

## System Spezifikation für gelaserte Scheiben in Schienenfahrzeugen

<b>Version</b>	1.1
<b>Status</b>	Freigegeben
<b>Ersetzt Version</b>	Spec_gelaserte_Scheiben_Schienenfahrzeuge_V1.0
<b>Ausgabedatum</b>	14.09.18
<b>gültig ab</b>	14.09.18
<b>gültig bis</b>	Auf Widerruf
<b>Dokumentname</b>	Spec_gelaserte_Scheiben_Schienenfahrzeuge_V1.1.docx
<b>Ablage</b>	\\slaf02\SBB\0_Member\05_Pflichtenhefte und Spezifikationen\11_HF-transparente_Scheiben\Spec_gelaserte_Scheiben_Schienenfahrzeuge_V1.1.docx
<b>Archivierung</b>	\\slaf02\SBB\0_Member\05_Pflichtenhefte und Spezifikationen\11_HF-transparente_Scheiben\Archiv

### Änderungskontrolle

Version	Datum	Ausführende Stelle	Bemerkungen/Art der Änderung
1.0	30.10.2018	Ralph Feuchter (SUN) Carine Genoud (SCS) Christoph Schneiter (SCS)	Erstversion
1.1	14.09.2018	Ralph Feuchter (SUN) Christoph Schneiter (SCS)	Komplette Überarbeitung

### Prüfung

Version	Prüfdatum	Prüfende Stelle/n	Bemerkungen
1.0	27.04.2018	Adrian Haussener	Kleinere Korrekturen
1.1	14.09.2018	Adrian Haussener	Kleinere Korrekturen

### Freigabe

Version	Freigabe-Datum	Freigebende Stelle/n	Bemerkungen
1.0	30.04.2018	Christoph Schneiter	
1.1	14.09.2018	Christoph Schneiter	

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	4
2. Messvorschrift zur Messung der Transmissionsdämpfung von HF-transparenten Scheiben...	4
2.1. Dielektrizität.....	5
2.2. Polarisierung.....	5
2.3. Unterschiedliche Dimensionen der Scheiben.....	5
2.4. Messaufbau.....	5
2.4.1. Reflexionen in der Messumgebung .....	5
2.4.2. Antennenabstand.....	6
2.4.3. Messequipment .....	6
2.4.4. Absorber und Absorberkammer.....	6
2.4.5. Darstellung der Messergebnisse.....	9
2.4.5.1. Frequenzbänder .....	9
3. Grenzwerte .....	9

## 1. Einleitung

Zur Verbesserung der Mobilfunkversorgung haben bisher Repeater beigetragen. Ein Repeater greift über eine Aussenantenne das Signal auf. Dieses wird genügend verstärkt und im Innenraum über Strahlkabel oder Antennen wieder ausgesendet. Dieses Verfahren funktioniert gut, hat aber auch gewisse Nachteile. Aktive Elemente in der Übertragungskette erzeugen zusätzliches Rauschen. Selektive Verstärker verstärken zwangsläufig nur das Band für welches sie gebaut wurden. Somit ist ein ständiges Nachrüsten bei Frequenzerweiterungen nötig. MIMO ist nur mit grossem Aufwand möglich. Die Komplexität der Lösung verlangt die ständige Überwachung und Unterhalt der Systeme. Fahren die Wagen ins benachbarte Ausland, müssen die Repeater ausgeschaltet werden und die Bahnkunden verlieren die Mobilfunkversorgung.

Eine weitere Möglichkeit Mobilfunk in Eisenbahnwagen zu ermöglichen ist, die Dämpfung des Wagenkastens zu verringern. Dazu bieten sich speziell behandelte Fensterscheiben an.

Ein mittels Laser ausgebranntes Muster in die Metallschicht der Scheiben mit Strukturgrössen  $\ll$  der Wellenlänge, scheint derzeit das Mittel der Wahl zu sein. Somit sieht die einfallende Welle keine homogene Metallschicht, sondern eine unterbrochene Struktur zwischen deren Elementen sich das E-Feld aufbauen kann. Dabei hat die Strukturgrösse massgeblichen Einfluss auf die Dämpfung für die oberen Frequenzbereiche. Die Struktur kann als Tiefpass, bestehend aus dem Wellenwiderstand der Luft und einem Kondensator (in reihe dazu der Oberflächenwiderstand der Schicht) gesehen werden. Die Laserbreite und die Kachelgrösse beeinträchtigen massgeblich den Frequenzgang. Je grösser das Verhältnis von Kachel/Spalt, desto tiefer die 3dB Grenzfrequenz.

## 2. Messvorschrift zur Messung der Transmissionsdämpfung von HF-transparenten Scheiben

Zur Erarbeitung dieser Vorschrift wurden mehrere iterative Stufen durchlaufen. Ziel war es, eine einfache transparente und vor allem reproduzierbare Messprozedur zu definieren. Dabei stand im Fokus, alle störenden und für die Ausschreibung weniger relevanten Einflussfaktoren von Zugscheiben zu eliminieren oder deren Einfluss auf ein Minimum zu reduzieren.

Glasscheiben haben naturgemäss ein dielektrisches Verhalten. Im Nachfolgenden seien die wesentlichen Charakteristika genannt und Ansätze aufgezeigt, um deren Einfluss über die Produktpalette hinweg möglichst homogen zu halten.

## 2.1. Dielektrizität

Der Brechungsindex steht im direkten Zusammenhang mit der relativen Dielektrizität. Der an diesem Wellenwiderstandssprung reflektierte Wellenanteil macht bei einem  $\epsilon_r = 4$  18% aus, was einer Transmissionsdämpfung von  $\sim 1$ dB entspricht. Es wird davon ausgegangen, dass die Varianz wesentlich kleiner ist als die Messunsicherheit. Da dieser Ansatz nur bei direktem Einfall zutrifft soll unter anderem nur ein  $0^\circ$  Einfall, bezogen zum Flächennormalenvektor, betrachtet werden.

## 2.2. Polarisation

Es treten wesentliche Unterschiede im Reflexionsverhalten zwischen vertikaler- und horizontaler Polarisation bei Winkeln  $> 10^\circ$  bis  $90^\circ$  auf. Grund dafür ist der Brewster-Winkel. Da dieses Verhalten rein dielektrisch begründet ist, stellt es keinen Zusammenhang zum Laserdesign dar. Einzig bei orthogonaler Einstrahlung verhalten sich beide Polarisationen, bezogen auf das dielektrische Verhalten, deckungsgleich. Deswegen werden für diese Messung Winkelbereiche ausserhalb vom senkrechten Einfall ausgeschlossen. Um den polarisationsspezifischen Einfluss des Laserdesigns zu berücksichtigen, soll die horizontale und vertikale Polarisation gemessen werden. Die weiter unten aufgeführten Grenzwerte, gelten für beide Polarisationsrichtungen gleich.

## 2.3. Unterschiedliche Dimensionen der Scheiben

Die Scheiben werden im späteren Einsatz in eine geschlossene Fläche eingebaut. Auf dem Messplatz würden unterschiedliche Scheibenmasse und Kantenformen unterschiedliche Diffraktionsverhalten an den Scheibenkanten bedeuten. Um diesen Einfluss zu minimieren wird ein Mindestmass von 110cm x 80cm (Breite x Höhe) vorgeschrieben. Zudem wird die Scheibe in eine standardisierte Wand, beplankt mit Absorbermaterial, eingebaut (siehe Foto der Messkammer). Der Einfluss der Scheibenapertur wird durch eine Leerraummessung eliminiert. So kann sichergestellt werden, dass die Scheibengrösse keinen wesentlichen Einfluss auf das Messergebnis hat. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Scheibenstärke und der Zwischenraum beider Gläser dem Bereich der Wellenlänge des oberen Spektrums nahekommen. Somit ist ein Frequenzgang zu erwarten, der in die Entscheidungskriterien einfließt.

## 2.4. Messaufbau

Mit dem Ziel, vergleichbare Resultate zu erzielen, wird nachfolgend der Messaufbau beschrieben.

### 2.4.1. Reflexionen in der Messumgebung

Zur Evaluierung des Messaufbaues wurde der Messaufbau in einer Absorberkammer dem eines Freifeldmessplatzes gegenübergestellt. Angefangen mit der Absorberkammer wurde festgestellt, dass sich in der Scheibe bei schrägem Einfall eine Welle fortpflanzt. Dieser „Wellenleitereffekt“ steht in Konkurrenz zur Freifeldausbreitung. Somit war die zuvor

durchgeführte Normierungsmessung nicht mehr auf schrägen Einfall anwendbar. Abhilfe bietet eine Vergrößerung der Messdistanz, sodass der verkürzende Einfluss der schrägen Scheibe unwesentlich wird. Dazu wurde die Messanordnung auf einen Freifeldmessplatz mit 20m Messdistanz verlagert. So lassen sich zwar grössere Winkel messen, die Reproduzierbarkeit unterliegt aber nicht unwesentlichen Störeinflüssen, wie Bodenfeuchtigkeit, etc.

Um den Vorzug der definierten, nachbildbaren Messumgebung einer Absorberkammer dennoch nutzen zu können, wurde hier auf schrägen Einfall verzichtet. Somit ist der verkürzende Einfluss nicht relevant. Dass diese Einschränkung gerechtfertigt ist, wurde bereits oben begründet.

Somit ist der Einsatz einer Absorberkammer als Messumgebung das Mittel der Wahl.

#### **2.4.2. Antennenabstand**

Unter Berücksichtigung der beengten Verhältnisse in den meisten Absorberkammern, wird ein Antennenabstand des dem Prüfling nächsten Strahlers von mindestens 90cm definiert. Demnach sind die Sende- und Empfangsantennen 1.8m voneinander entfernt. Grössere Abstände sind möglich, allerdings muss dann die Absorberwand, in die die Scheibe eingebaut ist, auch entsprechend vergrössert werden. Zudem sollte die Messdynamik wenigstens 30dB betragen. Somit wird der Antenne zu Antenne Abstand von 1.8m empfohlen.

#### **2.4.3. Messequipment**

Da ein recht grosser Frequenzbereich abgedeckt werden soll, bietet sich der Einsatz von logarithmisch periodischen Antennen an. Die Messung mit dem Network Analyzer muss zwingend komplex geschehen, um eine phasenrichtige Kalibrierung des Messaufbaues zu gewährleisten. Im Evaluierungsfall wurde ein R&S Network Analyzer ZNB20 eingesetzt. Es wird eine gut temperierte Messumgebung vorausgesetzt.

Der Frequenzbereich soll von 600MHz bis 6GHz eingestellt werden. Die Schrittweite der Samples beträgt  $\leq 1\text{MHz}$ . Der Sweep ist so zu wählen, dass das System für jeden Messpunkt gut eingeschungen ist.

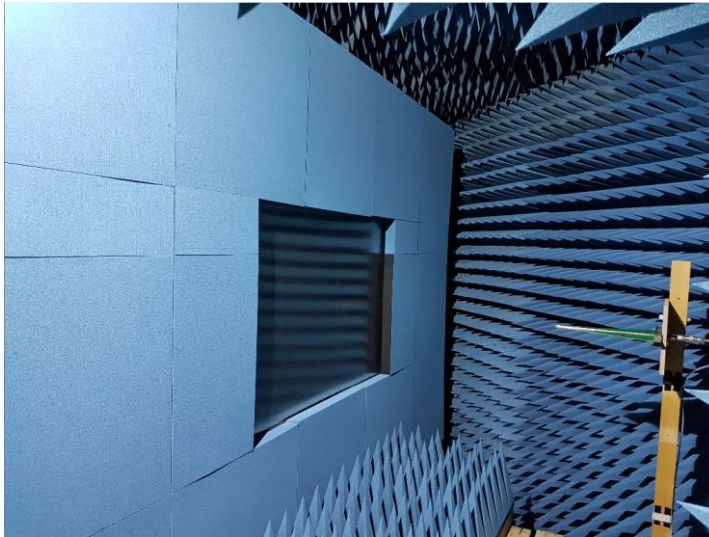
#### **2.4.4. Absorber und Absorberkammer**

Die Absorber der Einbauwand sollten bei Reflexion im senkrechten Einfall eine Mindestdämpfung von 10dB oder besser über den gesamten Frequenzbereich haben.

Die Kammer muss für den zu messenden Frequenzbereich ausgelegt sein. Die Absorber der Kammerwand sollten bei Reflexion im senkrechten Einfall eine Mindestdämpfung von 25dB oder besser über den gesamten Frequenzbereich haben.

Die Messunsicherheit soll  $\pm 0.5\text{dB}$  nicht überschreiten.

Das nachfolgende Bild zeigt einen möglichen Aufbau einer Messstrecke diagonal in einer Kammer.



*Bild 1: Messaufbau in einer Absorberkammer*

Das folgende Bild zeigt den Ablauf der Messplatzkalibration, wobei die Absorberwand, in der später der Prüfling platziert wird, nicht dargestellt ist.

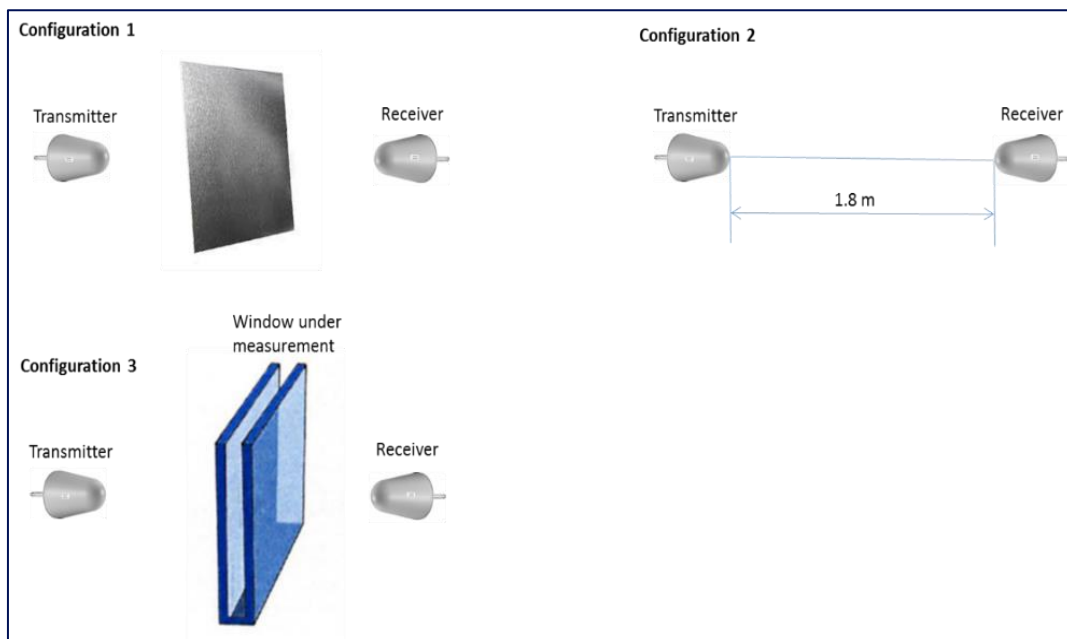


Bild 2: Messplatzkalibrationsschritte

**Konfiguration 1:** Der Scheibenausschnitt wird durch eine Aluminiumplatte verdeckt. Wichtig ist, dass die Absorbermatten über deren Kanten ragen, um Diffraktion zu vermeiden. Ziel dieser Messung ist das Erfassen der Reflexion in der Messumgebung.

**Konfiguration 2:** Es befindet sich nur die Absorberwand (ohne Prüfling, allerdings mit dem richtig dimensionierten Ausschnitt) in der Messstrecke. Ziel ist es die Messstrecke zu normieren, um die Freifelddämpfung zu erfassen.

**Konfiguration 3:** Der Prüfling wird in die Absorberwand eingebaut. Unter Berücksichtigung (komplex) der vorangegangenen Messungen kann direkt die Dämpfung der Scheibe ermittelt werden.

Wichtig: die 1.8m sind immer von der Antennenspitze und nicht vom Fusspunkt aus zu rechnen.



### 2.4.5. Darstellung der Messergebnisse

Die Darstellung der Transmissionsdämpfung durch die Scheibe soll in dB, aufgetragen über der Frequenz, erfolgen, wobei das komplette gescannte Band in einem Graphen darzustellen ist. Die Skalierung der Abszisse ist so zu wählen, dass die Bandgrenzen gut zu erkennen sind.

Grafen der protokollierten Dämpfung der gelaserten Scheibe:

- Abszisse: Frequenz
- Ordinate: Dämpfung

#### 2.4.5.1. Frequenzbänder

700MHz	Band 67, 68	698MHz – 783MHz
800MHz	Band 20	791MHz – 862MHz
900MHz	Band 8	880MHz – 960MHz
1500MHz	Band 32, 51	1452MHz – 1517MHz
1800MHz	Band 3	1710MHz – 1880MHz
2100MHz	Band 1	1920MHz – 2170MHz
2600MHz	Band 7	2500MHz – 2690MHz
3500MHz	Band 42	3400MHz – 3600MHz
3700MHz	Band 43	3600MHz – 3800MHz
5000MHz	Band 46, 47	4000MHz – 6000MHz

## 3. Grenzwerte

Die einzuhaltenden Grenzwerte, inklusive Messunsicherheit, liegen der Ausschreibung bei.

Der gesetzte Qualitätsanspruch von Mobilfunkdiensten setzt ein Minimum an Rauschabstand voraus. Die maximale Transmissionsdämpfung steht somit im direkten Zusammenhang zur Feldstärke. Die Feldstärke wiederum ist durch das vorhandene Netzdesign gegeben und stellt eine feste Randbedingung dar. Somit ergibt sich eine maximal zulässige Transmissionsdämpfung durch die Scheiben pro Band, um den geforderten und gewohnten Qualitätsstandard halten zu können.