



WS 2 Rollmaterial – Telekommunikation Wärmeschutzglas

Moderation

Andreas Schüler EPFL

Christoph Isenschmid BLS

- » Inputvortrag A. Schüler:
**Wärmeschutzfenster mit hoher Durchlässigkeit für
Mobilkommunikation Grundlagen und
Leistungseigenschaften**
- » Inputvortrag C. Isenschmid
Wärmeschutzglas bei Triebzügen RABe 525 NINA
- » Diskussion I
**Interessenslagen und Bedürfnisse von
Bahngesellschaften/Mobilfunkbetreiber/Glaserhersteller**
- » „Hands-on“ Demonstrationsexperimente
- » Diskussion II
Zukunftsaussichten der neuen Technologie



Wärmeschutzfenster mit hoher Durchlässigkeit für Mobilkommunikation: Grundlagen und Leistungseigenschaften

Andreas Schüler
LESO-PB, EPFL

Damiano Scanferla, Abiraam Varathan, Carine Genoud
Swisscom AG, Innovation Department

Matteo Lanini, Andrea Sofia, Andrea Salvadè
TTHF, SUPSI

Christoph Isenschmid
BLS

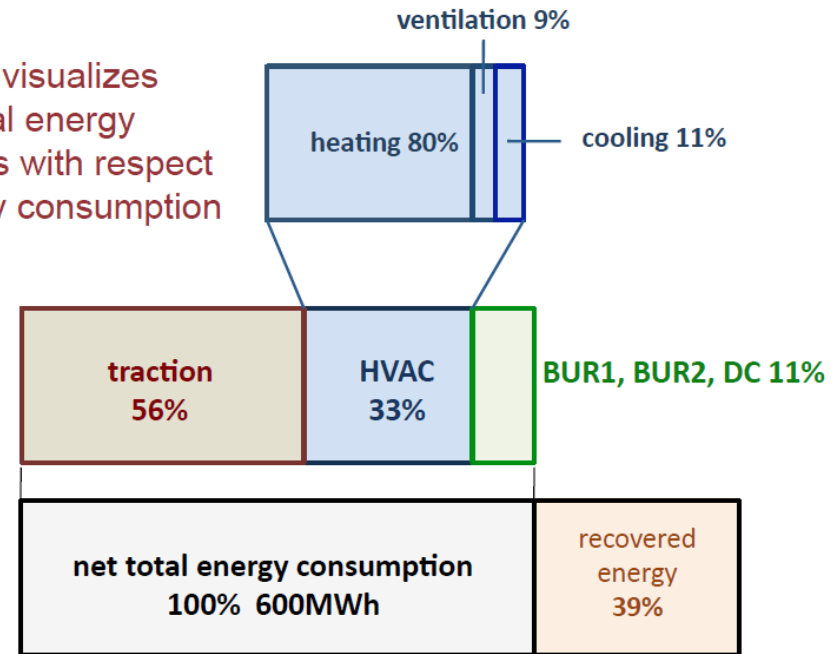
Luc Burnier, Olivia Bouvard
LESO-PB, EPFL

Energieverbrauch im öffentlichen Verkehr

Beispiel:
Nahverkehrszug NINA
der BLS



Overview visualizes individual energy consumptions with respect to total energy consumption



Quelle: Peter Oelhafen, Universität Basel

Zugfenster: Problemstellung

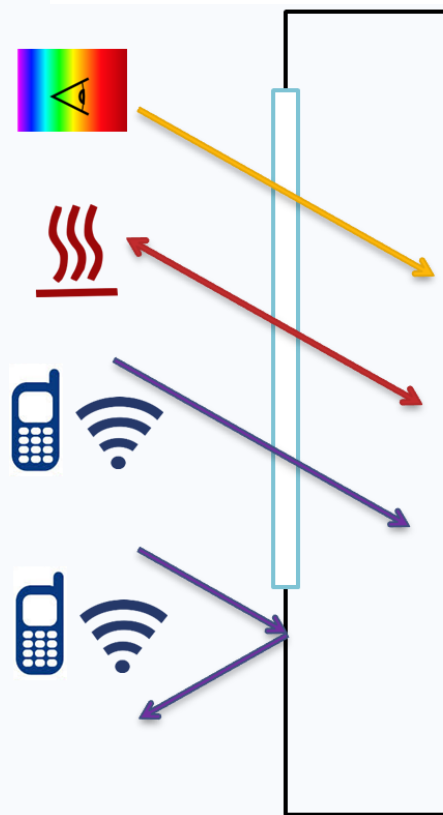
- » In einigen, älteren Zügen (z.B. NINA der BLS):
Fenster ohne Beschichtung **U-Wert ca. $3W/(m^2K)$**
- » In moderneren Zügen (z.B. praktisch alle Züge der SBB):
Fenster mit Beschichtungen **U-Wert ca. $1.0 - 1.8W/(m^2K)$**
- » Für konventionelle metallhaltige Beschichtungen: **starke Dämpfung** der Mikrowellen der **Mobilkommunikation** (Handys & Internet)
- » Auch die Wände und das Zugdach schirmen die Mikrowellen ab ('Faradayscher Käfig')
- » Zur Zeit in modernen Zügen:
aktive elektronische Signalverstärker, sogenannte **Repeater**
- » Mit Weiterentwicklung der Technologie (Wellenlängen, Übertragungsstandards) müssen diese Geräte von Zeit zu Zeit ersetzt werden



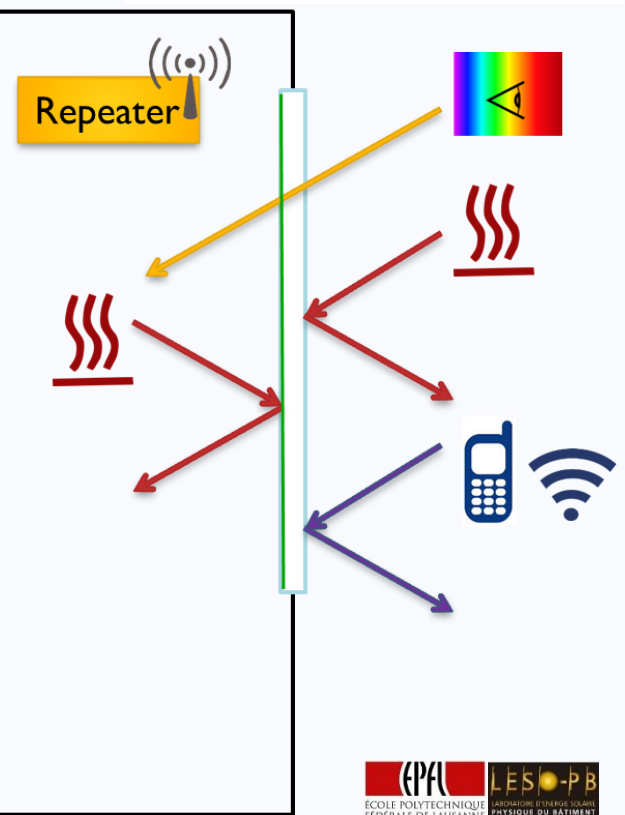
Ausgangslage Zugfenster



ohne Beschichtung



Lösung mit Repeater



Anforderungen I

- » der U-Wert einer zugtauglichen Doppelverglasung soll durch eine geeignete Beschichtung von etwa $3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ auf unter $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ herabgesetzt werden
- » die neuen Beschichtungen sollen eine möglichst geringe thermische Emissivität aufweisen ($< 5\%$)
- » die neuen Beschichtungen sollen in Zügen eingesetzt werden können, die nicht mit Repeater ausgerüstet sind
- » die neuen Beschichtungen sollen eine möglichst geringe Mikrowellendämpfung aufweisen ($< 10 \text{ dB}$)

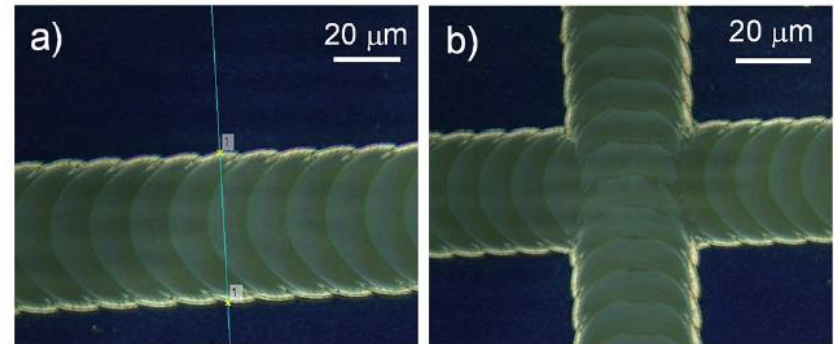
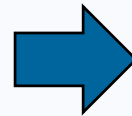
Anforderungen II

- » das Funktionsprinzip soll nicht an spezielle heutige Technologieplattformen gebunden sein, sondern offen sein für eine Weiterentwicklung der Kommunikationstechnologie
- » die Mikrowellentransmission soll möglichst breitbandig sein (alle Frequenzen von 800 MHz bis 2.6 GHz)
- » die Herstellung soll möglichst einfach sein
- » Kompatibilität mit Sicherheitsglas
- » die Haltbarkeit der neuen Beschichtungen soll möglichst lang sein (mindestens 25 Jahre)





Strukturierung der Beschichtung

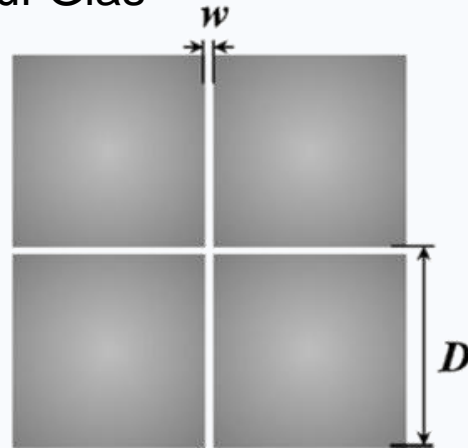


Laser scribing:

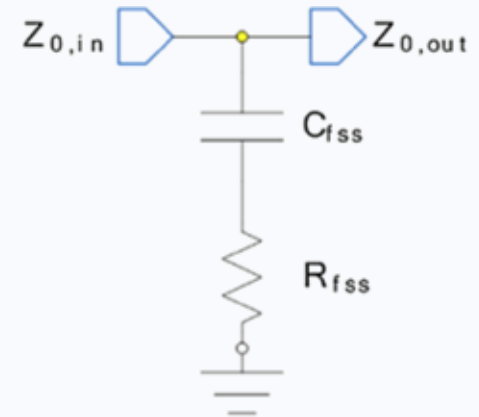
Unterbrechung der elektrischen Leitfähigkeit in regelmässigen Abständen

→ Die Beschichtung wird für Mikrowellen durchlässig

Strukturierte Beschichtung
auf Glas



Ersatzschaltbild



$$R_{fss} \approx R_{\text{coating}} \frac{D^2}{(D-w)^2}$$

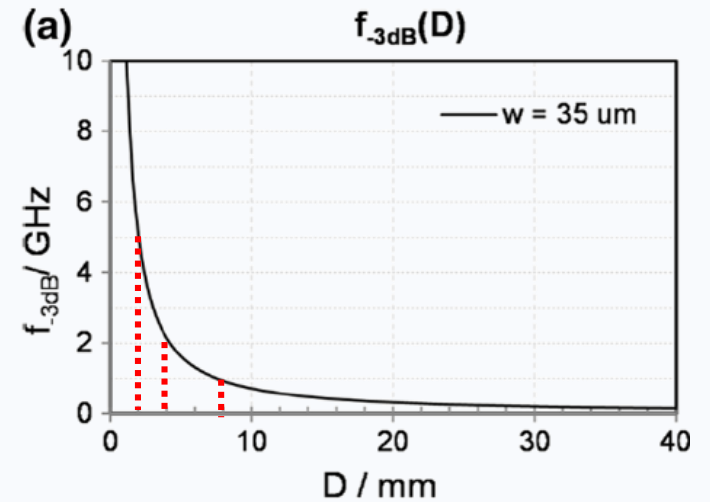
$$C_{fss} = \frac{D\epsilon_0(\epsilon_{r1} + \epsilon_{r2})}{\pi} \ln\left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\pi w}{2D}\right)}\right)$$

Tiefpass mit Abschneidefrequenz $f_{-3\text{dB}}$

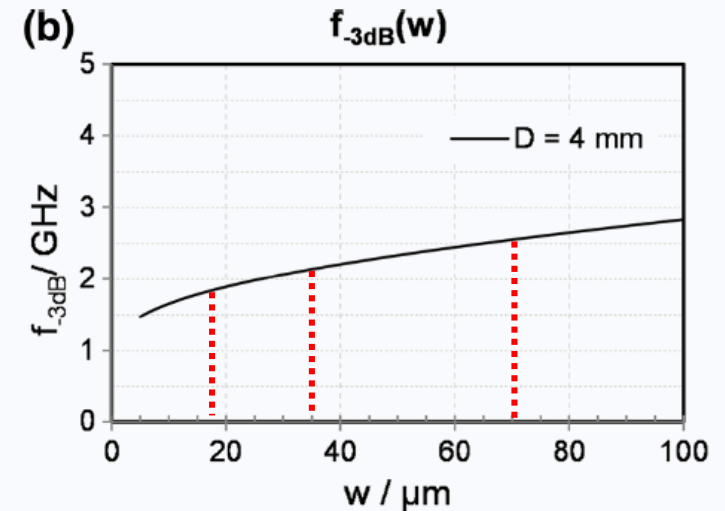
$$f_{-3\text{dB}} = \frac{1}{2\pi \cdot \left(R_{fss} + \frac{Z_0}{2}\right) \cdot C_{fss}}$$

Position der Abschneidefrequenz f_{-3dB}

Abhängigkeit vom
Linienabstand

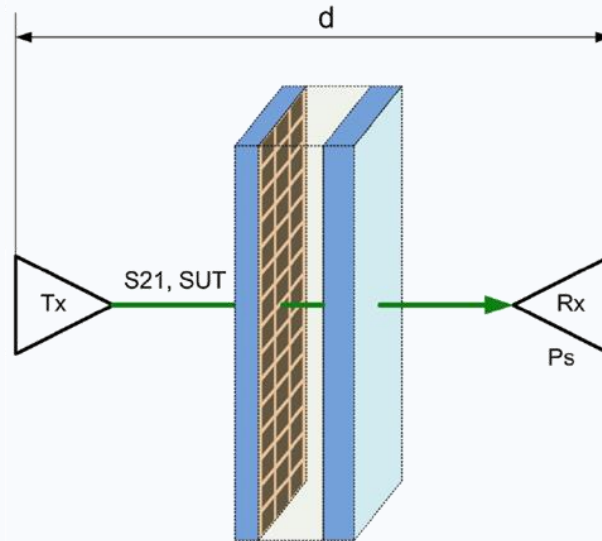


Abhängigkeit von der
Linienbreite

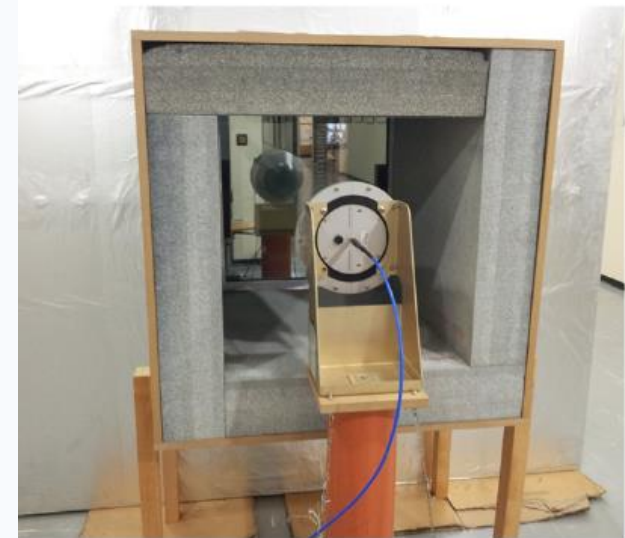


Messung der Mikrowellentransmission

Probe zwischen Sender
und Empfänger

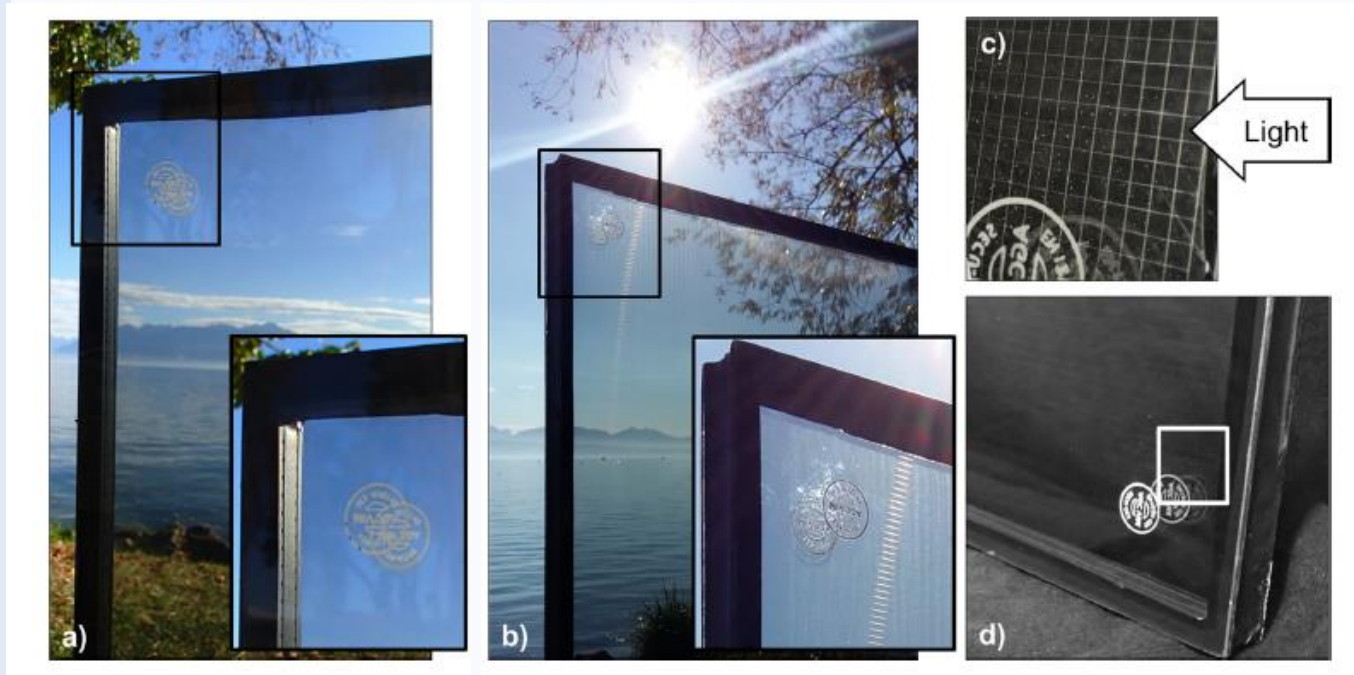


Messeinrichtung mit
Abschirmung



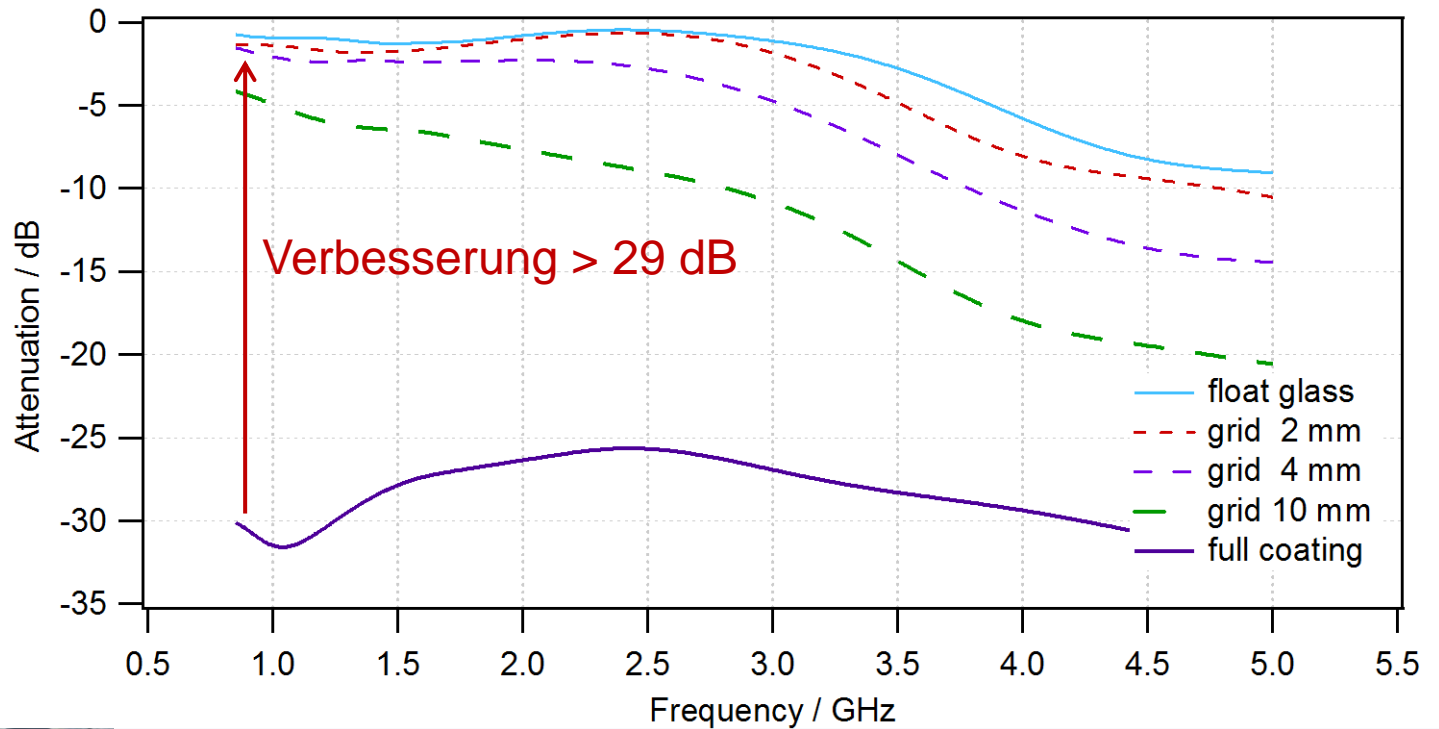
Erscheinungsbild: Durchblick !

In normalen Bedingungen:
Linien kaum sichtbar



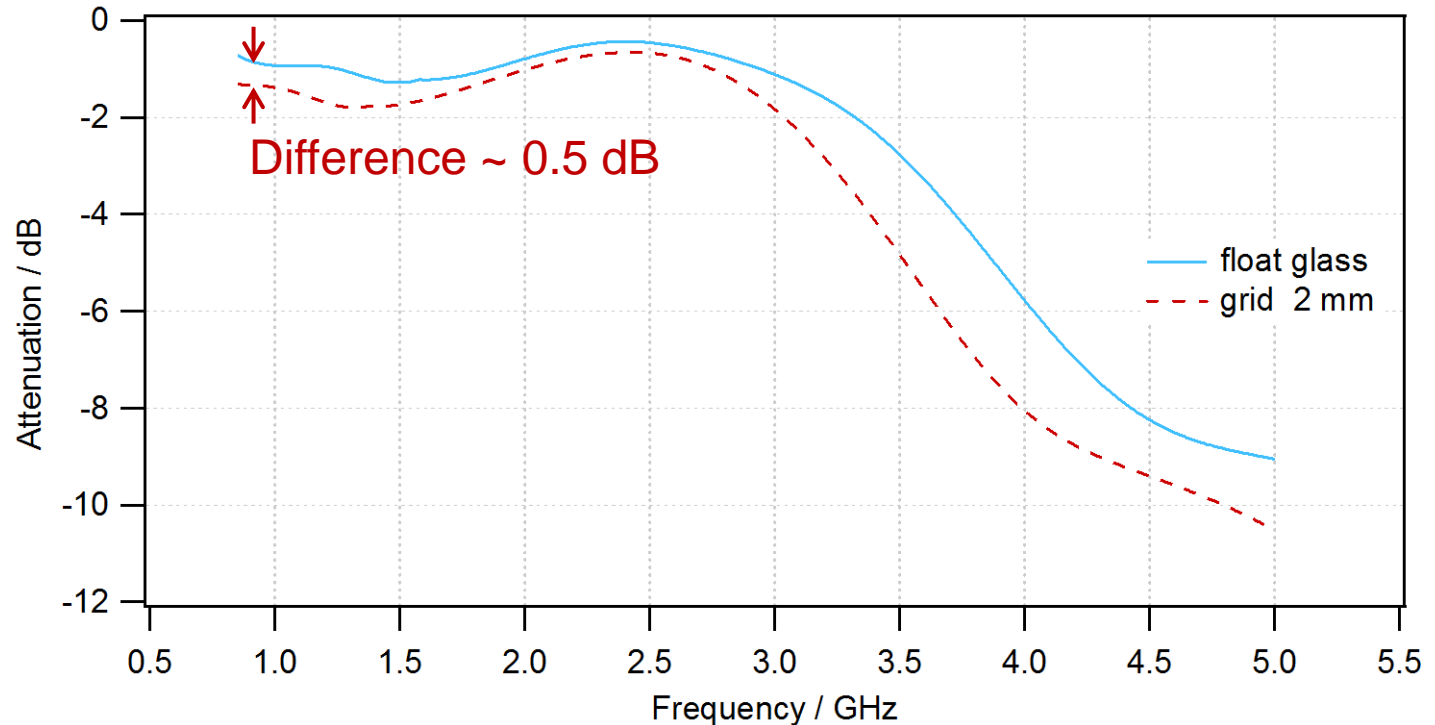
Selbst bei schwierigen Bedingungen
(Gegenlicht, streifender Einfall) sind
die Linien nur schwach sichtbar

Mikrowellentransmission



@ 900 MHz: Verbesserung > 29 dB

Neue Beschichtungen für Zugfenster

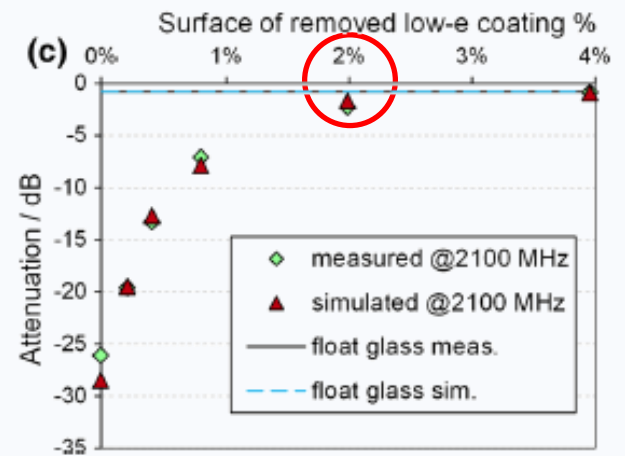
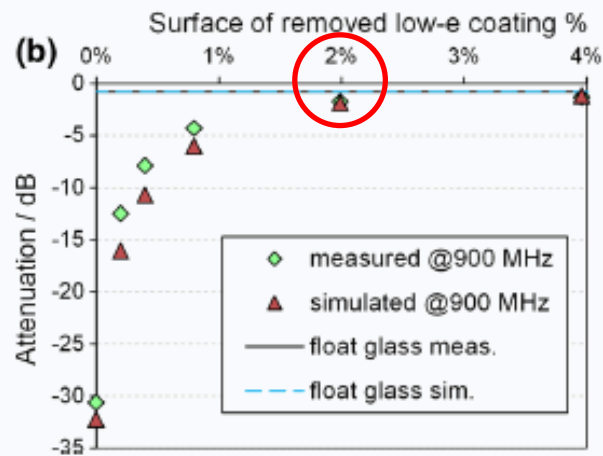


Dank neuartiger Laserbehandlung der Beschichtung:
→ Mikrowellentransmission fast so gut wie die von
unbeschichtetem Glas

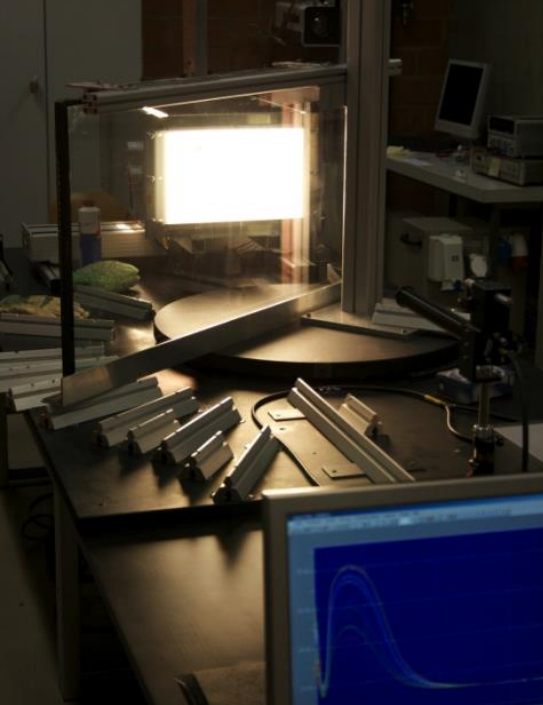
Anteil der freigelegten Fläche

900 MHz

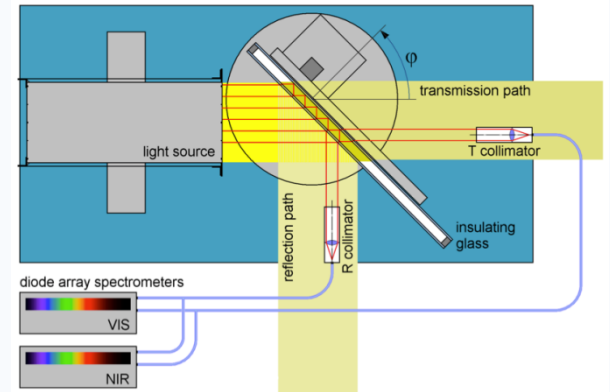
2100 MHz



Änderung des Linienabstands
bei gleicher Linienbreite 35 μm



Energetische Kennzahlen



Doppelverglasung mit Luftfüllung

Beschichtung:

	ohne	herkömmlich	laserbehandelt
$U \text{ (W/m}^2\cdot\text{K)} \pm 0.04$			
	2.89	1.86	1.87
$g \text{ (}\phi\text{)} \pm 0.02$			
	0.53	0.37	0.37

Einfallswinkel 0°

Messung U-Wert:

» Fraunhofer ISE Freiburg



Messung g-Wert:

» EPFL/LESO-PB

Industriepartner:

- » AGC-VIM
Verres Industriels Moutier
- » Class4Laser, Lyss



Herstellung von Prototyp-Fenstern



Erste Kleinserie
für RABe 525 NINA, BLS



Industriepartner:

- » AGC-VIM
Verres Industriels Moutier
- » Class4Laser, Lyss

Qualitätskontrolle
mit EPFL & SUPSI

Einbau und Test



Christoph Isenschmid, BLS

RABe 525 NINA 006 (low-e)



RABe 525 NINA 0xx (std)



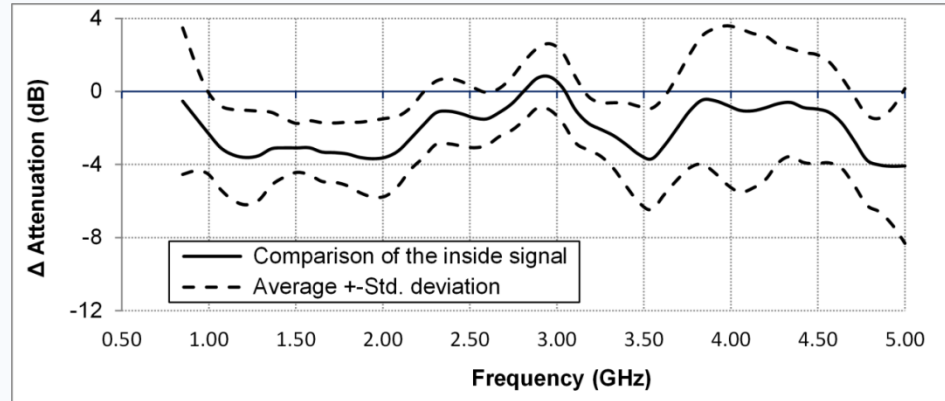
**Vergleichende
Messungen:**

**Mikrowellen-
Eindringdämpfung**

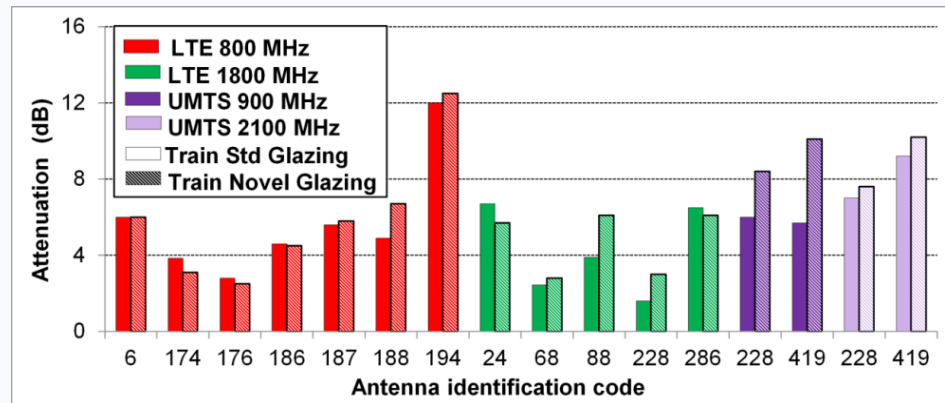
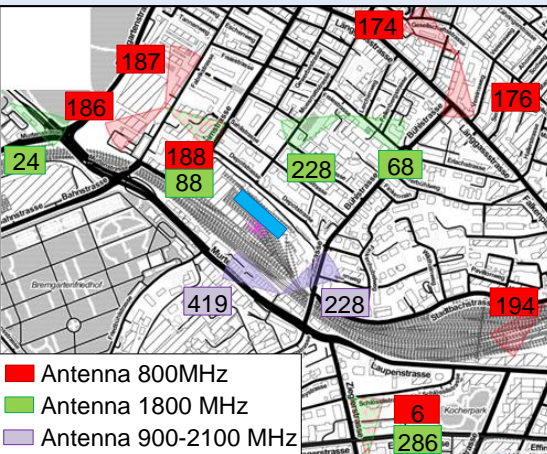
Empfangspegel im Zug

*L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud,
A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler,
IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455*

Vergleichende Messung mit stationärem Zug

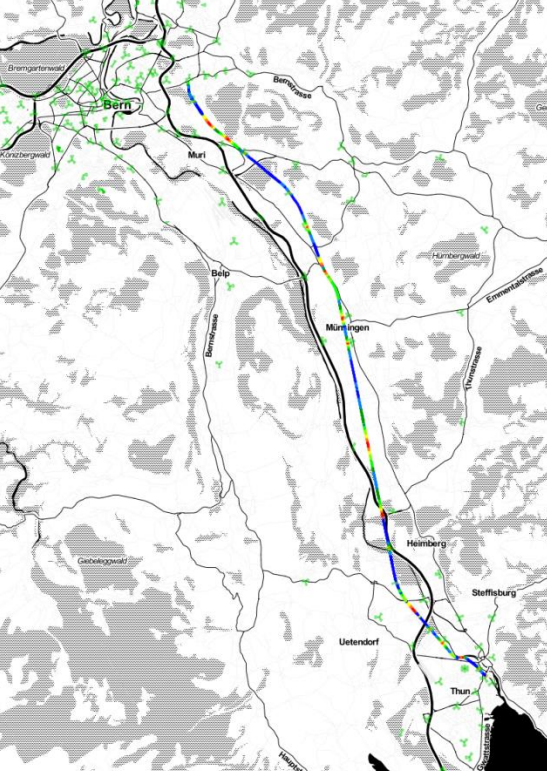


SUPSI



Swisscom

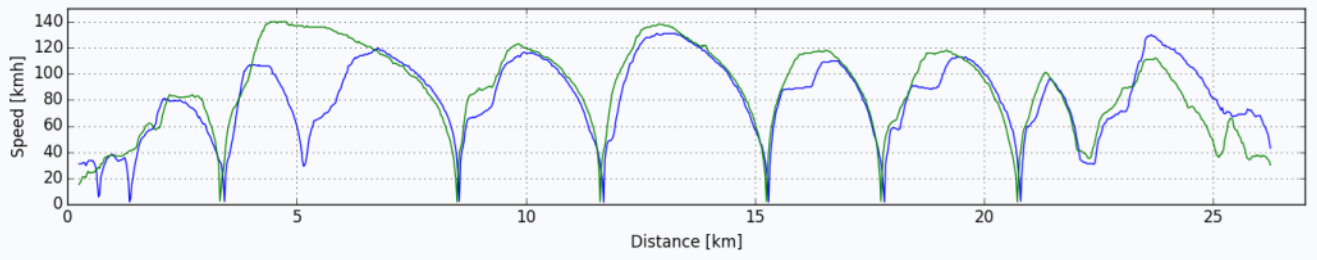
L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud, A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler, *IET Microw. Antennas Propag.*, 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455



Vergleichende Messung mit fahrendem Zug

**von Thun nach Ostermündigen
via Münsingen (Linie S1)**

je Zug 6 x aller-retour
19.2.2016 und 1.3.2016



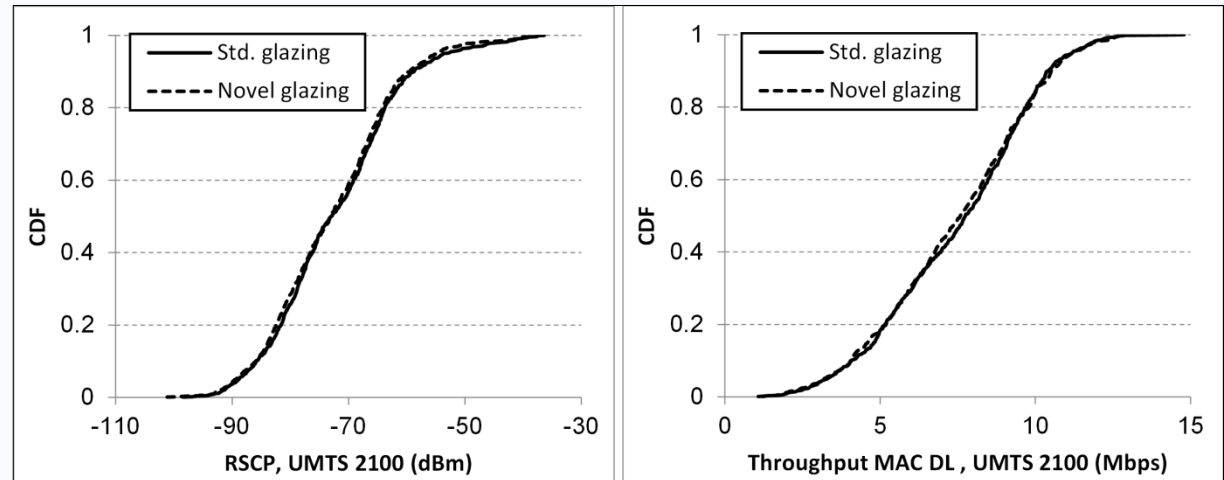
Die Fahrten verlaufen nicht genau gleich:
Vergleich innerhalb Strecken-Segmenten
von 25m

UMTS 900 MHz, UMTS 2100 MHz, LTE 1800 MHz

*L. Burnier, M. Lanini, O. Bouvard, D. Scanferla, A. Varathan, C. Genoud,
A. Marguerit, B. Cuttat, N. Dury, R. Witte, A. Salvadè, A. Schüler,
IET Microw. Antennas Propag., 2017, Vol. 11 Iss. 10, pp. 1449-1455*

Vergleichende Messung mit fahrendem Zug

UMTS 2100 MHz



➔ **Empfang** mit den neuen Wärmeschutzfenstern **genauso gut** wie mit den alten Fenstern ohne Beschichtung

➔ gilt auch für UMTS 900 MHz und LTE 1800 MHz

Zusammenfassung

- » **Laserstrukturierung der Glasbeschichtung**
- » **Berechnung der Mikrowellentransmission**
- » **Messung der Mikrowellentransmission**
- » **Änderung in U-Wert & g-Wert minimal**
- » **Vergleichende Tests** mit stationärem und fahrendem Zug **erfolgreich (BLS NINA)**
- » **Ausrüstung von 29 Zügen RABe 525 NINA der BLS** mit den neuen mikrowellentransparenten Fenstern: Produktion im Gange, erste Fahrzeug im Betrieb
- » **Lieferung** der neuartigen Zugfenster an **ALSTOM** für den **Prototyp M7**
- » Zugfenster für den **Panoramawagen der MOB** in Produktion
- » Diskussionen mit **SBB (Domino), SOB (Flirt), RBS (Zug Stadler), SNCF (Zug AGC)**





Danksagung

Industriepartner

- Arnaud Marguerit, Luc Houlmann, Nicolas Noirjean, Bernard Cuttat, Jean Maushart

AGC Verres Industriels Moutier

- Reiner Witte, Noémie Dury, Ronald Holtz

Class4Laser, Lyss

AGC

CLASS4LASER
See the light

Forschungsförderung

- Bundesamt für Verkehr BAV
- Swisselectric Research SER
- Bundesamt für Energie BFE



BAV - OFT - UFT

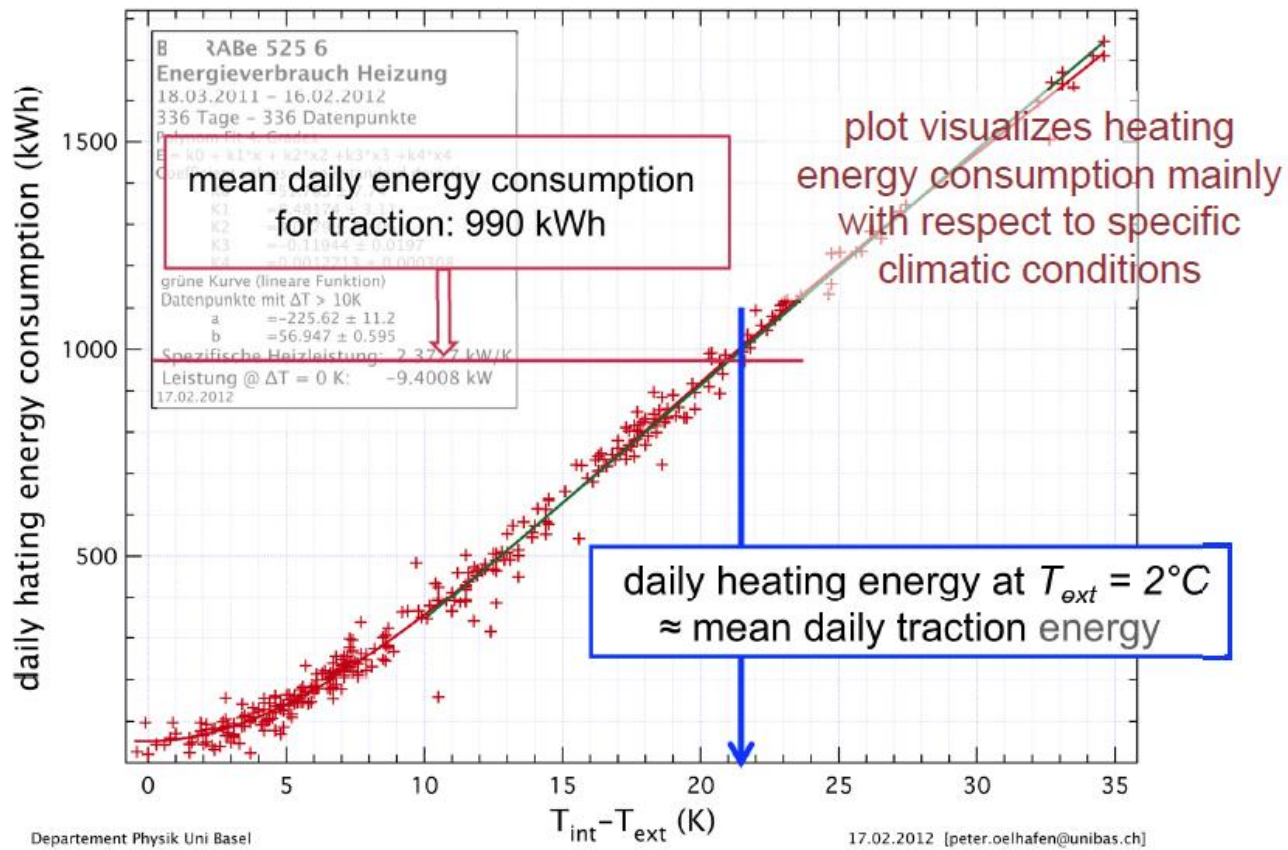
swisselectric
research





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

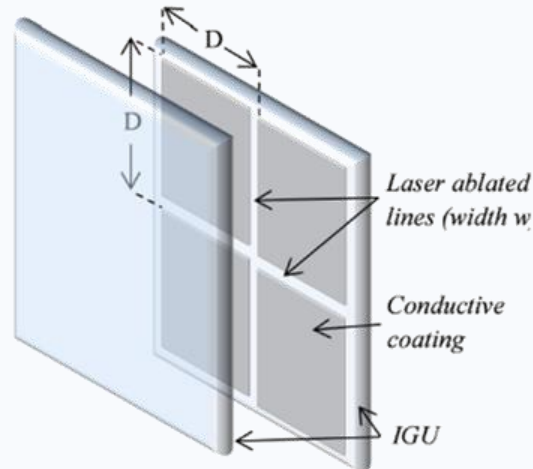
Heizenergie und ΔT



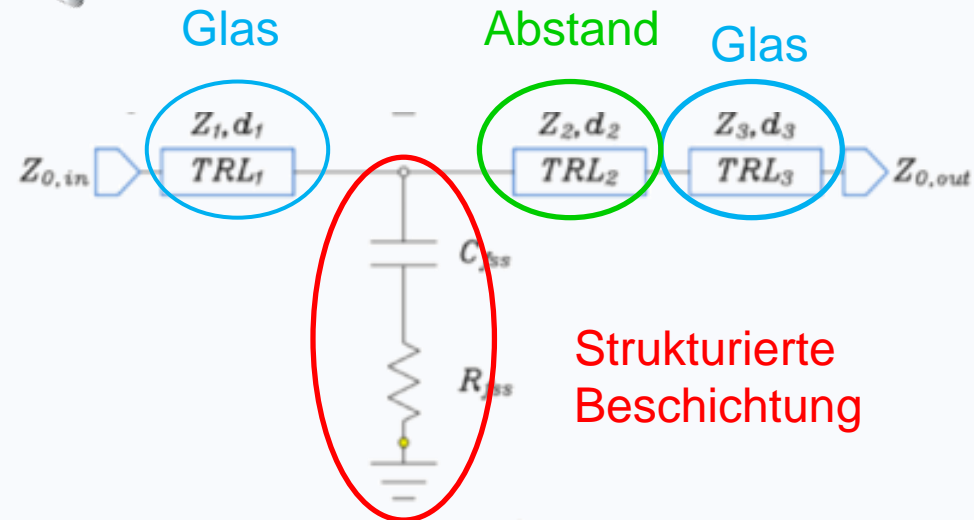
Quelle: Peter Oelhafen, Universität Basel

Theorie: Doppelverglasung

Doppelverglasung mit strukturierter Beschichtung

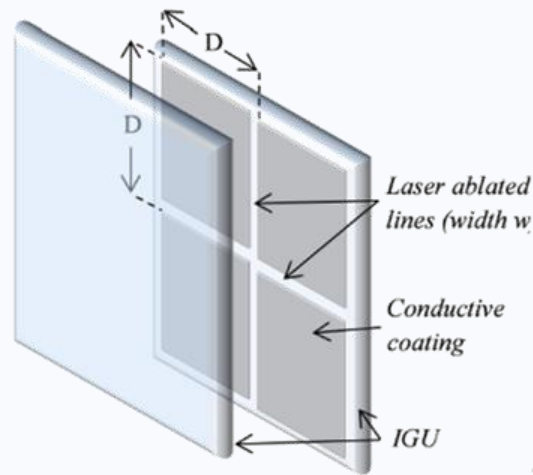


Ersatzschaltbild mit
transmission lines TRL

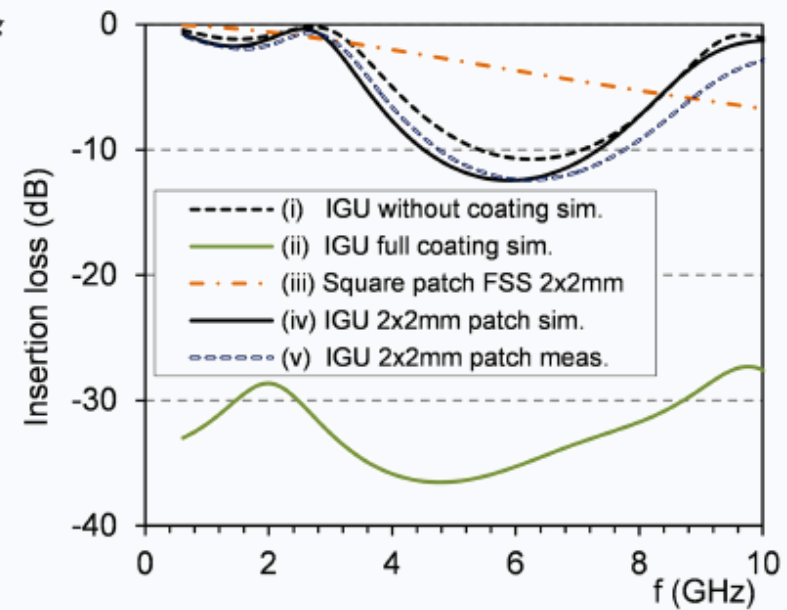


Theorie: Doppelverglasung

Doppelverglasung mit strukturierter Beschichtung

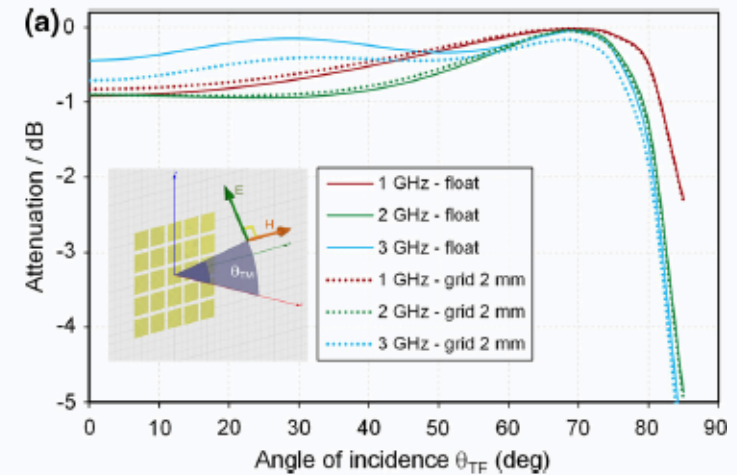


Eindringdämpfung

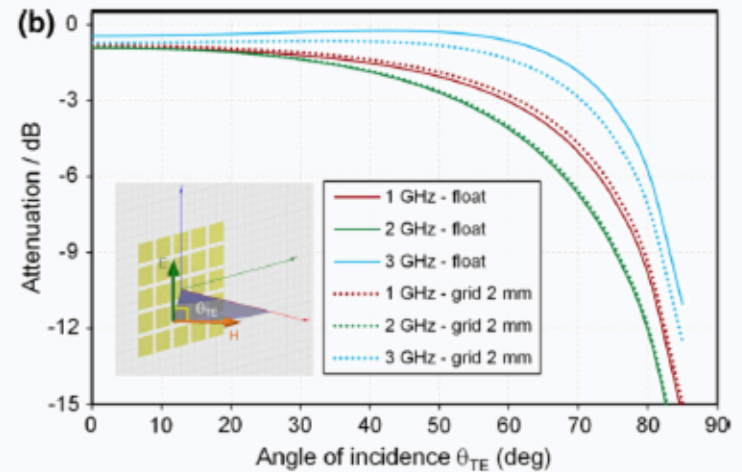


Winkelabhängigkeit

TM Polarisierung



TE Polarisierung



Numerische Simulation