

VERKEHRSBETRIEBE ZÜRICH EMISSIONSMESSUNGEN TRAM



9. Dezember 2021

VERKEHRSBETRIEBE ZÜRICH EMISSIONSMESSUNGEN TRAM

Flexity Zürich und Forchbahn Be 4/6

Messkampagne 2021

AGENDA

1. Messungen
2. Resultate
3. Implementation sonROAD18
4. Vergleich mit früheren Messkampagnen
5. Diskussion

1. MESSUNGEN

MESSORT FORCHSTRASSE 225

Messort vor Tankstelle



MESSORT FORCHSTRASSE 225

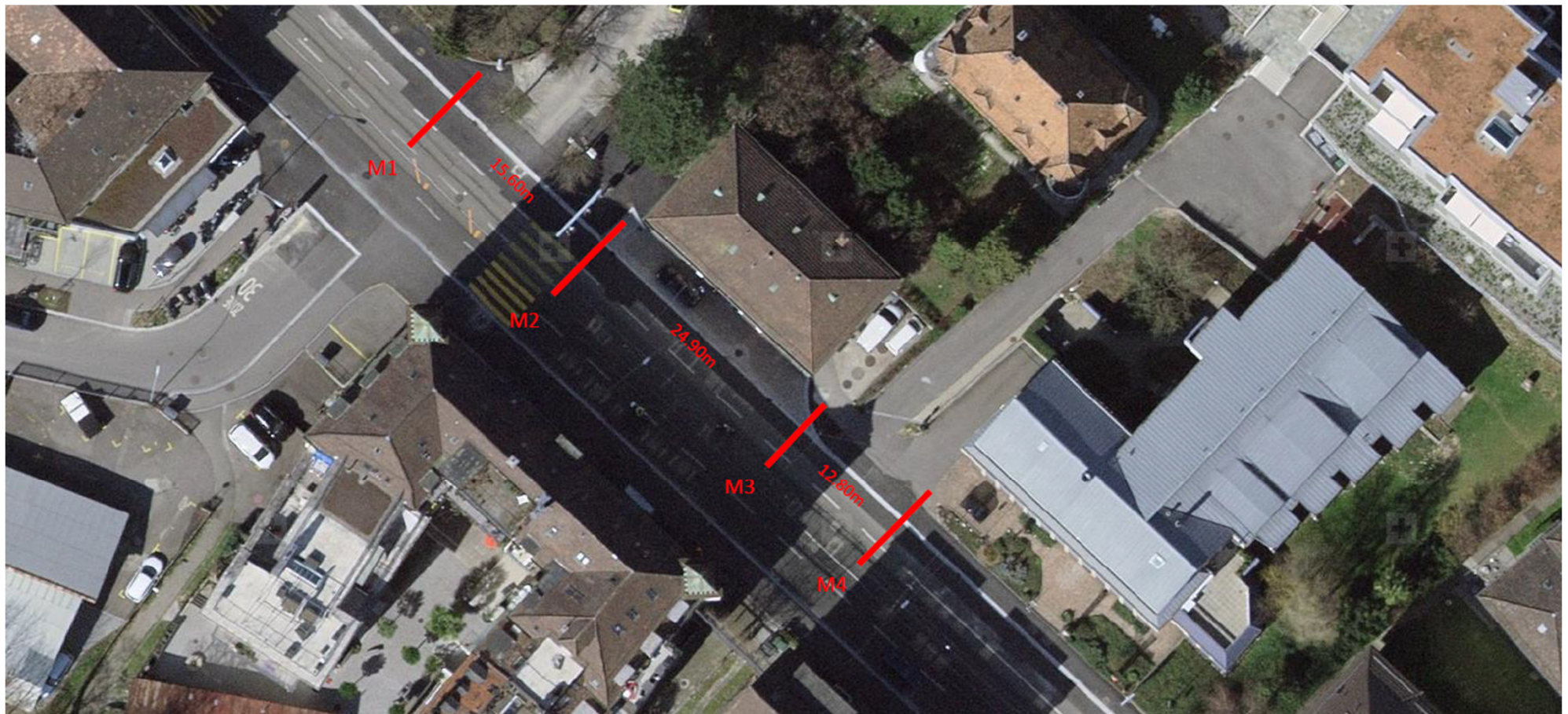


Beschrieb:

- Messort zwischen den Haltestellen Weltlistrasse und Burgwies
- Messstrecke mit keiner relevanten Längsneigung
- Schienenzustand: Im Frühsommer 2020 zuletzt geschliffen; Zustand insgesamt neuwertig bis gut

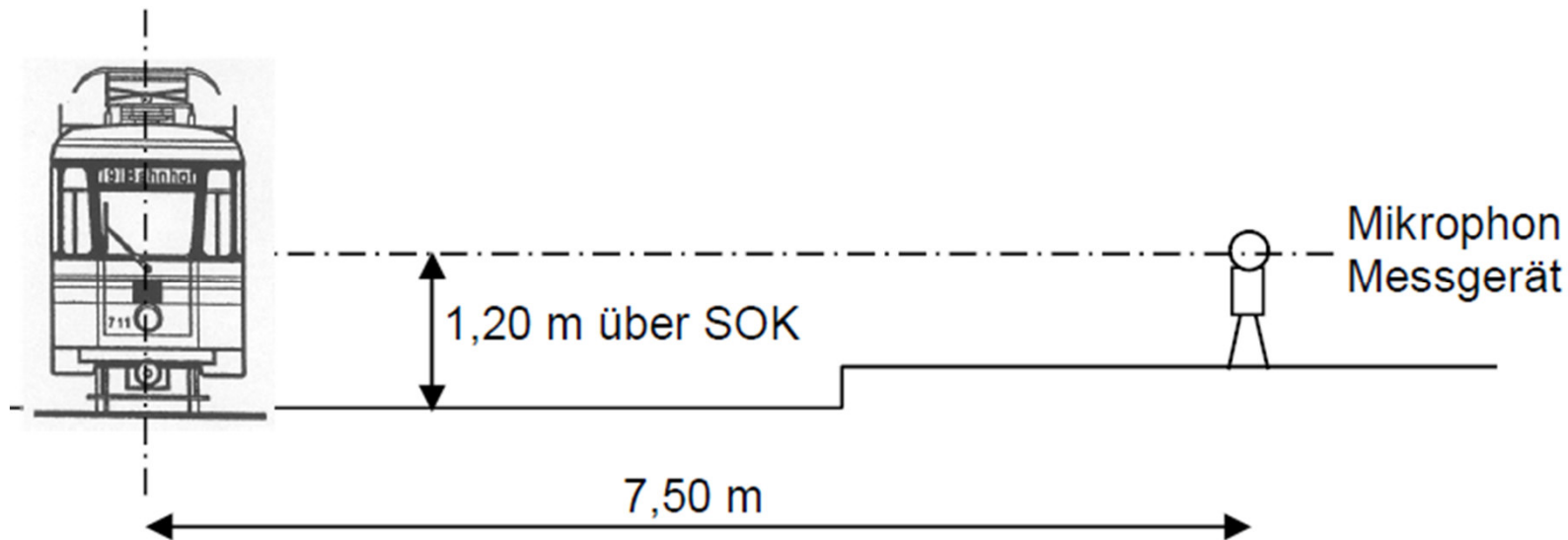
MESSORT FORCHSTRASSE 225

4 Mikrofonstandorte für parallele Emissionsmessungen



MESSKONZEPT

Messanordnung wie bei früheren Messkampagnen



Messvorgang:

- Konstante Geschwindigkeit des Trams mit 20, 35 und 50 km/h
- 3 Messdurchgänge pro Tram und Geschwindigkeitsregime
- Erfassung Pegelverlauf, Expositionspegel, Terzspektrum parallel an 4 Standorten

MESSKONZEPT

Messung von 2 Tramtypen in der Nacht 19/20. August 2021



Flexity 4005

- Km-Stand: 38'129 km
- Länge: 43 m
- Anzahl Achsen: 8



Be 62 + Be 65

- Km-Stand: Be 62 - 1'709'350 km
Be 65 - 1'727'560 km
- Länge: 2 x 25 m
- Anzahl Achsen: 2 x 8

MESSKONZEPT

Messequipment



An allen 4 Mikrofonstandorten wurden Messgeräte von Norsonic verwendet.

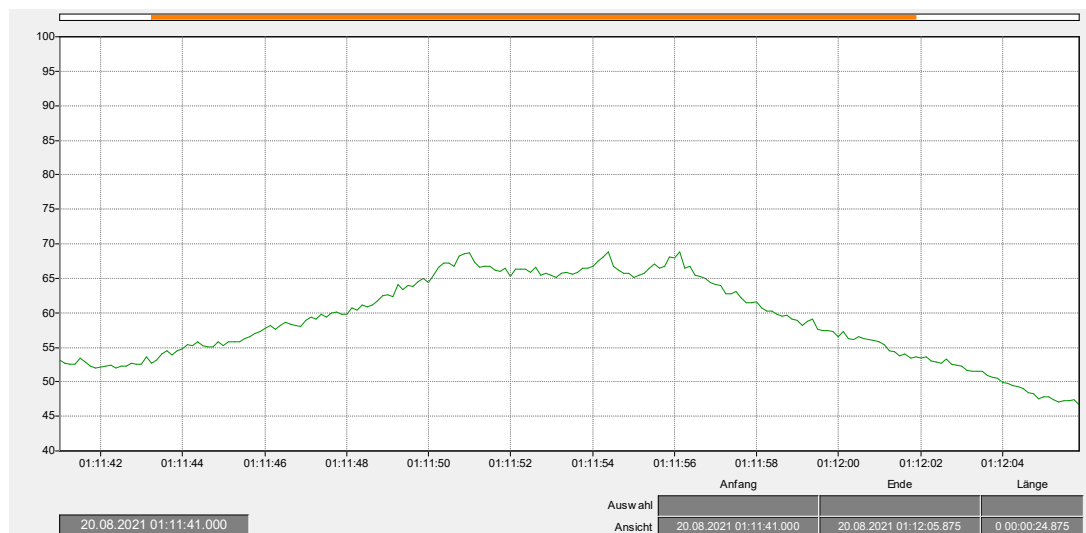
- M1: Norsonic 140, Serie-Nr. 1402959
- M2: Norsonic 140, Serie-Nr. 1404537
- M3: Norsonic 140, Serie-Nr. 1402960
- M4: Norsonic 140, Serie-Nr. 1404615

Sämtliches Equipment ist amtlich geprüft; die Messgeräte wurden vor und nach der Messung akustisch kalibriert.

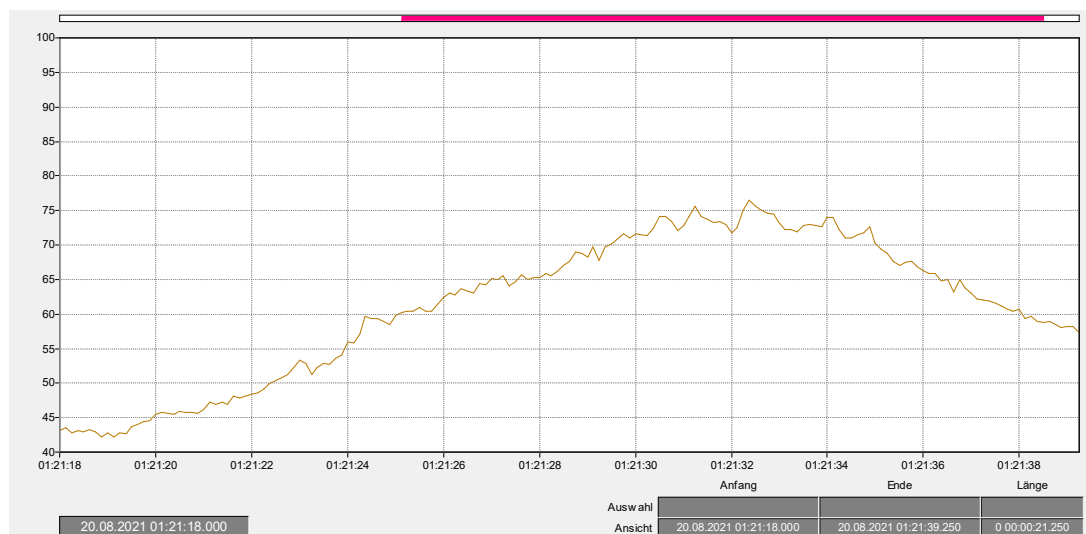
2. RESULTATE

FLEXITY 4005

Typischer Pegel-Zeit-Verlauf einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



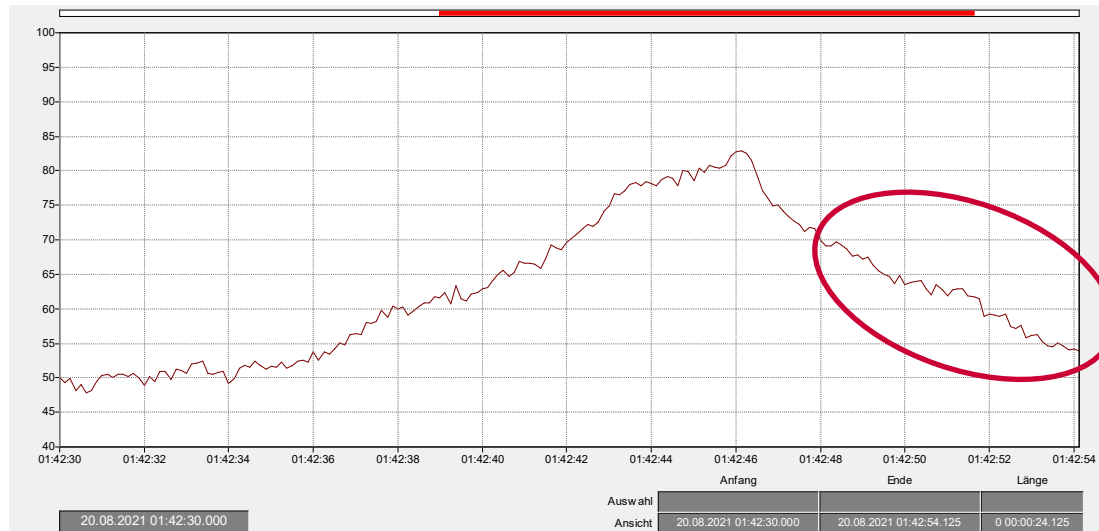
$v = 20 \text{ km/h}$



$v = 35 \text{ km/h}$

FLEXITY 4005

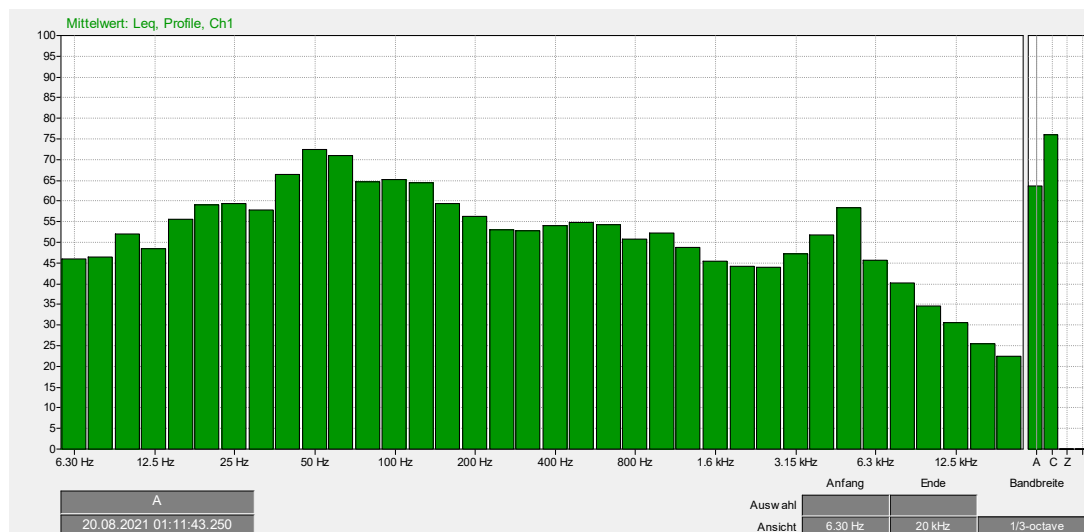
Typischer Pegel-Zeit-Verlauf einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



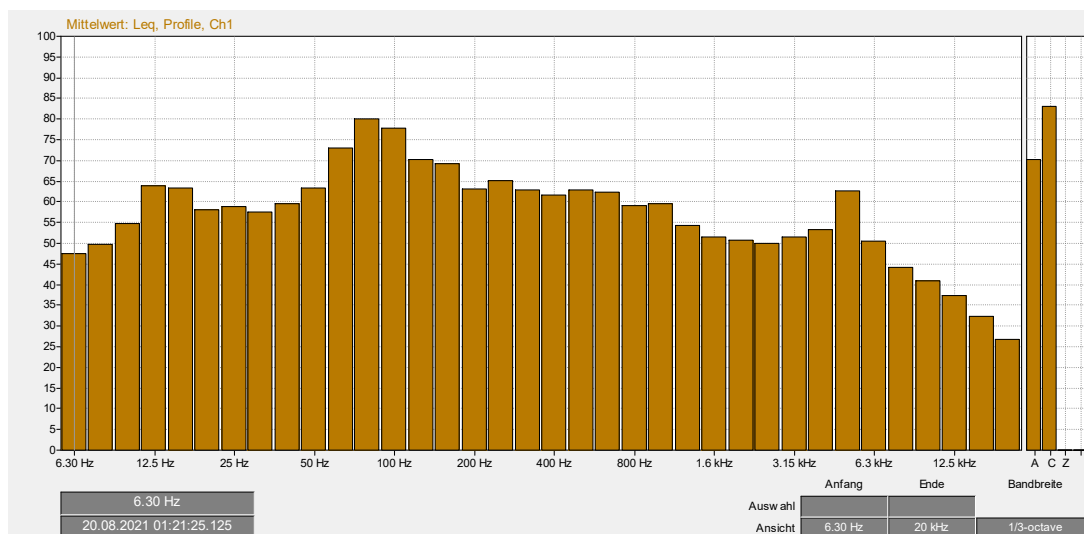
$v = 50 \text{ km/h}$

FLEXITY 4005

Typische Terzbandanalyse einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



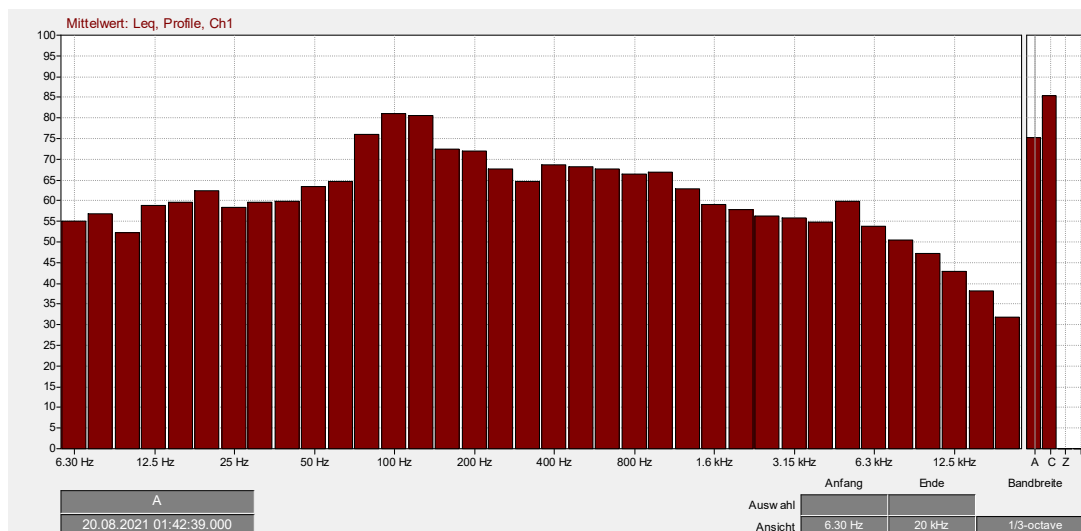
$v = 20 \text{ km/h}$



$v = 35 \text{ km/h}$

FLEXITY 4005

Typische Terzbandanalyse einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



$v = 50 \text{ km/h}$

FLEXITY 4005

Messresultate (Mittelwert aus 12 Messungen)

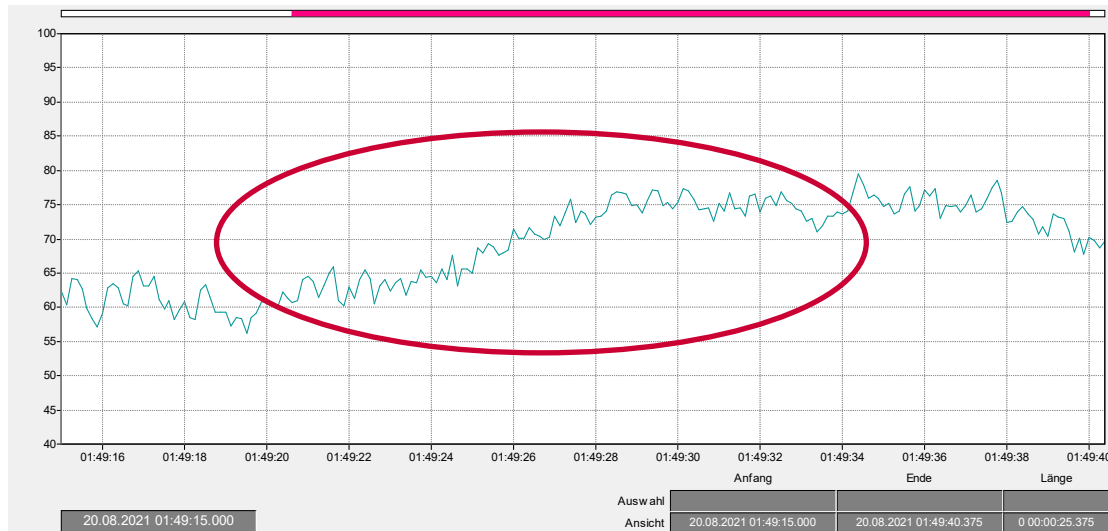
	v = 20 km/h	v = 35 km/h	v = 50 km/h
Schallexpositionspegel LE in 7.5 m Abstand	75.6 dBA	82.3 dBA	85.9 dBA
Auf 1 m ab Gleisachse umgerechneter Quellenwert Lqr 1 Tramdurchfahrt / Std.	48.8 dBA	55.5 dBA	59.1 dBA

Kommentar:

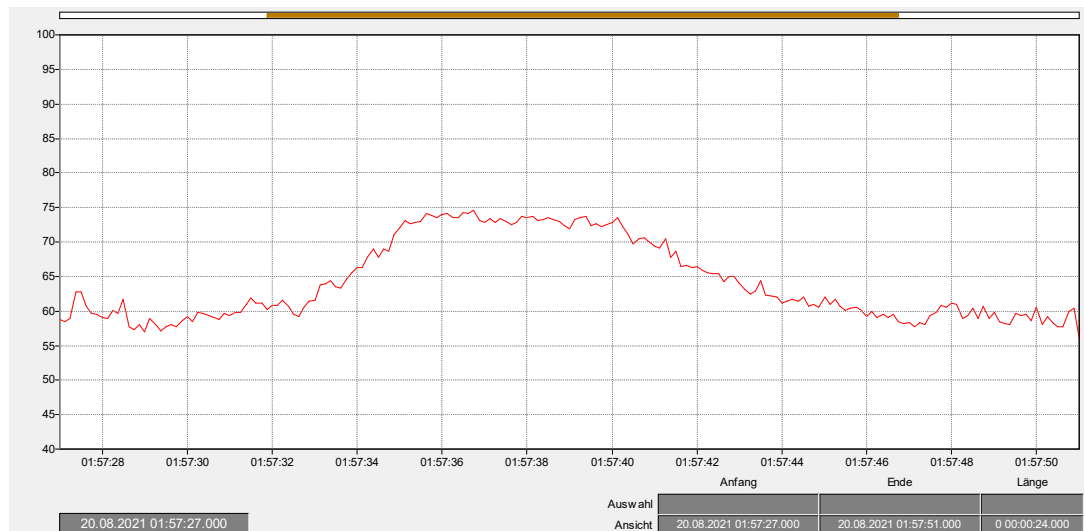
Der Expositionspegel des Flexity erhöht sich mit zunehmender Geschwindigkeit und weist damit ein «normales» Verhalten auf.

BE 62 + BE 65 (FORCHBAHN)

Typischer Pegel-Zeit-Verlauf einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



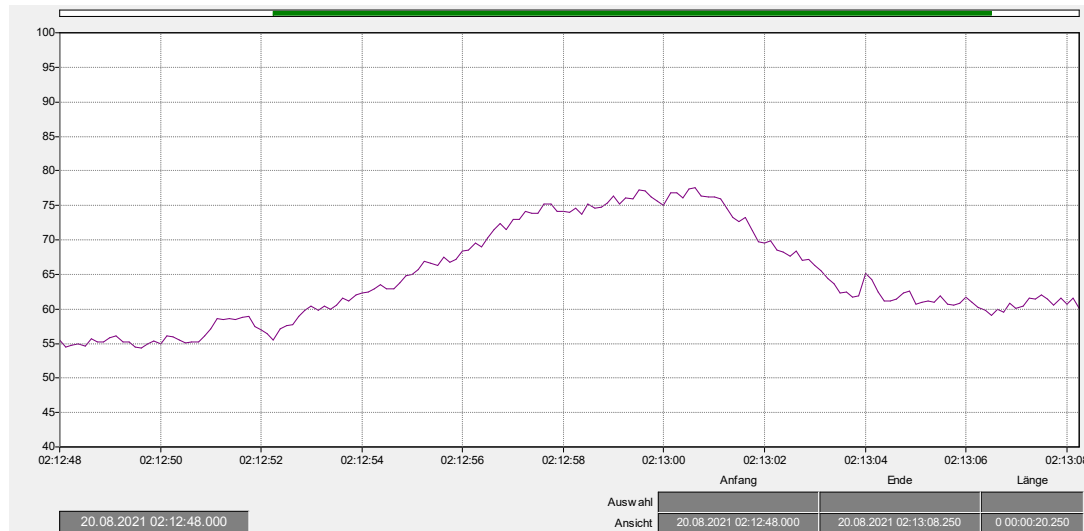
$v = 20 \text{ km/h}$



$v = 35 \text{ km/h}$

BE 62 + BE 65 (FORCHBAHN)

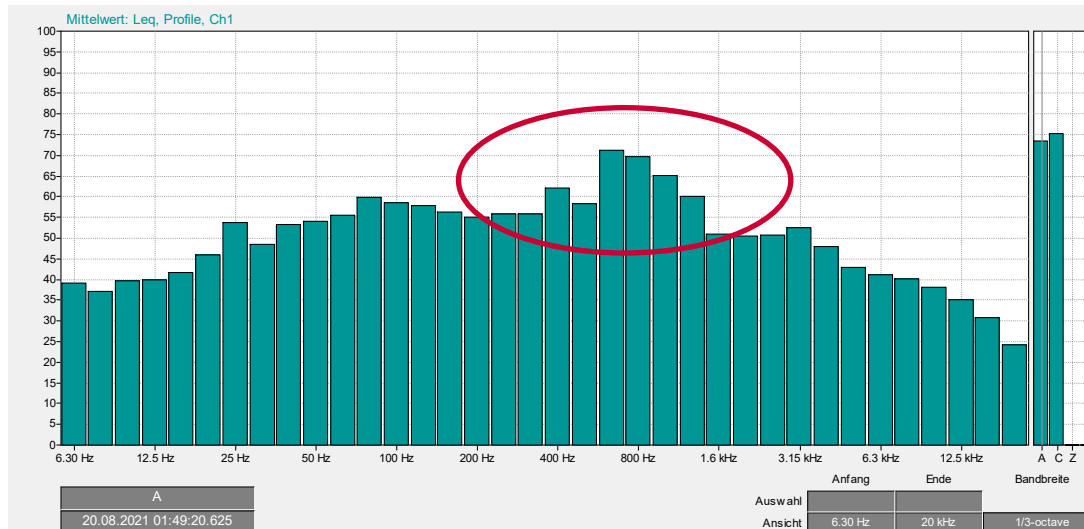
Typischer Pegel-Zeit-Verlauf einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



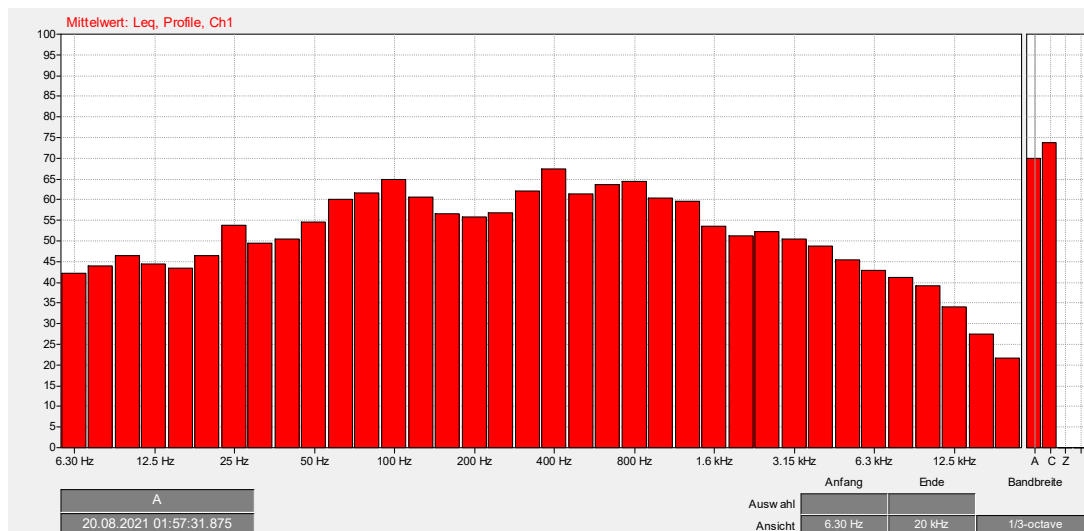
$v = 50 \text{ km/h}$

BE 62 + BE 65 (FORCHBAHN)

Typische Terzbandanalyse einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



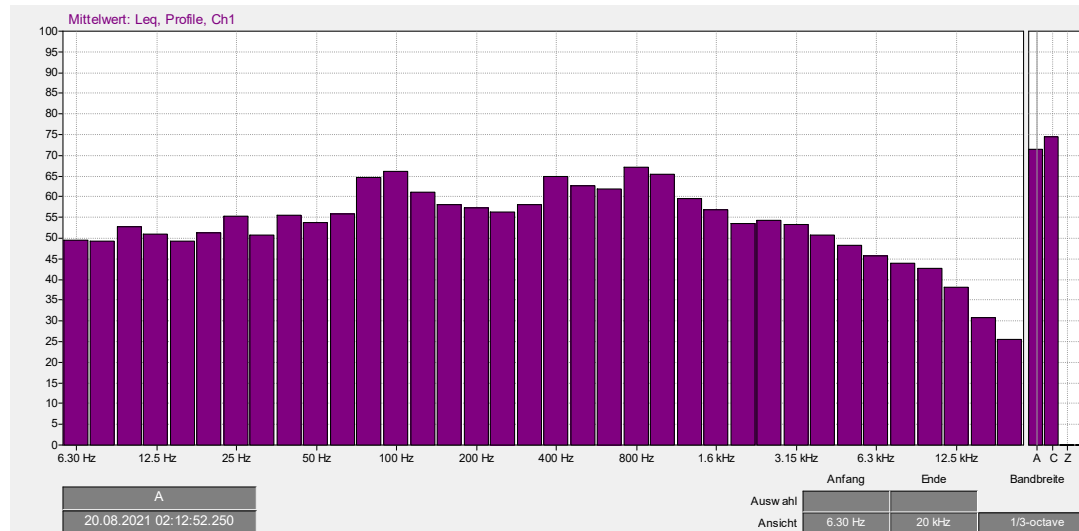
$v = 20 \text{ km/h}$



$v = 35 \text{ km/h}$

BE 62 + BE 65 (FORCHBAHN)

Typische Terzbandanalyse einer Vorbeifahrt am Mikrofon 3



$v = 50 \text{ km/h}$

BE 62 + BE 65 (FORCHBAHN)

Messresultate (Mittelwert aus 12 Messungen)

	v = 20 km/h	v = 35 km/h	v = 50 km/h
Schallexpositionspegel LE in 7.5 m Abstand	87.0 dBA	82.4 dBA	83.0 dBA
Auf 1 m ab Gleisachse umgerechneter Quellenwert Lqr 1 Tramdurchfahrt / Std.	60.2 dBA	55.6 dBA	56.2 dBA

Kommentar:

Der Expositionspegel bei 20 km/h ist um 4 – 5 dB höher als bei 35 bzw. 50 km/h. Dies ist dem «hellen Sirren» bei 20 km/h geschuldet.

3. IMPLEMENTATION SONROAD18

AUSWERTUNG EMPA

sonROAD18 Modellparameter, Empa-Auswertungen von Kurt Heutschi

	Ap	Bp
50	99.3	1.0
63	104.2	5.4
80	127.6	41.1
100	129.9	43.3
125	126.6	43.0
160	118.9	35.0
200	118.9	42.2
250	113.6	38.4
315	109.0	31.7
400	114.4	38.7
500	113.2	36.7
630	113.3	38.0
800	113.5	42.9
1000	113.0	40.4
1250	107.7	38.7
1600	104.0	38.5
2000	103.4	38.7
2500	100.8	35.4
3150	96.3	23.5
4000	91.3	9.0
5000	95.2	5.6
6300	94.4	21.7
8000	95.3	28.5
10000	93.6	30.1

Tabelle links
Flexity ZH

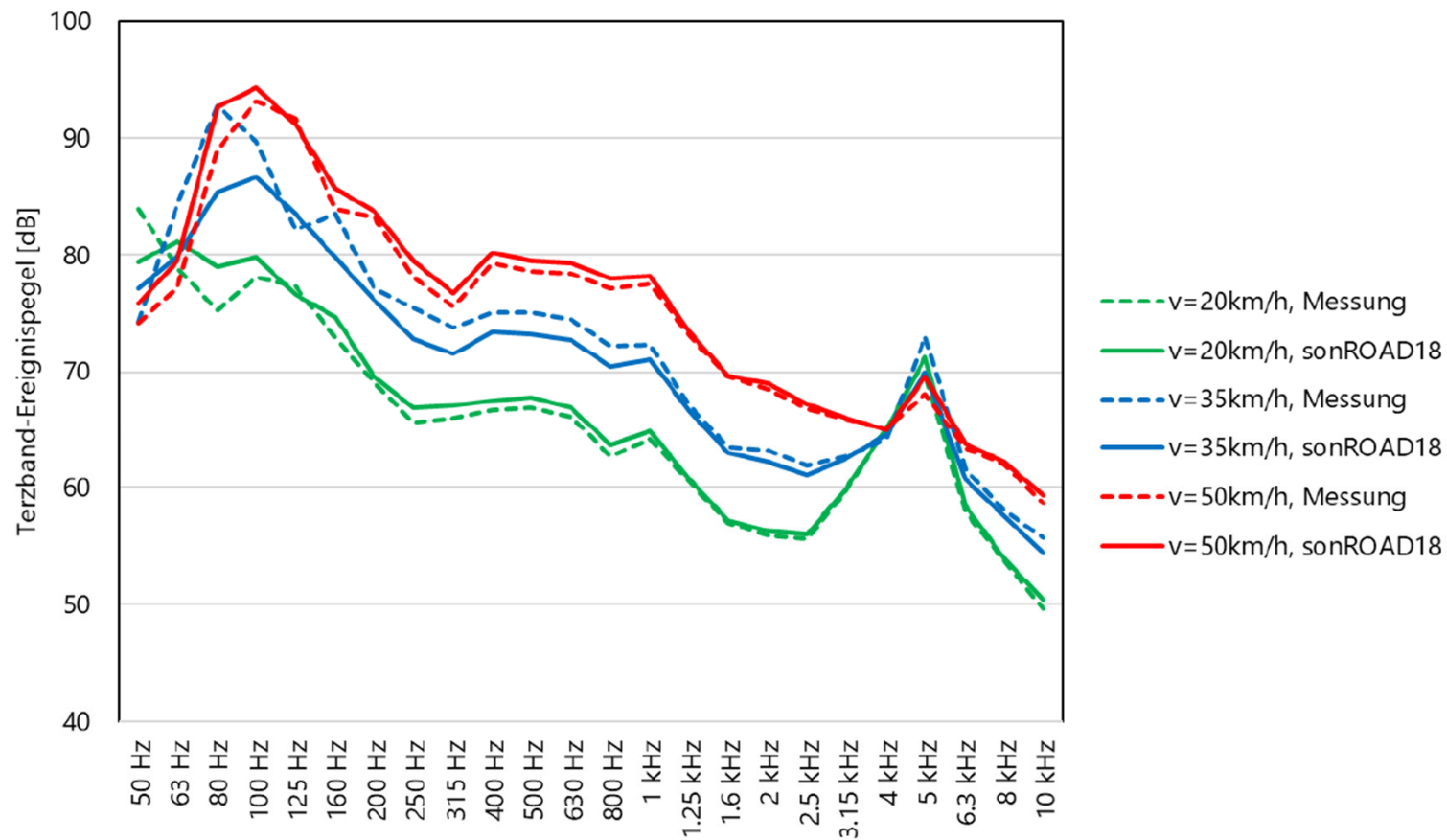
Ar = -99.9
Br = 0

Tabelle rechts
Forchbahn

	Ap	Bp
50	90.4	6.0
63	95.3	8.0
80	107.6	21.9
100	111.4	28.5
125	102.2	15.2
160	97.1	11.9
200	97.5	13.8
250	95.3	10.0
315	101.0	14.4
400	105.9	15.2
500	102.4	16.0
630	99.8	1.0
800	101.7	1.0
1000	100.2	5.9
1250	95.1	3.8
1600	96.4	17.3
2000	91.7	12.2
2500	92.6	13.5
3150	89.8	7.9
4000	90.2	12.4
5000	90.0	18.2
6300	87.6	15.2
8000	87.2	13.6
10000	87.5	14.4

AUSWERTUNG EMPA

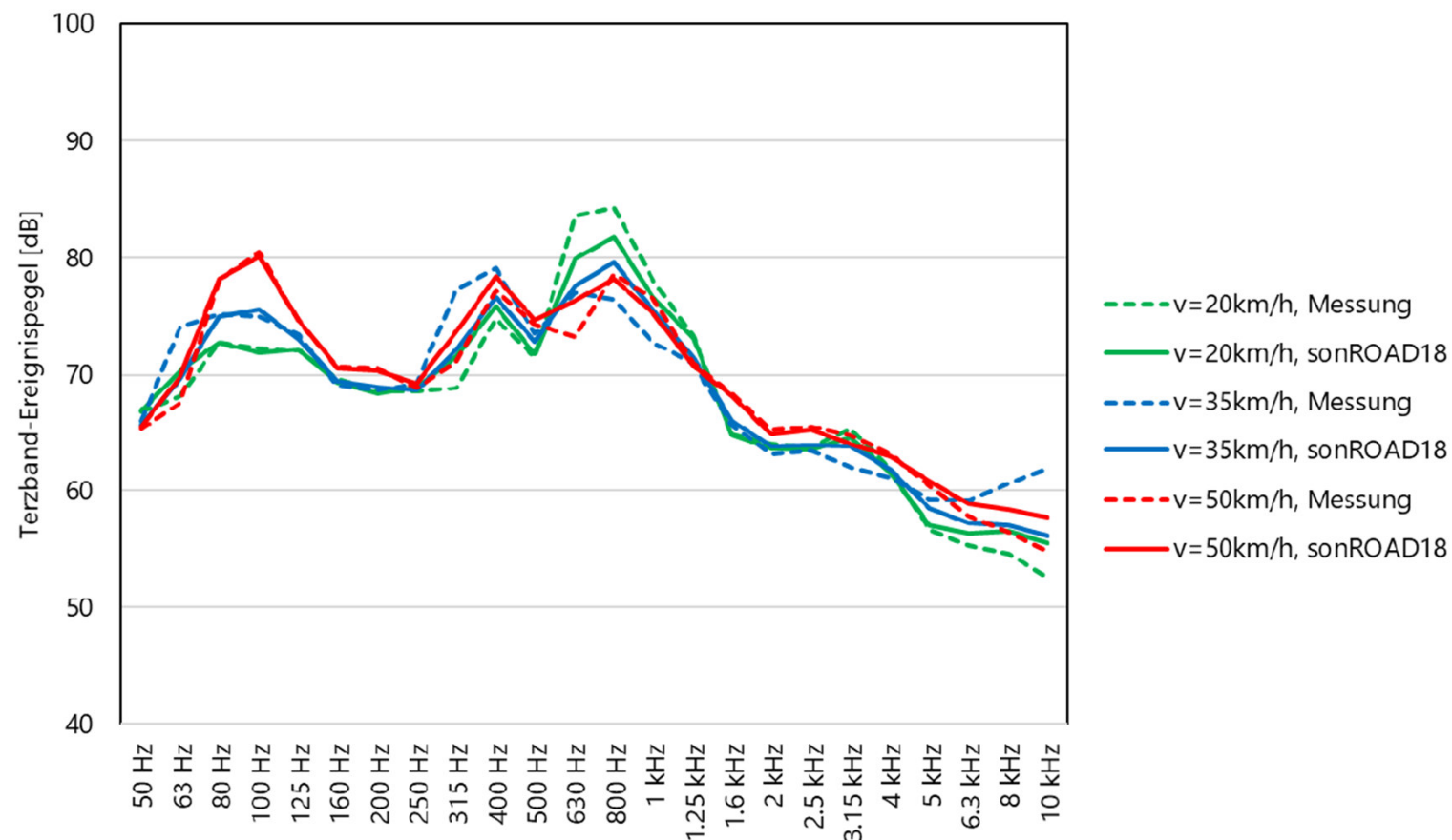
Vergleich Messung und Modell sonROAD18



Flexity ZH (4005)

AUSWERTUNG EMPA

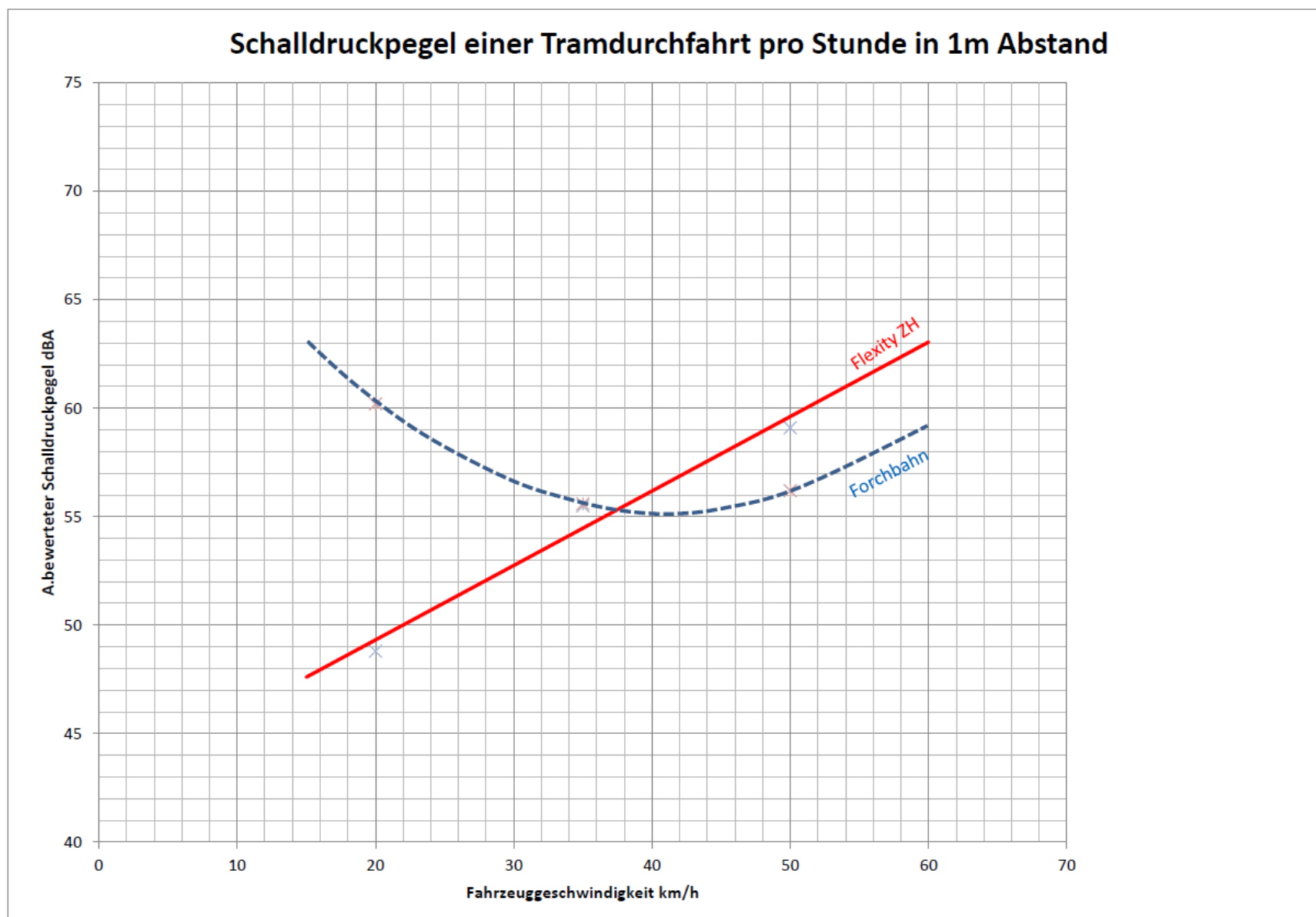
Vergleich Messung und Modell sonROAD18



Forchbahn (Be 62 + Be 65)

4. VERGLEICH MIT FRÜHEREN MESSKAMPAGNEN

VERGLEICH FLEXITY / FORCHBAHN



VERGLEICH FLEXITY / FORCHBAHN

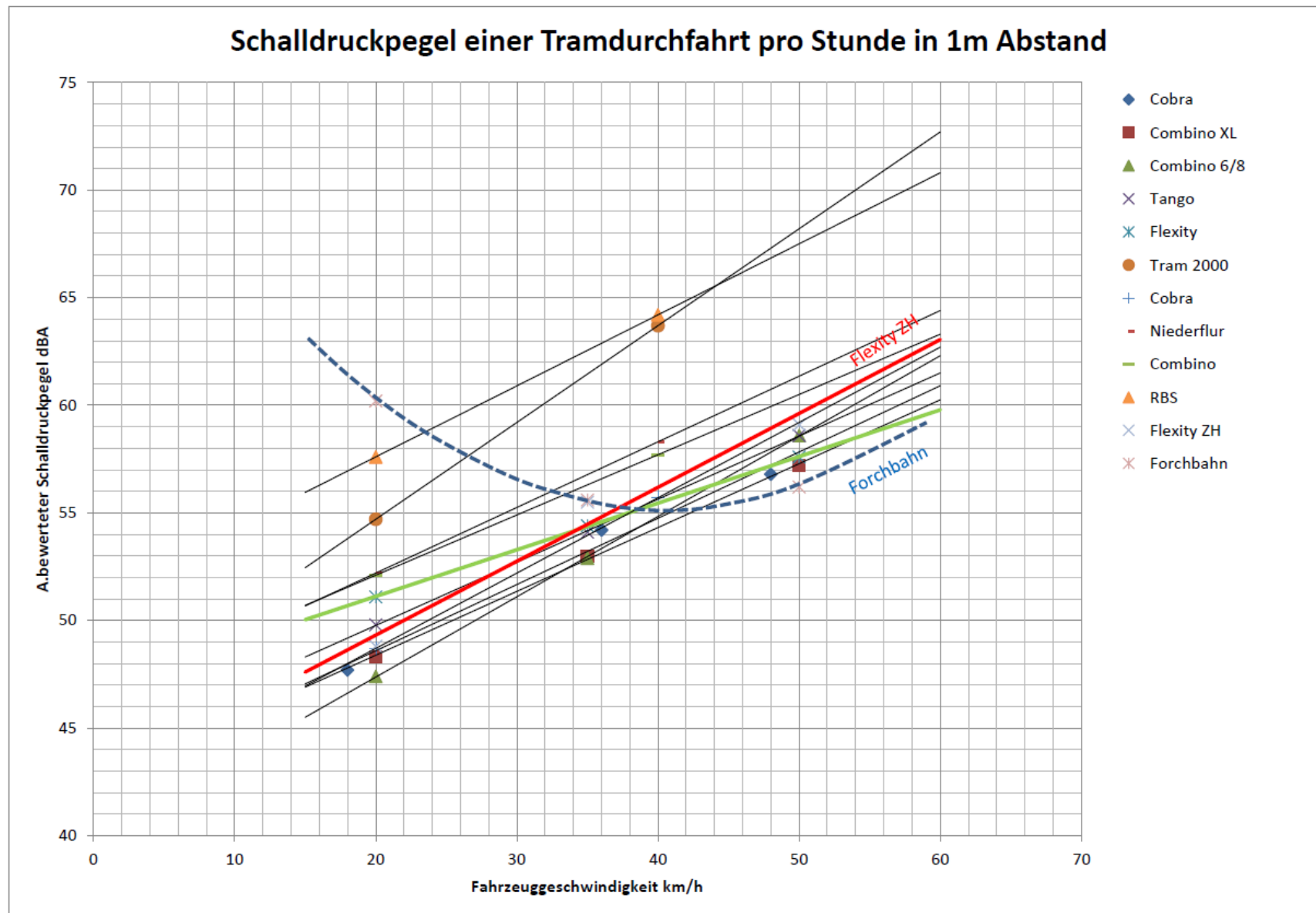
Trendlinien

	Trendlinie (linear)
Flexity ZH (4005)	$L_{qr} = 0.343 * (v) + 42.5$
Forchbahn (Be 62 + Be 65)	keine lineare Trendlinie

Die Messwerte für die Forchbahn verhalten sich konträr zu den bisherigen Untersuchungsergebnisse, so dass der vorhandene Emissionsansatz nicht angewandt werden kann.

Emissionsansatz für Flexity ZH: $L_{qr} = (0.3 * A1) * (v) [km/h] + A2 [dBA]$
mit $A1 = 1.0$ und $A2 = 44$

VERGLEICH ALLE TRAMS



VERGLEICH ALLE TRAMS

Fazit

- Forchbahn passt überhaupt nicht in die Messreihen
- Flexity ZH weist im Vergleich zur Flexity BVB bei 20 km/h um rund 2 dBA tiefere Emissionen auf, während bei 35 und 50 km/h höhere Emissionen gemessen wurden
- Flexity ZH passt bezüglich der «Steilheit der Trendlinien» sehr gut in die bisherigen Messungen