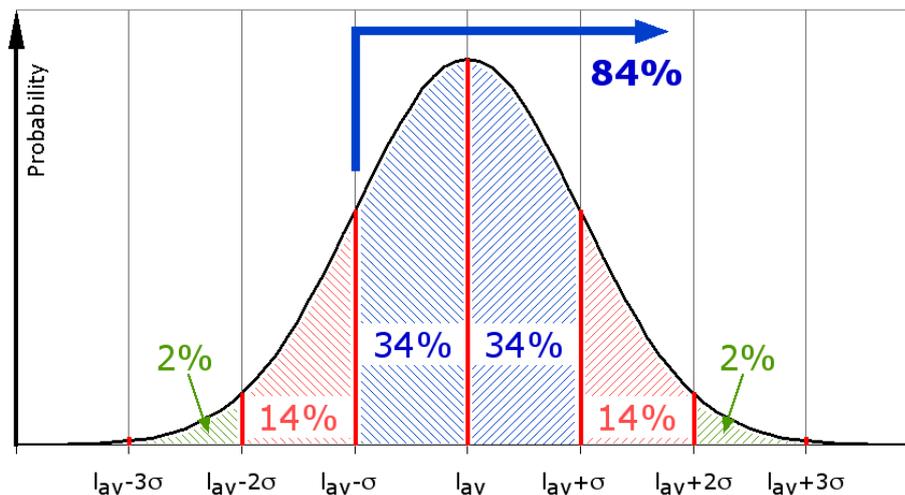


Abbildung 3.2: Statistische Verteilung (Normalverteilung) und Grenzwert bei Einhaltung von $I_{av} - \sigma$

Die Wahl des Grenzwertes von $STI = 0,5$ ist dabei in gewissen Grenzen „willkürlich“ geschehen. Wenngleich die Mindestanforderung so formuliert werden sollte, dass eine befriedigende Sprachverständlichkeit als Minimum auszuweisen ist, gibt es keinerlei wissenschaftliche Untersuchung o.ä. die den Grenzwert $STI = 0,5$ als fixe Grenze fordert. Vielmehr kennzeichnet $STI = 0,5$ den mittleren Bereich einer angemessenen Sprachverständlichkeit. Die Minimalgrenze hätte ohne Beschädigung der generellen Anforderung an eine Mindestsprachqualität auch bei $STI = 0,45$ oder $STI = 0,48$ festgesetzt werden können. Die Bandbreite zur Festlegung möglicher Mindestqualitäten für die Sprachverständlichkeit zeigt sich auch z.B. in den „Vorgaben der Deutschen Bahn“, welche beispielsweise in der Richtlinie „Beschallung auf Bahnsteigen, Ausstattungsvorgaben Version: 2.2 Stand: 19.02.2004“ einen Mindestwert von $STI = 0,45$ fordert.

3.5 Bestimmung des STI-Wertes mit und ohne Verdeckung

Die Forschung und Entwicklung im Bereich der Messung und Berechnung der Sprachverständlichkeit geht stetig voran. So ist die DIN EN 60268-16 „Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex“ aus dem Jahre 1999 im Jahr 2004 revidiert und in den Inhalten erweitert worden. Eine wesentliche Änderung der Norm des Jahres 2004 ist, dass für niedrige Pegel die Hörschwelle und für hohe Pegel der sog. Verdeckungseffekt bei der Bildung des STI-Index mit einbezogen wird. **Beide Effekte führen dazu, dass der STI-Index bei ansonsten idealer Übertragung bei geringen und hohen Pegeln erheblich abnimmt.** Die zugehörige Abhängigkeit zeigt Abbildung 3.3:

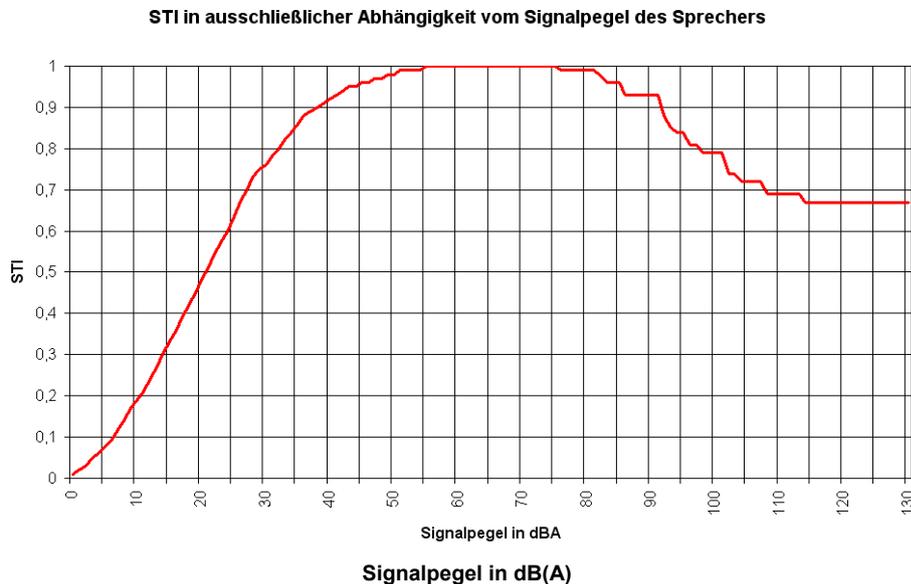


Abbildung 3.3: Bestenfalls noch zu erreichende STI-Werte für einen männlichen Sprecher durch die Effekte der Selbstverdeckung und der Hörschwelle als ausschließliche Kriterien. Ohne Störsignal wird zwischen 55 und 75 dB(A) Sprachsignalpegel ein optimaler Wert erreicht.

Dies bedeutet, dass z. B. Beschallungsanlagen, die auf Grund der Nachhall- und Störgeräuschsituation bei mittleren Pegeln einen STI von z.B. 0,5 erreichen, bei höheren Pegeln nur einen STI < 0,4 aufweisen. Die aus diesem Sachverhalt resultierenden Konsequenzen sind bei Erscheinen der Norm des Jahres 2004 nicht vollständig bedacht worden und werden derzeit in Fachkreisen diskutiert.

Die Norm für die Beschreibung von elektroakustischen Notfallwarnanlagen (DIN EN 60849) enthält einen datierten Verweis auf die DIN EN 60268-16, Ausgabe:1999-02. Da dieser Verweis datiert ist, ist nur diese spezielle Norm, nicht jedoch die zwischenzeitlich erschienene Neufassung des Jahres 2004 inklusive der in ihr enthaltenen Änderungen hinsichtlich des Maskierungseffektes, anzuwenden. Somit wird der Verdeckungseffekt bei der Messung und Berechnung der Sprachverständlichkeit in der Ausgabe der DIN EN 60268-16 des Jahres 1999 nicht berücksichtigt.

3.6 Bestimmung des STI-Wertes mit und ohne Störgeräusch

Die Sprachverständlichkeit hängt somit im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- Signal- / Störabstand
- Nachhallzeit des Raumes

Die Nachhallzeit geht bei der Simulation direkt in die Berechnungsparameter ein. Das Störgeräusch hingegen kann bei der Simulation zunächst nicht berücksichtigt werden. Sofern der Signalpegel jedoch immer 10 dB – 15 dB oberhalb des Störgeräuschniveaus liegt, ist nach den Rechenregeln für die STI-Bestimmung die Beeinträchtigung der Sprachverständlichkeit durch das Störgeräusch vernachlässigbar.

Sofern der Störgeräuschabstand kleiner als 15 dB ist, kann die Auswirkung wie folgt berechnet werden:

$$m(F) = \frac{1}{1 + 10^{\frac{-S/N}{10}}} \quad (4)$$

$m(F)$ sind hier die einzelnen Modulationsübertragungsfunktionen. Die Korrektur wäre demnach in allen Frequenzbändern durchzuführen. S/N kennzeichnet das Signal/Störverhältnis in dB.

Damit das Störgeräusch keinen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit nimmt, muss der Maximalpegel der Anlage so geplant werden, dass der Gesamtpegel (Direktschall und Diffusschall) der Anlage 10 dB – 15 dB höher als das Störgeräuschniveau ist. Der Festlegung des Hintergrundgeräuschniveaus ist somit von entsprechender Bedeutung.

3.7 Zusammenfassung der Unterschiede: STI-Berechnung gemäß DIN EN 60268-16, 2004-01 und DIN EN 60849

Zwischen der Berechnung des STI-Wertes nach der DIN EN 60268-16, 2004-01 und DIN EN 60268-16, 1999-02, auf die die DIN EN 60849 verweist, sind zwei Unterschiede maßgeblich:

- Die Berechnung nach DIN EN 60268-16, 2004-01 bezieht die Hörschwelle und die Verdeckung mit ein.
- Zusätzlich zu den Oktavgewichtungsfaktoren für männliche und weibliche Sprecher wird der STI gemäß DIN EN 60268-16, 2004-01 unter Berücksichtigung des Redundanzkorrekturfaktors berechnet.

Bei der Berücksichtigung des Signal- und Störpegels sind die nach DIN EN 60268-16, 2004-01 berechneten STI-Werte in der Regel schlechter im Vergleich zu den nach DIN EN 60268-16, 1999-02 berechneten. Die neuere Norm ist damit als das härtere Kriterium zur Beurteilung der Sprachverständlichkeit anzusehen. Darüber hinaus können Verdeckung und Hörschwelle, zwei wichtige Faktoren bei der Beurteilung der Sprachverständlichkeit für Hörbehinderte, nur in den Berechnungen nach der DIN EN 60268-16, 2004-01 berücksichtigt werden. Deshalb sind alle späteren Berechnungen der STI-Werte in diesem Bericht auch nach der neueren Norm durchgeführt. Bei der Berechnung der STI-Werte nach der DIN EN 60268-16, 2004-01 ist die Hörschwelle wie folgt festgelegt:

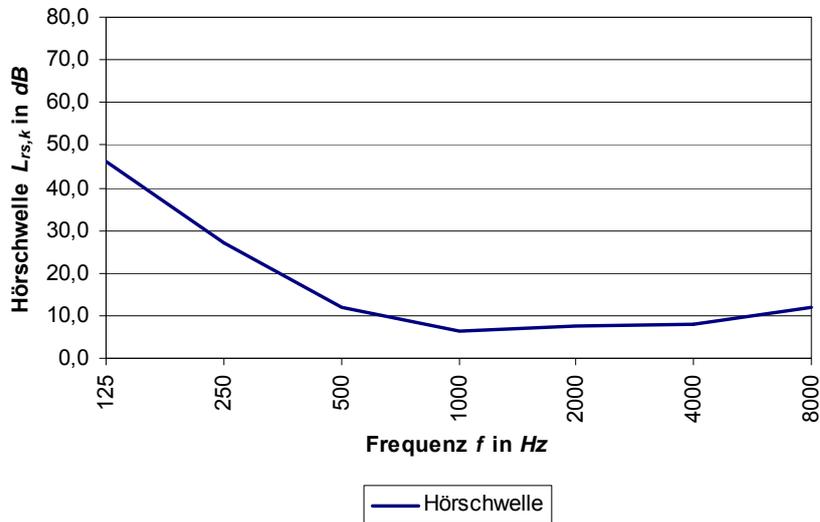


Abbildung 3.4: Frequenzabhängige Hörschwelle nach DIN EN 60268-16, 2004-01

Im Normalfall werden die Berechnungen der Sprachverständlichkeit für einen männlichen Sprecher durchgeführt. Auf die Darstellung der Sprachverständlichkeit für eine weibliche Sprecherin wurde zunächst verzichtet, da hierdurch angesichts von fast 600 Einzelmessungen die Lesbarkeit des Berichtes und auch die Klarheit der Kernaussagen deutlich vermindert würde.

Um dennoch eine Einschätzung für die Unterschiede zwischen den STI-Werten für einen männlichen Sprecher und eine weibliche Sprecherin zu erhalten, wurden beispielhaft aus den Messungen am Bahnsteig in der Bahnhofshalle in Basel (Abschnitt 8.1.5) auch die STI-Werte für eine weibliche Sprecherin berechnet. Die Ergebnisse sind im Anhang dargestellt.

4 Allgemeine Beschreibung zur Durchführung der Messungen

Nachfolgend wird erläutert, in welcher Weise die Messungen gemäß Projektabschnitt 1 der Ausschreibung durchgeführt wurden.

4.1 Messung der Nachhallzeit

Die Messung der Nachhallzeit erfolgt gemäß DIN EN ISO 3382-2 mit Hilfe der Raumanregung durch eine separate Schallquelle. Da während der Messung die Bereiche auf den Bahnsteigen, Übergängen und Eingangshallen nicht gesperrt und zum Teil von Reisenden stark frequentiert waren, wurde nicht die Methode der Impulsanregung durch eine Schreckschusspistole verwendet. Die Anregung erfolgte mit einem Hochleistungslautsprecher. Die Messung wurde mit der so genannten Sweep-Methode durchgeführt, die sich zur Ermittlung der Impulsantwort besonders in Räumlichkeiten mit einem hohen Störpegel bewährt hat. Die Messung und Auswertung erfolgte mit Hilfe eines PC-gestützten Messsystems, das die Berechnung der Nachhallzeit aus der Impulsantwort mit der Schroeder'schen Rückwärtsintegration durchführt. Die Messung erfolgt demnach in drei Schritten:

- Anregung des Raumes mit einem Lautsprecher an verschiedenen Raumpunkten
- Ermittlung der Impulsantwort an verschiedenen Raumpunkten
- Berechnung der frequenzabhängigen Nachhallzeit und anderer raumakustischer Parameter

Diese Methode ist zum einen sehr genau, zum anderen erlaubt sie eine schnelle Messdurchführung. Da die Nachhallzeit in Räumen im Gegensatz zum STI-Index nicht sehr stark ortsabhängig ist, sind für die Messung der Nachhallzeit wesentlich weniger Messpunkte notwendig.

Die Messung der Nachhallzeit mit Hilfe der Messung der Impulsantwort bietet den weiteren Vorteil, dass die Impulsantwort u.a. als hochauflösende wave-Datei vorliegt. So können später auf einfache Weise Sprachbeispiele hergestellt werden, um den Nachhall in den jeweiligen Raumbereichen bei Besprechungen oder Vorträgen hörbar und erlebbar zu machen.

4.2 Messung des Störgeräusches

Die Störgeräuschemessung wird an einem oder mehreren typischen Raumpunkten des betrachteten Raumbereiches durchgeführt. Die Aufzeichnungen erfolgen mit einem geeichten Präzisions-schallpegelmessers der Klasse 1. Der Schallpegelmessers erfasst dabei gleichzeitig alle Größen wie Pegel-Zeitverlauf, Min-Max-Pegel, Perzentilpegel, Terz- oder Oktavspektrum als Multispektrum (ein Messwert je 125 ms) usw., die für die nachträgliche Auswertung von Interesse sind.

Zudem wird bei den Störgeräuschemessungen eine 16 Bit Tonaufzeichnung angefertigt. Mit Hilfe der Tonaufzeichnung können später im Labor dem Pegelverlauf auch die entsprechenden Geräusche zugeordnet werden. Die Tonaufzeichnungen bilden somit die Grundlage für die Auswertung der Störgeräuschemessungen. Anhand der Aufzeichnungen wurden für die einzelnen Bahnhöfe und Bereiche typische Störgeräuschsituationen ausgewählt. Die aus den Messungen dieser Störgeräuschsituationen resultierenden Terz- und Oktavpegel spiegeln zunächst nur die momentane Situation bei den Messungen wieder. Während der Messungen wurden aber sehr viele

unterschiedliche Störgeräuschsituationen erfasst, **so dass beim Abhören der Aufzeichnungen die Störgeräuschsituationen ausgewählt werden konnten, die näherungsweise als repräsentativ eingestuft werden können.**

Bezüglich der Bahnsteige wurden jeweils drei grundlegende Geräuschsituationen erfasst und ausgewertet:

- der Störpegel ohne Zugverkehr,
- bei Einfahrt eines Personenzuges
- bei Durchfahrt eines Güterzuges.

Bei letzteren beiden basieren die Störpegel auf den zeitlichen Bereichen der Messungen, in denen besonders laute Immissionen gemessen wurden. Sie spiegeln damit eine ungünstige Situation wieder, die somit auch weitgehend unabhängig von der Tageszeit und dem Wochentag ist.

Die Messungen der Störgeräusche ohne Zugverkehr auf den Bahnsteigen, in den Eingangshallen, Personentunneln und Passagen sind vor dem Hintergrund der Tageszeit und des Wochentages der Messung zu interpretieren. Es ist daher nicht auszuschließen, dass das in diesem Fall hauptsächlich durch Personen verursachte Störgeräuschniveau zu den Hauptverkehrszeiten entsprechend höher liegt.

4.3 Messung der Signalpegel

Bei der Bestimmung des Maximalpegels der Anlage wird ein Rauschen in die Anlage eingespeist, das hinsichtlich des Crestfaktors (Unterschied zwischen Mittelwert und Spitzenwert) und des Frequenzganges die gleichen Eigenschaften hat wie Sprache. Bei der Einspeisung eines Rauschens ist eine direkte Messung des Signalpegels möglich, während bei Spracheinspeisung wegen der starken zeitlichen Strukturen die Messung viel aufwändiger und ungenauer ist.

Das Spektrum des Rauschens zeigt die Abbildung 4.1.

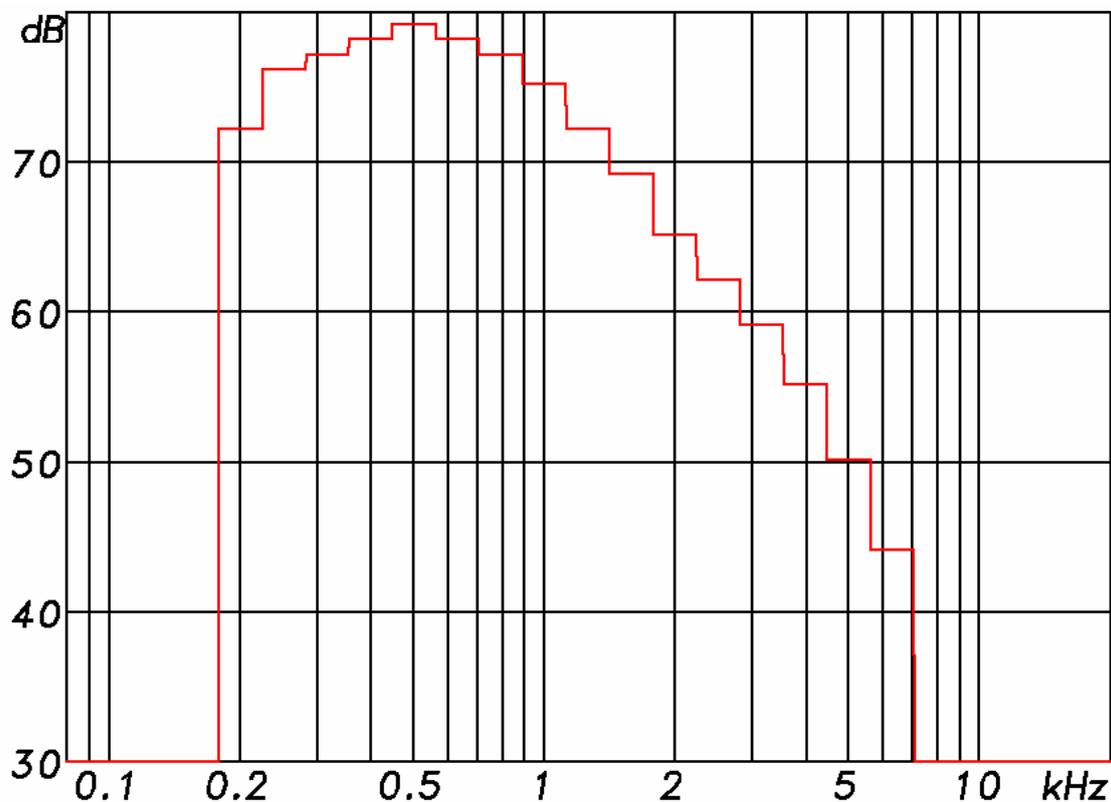


Abbildung 4.1: Spektrum des Rauschsignals zur Messung des Signalpegels

Zur Beurteilung der Beschallungsanlage sollte idealer Weise die Wiedergabe dieses Rauschens mit dem Pegel erfolgen, den die Beschallungsanlage maximal leisten kann, begrenzend sollten dabei lediglich die Übersteuerungsgrenze der Lautsprecher oder Verstärker wirken. Nur so kann eine Aussage über den zu erzielenden Sprachpegel, den maximalen Störabstand und damit über die erreichte Sprachverständlichkeit gemacht werden.

Bei einigen Messungen konnte das Messsignal nicht direkt vor den Verstärkern, sondern nur über die an den Sprechstellen vorhandenen Schnittstellen eingespeist werden. Damit durchlief das Messsignal alle Signalbearbeitungsschritte der Anlage, wodurch u. a. der Wiedergabepegel festgelegt oder automatisch z.B. aufgrund des Pegels der Hintergrundgeräusche angepasst wurde. Eine Erhöhung

des eingespeisten Messsignalpegels führte dadurch nicht mehr zur Erhöhung des Wiedergabepegels bis zur Übersteuerungsgrenze der Lautsprecher und Verstärker. Damit geben die Ergebnisse der Signalpegelmessungen nur an, welche Wiedergabepegel bei der momentanen Einstellung der Signalbearbeitung erreicht werden können und nicht, welcher Pegel anlagenseitig maximal möglich wäre.

Die Messung des Maximalpegels erfolgt prinzipiell „nur“ an wenigen Referenzpunkten im Messbereich. Zusammen mit der nachfolgend beschriebenen STI-Messung, bei der auch für jeden Messpunkt der Frequenzgang mit erfasst wird, kann dann bei Bedarf der Maximalpegel an jedem Messpunkt berechnet werden, an dem auch eine STI-Messung durchgeführt wurde.

4.4 Messung der Sprachverständlichkeit

Die Messung der Sprachverständlichkeit erfolgt prinzipiell in folgenden Schritten:

- Ermittlung des Maximalpegels der Anlage durch Einspeisung eines sprachähnlichen Messsignals (Sprachrauschen)
- Messung des störgeräuschfreien STI
 - Messung der hochauflösenden Impulsantwort
 - Berechnung des STI ohne Berücksichtigung des Störgeräusches
- Berechnung des STI mit Störgeräusch unter Berücksichtigung eines beliebigen Störgeräuschniveaus

Die Sprachverständlichkeit wird gemäß DIN EN 60268-16 mit der indirekten Methode über die Messung der Impulsantwort ermittelt. Diese ist die genaueste Methode zur Bestimmung des STI. Das bei den Messungen eingesetzte Messequipment wurde über viele Jahre an der RWTH-Aachen entwickelt und erlaubt eine außerordentliche Flexibilität bei der Bestimmung der elektroakustischen Messgrößen. So kann der STI in Abhängigkeit vieler Parameter (Störgeräusch, Hörschwelle, Verdeckung, männlich, weiblich) berechnet werden. Zusätzlich werden bei jeder Messung der Sprachverständlichkeit der Frequenzgang und die Impulsantwort am Messpunkt automatisch mit ermittelt, weil er systemimmanent Bestandteil der Messung ist.

Die Messdurchführung erfolgt mit Hilfe eines PC-gestützten Messsystems. Für die Messung wurden zwei Mikrofone gleichzeitig eingesetzt. Die Mikrofone sind über eine Hochleistungs-Funkstrecke drahtlos mit dem PC-Messsystem verbunden. Die Funkstrecke ist eine Spezialentwicklung, die eine hohe Reichweite und eine extreme Verzerrungsfreiheit besitzt.

Typischerweise werden die Raumbereiche in Bahnhöfen so mit einem Raster von 6 m x 6 m bis 15 m x 15 m durchgeführt. Das Messraster wird dabei immer an die zu erwartenden Schwankungen der STI-Verteilung so angepasst, dass das räumliche Profil sicher erfasst wird. Dabei werden Symmetrien der Räume und der Beschallungsanlage ausgenutzt.

Im Rahmen des Projektes war es insbesondere eine Aufgabe den IST-Zustand speziell in den Bereichen genau zu erfassen, in denen es für Menschen mit Hörschädigung wichtig ist, die Durchsagen zu verstehen. Die entsprechenden Messbereiche wurden auf den Bahnsteigen,

Übergängen, Unterführungen und Eingangshallen vor Ort mit Herrn Scheidegger von der Fachstelle Behinderte und öffentlicher Verkehr BÖV ausgewählt und abgestimmt. Diese Bereiche wurden in einem engeren Raster zwischen 2 m x 2 m und 4 m x 4 m gemessen.

4.5 Auswertung der Messungen zur Sprachverständlichkeit

Zur Auswertung der Messungen zur Sprachverständlichkeit wurden zunächst mit dem PC-gestützten Messsystem die 98 Einzelwerte der 7 verschiedenen Oktavfrequenzbänder (125 Hz - 8 kHz) und 14 verschiedenen Modulationsfrequenzen (0,63 Hz bis 12,5 Hz) aus den Impulsantworten berechnet. Diese Berechnung erfolgte für den störgeräuschfreien STI ohne Berücksichtigung der Verdeckung und Maskierung sowie der Signal- und Störpegel. Anschließend wurden die Werte in eine Excel basierte Berechnungssoftware übertragen. Diese Software wurde genutzt, um die Berechnung des STI unter Berücksichtigung der Maskierung und Verdeckung bei unterschiedlichen Störpegeln und dem Signalpegel am jeweiligen Messpunkt durchzuführen.

Die Berechnung der Signalpegel an jedem einzelnen Messpunkt basiert auf den Signalpegelmessungen im jeweiligen Bahnhofsbereichs und der am selben Messpunkten durchgeführten Referenzmessung der Impulsantwort. Aus dem Frequenzgang dieser Referenzmessung, der Signalpegelmessung und den Frequenzgängen der STI-Messung an den einzelnen Messpunkten wurde der Signalpegel für jeden Messpunkt berechnet.

Um zu verdeutlichen, wie sich die Verdeckung und Hörschwelle sowie der Signal- und Störpegel auf den STI auswirken sind die Ergebnisse in drei Kategorien eingeteilt:

- STI ohne Berücksichtigung von Störgeräusch, Verdeckung und Hörschwelle
- STI ohne Berücksichtigung des Störgeräusches mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle
- STI unter Berücksichtigung der Störgeräusche, Verdeckung und Hörschwelle

Die Pegel der Störgeräusche und ihr Frequenzspektrum auf den Bahnsteigen hängt maßgeblich davon ab, ob Züge ein- oder durchfahren. Daher wurden bei der Berechnung der STI-Werte für die Bahnsteige drei unterschiedliche Störgeräuschsituationen berücksichtigt:

- Störgeräusche ohne Zugverkehr
- Störgeräusche bei der Einfahrt eines Personenzugs
- Störgeräusche bei Durchfahrt eines Güterzugs

In zwei Bahnhofsbereichen konnte der Signalpegel nicht gemessen werden, da die Nutzschnalle zu stark von den Störgeräuschen überlagert wurden. Für diese beiden Bereiche wurde deshalb nur der STI ohne Störgeräusch berechnet. In diesen beiden Bereichen ist bereits der störgeräuschfreie STI < 0,45. Somit ist dort schon eine angemessene Sprachverständlichkeit für normal hörende Personen nicht gegeben. Weitere Betrachtungen sind damit nicht erforderlich, da sich durch die Berücksichtigung der Verdeckung, Hörschwelle, Signal- und Störgeräusche nur eine Verschlechterung der STI-Werte ergeben kann.

5 Messungen im Bahnhof Zug

Der Bahnhof Zug hat in seiner räumlichen Mitte eine mehrstöckige Eingangshalle mit einem dreieckigen Grundriss. Rechts und links dieser Eingangshalle liegen die Bahnsteige und Gleise. Einen Ausschnitt aus dem Grundriss zeigt die Abbildung 5.4. Die Bahnsteige sind überdacht, die Gleise besitzen keine Überdachung.

Das Bahnhofsgebäude wurde zwischen 2001 und 2004 neu erbaut. Im Zuge dieser Neubau- und Renovierungsmaßnahmen wurde auch die Beschallungsanlage erneuert. Lautsprecher für Durchsagen mit Informationen zum Zugverkehr finden nur auf den Bahnsteigen und nicht in der Eingangshalle statt. Daher wurden in der Eingangshalle keine Messungen durchgeführt.

Die Messungen im Bahnhof Zug fanden am 18.11.2008 in der Zeit von 15:30 Uhr bis 21:30 Uhr statt.



Abbildung 5.1: Gleis 3 und 2 des Bahnhofs Zug



Abbildung 5.2: Gleis 1 des Bahnhofs Zug

5.1 Durchführung der Messung

Die Messsignale zur Durchführung der Messungen wurden über eine Sprechstelle der Durchsageanlage eingespeist.

Die folgende Tabelle fasst die in Zug durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Es war keine Messung der Nachhallzeit notwendig, da die Gleise nicht überdacht waren				
2 Störpegel					
2.1	Störpegel	3	Bahnsteig	Abbildung 5.3	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel	3	Bahnsteig	Abbildung 5.3	2
3.2	Signalpegel	2	Bahnsteig u. Wartehäuschen	Abbildung 5.3	6
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI	1 / 3	Raster 6 m x 3 m Mikrofonpositionen versetzt	Abbildung 5.4	66
4.2	STI	2	Raster 6 m x 3 m Mikrofonpositionen versetzt	Abbildung 5.4	64 + 2 im Wartehäuschen
4.3	STI	3	Raster 1,2 m x 1,2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 5.5	54

Tabelle 5.1: Messungen am Bahnhof Zug

Die folgenden Abbildungen skizzieren die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

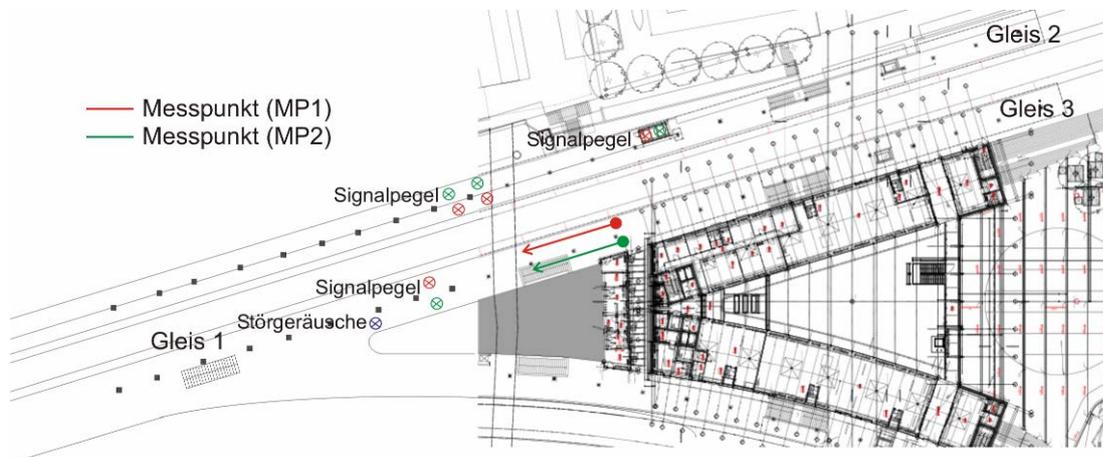


Abbildung 5.3: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (Messung 2.1) auf Gleis 3, bei der Messung des Signalpegels auf Gleis 3 (Messung 3.1) und auf Gleis 2 (Messung 3.2) sowie bei der Messung des STI (Messung 4.3) mit einem Raster von 1,2 x 2 m



Abbildung 5.4: Messpunkte bei der STI-Messung auf den Gleisen 1 / 3 (Messung 4.1) und Gleis 2 (Messung 4.2) im Raster 6 m x 3 m.

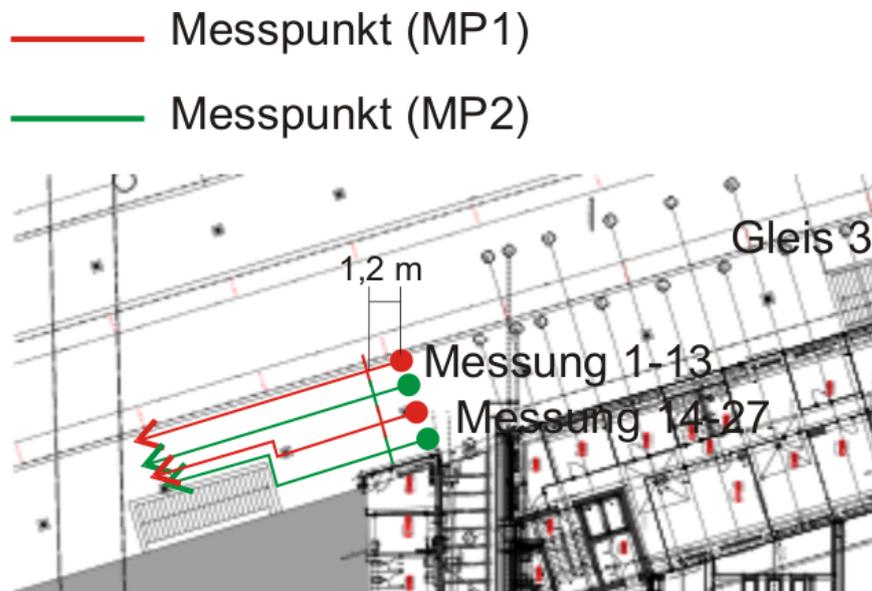


Abbildung 5.5: Detailansicht der STI-Messung 4.3 mit einem Raster von 1,2 x 1,2 m

Bei den Messungen zur Sprachverständlichkeit wurden zunächst alle Bereiche der Bahnsteige in einem groben Raster erfasst. Bei einem zweiten Messdurchgang auf Gleis 3 wurden die Messungen in einem sehr geringen Raster im Bereich um die Anzeigentafel gemessen. Somit wurde ein Bereich erfasst, an dem Menschen mit einer Hörschädigung gleichzeitig visuell und auditiv informiert werden können.

Besonderheiten:

Der Durchsagepegel auf den Gleisen 1 und 3 wird automatisch an die jeweiligen Störgeräusche angepasst. Dabei hängt der Signalpegel davon ab, wie laut die Störgeräusche beim Aufschalten der Durchsage sind. Auf Gleis 2 wird der Durchsagepegel nicht von einer automatischen Schaltung angepasst sondern bleibt immer gleich.

5.2 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Aus den Messungen der Störgeräusche wurden drei typische Betriebszustände ausgewählt: die Einfahrt eines Personenzugs, die Durchfahrt eines Güterzugs und die Hintergrundgeräusche ohne Zugverkehr. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese drei Betriebszustände:

Betriebszustand		Personenzug	Güterzug	Störpegel ohne Zugverkehr
L_{Aeq}	dB	70,5	72,1	61,5
L_{AFmax}	dB	78,5	75,0	65,0

Tabelle 5.2: Störpegel bei den typischen Betriebszuständen

Das Frequenzspektrum der Störpegel bei den drei Betriebszuständen zeigt die folgende Abbildung:

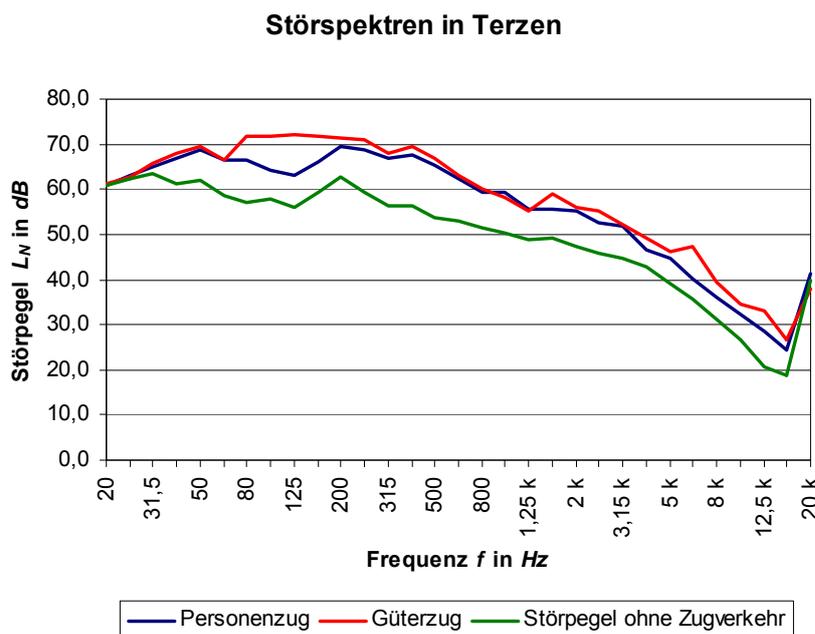


Abbildung 5.6: Störspektren in Terzen bei den drei typischen Betriebszuständen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

Für die Sprachverständlichkeit relevante Störspektren in Oktaven

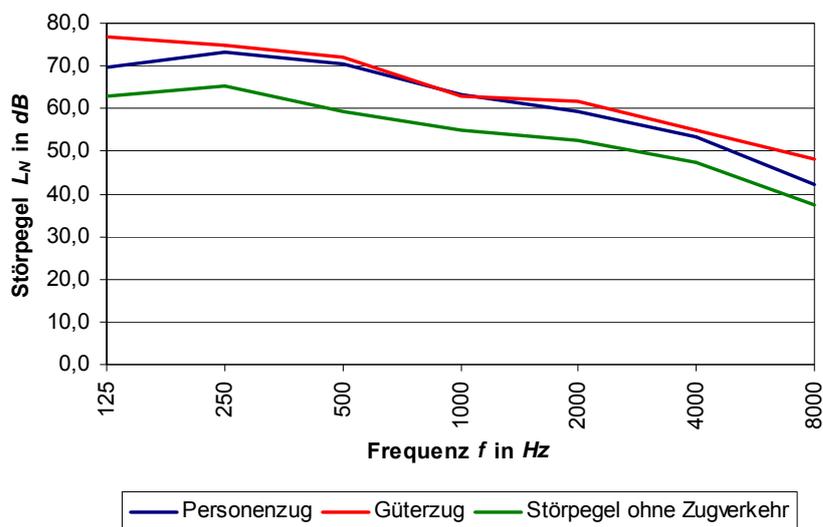


Abbildung 5.7: Störspektren in Oktaven bei den typischen Betriebszuständen

5.3 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	3 Max	62,7	53,2	74,1	77,6	77,4	74,4	63,6	51,6	82,3	81,0
3.1	3 Min	50,4	44,8	66,5	69,7	69,4	66,3	55,3	43,3	74,4	73,0
3.2	2	50,6	52,7	68,4	73,2	72,5	68,7	59,1	46,6	77,3	76,0
3.2	2 im Warteh.	43,7	49,2	71,2	79,2	75,7	64,2	57,2	49,8	81,4	79,2

Tabelle 5.3: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

5.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 am Gleis 1 / 3 an 66 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,74	0,73	0,61	0,48	0,44
2	MP1	0,66	0,59	0,44	0,33	0,30
3	MP1	0,63	0,63	0,53	0,40	0,36
4	MP1	0,66	0,64	0,55	0,45	0,41
5	MP1	0,73	0,71	0,63	0,49	0,45
6	MP1	0,76	0,72	0,61	0,45	0,40
7	MP1	0,74	0,71	0,57	0,43	0,38
8	MP1	0,66	0,62	0,54	0,42	0,40
9	MP1	0,64	0,63	0,45	0,30	0,27
10	MP1	0,63	0,61	0,51	0,41	0,38
11	MP1	0,63	0,62	0,53	0,43	0,39
12	MP1	0,65	0,63	0,48	0,33	0,28
13	MP1	0,66	0,66	0,56	0,43	0,38
14	MP1	0,66	0,61	0,52	0,40	0,37
15	MP1	0,62	0,59	0,44	0,28	0,24
16	MP1	0,65	0,64	0,47	0,34	0,31
17	MP1	0,66	0,64	0,58	0,47	0,43
18	MP1	0,66	0,65	0,59	0,46	0,42
19	MP1	0,65	0,61	0,41	0,27	0,23
20	MP1	0,68	0,58	0,50	0,43	0,40
21	MP1	0,67	0,60	0,50	0,41	0,38
22	MP1	0,67	0,66	0,59	0,48	0,44
23	MP1	0,65	0,57	0,47	0,38	0,33
24	MP1	0,62	0,60	0,51	0,40	0,36
25	MP1	0,68	0,66	0,59	0,50	0,46
26	MP1	0,70	0,67	0,63	0,54	0,50
27	MP1	0,65	0,61	0,53	0,41	0,38
28	MP1	0,66	0,65	0,61	0,51	0,48
29	MP1	0,67	0,66	0,60	0,48	0,44
30	MP1	0,67	0,63	0,53	0,38	0,35
31	MP1	0,71	0,69	0,55	0,42	0,40
32	MP1	0,72	0,70	0,63	0,53	0,49
33	MP1	0,64	0,63	0,51	0,40	0,35
1	MP2	0,76	0,71	0,63	0,51	0,48
2	MP2	0,66	0,64	0,50	0,35	0,33
3	MP2	0,64	0,62	0,55	0,42	0,38
4	MP2	0,66	0,67	0,49	0,32	0,26
5	MP2	0,77	0,74	0,69	0,59	0,55
6	MP2	0,77	0,76	0,64	0,46	0,40
7	MP2	0,76	0,72	0,61	0,48	0,45
8	MP2	0,70	0,63	0,49	0,37	0,32

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
9	MP2	0,63	0,61	0,47	0,37	0,32
10	MP2	0,66	0,66	0,54	0,38	0,33
11	MP2	0,66	0,65	0,57	0,44	0,39
12	MP2	0,67	0,65	0,57	0,47	0,43
13	MP2	0,69	0,68	0,59	0,46	0,42
14	MP2	0,63	0,60	0,46	0,32	0,27
15	MP2	0,65	0,62	0,53	0,41	0,38
16	MP2	0,62	0,61	0,55	0,47	0,42
17	MP2	0,63	0,62	0,49	0,36	0,32
18	MP2	0,65	0,63	0,54	0,43	0,38
19	MP2	0,63	0,62	0,52	0,40	0,36
20	MP2	0,66	0,62	0,52	0,42	0,37
21	MP2	0,68	0,60	0,50	0,43	0,39
22	MP2	0,66	0,66	0,58	0,45	0,41
23	MP2	0,68	0,61	0,53	0,42	0,38
24	MP2	0,67	0,66	0,52	0,36	0,31
25	MP2	0,66	0,64	0,57	0,45	0,41
26	MP2	0,69	0,63	0,52	0,38	0,34
27	MP2	0,65	0,61	0,49	0,38	0,35
28	MP2	0,67	0,67	0,62	0,53	0,50
29	MP2	0,67	0,66	0,62	0,52	0,48
30	MP2	0,68	0,67	0,62	0,50	0,47
31	MP2	0,69	0,61	0,54	0,48	0,44
32	MP2	0,68	0,67	0,54	0,38	0,33
33	MP2	0,72	0,68	0,63	0,53	0,49
	STI_{MW}	0,67	0,65	0,54	0,43	0,39
	STI_{MW-STABW}	0,63	0,60	0,49	0,36	0,32

Tabelle 5.4: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung (STI_{MW-STABW}) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-33	0,67	0,64	0,54	0,42	0,38
STI_{MW-STABW}	MP1 / 1-33	0,63	0,60	0,48	0,35	0,31
STI_{MW}	MP2 / 1-33	0,68	0,65	0,55	0,43	0,39
STI_{MW-STABW}	MP2 / 1-33	0,64	0,61	0,50	0,37	0,32

Tabelle 5.5: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

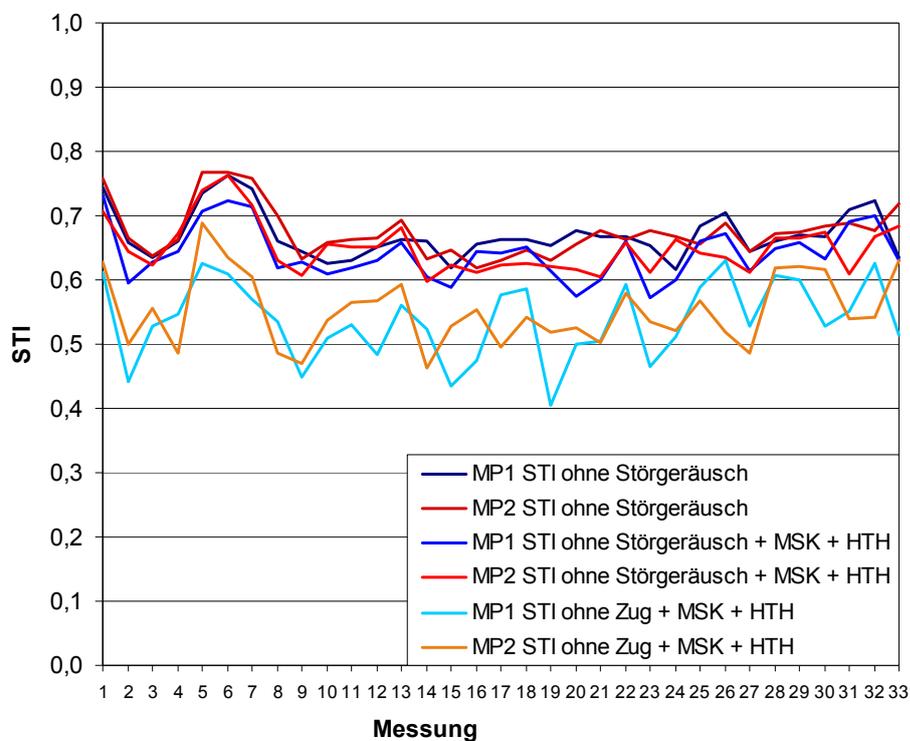


Abbildung 5.8: Grafische Darstellung der STI-Werte

Messung Nr. 4.2 am Gleis 2 an 64 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,75	0,73	0,69	0,58	0,53
2	MP1	0,71	0,62	0,62	0,56	0,55
3	MP1	0,74	0,68	0,65	0,55	0,52
4	MP1	0,70	0,65	0,64	0,61	0,59
5	MP1	0,75	0,68	0,66	0,59	0,58
6	MP1	0,74	0,67	0,64	0,56	0,55
7	MP1	0,74	0,63	0,62	0,54	0,53
8	MP1	0,70	0,64	0,62	0,55	0,53
9	MP1	0,73	0,65	0,63	0,57	0,54
10	MP1	0,68	0,64	0,58	0,49	0,48
11	MP1	0,71	0,63	0,62	0,59	0,57
12	MP1	0,70	0,64	0,58	0,48	0,47
13	MP1	0,65	0,60	0,47	0,33	0,31
14	MP1	0,68	0,64	0,59	0,50	0,46
15	MP1	0,70	0,65	0,62	0,57	0,53
16	MP1	0,66	0,56	0,52	0,43	0,41
17	MP1	0,69	0,65	0,62	0,53	0,49
18	MP1	0,72	0,63	0,58	0,48	0,46
19	MP1	0,74	0,66	0,65	0,60	0,59
20	MP1	0,70	0,62	0,62	0,57	0,55
21	MP1	0,70	0,63	0,60	0,51	0,49
22	MP1	0,73	0,67	0,64	0,56	0,53
23	MP1	0,72	0,58	0,55	0,52	0,51
24	MP1	0,74	0,67	0,60	0,52	0,50
25	MP1	0,70	0,56	0,55	0,50	0,49
26	MP1	0,71	0,66	0,56	0,45	0,42
27	MP1	0,71	0,67	0,63	0,53	0,49
28	MP1	0,78	0,69	0,66	0,63	0,62
29	MP1	0,71	0,67	0,63	0,55	0,52
30	MP1	0,74	0,68	0,59	0,49	0,46
31	MP1	0,73	0,68	0,65	0,58	0,54
32	MP1	0,71	0,65	0,58	0,45	0,44
1	MP2	0,69	0,63	0,54	0,42	0,39
2	MP2	0,71	0,66	0,57	0,47	0,45
3	MP2	0,74	0,69	0,68	0,62	0,58
4	MP2	0,70	0,67	0,60	0,48	0,45
5	MP2	0,75	0,71	0,63	0,52	0,49
6	MP2	0,75	0,70	0,65	0,56	0,53
7	MP2	0,74	0,64	0,62	0,56	0,55
8	MP2	0,70	0,65	0,59	0,48	0,47
9	MP2	0,72	0,66	0,65	0,59	0,57

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
10	MP2	0,72	0,67	0,62	0,54	0,53
11	MP2	0,70	0,63	0,56	0,46	0,45
12	MP2	0,71	0,62	0,59	0,49	0,47
13	MP2	0,69	0,63	0,61	0,54	0,50
14	MP2	0,67	0,63	0,58	0,47	0,43
15	MP2	0,68	0,63	0,58	0,48	0,46
16	MP2	0,74	0,65	0,55	0,48	0,47
17	MP2	0,68	0,61	0,60	0,52	0,50
18	MP2	0,69	0,66	0,57	0,47	0,44
19	MP2	0,74	0,64	0,59	0,54	0,53
20	MP2	0,70	0,66	0,62	0,52	0,49
21	MP2	0,70	0,55	0,47	0,41	0,39
22	MP2	0,66	0,60	0,59	0,53	0,52
23	MP2	0,70	0,60	0,60	0,53	0,52
24	MP2	0,73	0,65	0,64	0,60	0,58
25	MP2	0,73	0,61	0,58	0,54	0,52
26	MP2	0,69	0,65	0,60	0,50	0,47
27	MP2	0,67	0,61	0,58	0,49	0,46
28	MP2	0,76	0,65	0,65	0,61	0,60
29	MP2	0,76	0,72	0,68	0,59	0,55
30	MP2	0,73	0,65	0,63	0,56	0,53
31	MP2	0,73	0,70	0,59	0,44	0,41
32	MP2	0,74	0,62	0,58	0,50	0,49
	STI_{MW}	0,71	0,65	0,60	0,52	0,50
	STI_{MW-STABW}	0,69	0,61	0,56	0,47	0,44

Tabelle 5.6: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STIMW) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung (STIMW-STABW) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-32	0,71	0,65	0,61	0,53	0,51
STI_{MW-STABW}	MP1 / 1-32	0,69	0,61	0,56	0,47	0,45
STI_{MW}	MP2 / 1-32	0,71	0,65	0,60	0,52	0,49
STI_{MW-STABW}	MP2 / 1-32	0,69	0,61	0,56	0,46	0,44

Tabelle 5.7: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

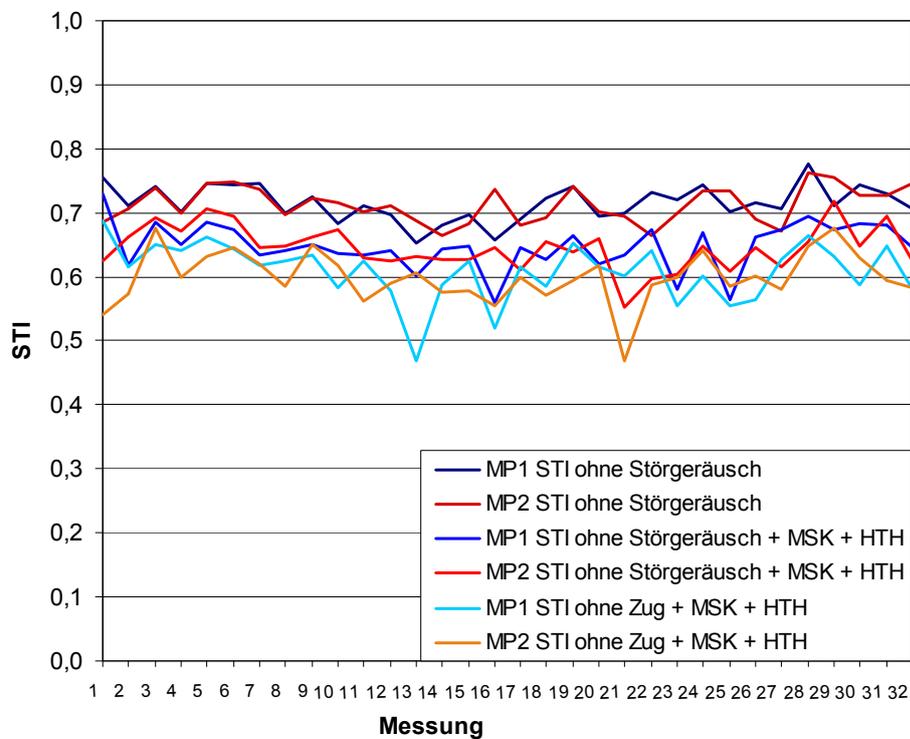


Abbildung 5.9: Grafische Darstellung der STI-Werte

Messung Nr. 4.2 im Wartehäuschen am Gleis 2 an 2 Messpunkten:

Bei der Berechnung der STI-Werte wurde abgeschätzt, dass im Wartehäuschen der Störpegel um 20 dB geringer ist als auf dem Bahnsteig.

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51
1	MP2	0,72	0,68	0,68	0,68	0,68
	STI_{MW}	0,62	0,60	0,60	0,60	0,60

Tabelle 5.8: Zusammenfassung der STI-Werte

Messung Nr. 4.3 am Gleis 3 an 54 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,67	0,66	0,54	0,42	0,37
2	MP1	0,64	0,62	0,49	0,36	0,34
3	MP1	0,64	0,59	0,37	0,23	0,17
4	MP1	0,63	0,62	0,46	0,32	0,30
5	MP1	0,65	0,65	0,58	0,46	0,42
6	MP1	0,68	0,68	0,59	0,48	0,43
7	MP1	0,64	0,65	0,54	0,38	0,34
8	MP1	0,68	0,67	0,56	0,43	0,38
9	MP1	0,67	0,65	0,50	0,34	0,30
10	MP1	0,65	0,64	0,48	0,32	0,26
11	MP1	0,67	0,66	0,54	0,41	0,37
12	MP1	0,66	0,64	0,50	0,40	0,38
13	MP1	0,66	0,63	0,47	0,33	0,30
1B	MP1	0,64	0,60	0,51	0,43	0,40
2B	MP1	0,65	0,65	0,59	0,49	0,46
3B	MP1	0,64	0,62	0,57	0,45	0,40
4B	MP1	0,64	0,61	0,48	0,33	0,28
5B	MP1	0,67	0,63	0,53	0,43	0,41
6B	MP1	0,63	0,60	0,53	0,42	0,38
7B	MP1	0,62	0,63	0,54	0,42	0,38
8B	MP1	0,64	0,63	0,46	0,31	0,28
9B	MP1	0,64	0,63	0,52	0,38	0,35
10B	MP1	0,67	0,66	0,52	0,37	0,31
11B	MP1	0,66	0,62	0,53	0,42	0,38
12B	MP1	0,66	0,66	0,44	0,26	0,21
13B	MP1	0,63	0,62	0,54	0,40	0,35
14B	MP1	0,67	0,66	0,52	0,36	0,30

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP2	0,66	0,63	0,45	0,36	0,32
2	MP2	0,63	0,62	0,49	0,33	0,28
3	MP2	0,63	0,60	0,46	0,32	0,27
4	MP2	0,62	0,62	0,52	0,41	0,37
5	MP2	0,64	0,59	0,46	0,35	0,31
6	MP2	0,66	0,64	0,48	0,36	0,33
7	MP2	0,66	0,66	0,50	0,32	0,26
8	MP2	0,67	0,64	0,48	0,34	0,32
9	MP2	0,66	0,66	0,46	0,28	0,22
10	MP2	0,65	0,63	0,39	0,24	0,18
11	MP2	0,64	0,63	0,47	0,34	0,32
12	MP2	0,66	0,66	0,54	0,41	0,36
13	MP2	0,64	0,60	0,38	0,21	0,18
1B	MP2	0,65	0,62	0,52	0,42	0,38
2B	MP2	0,64	0,63	0,57	0,47	0,43
3B	MP2	0,65	0,60	0,52	0,42	0,39
4B	MP2	0,63	0,62	0,47	0,32	0,26
5B	MP2	0,67	0,62	0,47	0,34	0,31
6B	MP2	0,66	0,63	0,52	0,38	0,34
7B	MP2	0,68	0,67	0,46	0,33	0,29
8B	MP2	0,65	0,65	0,55	0,43	0,38
9B	MP2	0,65	0,65	0,50	0,36	0,31
10B	MP2	0,70	0,68	0,57	0,44	0,39
11B	MP2	0,68	0,68	0,59	0,48	0,44
12B	MP2	0,64	0,60	0,47	0,35	0,31
13B	MP2	0,66	0,64	0,53	0,40	0,36
14B	MP2	0,66	0,66	0,57	0,44	0,40
	STI_{MW}	0,65	0,64	0,51	0,37	0,33
	STI_{MW-STABW}	0,64	0,61	0,45	0,31	0,27

Tabelle 5.9: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-13	0,66	0,64	0,51	0,38	0,34
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-13	0,64	0,62	0,45	0,31	0,27
STI_{MW}	MP2 / 1-13	0,65	0,63	0,47	0,33	0,29
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-13	0,63	0,61	0,42	0,27	0,22

Tabelle 5.10: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

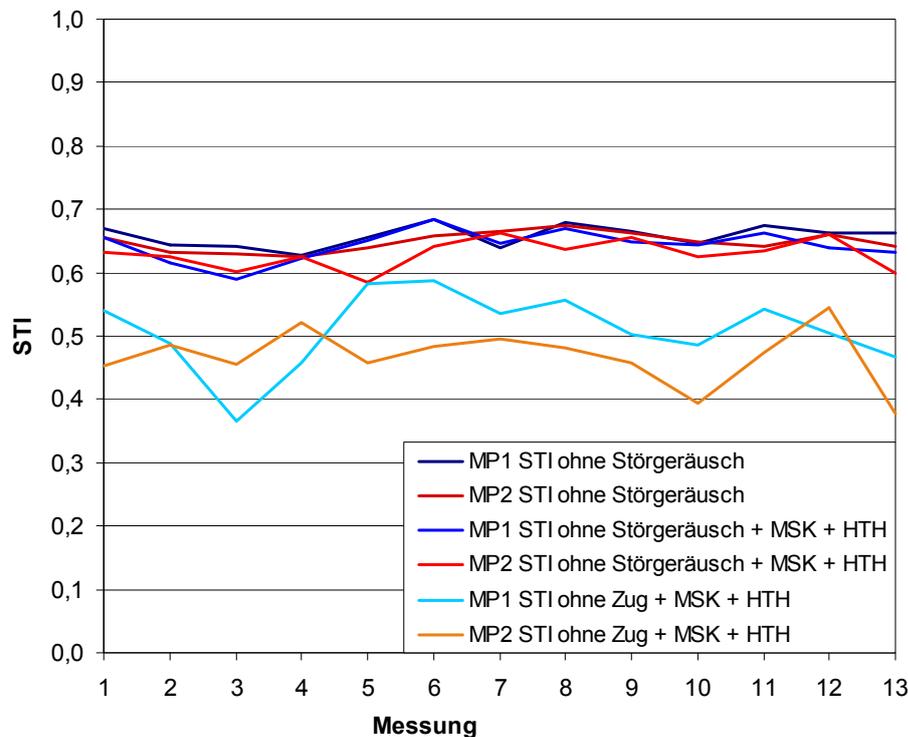


Abbildung 5.10: Grafische Darstellung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 B und MP2 B (Messung 14-27 in Abbildung 5.5) zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / B 1-14	0,65	0,63	0,52	0,39	0,35
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / B 1-14	0,63	0,61	0,48	0,33	0,28
STI_{MW}	MP2 / B 1-14	0,66	0,64	0,52	0,40	0,36
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / B 1-14	0,64	0,61	0,48	0,35	0,30

Tabelle 5.11: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1B und MP2B

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

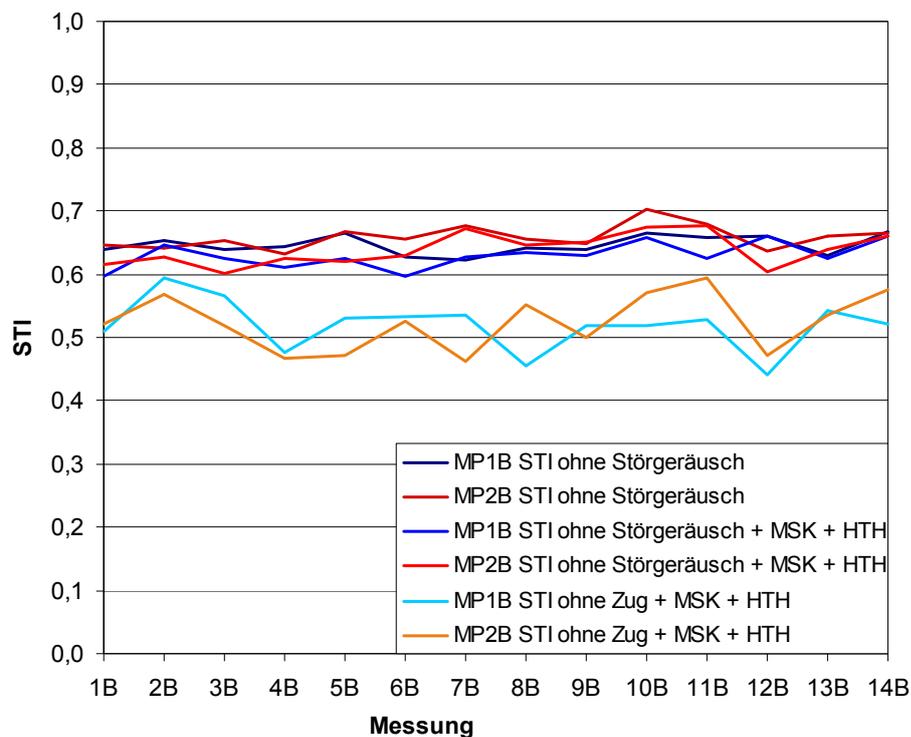


Abbildung 5.11: Grafische Darstellung der STI-Werte der B-Messreihe

6 Messungen im Bahnhof Neuenburg

Ursprünglich war die Durchführung von Messungen im Bahnhof Biel geplant. Da aber der Bahnhof Biel in Kürze eine neue Beschallungsanlage bekommen soll und unter diesen Voraussetzungen Messungen zur Dokumentation des Ist-Zustands keinen Nutzen gehabt hätten, wurden die Messungen in den Bahnhof Neuenburg verlegt. Der Bahnhof Neuenburg hatte zum Zeitpunkt der Messung bereits eine neue Durchsageanlage in den Bereichen Sprechstellen, Elektronik, Steuerung und Verstärker. Die Lautsprecher in der Eingangshalle und dem Bahnhof der Seilbahn wurden ebenfalls erneuert, die Lautsprecher auf den Bahnsteigen nicht.

Messungen wurden in drei Bereichen durchgeführt, auf den Bahnsteigen, in der Eingangshalle und im Bahnhof der Seilbahn.

Die Messungen im Bahnhof Neuenburg fanden am 19.11.2008 in der Zeit von 10:00 bis 15:00 Uhr statt.

6.1 Messungen auf den Bahnsteigen

Die Messungen wurden auf den Bahnsteigen zu den Gleisen 1 und 2 durchgeführt. Das Gleis 1 grenzt an die Eingangshalle an und der Bahnsteig ist überdacht. Der Bahnsteig zum Gleis 2 ist im mittleren Teil überdacht, die Außenbereiche und die Gleise selber sind nicht überdacht.



Abbildung 6.1: Gleis 1 und Lautsprecher des Bahnhofs Neuenburg



Abbildung 6.2: Bahnsteig zum Gleis 2 des Bahnhofs Neuenburg

6.1.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden im zentralen Technikraum vor den Verstärkern direkt in die Durchsageanlage eingespeist. Bei den Messungen des Signalpegels wurde das Messsignal mit dem maximal möglichen Pegel in die Verstärker eingespeist, d.h. mit dem höchsten Pegel, der noch nicht zu einer Übersteuerung der Verstärker führte.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Es war keine Messung der Nachhallzeit notwendig, da die Gleise nicht überdacht waren				
2 Störpegel					
2.1	Störpegel	1	Bahnsteig	Abbildung 6.3	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel	1	Bahnsteig	Abbildung 6.3	2
3.2	Signalpegel	2	Bahnsteig	Abbildung 6.3	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI	1	Raster 2 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 6.3	46
4.2	STI	2 mit Dach	Raster 2 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 6.3	34
4.3	STI	2 ohne Dach	Raster 3 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 6.3	30

Tabelle 6.1: Messungen auf den Bahnsteigen

Die folgenden Abbildungen skizzieren die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

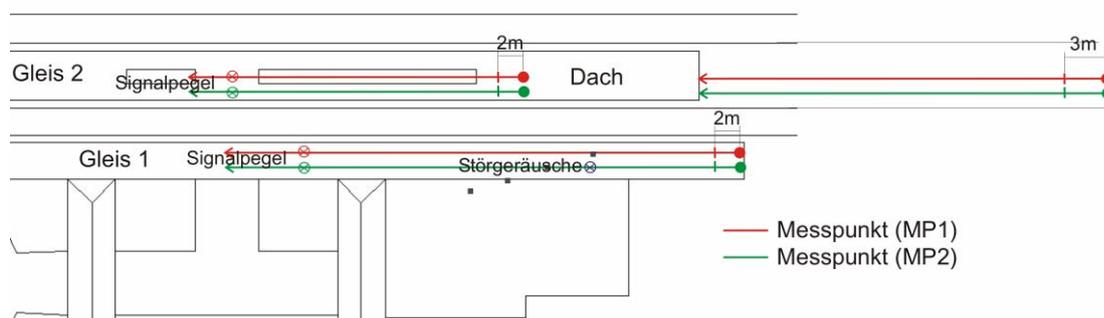


Abbildung 6.3: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (Messung 2.1) auf Gleis 1, bei der Messung des Signalpegels auf Gleis 1 (Messung 3.1) und auf Gleis 2 (Messung 3.2) sowie bei der Messung des STI auf Gleis 1 (4.1), auf Gleis 2 auf dem Teil des Bahnsteiges mit Dach (4.2) und auf dem Teil ohne Dach (4.3)

6.1.2 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Aus den Messungen der Störgeräusche wurden drei typische Betriebszustände ausgewählt: die Einfahrt eines Personenzugs, die Durchfahrt eines Güterzugs und die Hintergrundgeräusche ohne Zugverkehr. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese drei Betriebszustände:

Betriebszustand		Personenzug	Güterzug	Störpegel ohne Zugverkehr
L_{Aeq}	dB	70,7	87,1	55,8
L_{AFmax}	dB	76,2	91,2	62,3

Tabelle 6.2: Störpegel bei den typischen Betriebszuständen

Das Frequenzspektrum der Störpegel bei den drei Betriebszuständen zeigt die folgende Abbildung:

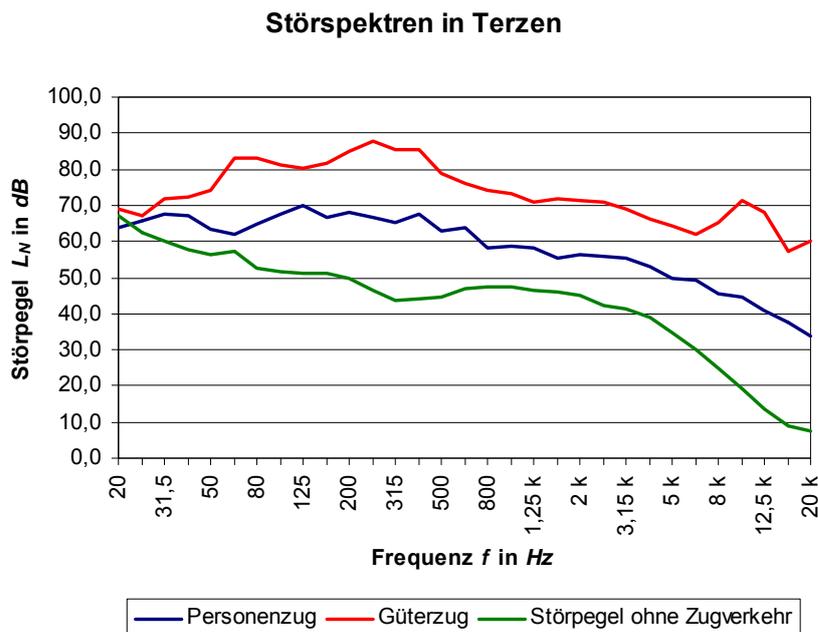


Abbildung 6.4: Störspektren in Terzen bei den drei typischen Betriebszuständen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

Für die Sprachverständlichkeit relevante Störspektren in Oktaven

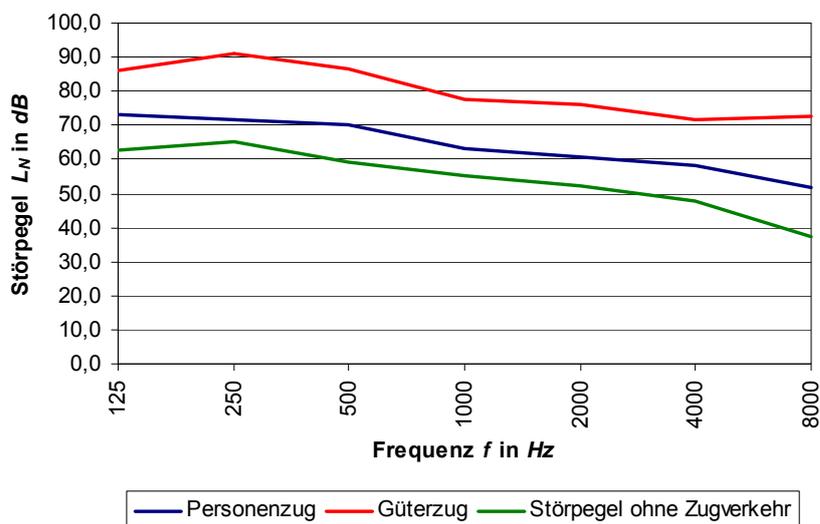


Abbildung 6.5: Störspektren in Oktaven bei den drei typischen Betriebszuständen

6.1.3 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	1	56,3	67,5	84,0	85,5	80,0	72,8	67,8	51,4	88,4	85,3
3.2	2	55,1	68,6	79,4	82,1	76,3	69,3	62,6	47,0	84,9	81,6

Tabelle 6.3: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

6.1.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 am Gleis 1 an 46 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,70	0,58	0,57	0,52	0,30
2	MP1	0,76	0,63	0,63	0,56	0,34
3	MP1	0,80	0,64	0,64	0,60	0,40
4	MP1	0,69	0,48	0,48	0,44	0,33
5	MP1	0,74	0,63	0,63	0,55	0,36
6	MP1	0,73	0,64	0,63	0,52	0,22
7	MP1	0,71	0,63	0,63	0,56	0,29
8	MP1	0,69	0,63	0,62	0,51	0,21
9	MP1	0,73	0,67	0,67	0,57	0,28
10	MP1	0,73	0,65	0,65	0,59	0,37
11	MP1	0,74	0,65	0,64	0,56	0,32
12	MP1	0,74	0,60	0,59	0,53	0,33
13	MP1	0,72	0,63	0,62	0,57	0,35
14	MP1	0,71	0,65	0,64	0,55	0,29
15	MP1	0,69	0,64	0,64	0,57	0,35
16	MP1	0,71	0,62	0,62	0,57	0,36
17	MP1	0,70	0,62	0,62	0,56	0,35
18	MP1	0,73	0,59	0,58	0,49	0,25
19	MP1	0,70	0,67	0,66	0,54	0,23
20	MP1	0,72	0,62	0,61	0,54	0,28
21	MP1	0,74	0,66	0,66	0,59	0,31
22	MP1	0,76	0,65	0,65	0,63	0,43
23	MP1	0,70	0,61	0,60	0,54	0,33
1	MP2	0,66	0,61	0,58	0,45	0,12

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
2	MP2	0,70	0,60	0,59	0,52	0,29
3	MP2	0,68	0,52	0,50	0,41	0,22
4	MP2	0,65	0,60	0,59	0,50	0,22
5	MP2	0,67	0,51	0,49	0,36	0,22
6	MP2	0,66	0,56	0,55	0,50	0,28
7	MP2	0,68	0,64	0,63	0,54	0,27
8	MP2	0,69	0,54	0,53	0,44	0,27
9	MP2	0,71	0,56	0,55	0,49	0,28
10	MP2	0,71	0,65	0,64	0,53	0,23
11	MP2	0,72	0,63	0,62	0,48	0,18
12	MP2	0,70	0,60	0,59	0,49	0,25
13	MP2	0,67	0,56	0,56	0,51	0,34
14	MP2	0,66	0,59	0,58	0,48	0,22
15	MP2	0,68	0,61	0,61	0,55	0,32
16	MP2	0,68	0,60	0,60	0,51	0,29
17	MP2	0,69	0,59	0,58	0,43	0,14
18	MP2	0,69	0,65	0,65	0,57	0,28
19	MP2	0,66	0,63	0,62	0,53	0,25
20	MP2	0,69	0,60	0,60	0,53	0,33
21	MP2	0,68	0,53	0,53	0,45	0,28
22	MP2	0,66	0,61	0,61	0,54	0,30
23	MP2	0,62	0,53	0,52	0,40	0,19
	STI_{MW}	0,70	0,61	0,60	0,52	0,28
	STI_{MW-STABW}	0,67	0,56	0,55	0,46	0,22

Tabelle 6.4: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung (STI_{MW-STABW}) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-23	0,72	0,63	0,62	0,55	0,32
STI_{MW-STABW}	MP1 / 1-23	0,70	0,59	0,58	0,51	0,26
STI_{MW}	MP2 / 1-23	0,68	0,59	0,58	0,49	0,25
STI_{MW-STABW}	MP2 / 1-23	0,66	0,55	0,54	0,43	0,19

Tabelle 6.5: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

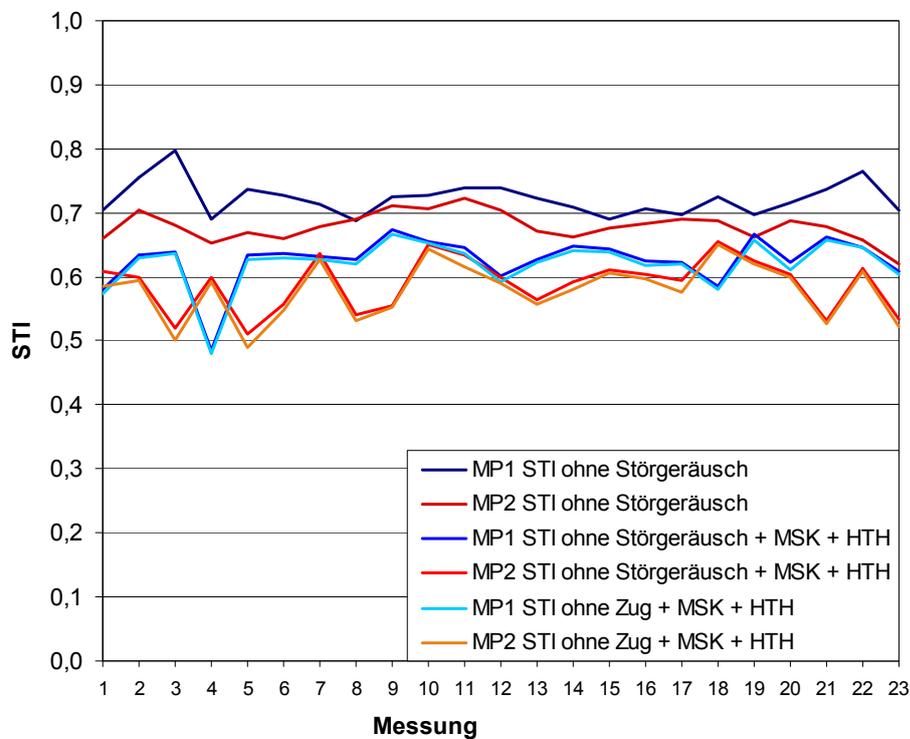


Abbildung 6.6: Grafische Darstellung der STI-Werte

Messung Nr. 4.2 am Gleis 2 im Bereich mit Überdachung an 34 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,76	0,71	0,69	0,58	0,27
2	MP1	0,68	0,63	0,61	0,43	0,15
3	MP1	0,66	0,62	0,56	0,36	0,05
4	MP1	0,66	0,64	0,63	0,49	0,16
5	MP1	0,79	0,66	0,65	0,56	0,31
6	MP1	0,80	0,75	0,75	0,63	0,32
7	MP1	0,77	0,70	0,68	0,52	0,20
8	MP1	0,73	0,68	0,65	0,51	0,18
9	MP1	0,70	0,61	0,60	0,54	0,25
10	MP1	0,70	0,68	0,67	0,52	0,18
11	MP1	0,71	0,69	0,68	0,57	0,24
12	MP1	0,68	0,66	0,63	0,43	0,10
13	MP1	0,66	0,61	0,59	0,49	0,26
14	MP1	0,69	0,65	0,64	0,54	0,23
15	MP1	0,76	0,68	0,68	0,58	0,30
16	MP1	0,69	0,67	0,66	0,54	0,23
17	MP1	0,79	0,73	0,73	0,65	0,32
1	MP2	0,73	0,66	0,65	0,53	0,16
2	MP2	0,68	0,63	0,62	0,48	0,19
3	MP2	0,68	0,62	0,60	0,45	0,17
4	MP2	0,65	0,59	0,50	0,37	0,12
5	MP2	0,78	0,68	0,67	0,56	0,28
6	MP2	0,78	0,74	0,72	0,58	0,28
7	MP2	0,77	0,64	0,63	0,49	0,19
8	MP2	0,74	0,60	0,58	0,42	0,20
9	MP2	0,72	0,67	0,65	0,50	0,17
10	MP2	0,72	0,69	0,69	0,59	0,30
11	MP2	0,72	0,66	0,63	0,50	0,26
12	MP2	0,71	0,67	0,65	0,46	0,20
13	MP2	0,66	0,61	0,60	0,51	0,24
14	MP2	0,67	0,64	0,63	0,56	0,30
15	MP2	0,71	0,66	0,65	0,58	0,28
16	MP2	0,69	0,62	0,58	0,43	0,17
17	MP2	0,72	0,71	0,70	0,55	0,17
	STI_{MW}	0,71	0,66	0,64	0,50	0,21
	STI_{MW-STABW}	0,67	0,62	0,59	0,44	0,15

Tabelle 6.6: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-17	0,72	0,67	0,65	0,52	0,22
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-17	0,67	0,63	0,60	0,45	0,14
STI_{MW}	MP2 / 1-17	0,71	0,65	0,63	0,50	0,22
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-17	0,67	0,61	0,58	0,44	0,16

Tabelle 6.7: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

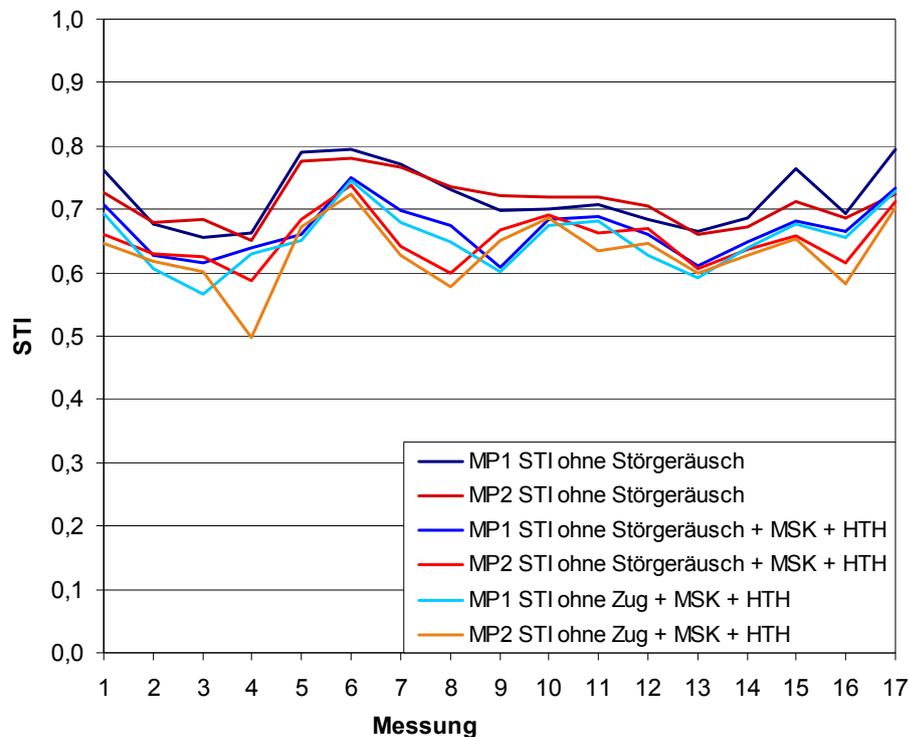


Abbildung 6.7: Grafische Darstellung der STI-Werte

Messung Nr. 4.3 am Gleis 2 im Bereich ohne Überdachung an 30 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,62	0,60	0,58	0,40	0,07
2	MP1	0,76	0,76	0,70	0,40	0,06
3	MP1	0,77	0,75	0,65	0,32	0,00
4	MP1	0,85	0,80	0,77	0,54	0,11
5	MP1	0,58	0,57	0,52	0,28	0,00
6	MP1	0,60	0,59	0,53	0,31	0,02
7	MP1	0,62	0,60	0,56	0,33	0,03
8	MP1	0,67	0,64	0,56	0,30	0,06
9	MP1	0,67	0,64	0,52	0,20	0,02
10	MP1	0,67	0,64	0,56	0,35	0,06
11	MP1	0,66	0,62	0,54	0,27	0,10
12	MP1	0,69	0,68	0,57	0,24	0,00
13	MP1	0,88	0,84	0,82	0,58	0,16
14	MP1	0,96	0,89	0,88	0,70	0,29
15	MP1	0,91	0,80	0,80	0,71	0,36
1	MP2	0,62	0,59	0,56	0,40	0,15
2	MP2	0,68	0,64	0,59	0,36	0,07
3	MP2	0,74	0,72	0,67	0,40	0,08
4	MP2	0,79	0,77	0,74	0,48	0,06
5	MP2	0,64	0,62	0,59	0,40	0,11
6	MP2	0,61	0,60	0,57	0,36	0,02
7	MP2	0,62	0,57	0,55	0,36	0,09
8	MP2	0,64	0,63	0,55	0,29	0,00
9	MP2	0,63	0,62	0,57	0,35	0,03
10	MP2	0,65	0,59	0,52	0,27	0,07
11	MP2	0,62	0,61	0,54	0,24	0,00
12	MP2	0,65	0,65	0,61	0,34	0,00
13	MP2	0,84	0,79	0,77	0,54	0,17
14	MP2	0,92	0,84	0,82	0,59	0,18
15	MP2	0,86	0,83	0,79	0,57	0,18
	STI_{MW}	0,70	0,67	0,62	0,38	0,07
	STI_{MW-STABW}	0,60	0,58	0,51	0,26	0,00

Tabelle 6.8: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-15	0,73	0,69	0,64	0,40	0,09
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-15	0,61	0,59	0,51	0,23	0,00
STI_{MW}	MP2 / 1-15	0,70	0,67	0,63	0,40	0,08
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-15	0,60	0,58	0,53	0,29	0,02

Tabelle 6.9: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

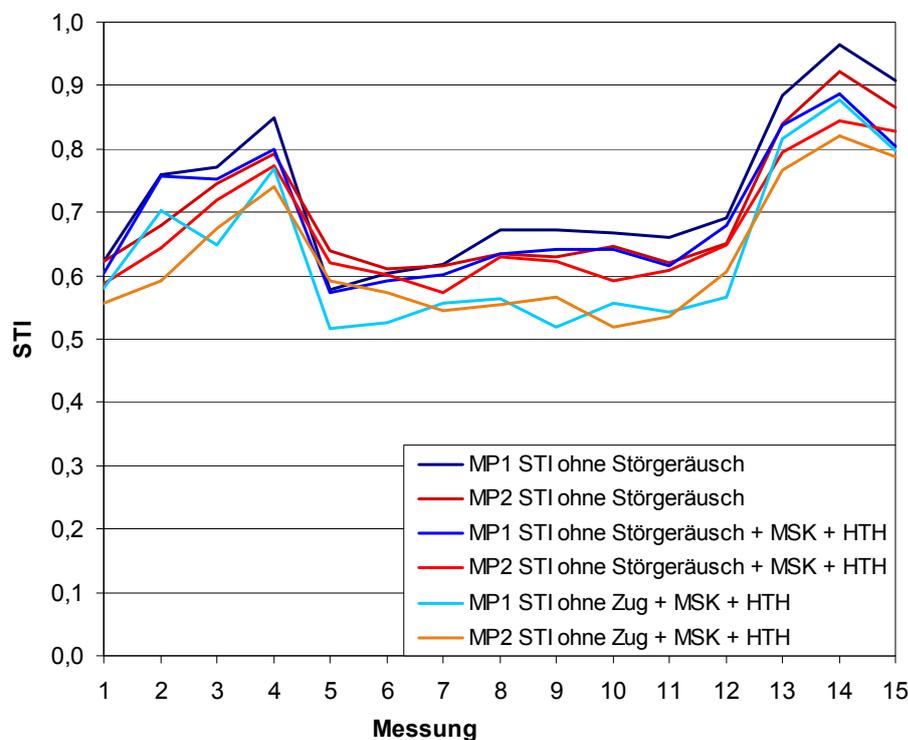


Abbildung 6.8: Grafische Darstellung der STI-Werte

6.2 Messungen in der Eingangshalle

Die Eingangshalle des Bahnhofs Neuenburg zeigt die Abbildung 6.9. Im Übergangsbereich der Rolltreppen zum Untergeschoss ist ein kugelförmiger Lautsprecher installiert, der alle Bereiche der Eingangshalle und des Übergangsbereiches zum Untergeschoss beschallen soll.

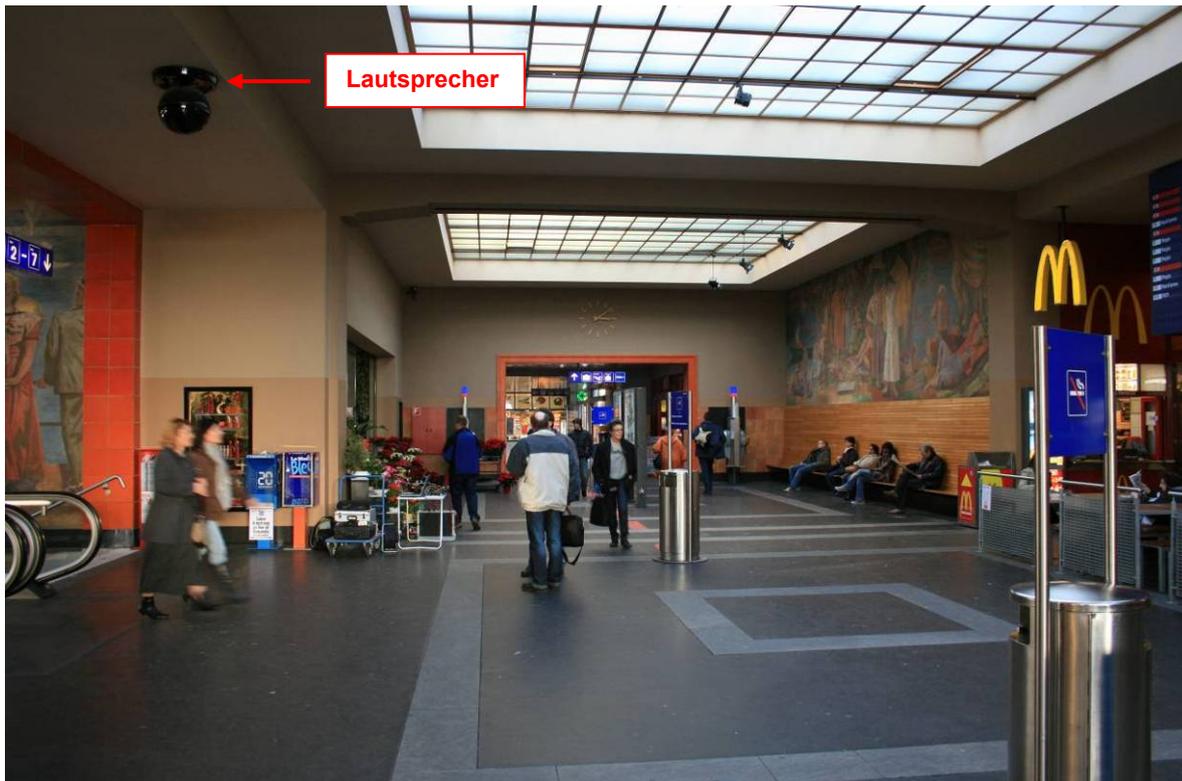


Abbildung 6.9: Eingangshalle des Bahnhofs Neuenburg

6.2.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden im zentralen Technikraum vor den Verstärkern direkt in die Durchsageanlage eingespeist. Bei den Messungen des Signalpegels wurde das Messsignal mit dem maximal möglichen Pegel in die Verstärker eingespeist, d.h. mit dem höchsten Pegel, der noch nicht zu einer Übersteuerung der Verstärker führte.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Nachhallzeit		Eingangshalle		8
2 Störpegel					
2.1	Störpegel		Eingangshalle	Abbildung 6.10	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel	Aufgrund der hohen Störgeräusche wurde keine Messung durchgeführt			
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Raster 4 m x 4 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 6.10	16

Tabelle 6.10: Messungen in der Eingangshalle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

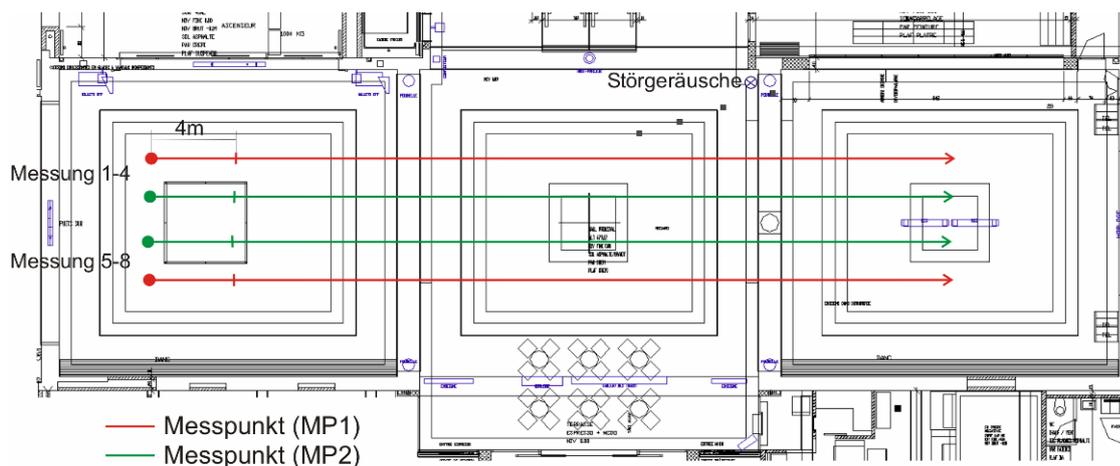


Abbildung 6.10: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (Messung 2.1) sowie bei der Messung des STI (4.1) in der Eingangshalle

6.2.2 Ergebnisse der Messungen der Nachhallzeit

Im Folgenden ist die Nachhallzeit als Mittelwert aus allen Messungen tabellarisch und grafisch dargestellt:

Nr.	Bereich	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1.1	Eingangshalle	2,6 s	3,1 s	3,0 s	2,7 s	2,4 s	1,9 s	1,1 s

Tabelle 6.11: Nachhallzeiten in Oktaven

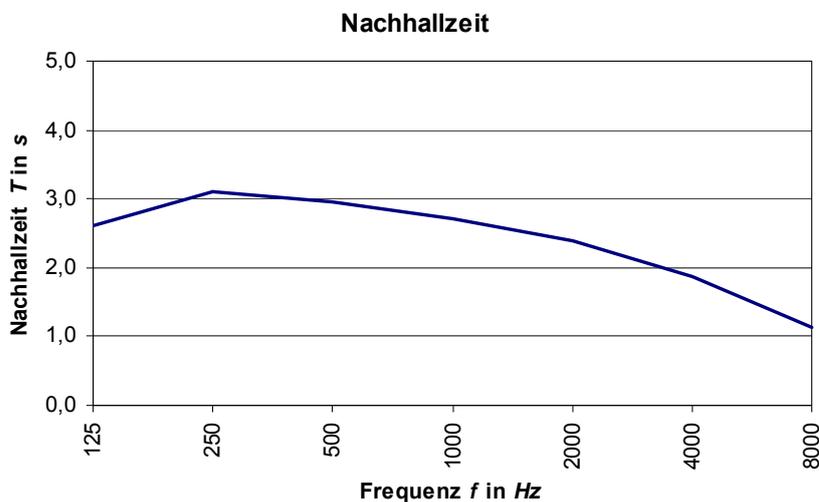


Abbildung 6.11: Nachhallzeiten in Oktaven

6.2.3 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} in der Eingangshalle während regem Publikumsverkehr am frühen Nachmittag:

Eingangshalle		
L_{Aeq}	dB	62,4
L_{AFmax}	dB	66,6

Tabelle 6.12: Störpegel in der Eingangshalle

Das Frequenzspektrum des Störpegels zeigt die folgende Abbildung:

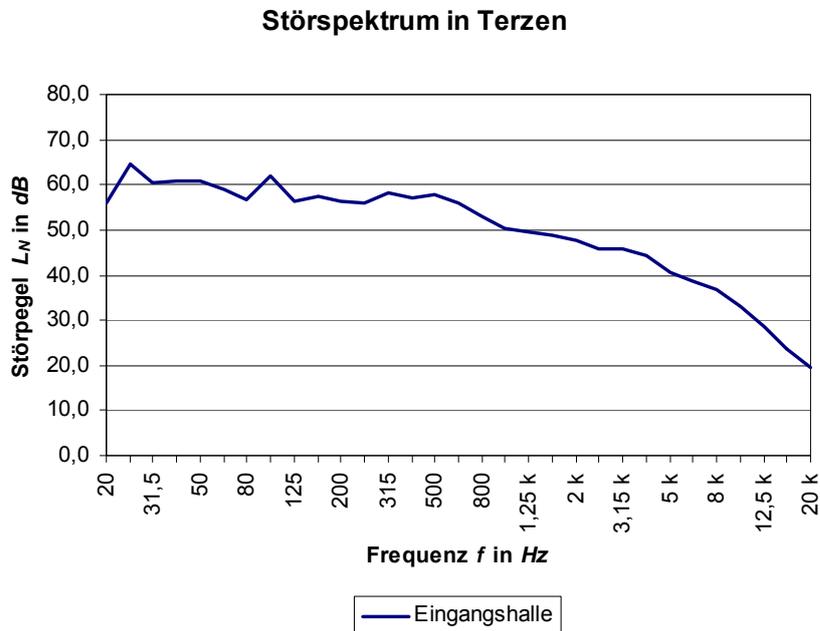


Abbildung 6.12: Störpektren in Terzen in der Eingangshalle

Die Störpektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

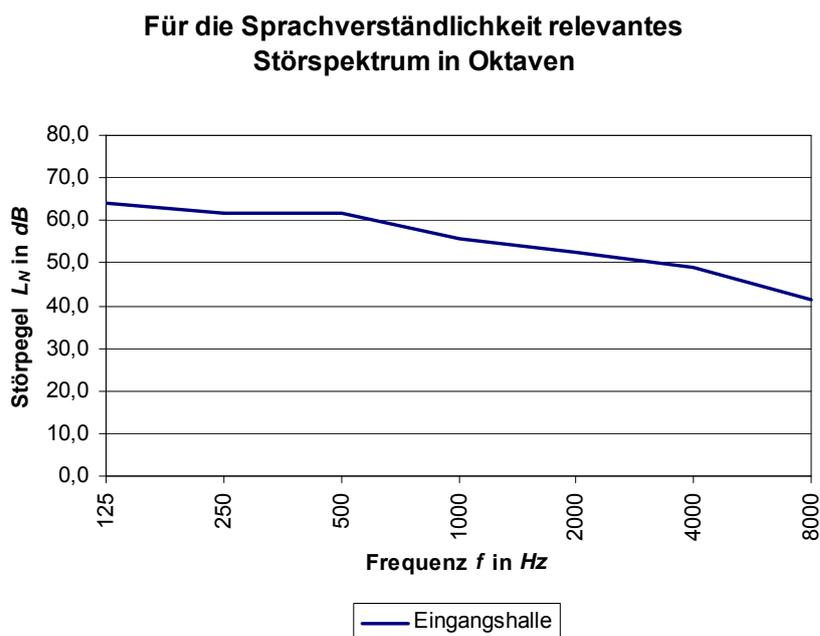


Abbildung 6.13: Störpektren in Oktaven in der Eingangshalle

6.2.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 in der Eingangshalle an 16 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch
1	MP1	0,46
2	MP1	0,44
3	MP1	0,42
4	MP1	0,44
5	MP1	0,45
6	MP1	0,41
7	MP1	0,41
8	MP1	0,41
1	MP2	0,41
2	MP2	0,41
3	MP2	0,46
4	MP2	0,54
5	MP2	0,53
6	MP2	0,44
7	MP2	0,36
8	MP2	0,38
	STI_{MW}	0,43
	$STI_{MW-STABW}$	0,39

Tabelle 6.13: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch
STI_{MW}	MP1 / 1-8	0,43
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-8	0,41
STI_{MW}	MP2 / 1-8	0,44
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-8	0,37

Tabelle 6.14: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2 bei den unterschiedlichen Betriebszuständen.

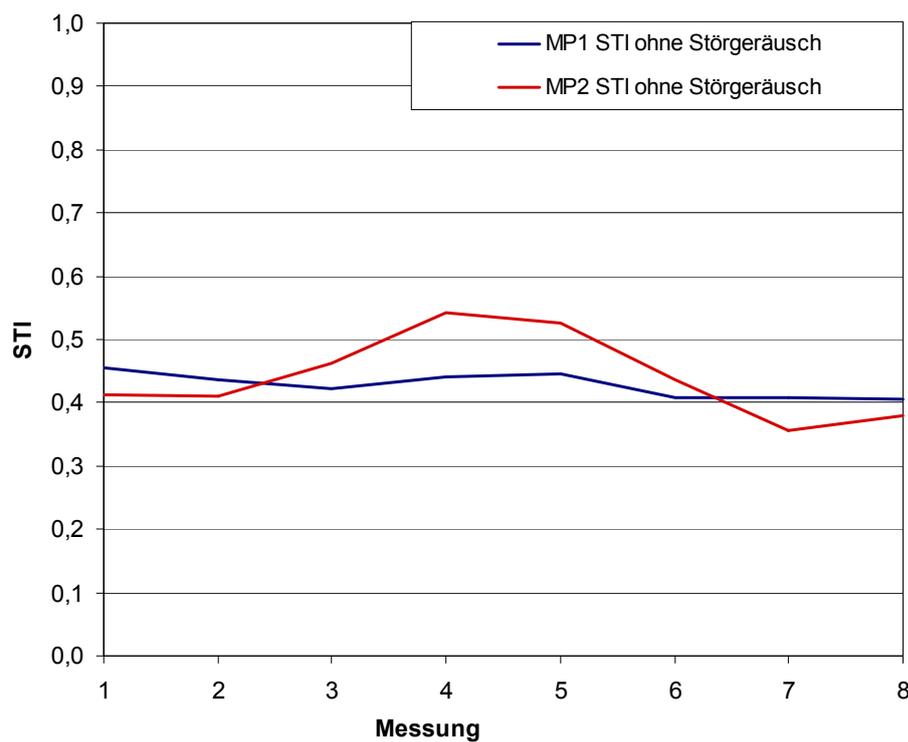


Abbildung 6.14: Grafische Darstellung der STI-Werte

6.3 Messungen im Bahnhof der Seilbahn

Im Untergeschoss befindet sich der Bahnhof für die Seilbahn, die den Bahnhof Neuenburg mit dem Zentrum und dem Seeufer verbindet. In diesem Bereich sind sowohl Deckenlautsprecher als auch ein kugelförmiger Lautsprecher installiert.



Abbildung 6.15: Bahnhof der Seilbahn

6.3.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden im zentralen Technikraum vor den Verstärkern direkt in die Durchsageanlage eingespeist. Bei den Messungen des Signalpegels wurde das Messsignal mit dem maximal möglichen Pegel in die Verstärker eingespeist, d.h. mit dem höchsten Pegel, der noch nicht zu einer Übersteuerung der Verstärker führte.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Nachhallzeit		Bahnhof der Seilbahn		6
2 Störpegel					
2.1	Störpegel		Es wurden keine Störpegelmessungen durchgeführt, da der Störpegel annähernd gleich dem Störpegel in der Eingangshalle war		
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel		Bahnhof der Seilbahn	Abbildung 6.16	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Raster 4 m x 4 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 6.16	16

Tabelle 6.15 Messungen im Bahnhof der Seilbahn

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

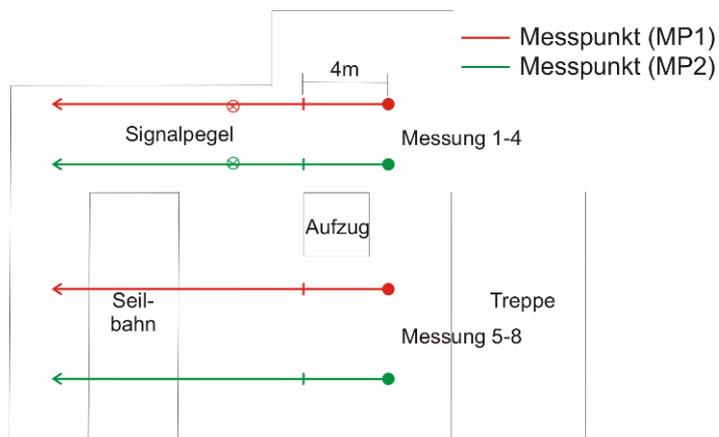


Abbildung 6.16: Messpunkte bei der Messung des Signalpegels (3.1) und bei der Messung des STI (4.1) im Bahnhof der Seilbahn

6.3.2 Ergebnisse der Messungen der Nachhallzeit

Im Folgenden ist die Nachhallzeit als Mittelwert aus allen Messungen tabellarisch und grafisch dargestellt:

Nr.	Bereich	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1.1	Seilbahn	0,8 s	0,8 s	0,7 s	0,8 s	0,9 s	0,8 s	0,6 s

Tabelle 6.16: Nachhallzeiten in Oktaven

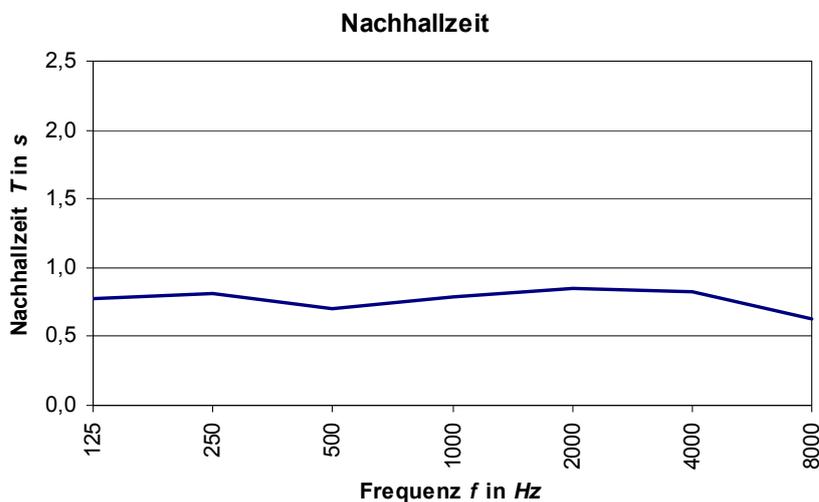


Abbildung 6.17: Nachhallzeiten in Oktaven

6.3.3 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summen- pegel L_{Lin}	Summen- pegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	Seil- bahn	63,6	86,0	90,2	90,6	81,3	72,2	69,5	58,6	94,4	89,4

Tabelle 6.17: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

6.3.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 im Bahnhof der Seilbahn an 16 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH
1	MP1	0,73	0,65	0,64
2	MP1	0,78	0,60	0,57
3	MP1	0,76	0,63	0,62
4	MP1	0,68	0,58	0,57
5	MP1	0,81	0,70	0,69
6	MP1	0,75	0,68	0,67
7	MP1	0,65	0,59	0,53
8	MP1	0,67	0,65	0,60
1	MP2	0,72	0,63	0,61
2	MP2	0,78	0,68	0,66
3	MP2	0,86	0,63	0,63
4	MP2	0,76	0,59	0,58
5	MP2	0,81	0,69	0,68
6	MP2	0,70	0,63	0,61
7	MP2	0,61	0,54	0,53
8	MP2	0,62	0,55	0,50
	STI_{MW}	0,73	0,63	0,60
	STI_{MW-STABW}	0,66	0,58	0,55

Tabelle 6.18: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-8	0,73	0,63	0,61
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-8	0,67	0,59	0,56
STI_{MW}	MP2 / 1-8	0,73	0,62	0,60
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-8	0,65	0,56	0,54

Tabelle 6.19: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2 bei den unterschiedlichen Betriebszuständen.

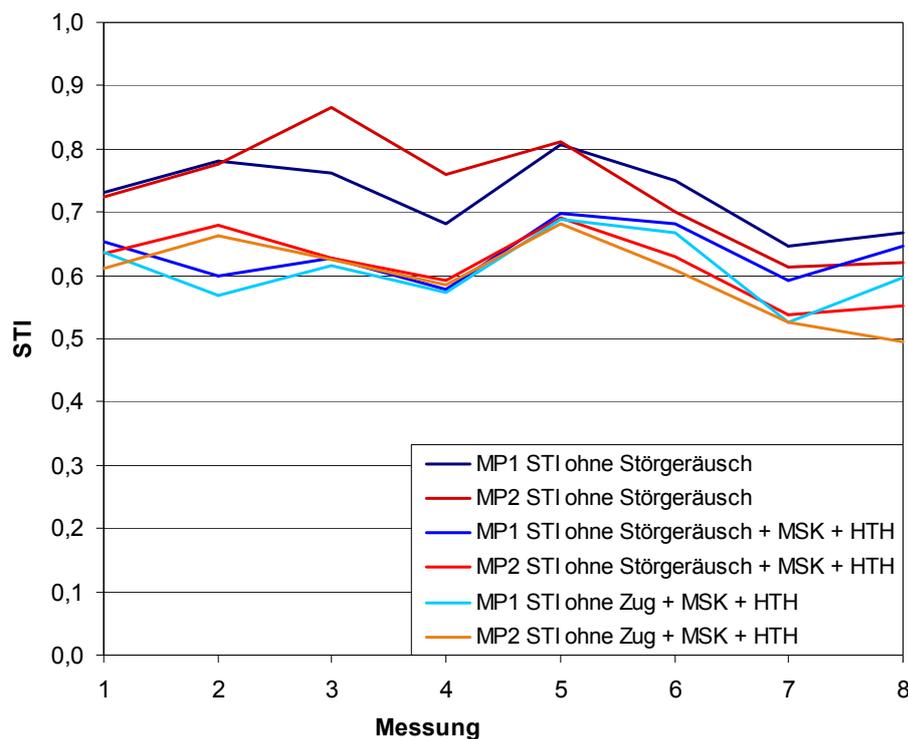


Abbildung 6.18: Grafische Darstellung der STI-Werte

7 Messungen im Bahnhof Bern

Der Bahnhof Bern ist vom Verkehrsaufkommen her der zweitgrößte Bahnhof in der Schweiz. Er wurde in den letzten Jahren teilweise umgebaut.

Im Rahmen dieser Umbauten entstand auch die „Welle von Bern“, eine 13 m breite Passerelle über die Gleise im Westen des Hauptbahnhofs. Seinen Namen bekam die Passerelle durch sechs unterschiedlich lange, wellenförmige Dachsegmente auf Brettschichtholzträgern.

Die Bahnsteige südwestlich der Passerelle sind mit Holzdächern ebenfalls neu gestaltet, die Gleise in diesem Teil der Bahnsteige sind nicht überdacht. Nordöstlich schließt sich an die Passerelle eine Bahnhofshalle mit einem Dach an, das sich über alle Gleise und Bahnsteige erstreckt. Einen weiteren Zugang zu den Bahnsteigen schafft ein Personentunnel, der in etwa in der Mitte der Bahnhofshalle gelegen ist. Die Bahnhofshalle und der Personentunnel haben hinsichtlich der baulichen Struktur ihre Gestalt bei den Umbauarbeiten behalten.

Die Messungen wurden in vier Bereichen durchgeführt, auf den Bahnsteigen innerhalb und außerhalb der Bahnhofshalle, auf der Passerelle und in der Personenpassage.

Die Messungen im Bahnhof Bern fanden am 19.11.2008 in der Zeit von 16:30 bis 24:00 Uhr statt.

7.1 Messungen außerhalb der Bahnhofshalle

Die Messungen wurden auf dem Bahnsteig zu Gleis 6 durchgeführt. Die neue Überdachung des Bahnsteigs ist in dem Bereich südwestlich der Passerelle aus Holz gefertigt. An der Überdachung sind die Lautsprecher in zwei Reihen montiert, die eine Reihe mittig über dem Teil des Bahnsteigs zu Gleis 5 und die andere Reihe mittig über dem Teil des Bahnsteigs zu Gleis 6. Der Längsabstand der Lautsprecher in einer Reihe beträgt 16 m. Die Lautsprecher beider Reihen sind versetzt angeordnet, so dass der Abstand zwischen einem Lautsprecher in der Reihe des Gleis 5 zum Lautsprecher in der Reihe des Gleis 6 8 m beträgt.



Abbildung 7.1: Bahnsteig zu den Gleisen 5 und 6 außerhalb der Bahnhofshalle und Lautsprecher

7.1.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle unterhalb der Rolltreppen zu den Bahnsteigen in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Es war keine Messung der Nachhallzeit notwendig, da die Gleise nicht überdacht waren				
2 Störpegel					
2.1	Störpegel		Bahnsteig	Abbildung 7.2	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel		Bahnsteig	Abbildung 7.2	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Raster 5 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 7.2	34

Tabelle 7.1 Messungen Bahnsteig zu den Gleisen 5 und 6 außerhalb der Bahnhofshalle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

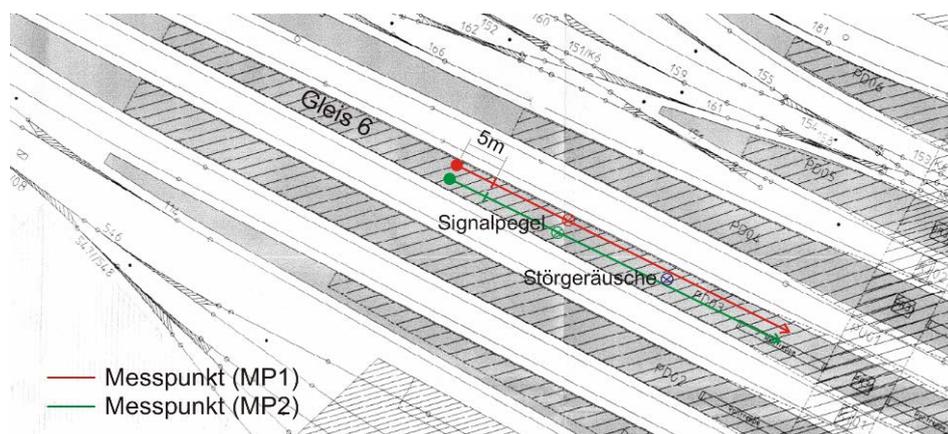


Abbildung 7.2: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (2.1), des Signalpegels (3.1) und bei der Messung des STI (4.1) an Gleis 6 außerhalb der Bahnhofshalle

7.1.2 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Aus den Messungen der Störgeräusche wurden drei typische Betriebszustände ausgewählt: die Einfahrt eines Personenzugs, die Durchfahrt eines Güterzugs und die Hintergrundgeräusche ohne Zugverkehr. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese drei Betriebszustände:

Betriebszustand		Personenzug	Güterzug	Störpegel ohne Zugverkehr
L_{Aeq}	dB	67,9	70,1	52,9
L_{AFmax}	dB	72,7	73,8	56,5

Tabelle 7.2: Störpegel bei den typischen Betriebszuständen

Das Frequenzspektrum der Störpegel bei den drei Betriebszuständen zeigt die folgende Abbildung:

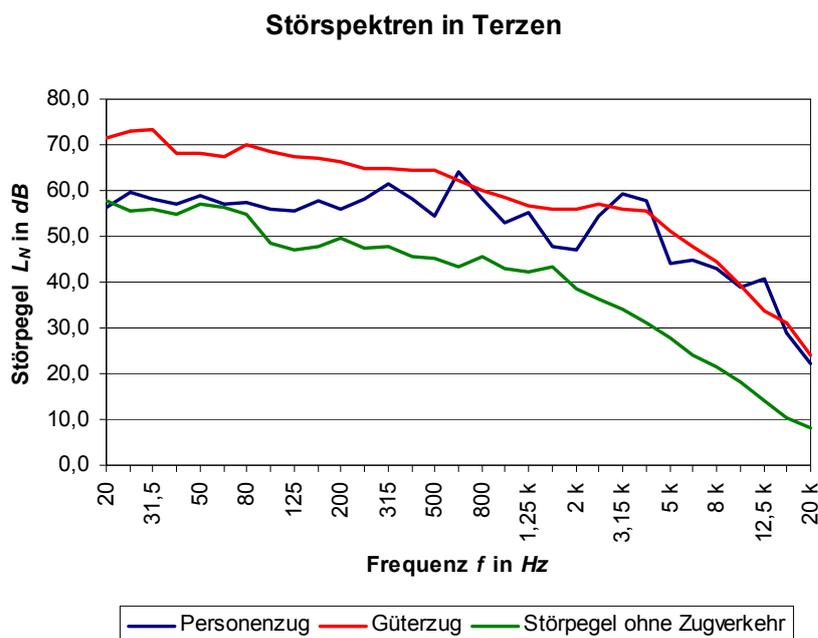


Abbildung 7.3: Störspektren in Terzen bei den drei typischen Betriebszuständen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

Für die Sprachverständlichkeit relevante Störspektren in Oktaven

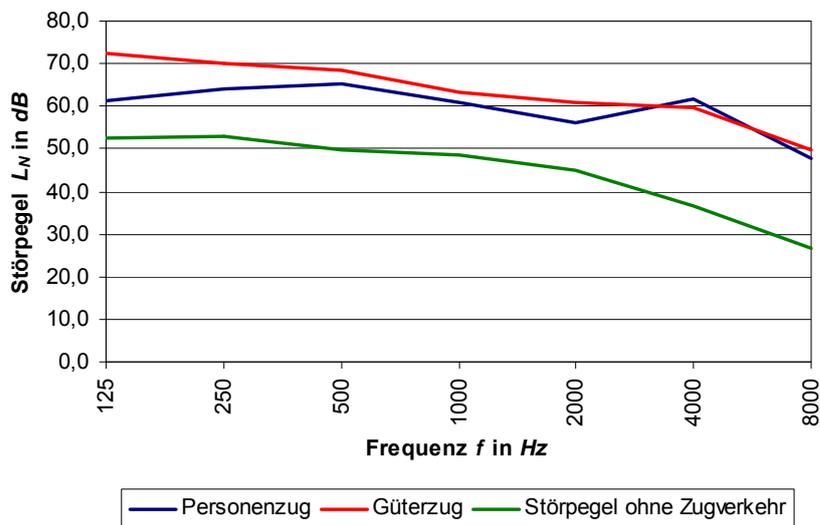


Abbildung 7.4: Störspektren in Oktaven bei den drei typischen Betriebszuständen

7.1.3 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	6	51,7	48,9	61,8	68,1	66,7	58,2	55,1	37,6	71,4	69,7

Tabelle 7.3: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

7.1.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 am Gleis 6 außerhalb der Bahnhofshalle an 34 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,71	0,69	0,67	0,46	0,41
2	MP1	0,70	0,68	0,63	0,38	0,33
3	MP1	0,65	0,63	0,59	0,33	0,25
4	MP1	0,63	0,60	0,55	0,32	0,27
5	MP1	0,72	0,70	0,67	0,45	0,40
6	MP1	0,67	0,68	0,63	0,40	0,33
7	MP1	0,66	0,65	0,64	0,47	0,39
8	MP1	0,65	0,66	0,64	0,43	0,36
9	MP1	0,65	0,60	0,59	0,44	0,38
10	MP1	0,63	0,60	0,53	0,37	0,31
11	MP1	0,64	0,65	0,53	0,22	0,13
12	MP1	0,69	0,69	0,64	0,32	0,24
13	MP1	0,62	0,62	0,56	0,31	0,24
14	MP1	0,61	0,54	0,54	0,39	0,34
15	MP1	0,50	0,48	0,44	0,25	0,22
16	MP1	0,48	0,47	0,38	0,18	0,12
17	MP1	0,38	0,38	0,32	0,15	0,09
1	MP2	0,68	0,64	0,58	0,32	0,25
2	MP2	0,68	0,69	0,62	0,31	0,23
3	MP2	0,64	0,64	0,58	0,34	0,27
4	MP2	0,60	0,60	0,55	0,27	0,20
5	MP2	0,71	0,71	0,61	0,32	0,23
6	MP2	0,63	0,62	0,58	0,33	0,27
7	MP2	0,63	0,57	0,58	0,43	0,36

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
8	MP2	0,64	0,50	0,48	0,34	0,28
9	MP2	0,64	0,63	0,60	0,34	0,27
10	MP2	0,63	0,58	0,51	0,34	0,29
11	MP2	0,68	0,68	0,65	0,39	0,33
12	MP2	0,69	0,69	0,68	0,44	0,38
13	MP2	0,56	0,55	0,53	0,32	0,25
14	MP2	0,52	0,52	0,51	0,28	0,21
15	MP2	0,44	0,44	0,41	0,18	0,12
16	MP2	0,43	0,42	0,35	0,16	0,12
17	MP2	0,36	0,32	0,28	0,14	0,12
	STI_{MW}	0,65	0,63	0,59	0,36	0,29
	STI_{MW-STABW}	0,61	0,57	0,53	0,30	0,22

Tabelle 7.4: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-17	0,62	0,61	0,56	0,35	0,28
STI_{MW-STABW}	MP1 / 1-17	0,53	0,52	0,46	0,25	0,18
STI_{MW}	MP2 / 1-17	0,60	0,58	0,53	0,31	0,25
STI_{MW-STABW}	MP2 / 1-17	0,50	0,47	0,43	0,23	0,17

Tabelle 7.5: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

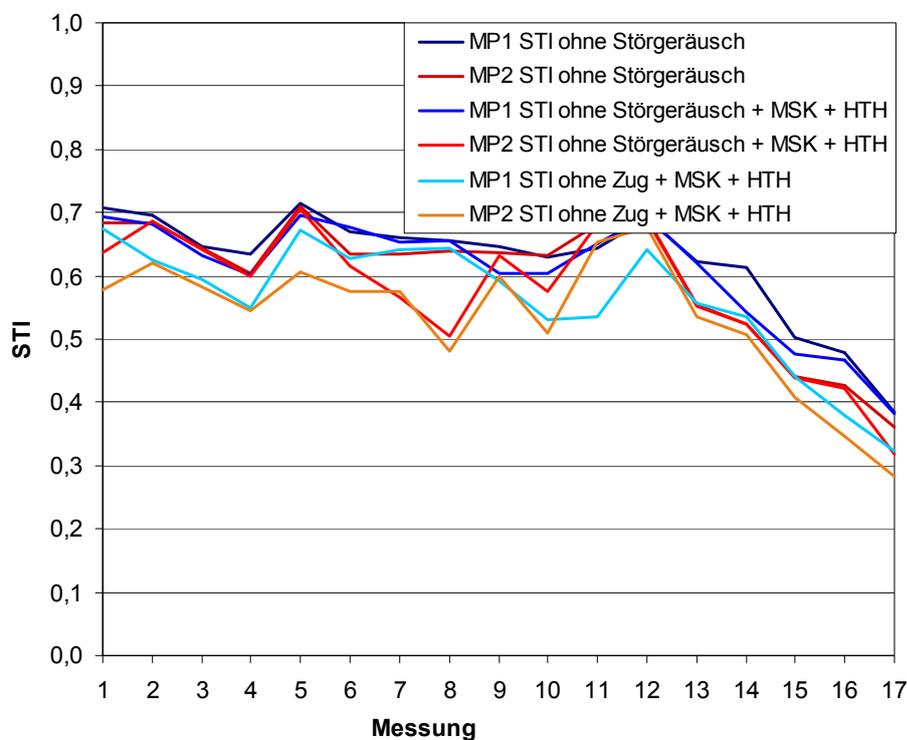


Abbildung 7.5: Grafische Darstellung der STI-Werte

7.2 Messungen auf der Passerelle

Die 13 m breite Passerelle über die Gleise besitzt rechts und links Auf- und Abgänge bzw. Rolltreppen zu den Bahnsteigen. Mittig über den Anzeigetafeln der Auf- und Abgänge ist jeweils ein Lautsprecher montiert, der in Richtung Mitte der wellenförmigen Decke strahlt. Die Entfernung zwischen den Lautsprechern beträgt ca. 6 m.



Abbildung 7.6: Die „Welle von Bern“



Abbildung 7.7: Lautsprecher über den Anzeigetafeln

7.2.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle unterhalb der Rolltreppen zur Passerelle in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Es wurden keine Nachhallzeitmessungen durchgeführt, da die Passerelle an den Seiten offen war				
2 Störpegel					
2.1	Störpegel	Es wurden keine Störpegelmessungen durchgeführt, da der Störpegel annähernd gleich dem Störpegel im Außenbereich der Gleise war			
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel		Passerelle	Abbildung 7.8	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Raster 3 m x 3 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 7.8	36

Tabelle 7.6 Messungen auf der Passerelle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

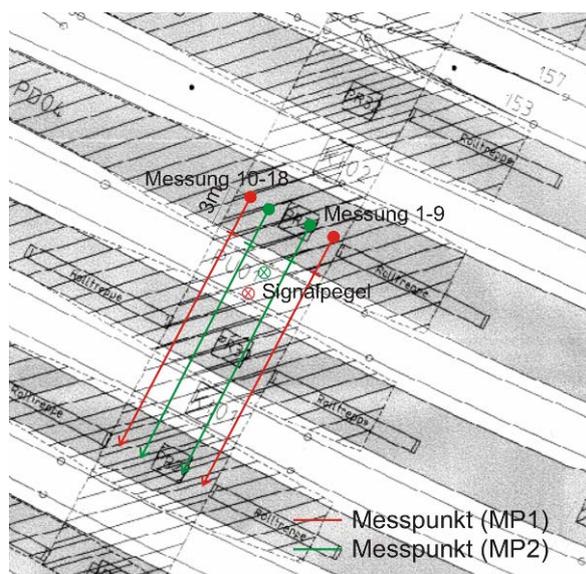


Abbildung 7.8: Messpunkte bei der Messung des Signalpegels (3.1) und bei der Messung des STI (4.1) auf der Passerelle

7.2.2 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	Passerelle	60,9	61,3	74,6	82,5	81,2	70,8	63,4	49,3	85,5	83,8

Tabelle 7.7: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

7.2.3 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Da die Passerelle zu den Bahnsteigen hin offen ist, wurde bei den Berechnungen die gleichen Störpegel wie auf Gleis 6 außerhalb der Bahnhofshalle angesetzt.

Messung Nr. 4.1 auf der Passerelle an 36 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,47	0,45	0,45	0,37	0,36
2	MP1	0,52	0,46	0,46	0,43	0,43
3	MP1	0,51	0,48	0,47	0,42	0,42
4	MP1	0,50	0,46	0,46	0,44	0,44
5	MP1	0,47	0,44	0,43	0,40	0,39
6	MP1	0,46	0,42	0,42	0,40	0,39
7	MP1	0,53	0,51	0,51	0,46	0,45
8	MP1	0,46	0,42	0,41	0,37	0,35
9	MP1	0,50	0,41	0,41	0,38	0,38
1B	MP1	0,50	0,47	0,47	0,44	0,43
2B	MP1	0,53	0,49	0,50	0,48	0,47
3B	MP1	0,50	0,47	0,47	0,41	0,40
4B	MP1	0,49	0,46	0,46	0,44	0,44
5B	MP1	0,48	0,45	0,44	0,41	0,40
6B	MP1	0,48	0,45	0,44	0,43	0,43
7B	MP1	0,51	0,43	0,42	0,40	0,40
8B	MP1	0,52	0,49	0,49	0,46	0,45
9B	MP1	0,53	0,47	0,46	0,43	0,41
1	MP2	0,51	0,50	0,49	0,41	0,39
2	MP2	0,52	0,50	0,50	0,46	0,45
3	MP2	0,54	0,52	0,52	0,49	0,50
4	MP2	0,48	0,42	0,41	0,39	0,38
5	MP2	0,53	0,47	0,47	0,44	0,43
6	MP2	0,50	0,47	0,46	0,43	0,42
7	MP2	0,51	0,48	0,47	0,45	0,45
8	MP2	0,54	0,48	0,47	0,47	0,47
9	MP2	0,53	0,51	0,52	0,50	0,49
1B	MP2	0,52	0,50	0,50	0,46	0,45
2B	MP2	0,51	0,48	0,48	0,46	0,46
3B	MP2	0,52	0,48	0,48	0,40	0,38
4B	MP2	0,51	0,49	0,49	0,44	0,43
5B	MP2	0,50	0,49	0,49	0,46	0,45
6B	MP2	0,49	0,48	0,48	0,45	0,43
7B	MP2	0,51	0,43	0,42	0,37	0,34
8B	MP2	0,50	0,46	0,46	0,44	0,44
9B	MP2	0,52	0,50	0,50	0,46	0,44
	STI_{MW}	0,51	0,47	0,47	0,43	0,42
	STI_{MW-STABW}	0,48	0,44	0,44	0,40	0,39

Tabelle 7.8: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-9	0,49	0,45	0,45	0,41	0,40
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-9	0,47	0,42	0,41	0,37	0,36
STI_{MW}	MP2 / 1-9	0,52	0,48	0,48	0,45	0,44
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-9	0,50	0,45	0,45	0,41	0,40

Tabelle 7.9: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

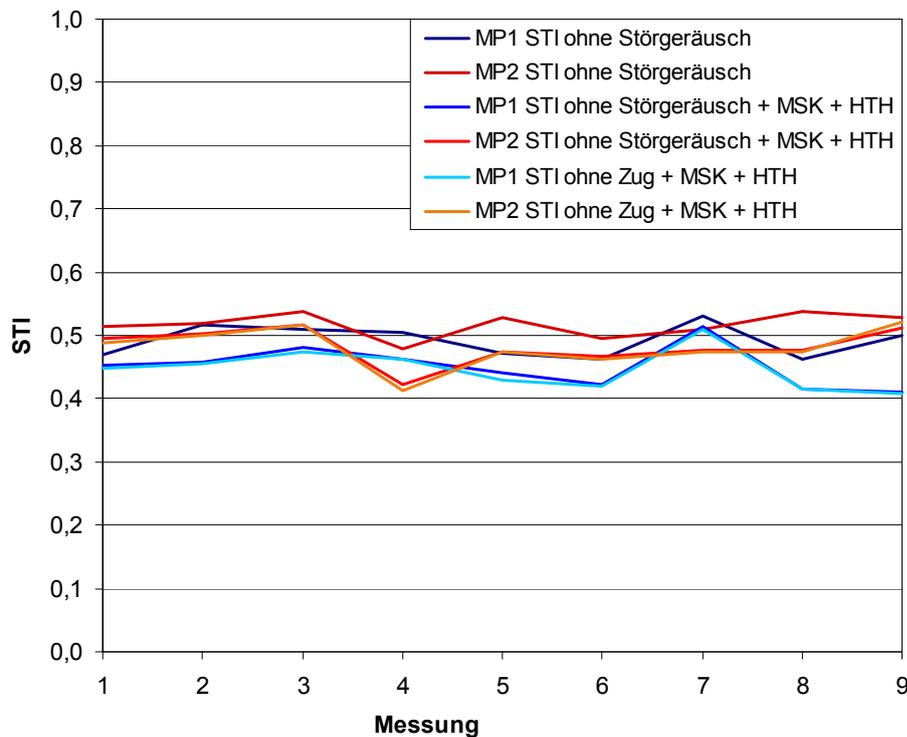


Abbildung 7.9: Grafische Darstellung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 B und MP2 B (Messung 10-18, siehe Abbildung 7.8) zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1B / 1-9	0,50	0,46	0,46	0,43	0,43
$STI_{MW-STABW}$	MP1B / 1-9	0,48	0,44	0,44	0,41	0,40
STI_{MW}	MP2B / 1-9	0,51	0,48	0,48	0,44	0,43
$STI_{MW-STABW}$	MP2B / 1-9	0,50	0,46	0,45	0,41	0,39

Tabelle 7.10: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 B und MP2 B

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 B und MP2 B. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

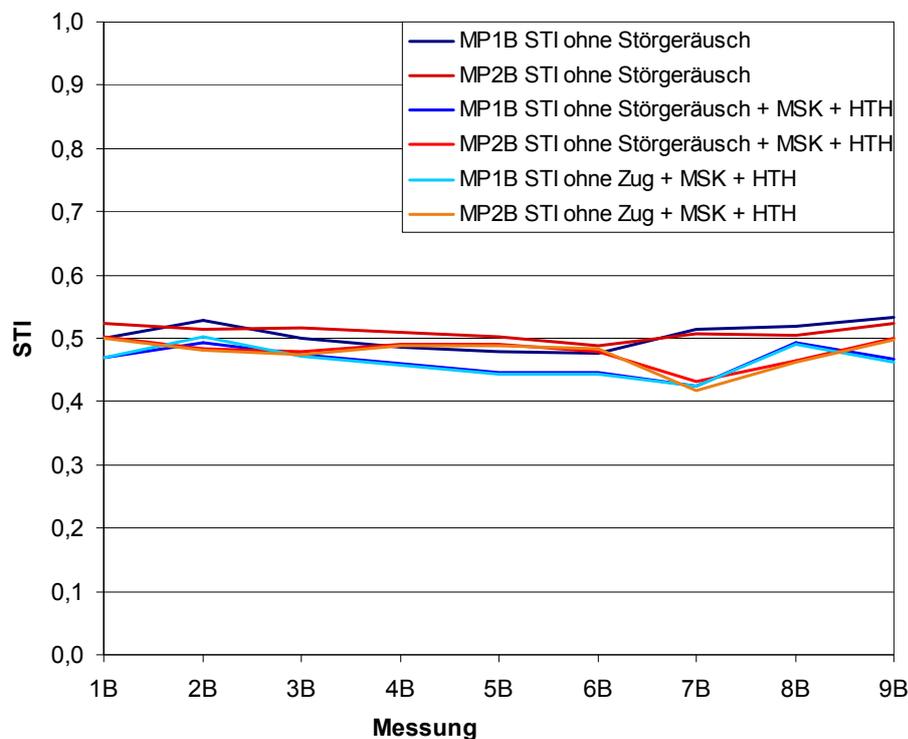


Abbildung 7.10: Grafische Darstellung der STI-Werte der B-Messreihe

7.3 Messungen in der Bahnhofshalle

Die Bahnhofshalle überspannt alle Gleise und Bahnsteige. Sie ist ein vergleichsweise niedriger Bau mit einer durchgehenden Decke, die sich über alle Plattformen und Bahnsteige erstreckt. Getragen wird das Dach von Säulen, an denen die Lautsprecher montiert sind. Die Säulen haben unterschiedliche Abstände zueinander, so dass auch die Abstände zwischen den Lautsprechern nicht gleichmäßig sind. Die Abstände variieren zwischen 12 m und 19 m. Bei den Lautsprechern handelt es sich um so genannte Doppeltrichterlautsprecher, die in zwei Richtungen abstrahlen.

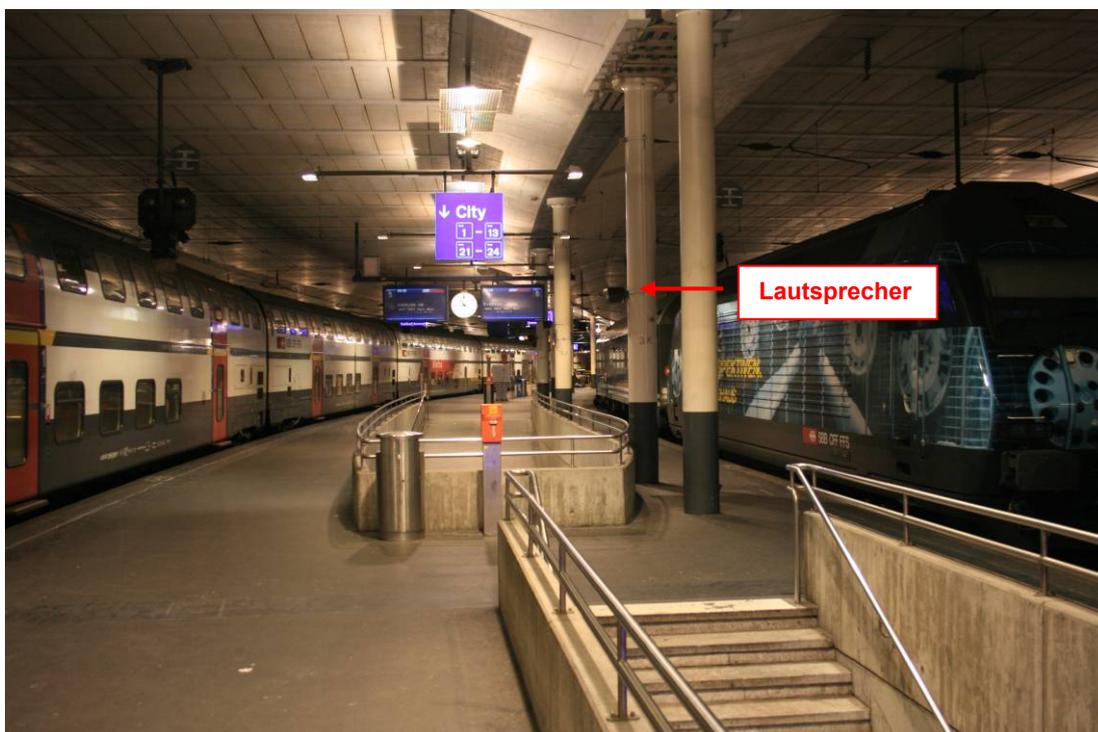


Abbildung 7.11: Plattform der Gleise 5 und 6 in der Bahnhofshalle

Die Messungen wurden auf dem Bahnsteig zu Gleis 5 und 6 durchgeführt.

7.3.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle auf dem Bahnsteig in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Es wurden keine Nachhallzeitmessungen durchgeführt, da die Bahnhofshalle an den Seiten offen war				
2 Störpegel					
2.1	Störpegel	6	Bahnsteig	Abbildung 7.12	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel	6	Bahnsteig	Abbildung 7.12	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI	5 und 6	Raster 2 m x 6 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 7.12	32
4.2	STI	6	Raster 2 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 7.12	20

Tabelle 7.11 Messungen auf dem Bahnsteig

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:



Abbildung 7.12: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (2.1), des Signalpegels (3.1) und bei der Messung des STI (4.1) an Gleis 6 außerhalb der Bahnhofshalle

7.3.2 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Aus den Messungen der Störgeräusche wurden drei typische Betriebszustände ausgewählt: die Einfahrt eines Personenzugs, die Durchfahrt eines Güterzugs und die Hintergrundgeräusche ohne Zugverkehr. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese drei Betriebszustände:

Betriebszustand		Personenzug	Güterzug	Störpegel ohne Zugverkehr
L_{Aeq}	dB	74,9	83,4	58,2
L_{AFmax}	dB	79,9	87,4	62,4

Tabelle 7.12: Störpegel bei den typischen Betriebszuständen

Das Frequenzspektrum der Störpegel bei den drei Betriebszuständen zeigt die folgende Abbildung:

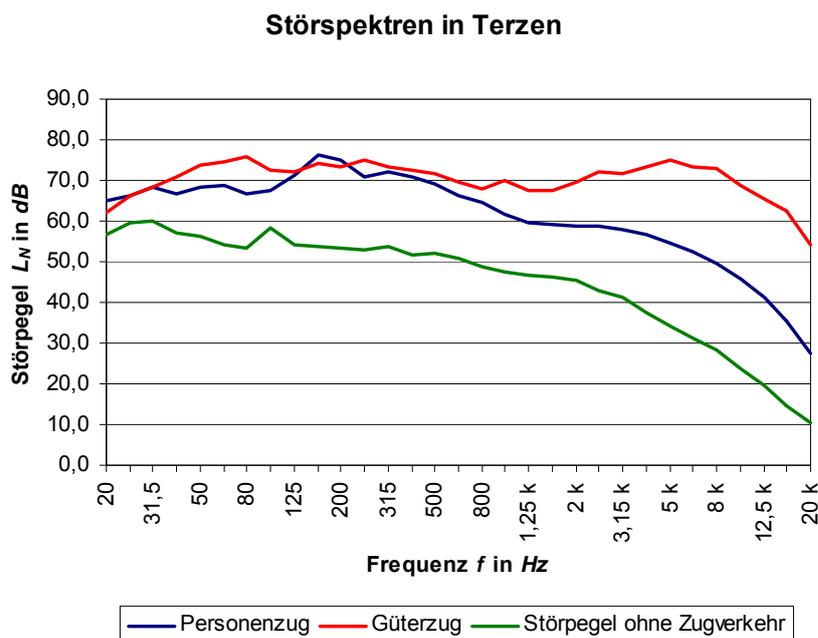


Abbildung 7.13: Störspektren in Terzen bei den drei typischen Betriebszuständen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

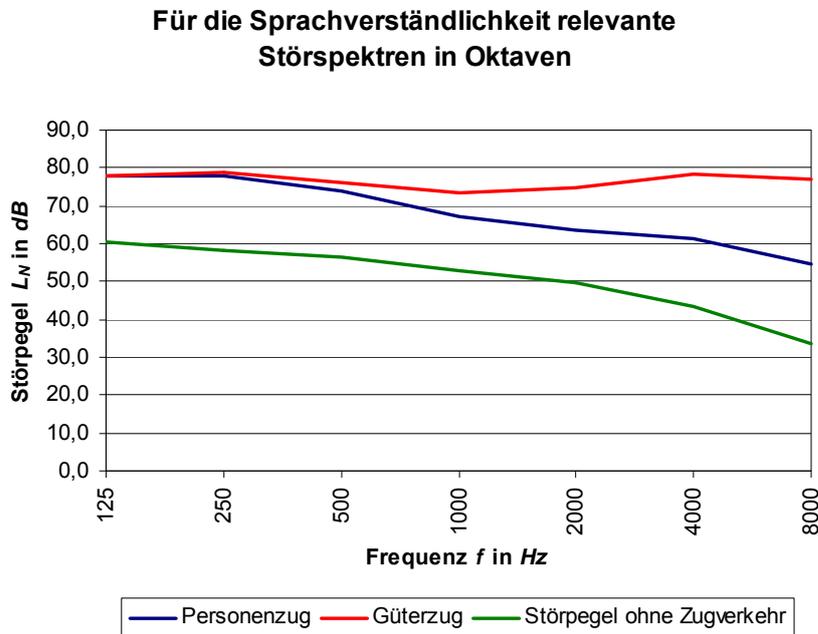


Abbildung 7.14: Störspektren in Oktaven bei den drei typischen Betriebszuständen

7.3.3 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	6	59,4	62,4	77,2	81,9	76,6	70,1	63,1	47,4	84,3	81,5

Tabelle 7.13: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

7.3.4 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 an Gleis 5 und 6 innerhalb der Bahnhofshalle an 32 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,47	0,40	0,39	0,34	0,20
2	MP1	0,46	0,35	0,35	0,29	0,16
3	MP1	0,45	0,34	0,35	0,27	0,18
4	MP1	0,46	0,35	0,34	0,25	0,19
5	MP1	0,47	0,35	0,35	0,22	0,16
6	MP1	0,47	0,36	0,36	0,25	0,15
7	MP1	0,49	0,37	0,36	0,24	0,17
8	MP1	0,49	0,37	0,36	0,28	0,18
9	MP1	0,47	0,35	0,35	0,29	0,18
10	MP1	0,48	0,36	0,34	0,18	0,14
11	MP1	0,46	0,34	0,33	0,20	0,15
12	MP1	0,47	0,34	0,34	0,23	0,18
13	MP1	0,44	0,31	0,30	0,27	0,17
14	MP1	0,44	0,33	0,33	0,24	0,18
15	MP1	0,46	0,42	0,41	0,29	0,18
16	MP1	0,49	0,31	0,32	0,23	0,14
1	MP2	0,53	0,38	0,38	0,34	0,22
2	MP2	0,57	0,42	0,41	0,27	0,24
3	MP2	0,59	0,45	0,45	0,33	0,21
4	MP2	0,57	0,48	0,47	0,39	0,29
5	MP2	0,55	0,40	0,39	0,33	0,23
6	MP2	0,54	0,39	0,39	0,28	0,17
7	MP2	0,55	0,41	0,39	0,26	0,22
8	MP2	0,56	0,45	0,42	0,31	0,21
9	MP2	0,57	0,55	0,55	0,48	0,29
10	MP2	0,60	0,43	0,43	0,37	0,26
11	MP2	0,61	0,46	0,45	0,33	0,23
12	MP2	0,61	0,46	0,43	0,29	0,27
13	MP2	0,56	0,35	0,36	0,33	0,24
14	MP2	0,58	0,54	0,54	0,43	0,28
15	MP2	0,56	0,40	0,38	0,31	0,20
16	MP2	0,48	0,39	0,38	0,31	0,24
	STI_{MW}	0,52	0,40	0,39	0,30	0,20
	STI_{MW-STABW}	0,46	0,33	0,33	0,23	0,16

Tabelle 7.14: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-16	0,47	0,35	0,35	0,25	0,17
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-16	0,45	0,32	0,32	0,21	0,15
STI_{MW}	MP2 / 1-16	0,57	0,44	0,43	0,34	0,24
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-16	0,53	0,38	0,37	0,28	0,20

Tabelle 7.15: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

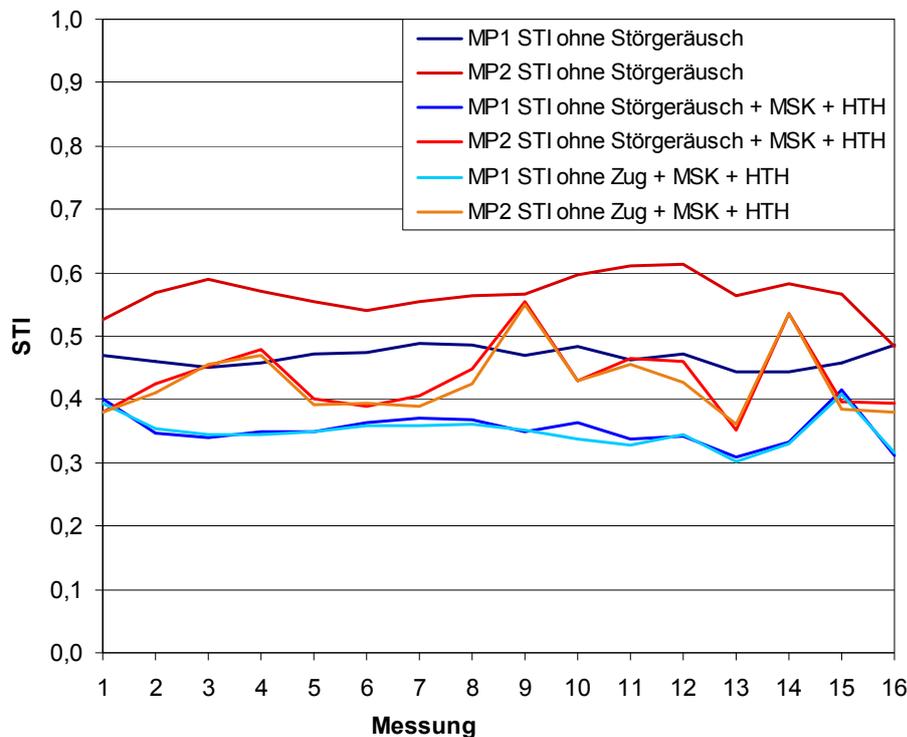


Abbildung 7.15: Grafische Darstellung der STI-Werte

Messung Nr. 4.2 am Gleis 6 innerhalb der Bahnhofshalle an 20 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,53	0,40	0,39	0,28	0,20
2	MP1	0,58	0,40	0,38	0,26	0,21
3	MP1	0,53	0,40	0,38	0,27	0,19
4	MP1	0,54	0,38	0,37	0,28	0,14
5	MP1	0,55	0,44	0,45	0,33	0,21
6	MP1	0,55	0,39	0,38	0,27	0,19
7	MP1	0,62	0,46	0,45	0,40	0,25
8	MP1	0,53	0,39	0,38	0,33	0,23
9	MP1	0,58	0,39	0,38	0,35	0,25
10	MP1	0,56	0,37	0,34	0,29	0,21
1	MP2	0,48	0,38	0,38	0,29	0,17
2	MP2	0,57	0,40	0,40	0,34	0,25
3	MP2	0,48	0,35	0,33	0,20	0,17
4	MP2	0,49	0,35	0,33	0,21	0,14
5	MP2	0,52	0,39	0,38	0,28	0,19
6	MP2	0,55	0,39	0,38	0,25	0,17
7	MP2	0,58	0,44	0,43	0,35	0,22
8	MP2	0,51	0,34	0,35	0,32	0,22
9	MP2	0,54	0,40	0,38	0,27	0,23
10	MP2	0,53	0,38	0,37	0,30	0,21
	STI_{MW}	0,54	0,39	0,38	0,29	0,20
	STI_{MW-STABW}	0,51	0,36	0,35	0,24	0,17

Tabelle 7.16: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-10	0,56	0,40	0,39	0,31	0,21
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-10	0,53	0,38	0,36	0,26	0,18
STI_{MW}	MP2 / 1-10	0,53	0,38	0,37	0,28	0,20
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-10	0,49	0,35	0,34	0,23	0,16

Tabelle 7.17: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

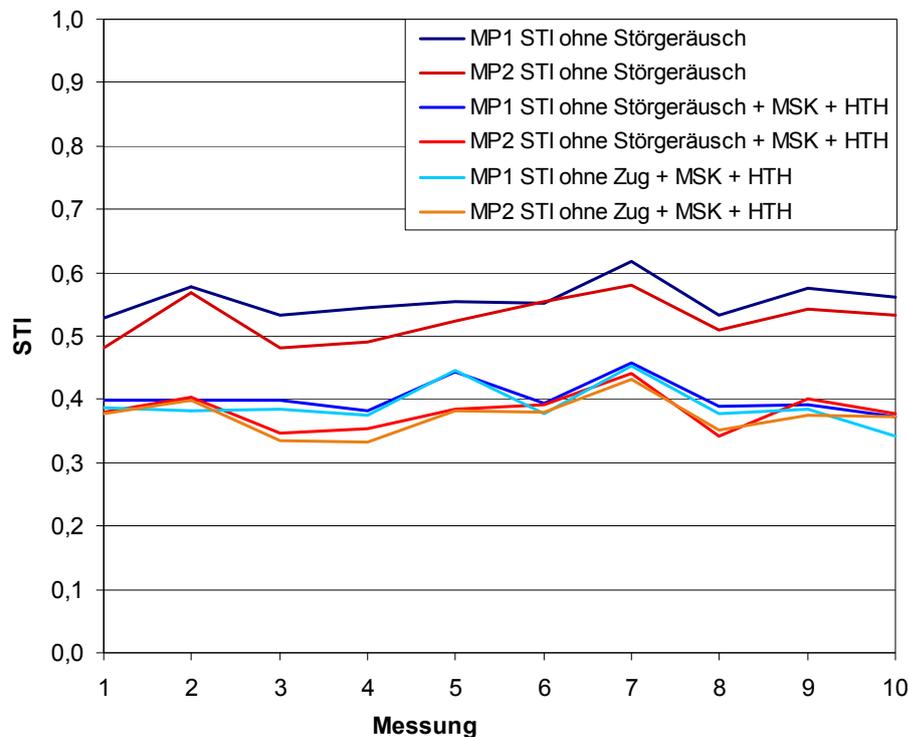


Abbildung 7.16: Grafische Darstellung der STI-Werte

7.4 Messungen im Personentunnel

Der Personentunnel verbindet alle Bahnsteige miteinander, Treppen- und Rampenaufgänge führen zu den Gleisen. Der Personentunnel ist ca. 16 m breit und hat rechts und links Läden. Als Lautsprecher sind Doppeltrichterlautsprecher in zwei Reihen mit einem Abstand von jeweils ca. 2 m zu den Längsseiten an der Decke montiert. Während der Messungen herrschte trotz später Stunde noch ein reger Publikumsverkehr. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden. Dieser Pegel war aber viel zu gering, um einen hinreichenden Störabstand zu den Störgeräuschen zu bekommen. Deshalb ließen sich keine Messungen des Signalpegels durchführen.

7.4.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle auf dem Bahnsteig in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Nachhallzeit		Aufgrund des hohen Störgeräuschpegels nicht möglich		
2 Störpegel					
2.1	Störpegel		Am Ausgang zu Gleis 5/6	Abbildung 7.17	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel		Aufgrund des zu geringen Störabstands nicht durchführbar		
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Zwischen den Aufgängen zu den Gleisen 3/4 und 7/8 Raster 4 m x 4 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 7.17	20

Tabelle 7.18 Messungen im Personentunnel

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

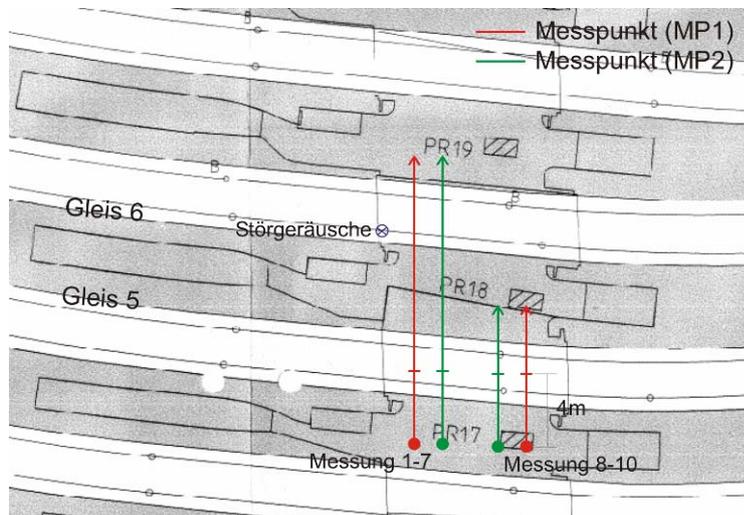


Abbildung 7.17: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (2.1) und bei der Messung des STI (4.1) zwischen den Aufgängen zu den Gleisen 3/4 und 7/8

7.4.2 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Aus den Messungen der Störgeräusche wurden zwei typische Betriebszustände ausgewählt: Der Störpegel im Personentunnel während der Einfahrt eines Zuges auf einem Gleis und die Hintergrundgeräusche ohne Zugverkehr. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese beiden Betriebszustände.

Betriebszustand		Störpegel mit Einfahrt eines Zuges auf einem Gleis	Störpegel ohne Zugverkehr
L_{Aeq}	dB	74,9	68,9
L_{AFmax}	dB	80,5	72,2

Tabelle 7.19: Störpegel bei den typischen Betriebszuständen

Das Frequenzspektrum der Störpegel bei den beiden Betriebszuständen zeigt die folgende Abbildung:

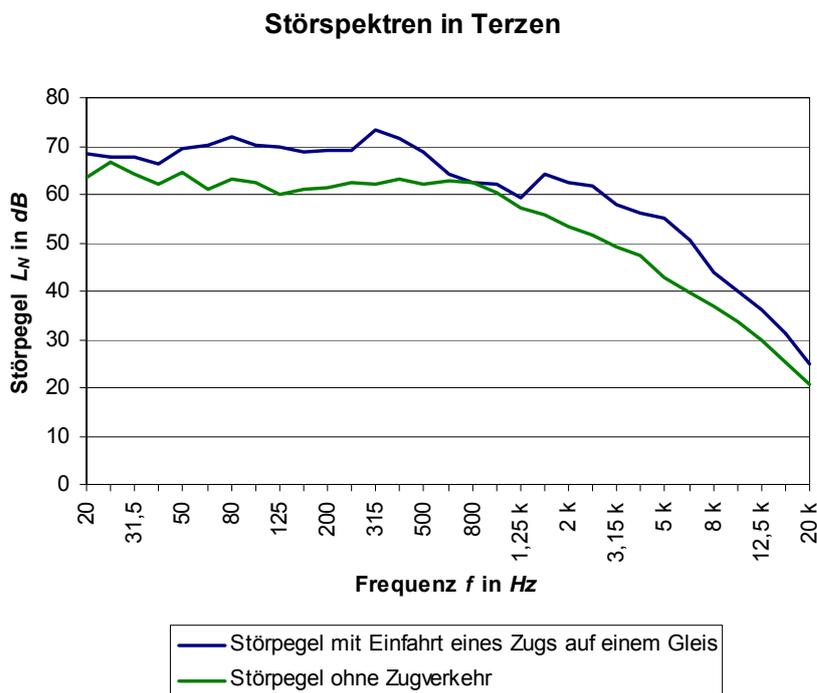


Abbildung 7.18: Störspektren in Terzen bei den zwei typischen Betriebszuständen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

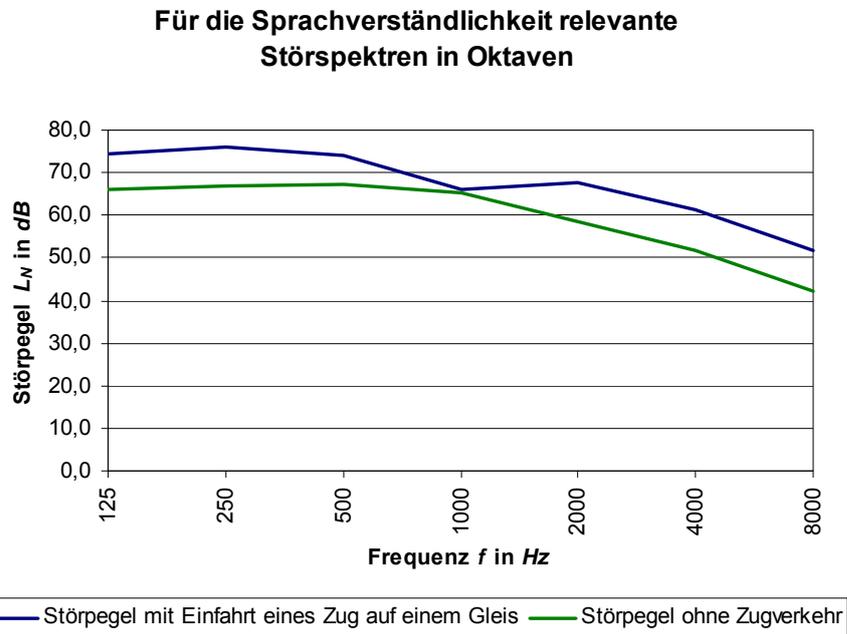


Abbildung 7.19: Störspektren in Oktaven bei den zwei typischen Betriebszuständen

7.4.3 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 im Personentunnel an 20 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch
1	MP1	0,43
2	MP1	0,44
3	MP1	0,40
4	MP1	0,40
5	MP1	0,39
6	MP1	0,36
7	MP1	0,39
1B	MP1	0,39
2B	MP1	0,40
3B	MP1	0,39
1	MP2	0,44
2	MP2	0,47
3	MP2	0,41
4	MP2	0,44
5	MP2	0,42
6	MP2	0,48
7	MP2	0,43
1B	MP2	0,41
2B	MP2	0,40
3B	MP2	0,38
	STI_{MW}	0,41
	$STI_{MW-STABW}$	0,38

Tabelle 7.20: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch
STI_{MW}	MP1 / 1-7	0,40
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-7	0,37
STI_{MW}	MP2 / 1-7	0,44
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-7	0,42

Tabelle 7.21: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2 bei den unterschiedlichen Betriebszuständen.

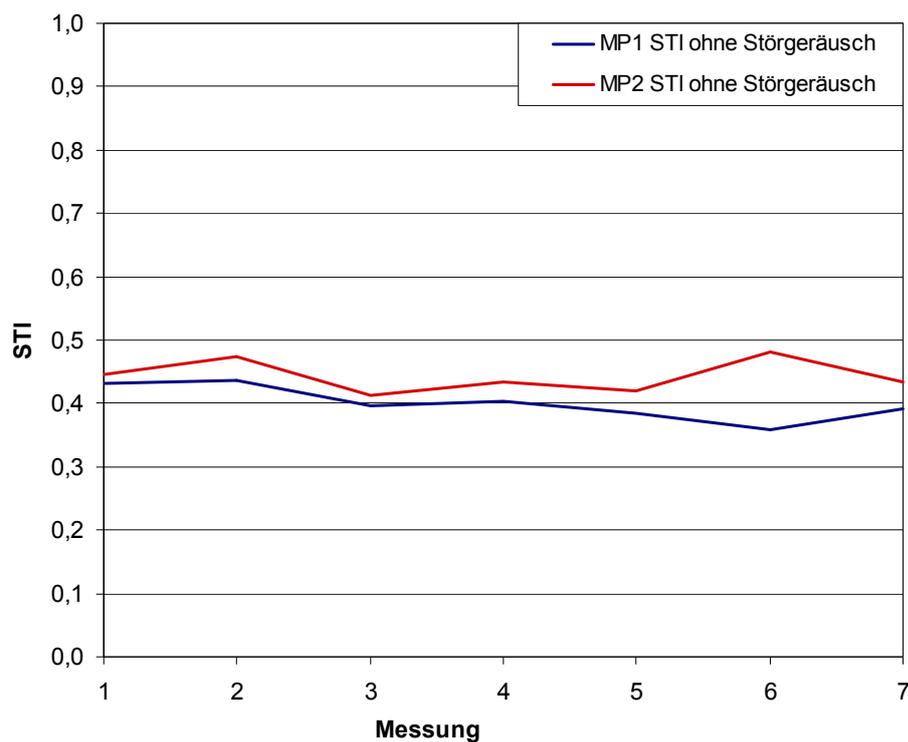


Abbildung 7.20: Grafische Darstellung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 B und MP2 B zusammen (Messung 8-10, siehe Abbildung 7.17).

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch
STI_{MW}	MP1 / B 1-3	0,39
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / B 1-3	0,38
STI_{MW}	MP2 / B 1-3	0,40
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / B 1-3	0,38

Tabelle 7.22: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 B und MP2 B

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 B und MP2 B bei den unterschiedlichen Betriebszuständen.

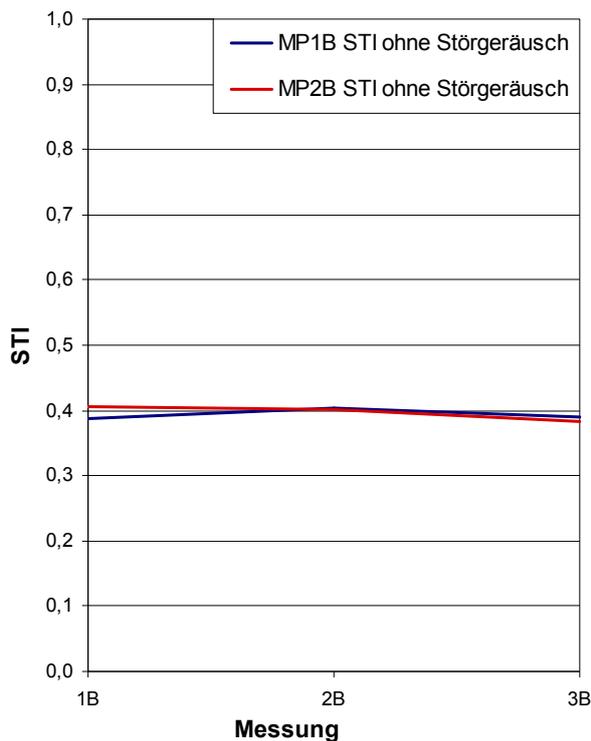


Abbildung 7.21: Grafische Darstellung der STI-Werte der B-Messreihe

8 Messungen im Bahnhof Basel SBB

Der Bahnhof Basel gehört zu den größten Grenzbahnhöfen in Europa. Er besitzt eine große Eingangshalle mit einer Grundfläche von ca. 50 m x 30 m. Von dieser Eingangshalle führt ein Aufgang zu einer Passerelle, von der aus man zu den Bahnsteigen gelangt. Die Gleise und Bahnsteige nordwestlich dieser Passerelle befinden sich in einer großen Bahnhofshalle. Die Gleise in südöstlicher Richtung sind nicht überdacht, lediglich die Bahnsteige sind mit einer Überdachung versehen.

Die Messungen wurden in vier Bereichen durchgeführt, auf den Bahnsteigen innerhalb und außerhalb der Bahnhofshalle, auf der Passerelle und in der Eingangshalle.

Die Messungen im Bahnhof Basel fanden am 20.11.2008 in der Zeit zwischen 14:00 und 22:00 Uhr statt.

Die Durchsageanlage in allen Bereichen des Bahnhofs arbeitet mit einer komplexen Schaltung, die sowohl den Frequenzgang als auch den Pegel beeinflusst. So werden Signale erst ab einem bestimmten Pegelschwellwert wiedergegeben, der Pegel ist abhängig von den Umgebungsgeräuschen und es befinden sich Limiter und Kompressoren im Signalweg. Für die Messungen wurden alle Signalbearbeitungsfunktionen mit Ausnahme der zur Entzerrung des Frequenzganges abgeschaltet.

8.1 Messungen auf den Bahnsteigen innerhalb der Bahnhofshalle

Die historische Bahnhofshalle mit einer Grundfläche von ca. 190 m x 90 m hat ein durchgehendes Dach, das im Mittel eine Höhe von 16 m hat. An der Dachkonstruktion sind über jedem Bahnsteig drei Electro-Voice Treiber an großen Hörnern montiert. Die Messungen fanden auf dem Bahnsteig am Gleis 5 statt.



Abbildung 8.1: Bahnhofshalle des Bahnhofs Basel SBB



Abbildung 8.2: Hornlautsprecher in der Empfangshalle

8.1.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle auf dem Bahnsteig in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Nachhallzeit	5	Bahnsteig		2
2 Störpegel					
2.1	Störpegel	5	Bahnsteig	Abbildung 8.3	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel	5	Bahnsteig	Abbildung 8.3	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI	5	Raster 5 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 8.3	28

Tabelle 8.1 Messungen auf dem Bahnsteig zu den Gleisen 5 und 6 innerhalb der Bahnhofshalle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:



Abbildung 8.3: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (Messung 2.1), bei der Messung des Signalpegels (Messung 3.1) sowie bei der Messung des STI 1 (4.1) auf Gleis 5

8.1.2 Ergebnisse der Messungen der Nachhallzeit

Im Folgenden ist die Nachhallzeit als Mittelwert aus allen Messungen tabellarisch und grafisch dargestellt:

Nr.	Bereich	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1.1	Gleis 5	3,5 s	3,1 s	3,2 s	3,3 s	2,8 s	1,9 s	1,1 s

Tabelle 8.2: Nachhallzeiten in Oktaven

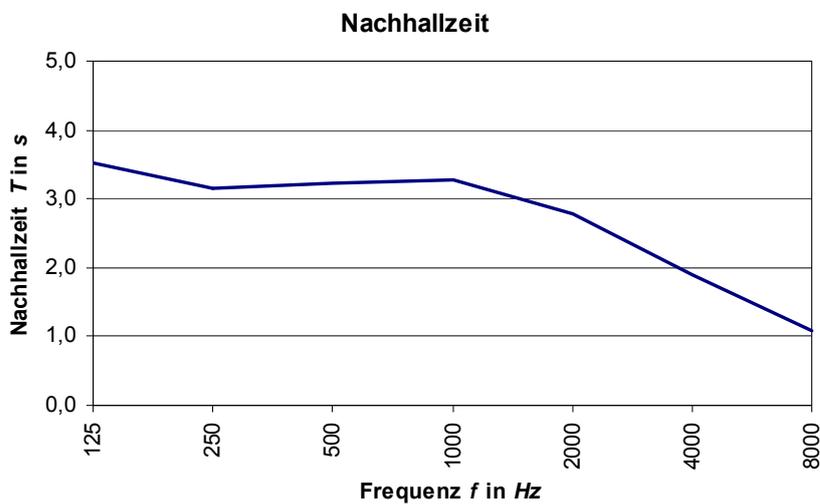


Abbildung 8.4: Nachhallzeiten in Oktaven

8.1.3 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Aus den Messungen der Störgeräusche wurden drei typische Betriebszustände ausgewählt: die Einfahrt eines Personenzugs, die Durchfahrt eines Güterzugs und die Hintergrundgeräusche ohne Zugverkehr. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese drei Betriebszustände:

Betriebszustand		Personenzug	Güterzug	Störpegel ohne Zugverkehr
L_{Aeq}	dB	75,1	73,9	63,2
L_{AFmax}	dB	83,0	77,9	65,9

Tabelle 8.3: Störpegel bei den typischen Betriebszuständen

Das Frequenzspektrum der Störpegel bei den drei Betriebszuständen zeigt die folgende Abbildung:

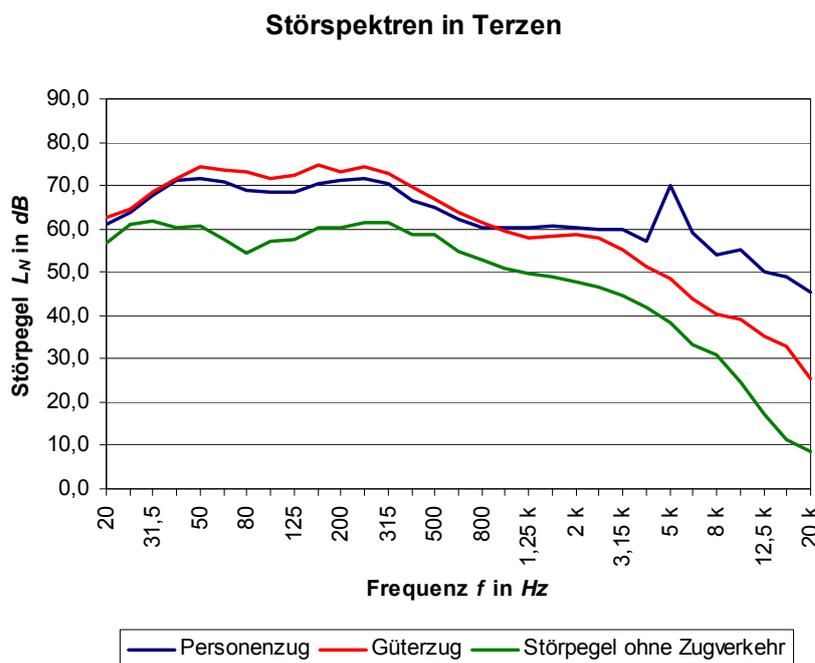


Abbildung 8.5: Störspektren in Terzen bei den drei typischen Betriebszuständen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

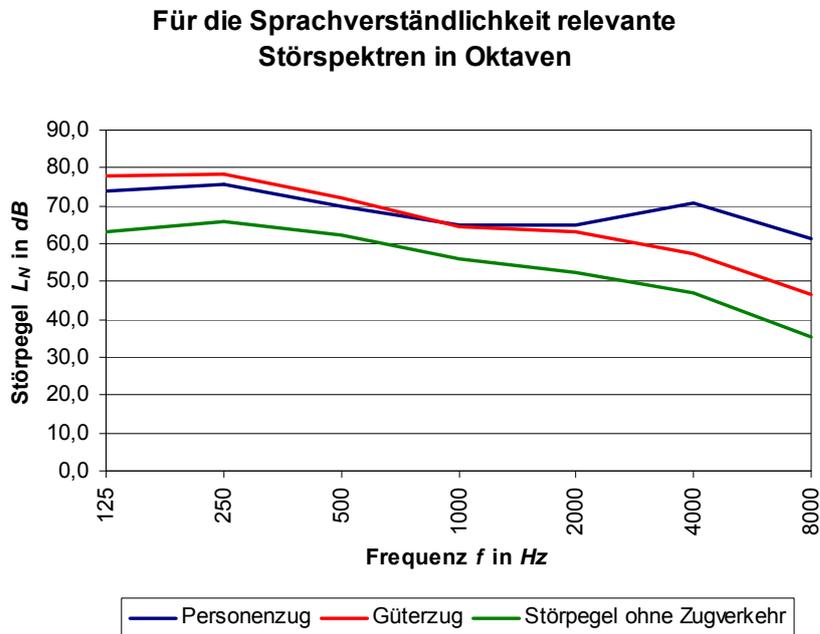


Abbildung 8.6: Störspektren in Oktaven bei den drei typischen Betriebszuständen

8.1.4 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	5	54,2	54,9	73,2	81,8	84,4	81,5	76,2	64,5	88,0	87,7

Tabelle 8.4: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

8.1.5 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 am Gleis 5 innerhalb der Bahnhofshalle an 28 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,42	0,42	0,41	0,28	0,36
2	MP1	0,53	0,49	0,46	0,35	0,42
3	MP1	0,48	0,43	0,41	0,32	0,38
4	MP1	0,43	0,41	0,41	0,28	0,36
5	MP1	0,46	0,41	0,41	0,27	0,34
6	MP1	0,52	0,47	0,47	0,39	0,42
7	MP1	0,51	0,49	0,49	0,37	0,44
8	MP1	0,66	0,61	0,61	0,57	0,61
9	MP1	0,73	0,69	0,69	0,60	0,67
10	MP1	0,74	0,68	0,66	0,50	0,56
11	MP1	0,70	0,65	0,65	0,57	0,61
12	MP1	0,64	0,63	0,63	0,49	0,57
13	MP1	0,60	0,57	0,56	0,43	0,51
14	MP1	0,57	0,53	0,53	0,44	0,48
1	MP2	0,33	0,30	0,30	0,20	0,27
2	MP2	0,48	0,42	0,40	0,34	0,39
3	MP2	0,46	0,41	0,39	0,31	0,34
4	MP2	0,44	0,40	0,40	0,32	0,37
5	MP2	0,48	0,45	0,45	0,35	0,41
6	MP2	0,49	0,48	0,47	0,32	0,39
7	MP2	0,42	0,40	0,40	0,27	0,36
8	MP2	0,60	0,57	0,58	0,46	0,54
9	MP2	0,65	0,59	0,59	0,49	0,56
10	MP2	0,69	0,67	0,67	0,59	0,64
11	MP2	0,66	0,56	0,56	0,44	0,50
12	MP2	0,62	0,58	0,58	0,49	0,55
13	MP2	0,58	0,52	0,51	0,42	0,47
14	MP2	0,52	0,49	0,49	0,35	0,44
	STI_{MW}	0,55	0,51	0,51	0,40	0,46
	STI_{MW-STABW}	0,44	0,41	0,40	0,29	0,36

Tabelle 8.5: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-14	0,57	0,53	0,53	0,42	0,48
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-14	0,46	0,43	0,42	0,31	0,37
STI_{MW}	MP2 / 1-14	0,53	0,49	0,49	0,38	0,45
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-14	0,42	0,39	0,38	0,28	0,34

Tabelle 8.6: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

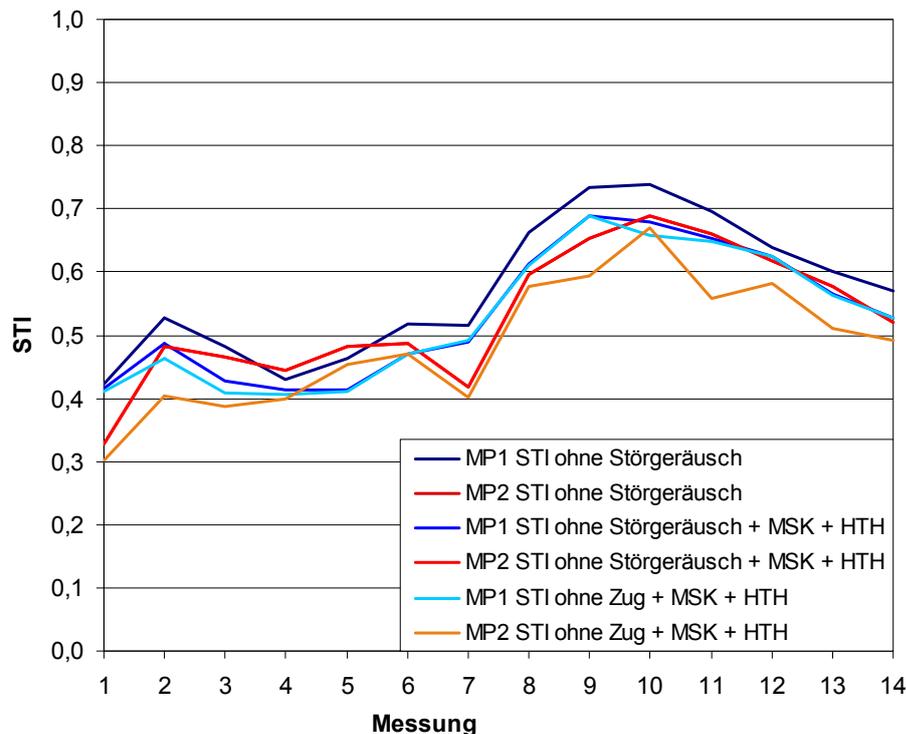


Abbildung 8.7: Grafische Darstellung der STI-Werte

8.2 Messungen auf dem Bahnsteig außerhalb der Bahnhofshalle

Die Bereiche der Bahnsteige außerhalb der Bahnhofshalle sind überdacht, die Gleise nicht. In der Überdachung sind zwei Reihen von Leuchten eingebaut, die jeweils in einem Abstand von ca. 11 m auch einen Lautsprecher enthalten. Um den Bereich zwischen dem offenen Gleisbereich und der Bahnhofshalle zu beschallen, ist zusätzlich unter der Passerelle ein Hornlautsprecher montiert.



Abbildung 8.8: Bahnsteig außerhalb der Bahnhofshalle (links) sowie Lautsprecher auf den Bahnsteigen (oben) bzw. unter der Passerelle

8.2.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle auf dem Bahnsteig in die Durchsageanlage eingespeist. Im Außenbereich des Bahnsteigs wurden nur STI-Messungen zur Sprachverständlichkeit durchgeführt.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI	5	Raster 5 m x 2 m Mikrofonpositionen parallel		22

Tabelle 8.7 Messungen auf dem Bahnsteig zu den Gleisen 5 und 6 außerhalb der Bahnhofshalle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

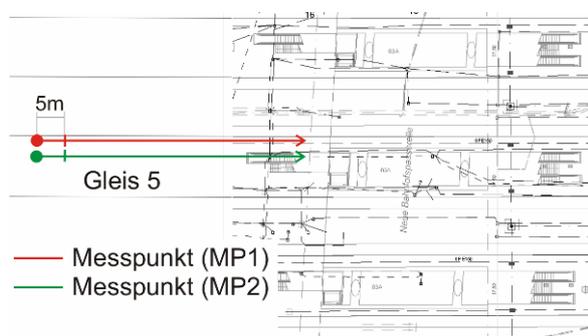


Abbildung 8.9: Messpunkte bei der Messung des STI (4.1) auf Gleis 5

8.2.2 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Einfahrt eines Personenzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Personenzug + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels bei Durchfahrt eines Güterzugs, Verdeckung und Hörschwelle (Güterzug + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Für den Bereich außerhalb der Bahnhofshalle wurden keine Signal- und Störpegelmessungen durchgeführt. Die Berechnungen basieren deshalb auf den Signal- und Störpegel der Messung. Da sich die Lautsprechersysteme innerhalb und außerhalb der Halle stark unterscheiden, sind die Ergebnisse als Näherung anzusehen. Ausnahme ist der STI ohne Störgeräusch, da in seine Berechnung der Signalpegel nicht eingeht.

Messung Nr. 4.1 am Gleis 5 außerhalb der Bahnhofshalle an 22 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
1	MP1	0,78	0,72	0,72	0,55	0,64
2	MP1	0,51	0,45	0,44	0,28	0,36
3	MP1	0,64	0,54	0,55	0,41	0,49
4	MP1	0,60	0,57	0,56	0,38	0,48
5	MP1	0,74	0,66	0,66	0,53	0,62
6	MP1	0,54	0,52	0,48	0,24	0,32
7	MP1	0,52	0,48	0,49	0,36	0,43
8	MP1	0,51	0,49	0,47	0,31	0,38
9	MP1	0,56	0,54	0,49	0,33	0,40
10	MP1	0,71	0,62	0,62	0,49	0,58
11	MP1	0,54	0,49	0,47	0,34	0,40
1	MP2	0,69	0,62	0,62	0,43	0,54
2	MP2	0,56	0,53	0,54	0,38	0,48
3	MP2	0,59	0,55	0,55	0,39	0,48
4	MP2	0,62	0,57	0,54	0,33	0,43
5	MP2	0,64	0,56	0,52	0,40	0,47
6	MP2	0,55	0,50	0,48	0,31	0,37
7	MP2	0,53	0,49	0,47	0,27	0,35
8	MP2	0,51	0,48	0,45	0,30	0,35
9	MP2	0,55	0,47	0,43	0,24	0,31
10	MP2	0,67	0,61	0,61	0,46	0,54
11	MP2	0,54	0,53	0,49	0,26	0,35
	STI_{MW}	0,59	0,55	0,53	0,36	0,44
	STI_{MW-STABW}	0,51	0,48	0,45	0,27	0,35

Tabelle 8.8: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Personenzug + MSK + HTH	STI Störgeräusch Güterzug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-11	0,60	0,55	0,54	0,38	0,46
STI_{MW-STABW}	MP1 / 1-11	0,51	0,47	0,45	0,28	0,36
STI_{MW}	MP2 / 1-11	0,59	0,54	0,52	0,34	0,42
STI_{MW-STABW}	MP2 / 1-11	0,52	0,49	0,46	0,27	0,34

Tabelle 8.9: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (ohne Zug + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

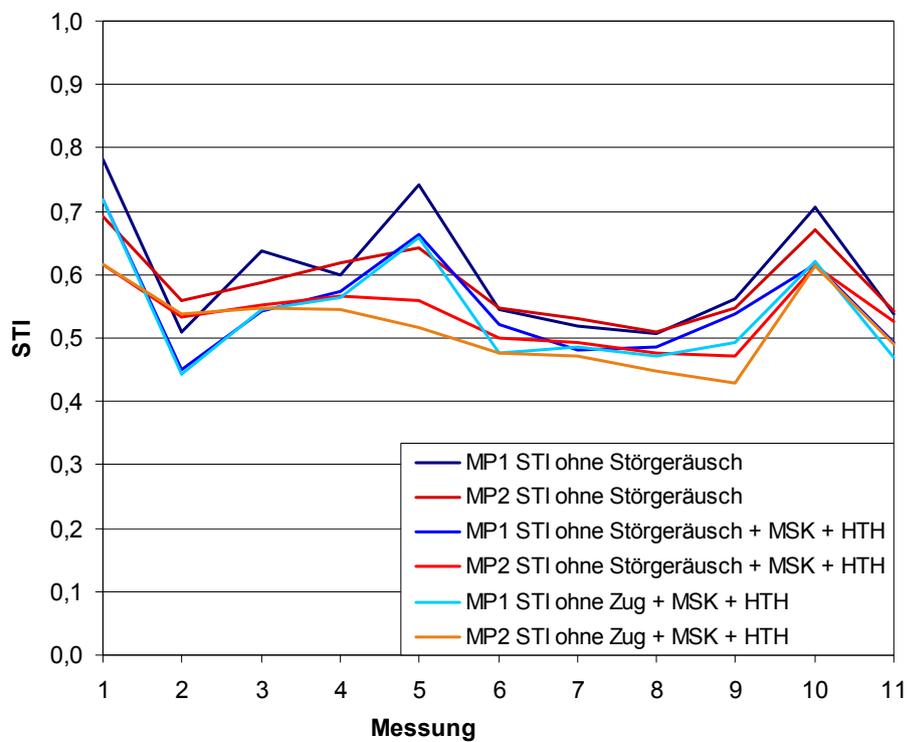


Abbildung 8.10: Grafische Darstellung der STI-Werte

8.3 Messungen auf der Passerelle

Die Passerelle ist auf beiden Längsseiten von Läden und gastronomischen Einrichtungen umsäumt. Der Durchgang zwischen den Ladenlokalen ist ca. 14 m breit. Jeweils zwei Lautsprecher sind auf Werbetafeln montiert, die im vorderen Teil der Passerelle auf der rechten Seite positioniert sind, im hinteren Teil auf der linken Seite. Der Abstand zwischen den Lautsprechern beträgt rund 33 m.

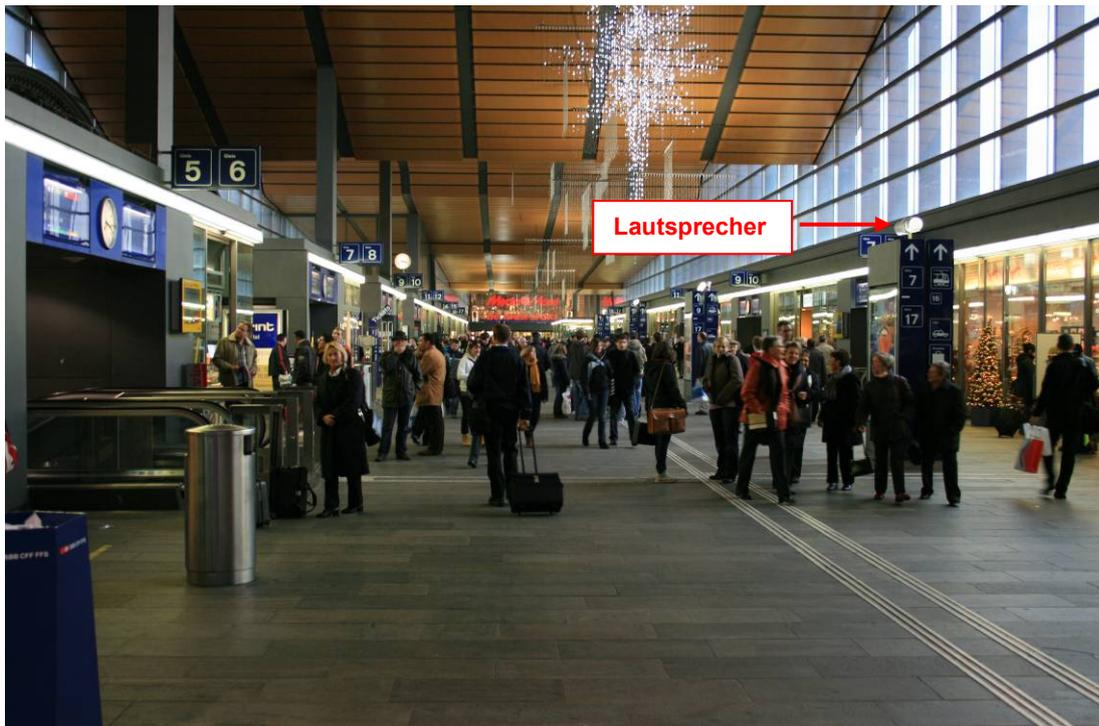


Abbildung 8.11: Der vordere Teil der Passerelle



Abbildung 8.12: Lautsprecher auf einer der Werbetafeln

8.3.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle auf der Passerelle in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Nachhallzeit		Passerelle		6
2 Störpegel					
2.1	Störpegel		Passerelle	Abbildung 8.13	2
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel		Passerelle	Abbildung 8.13	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Raster 5 m x 5 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 8.13	24

Tabelle 8.10 Messungen auf der Passerelle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

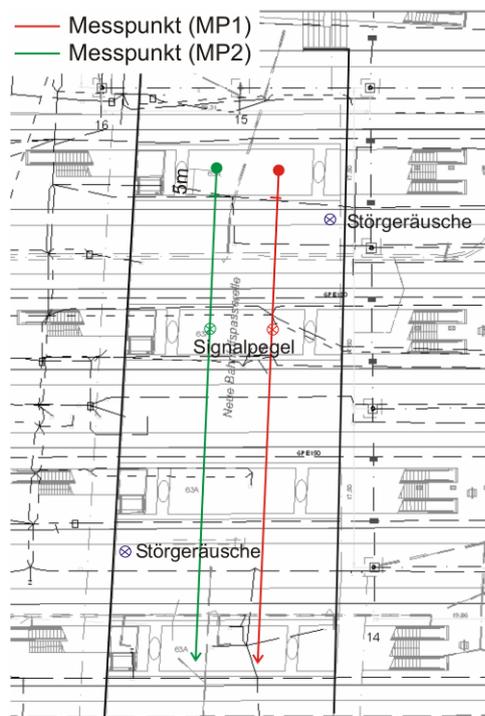


Abbildung 8.13: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (2.1), des Signalpegels (3.1) und bei der Messung des STI (4.1) auf der Passerelle

8.3.2 Ergebnisse der Messungen der Nachhallzeit

Im Folgenden ist die Nachhallzeit als Mittelwert aus allen Messungen tabellarisch und grafisch dargestellt:

Nr.	Bereich	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1.1	Passerelle	2,6 s	1,8 s	2,2 s	2,6 s	2,9 s	2,7 s	2,1 s

Tabelle 8.11: Nachhallzeiten in Oktaven

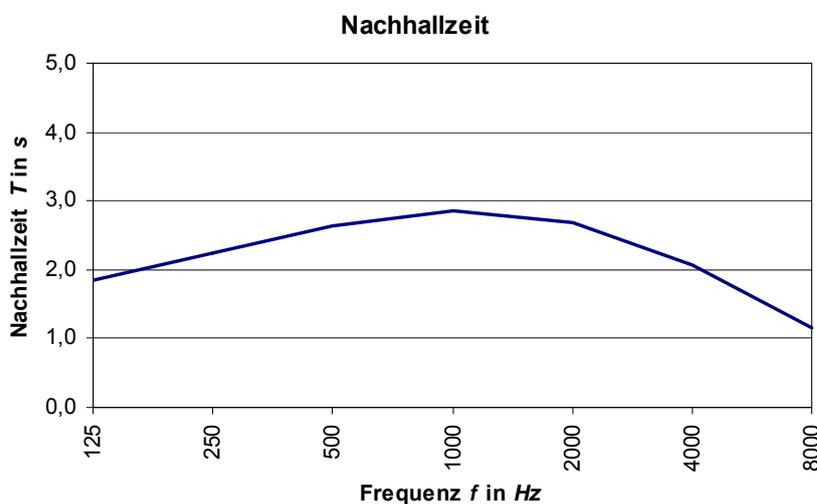


Abbildung 8.14: Nachhallzeiten in Oktaven

8.3.3 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Die Messungen der Störgeräusche wurden an zwei Positionen durchgeführt, am sehr stark frequentierten Übergang zwischen Eingangshalle und Passerelle sowie in der Mitte der Passerelle, wo sich weniger Reisende aufhielten. Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} für diese beiden Positionen:

Position		Störpegel am Übergang zwischen Eingangshalle und Passerelle	Störpegel in der Mitte der Passerelle
L_{Aeq}	dB	69,2	66,6
L_{AFmax}	dB	76,6	73,9

Tabelle 8.12: Störpegel an zwei unterschiedlichen Positionen

Das Frequenzspektrum der Störpegel an den beiden Positionen zeigt die folgende Abbildung:

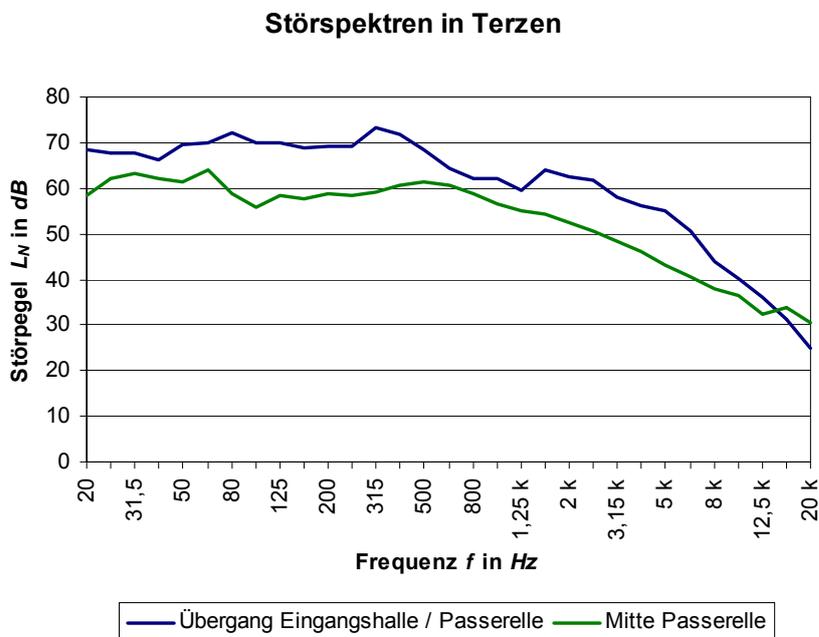


Abbildung 8.15: Störspektren in Terzen an den zwei Positionen

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

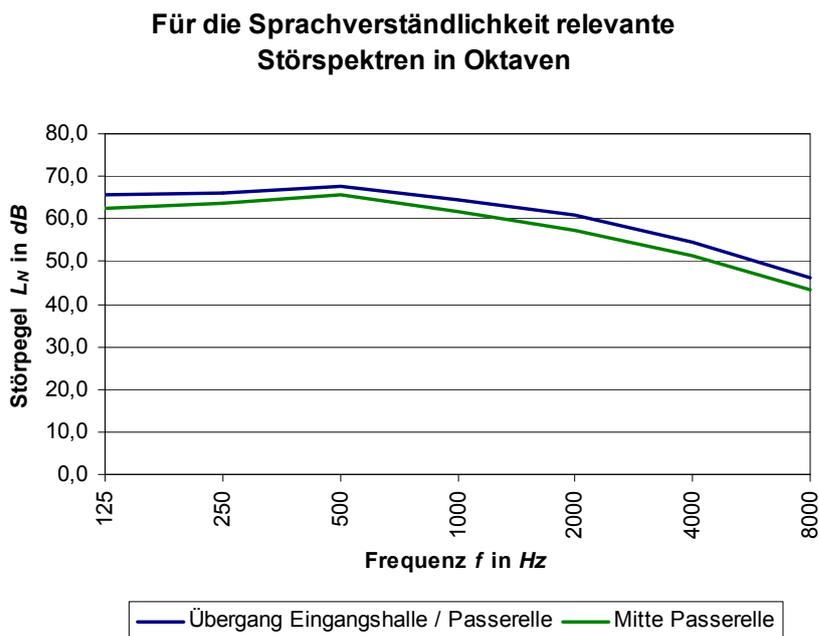


Abbildung 8.16: Störspektren in Oktaven an den zwei Positionen

8.3.4 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summenpegel L_{Lin}	Summenpegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	Passerelle	56,8	56,9	73,0	84,0	83,6	74,0	67,7	55,1	87,3	85,9

Tabelle 8.13: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

8.3.5 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels am Übergang zwischen Passerelle und Eingangshalle, Verdeckung und Hörschwelle (Übergang + MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels am Übergang in der Mitte der Passerelle, Verdeckung und Hörschwelle (Mitte + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 auf der Passerelle an 24 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Übergang + MSK + HTH	STI Mitte + MSK + HTH
1	MP1	0,41	0,38	0,36	0,37
2	MP1	0,41	0,34	0,31	0,32
3	MP1	0,44	0,37	0,33	0,35
4	MP1	0,46	0,38	0,33	0,35
5	MP1	0,41	0,40	0,37	0,38
6	MP1	0,44	0,39	0,36	0,37
7	MP1	0,40	0,38	0,34	0,35
8	MP1	0,43	0,41	0,37	0,39
9	MP1	0,46	0,42	0,36	0,38
10	MP1	0,42	0,40	0,37	0,38
11	MP1	0,42	0,38	0,36	0,37
12	MP1	0,40	0,38	0,35	0,36
1	MP2	0,41	0,34	0,30	0,32
2	MP2	0,49	0,38	0,36	0,37
3	MP2	0,51	0,41	0,38	0,39
4	MP2	0,49	0,47	0,37	0,39
5	MP2	0,41	0,35	0,32	0,33
6	MP2	0,43	0,39	0,32	0,33
7	MP2	0,40	0,38	0,33	0,35
8	MP2	0,44	0,39	0,33	0,36
9	MP2	0,46	0,38	0,32	0,33
10	MP2	0,46	0,43	0,39	0,40
11	MP2	0,53	0,44	0,42	0,43
12	MP2	0,51	0,41	0,39	0,40
	STI_{MW}	0,44	0,39	0,35	0,37
	STI_{MW-STABW}	0,40	0,36	0,32	0,34

Tabelle 8.14: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung (STI_{MW-STABW}) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Übergang + MSK + HTH	STI Mitte + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-12	0,42	0,39	0,35	0,36
STI_{MW-STABW}	MP1 / 1-12	0,40	0,37	0,33	0,35
STI_{MW}	MP2 / 1-12	0,46	0,40	0,35	0,37
STI_{MW-STABW}	MP2 / 1-12	0,42	0,36	0,31	0,33

Tabelle 8.15: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2. Der Übersicht halber sind nur die Werte für

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels ohne Zugverkehr, Verdeckung und Hörschwelle (Übergang + MSK + HTH)

grafisch dargestellt.

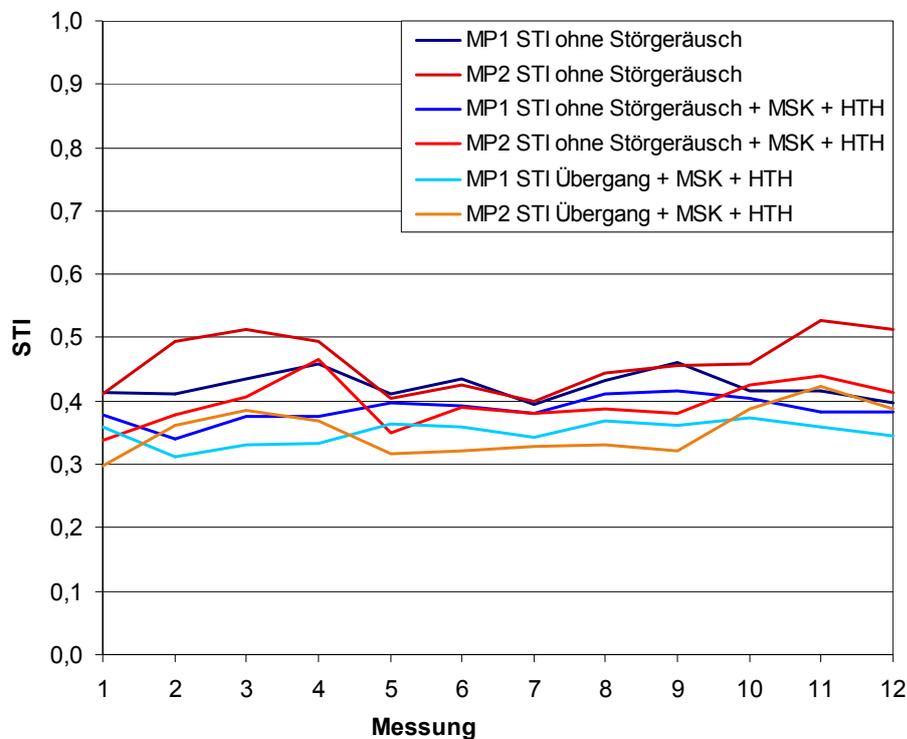


Abbildung 8.17: Grafische Darstellung der STI-Werte

8.4 Messungen in der Eingangshalle

Die historische Eingangshalle mit einer 24 m hohen, gewölbten Dachkonstruktion ist lediglich mit einem Hornlautsprecher ausgestattet, der an der Stirnseite in der Mitte des Daches positioniert ist. Dieser Lautsprecher wird nur in besonderen Fällen für Durchsagen genutzt. Ankündigungen zu Ankunfts- und Abfahrtszeiten werden im alltäglichen Betrieb nicht in der Eingangshalle wiedergegeben. Am Tag der Messungen fand in der Eingangshalle ein Weihnachtsmarkt statt. Die Messungen zur Nachhallzeit, dem Signalpegel und der Sprachverständlichkeit wurden erst nach der Schließung des

Marktes am Abend durchgeführt. Die Messung des Störpegels fand in den frühen Abendstunden zur Hauptverkehrszeit statt.



Abbildung 8.18: Eingangshalle des Bahnhofs Basel SBB



Abbildung 8.19: Eingangshalle mit Weihnachtsmarkt

8.4.1 Durchführung der Messungen

Die Messsignale wurden in eine Sprechstelle in der Eingangshalle in die Durchsageanlage eingespeist. Da es an der Sprechstelle keine Möglichkeit zur Einstellung des Pegels gab, konnten die Messungen des Signalpegels nur mit dem durch die Sprechstelle vorgegebenen Pegel durchgeführt werden.

Die folgende Tabelle fasst die durchgeführten Messungen zusammen:

Nr.	Messung	Gleis	Position	Skizze	Anzahl der Messpunkte
1 Nachhallzeit					
1.1	Nachhallzeit		Eingangshalle		10
2 Störpegel					
2.1	Störpegel		Eingangshalle	Abbildung 8.20	1
3 Signalpegel					
3.1	Signalpegel		Eingangshalle	Abbildung 8.20	2
4 Sprachverständlichkeit					
4.1	STI		Raster 4 m x 4 m Mikrofonpositionen parallel	Abbildung 8.20	42

Tabelle 8.16: Messungen in der Eingangshalle

Die folgende Abbildung skizziert die Messpunkte, an denen die Messungen durchgeführt wurden:

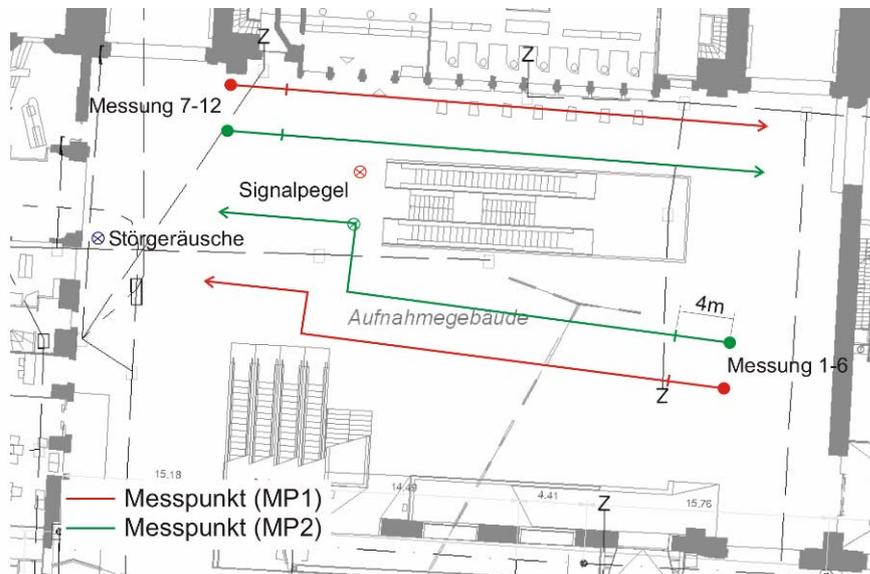


Abbildung 8.20: Messpunkte bei der Messung des Störpegels (2.1), des Signalpegels (3.1) und bei der Messung des STI (4.1) in der Eingangshalle

8.4.2 Ergebnisse der Messungen der Nachhallzeit

Im Folgenden ist die Nachhallzeit als Mittelwert aus allen Messungen tabellarisch und grafisch dargestellt:

Nr.	Bereich	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1.1	Eingangshalle	4,4 s	5,8 s	5,9 s	5,6 s	4,6 s	3,0 s	1,5 s

Tabelle 8.17: Nachhallzeiten in Oktaven

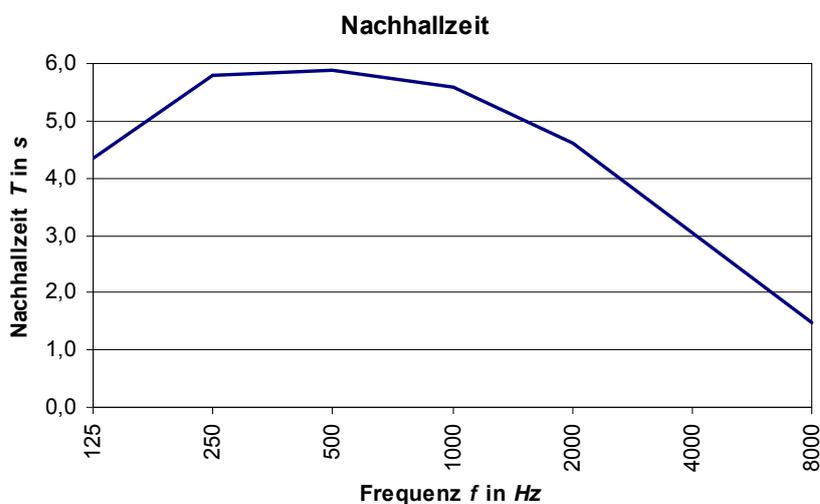


Abbildung 8.21: Nachhallzeiten in Oktaven

8.4.3 Ergebnisse der Messungen der Störgeräusche

Die folgende Tabelle zeigt den äquivalenten, A-bewerteten Dauerschallpegel L_{Aeq} und den maximalen, A-bewerteten Pegel L_{AFmax} in der Eingangshalle während recht regem Publikumsverkehr am frühen Abend:

Eingangshalle		
L_{Aeq}	dB	69,8
L_{AFmax}	dB	76,2

Tabelle 8.18: Störpegel in der Eingangshalle

Das Frequenzspektrum des Störpegels zeigt die folgende Abbildung:

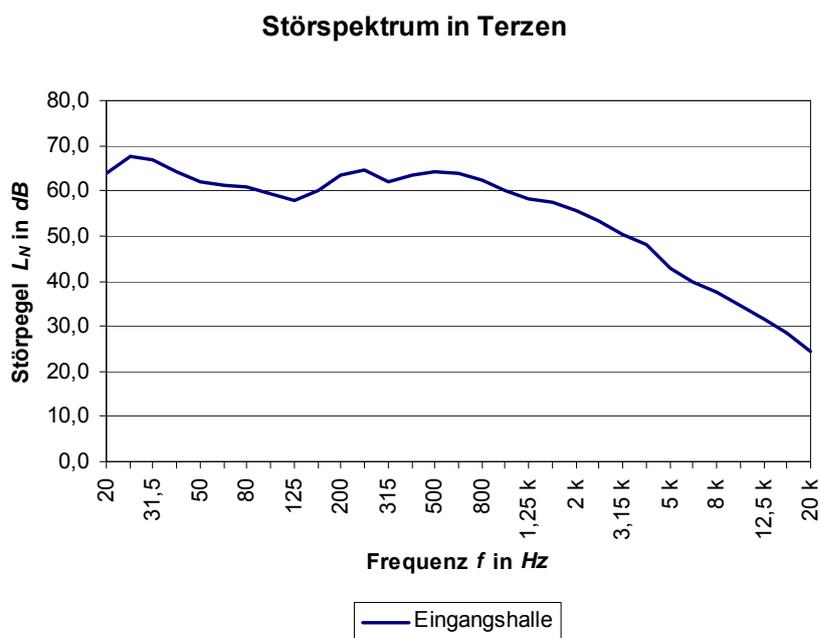


Abbildung 8.22: Störspektren in Terzen in der Eingangshalle

Die Störspektren in Oktaven in dem Frequenzbereich, der für die Sprachverständlichkeit relevant ist, zeigt die folgende Abbildung:

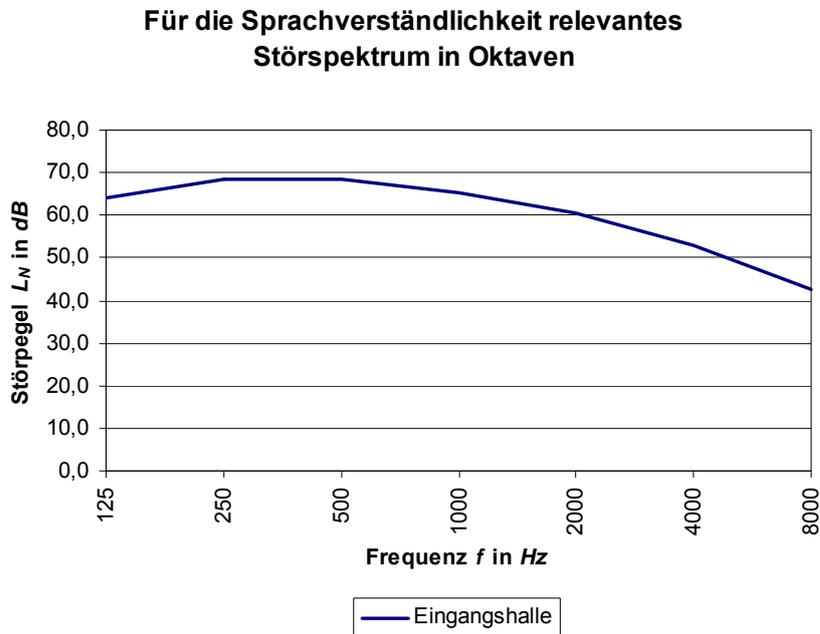


Abbildung 8.23: Störspektren in Oktaven in der Eingangshalle

8.4.4 Ergebnisse der Messungen des Signalpegels

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Signalpegelmessungen zusammen. Es wird jeweils der Mittelwert der Messungen angegeben. Zusätzlich zu den frequenzabhängigen Mittelwerten in Oktaven enthält die Tabelle den Summenpegel ohne Bewertung (L_{Lin}) sowie den A-bewerteten Summenpegel (L_A):

Nr.	Gleis	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Summen- pegel L_{Lin}	Summen- pegel L_A
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
3.1	Eingangs- halle	56,2	59,0	72,6	93,2	90,2	86,3	77,3	58,5	95,6	94,3

Tabelle 8.19: Zusammenfassung der Signalpegelmessungen

8.4.5 Ergebnisse der Messungen der Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Sprachverständlichkeitsmessungen zusammen:

- STI ohne Störgeräusch und pegelabhängiger Verdeckung
- STI ohne Störgeräusch mit Berücksichtigung der Verdeckung und Hörschwelle (+ MSK + HTH)
- STI unter Berücksichtigung des Störpegels, der Verdeckung und Hörschwelle (Störpegel + MSK + HTH)

Am Ende der Tabelle sind zudem der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) angegeben, die sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnen.

Messung Nr. 4.1 in der Eingangshalle an 42 Messpunkten:

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH
1	MP1	0,38	0,33	0,32
2	MP1	0,40	0,33	0,32
3	MP1	0,40	0,36	0,34
4	MP1	0,40	0,33	0,31
5	MP1	0,43	0,37	0,36
6	MP1	0,35	0,29	0,28
7	MP1	0,44	0,38	0,37
8	MP1	0,35	0,29	0,29
9	MP1	0,39	0,36	0,36
10	MP1	0,38	0,29	0,28
11	MP1	0,42	0,29	0,29
12	MP1	0,41	0,29	0,29
13	MP1	0,41	0,31	0,30
14	MP1	0,42	0,33	0,32
15	MP1	0,45	0,40	0,39
16	MP1	0,47	0,40	0,39
17	MP1	0,47	0,39	0,39
18	MP1	0,50	0,41	0,40
19	MP1	0,43	0,41	0,40
20	MP1	0,41	0,34	0,33
21	MP1	0,42	0,35	0,34
1	MP2	0,37	0,32	0,31
2	MP2	0,38	0,31	0,30
3	MP2	0,39	0,31	0,30
4	MP2	0,33	0,30	0,29
5	MP2	0,36	0,33	0,32
6	MP2	0,40	0,32	0,32
7	MP2	0,36	0,28	0,26
8	MP2	0,39	0,29	0,29
9	MP2	0,35	0,29	0,29
10	MP2	0,39	0,32	0,31
11	MP2	0,40	0,39	0,37
12	MP2	0,40	0,38	0,36
13	MP2	0,34	0,28	0,26
14	MP2	0,37	0,31	0,30
15	MP2	0,41	0,37	0,36

Messung	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH
16	MP2	0,43	0,34	0,32
17	MP2	0,43	0,40	0,39
18	MP2	0,43	0,40	0,39
19	MP2	0,40	0,31	0,30
20	MP2	0,38	0,33	0,33
21	MP2	0,36	0,34	0,34
	STI_{MW}	0,38	0,32	0,31
	STI_{MW-STABW}	0,36	0,29	0,28

Tabelle 8.20: Zusammenfassung der STI-Werte

Die folgende Tabelle fasst den STI-Mittelwert (STI_{MW}) und den Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$) getrennt für die Messreihen MP1 und MP2 zusammen.

	Messpunkt	STI ohne Störgeräusch	STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	STI Störgeräusch ohne Zug + MSK + HTH
STI_{MW}	MP1 / 1-21	0,41	0,34	0,34
$STI_{MW-STABW}$	MP1 / 1-21	0,38	0,30	0,30
STI_{MW}	MP2 / 1-21	0,38	0,33	0,32
$STI_{MW-STABW}$	MP2 / 1-21	0,35	0,29	0,28

Tabelle 8.21: STI-Mittelwerte in den Messreihen MP1 und MP2

Die Grafik verdeutlicht den Verlauf der STI-Werte in den Messreihen MP1 und MP2 bei den unterschiedlichen Betriebszuständen.

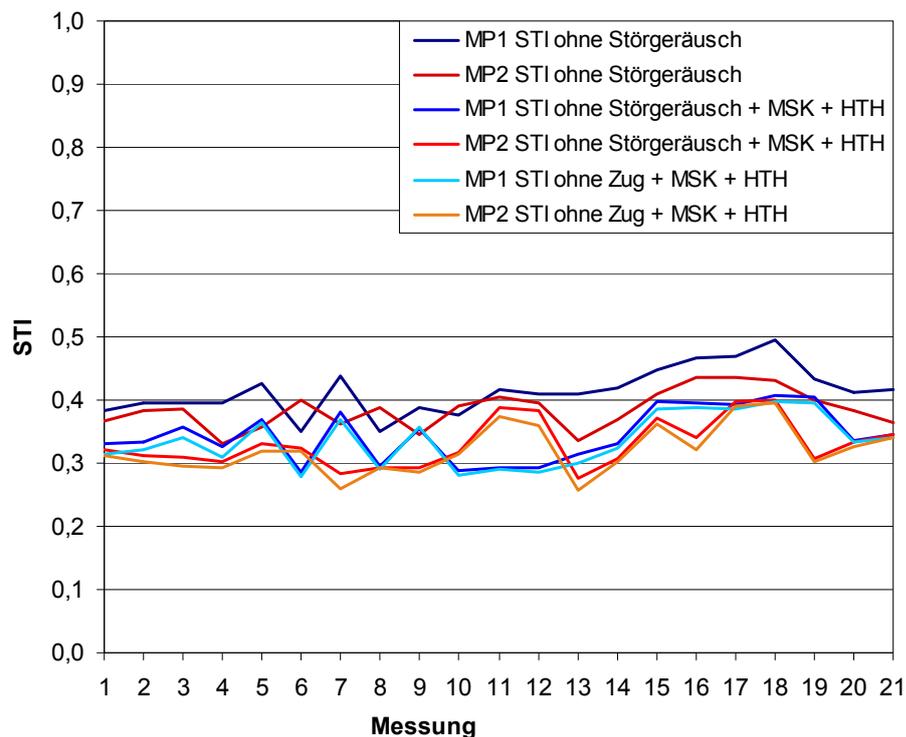


Abbildung 8.24: Grafische Darstellung der STI-Werte

9 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Sprachverständlichkeit

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse zusammen. Angegeben ist der STI als Mittelwert (STI_{MW}) und Mittelwert abzüglich der Standardabweichung ($STI_{MW-STABW}$), der sich aus allen Messungen im jeweiligen Bereich berechnet. **Die STI-Mittelwerte abzüglich der Standardabweichung $\geq 0,45$ sind zur Orientierung grün gekennzeichnet, die Werte $< 0,45$ sind rot.**

Bereich	Messpunkte	Auswertung	STI_{MW}	$STI_{MW-STABW}$
Bahnhof Zug				
Gleis 1 / 3	66	STI ohne Störgeräusch	0,67	0,63
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,65	0,60
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,54	0,49
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,43	0,36
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,39	0,32
Gleis 2	64	STI ohne Störgeräusch	0,71	0,69
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,65	0,61
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,60	0,56
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,52	0,47
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,50	0,44
Gleis 2 Wartehäuschen	2	STI ohne Störgeräusch	0,62	-
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,60	-
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,60	-
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,60	-
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,60	-
Gleis 3	54	STI ohne Störgeräusch	0,65	0,64
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,64	0,61
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,51	0,45
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,37	0,31
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,33	0,27

Tabelle 9.1: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Bahnhof Zug

Bereich	Messpunkte	Auswertung	STI _{MW}	STI _{MW} -STABW
Bahnhof Neuenburg				
Gleis 1	46	STI ohne Störgeräusch	0,70	0,67
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,61	0,56
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,60	0,55
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,52	0,46
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,28	0,22
Gleis 2 mit Dach	34	STI ohne Störgeräusch	0,71	0,67
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,66	0,62
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,64	0,59
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,50	0,44
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,21	0,15
Gleis 2 ohne Dach	30	STI ohne Störgeräusch	0,70	0,60
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,67	0,58
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,62	0,51
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,38	0,26
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,07	0,00
Eingangshalle	16	STI ohne Störgeräusch	0,43	0,39
Seilbahn	16	STI ohne Störgeräusch	0,73	0,66
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,63	0,58
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,60	0,55

Tabelle 9.2: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Bahnhof Neuenburg

Bereich	Messpunkte	Auswertung	STI _{MW}	STI _{MW} -STABW
Bahnhof Bern				
Gleis 6 außerhalb der Bahnhofshalle	34	STI ohne Störgeräusch	0,65	0,61
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,63	0,57
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,59	0,53
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,36	0,30
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,29	0,22
Passerelle	36	STI ohne Störgeräusch	0,51	0,48
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,47	0,44
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,47	0,44
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,43	0,40
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,42	0,39
Gleis 5 und 6	32	STI ohne Störgeräusch	0,52	0,46
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,40	0,33
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,39	0,33
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,30	0,23
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,20	0,16
Gleis 6	20	STI ohne Störgeräusch	0,54	0,51
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,39	0,36
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,38	0,35
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,29	0,24
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,20	0,17
Personen-tunnel	20	STI ohne Störgeräusch	0,41	0,38

Tabelle 9.3: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Bahnhof Bern

Bereich	Messpunkte	Auswertung	STI _{MW}	STI _{MW- STABW}
Bahnhof Basel SBB				
Gleis 5 innerhalb der Bahnhofshalle	28	STI ohne Störgeräusch	0,55	0,44
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,51	0,41
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,51	0,40
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,40	0,29
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,46	0,36
Gleis 5 außerhalb der Bahnhofshalle	22	STI ohne Störgeräusch	0,59	0,51
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,55	0,48
		STI ohne Zug + MSK + HTH	0,53	0,45
		STI Personenzug + MSK + HTH	0,36	0,27
		STI Güterzug + MSK + HTH	0,44	0,35
Passerelle	24	STI ohne Störgeräusch	0,44	0,40
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,39	0,36
		STI Übergang+ MSK + HTH	0,35	0,32
		STI Mitte + MSK + HTH	0,37	0,34
Eingangshalle	42	STI ohne Störgeräusch	0,38	0,36
		STI ohne Störgeräusch + MSK + HTH	0,32	0,29
		STI Störpegel + MSK + HTH	0,31	0,28

Tabelle 9.4: Zusammenfassung der Ergebnisse für den Bahnhof Basel



Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz



Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz

Anhang:**Vergleich zwischen den STI-Werten für männliche und weibliche Sprecher**

Generell lässt sich keine Aussage treffen, ob unter den gegebenen Umständen ein männlicher oder weiblicher Sprecher besser verständlich ist bzw. mit ihnen ein höherer STI-Wert erzielbar ist. Hierbei kommt es jeweils maßgeblich auf die Höhe des MTI (Modulations-Übertragungsindex, der Mittelwert der Übertragungsindizes bei den 14 verschiedenen Modulationsfrequenzen in jeder der 7 Oktaven) an. Der MTI jedes Oktavbandes wird mit den Oktav-Bewertungsfaktoren α und den Redundanz-Korrekturfaktoren β nach der folgenden Formel beaufschlagt:

$$STI_r = \sum_{n=1}^7 \alpha_n MTI_n - \sum_{n=1}^6 \beta_n \sqrt{MTI_n \times MTI_{(n+1)}}$$

Die Faktoren unterscheiden sich in Abhängigkeit vom Geschlecht des Sprechers und sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle A.2 – STI_r , männliche und weibliche Bewertungsfaktoren für die einzelnen Oktavbänder

Oktavband in Hz		125	250	500	1k	2k	4k	8k
männlich	α	0,085	0,127	0,230	0,233	0,309	0,224	0,173
	β	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	–
weiblich	α	–	0,117	0,223	0,216	0,328	0,250	0,194
	β	–	0,099	0,066	0,062	0,025	0,076	–
Hörschwellen-Faktor dB	$L_{v,s}$	46	27	12	6,5	7,5	8	12

Sind die MTI-Werte in den unteren Oktaven geringer als in den oberen, was häufig der Fall ist, so ist der STI für einen weiblichen Sprecher höher. Sollte aber der eher seltenere Fall eintreten, bei dem die MTI-Werte in den unteren Oktaven höher sind als in den oberen, so würde ein männlicher Sprecher bessere Werte erzielen.

Exemplarisch wurde für die Messungen am Bahnsteig in der Bahnhofshalle in Basel (Abschnitt 8.1.5) die Auswertung auch für eine weibliche Sprecherin durchgeführt.

Zunächst fasst die Tabelle die Werte an allen Messpunkten bei den unterschiedlichen Betriebszuständen zusammen:

Messung	Messpunkt	STI Noiseless männlich	STI Noiseless weiblich	Noiseless + MSK + HTH männlich	Noiseless + MSK + HTH weiblich
1	MP1	0,42	0,45	0,42	0,45
2	MP1	0,53	0,55	0,49	0,50
3	MP1	0,48	0,50	0,43	0,44
4	MP1	0,43	0,45	0,41	0,43
5	MP1	0,46	0,49	0,41	0,43
6	MP1	0,52	0,54	0,47	0,48
7	MP1	0,51	0,54	0,49	0,51
8	MP1	0,66	0,69	0,61	0,63
9	MP1	0,73	0,76	0,69	0,72
10	MP1	0,74	0,77	0,68	0,70
11	MP1	0,70	0,73	0,65	0,68
12	MP1	0,64	0,66	0,63	0,65
13	MP1	0,60	0,63	0,57	0,59
14	MP1	0,57	0,59	0,53	0,54
1	MP2	0,33	0,34	0,30	0,32
2	MP2	0,48	0,50	0,42	0,42
3	MP2	0,46	0,49	0,41	0,40
4	MP2	0,44	0,46	0,40	0,42
5	MP2	0,48	0,51	0,45	0,47
6	MP2	0,49	0,50	0,48	0,49
7	MP2	0,42	0,43	0,40	0,42
8	MP2	0,60	0,62	0,57	0,60
9	MP2	0,65	0,68	0,59	0,62
10	MP2	0,69	0,72	0,67	0,70
11	MP2	0,66	0,69	0,56	0,59
12	MP2	0,62	0,65	0,58	0,61
13	MP2	0,58	0,61	0,52	0,54
14	MP2	0,52	0,54	0,49	0,52
	STI_{MW}	0,55	0,57	0,51	0,53
	STI_{MW-STABW}	0,44	0,46	0,41	0,42

Tabelle A1: Berechnung der STI-Werte Bahnhof Basel, Gleis 5 (siehe auch Tabelle 8.5) für einen männlichen Sprecher und eine weibliche Sprecherin, Teil 1

Messung	Messpunkt	ohne Zug + MSK + HTH männlich	ohne Zug + MSK + HTH weiblich	Personenzug + MSK + HTH männlich	Personenzug + MSK + HTH weiblich	Güterzug + MSK + HTH männlich	Güterzug + MSK + HTH weiblich
1	MP1	0,41	0,44	0,28	0,29	0,36	0,39
2	MP1	0,46	0,47	0,35	0,33	0,42	0,41
3	MP1	0,41	0,42	0,32	0,31	0,38	0,38
4	MP1	0,41	0,42	0,28	0,27	0,36	0,38
5	MP1	0,41	0,42	0,27	0,26	0,34	0,35
6	MP1	0,47	0,47	0,39	0,38	0,42	0,42
7	MP1	0,49	0,51	0,37	0,37	0,44	0,46
8	MP1	0,61	0,63	0,57	0,57	0,61	0,62
9	MP1	0,69	0,71	0,60	0,61	0,67	0,69
10	MP1	0,66	0,68	0,50	0,51	0,56	0,59
11	MP1	0,65	0,67	0,57	0,58	0,61	0,64
12	MP1	0,63	0,64	0,49	0,47	0,57	0,59
13	MP1	0,56	0,58	0,43	0,44	0,51	0,54
14	MP1	0,53	0,53	0,44	0,44	0,48	0,49
1	MP2	0,30	0,32	0,20	0,20	0,27	0,28
2	MP2	0,40	0,41	0,34	0,33	0,39	0,39
3	MP2	0,39	0,39	0,31	0,31	0,34	0,34
4	MP2	0,40	0,42	0,32	0,31	0,37	0,38
5	MP2	0,45	0,46	0,35	0,33	0,41	0,41
6	MP2	0,47	0,48	0,32	0,29	0,39	0,40
7	MP2	0,40	0,41	0,27	0,25	0,36	0,37
8	MP2	0,58	0,59	0,46	0,44	0,54	0,55
9	MP2	0,59	0,62	0,49	0,49	0,56	0,58
10	MP2	0,67	0,70	0,59	0,60	0,64	0,68
11	MP2	0,56	0,58	0,44	0,45	0,50	0,52
12	MP2	0,58	0,60	0,49	0,49	0,55	0,57
13	MP2	0,51	0,53	0,42	0,43	0,47	0,49
14	MP2	0,49	0,51	0,35	0,34	0,44	0,47
	STI_{MW}	0,51	0,52	0,40	0,40	0,46	0,48
	STI_{MW-STABW}	0,40	0,41	0,29	0,28	0,36	0,37

Tabelle A2: Berechnung der STI-Werte Bahnhof Basel, Gleis 5 (siehe auch Tabelle 8.5) für einen männlichen Sprecher und eine weibliche Sprecherin, Teil 2

Die folgende Grafik zeigt den Vergleich der STI Mittelwerte und der Mittelwerte abzüglich der Standardabweichung für einen männlichen und einen weiblichen Sprecher:

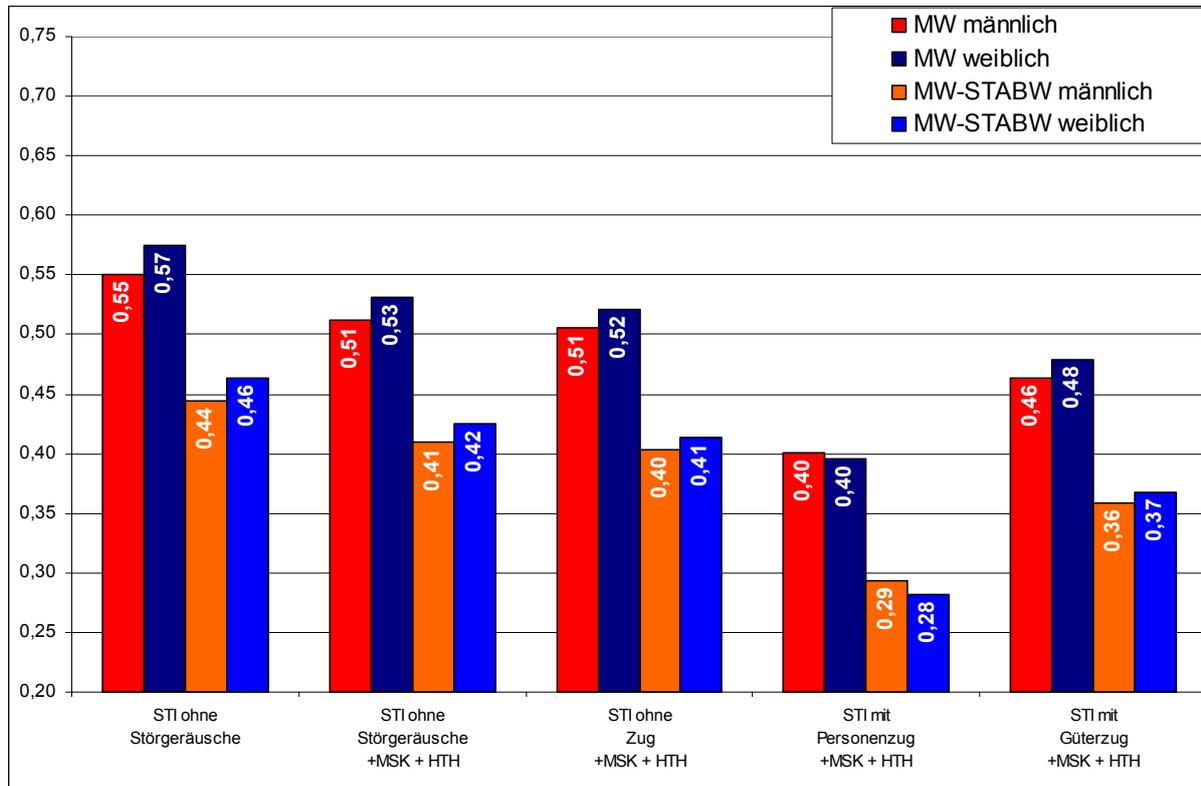


Abbildung A1: Darstellung der Unterschiede zwischen den STI-Mittelwerten von männlichem Sprecher und weiblicher Sprecherin aus Tabelle A1 und A2

Die Grafik verdeutlicht, dass der STI für einen weiblichen Sprecher in diesem Beispiel meist über dem Wert eines männlichen Sprechers liegt. Dass dies aber nicht notwendigerweise sein muss, zeigt der Betriebszustand mit Störgeräuschen durch einen Personenzug.