

GROLIMUND + PARTNER AG  
UMWELTECHNIK + BAUPHYSIK + INFORMATIK  
ENTFELDERSTRASSE 41 + 5000 AARAU  
T 062 836 30 30 + F 062 836 30 39  
WWW.GROLIMUND-PARTNER.CH  
AARAU@GROLIMUND-PARTNER.CH



## POTENTIAL VON TEMPOREDUKTIONEN INNERORTS ALS LÄRMSCHUTZMASSNAHME STUDIE

---

Ihre Kontaktperson: Christoph Ammann  
christoph.ammann@grolimund-partner.ch  
T 062 836 30 31

J:\A4398\BERICHT\A4398\_Tempo30\_AG\_ZH\_20150116.docx

Stadt Zürich (UGZ) und Kanton Aargau (ATB)  
A4398  
16. Januar 2015

## **IMPRESSUM**

### **PROJEKTTEAM**

- + Tina Saurer und Jonas Knöpfel (CPX)
- + Bruno Alberti, Stefan Stauber, Björn Probst, Jürg Schaffer und Christoph Ammann (SPB und Bericht)

### **FACHEXPORTE**

- + Dr. Kurt Heutschi (Abteilung Akustik/Lärminderung, EMPA)

### **BEGLEITGRUPPE**

- + Stefanie Rüttener (Leiterin Fachstelle Lärmschutz & NIS, Umwelt- und Gesundheitsschutz Stadt Zürich)
- + Hanspeter Gloor (Leiter Sektion Lärmsanierung, Kanton Aargau)

---

<b>Version</b>	<b>Datum</b>	<b>Autoren</b>	<b>Beschrieb</b>	<b>Verteiler</b>
V 1.0	16.01.15	ca	definitive Version	EMPA , UGZ, ATB

---

## INHALT

<b>1.</b>	<b>AUSGANGSLAGE + ZIEL</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>MESSKONZEPT</b>	<b>4</b>
2.1	Grundkonzept	4
2.2	Aargauer Messkampagne: Messungen in Zofingen und Dottikon	5
2.3	Zürcher Messkampagne: Messungen in Kappel und in Ottenbach	5
<b>3.</b>	<b>RESULTATE</b>	<b>6</b>
3.1	Auswertung	6
3.2	Aargauer Messkampagne	7
3.3	Zürcher Messkampagne	12
<b>4.</b>	<b>VARIABILITÄT DER VORBEIFAHRTEN</b>	<b>15</b>
4.1	Einfluss des Fahrzeugtyps auf die Lärmemissionen	15
4.2	Drehzahlanalyse	16
<b>5.</b>	<b>UNSICHERHEITEN</b>	<b>17</b>
5.1	Messgenauigkeit SPB	17
5.2	Messgenauigkeit CPX	17
5.3	Auswertung	17
5.4	Messanordnung	18
<b>6.</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>18</b>
	<b>ANHANG</b>	
1	Messungen Zofingen	
2	Messungen Dottikon	
3	Messungen Ottenbach	
4	Messungen Kappel am Albis	

## 1. AUSGANGSLAGE + ZIEL

Im Rahmen von Strassenlärmsanierungsprojekten, die durch die Kantone und Gemeinden zu erarbeiten sind, sind in erster Priorität Massnahmen an der Quelle zu ergreifen. Auf den Fahrzeugpark wie auch auf die Reifenwahl können die Strassenhalter keinen Einfluss nehmen, auch wenn hier beträchtliches Lärmreduktions-Potential vorhanden ist. Auch die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Verkehrsmenge mit relevanten Auswirkungen auf den Lärmpegel sind oft gering. Als weitere Massnahmen an der Quelle stehen daher lärmarme Beläge und Geschwindigkeitsreduktionen im Fokus. Während zu den lärmarmen Belägen bereits aussagekräftige Forschungsprojekte bestehen oder am Laufen sind, sind bisher systematische Untersuchungen bei tiefen Geschwindigkeiten ausgeblieben. Bekannt ist, dass das am weitesten verbreitete empirische Strassenverkehrslärmmodell (StL86+) auf Messungen mit Geschwindigkeiten oberhalb von 45 km/h beruht und den tiefen Geschwindigkeitsbereich nicht adäquat abzubilden vermag. Wohl bestehen diverse Messungen auch bei tiefen Geschwindigkeiten, es handelt sich aber vornehmlich um Einzelmessungen.

Die vorliegende gemeinsame Untersuchung des Kantons Aargau und der Stadt Zürich soll diese Lücke nun schliessen und belastbare Resultate liefern. Aus diesem Grund wurde das ganze Projekt von der Erstellung des Pflichtenhefts, über die Datenerhebung und Auswertung bis hin zur Verfassung des Berichts durch die EMPA begleitet.

Das Ziel der Studie ist, das Potential von tiefen Geschwindigkeiten innerorts als Lärmschutzmassnahme zu untersuchen. Neben der Fahrgeschwindigkeit sollen insbesondere auch der Einfluss der Strassenbeläge (unterschiedliche Verteilung von Roll- und Motorengeräusch) und der Einfluss der Steigung untersucht werden.

## 2. MESSKONZEPT

Für beide Auftraggeber wurde jeweils eine Messkampagne durchgeführt. Die beiden Kampagnen sind leicht unterschiedlich. Zuerst wurden die Aargauer Messungen durchgeführt. Auf Grund der Erfahrungen der ersten Messungen und zusätzlichen Fragestellungen der Stadt Zürich wurde das Messkonzept der zweiten Kampagne leicht angepasst.

### 2.1 GRUNDKONZEPT

Die Lärmmessungen sollen es erlauben, die wichtigsten Faktoren, die bei tiefen Geschwindigkeiten wirken, getrennt voneinander zu untersuchen. Der Einfluss der effektiv gefahrenen Geschwindigkeit und des Belages soll so weit als möglich von den Faktoren Fahrverhalten und Fahrzeug (Motorisierung und Reifen) getrennt werden.

Zu diesem Zweck wurden Vorbeifahrtsmessungen mit der Statistical-Pass-By (SPB) Methode<sup>1</sup> durchgeführt. Mit diesen Messungen können die Emissionen von einzelnen Vorbeifahrten im Nahbereich erfasst werden. Da für jede Vorbeifahrt die Geschwindigkeit erhoben wird, können später die Einflüsse der effektiv gefahrenen Geschwindigkeit getrennt von den übrigen Einflüssen (Fahrweise und Fahrzeug) untersucht werden.

---

<sup>1</sup> Leitfaden Strassenlärm, Anhang 1b: Technisches Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen, BAFU, 2006

Auf den untersuchten Strassenabschnitten wurden zudem CPX-Messungen mit verschiedenen Geschwindigkeiten durchgeführt. Mit der CPX-Methode wird das Rollgeräusch messtechnisch erfasst. Das CPX-Messverfahren ist im Anhang 5 detailliert dokumentiert.

Basierend auf den Vorbeifahrtsmessungen sollen zudem Grundlagen für verbesserte Emissionsprognosen bei Geschwindigkeiten unter 50 km/h ermittelt werden, die später auch in die Weiterentwicklung des Emissionsansatzes des EMPA-Modells SonRoad+ einfließen sollen.

## 2.2 AARGAUER MESSKAMPAGNE: MESSUNGEN IN ZOFINGEN UND DOTTIKON

Die Aargauer Messkampagne fokussierte sich auf den Einfluss von lärmarmen Belägen und von verschiedenen Fahrzeugtypen.

An zwei Strassen wurden je zwei SPB Messungen auf verschiedenen lärmarmen Belägen durchgeführt: SDA4 und ACMR8 Typ Aargau (erhöhter Hohlraumgehalt). Die Vorbeifahrten wurden mit 8 Fahrzeugtypen durchgeführt. Die Fahrzeuge wurden bewusst sehr unterschiedlich zusammengestellt: Sportwagen, Hybrid, Elektro, Kleinwagen, Diesel, Benzin. Auf beiden Strassen wurden die gleichen Fahrzeuge verwendet. In Dottikon kam ein Fahrzeug weniger zum Einsatz (ohne Tesla S).

Mit jedem Fahrzeug wurde mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Schritte von 5 km/h) an den Messpunkten vorbeigefahren. Während den Messungen wurde die Kantonsstrasse für den übrigen Verkehr gesperrt. Alle Fahrer wurden über den Zweck der Messungen informiert und wählten bewusst eine ruhige Fahrweise.

Während der Messungen in Zofingen wurde je eine CPX Messung mit der Fahrgeschwindigkeit von 30 und 50 km/h durchgeführt. In Dottikon erfolgten keine zusätzlichen CPX Messungen. Die Beläge im Bereich der Messstandorte wurden alle in den letzten Jahren (Alter jünger als 5 Jahre) eingebaut und befanden sich in gutem Zustand (Akustisch und Belagstechnisch).

## 2.3 ZÜRCHER MESSKAMPAGNE: MESSUNGEN IN KAPPEL UND IN OTTENBACH

Die Zürcher Messkampagne lehnte sich an die Aargauer Messkampagne an. Anstelle von lärmarmen Belägen wurden die Messungen an ACMR8-Belägen (Standard-Belag in der Stadt Zürich ohne erhöhten Hohlraumgehalt) durchgeführt.

Für die Messungen wurde die Geschwindigkeit temporär auf 30 km/h signalisiert. Dank dieser Signalisation konnten Vorbeifahrten des regulären Verkehrs erfasst werden. Der vermessene Fahrzeuggpark war dementsprechend breit. Die Fahrerinnen und Fahrer waren nicht instruiert.

Ein Messstandort (Ottenbach) wurde bewusst in einer Steigungssituation festgelegt. Mit je einer Messung pro Fahrtrichtung sollte der Einfluss der Steigung genauer untersucht werden.

Zusätzlich wurden an beiden Standorten CPX Messungen mit einer Fahrgeschwindigkeit von 30, 40 und 50 km/h durchgeführt. Die Beläge im Bereich der Messstandorte befanden sich aus rein optischer Sicht in gutem Zustand und waren 3 Jahre alt in Ottenbach und 8 Jahre alt in Kappel.

Die SPB-Messung wurde für die Zürcher Messungen "seitenverkehrt" aufgestellt. Normalerweise werden die Mikrofone in Fahrtrichtung rechts aufgestellt. Damit die Ausbreitungsverhältnisse möglichst unabhängig von der Topographie und der Bepflanzung des Strassenrandes sind, wurden die Mikrofone in Fahrtrichtung links aufgestellt (Ausbreitung über Strassenbelag). In Kappel musste auf Grund der Strassenbreite (8m) der Abstand der Leq Messung von 5m auf 6.5m erhöht werden.

## 3. RESULTATE

### 3.1 AUSWERTUNG

Sämtliche Messungen wurden nach dem gleichen Prinzip ausgewertet.

In einem ersten Schritt wurden die Vorbeifahrten in die Geschwindigkeitsklassen 23-27 km/h, 28-32 km/h, 33-37 km/h, 38-42 km/h, 43-47 km/h und 48-52 km/h aufgeteilt. Für sämtliche Klassen wurde ein durchschnittlicher Pegel für  $L_{eq}$  und  $L_{max}$  berechnet (energetische Mittelung). Die  $L_{eq}$  Messungen wurden auf eine Distanz von einem Meter und eine Dauer von einer Stunde umgerechnet.

In einem zweiten Schritt wurden die durchschnittlichen Pegel der Geschwindigkeitsklasse 48-52 km/h als Referenzwert definiert ( $L_{eq}$  und  $L_{max}$ ). Alle Pegel werden anschliessend als Differenz zum Referenzwert ausgewiesen. Die ausgewiesenen Werte entsprechen somit immer der potentiellen Wirkung einer von Tempo 50 abweichenden Geschwindigkeit. Somit können die Resultate der verschiedenen Standorte einfach miteinander verglichen werden.

Die auffälligen Vorbeifahrten ("Ausreisser") wurden einzeln überprüft. Falls eindeutige Fehler erkennbar waren (unrealistische Dauer, stark asymmetrischer Pegelverlauf etc.) wurden die Vorbeifahrten entfernt. Die übrigen Ausreisser wurden bei der Auswertung berücksichtigt.

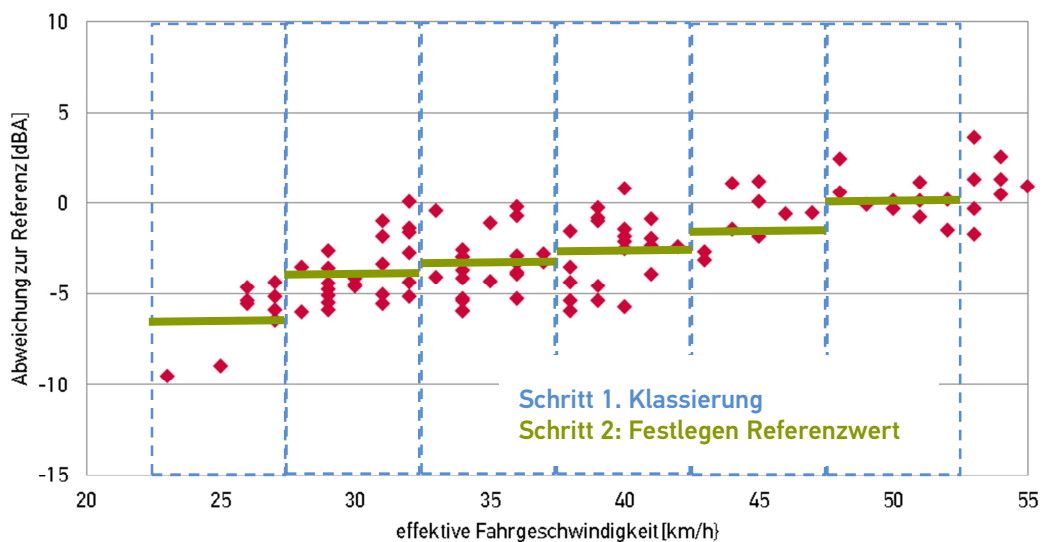


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Auswertung

Die CPX Resultate werden analog zu den Vorbeifahrtsmessungen ausgewertet. Der Rohwert der Messungen bei Tempo 50 (nur Geschwindigkeitskorrektur) wird jeweils als Referenzwert definiert. Die Resultate bei Tempo 40 und Tempo 30 werden als Differenz zum Referenzwert ausgewiesen. Die CPX Werte zeigen das Potential der Emissionsreduktion der Reifengeräusch-Quelle, wie das im  $L_{max}$  sichtbar wird.

Als Zusatzinformation wird für jede erfasste Vorbeifahrt die akustische Steilheit des Pegelverlaufes ermittelt. Die akustische Steilheit ist folgendermassen definiert:

$$\text{Steilheit} = 10 \text{ dB} / (t_0 - t_1)$$

$t_0$ := Zeitpunkt Maximum Pegel  $L_{\max}$ ,  $t_1$ := Zeitpunkt  $L_{\max}$  10 dB kleiner als Maximum

Das Messsystem NorPassByNoise wertet bei jeder Vorbeifahrt die Pegelspanne von 10 dBA unter dem maximalen Vorbeifahrtspegel aus. Für jede dieser Vorbeifahrt wird die Dauer erfasst. Für die Berechnung der Steilheit wurde immer die halbe Vorbeifahrtsdauer als  $(t_0 - t_1)$  verwendet. Dieser Wert entspricht nicht genau der Definition der akustischen Steilheit. Die Vereinfachung hat jedoch nur einen kleinen Einfluss auf die Resultate. Bei stetigen Vorbeifahrten und einer symmetrischen Abstrahlung ist der Pegelschrieb in etwa symmetrisch und die Annahme  $(t_0 - t_1) = \text{Dauer}/2$  damit vertretbar.

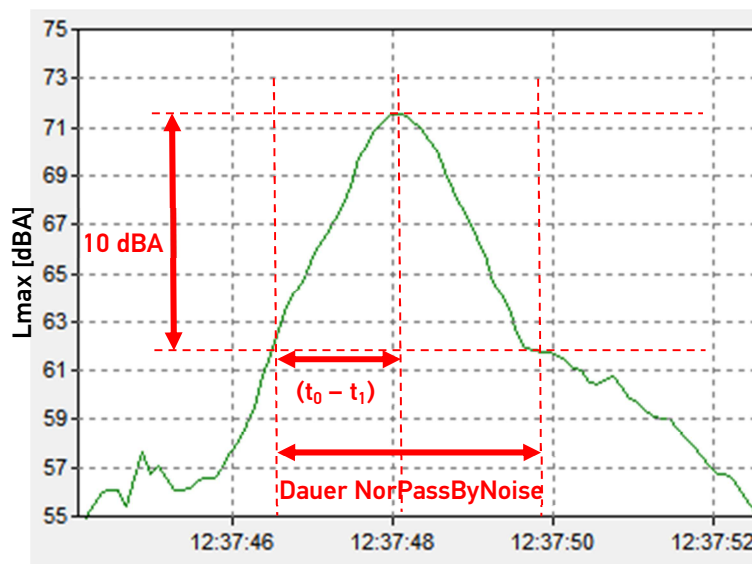


Abbildung 2: Ermittlung der akustischen Steilheit

Während den Messungen wurden PWs und LKWs erfasst. Auf Grund der deutlich kleineren Anzahl Vorbeifahrten und den grossen Unterschieden zwischen den einzelnen LKW werden im Folgenden nur die Resultate für PWs ausgewertet und dokumentiert.

### 3.2 AARGAUER MESSKAMPAGNE

In den folgenden Tabellen und Diagrammen sind die Resultate der Messungen in Zofingen und Dottikon auf SDA4 und ACMR8 Belägen zusammengestellt. Im Anhang sind die  $L_{eq}$  und  $L_{\max}$  für die einzelnen Vorbeifahrten dargestellt. Bei den Belägen handelt es sich um unterschiedlich lärmarme Beläge. Der Belagskennwert für PW bei 50 km/h bezüglich STL86+ liegt gemäss den CPX-Messungen bei -4.9 dBA (SDA4c) und -3.9 dBA (SDA4b) für die Beläge in Zofingen und bei -6.9 dBA (SDA4c) und -0.9 dBA (ACMR8) für die Beläge in Dottikon.

**Zofingen, SDA4c**

Geschwindigkeitskategorie (km/h)	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Anzahl Ereignisse	5	11	4	12	10	8
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)	-	-	-	-	-	42.3
mittlere Differenz zur Referenz	-6.4	-4.6	-4.4	-2.6	-1.3	0.0
Standardabweichung Einzelwert	0.7	1.3	0.4	0.6	1.1	1.0
Standardabweichung Mittelwert	0.3	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)	-	-	-	-	-	69.9
mittlere Differenz zur Referenz	-11.0	-8.1	-7.5	-5.2	-3.6	0.0
Standardabweichung Einzelwert	0.1	1.5	0.6	0.9	0.9	2.9
Standardabweichung Mittelwert	0.1	0.5	0.3	0.3	0.3	1.0
CPX* Referenzwert (Rohwert bei v=50)	-	-	-	-	-	87.4
Differenz zu Referenz	-	-7.5	-	-	-	0.0
Steilheit	3.4	4.6	5.4	6.2	6.9	7.5

\* durchschnittliche Werte von gesamtem SDA4 Bereich in Fahrtrichtung Nord

Tabelle 1: Resultate der Messungen auf einem SDA4c in Zofingen (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq, Lmax und CPX in dBA)

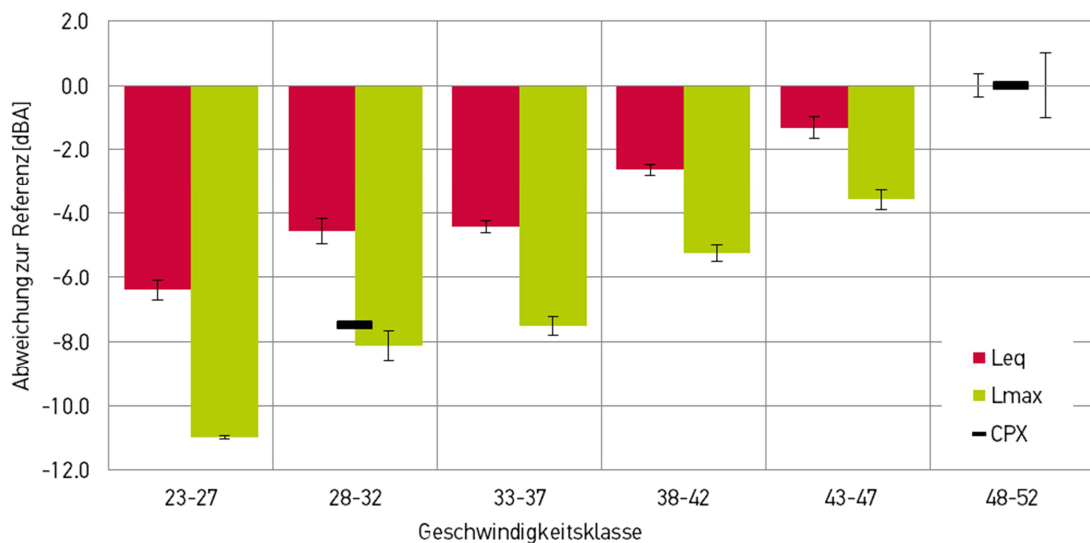


Abbildung 3: Resultate der Messungen auf einem SDA4c in Zofingen (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet)



<b>Zofingen, SDA4b, keine Steigung</b>						
<b>Geschwindigkeitskategorie (km/h)</b>	<b>23-27</b>	<b>28-32</b>	<b>33-37</b>	<b>38-42</b>	<b>43-47</b>	<b>48-52</b>
Anzahl Ereignisse	7	10	7	7	13	7
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)	-	-	-	-	-	41.6
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-6.6</b>	<b>-3.2</b>	<b>-3.4</b>	<b>-1.9</b>	<b>-0.6</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	1.4	1.8	1.1	1.4	1.4	1.3
Standardabweichung Mittelwert	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)	-	-	-	-	-	65.9
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-9.0</b>	<b>-5.4</b>	<b>-5.3</b>	<b>-2.8</b>	<b>-0.8</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	2.0	2.0	1.5	1.5	1.6	1.3
Standardabweichung Mittelwert	0.8	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5
CPX* Referenzwert (Rohwert bei v=50)	-	-	-	-	-	87.4
<b>Differenz zu Referenz</b>	<b>-</b>	<b>-7.5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.0</b>
Steilheit	3.5	3.9	4.8	5.7	6.6	7.3

\* durchschnittliche Werte von gesamtem SDA4 Bereich in Fahrtrichtung Nord

Tabelle 2: Resultate der Messungen auf einem SDA4b in Zofingen (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq, Lmax und CPX in dBA)

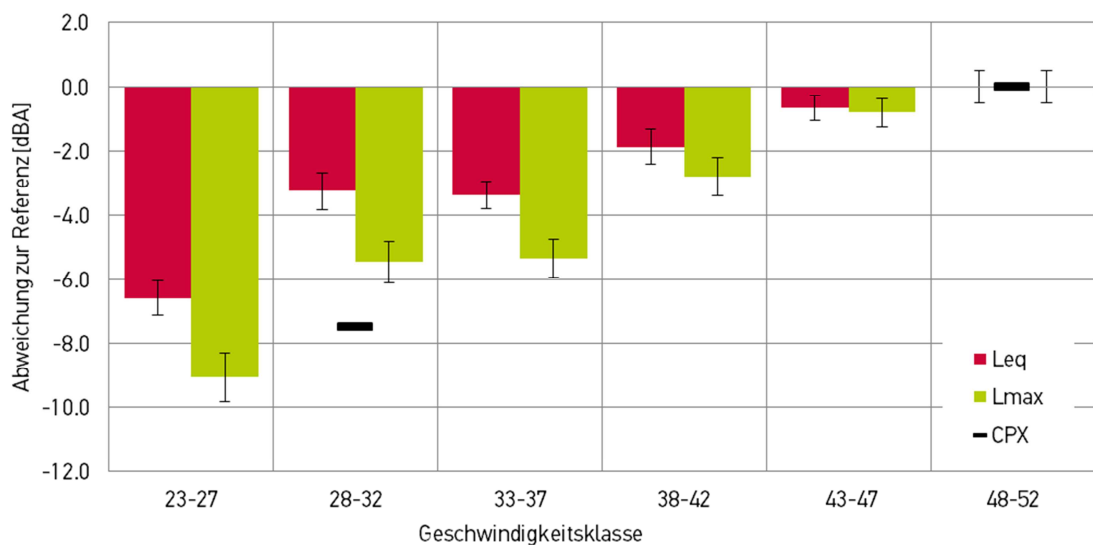


Abbildung 4: Resultate der Messungen auf einem SDA4b in Zofingen (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet)

<b>Dottikon, SDA4c, keine Steigung</b>						
<b>Geschwindigkeitskategorie (km/h)</b>	<b>23-27</b>	<b>28-32</b>	<b>33-37</b>	<b>38-42</b>	<b>43-47</b>	<b>48-52</b>
Anzahl Ereignisse	8	7	9	7	4	10
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)	-	-	-	-	-	39.3
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-4.1</b>	<b>-3.1</b>	<b>-2.5</b>	<b>-2.4</b>	<b>-1.0</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	2.1	2.4	2.2	0.7	0.5	1.2
Standardabweichung Mittelwert	0.7	0.9	0.7	0.2	0.3	0.4
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)	-	-	-	-	-	63.7
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-6.7</b>	<b>-5.4</b>	<b>-4.4</b>	<b>-3.2</b>	<b>-1.6</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	2.1	2.3	2.7	1.0	1.3	1.3
Standardabweichung Mittelwert	0.7	0.9	0.9	0.4	0.6	0.4
Steilheit	3.7	4.0	4.3	5.3	6.3	7.0

Tabelle 3: Resultate der Messungen auf einem SDA4c in Dottikon (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA)

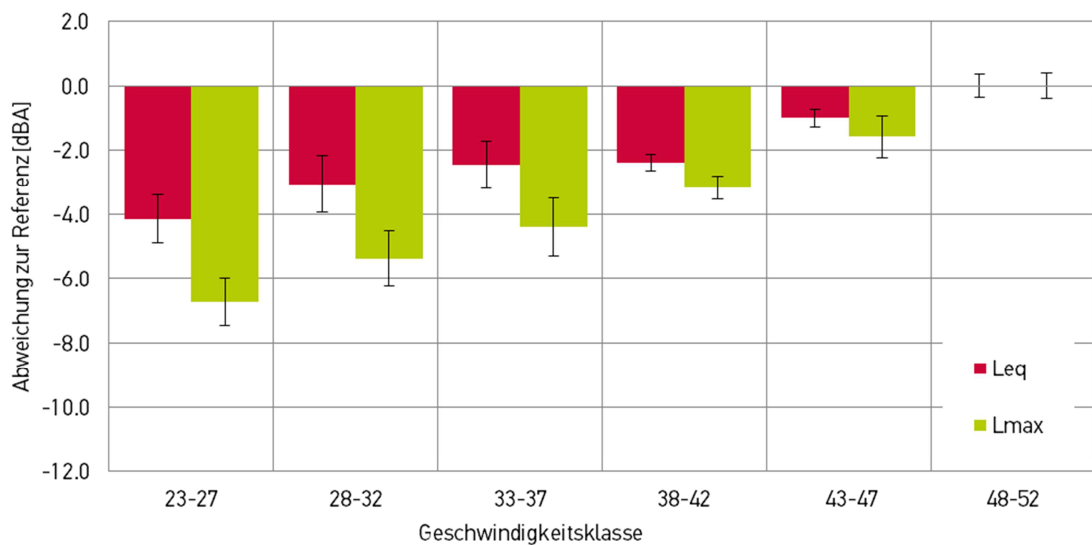


Abbildung 5: Resultate der Messungen auf einem SDA4c in Dottikon (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet)

Dottikon, ACMR8 Typ Aargau (SDA8b), keine Steigung						
Geschwindigkeitskategorie (km/h)	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Anzahl Ereignisse	6	8	6	9	6	5
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)						43.5
mittlere Differenz zur Referenz	-5.7	-2.7	-3.2	-1.5	0.1	0.0
Standardabweichung Einzelwert	1.6	2.8	1.0	1.1	1.1	0.8
Standardabweichung Mittelwert	0.6	1.0	0.4	0.4	0.4	0.4
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)						70.1
mittlere Differenz zur Referenz	-7.9	-4.9	-4.4	-2.2	0.1	0.0
Standardabweichung Einzelwert	1.6	2.6	1.1	1.2	1.5	1.1
Standardabweichung Mittelwert	0.7	0.9	0.5	0.4	0.6	0.5
Steilheit	3.2	3.5	3.8	4.4	5.5	5.2

Tabelle 4: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 Typ Aargau (SDA8b) in Dottikon (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA)

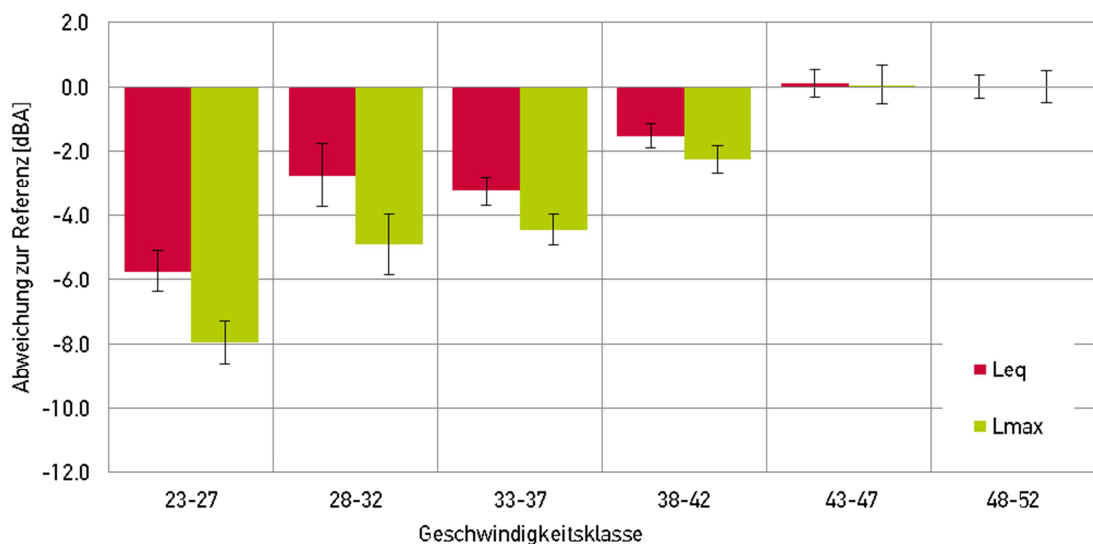


Abbildung 6: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Dottikon (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet)

Bemerkungen:

- + Die Lärmemissionen nehmen auf lärmarmen Belägen mit abnehmender Geschwindigkeit deutlich ab.
- + Die Lärmreduktion auf den SDA4 Belägen und auf dem ACMR8 Belag ist vergleichbar.
- + Die Wirkung von lärmarmen Belägen und Temporeduktionen kann somit innerorts kombiniert werden.
- + Die CPX Resultate in Zofingen sind in Fahrtrichtung Nord auf beiden SDA4-Abschnitten fast identisch.

### 3.3 ZÜRCHER MESSKAMPAGNE

In den folgenden Tabellen sind die Resultate der Messungen in Ottenbach und Kappel am Albis zusammengestellt. Im Anhang sind die Leq und Lmax für die einzelnen Vorbeifahrten dargestellt. Bei den Belägen handelt es sich nicht um lärmarme Beläge, sondern um Standardbeläge wie sie in der Stadt Zürich mehrheitlich eingebaut sind. Der Belagskennwert für PW bei 50 km/h bezüglich STL86+ liegt gemäss den CPX-Messungen für den Belag in Ottenbach bei -3.0 dBA und für den Belag in Kappel bei -1.8 dBA.

#### Ottenbach, ACMR8, 5% Steigung, aufwärts

Geschwindigkeitskategorie (km/h)	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Anzahl Ereignisse	2	20	30	27	13	11
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)	-	-	-	-	-	44.2
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-5.7</b>	<b>-3.3</b>	<b>-3.5</b>	<b>-1.9</b>	<b>0.5</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	2.5	1.9	1.5	1.8	2.4	1.8
Standardabweichung Mittelwert	1.8	0.4	0.3	0.3	0.7	0.5
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)	-	-	-	-	-	68.1
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-8.6</b>	<b>-4.5</b>	<b>-5.2</b>	<b>-3.1</b>	<b>0.2</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	1.4	2.6	1.7	2.8	3.0	2.5
Standardabweichung Mittelwert	1.0	0.6	0.3	0.5	0.8	0.8
CPX Referenzwert (Rohwert bei v=50)	-	-	-	-	-	89.6
<b>Differenz zu Referenz</b>	<b>-</b>	<b>-7.6</b>	<b>-</b>	<b>-3.3</b>	<b>-</b>	<b>0.0</b>
Steilheit	3.0	3.7	3.8	4.2	5.1	5.4

Tabelle 5: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Ottenbach in Fahrtrichtung aufwärts (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq, Lmax und CPX in dBA)

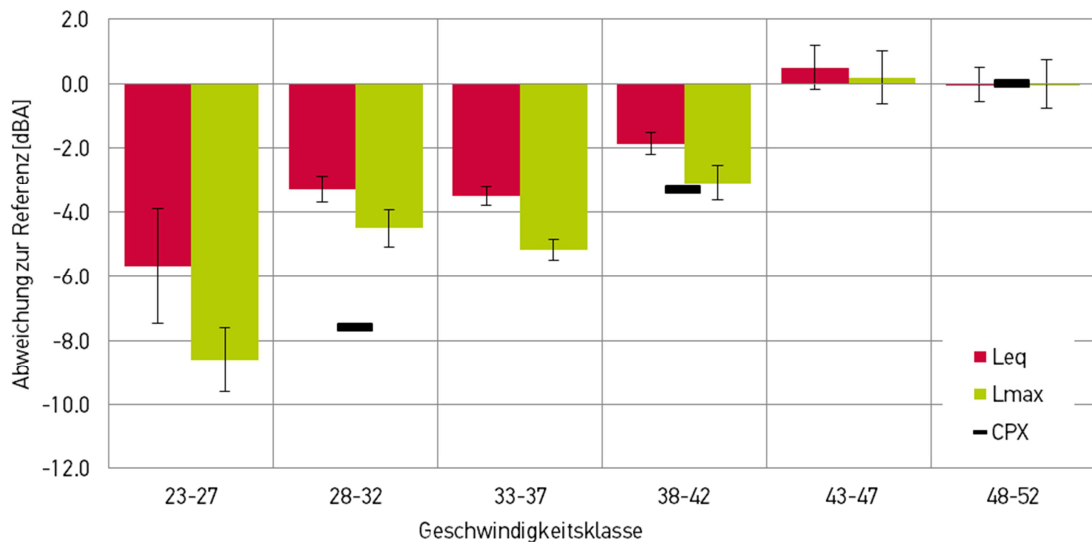


Abbildung 7: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Ottenbach in Fahrtrichtung aufwärts (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet).

**Ottenbach, ACMR8, 5% Steigung, abwärts**

Geschwindigkeitskategorie (km/h)	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Anzahl Ereignisse	4	39	37	20	4	7
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)	-	-	-	-	-	43.8
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-6.7</b>	<b>-4.2</b>	<b>-2.7</b>	<b>-1.7</b>	<b>-1.3</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	0.7	1.6	1.5	1.3	1.7	1.2
Standardabweichung Mittelwert	0.3	0.3	0.3	0.3	0.9	0.4
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)	-	-	-	-	-	68.7
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-9.3</b>	<b>-6.1</b>	<b>-3.7</b>	<b>-2.2</b>	<b>-0.9</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	0.9	1.8	2.0	1.6	2.3	1.4
Standardabweichung Mittelwert	0.5	0.3	0.3	0.4	1.1	0.6
CPX Referenzwert (Rohwert bei v=50)	-	-	-	-	-	89.4
<b>Differenz zu Referenz</b>	<b>-</b>	<b>-7.7</b>	<b>-</b>	<b>-3.3</b>	<b>-</b>	<b>0.0</b>
Steilheit	2.9	3.4	4.1	4.9	5.7	5.5

Tabelle 6: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Ottenbach in Fahrtrichtung abwärts (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq, Lmax und CPX in dBA)

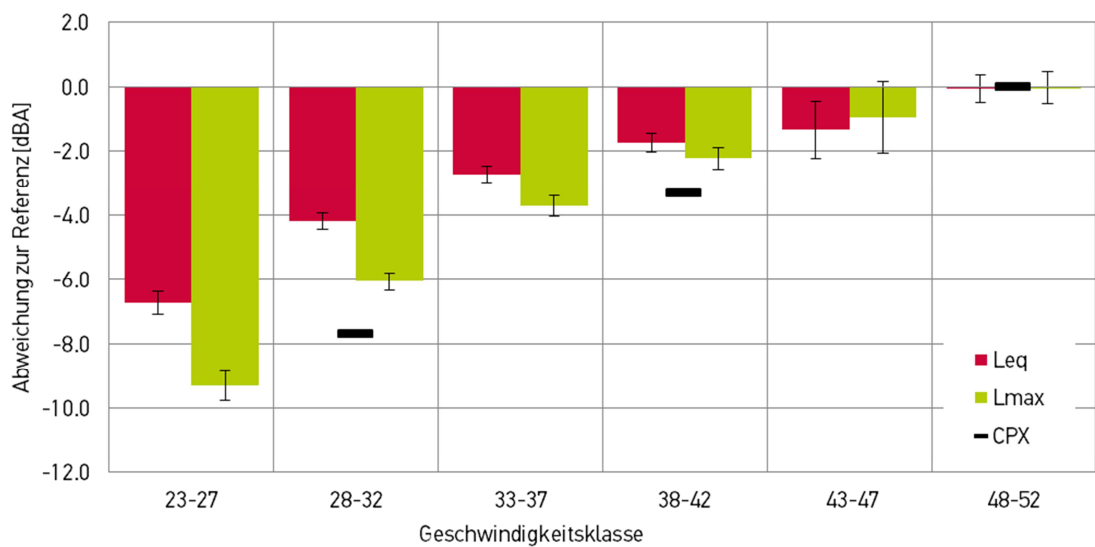


Abbildung 8: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Ottenbach in Fahrtrichtung abwärts (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet).

**Kappel am Albis, ACMR8, keine Steigung**

Geschwindigkeitskategorie (km/h)	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Anzahl Ereignisse	10	35	47	26	15	13
Leq Referenzwert (1Fz/h 1m)	-	-	-	-	-	46.3
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-6.0</b>	<b>-3.6</b>	<b>-3.0</b>	<b>-2.4</b>	<b>-0.5</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	1.7	2.1	2.2	1.8	1.5	1.3
Standardabweichung Mittelwert	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
Lmax Referenzwert (Lmax in 7.5m)	-	-	-	-	-	70.7
<b>mittlere Differenz zur Referenz</b>	<b>-8.4</b>	<b>-5.2</b>	<b>-4.5</b>	<b>-3.0</b>	<b>-0.7</b>	<b>0.0</b>
Standardabweichung Einzelwert	1.7	2.6	2.6	2.2	1.8	2.0
Standardabweichung Mittelwert	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
CPX Referenzwert (Rohwert bei v=50)	-	-	-	-	-	90.7
<b>Differenz zu Referenz</b>	<b>-</b>	<b>-8.0</b>	<b>-</b>	<b>-3.3</b>	<b>-</b>	<b>0.0</b>
Steilheit		2.6	3.2	3.4	4.2	4.8

Tabelle 7: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Kappel am Albis (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq, Lmax und CPX in dBA)

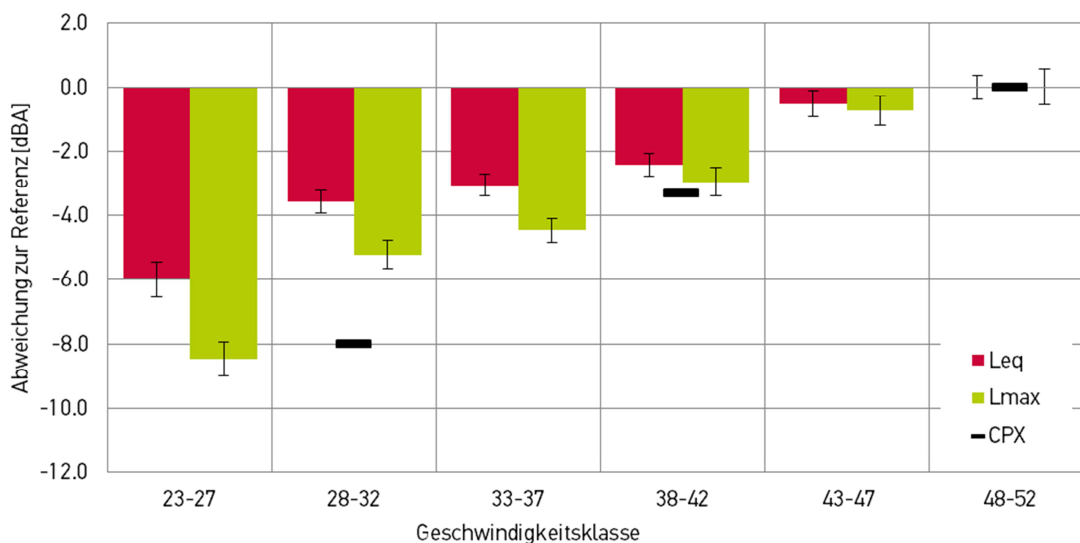


Abbildung 9: Resultate der Messungen auf einem ACMR8 in Kappel (als Fehlerindikator ist die Standardabweichung des Mittelwertes eingezeichnet).

**Bemerkungen**

- + Die Lärmemissionen nehmen auch auf Standardbelägen mit abnehmender Geschwindigkeit bei allen 3 Messungen ab.
- + Die Steigung hat einen Einfluss auf die Reduktion der Emissionen. Die Lärmemissionen der Aufwärtsfahrten nehmen ca. 1 dBA weniger stark ab als bei den Abwärtsfahrten. Dies ist auf die höhere Motorenleistung zurückzuführen.
- + Die Abnahme der Emissionswerte verläuft bei den CPX Werten und den Lmax Werten bei Tempo 40 den Erwartungen entsprechend sehr ähnlich (Abnahme ca. 3 dBA). Bei Tempo 30 nehmen die CPX Werte stärker ab. Grund dafür ist vermutlich der grössere Einfluss des Motorengeräusches bei Tempo 30 auf den Lmax (CPX erfasst nur das Rollgeräusch).

## 4. VARIABILITÄT DER VORBEIFAHRTEN

An sämtlichen Messstellen konnte eine deutliche Reduktion der Lärmemissionen bei tiefen Geschwindigkeiten festgestellt werden. Wenn man die einzelnen Vorbeifahrten etwas genauer analysiert, fällt auf, dass die Lärmemissionen recht stark variieren. Um die Ursachen dieser Variabilität besser zu verstehen, wurden die folgenden Punkte etwas genauer untersucht.

### 4.1 EINFLUSS DES FAHRZEUGTYPIS AUF DIE LÄRMEMISSIONEN

Die Aargauer Messungen wurden immer mit den gleichen 8 Fahrzeugen durchgeführt (ca. 1 Vorbeifahrt pro Fahrzeug und Geschwindigkeitsklasse). Diese Versuchsanordnung erlaubt es, die Resultate pro Fahrzeug getrennt zu analysieren. Da jedes Fahrzeug einen festen Fahrer hatte und die Fahrer alle versuchten, möglichst ruhig zu fahren, kann man annehmen, dass die Fahrweise ähnlich resp. vergleichbar war. Die unterschiedlichen Pegel werden somit in erster Linie durch das Fahrzeug verursacht.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse am Messpunkt SDA4b in Zofingen zusammengestellt. Die Auswertung der restlichen Messungen ist im Anhang ersichtlich.

Zofingen, SDA4b							
Geschwindigkeitskategorie (km/h)	Reifenbreite	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Leq	Referenzwert (1Fz/h 1m)						41.6
	mittlere Differenz zur Referenz						
	Gesamt	-6.6	-3.2	-3.4	-1.9	-0.6	0.0
	Subaru 205 mm	-	-1.9	-2.6	-	-0.4	-
	Opel 215 mm	-6.8	-4.3	-3.1	-1.5	-	0.5
	Ford Mustang V8 245 mm	-5.2	-3.3	-2.8	-1.6	-0.6	0.8
	BMW Cabrio 205 mm	-	-2.0	-	0.2	0.8	-
	Tesla S 245 mm	-6.1	-3.6	-2.7	-1.2	-0.7	0.8
	Opel Ampera 215 mm	-8.4	-5.3	-4.8	-3.6	-1.8	-
	VW Polo 165 mm	-8.6	-5.9	-5.4	-3.8	-1.9	-1.3
	Honda Civic Hybrid 195 mm	-6.0	-4.5	-	-2.9	-2.2	-0.9
Lmax	Referenzwert (Lmax in 7.5m)						65.9
	mittlere Differenz zur Referenz						
	Gesamt	-9.0	-5.4	-5.3	-2.8	-0.8	0.0
	Subaru 205 mm	-	-4.6	-4.0	-	-0.4	-
	Opel 215 mm	-10.5	-6.3	-6.1	-2.6	-	-0.2
	Ford Mustang V8 245 mm	-8.0	-4.7	-4.7	-2.6	-1.3	1.1
	BMW Cabrio 205 mm	-	-3.8	-	-0.2	0.5	-
	Tesla S 245 mm	-9.3	-5.7	-4.0	-2.6	-1.4	1.0
	Opel Ampera 215 mm	-11.1	-7.7	-6.4	-4.9	-2.0	-
	VW Polo 165 mm	-11.7	-8.4	-6.8	-4.2	-1.5	-0.4
	Honda Civic Hybrid 195 mm	-7.4	-6.0	-	-4.0	-2.4	-0.8

Tabelle 8: Resultate der Messungen auf einem SDA4b in Zofingen (alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA)

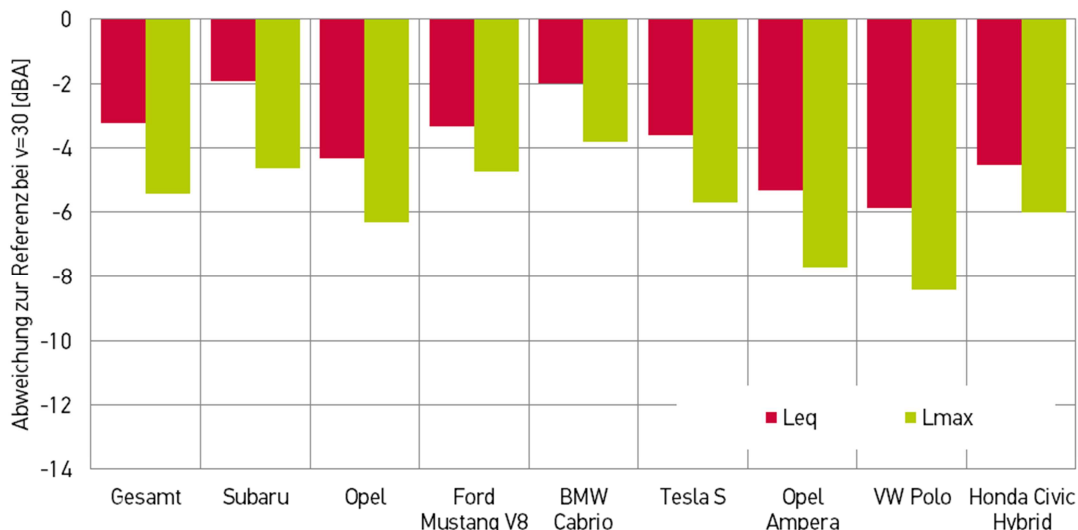


Abbildung 10: Abweichung zur Referenz in der Geschwindigkeitsklasse 28-32 km/h pro Fahrzeug auf dem SDA4b Belag in Zofingen

#### Bemerkungen zu den einzelnen Fahrzeugtypen:

- + Es gibt recht grosse Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrzeugtypen. Die Lärmemissionen nehmen mit abnehmender Geschwindigkeit jedoch bei allen Fahrzeugen ab.
- + Erstaunlicherweise werden die Lärmemissionen auch bei tiefen Geschwindigkeiten nicht nur durch das Motorengeräusch dominiert. Der rein elektrisch betriebene Tesla (kein Motorengeräusch hörbar) erzeugt bei Tempo 30 grössere Lärmemissionen als rund die Hälfte der anderen Fahrzeuge. Offenbar haben die unterschiedlichen Reifen einen grossen Einfluss auf die Lärmemissionen.
- + Die Fahrzeuge mit den tiefsten Emissionswerten sind VW Polo und der Opel Ampera. Der VW Polo hat die schmalsten Reifen sämtlicher Testfahrzeuge (165 mm) und einen kleinen Motor. Der Opel Ampera hat einen Elektromotor (kein Motorengeräusch hörbar) und normal breite Reifen (215 mm).

## 4.2 DREHZAHLANALYSE

Die einzelnen Vorbeifahrten der Zürcher Messungen wurden detailliert beschrieben (Marke, Model, Farbe) und mit Video aufgezeichnet. An Hand der Audio-Aufnahmen und der detaillierten Beschreibung ist es möglich, nachträglich die Drehzahl des Motors zu ermitteln.

Die Abteilung Akustik/Lärminderung der EMPA hat für einzelne Vorbeifahrten diese Drehzahlanalyse vorgenommen. Pro Messung wurden zwei Vorbeifahrten bei Tempo 30 ausgewertet: eine laute Vorbeifahrt und eine durchschnittlich laute Vorbeifahrt. Auf eine Analyse bei ganz leisen Vorbeifahrten wurde verzichtet, weil es bei diesen Ereignissen sehr schwierig ist, die Zündfrequenz des Motors zu isolieren.



Messung	Leq (1Fz/h 1m)	Lmax (7.5m)	Tempo [km/h]	Zündfre- quenz [Hz]	Zylinder	Zylinderzahl- ermittlung	Drehzahl [U/min]	Beschreibung Fahrzeug
Kappel	45.9	69.1	33	59.6	4	geschätzt	1788	Subaru
	41.8	65.3	30	55.0	3	sicher	2200	Nissan Micra
Ottenbach aufwärts	43.6	69.1	32	45.4	4	geschätzt	1362	Audi
	40.4	63.1	31	53.7	4	geschätzt	1611	Skoda Roomstar
Ottenbach abwärts	43.0	65.2	29	48.5	4	geschätzt	1455	Skoda
	38.6	61.0	31	46.9	4	sicher	1407	Volvo V40 T4 Zylinder Benzin, 1596 cm3

Tabelle 9: Drehzahlanalyse von 6 ausgewählten Fahrzeugen (Leq und Lmax in dBA)

Bemerkung:

- + Es ist keine eindeutige Beziehung zwischen dem Vorbeifahrtspegel und der Drehzahl zu erkennen.
- + Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Fahrzeugeigenschaften (Reifen und Motorentyp) einen grösseren Einfluss auf die Emissionspegel haben als das Fahrverhalten (Drehzahl).

## 5. UNSICHERHEITEN

### 5.1 MESSGENAUIGKEIT SPB

Die Lärm-messungen wurden mit Schallpegelmessgeräten der Klasse 1 (Norsonic 121) durchgeführt.

Die Geschwindigkeitsmessung wurde mit Verkehrsstatistikgeräten Sierzega SR3 durchgeführt. Die Genauigkeit der Geräte beträgt gemäss Hersteller  $\pm 3\%$ .

### 5.2 MESSGENAUIGKEIT CPX

Die CPX Resultate werden durch die effektive Fahrgeschwindigkeit, die Temperatur, die Shorehärte (Gummihärte) und die unterschiedliche Abnutzung der Reifen beeinflusst.

Die Auswirkungen der Temporeduktion in Kapitel 3 wurden auf Grund der Rohdaten ausgewertet. Es wurden nur Geschwindigkeitskorrekturen eingesetzt.

Für die Ermittlung der Belagskennwerte (siehe CPX Protokolle im Anhang) werden die Rohdaten mit dem Umrechnungsmodell CPX zu STL86+ (basierend auf 67 Wertepaaren, September 2011) umgerechnet. Für PW (N1) liegt das 95% Vertrauensintervall der Umrechnung zwischen  $\pm 0.2$  bis  $\pm 0.8$  dBA. Es wurden zudem die Einflüsse von Temperatur, effektiver Geschwindigkeit und Shorehärte korrigiert.

### 5.3 AUSWERTUNG

Für die Auswertung wurden die einzelnen Vorbeifahrten in Geschwindigkeitsklassen von 5 km/h eingeteilt und anschliessend wurden Mittelwerte pro Geschwindigkeitsklasse ermittelt. Die Geschwindigkeitsverteilung der einzelnen Vorbeifahrten innerhalb der Klassen ist unterschiedlich. Insbesondere die auffälligen Ereignisse sind somit nicht gleichmässig über die Klassen verteilt.

Die Standardabweichung des Mittelwertes ist in den meisten Geschwindigkeitsklassen kleiner oder gleich 0.5 dBA. In den Geschwindigkeitsklassen mit einer grösseren Standardabweichung des Mit-

telwertes könnte die Prognosegenauigkeit des Mittelwertes durch die Erhebung zusätzlicher Ereignisse verbessert werden werden.

## 5.4 MESSANORDNUNG

Die gewählte Messanordnung hat weitgehend stetige Einzelvorbeifahrten von PW erfasst. Stop-and-Go-Geräusche auf Grund von Hindernissen (Verengungen, Erhöhungen, Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern) und alle übrigen Fahrzeugtypen (Lieferwagen, Motorräder, Busse und LKW) wurden bewusst nicht untersucht.

## 6. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Lärmmessungen bei tiefen Geschwindigkeiten zeigen, dass das Lärminderungspotential erheblich ist.

Unabhängig von den Belagstypen reduzieren sich beispielsweise die Lärmemissionen bei 30 km/h gegenüber 50 km/h deutlich. Die Reduktion des Mittelungspegels liegt zwischen 2.7 dBA und 4.6 dBA. Die Reduktion des mittleren Maximalpegels beträgt zwischen 4.5 dBA und 8.1 dBA.

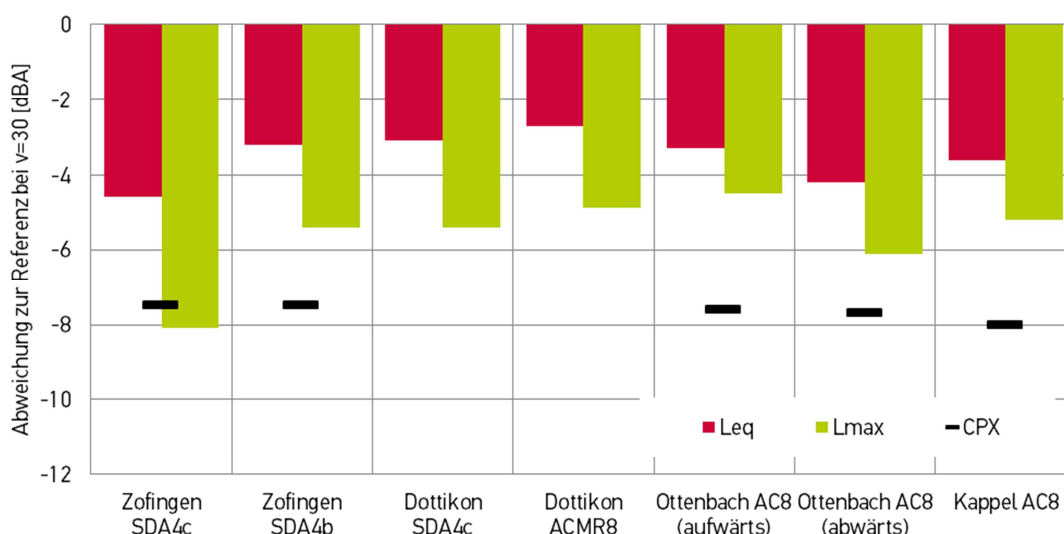


Abbildung 11: Die mittlere Abweichung zum Referenzwert für die Geschwindigkeitsklasse 28-32 km/h

Die Messungen in Ottenbach haben gezeigt, dass die Lärmemissionen auch im Steigungsbereich (5%) deutlich reduziert werden können. Die Reduktion in der Aufwärtsfahrtrichtung ist erwartungsgemäss kleiner (grösserer Einfluss des Motorengeräuschs) als in der Abwärtsfahrtrichtung und ist gegenüber der Abwärtsfahrtrichtung um rund 1dB reduziert. Die Reduktion ist mit -3.3/-4.5 dBA (Leq/Lmax) aber immer noch gross.

Bei sämtlichen Messungen hat der Lmax-Wert stärker abgenommen als der Leq-Wert. Während der Nachtperiode wird die Störwirkung des Strassenlärms nicht nur durch den Mittelungspegel (Leq) sondern vor allem durch den Maximalpegel (Lmax) der einzelnen Vorbeifahrten bestimmt. Bei einer Geschwindigkeit von beispielsweise 30 km/h während der Nachtperiode können somit die störenden Maximalpegel gegenüber einer Geschwindigkeit von 50 km/h deutlich reduziert werden.

Eine eindeutige Beziehung zwischen dem Vorbeifahrtpegel und der Drehzahl war nicht zu erkennen, weder bei horizontaler Vorbeifahrt noch bei der Auf- oder Abwärtsvorbeifahrt auf der mit 5 % geneigten Strasse in Ottenbach. Die Ergebnisse der Messungen mit reellem Fahrzeugmix und Fahrverhalten in Kappel und Ottenbach deuten darauf hin, dass die Fahrzeugeigenschaften (Reifen, Motorentyp) einen grösseren Einfluss auf den Emissionspegel haben als das Fahrverhalten (Drehzahl resp. Gangwahl). Die Aargauer Messungen zeigen die grossen Emissionsschwankungen pro Fahrzeugtyp bei gleichartigem Fahrverhalten.

Die Wirkung einer Temporeduktion unter 50 km/h konnte auch bei lärmarmen Belägen (SDA4) aufgezeigt werden. Somit kann die Wirkung eines lärmarmen Belags und die Wirkung einer Temporeduktion unter 50 km/h kumuliert werden.

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Vorbeifahrtmessungen lässt sich nun das Potential von Geschwindigkeitsreduktionen innerorts für Personenwagen bestimmen. In der Praxis wird darauf zu achten sein, dass die erwünschte Geschwindigkeitsreduktion erreicht wird. Erfahrungsgemäss nimmt der Einhaltegrad von tiefen Geschwindigkeiten mit dem Alter und dem Bekanntheitsgrad der Massnahme zu.

Sämtliche Messungen wurden bei gerader und gleichmässiger Fahrt durchgeführt. Der Einfluss der Art der Umsetzung von Verkehrsmassnahmen (örtliche Verengungen, Berliner Kissen etc.) auf die Lärmemissionen war nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Das Forschungsprojekt VSS 2012/214 Lärmwirkung Tempo 30, welches 2014 gestartet wurde, wird verschiedenen umgesetzte Temporeduktionsmassnahmen vertieft untersuchen.

Grolimund + Partner AG

Christoph Ammann



## ANHANG



## 1 MESSUNGEN ZOFINGEN

- 1.1 Messprotokoll SPB
- 1.2 Diagramm der einzelnen Vorbeifahrten
- 1.3 Auswertung pro Fahrzeugtyp
- 1.4 CPX Messprotokolle





**Identifikation**

<b>Projekt</b>	Auftraggeber	ATB Aargau
	Ing. Büro	G+P Aarau
	Projekt-Nr.	A4298
	Verantwortlicher	bal

**Standort**

<b>Ort</b>	Gemeinde	Zofingen	<b>Belag</b>	Typ	SDA4C
<b>Strasse</b>	Name			Kategorie	
	Eigentümer	Kanton Aargau		Einbaujahr	2012
<b>Lage</b>	Koordinaten	236647/638771			
<b>DTV:</b>	Fz/Tag	16060			
<b>Überrollungen seit Einbau:</b>	FZ. in Tausend	14'655			

**Messung**

<b>Messzeit</b>	Datum	05.05.2014	<b>Mikrophon- position</b>	Fzg-Mikr.	Leq	Lmax
	Messzeit	19.00-21.00		Höhe Mikr.	5.0	7.5 [m]
<b>Messung</b>	System	Nor Pass by Noise	<b>Messgeräte</b>	Schallpegelm.	Nor 121	
	Auflösung	0.1s		Seriennr.	29884	
	Bandbreite Frequenzen	20-5000 Hz		Letzte Eichung	Apr 14	
	Parameter	Leq(A) Max(A)		Radargerät	Sierzega	
<b>Bemerkung</b>	z.B. Abweichung von Standardbed.	Es wurde mit einem definierten Fahrzeugmix gemessen.				

**Plan / Foto**



**Identifikation**

<b>Projekt</b>	Auftraggeber	ATB Aargau
	Ing. Büro	G+P Aarau
	Projekt-Nr.	A4398
	Verantwortlicher	Bal

**Standort**

<b>Ort</b>	Gemeinde	Zofingen	<b>Belag</b>	Typ	SDA4B, AC MR 8 Typ
<b>Strasse</b>	Name				Aargau
<b>Lage</b>	Eigentümer	Kanton AG		Einbaujahr	2012
	Koordinaten	236827/638646			
<b>DTV:</b>	Fz/Tag	16060			
<b>Überrollungen</b>	FZ. in				
<b>seit Einbau:</b>	Tausend	14'655			

**Messung**

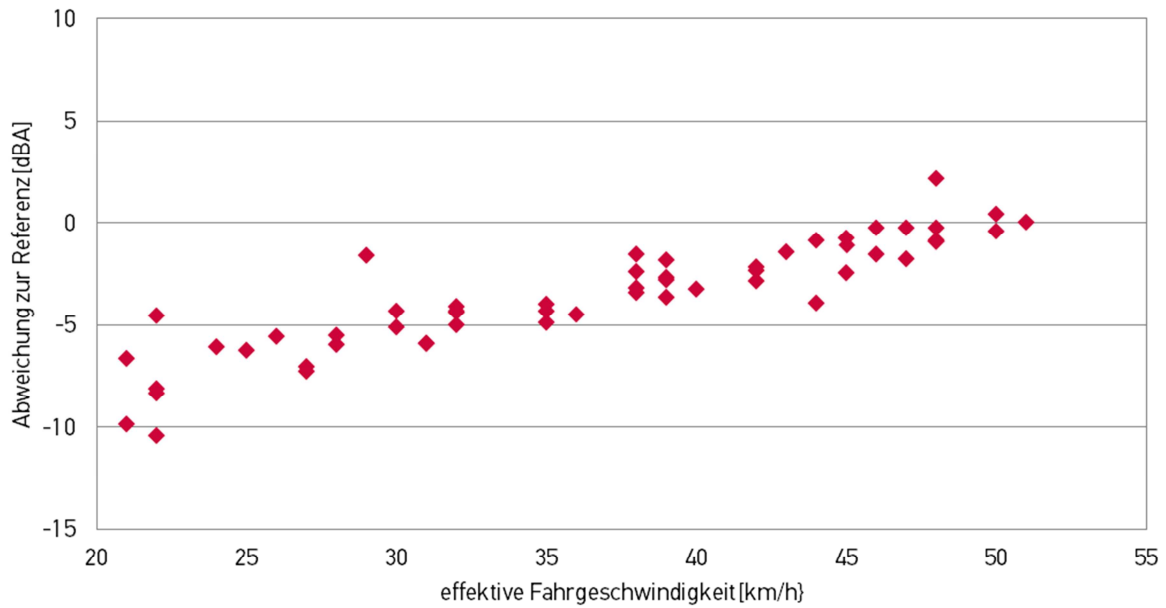
<b>Messzeit</b>	Datum	05.05.2014	<b>Mikrophon- position</b>	Fzg-Mikr.	Leq	Lmax
	Messzeit	19.00-21.00		Höhe Mikr.	5.0	7.5 [m]
<b>Messung</b>	System	Nor Pass by Noise	<b>Messgeräte</b>	Schallpegelm.	Nor 121	
	Auflösung	0.1s		Seriennr.	29884	
	Bandbreite Frequenzen	20-5000 Hz		Letzte Eichung	Apr 14	
	Parameter	Leq(A) Max(A)		Radargerät	Sierzega	
<b>Bemerkung</b>	z.B. Abweichung von Standardbed. Es wurde mit einem definierten Fahrzeugmix gemessen.					

**Plan / Foto**

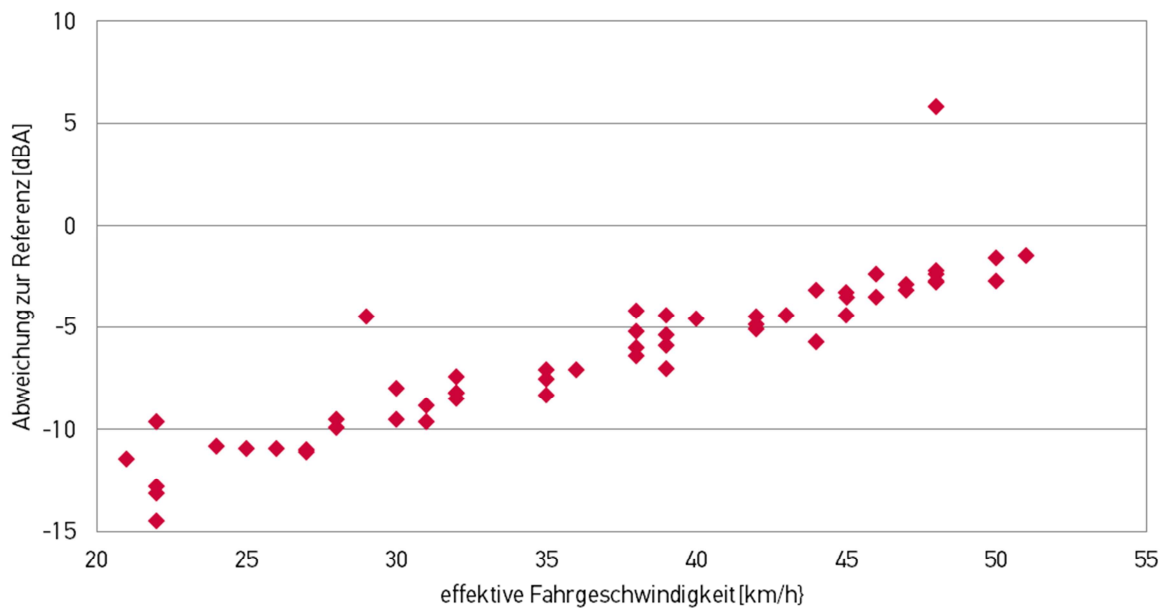


### 1.2.1 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Zofingen auf einem SDA4c

Leq:

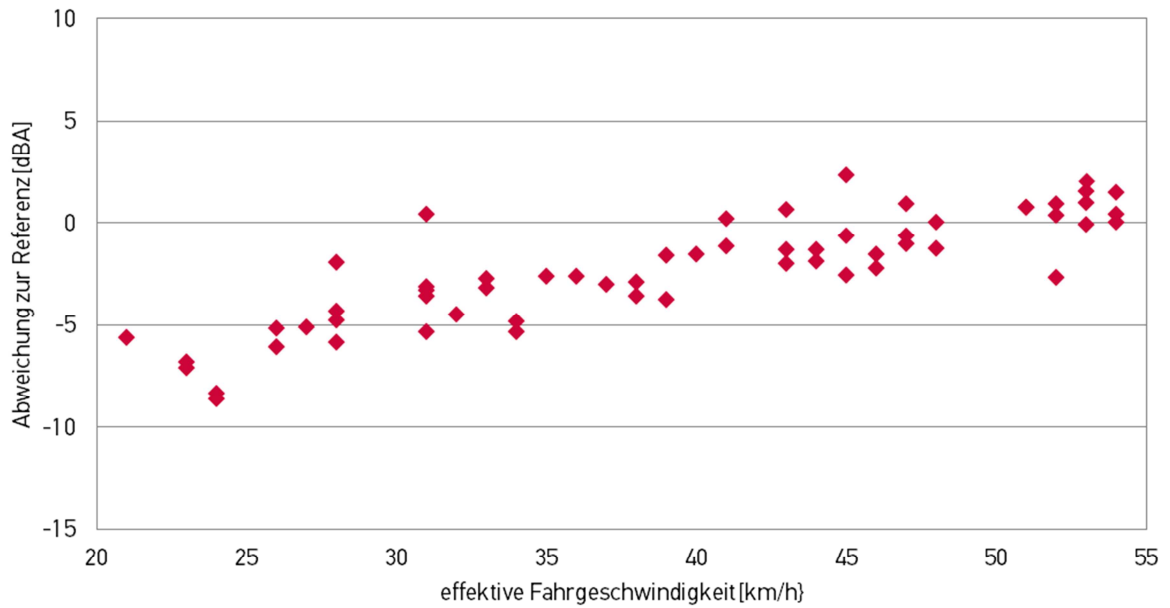


Lmax:

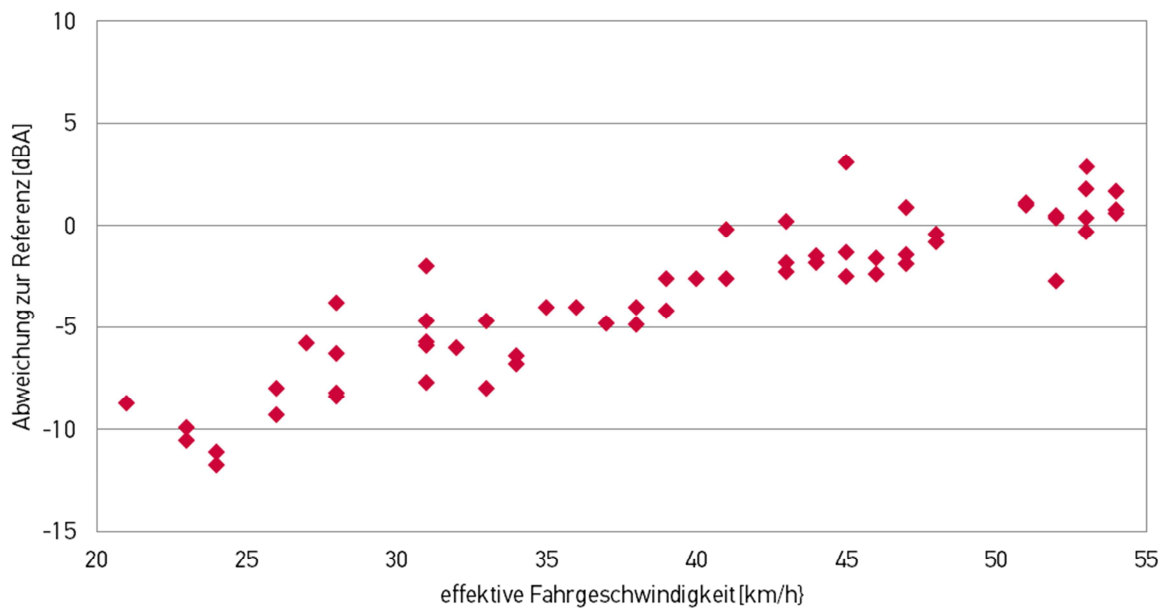


### 1.2.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Zofingen auf einem SDA4b

Leq:



Lmax:

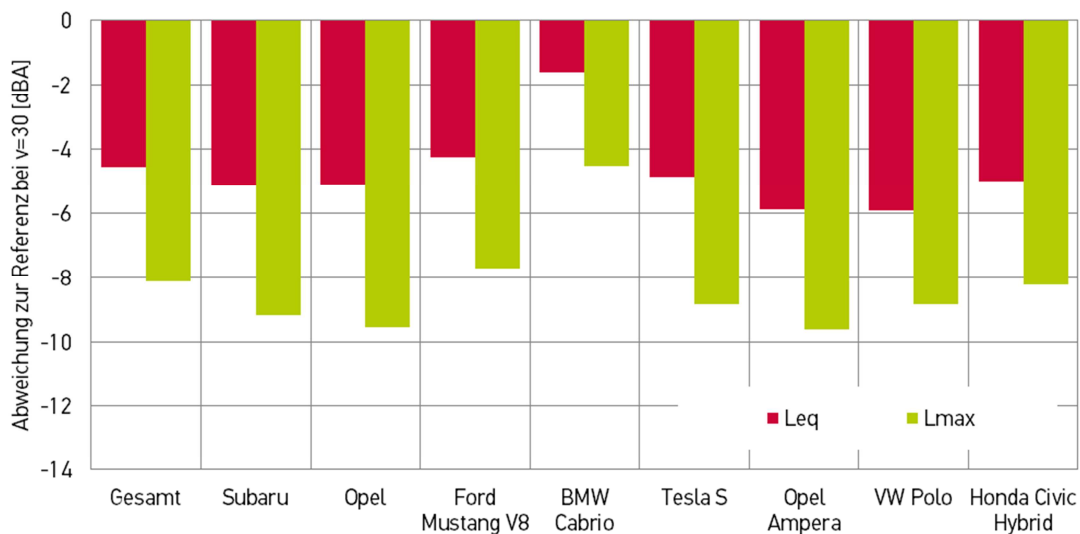


### 1.3.1 Auswertung pro Fahrzeugtyp der Messung in Zofingen auf einem SDA4c

#### Zofingen, SDA4c

Geschwindigkeitskategorie (km/h)		Reifenbreite	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Leq	Referenzwert (1Fz/h 1m)							42.3
	mittlere Differenz zur Referenz							
	Gesamt		-6.4	-4.6	-4.4	-2.6	-1.3	0.0
	Subaru	205 mm	-6.2	-5.1	-	-3.0	-	-
	Opel	215 mm	-5.6	-5.1	-4.0	-2.7	-0.6	-
	Ford Mustang V8	245 mm	-5.2	-3.3	-2.8	-1.6	-0.6	0.8
	BMW Cabrio	205 mm	-	-1.6	-	-1.8	-0.8	1.1
	Tesla S	245 mm	-	-4.9	-	-3.5	-1.0	0.0
	Opel Ampera	215 mm	-7.0	-5.9	-4.9	-3.2	-3.9	-0.9
	VW Polo	165 mm	-7.3	-5.9	-4.5	-2.8	-2.1	-
	Hondy Civic Hybrid	195 mm	-	-5.0	-4.3	-	-1.6	-0.9
Lmax	Referenzwert (Lmax in 7.5m)							69.9
	mittlere Differenz zur Referenz							
	Gesamt		-11.0	-8.1	-7.5	-5.2	-3.6	0.0
	Subaru	205 mm	-10.9	-9.2	-	-5.5	-	-
	Opel	215 mm	-10.9	-9.5	-7.5	-5.9	-3.2	-
	Ford Mustang V8	245 mm	-10.8	-7.7	-	-4.9	-	-1.9
	BMW Cabrio	205 mm	-	-4.5	-	-4.5	-3.3	3.3
	Tesla S	245 mm	-	-8.8	-	-6.7	-3.4	-1.5
	Opel Ampera	215 mm	-11.1	-9.6	-8.3	-4.6	-5.7	-2.8
	VW Polo	165 mm	-11.0	-8.8	-7.1	-5.4	-3.8	-
	Honda Civic Hybrid	195 mm	-	-8.2	-7.1	-	-3.5	-2.6

alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA

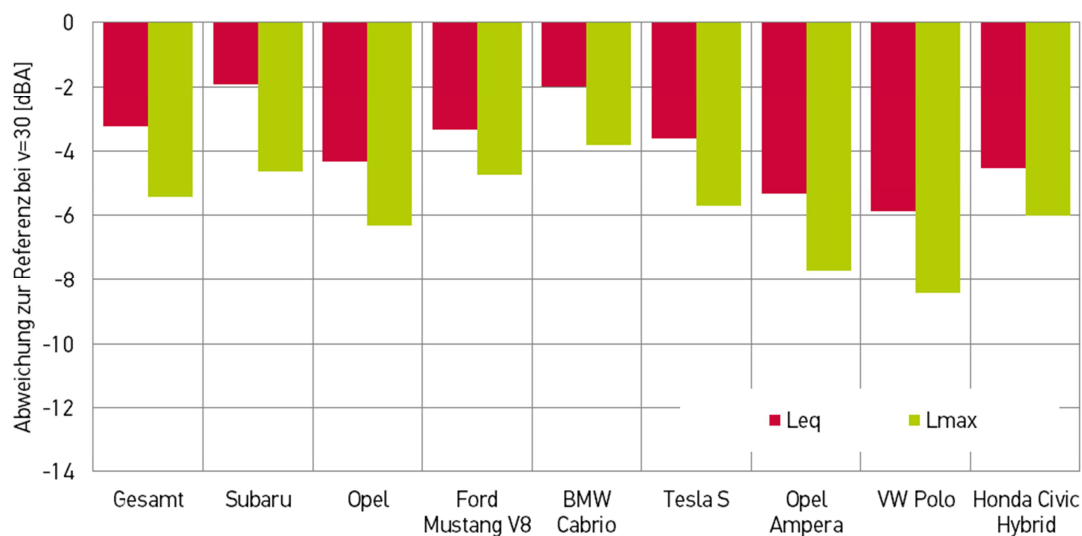


Abweichung zur Referenz in der Geschwindigkeitsklasse 28-32 km/h pro Fahrzeug

### 1.3.2 Auswertung pro Fahrzeugtyp der Messung in Zofingen auf einem SDA4b

Zofingen, SDA4b								
Geschwindigkeitskategorie (km/h)		Reifenbreite	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Leq	Referenzwert (1Fz/h 1m)							41.6
	mittlere Differenz zur Referenz							
Gesamt			-6.6	-3.2	-3.4	-1.9	-0.6	0.0
Subaru		205 mm	-	-1.9	-2.6	-	-0.4	-
Opel		215 mm	-6.8	-4.3	-3.1	-1.5	-	0.5
Ford Mustang V8		245 mm	-5.2	-3.3	-2.8	-1.6	-0.6	0.8
BMW Cabrio		205 mm	-	-2.0	-	0.2	0.8	-
Tesla S		245 mm	-6.1	-3.6	-2.7	-1.2	-0.7	0.8
Opel Ampera		215 mm	-8.4	-5.3	-4.8	-3.6	-1.8	-
VW Polo		165 mm	-8.6	-5.9	-5.4	-3.8	-1.9	-1.3
Hondy Civic Hybrid		195 mm	-6.0	-4.5	-	-2.9	-2.2	-0.9
Lmax	Referenzwert (Lmax in 7.5m)							65.9
	mittlere Differenz zur Referenz							
Gesamt			-9.0	-5.4	-5.3	-2.8	-0.8	0.0
Subaru		205 mm	-	-4.6	-4.0	-	-0.4	-
Opel		215 mm	-10.5	-6.3	-6.1	-2.6	-	-0.2
Ford Mustang V8		245 mm	-8.0	-4.7	-4.7	-2.6	-1.3	1.1
BMW Cabrio		205 mm	-	-3.8	-	-0.2	0.5	-
Tesla S		245 mm	-9.3	-5.7	-4.0	-2.6	-1.4	1.0
Opel Ampera		215 mm	-11.1	-7.7	-6.4	-4.9	-2.0	-
VW Polo		165 mm	-11.7	-8.4	-6.8	-4.2	-1.5	-0.4
Honda Civic Hybrid		195 mm	-7.4	-6.0	-	-4.0	-2.4	-0.8

alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA



Abweichung zur Referenz in der Geschwindigkeitsklasse 28-32 km/h pro Fahrzeug

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Zofingen_50km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kanton Aargau
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4298
	Streckenlänge	900 [m]		Messequipe	ts, df
	Teststrecke	240 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	05.05.2014	<b>Belag</b>	Typ	SDA4C
	Messzeit	7:29: - 8:05:		Einbaujahr	2012
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	18.5 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>		50 [km/h]
	Reifen	28.0 [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	1
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.0	49.9 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.4	0.4 [km/h]

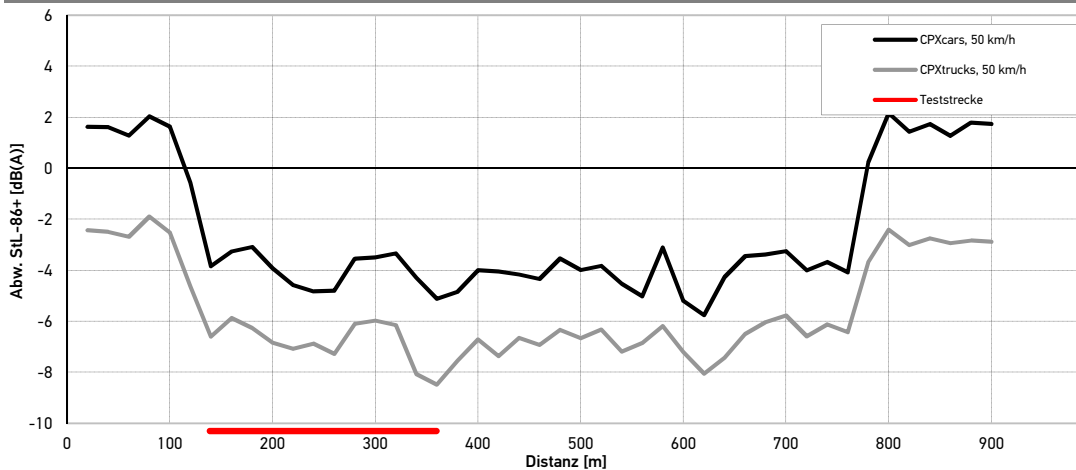
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.109 [dB(A)/°C]

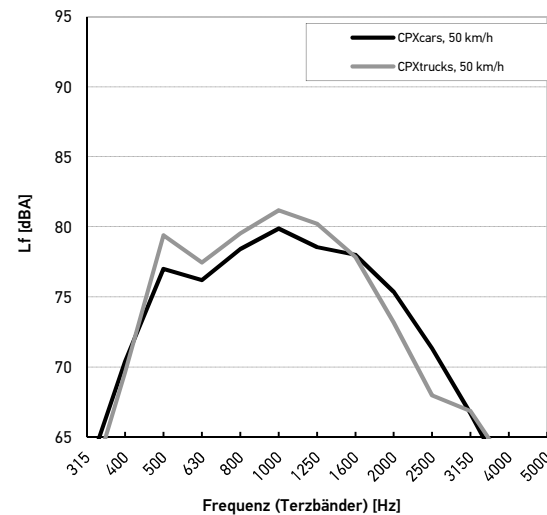
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	87.0	86.9	-4.0
stand. dev	0.5	-	-
Trucks, N2	87.8	87.7	-6.8
stand. dev	0.6	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Zofingen 50km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kanton Aargau
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Süd		Projekt-Nr.	A4298
	Streckenlänge	900 [m]		Messequipe	ts, df
	Teststrecke	280 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	05.05.2014	<b>Belag</b>	Typ	SDA4C
	Messzeit	7:31: - 8:32:		Einbaujahr	2012
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	19.1 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>	50 [km/h]	
	Reifen	26.4 [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	1
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.1	48.7 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.7	2.8 [km/h]

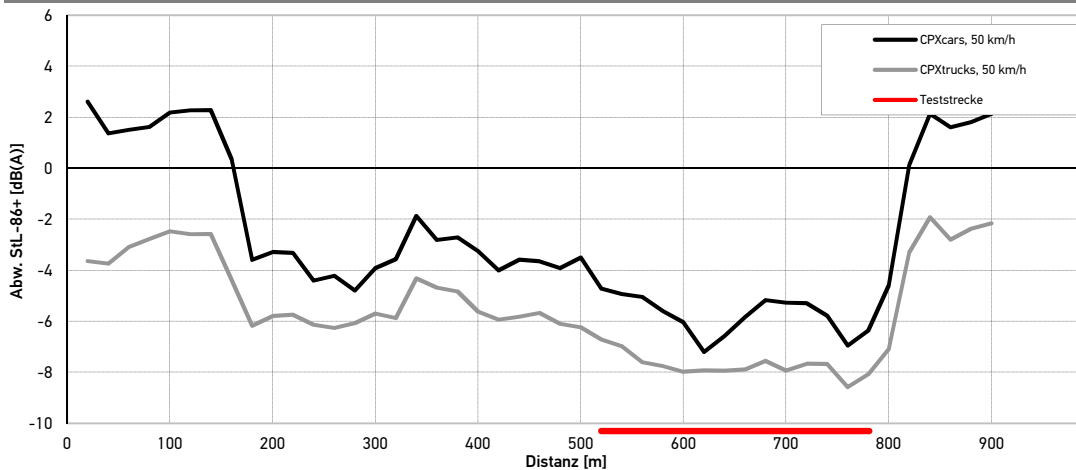
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.088 [dB(A)/°C]

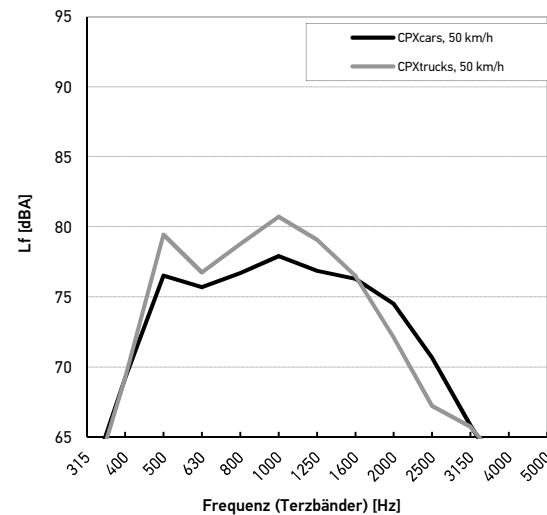
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	85.5	85.4	-5.8
stand. dev	0.6	-	-
Trucks, N2	87.0	87.0	-7.7
stand. dev	0.3	-	-

TK = temperaturkorrigiert



**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Zofingen_50km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kanton Aargau
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	AG4298
	Streckenlänge	900 [m]		Messequipe	ts, df
	Teststrecke	400 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	05.05.2014	<b>Belag</b>	Typ	SDA4B
	Messzeit	7:29: - 8:05:		Einbaujahr	2012
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	18.5 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>	50 [km/h]	
	Reifen	28.0 [°C]	<b>Messfahrten</b>	<b>Reif. A1</b>	<b>Reif. D1</b>
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	1
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.0	49.9 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.4	0.4 [km/h]

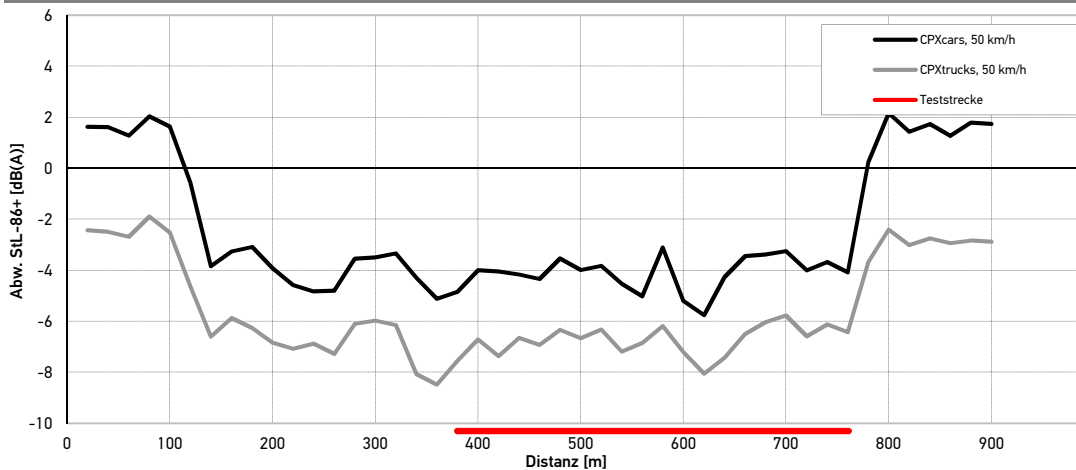
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.110 [dB(A)/°C]

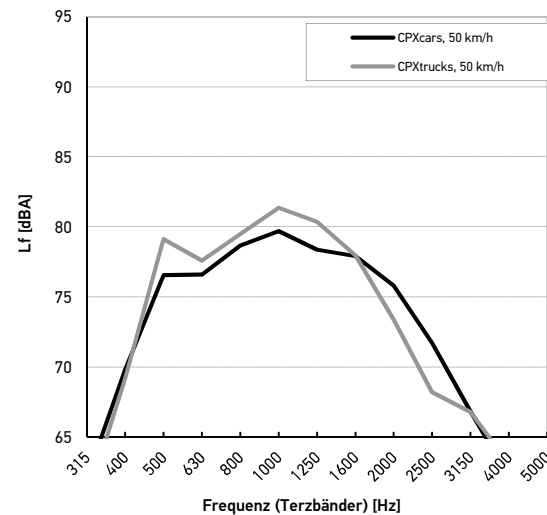
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	86.9	86.8	-4.1
stand. dev	0.5	-	-
Trucks, N2	87.9	87.7	-6.7
stand. dev	0.4	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Zofingen 50km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kanton Aargau
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Süd		Projekt-Nr.	A4298
	Streckenlänge	900 [m]		Messequipe	ts, df
	Teststrecke	340 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	05.05.2014	<b>Belag</b>	Typ	SDA4B
	Messzeit	7:31: - 8:32:		Einbaujahr	2012
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	19.1 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>	50 [km/h]	
	Reifen	26.4 [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	1
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.1	48.7 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.7	2.8 [km/h]

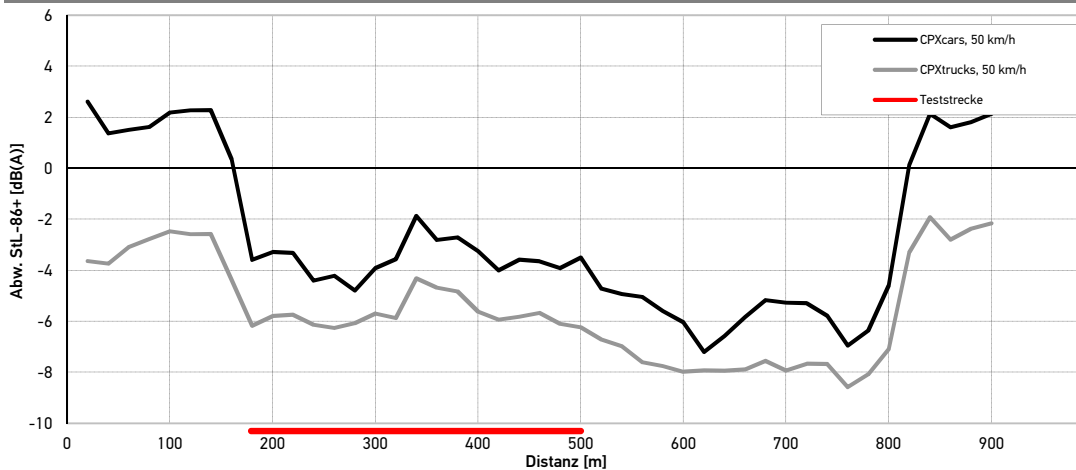
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.087 [dB(A)/°C]

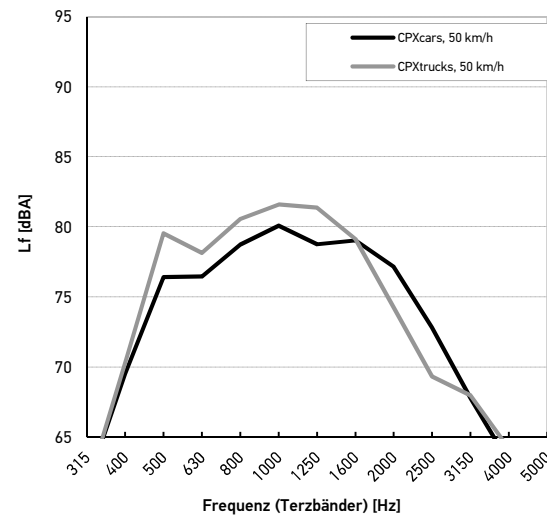
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	87.3	87.2	-3.6
stand. dev	0.5	-	-
Trucks, N2	88.5	88.5	-5.7
stand. dev	0.4	-	-

TK = temperaturkorrigiert

## 2 MESSUNGEN DOTTIKON

2.1 Messprotokoll SPB

2.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten

2.3 Auswertung pro Fahrzeugtyp

2.4 CPX Messprotokolle (Best Practice Messung)



Identifikation

Projekt	Auftraggeber	ATB Aargau
	Ing. Büro	G+P Aarau
	Projekt-Nr.	A4398
	Verantwortlicher	jsch

Standort

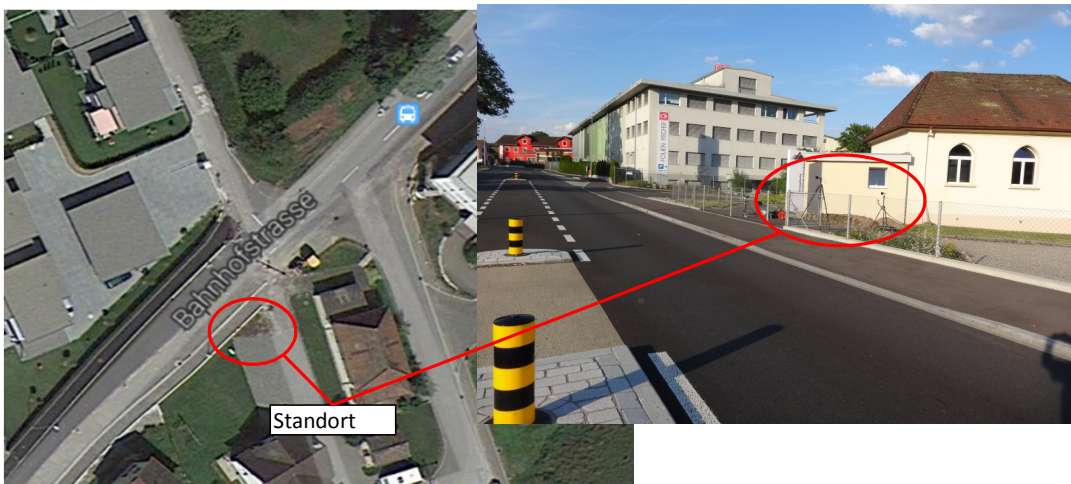
Ort	Gemeinde	Dottikon	Belag	Typ	SDA 4c
Strasse	Name		Kategorie	Einbaujahr	2013
	Eigentümer	Kanton Aargau			
Lage	Koordinaten	660215/247730			
	DTV:	Fz/Tag	8'940		
Überrollungen seit Einbau:	FZ. in Tausend	3'263			

Messung

Messzeit	Datum	17.06.2014	Mikrophon- position	Fzg-Mikr.	Leq	Lmax
	Messzeit	19.00-21.00		Höhe Mikr.	5.0	7.5 [m]
Messung	System	Nor Pass by Noise	Messgeräte	Schallpegelm.	Nor 121	
	Auflösung	0.1s		Seriennr.	29884	
	Bandbreite	Frequenzen 20-5000 Hz		Letzte Eichung	Apr 14	
	Parameter	Leq(A) Max(A)		Radargerät	Sierzega	

Bemerkung z.B. Abweichung von Standardbed. Es wurde mit einem definierten Fahrzeugmix gemessen

Plan / Foto



**Identifikation**

<b>Projekt</b>	Auftraggeber	ATB Aaragu
	Ing. Büro	G+P Aarau
	Projekt-Nr.	A4398
	Verantwortlicher	bp

**Standort**

<b>Ort</b>	Gemeinde	Dottikon	<b>Belag</b>	Typ	ACMR 8
<b>Strasse</b>	Name			Kategorie	
	Eigentümer	Kanton AG		Einbaujahr	2012
<b>Lage</b>	Koordinaten	660108/247529			
<b>DTV:</b>	Fz/Tag	8'940			
<b>Überrollungen seit Einbau:</b>	FZ. in Tausend	6'526			

**Messung**

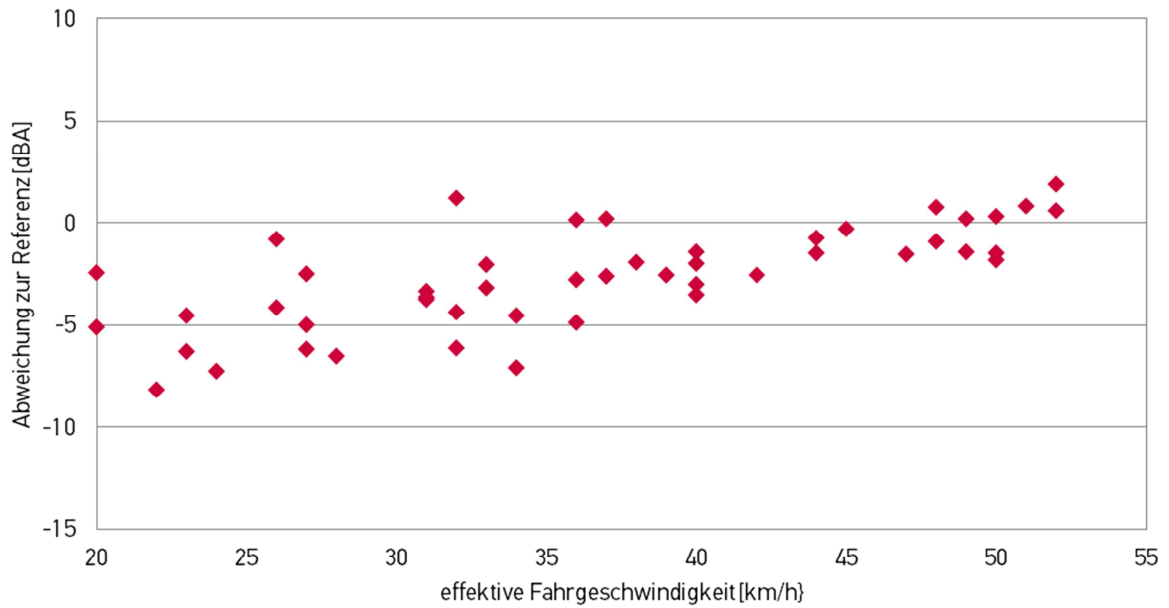
<b>Messzeit</b>	Datum	16.06.2014	<b>Mikrophon- position</b>	Fzg-Mikr.	Leq	Lmax
	Messzeit	19.00-21.00		Höhe Mikr.	5.0	7.5 [m]
				1.7	1.2 [m]	
<b>Messung</b>	System	Nor Pass by Noise	<b>Messgeräte</b>	Schallpegelm.	Nor 121	
	Auflösung	0.1s		Seriennr.	29884	
	Bandbreite Frequenzen	20-5000 Hz		Letzte Eichung	Apr 14	
	Parameter	Leq(A) Max(A)		Radargerät	Sierzega	
<b>Bemerkung</b>	z.B. Abweichung von Standardbed.	Es wurde mit einem definierten Fahrzeugmix gemessen				

**Plan / Foto**

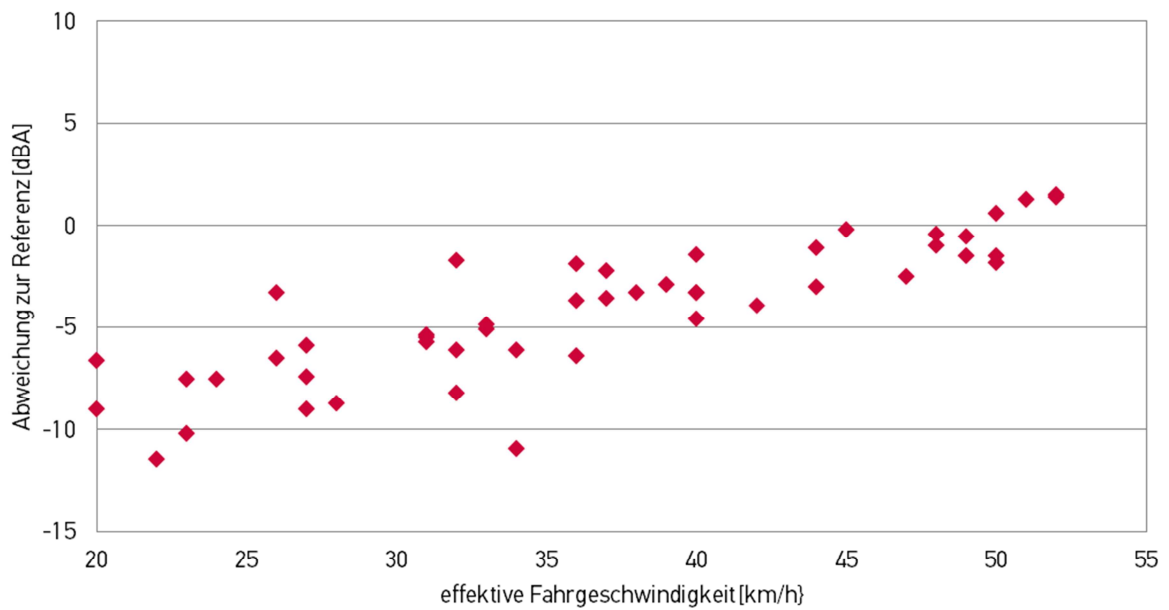


### 2.2.1 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Dottikon auf einem SDA4c

Leq:

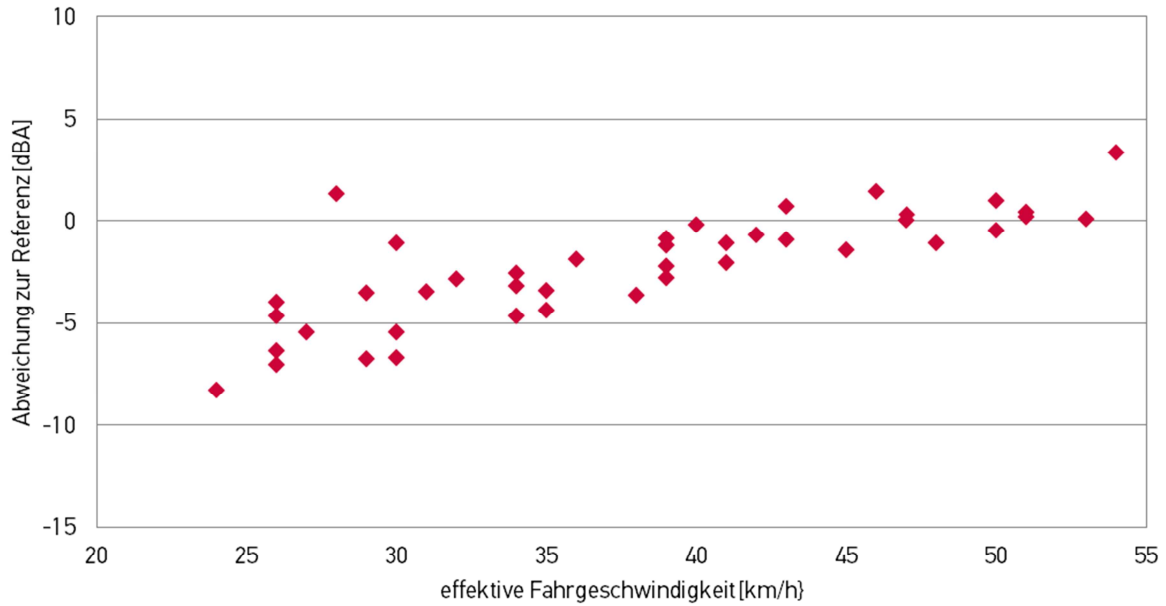


Lmax:

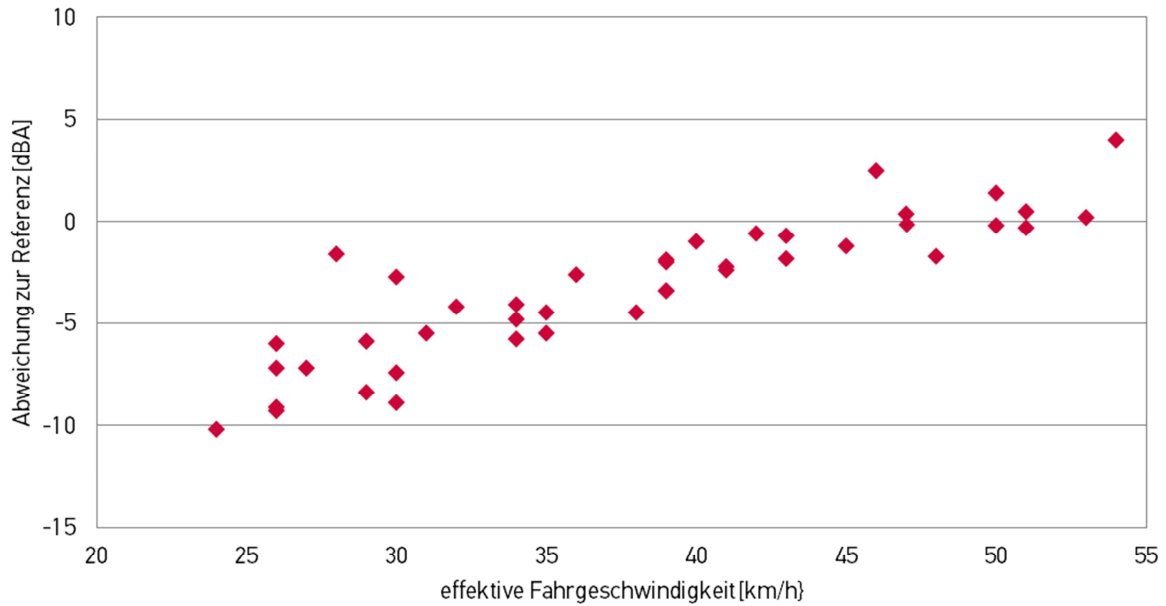


### 2.2.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Dottikon auf einem ACMR8

Leq:



Lmax:

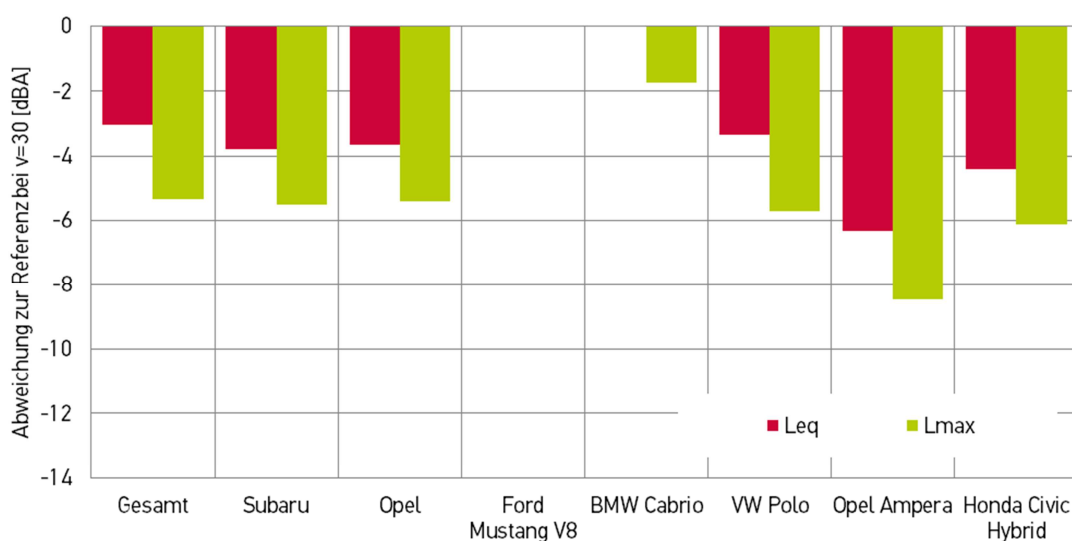




### 2.3 1 Auswertung pro Fahrzeugtyp der Messung in Dottikon auf einem SDA4c

Dottikon, SDA4c								
Geschwindigkeitskategorie (km/h)		Reifenbreite	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Leq	Referenzwert (1Fz/h 1m)							39.3
	mittlere Differenz zur Referenz							
Gesamt			-4.1	-3.1	-2.5	-2.4	-1.0	0.0
Subaru	205 mm		-4.5	-3.8	-2.8	0.2	-	-0.9
Opel	215 mm		-5.1	-3.7	-3.2	-2.0	-1.5	0.2
Ford Mustang V8	245 mm		-2.5	-	-2.1	-2.0	-0.8	0.5
BMW Cabrio	205 mm		-0.8	1.2	0.1	-	-	1.3
VW Polo	165 mm		-5.0	-3.3	-4.3	-1.4	-0.3	0.8
Opel Ampera	215 mm		-	-6.3	-4.9	-3.6	-1.5	-1.4
Honda Civic Hybrid	195 mm		-6.7	-4.4	-4.5	-3.0	-	-1.7
Lmax	Referenzwert (Lmax in 7.5m)							63.7
	mittlere Differenz zur Referenz							
Gesamt			-6.7	-5.4	-4.4	-3.2	-1.6	0.0
Subaru	205 mm		-7.5	-5.5	-3.7	-3.4	-	-1.0
Opel	215 mm		-8.0	-5.4	-5.1	-3.3	-3.0	-0.5
Ford Mustang V8	245 mm		-5.9	-	-4.9	-3.3	-1.1	1.1
BMW Cabrio	205 mm		-3.3	-1.7	-2.1	-	-	0.6
VW Polo	165 mm		-7.4	-5.7	-5.9	-1.4	-0.2	1.3
Opel Ampera	215 mm		-	-8.5	-6.4	-4.6	-2.5	-1.5
Honda Civic Hybrid	195 mm		-8.2	-6.1	-6.1	-3.3	-	-1.7

alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA

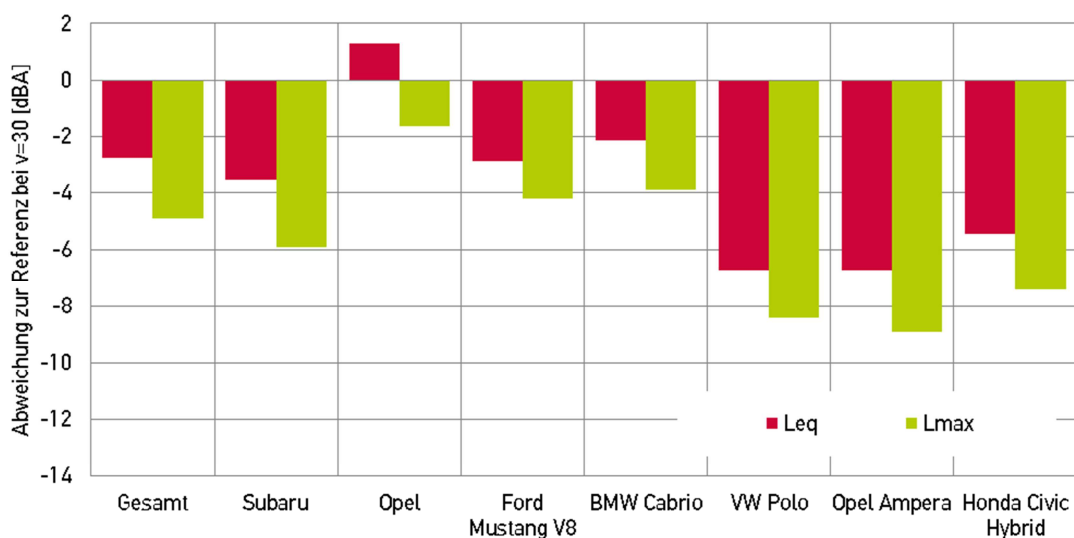


Abweichung zur Referenz in der Geschwindigkeitsklasse 28-32 km/h pro Fahrzeug

### 2.3 1 Auswertung pro Fahrzeugtyp der Messung in Dottikon auf einem ACMR8

Dottikon, ACMR8							
Geschwindigkeitskategorie (km/h)	Reifenbreite	23-27	28-32	33-37	38-42	43-47	48-52
Leq	Referenzwert (1Fz/h 1m)						43.5
	mittlere Differenz zur Referenz						
Gesamt		-5.7	-2.7	-3.2	-1.5	0.1	0.0
Subaru	205 mm	-4.7	-3.5	-2.6	-1.2	0.3	-
Opel	215 mm	-4.7	1.3	-3.2	-2.2	-1.0	0.3
Ford Mustang V8	245 mm	-5.4	-2.9	-1.9	-0.7	1.4	1.0
BMW Cabrio	205 mm	-4.0	-2.1	-	-0.5	-	-
VW Polo	165 mm	-8.3	-6.7	-4.6	-2.8	-1.5	-
Opel Ampera	215 mm	-7.0	-6.7	-4.4	-3.6	-	-0.8
Honda Civic Hybrid	195 mm	-	-5.4	-3.4	-2.1	0.4	-
Lmax	Referenzwert (Lmax in 7.5m)						70.1
	mittlere Differenz zur Referenz						
Gesamt		-7.9	-4.9	-4.4	-2.2	0.1	0.0
Subaru	205 mm	-7.2	-5.9	-4.1	-2.1	-0.1	-
Opel	215 mm	-7.2	-1.6	-4.8	3.4	-0.7	0.1
Ford Mustang V8	245 mm	-7.2	-4.2	-2.6	-0.6	2.5	1.4
BMW Cabrio	205 mm	-6.0	-3.9	-	-1.4	-	-
VW Polo	165 mm	-10.2	-8.4	-5.8	-3.4	-1.2	-
Opel Ampera	215 mm	-9.1	-8.8	-5.5	-4.5	-	-0.9
Honda Civic Hybrid	195 mm	-	-7.4	-4.5	-2.4	-0.6	-

alle Referenzwerte und Differenzen für Leq und Lmax in dBA



Abweichung zur Referenz in der Geschwindigkeitsklasse 28-32 km/h pro Fahrzeug

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	D: Dottikon, Bahnhofstrasse	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kt AG
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4329
	Streckenlänge	680 [m]		Messequipe	ses, df
	Teststrecke	220 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

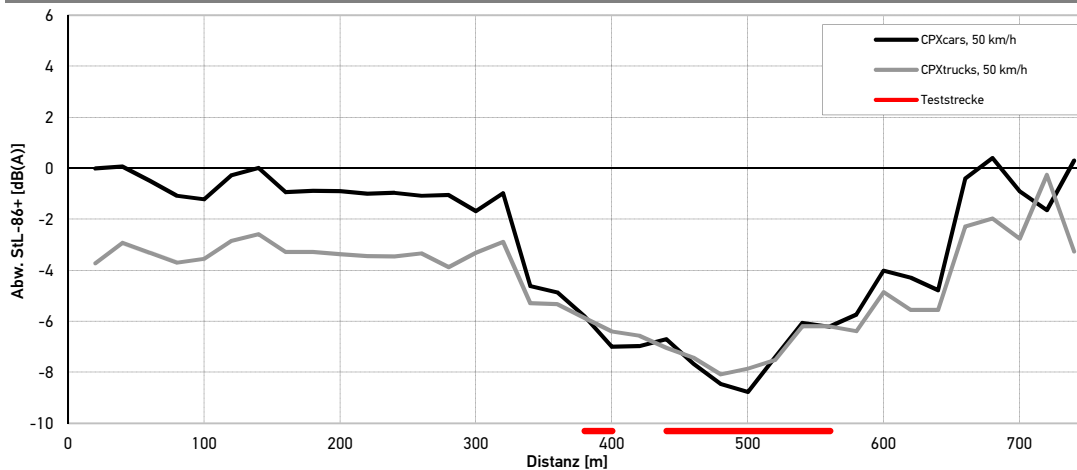
**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	07.08.2014	<b>Belag</b>	Typ	SDA4C
	Messzeit	9:45: - 10:29		Einbaujahr	2013
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	21.6 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>	50 [km/h]	
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	<b>Reif. A1</b>	<b>Reif. D1</b>
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	3	3
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.0	51.2 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	1.6	1.2 [km/h]

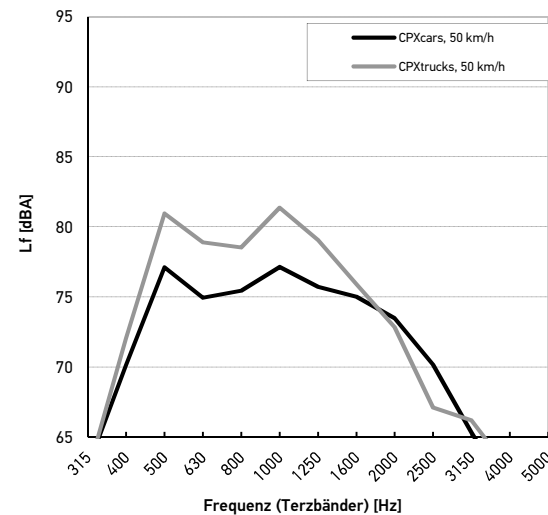
**AUSWERTUNG**

<b>Geschwindigkeitskonstante b</b>	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	<b>Temperaturkorrektur</b>	-0.092 [dB(A)/°C]
<b>Indexwerte</b>	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	<b>Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:</b>	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	84.6	84.8	-6.6
stand. dev	1.1	-	-
Trucks, N2	87.6	87.7	-6.7
stand. dev	0.7	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	D: Dottikon, Bahnhofstrasse	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kt AG
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Süd		Projekt-Nr.	A4329
	Streckenlänge	740 [m]		Messequipe	ses, df
	Teststrecke	240 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	07.08.2014	<b>Belag</b>	Typ	SDA4C
	Messzeit	9:43: - 10:31		Einbaujahr	2013
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	21.7 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>		50 [km/h]
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	<b>Reif. A1</b>	<b>Reif. D1</b>
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	4	3
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.3	51.1 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	1.4	1.2 [km/h]

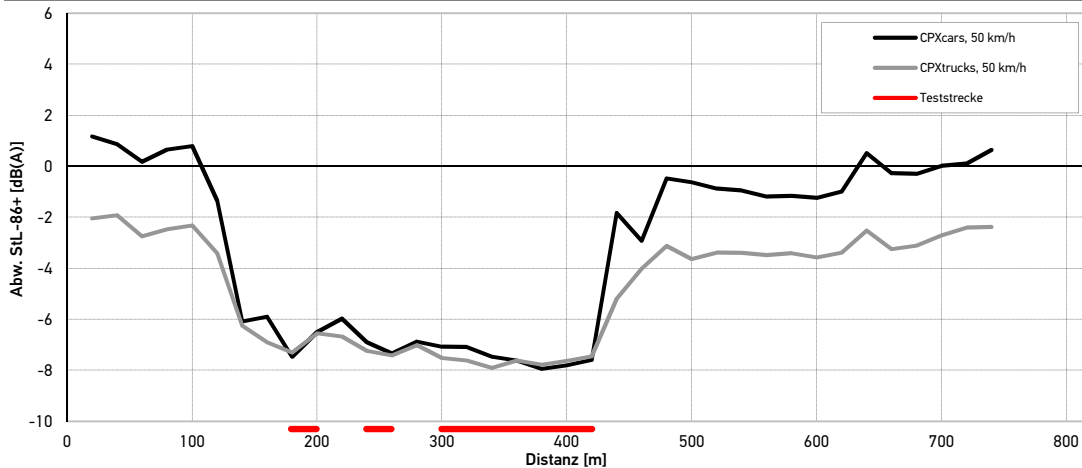
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.092 [dB(A)/°C]

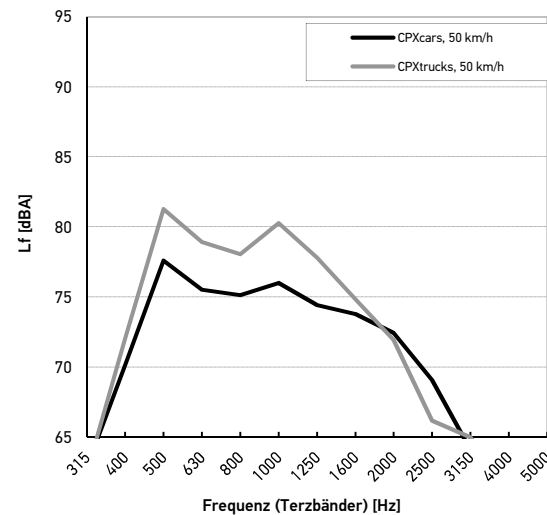
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	84.1	84.3	-7.2
stand. dev	0.4	-	-
Trucks, N2	87.1	87.2	-7.4
stand. dev	0.3	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	D: Dottikon, Bahnhofstrasse	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kt AG
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4329
	Streckenlänge	680 [m]		Messequipe	ses, df
	Teststrecke	140 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

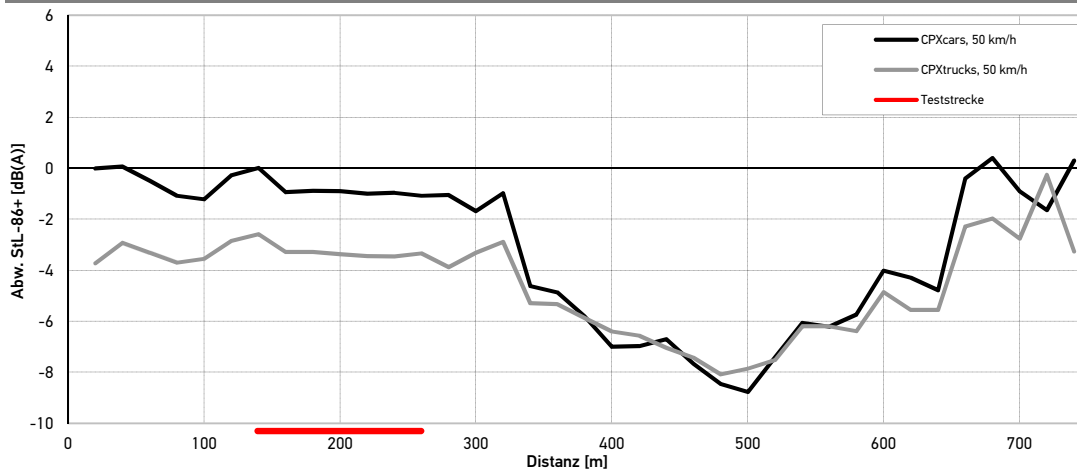
**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	07.08.2014	<b>Belag</b>	Typ	ACMR8
	Messzeit	9:45: - 10:29		Einbaujahr	2012
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	21.6 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>	50 [km/h]	
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	<b>Reif. A1</b>	<b>Reif. D1</b>
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	3	3
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.0	51.2 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	1.6	1.2 [km/h]

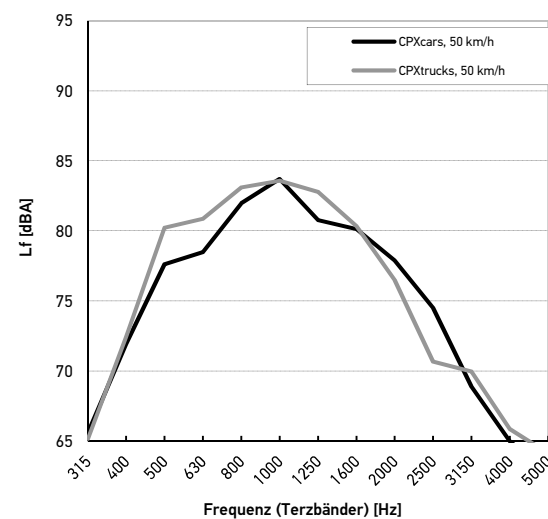
**AUSWERTUNG**

<b>Geschwindigkeitskonstante b</b>	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	<b>Temperaturkorrektur</b>	-0.113 [dB(A)/°C]
<b>Indexwerte</b>	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	<b>Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:</b>	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	89.2	89.4	-0.8
stand. dev	0.3	-	-
Trucks, N2	90.1	90.3	-3.3
stand. dev	0.2	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	D: Dottikon, Bahnhofstrasse	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Kt AG
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Süd		Projekt-Nr.	A4329
	Streckenlänge	740 [m]		Messequipe	ses, df
	Teststrecke	140 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	07.08.2014	<b>Belag</b>	Typ	ACMR8
	Messzeit	9:43: - 10:31		Einbaujahr	2012
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	21.7 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>	50 [km/h]	
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	<b>Reif. A1</b>	<b>Reif. D1</b>
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	4	3
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	51.3	51.1 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	1.4	1.2 [km/h]

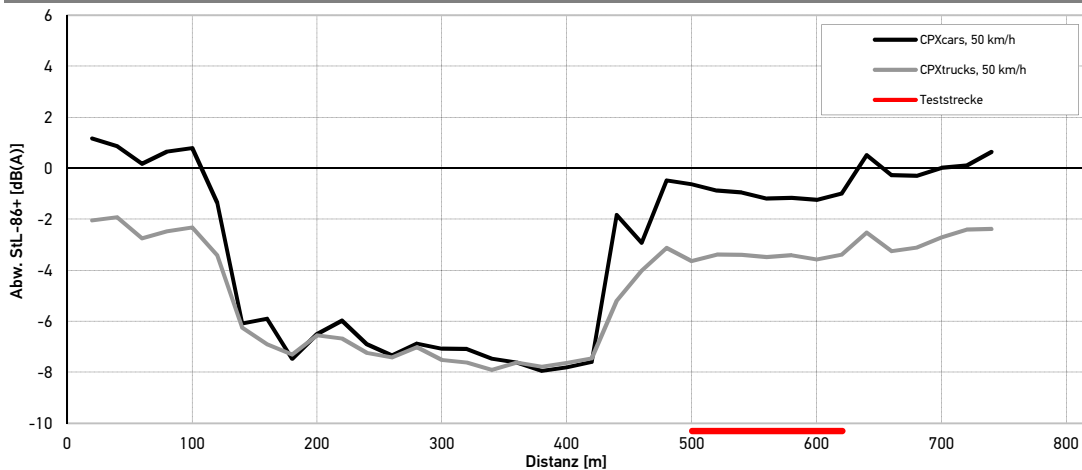
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.113 [dB(A)/°C]

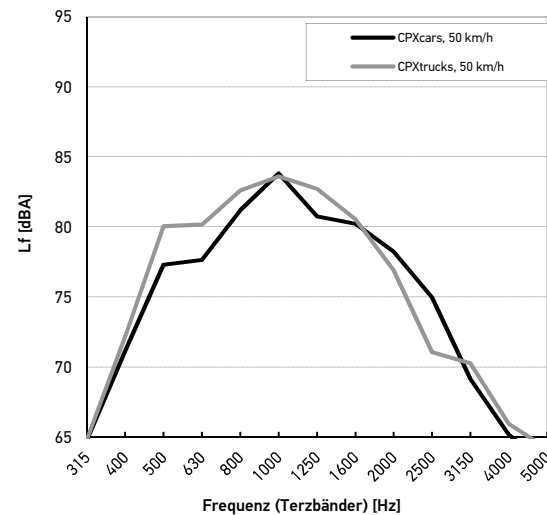
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	89.1	89.3	-1.0
stand. dev	0.2	-	-
Trucks, N2	89.9	90.1	-3.5
stand. dev	0.1	-	-

TK = temperaturkorrigiert

### **3 MESSUNGEN OTTENBACH**

3.1 Messprotokolle SPB

3.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten

3.3 CPX Messprotokolle





**Identifikation**

<b>Projekt</b>	Auftraggeber	UGZ ZH
	Ing. Büro	G+P Aarau
	Projekt-Nr.	A4398
	Verantwortlicher	Bal

**Standort**

<b>Ort</b>	Gemeinde	Ottenbach	<b>Belag</b>	Typ	AC MR 8
<b>Strasse</b>	Name	Zwillikerstrasse	Kategorie	Einbaujahr	PmB 45 E
	Eigentümer	Kanton			
<b>Lage</b>	Koordinaten	673623/237594	Richtung Zwillikon, nach der "aufgehoben 50km/H" Tafel, erster Feldweg rechts		
	Beschreibung				

<b>DTV:</b>	Fz/Tag	3'950
<b>Überrollungen seit Einbau:</b>	FZ. in Tausend	4'325

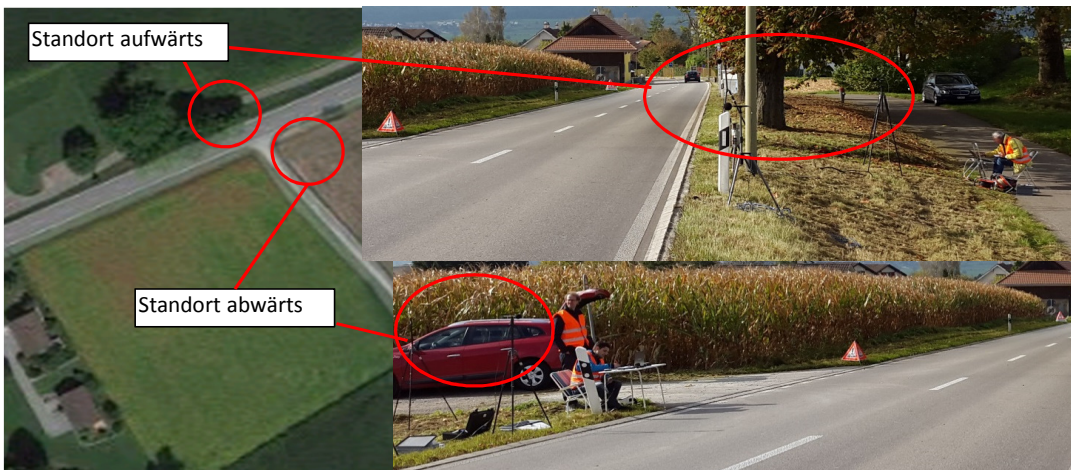
**Messung**

<b>Messzeit</b>	Datum	24.10.2014	<b>Mikrophonposition</b>	Fzg-Mikr.	Leq	Lmax
	Messzeit	11.30-15.30		Höhe Mikr.	5.0	7.5 [m]
<b>Temperatur</b>	Luft	12°/18°/18°/13° [°C]	<b>Messgeräte</b>	Schallpegelm.	Nor121	
	Mittelwert Luft	15.3 [°C]		Radargerät	Sierzega	
	Belag	8.3°/18°/18°/15° [°C]				
	Mittelwert Belag	14.8 [°C]				

<b>Messung</b>	System	Nor Pass by Noise	<b>Messgeräte</b>	Schallpegelm.	Nor 121
	Auflösung	0.1s		Seriennr.	29884
	Bandbreite Frequenzen	20-5000 Hz		Letzte Eichung	Apr 14
	Parameter	Leq(A) Max(A)		Radargerät	Sierzega

**Bemerkung** z.B. Abweichung von Standardbed. Es wurde jeweils die entferntere Fahrbahn gemessen. Steigung/Gefälle der Fahrbahn ca. 5%

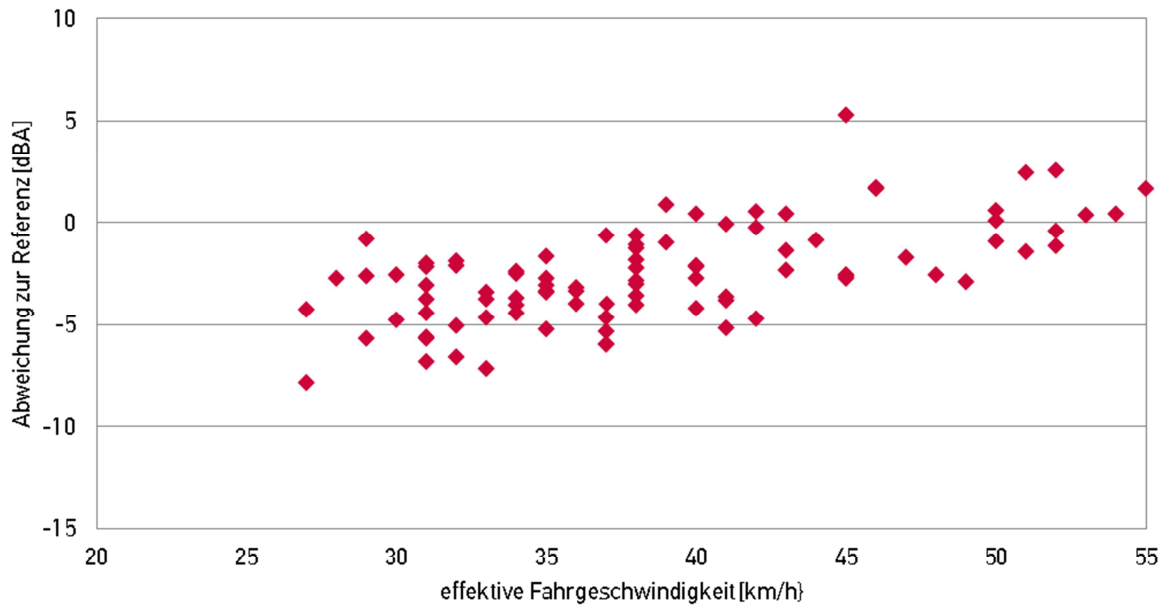
**Plan / Foto**



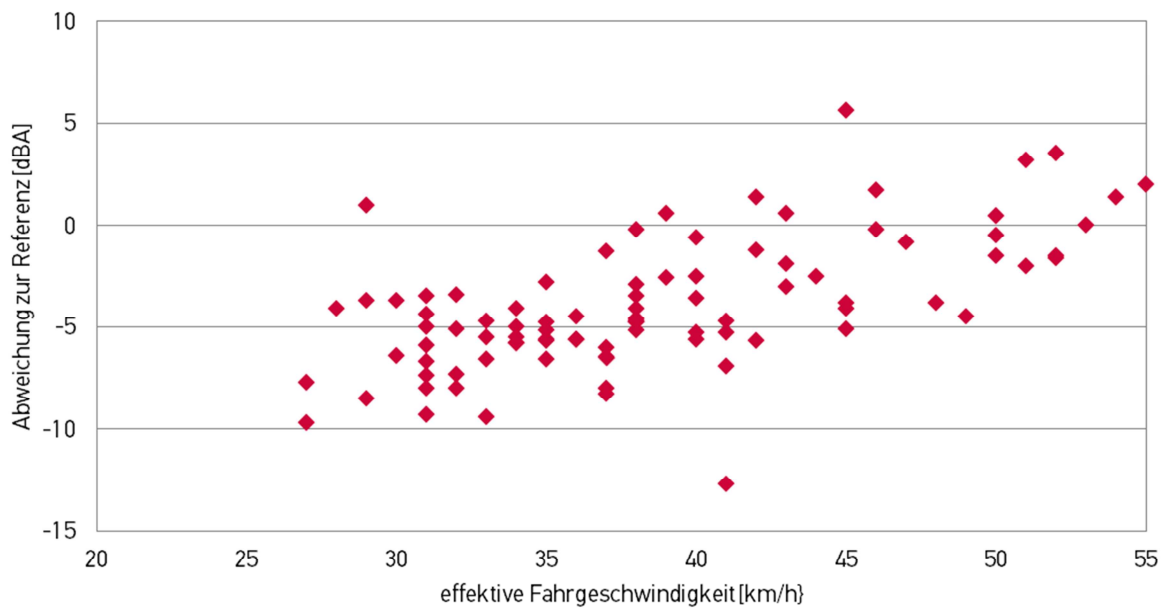


### 3.2.1. Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Ottenbach auf einem ACMR8 ("aufwärts")

Leq:

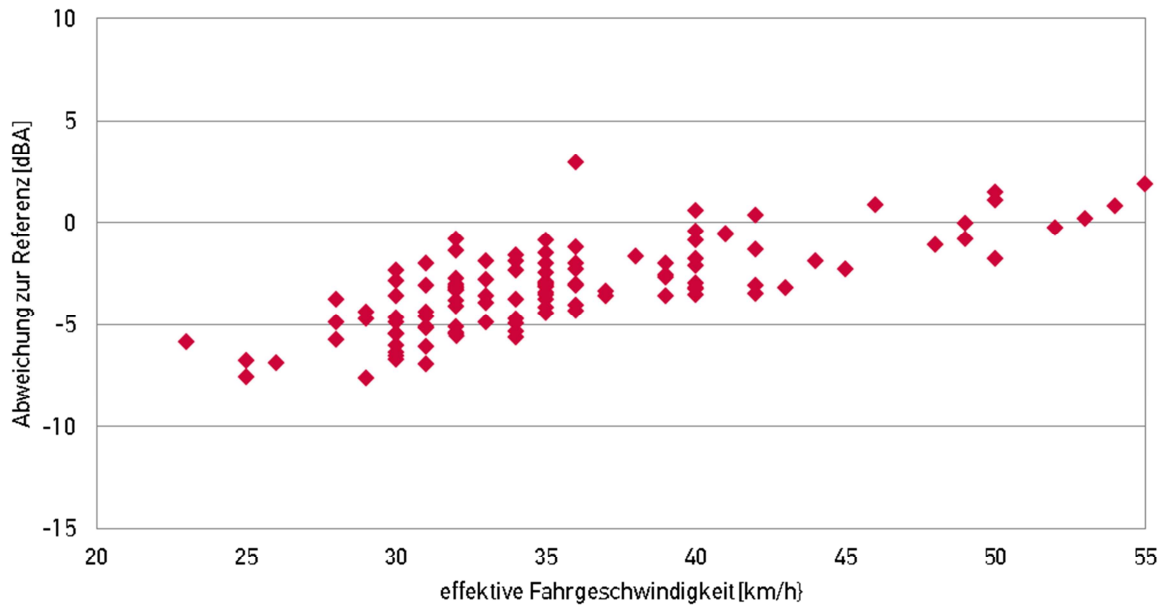


Lmax:

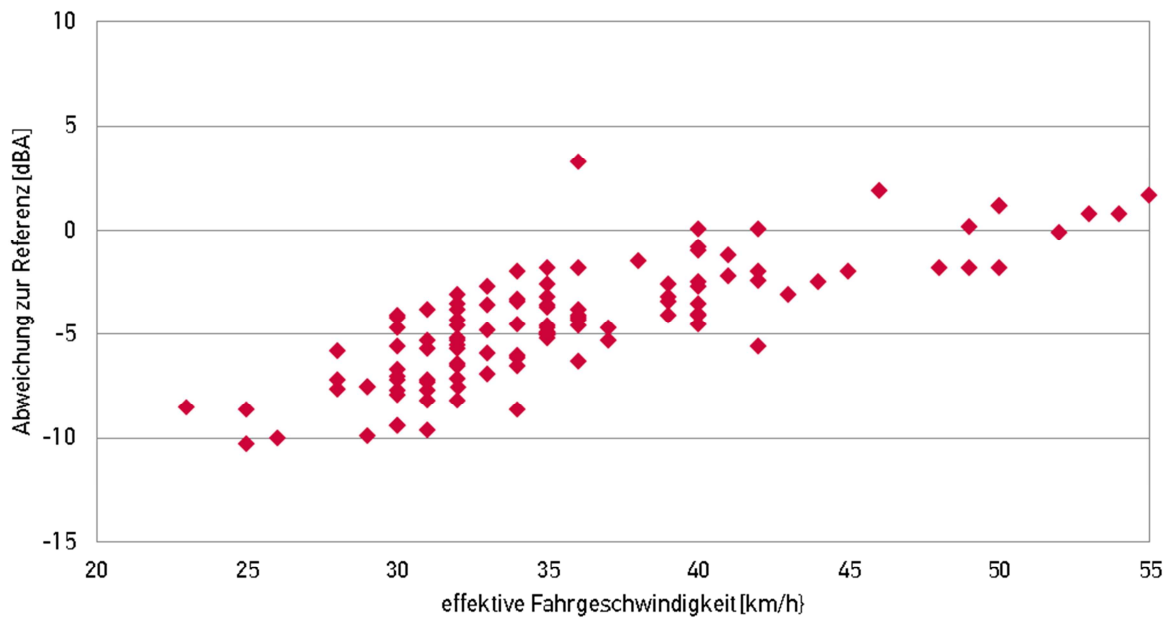


### 3.2.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Ottenbach auf einem ACMR8 ("abwärts")

Leq:



Lmax:



**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Ottenbach_50 km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Stadt Zürich
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Ost		Projekt-Nr.	A4398
	Streckenlänge	940 [m]		Messequipe	jk, df
	Teststrecke	400 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	24.10.2014	<b>Belag</b>	Typ	AC8
	Messzeit	11:14 - 1:35:		Einbaujahr	2011
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	8.9 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>		50 [km/h]
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	50.2	50.8 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.6	0.3 [km/h]

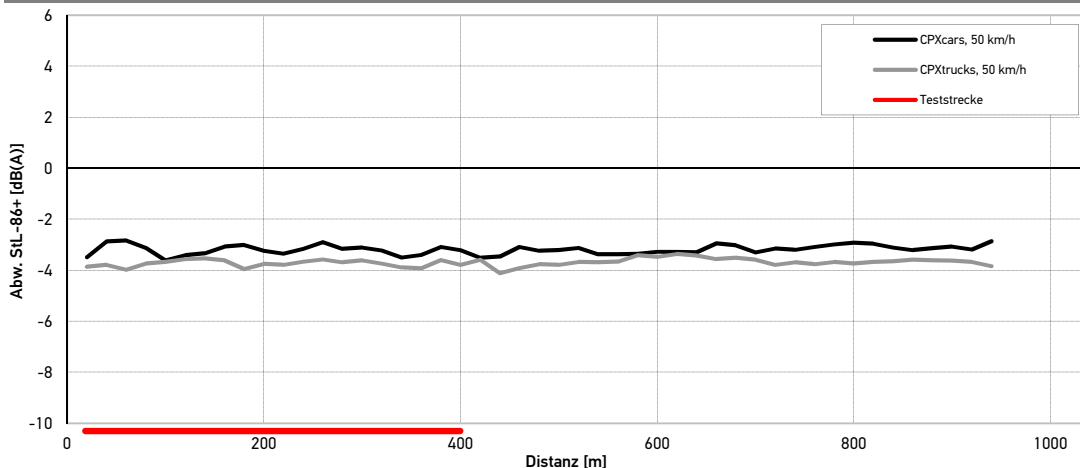
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.109 [dB(A)/°C]

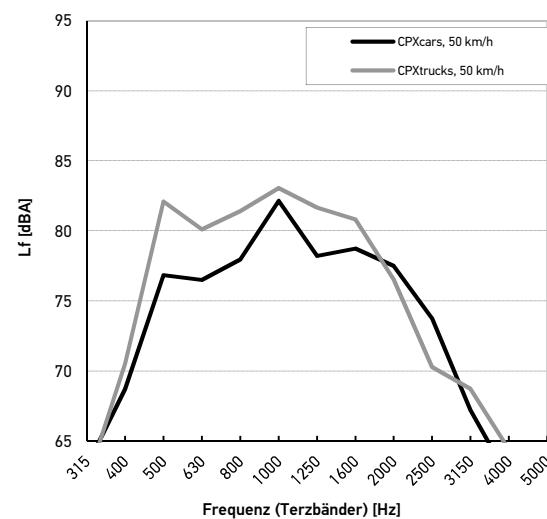
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	88.7	87.5	-3.2
stand. dev	0.2	-	-
Trucks, N2	91.1	89.9	-3.7
stand. dev	0.1	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Ottenbach_50 km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Stadt Zürich
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	West		Projekt-Nr.	A4398
	Streckenlänge	940 [m]		Messequipe	jk, df
	Teststrecke	400 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

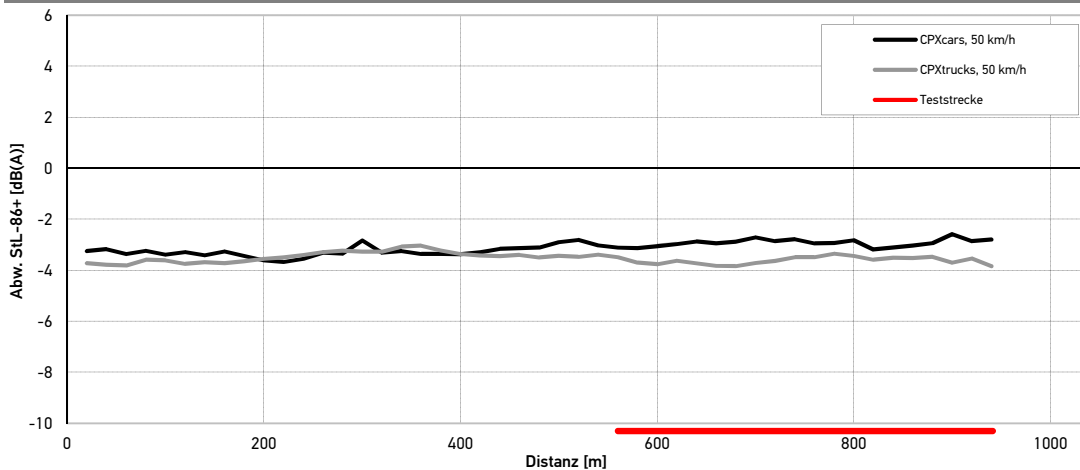
**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	24.10.2014	<b>Belag</b>	Typ	AC8
	Messzeit	11:07 - 1:36:		Einbaujahr	2011
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	9.2 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>		50 [km/h]
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	50.6	50.9 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.8	0.6 [km/h]

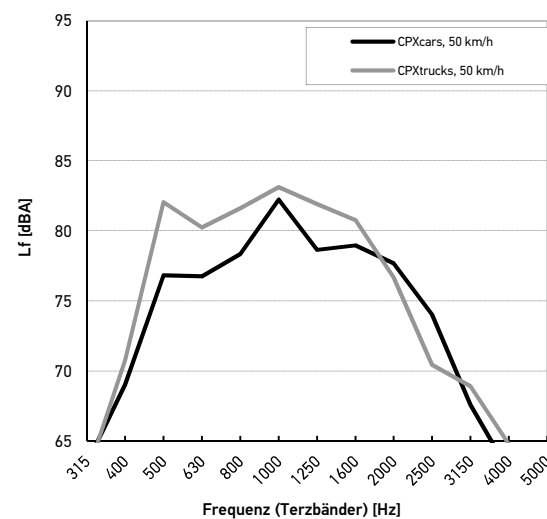
**AUSWERTUNG**

<b>Geschwindigkeitskonstante b</b>	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	<b>Temperaturkorrektur</b>	-0.110 [dB(A)/°C]
<b>Indexwerte</b>	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	<b>Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:</b>	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	88.9	87.7	-2.9
stand. dev	0.1	-	-
Trucks, N2	91.2	90.0	-3.6
stand. dev	0.1	-	-

TK = temperaturkorrigiert

## **4 MESSUNGEN KAPPEL AM ALBIS**

4.1 Messprotokoll SPB

4.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten

4.3 CPX Messprotokolle

4.4 Diagramm Vorbeifahrtspegel T30 und T50





**Identifikation**

<b>Projekt</b>	Auftraggeber	UGZ ZH
	Ing. Büro	G+P Aarau
	Projekt-Nr.	A4398
	Verantwortlicher	Bal

**Standort**

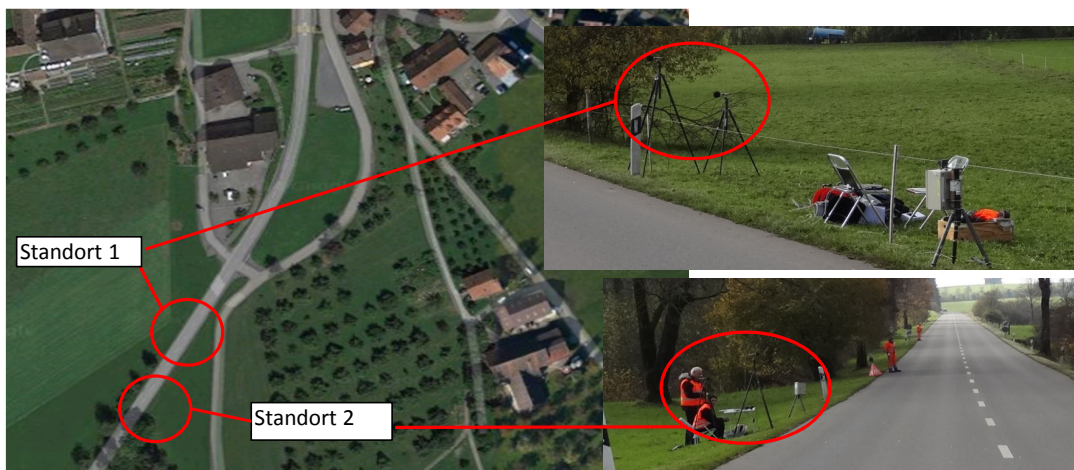
<b>Ort</b>	Gemeinde	Kappel a. A.	<b>Belag</b>	Typ	AC MR8
<b>Strasse</b>	Name	Baarerstrasse		Kategorie	B70/100
	Eigentümer	Kanton ZH		Einbaujahr	2006
<b>Lage</b>	Koordinaten	682339/231027			
	Beschreibung	Richtung Baar, nach der "aufgehoben 50km/h" Tafel			

<b>DTV:</b>	Fz/Tag	2'797
<b>Überrollungen seit Einbau:</b>	FZ. in Tausend	8'167

**Messung**

<b>Messzeit</b>	Datum	07.11.2014	<b>Mikrophonposition</b>	Fzg-Mikr.	Leq	Lmax
	Messzeit	11.30-14.00		Höhe Mikr.	6.5	7.5 [m]
<b>Temperatur</b>	Luft	11°/12° [°C]	<b>Messgeräte</b>	Schallpegelm.	Nor121	
	Mittelwert Luft	11.5° [°C]		Radargerät	Sierzega	
	Belag	12°/11° [°C]				
	Mittelwert Belag	11.5 [°C]				
<b>Bemerkung</b>	z.B. Abweichung von Standardbed. Es wurde jeweils die entferntere Fahrbahn gemessen.					

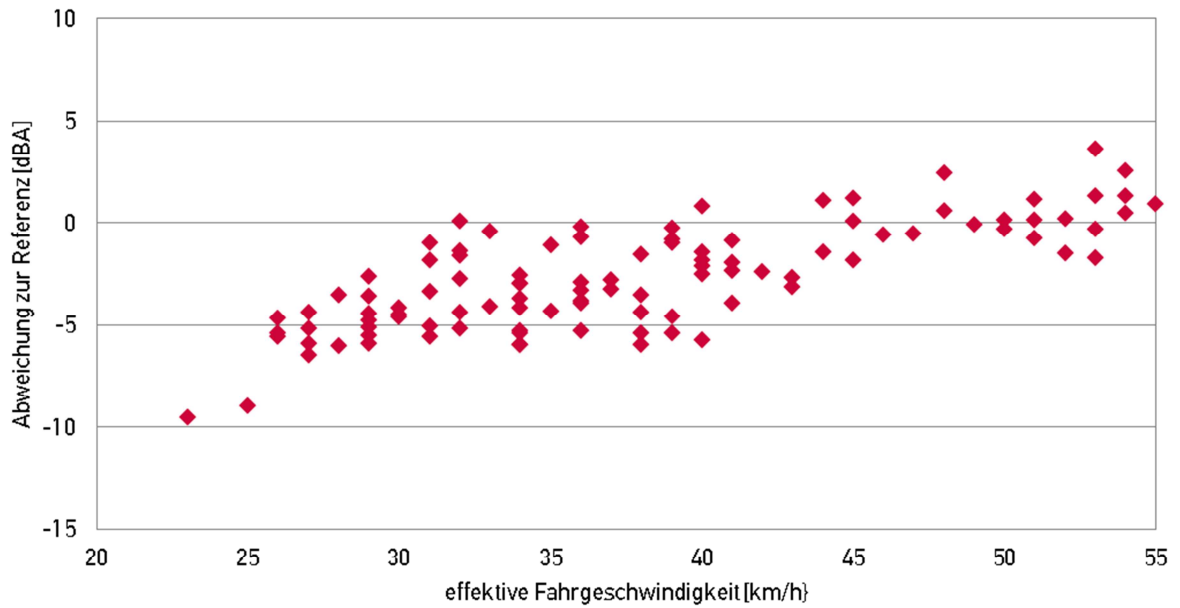
**Plan / Foto**



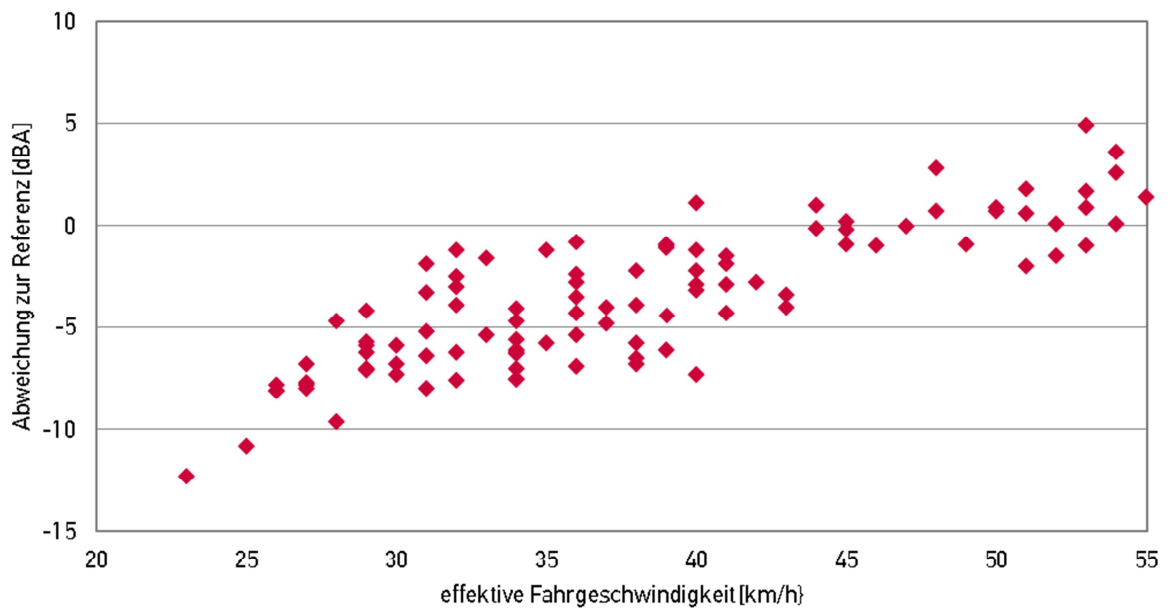


#### 4.2 Diagramme der einzelnen Vorbeifahrten der Messung in Kappel am Albis auf einem ACMR8

Leq:



Lmax:





**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Kappel a.A._50 km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Stadt Zürich
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Nord		Projekt-Nr.	A4398
	Streckenlänge	1180 [m]		Messequipe	jk, df
	Teststrecke	400 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	24.10.2014	<b>Belag</b>	Typ	AC8
	Messzeit	10:07 - 2:35:		Einbaujahr	2006
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	7.9 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>		50 [km/h]
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	50.6	50.5 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	0.6	0.6 [km/h]

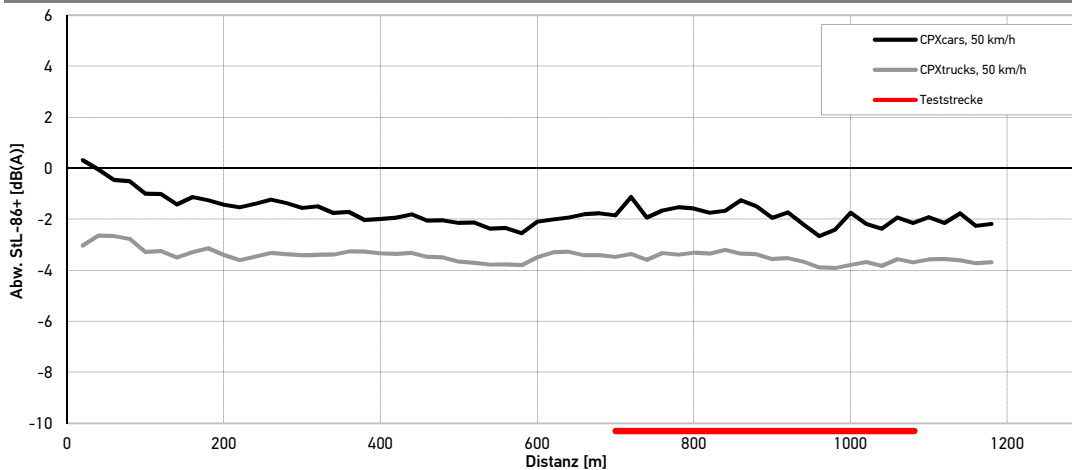
**AUSWERTUNG**

**Geschwindigkeitskonstante b** 30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös) **Temperaturkorrektur** -0.112 [dB(A)/°C]

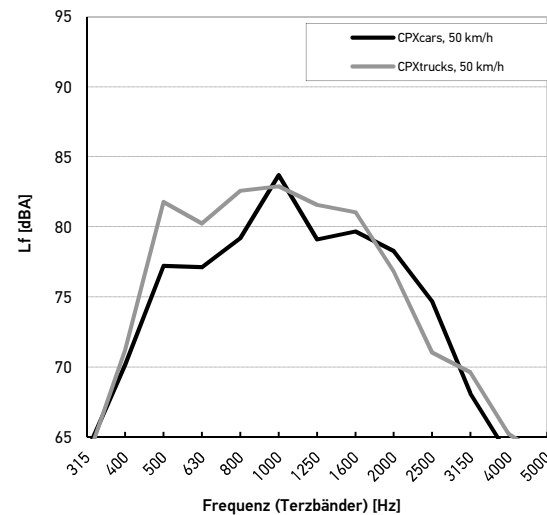
**Indexwerte** CPXcars = Lp (Reifen A1)  
CPXtrucks = Lp (Reifen D1)

**Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:**  
basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren  
Erstelldatum: 9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**



Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	89.9	88.6	-1.9
stand. dev	0.3	-	-
Trucks, N2	91.4	90.0	-3.5
stand. dev	0.2	-	-

TK = temperaturkorrigiert

**IDENTIFIKATION**

<b>Ort</b>	Ort	Kappel a.A._50 km/h	<b>Projekt</b>	Auftraggeber	Stadt Zürich
<b>Strasse</b>	Strassenbez.	Einspurig		Ing. Bür	G+P, BE
	Richtung	Süd		Projekt-Nr.	A4398
	Streckenlänge	1180 [m]		Messequipe	jk, df
	Teststrecke	400 [m]		Verantwortlich	E. Bühlmann
	Messart	CPX			

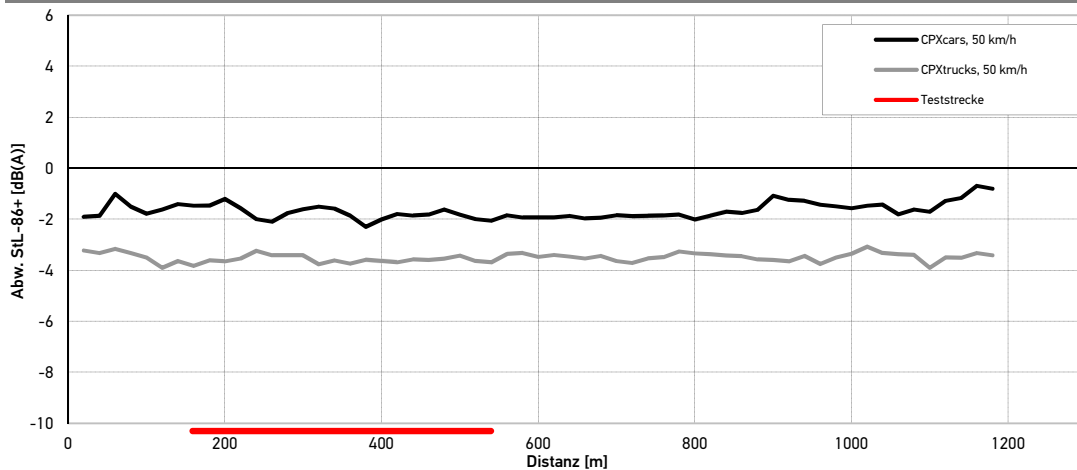
**MESSUNGEN**

<b>Messzeit</b>	Datum	24.10.2014	<b>Belag</b>	Typ	AC8
	Messzeit	10:09 - 2:31:		Einbaujahr	2006
<b>Temperatur</b>	Luft 1.5m	7.9 [°C]		Details	
	Belag	- [°C]	<b>Referenzgeschwindigkeit</b>		50 [km/h]
	Reifen	- [°C]	<b>Messfahrten</b>	Reif. A1	Reif. D1
<b>Reifen</b>	Reifen A1:	Uniroyal Tigerpaw SRTT	Anzahl	2	2
	Reifen D1:	Avon AV4	Messgeschw.	50.9	51.0 [km/h]
<b>Bemerkung</b>			Standartabw. V	1.2	0.9 [km/h]

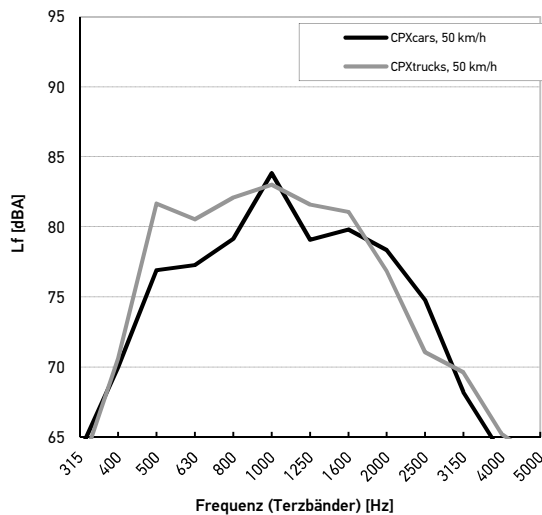
**AUSWERTUNG**

<b>Geschwindigkeitskonstante b</b>	30 (dicht), 35 (Beton), 25 (porös)	<b>Temperaturkorrektur</b>	-0.112 [dB(A)/°C]
<b>Indexwerte</b>	CPXcars = Lp (Reifen A1) CPXtrucks = Lp (Reifen D1)	<b>Umrechnungsmodell CPX zu StL-86+:</b>	
		basiert auf 67 CPX-SPB-Wertepaaren	
		Erstelldatum:	9.2011

**RESULTATE STL-86+**



**RESULTATE TESTSTRECKE: FREQUENZANALYSE UND MITTELWERTE**

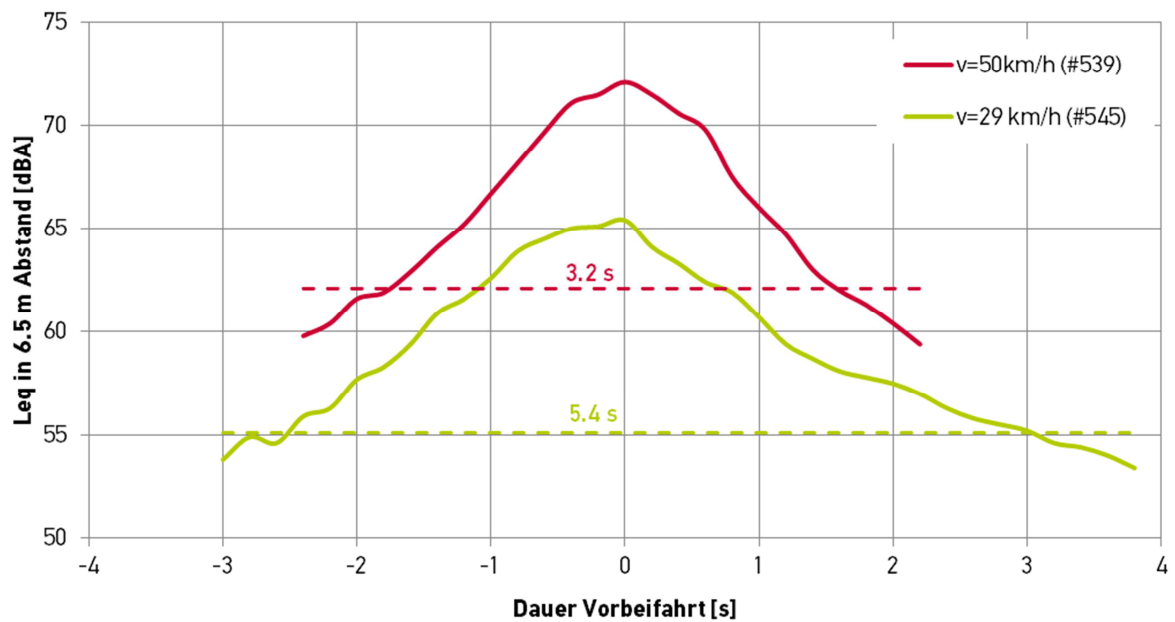


Mittelwerte Teststrecke [dB(A)]

	Lp	Lp TK	StL-86+ TK
Cars, N1	90.0	88.7	-1.8
stand. dev	0.2	-	-
Trucks, N2	91.4	90.0	-3.6
stand. dev	0.1	-	-

TK = temperaturkorrigiert

#### 4.4 Diagramm Vorbeifahrtspegel T30 und T50



Vorbeifahrtspegel von zwei einzelnen Ereignissen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in Kappel. Die Messauflösung beträgt 0.2 Sekunden. Die gestrichelte Linie ist jeweils 10 dBA kleiner als der maximale Wert der Vorbeifahrt.

Das Ereignis mit 29 km/h dauert länger und ist weniger laut.





## 5 CPX-MESSVERFAHREN

Die von G+P AG eingesetzte CPX-Methode richtet sich nach ISO/DIS 11819-2:2012. Bei dieser Methode werden die akustischen Eigenschaften von Strassenbelägen durch eine kontinuierliche und direkte Messung der Reifen-Fahrbahngeräusche mit einem Messanhänger ermittelt.

### Messsystem

Beim CPX-Messsystem wird der Schallpegel in zwei separaten schallgedämmten Kammern innerhalb des Messanhängers in unmittelbarer Reifennähe mit je zwei Mikrofonen gemessen. Der eingesetzte G+P Anhänger erfüllt die in der ISO/DIS 11819-2:2012 festgelegten Kriterien betreffend Beeinflussung der Messergebnisse durch geräteeigene Schallreflexionen sowie durch interne und externe Schallgeräusche.



Abbildung 12: G+P Messanhänger

Die verwendeten Testreifensätze sind in Abbildung 13 dargestellt: Uniroyal Tigerpaw (SRTT) 225/60-R16 (Testreifen A1 für Personenwagen/Cars) und Avon AV4 195-R14C (Testreifen D1 für Lastwagen/Trucks).



Abbildung 13: CPX-Testreifen A1 und D1

Eine schematische Übersicht über das G+P Messsystem ist in Abbildung 14 dargestellt.

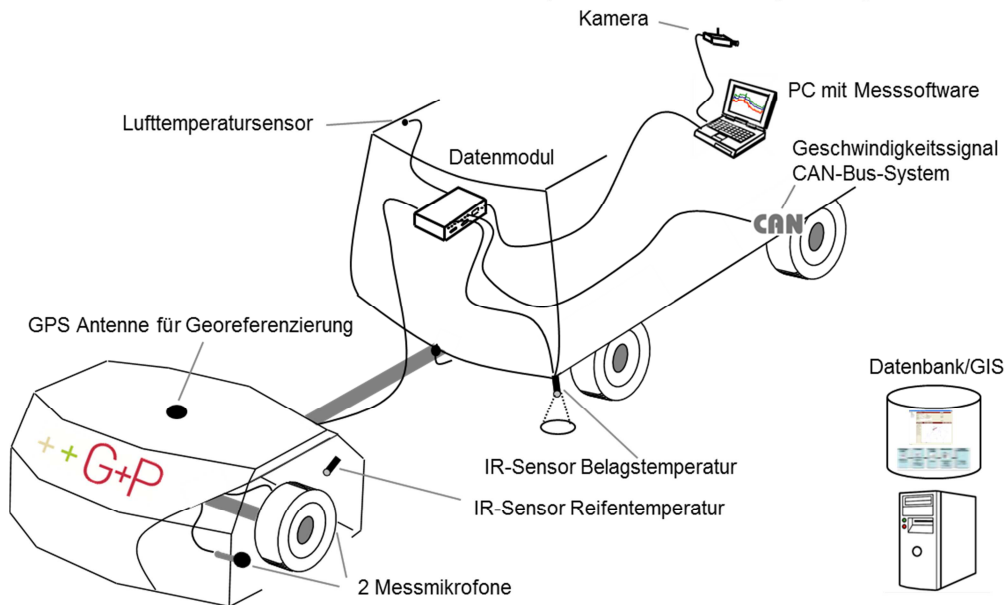


Abbildung 14: Schematische Übersicht des G+P Messsystems

Die Signale der 4 Messmikrofone (2 Messmikrofone je Seite), das Geschwindigkeitssignal aus dem CAN-Bus-System des Zugfahrzeuges, das GPS-Signal für die Georeferenzierung der Messdaten, sowie die Signale der Temperatursensoren werden im zentralen Datenmodul verarbeitet und von der Messsoftware aufgezeichnet. Die unmittelbare grafische Anzeige der Messsignale ermöglicht die ständige Überwachung des gesamten Messvorgangs während der Fahrt. Eine Kamera auf der Vorderseite des Fahrzeuges fotografiert zu Interpretations- und Kontrollzwecken fortlaufend die Strassenoberfläche. Alle Messdaten werden vom Datenmodul mit Ort/Zeit-Angaben versehen und zur Auswertung in einer eigens entwickelten Datenbankapplikation abgelegt.

### Messmethode und Messgrößen

Pro Reifen werden die A-bewerteten Schallpegel kontinuierlich auf der gesamten Messstrecke erfasst. Dabei werden die Pegel mit einer Frequenz von 8 Hz aufgezeichnet und pro Messsegment (Länge 20 m) energetisch gemittelt. Die Messfahrt erfolgt bei möglichst konstanter Geschwindigkeit (Referenzgeschwindigkeit von 50 km/h oder 80 km/h). Die Messresultate werden entsprechend der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit sowie bezüglich geräteeigener Schallreflexionen korrigiert, siehe Formel (1).

$$\begin{aligned}
 CPX_{cars} &= Lp_{Reifen A1} + K_V + K_{Anhänger} \\
 CPX_{trucks} &= Lp_{Reifen D1} + K_V + K_{Anhänger}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- $CPX_{cars}, CPX_{trucks}$ : CPX-Indexwerte pro Fahrzeugkategorie
- $Lp_{Reifen A1}$ : A-bewerteter Schallpegel für Testreifen A1
- $Lp_{Reifen D1}$ : A-bewerteter Schallpegel für Testreifen D1
- $K_V$ : Geschwindigkeitskorrektur [dBA], siehe Formel (2)
- $K_{Anhänger}$ : Terzbandbasierte Anhängerkorrektur für schallkammer-spezifische Schallreflexionen

Die Geschwindigkeitskorrektur berechnet sich wie folgt:

$$K_v = -b \cdot \log(v / v_{ref}) \quad (2)$$

- $K_v$ : Geschwindigkeitskorrektur [dB(A)]  
 $b$ : Geschwindigkeitskonstante 25 (porös), 30 (dicht), 35 (Beton) [dB(A)]  
 $v$ : tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit [km/h]  
 $v_{ref}$ : Referenzgeschwindigkeit [km/h]

$CPX_{cars}$  repräsentiert das Rollgeräusch von Personenwagen und leichten Fahrzeugen, während  $CPX_{trucks}$  dem Rollgeräusch des Schwerverkehrs entspricht. Die CPX-Indexwerte werden jeweils mit und ohne Temperaturkorrektur ausgewiesen.

### Temperaturkorrektur

Die CPX-Indexwerte wurden auf folgende Weise temperaturbereinigt (Details in: *Bühlmann und Ziegler (2011), "Temperature effects on tyre/road noise measurements", Proc. of InterNoise, Osaka*):

$$K_{temp} = \vartheta \cdot (T_{Luft150} - 20) \quad (3)$$

- $K_{temp}$ : Temperaturkorrektur [dB(A)]  
 $\vartheta$ : belags-, geschwindigkeits- und reifenabhängiger Korrekturfaktor [dB(A) / °C]  
 $T_{Luft150}$ : fortlaufend aufgezeichnete Lufttemperatur auf 1.5m Höhe [°C]

### Shorehärtekorrektur

Shorehärtekorrekturen werden in Abhängigkeit des Reifentyps wie folgt berechnet (Details in: *Bühlmann et al. (2013), "Ageing of the new CPX reference tyres during a measurement season", Proc. of InterNoise, Innsbruck*.)

$$K_{shoreA} = \gamma \cdot (Sh_{gem} - C) \quad (4)$$

- $K_{shoreA}$ : Shorehärtekorrektur [dB(A)]  
 $\gamma$ : reifenabhängiger Korrekturfaktor [dB(A) / Einheit Shore A]  
 $Sh_{gem}$ : monatliche Shorehärtemessung bei 20 °C, zeitlich interpoliert [Shore A]  
 $C$ : reifenabhängiger Referenzwert

### Umrechnung auf StL-86+ bei 50 km/h

CPX-Indexwerte repräsentieren die absoluten Schallpegel in 20 cm Distanz zum Reifen. Für die Interpretation der Resultate interessiert aber die Abweichung vom in der Schweiz gültigen Emissions-Modell StL-86+. Dazu wurden die CPX-Indexwerte an 67 Standorten mit SPB Messungen (Statistical Pass-By - Vorbeifahrtmessungen) korreliert. Die zur Korrelation verwendeten SPB-Messungen wurden gemäss dem *Technischen Merkblatt für akustische Belagsgütemessungen an Strassen* (ASTRA/BAFU, 2006, Dokument UV-0637, Anhang 1c) durchgeführt.

Die Genauigkeit dieser Umrechnungsmodelle wurde anhand von Korrelations- und Regressionsanalysen überprüft. Die Bestimmtheitsmasse ( $R^2$ ) für die verwendeten Umrechnungsmodelle betragen 94% für CPXcars und SPB N1 (Vorbeifahrtmessungen von Personenwagen und leichten Fahrzeugen) und 64% für CPXtrucks und SPB N2 (Vorbeifahrtmessungen von Lastwagen und schweren Fahrzeugen).

Für das Umrechnungsmodell CPXcars - SPB N1 liegt das 95% Vertrauensintervall zwischen  $\pm 0.2$  bis  $\pm 0.8$  dB(A). Für das Umrechnungsmodell CPXtrucks - SPB N2 bewegt sich das 95% Vertrauensintervall zwischen  $\pm 0.3$  bis  $\pm 1.4$  dB(A).