SBB CFF FFS Cargo

Langzeitmessungen im Fahrbahnlabor Sempach: ein Gedankenexperiment

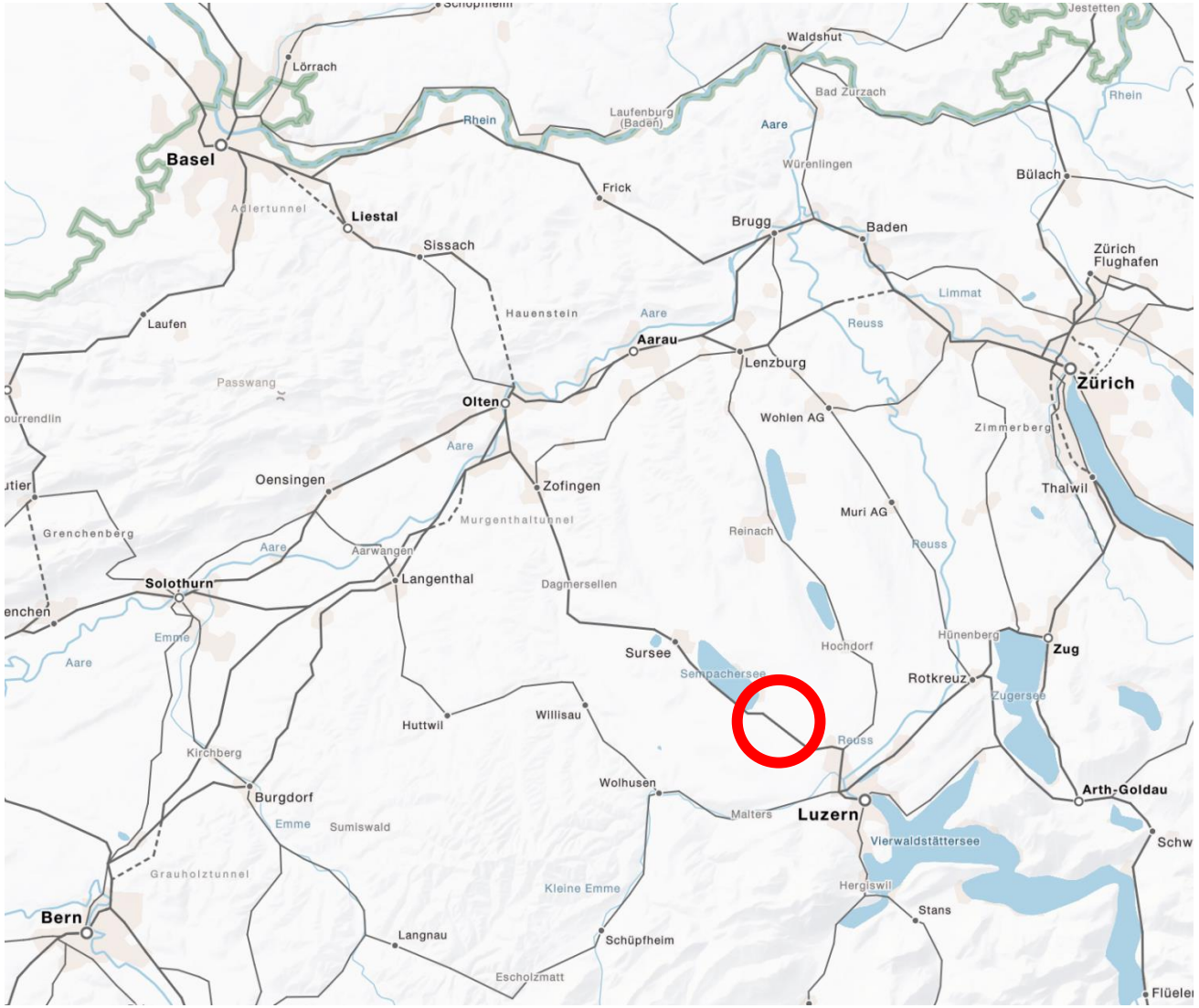
Marc Schmid, SBB Infrastruktur

4. InteraktionstagTransports publics fribourgeois (TPF), Givisiez

Übersicht

1) Fahrbahnlabor:
   - Die Bahnanlage
   - Die Messsensorik
2) Datenanalyse:
   - Umwelteinflüsse
   - Stopfen
   - neue Zwischenlagen
3) Gedankenexperiment: Kurzzeitmessungen

Sempach-Rothenburg



Strecke:

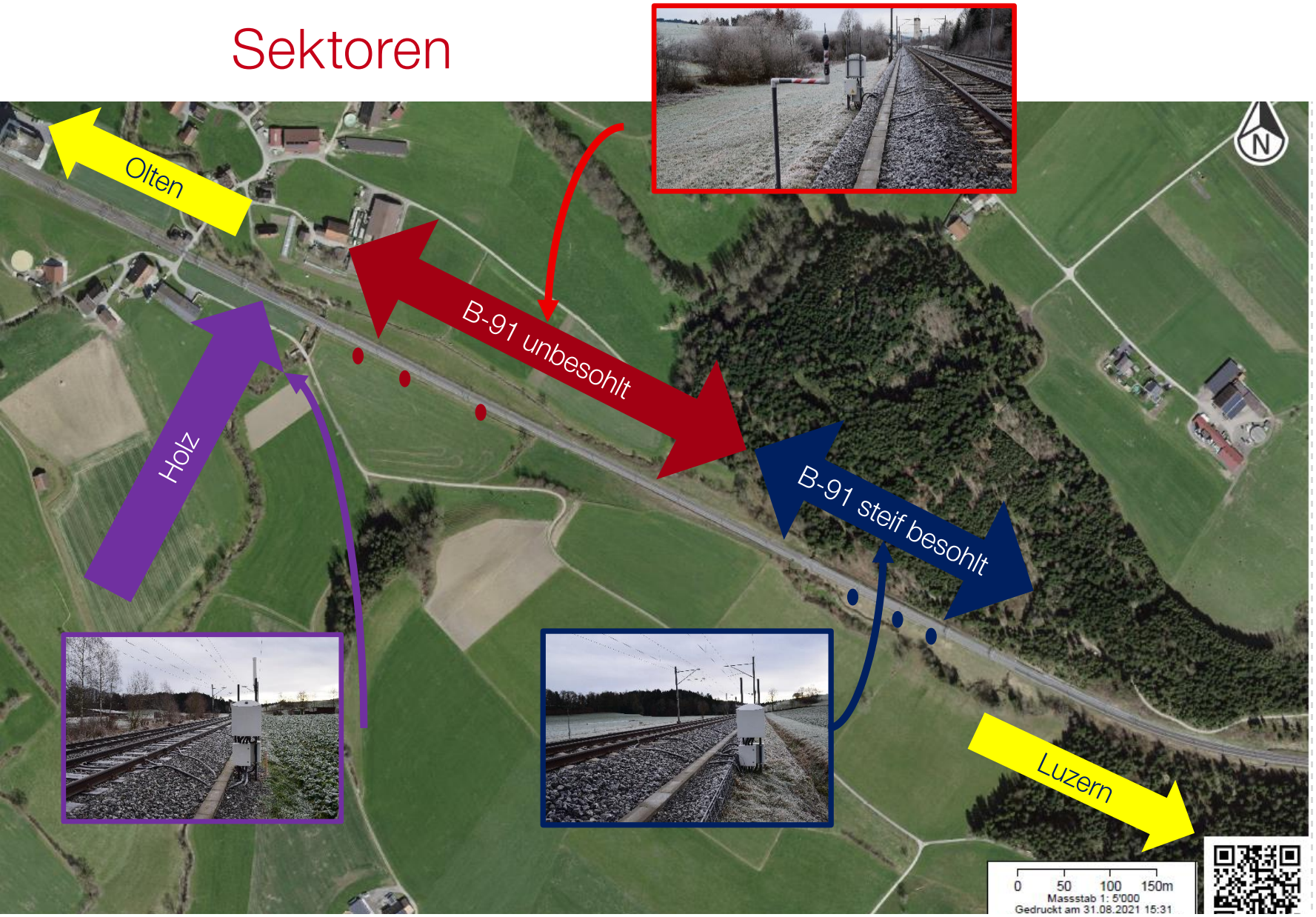
- Teil der *regulären* Strecke Luzern - Olten *unter Betrieb.*
- Gerade Strecke mit drei verschiedenen Oberbauten
- Maximalgeschwindigkeit:120 km/h

Verkehr:

(mio. Bruttotonnen / Anzahl Züge pro Jahr):

- Total : 13.3 / 44’000
- Reisezüge : 12.1 / 41’000
- Güterzüge : 0.8 / 1’700

Sektoren

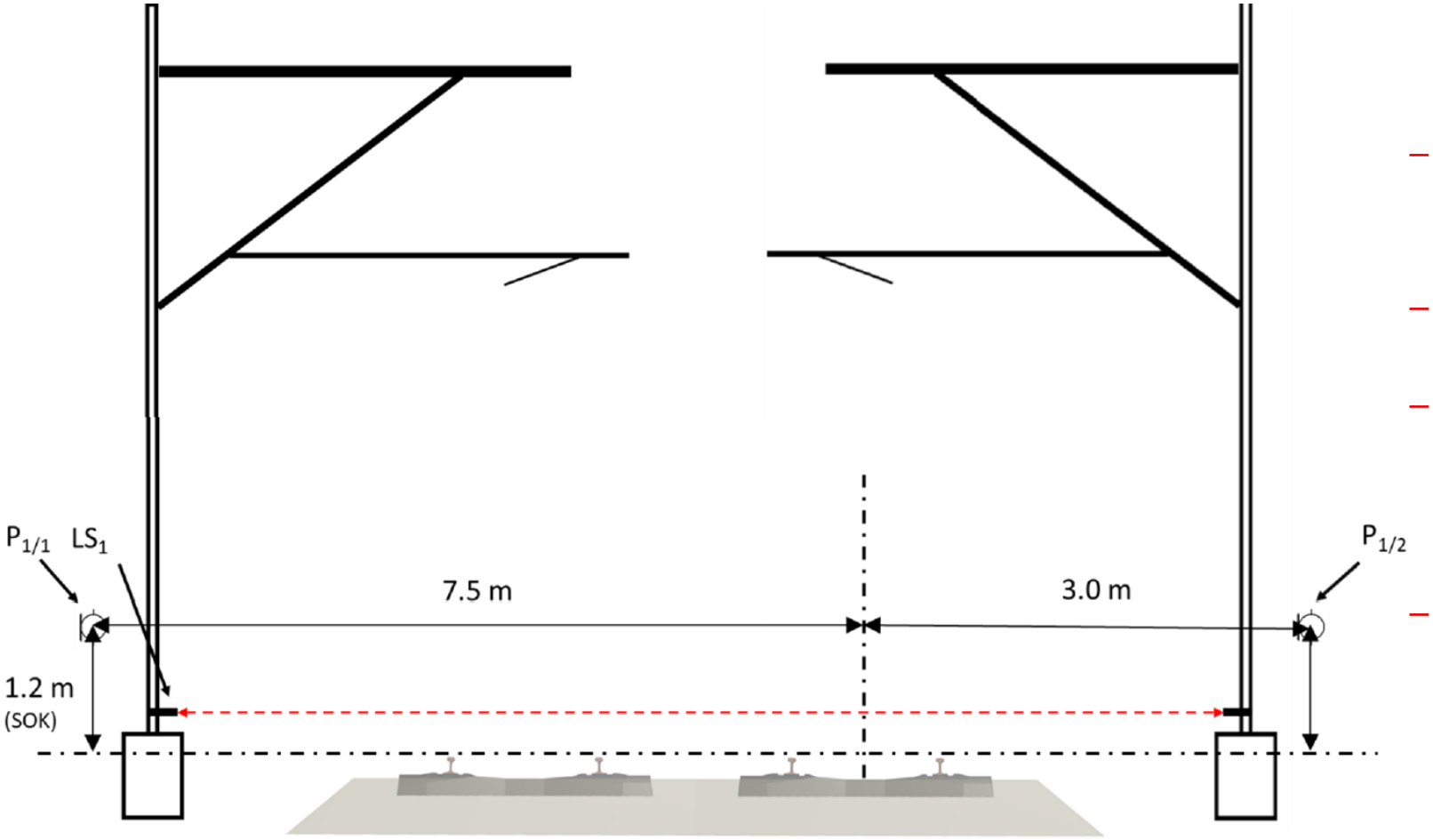


- Sektor 1: B-91 unbesohlt (3 Messquerschnitte)
- Sektor 2: B-91 steife Besohlung (3 Messquerschnitte)
- Sektor 3: Holzschwellen (1 Messquerschnitt)

Oberbau Teststrecke (erneuert 2019)

	Sektor 1: B91 steif besohlt	Sektor 2: B91 unbesohlt	Sektor 3: Holzschwellen
Ort	Sempach (SEM) – Rothenburg (RGB) Km 80.000 – km 81.000 (SEM-RGB), südliches Gleis (Gleis 281/283)		
Schiene	60E2	60E2	60E2
Befestigung	Ws14	Ws14	Ke12
Zwischenlage	Typ: EVA, d=7mm, Steifigkeit 600kN/mm		
Schwelle	Beton B-91	Beton B-91	Holz
Besohlung	steife Besohlung Bettungsmodul: 0.30 N/mm³	keine	keine
Schotterdicke	55cm	55cm	unbekannt
Schotterreinigung	2019	2019	unbekannt
Erneuerung	2019	2019	Schwelle 2021 / Rest unbekannt
Untergrund	PSS 30cm	unbekannt	unbekannt

Messquerschnitt-Sensorik: Mikrophone



- Je 3 Messquerschnitte im Sektor B91 steif besohlt & unbesohlt
- 1 Messquerschnitt im Sektor Holz
- Installation zweier Mikrophone pro Messquerschnitt im Abstand 3.0m bzw. 7.5m (1.2m SOK)
- Zusätzlich je ein Erschütterungs-sensor pro Sektor mit Betonschwellen B91 im Abstand von 8m (MQ1.2 & MQ2.2)
  => Erweiterung April 2025

Messquerschnitt-Sensorik: Beschleunigungssensoren

Beschleunigungssensoren pro Messquerschnitt:

- Schiene : 2x 3 uniaxial
- Schwelle : 4x 1 uniaxial
- Schotter : 2x 2 triaxial

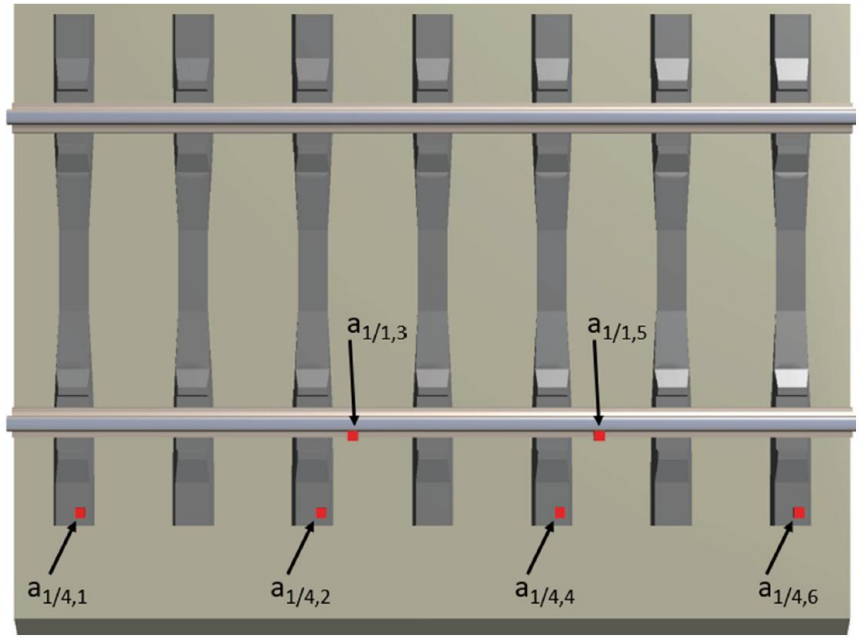


Abbildung 5: Aufsicht: Position der Beschleunigungssensoren auf Schiene und Schwellen in Mess-

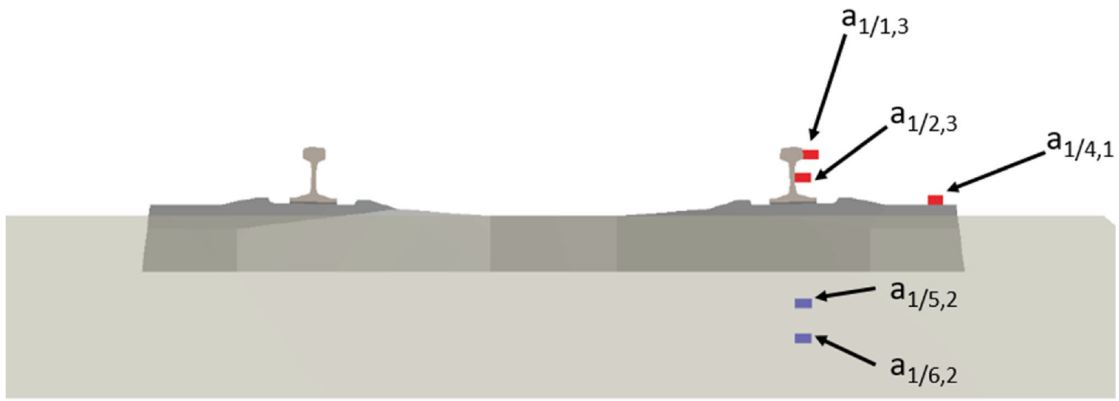


Abbildung 3: Ansicht in Gleisrichtung: Position der Beschleunigungssensoren auf Schiene und Schwellen (rot: uniaxial, blau: triaxial) in Mess-Querschnitt 1.

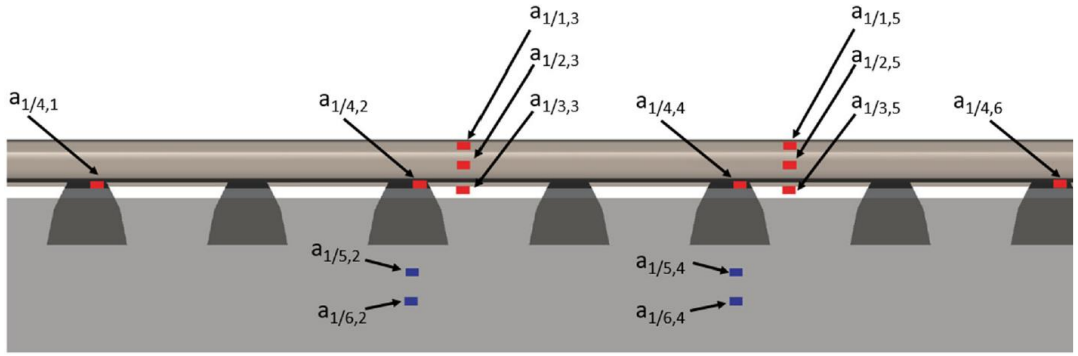
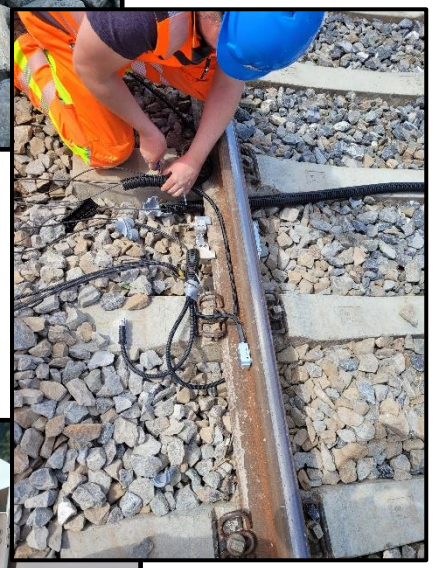


Abbildung 4: Seitenansicht: Position der Beschleunigungssensoren auf Schiene und Schwellen uniaxial, blau: triaxial) in Mess-Querschnitt 1.

Überblick Sensoren

Sensor-ID	Beschreibung	Dynamik-/ Messbereich
$a_{1\text{-}4,y}$	Beschleunigung uniaxial	0-200 g
$a_{5\text{-}6,y}$	Beschleunigung triaxial	0-100 g
$v_{1\text{-}2;x,y,z}$	Schwinggeschwindigkeit triaxial	124dB, ±10 mm/s
$p_{1\text{-}2}$	Schalldruck	20-120dB
L	Achslast	0-30 t
$T_{Schiene}$	Schienentemperatur	-20 bis +60 °C
$T_{Schwelle}$	Schwellentemperatur	-20 bis +60 °C
T_{Luft}	Lufttemperatur	-20 bis +40 °C
rF	Relative Luftfeuchtigkeit	0-100%
R	Regenmenge	-
E	Einstrahlung	0-1000 W/m²
W_{dir}	Windrichtung	0°-359°
W_{speed}	Windgeschwindigkeit	0-20 m/s
RFID	RFID-Reader zum Erfassen der UIC Fz-Nummer	



http://www.fahrbahnlabor.ch

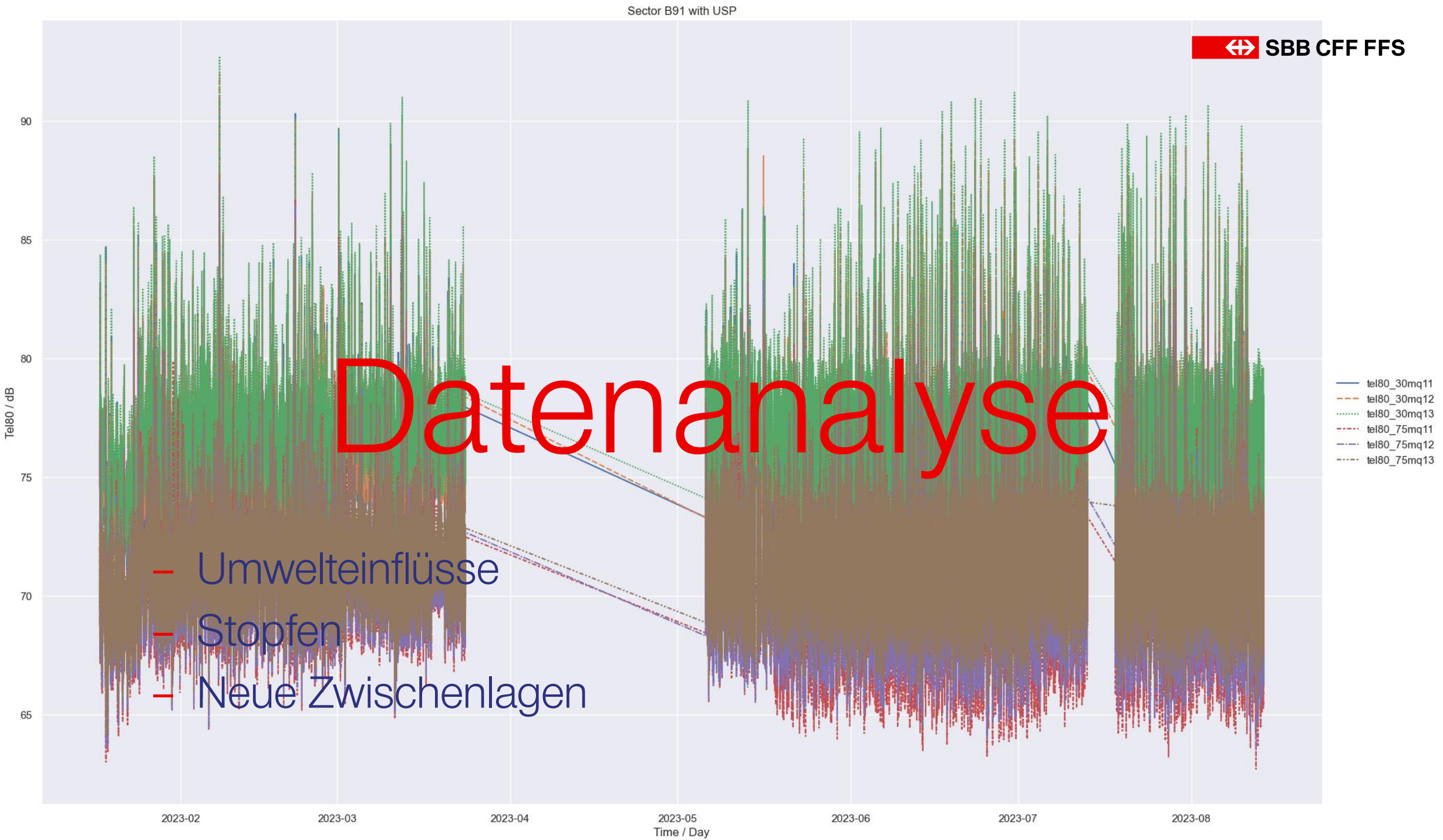
Verantwortlichkeiten:

- Eigentum Sensorik: Bundesamt für Verkehr (BAV)
- Organisation: Bundesamt für Umwelt (Bafu)
- Unterhalt & Betrieb:
  - Sensorik: Müller-BBM
  - Datenbank: Müller-BBM
  - Bahnanlage: SBB-Infrastruktur

Projektdauer & Nutzung:

- Projektdauer: 2021-2026, Verlängerung möglich
- Zugang zur Datenbank ist öffentlich und kostenlos.
  => mit Passwort Anfrage via Webseite
  http://www.fahrbahnlabor.ch
- Spezialdaten auf Anfrage erhältlich (Vergütung nach Aufwand)
- Zusammenstellen von Spezialfahrten sowie Änderungen am Oberbau möglich *=> Auf Anfrage, je nach Verfügbarkeit*

=> Sicherheit und Betrieb der Bahnanlage haben immer Vorrang!

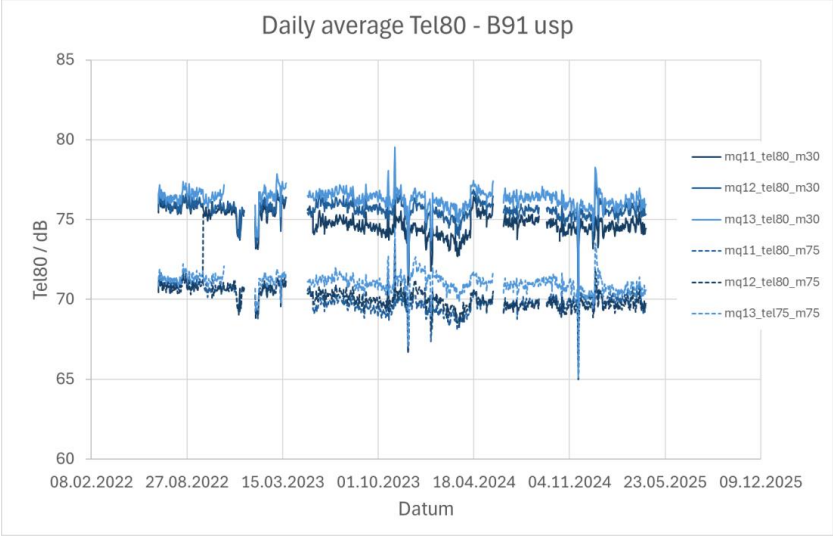


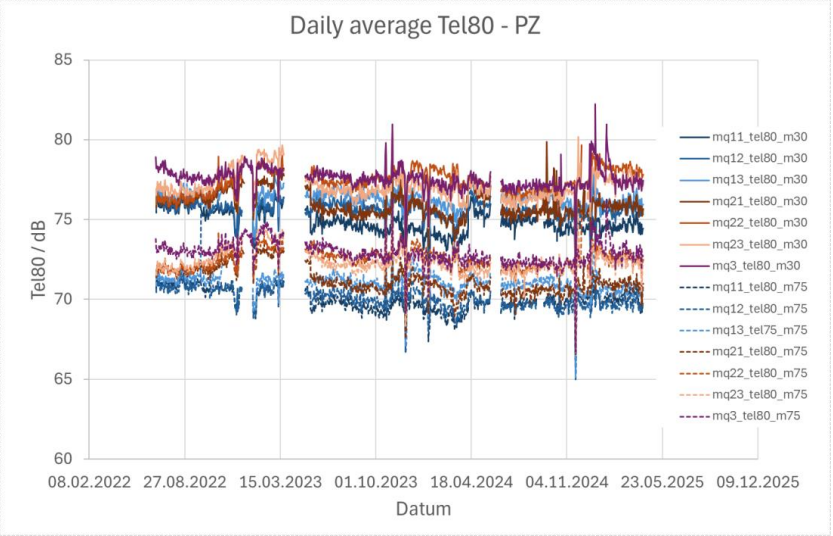
Datenanalyse

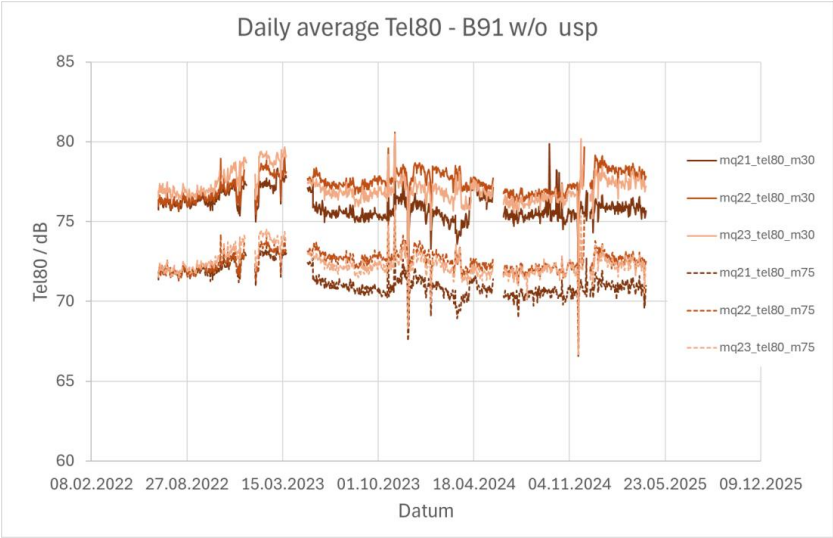
- Umwelteinflüsse
- Stopfen
- Neue Zwischenlagen

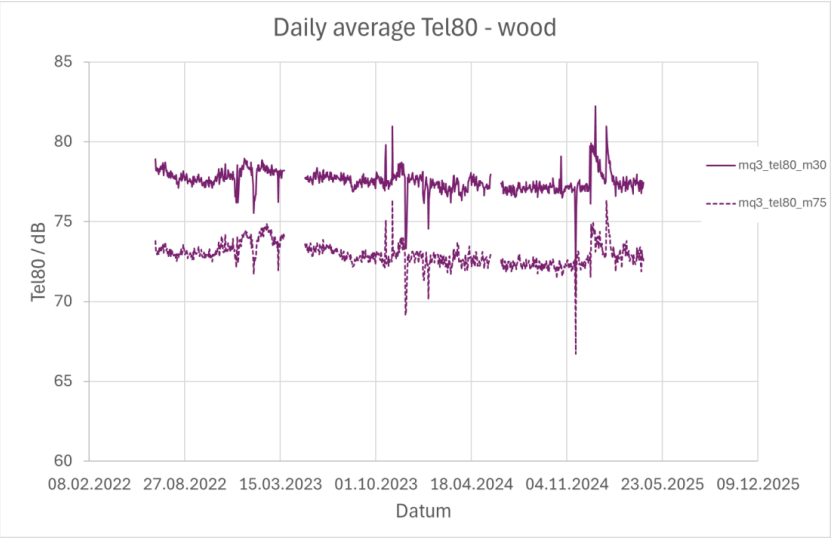
Datengrundlage:

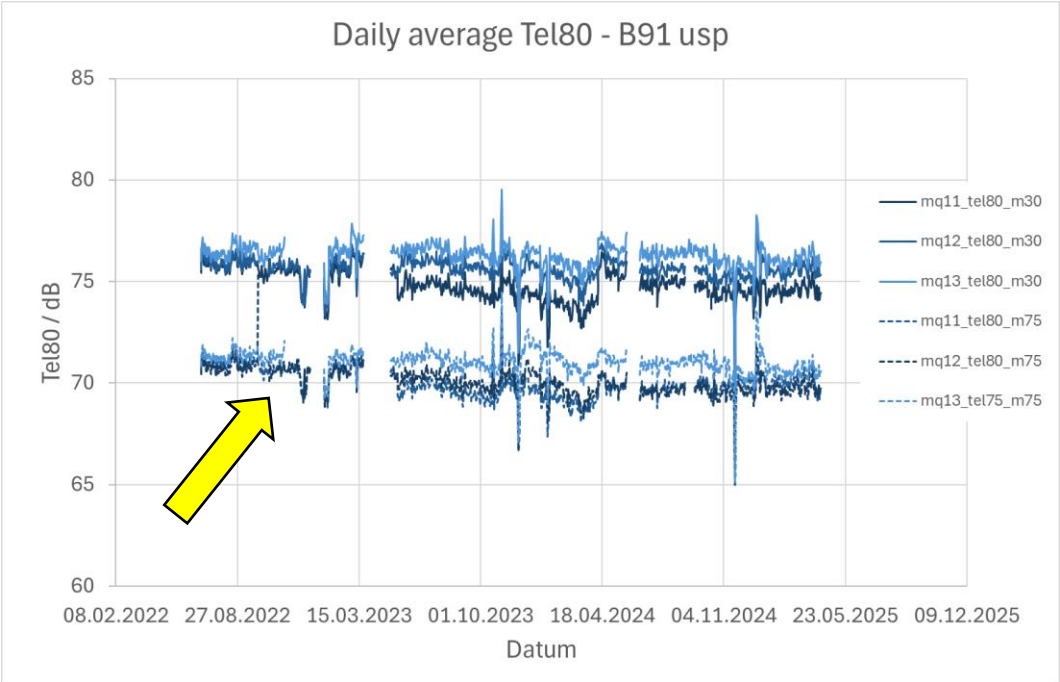
- Referenzgrösse: Tel80
- Reisezüge, v>60km/h
- Zeitraum: Juni 2022 – April 2025
- Mikrophone in 3.0m (oben) und 7.5m (unten)
- Graphik: Tel80 pro Tag gemittelt (arithmetisch)

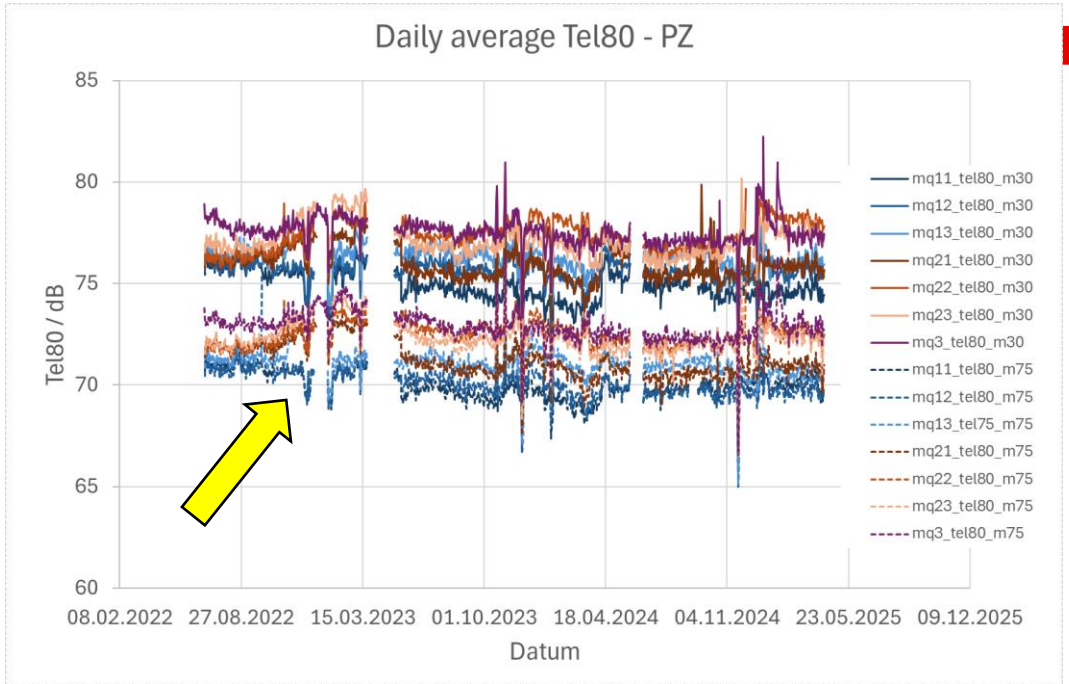


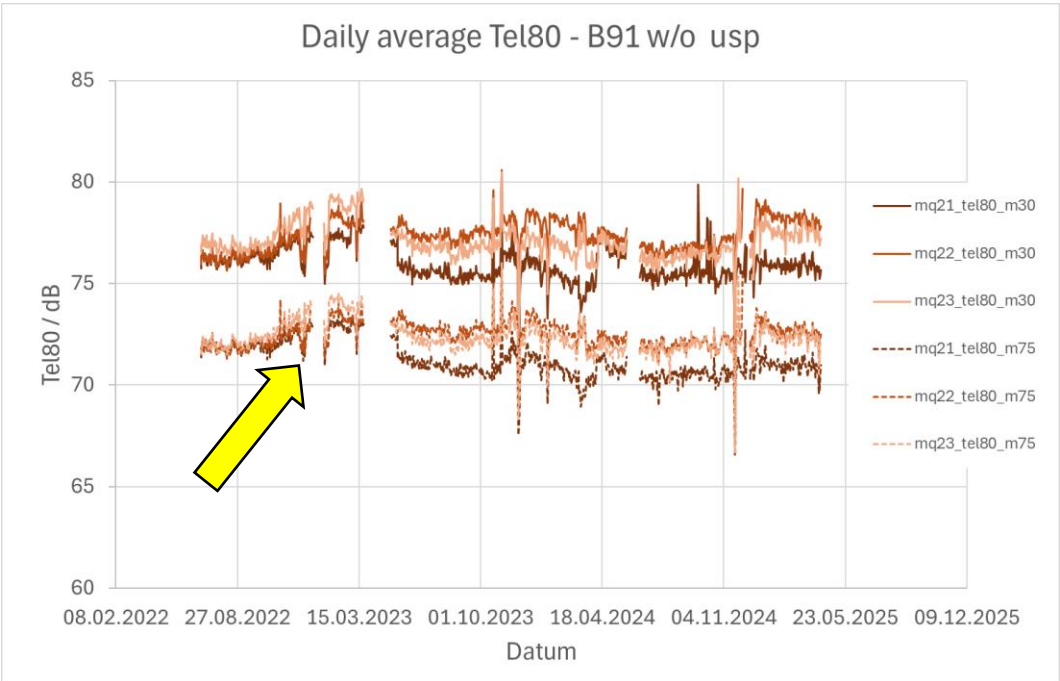


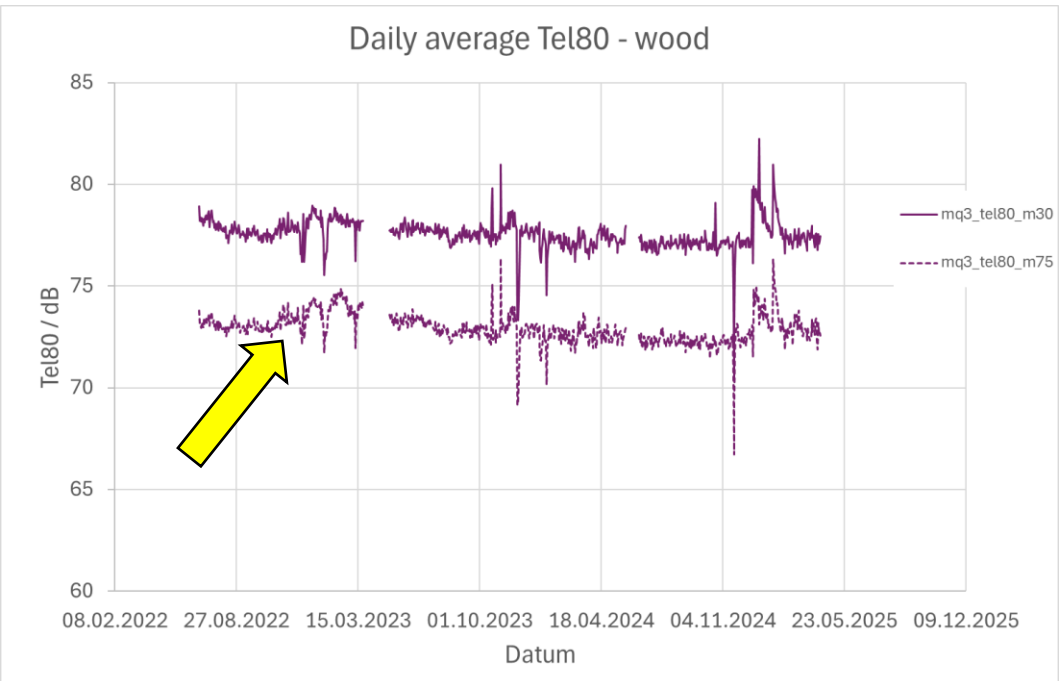




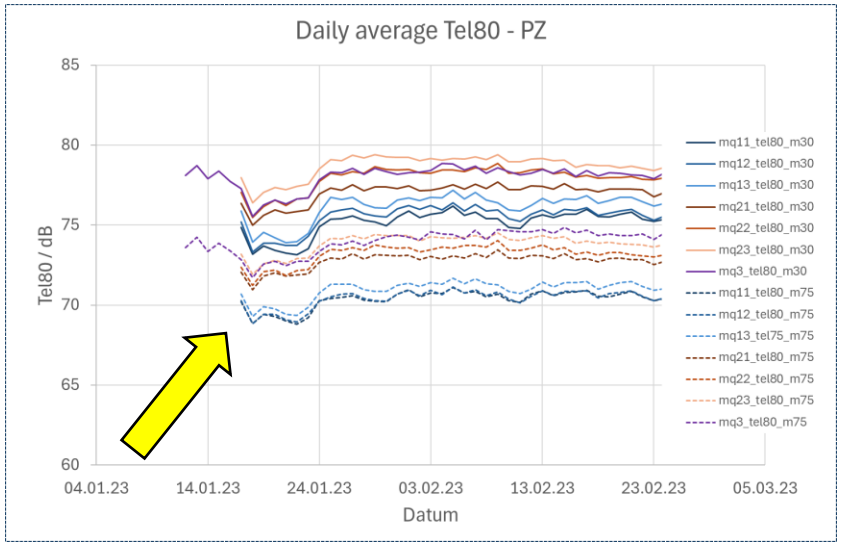

Daily average Tel80 - B91 usp
Tel80 / dB
85
80
75
70
65
60
08.02.2022
27.08.2022
15.03.2023
01.10.2023
18.04.2024
04.11.2024
23.05.2025
09.12.2025
Datum
mq11_tel80_m30
mq12_tel80_m30
mq13_tel80_m30
mq11_tel80_m75
mq12_tel80_m75
mq13_tel75_m75

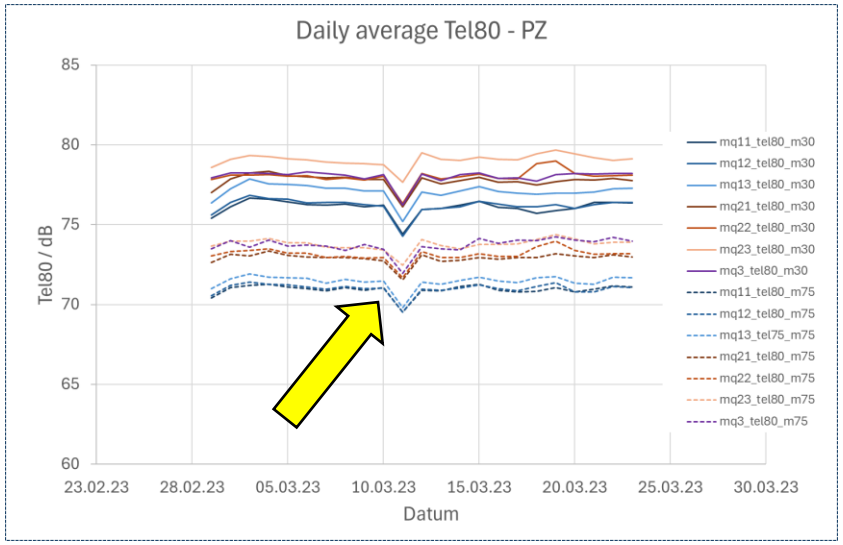

Daily average Tel80 - PZ
Tel80 / dB
85
80
75
70
65
60
08.02.2022
27.08.2022
15.03.2023
01.10.2023
18.04.2024
04.11.2024
23.05.2025
09.12.2025
Datum
mq11_tel80_m30
mq12_tel80_m30
mq13_tel80_m30
mq21_tel80_m30
mq22_tel80_m30
mq23_tel80_m30
mq3_tel80_m30
mq11_tel80_m75
mq12_tel80_m75
mq13_tel75_m75
mq21_tel80_m75
mq22_tel80_m75
mq23_tel80_m75
mq3_tel80_m75

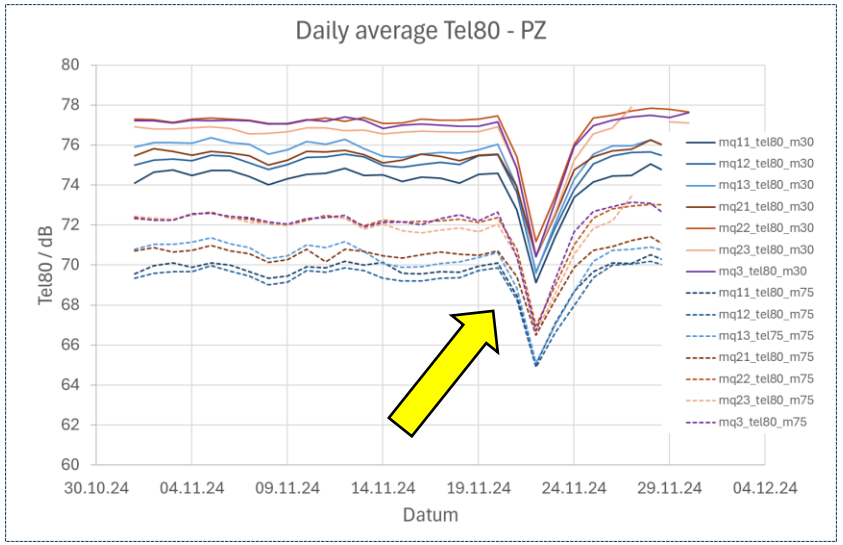

Daily average Tel80 - B91 w/o usp
Tel80 / dB
85
80
75
70
65
60
08.02.2022
27.08.2022
15.03.2023
01.10.2023
18.04.2024
04.11.2024
23.05.2025
09.12.2025
Datum
mq21_tel80_m30
mq22_tel80_m30
mq23_tel80_m30
mq21_tel80_m75
mq22_tel80_m75
mq23_tel80_m75


Daily average Tel80 - wood
Tel80 / dB
85
80
75
70
65
60
08.02.2022
27.08.2022
15.03.2023
01.10.2023
18.04.2024
04.11.2024
23.05.2025
09.12.2025
Datum
mq3_tel80_m30
mq3_tel80_m75

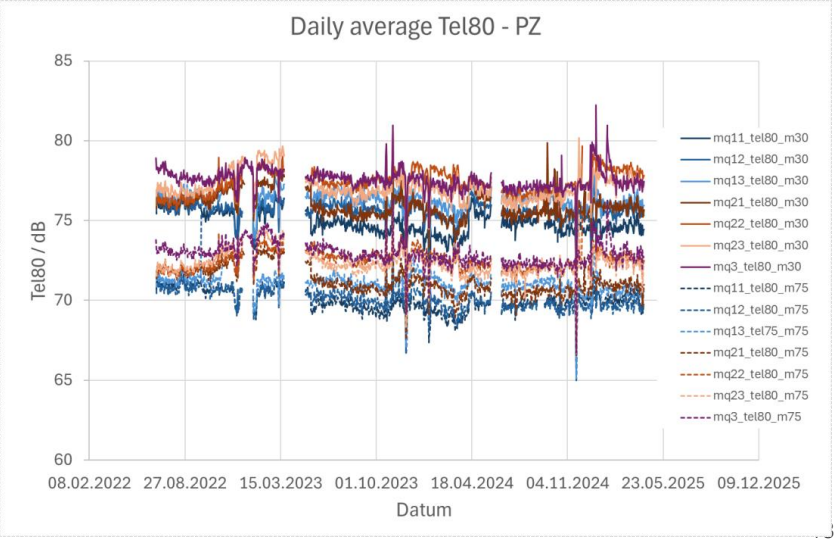
Umwelteinflüsse



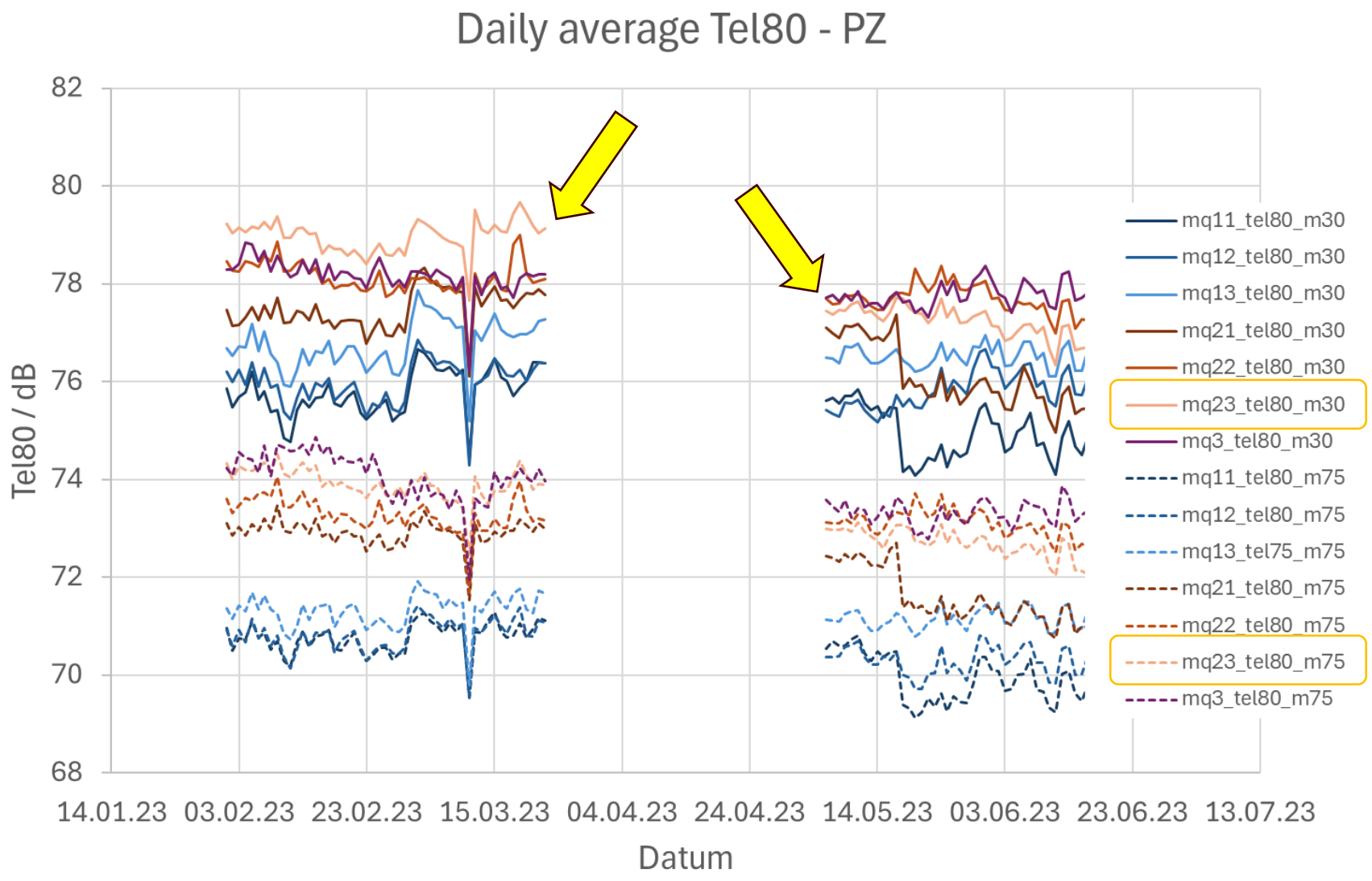




- Schnee Mitte Januar und Mitte März 2023 sowie November 2024
- Ein Temperatureinfluss konnte statistisch nicht erkannt werden.



Stopfen



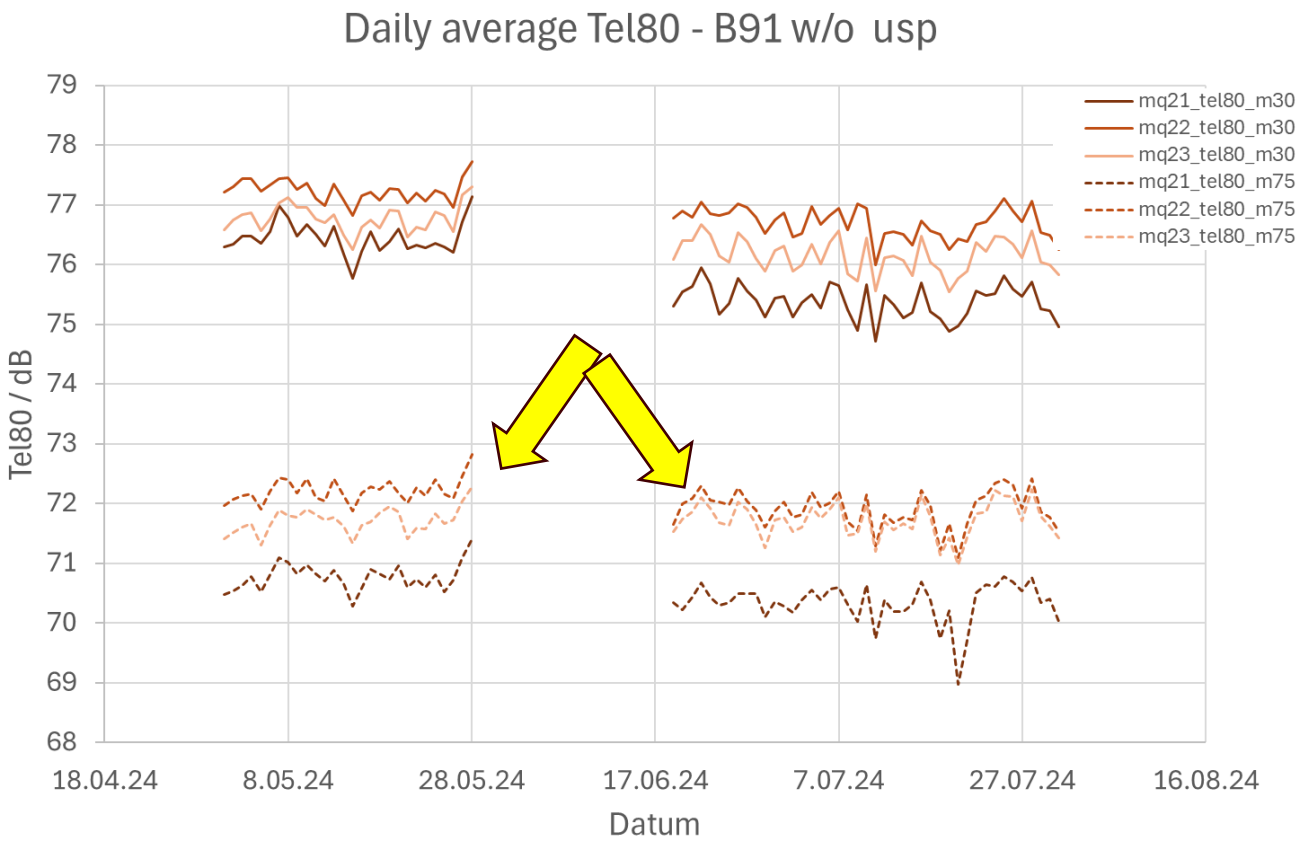
Stopfen:

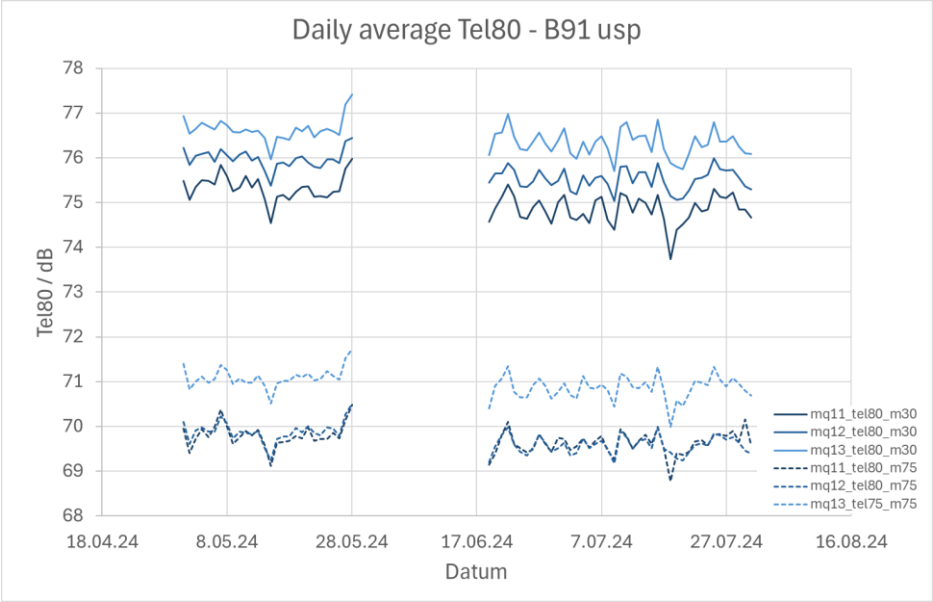
- April 2023
- Messquerschnitt 2.3 betroffen

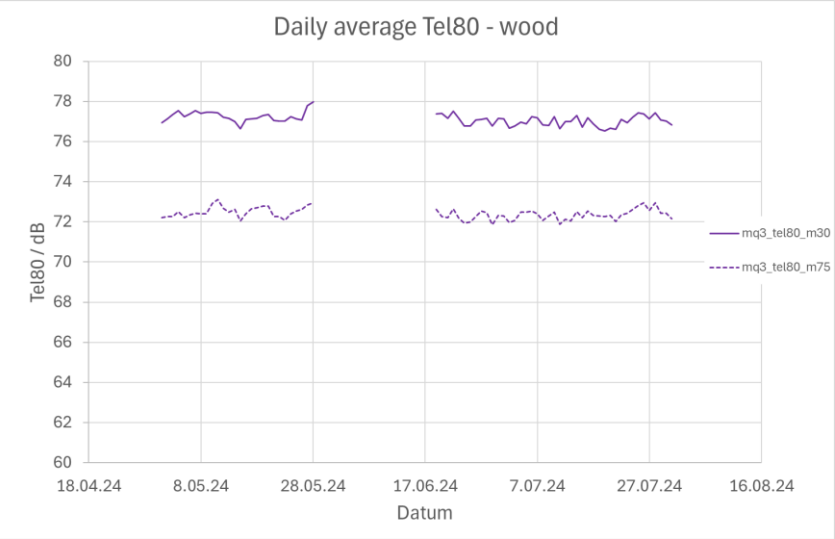
Resultat:

Mittelwert Schallminderung von 1.3dB ±0.1 dB bei Konfidenzgrad von 99%

Stopfen



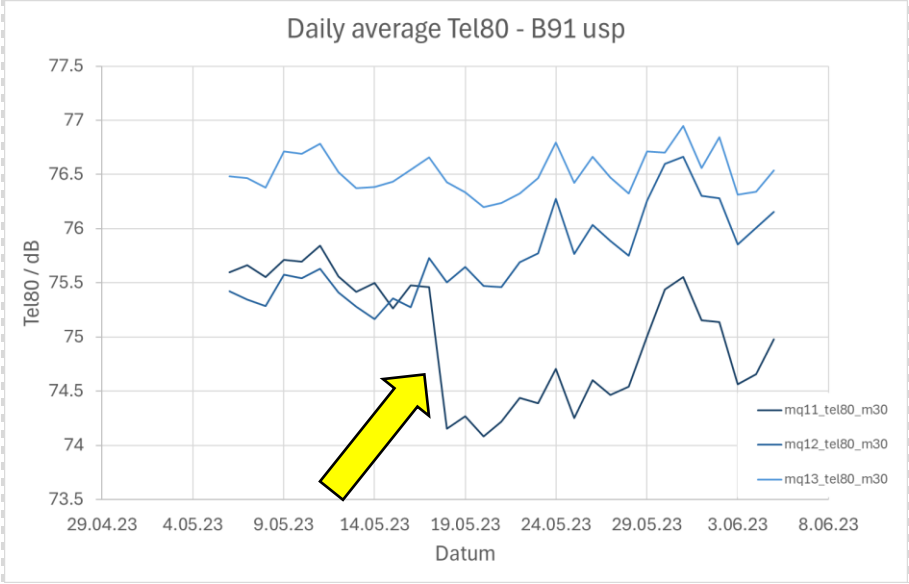


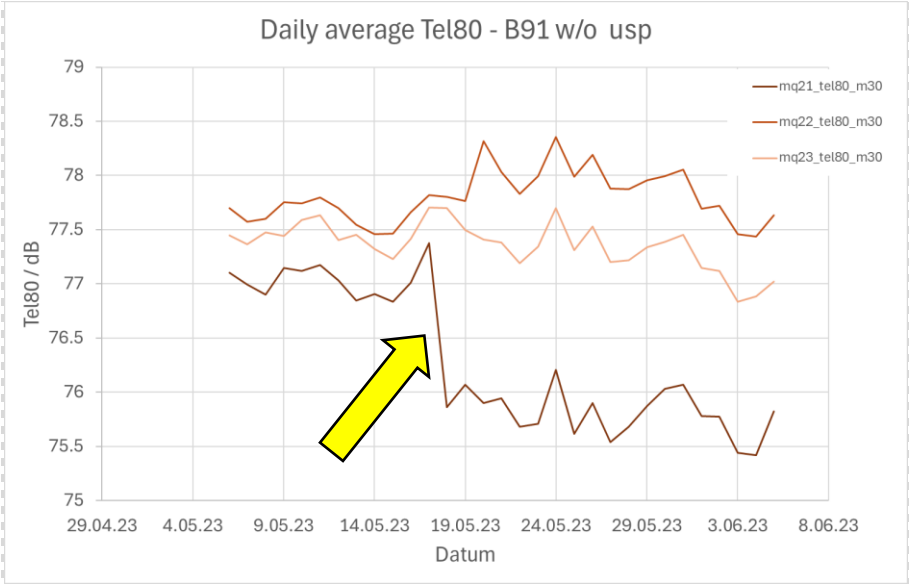


Stopfen:

- Juni 2024
- Messquerschnitt 2.3 betroffen

Einbau Zw Semperit





Eigenschaften:

- *Semperit:* 210 kN/mm statische Steifigkeit
- *EVA (Standard):* 600 kN/mm statische Steifigkeit

Einbau:

- 17./18. Mai 2023 bei MQ 1.1 & 2.1
- MQ 1.2, 1.3, 2.2, 2.3 als Referenz für jeweiligen Oberbau (B91 besohlt / unbesohlt)
- Messperiode: 6.-17. Mai (Referenz) & 18. Mai – 5. Juni (Umbau)

Resultat:

Mittelwert Schallminderung: 1.3dB ±0.1dB bei 99% Konfidenzgrad im Vergleich zur steifen EVA-Zw

Das heisst …

„Mit einer Wahrscheinlichkeit von 99% liegt der wahre Mittelwert der Differenz zwischen der neuen Semperit- und der Standard EVA-Zwischenlage zwischen 1.2dB und 1.4dB … “

« … für diese Stichprobe.»

Gedankenexperiment: Kurzzeitmessung

Standard:

- Je 1 Messtag (vorher & nachher) mit circa je 50-60 Ereignisse pro Messtag
- Berechnung Differenz vor/nach der Massnahme

Deluxe Variante:

- zusätzlicher Messstandort als Referenz
- Je 1 Messtag (vorher / nachher) mit circa je 50-60 Ereignisse pro Messtag und Messstandort
- Berechnung Differenz Massnahme-/Referenzstandort nach der Massnahme minus Differenz Massnahme-/Referenzstandort vor der Massnahme.

Was wäre wenn …

- Zufällige Auswahl je eines Tages aus den zwei Wochen (6.5 – 17.5) vor bzw. drei Wochen (18.5.-6.6) nach dem Einbau.
  => Circa 100 Ereignisse pro Tag
- Berechnung des Einflusses der Massnahme (Einbau Zw) gemäss Standard vorgehen bzw. deluxe Variante

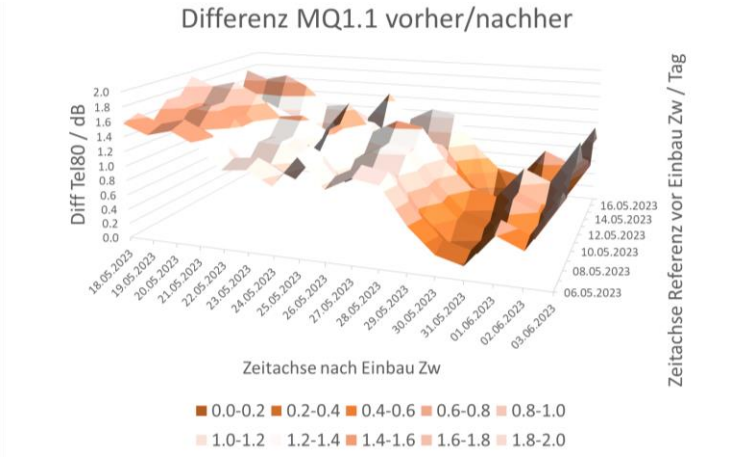
Vergleich von:

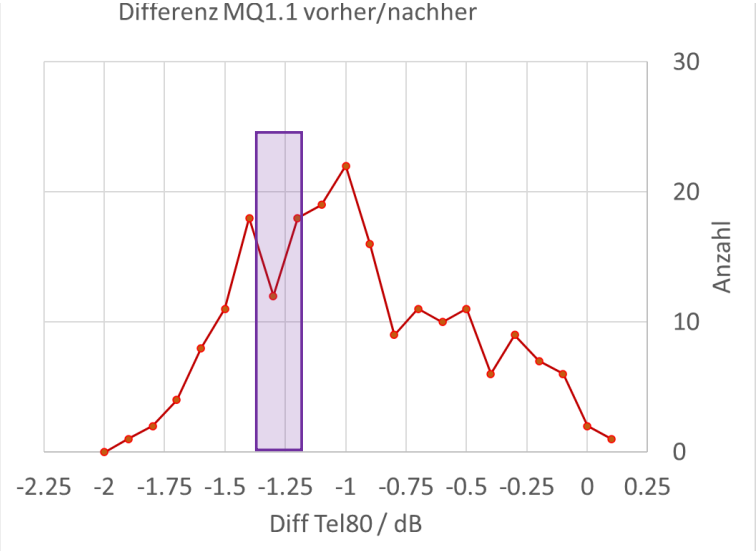
- Insgesamt 204 Kombinationen an Messtagen Ref./Massnahme
- zwei verschiedene Referenzmessstandorte
- Circa 100 Ereignisse pro Messtag berücksichtigt (min: 88/ max:116)

Gedankenexperiment: Standard Variante

B91 besohlt

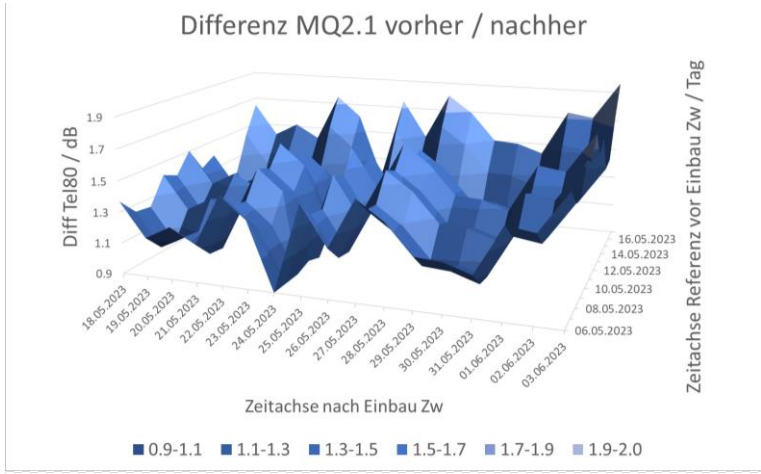
- Max: 1.9dB ±0.3dB
- Min: -0.1dB ±0.3dB

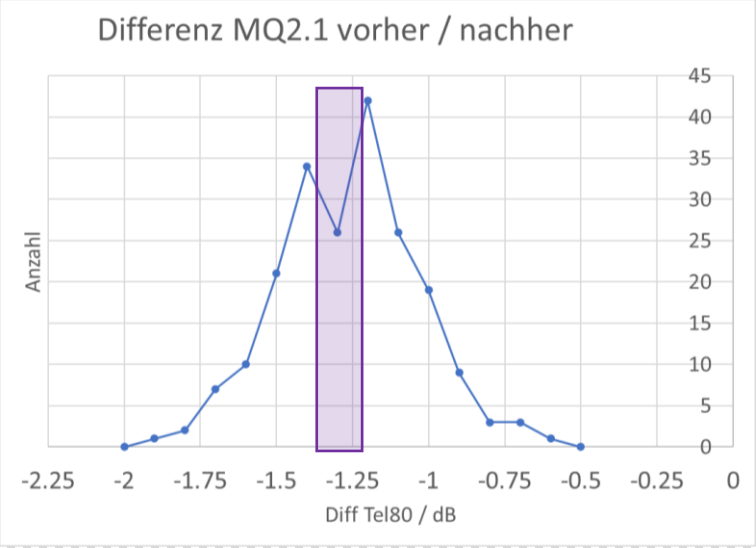




B91 unbesohlt

- Max: 2.0dB ±0.4dB
- Min: 0.7dB ±0.4dB



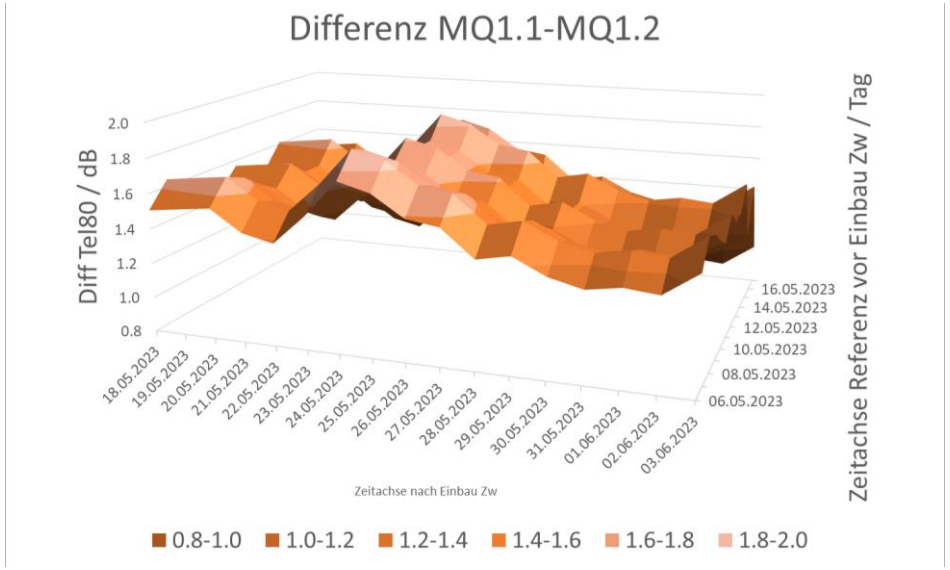


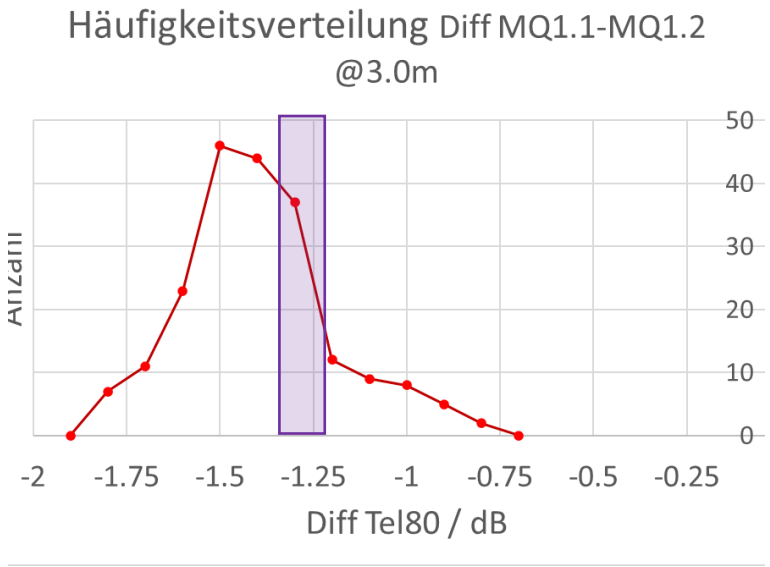
Gedankenexperiment: Deluxe Variante

B91 besohlt, ref MQ1.2

Max: 1.9dB ±0.25dB

Min: 0.9dB ±0.25dB

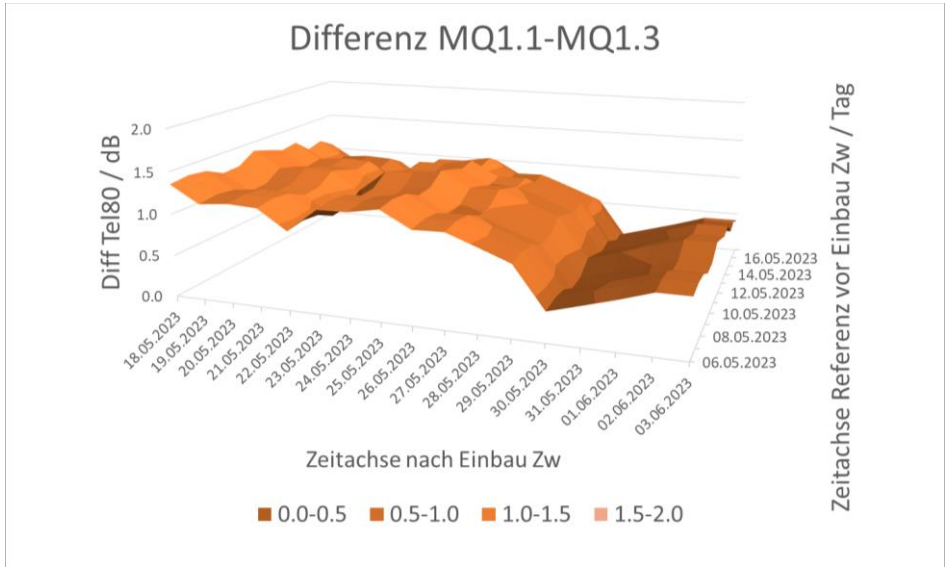


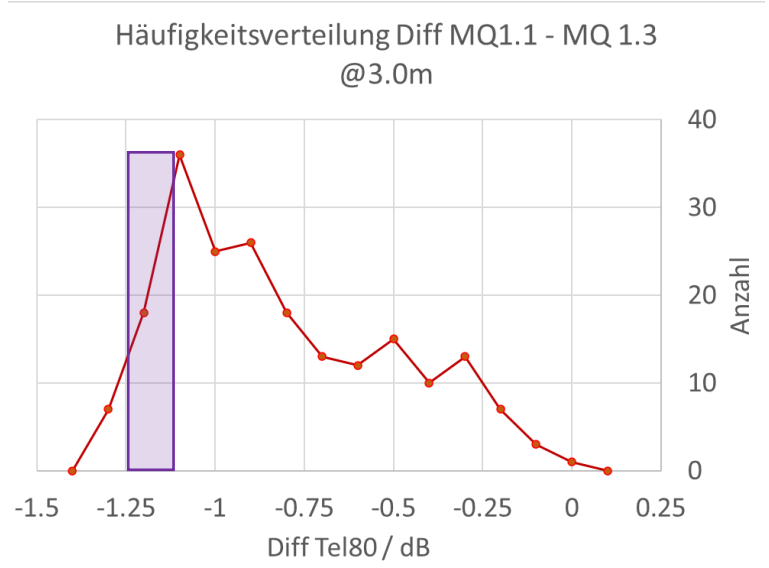


B91 besohlt, ref MQ1.3

Max: 1.4dB ±0.3dB

Min: 0.1dB ±0.3dB



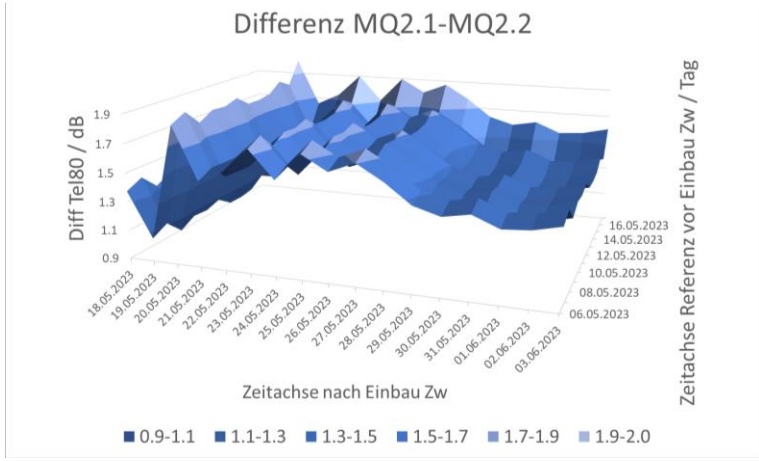


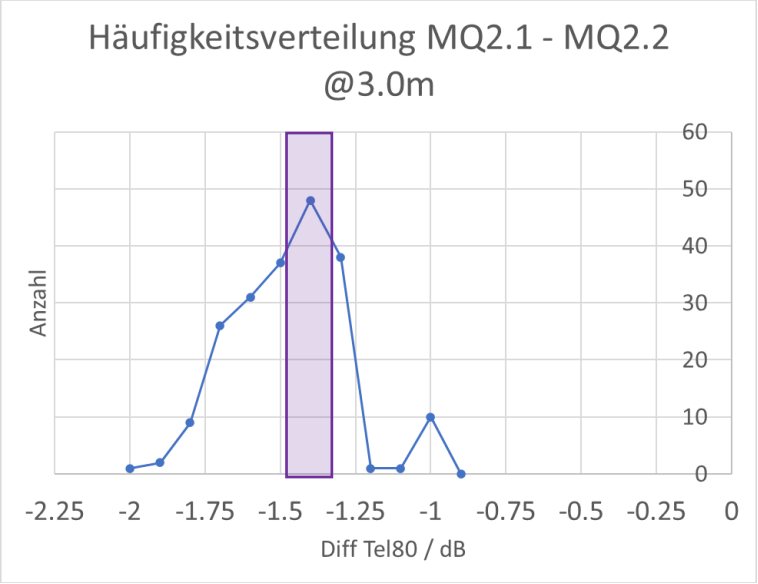
Gedankenexperiment: Deluxe Variante

B91 unbesohlt, ref MQ2.2

Max: 2.0dB ±0.4dB

Min: 1.0dB ±0.4dB

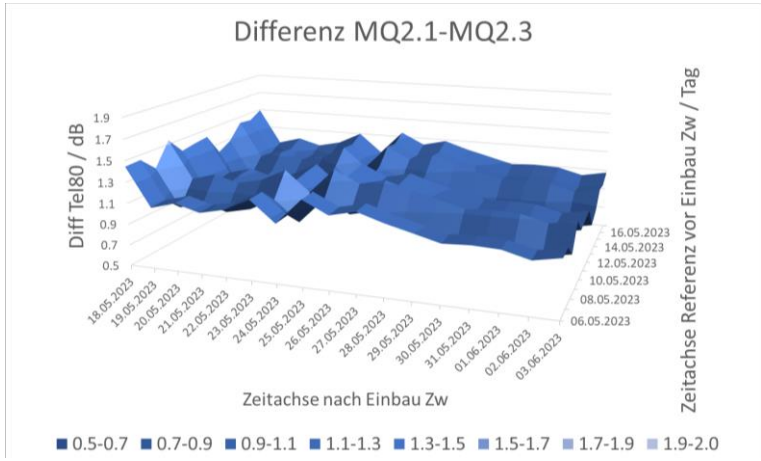


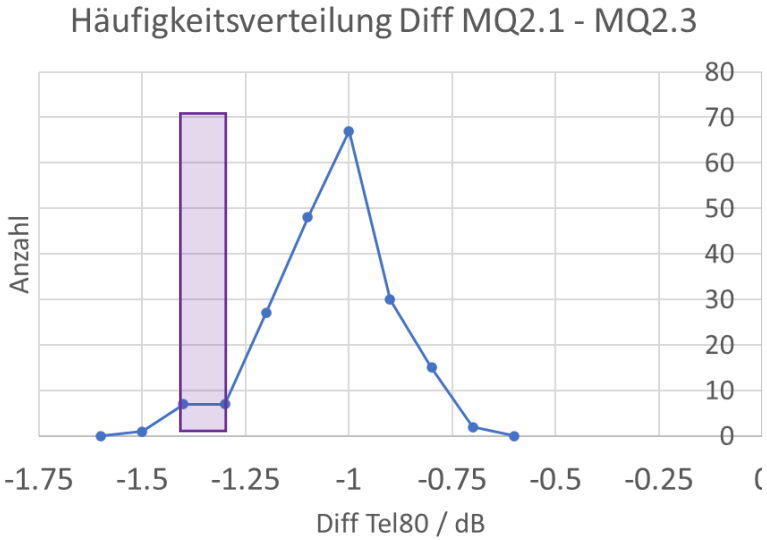


B91 unbesohlt, ref MQ2.2

Max: 1.5dB ±0.3dB

Min: 0.7dB ±0.5dB





Schlussbemerkung

- Das Fahrbahnlabor liefert wertvolle Daten für Untersuchungen aller Art:
  - (stat.) Analysen zu Fb & Fz,
  - Modellverifizierung und –validierung
  - Möglichkeit von Langzeitstudien unter realen Bedingungen.
  - etc.
- Kurzzeitmessungen (einzelne Messtage mit/ohne Referenz) sind kritisch zu betrachten.

http://www.fahrbahnlabor.ch

SBB CFF FFS

Danke, merci & grazie.