

**Vergleichende messtechnische Untersuchungen  
zum Einfluss einer nächtlichen Geschwindigkeitsbegrenzung  
von 50 km/h auf 30 km/h  
auf die Lärmimmissionen durch den Straßenverkehr**



**Projektleiter:**

Prof. Dr.-Ing. Bruno Spessert

Dipl.-Phys. Bernhard Kühn

**Mitarbeiter:**

B. Eng. Christian Leisker

B. Eng. Marcus Stiebritz

## Inhalt

Verwendete Symbole.....	3
1 Zielstellung.....	4
2 Methoden und verwendete Technik .....	4
2.1 Zusammenfassung der Literaturstudie .....	5
2.2 Verwendete Messtechnik .....	6
2.3 Vorbemerkungen zur Vorbeifahrtsmessung .....	7
2.4 Vorbemerkungen zur Messung am realen Verkehr .....	9
3 Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen .....	11
3.1 Kompaktklasse - Toyota Corolla .....	12
3.2 Transporter - Ford Transit .....	13
3.3 Mittelklassewagen - Audi A4 .....	14
3.4 MiniVan - Opel Meriva.....	15
3.5 Vergleich der Fahrzeugtypen und Interpretation der Messergebnisse.....	16
4 Ergebnisse der Messungen an Bundesstraßen in Jena .....	19
4.1 Erfurter Straße mit den Messpunkten A und B .....	20
4.2 Camburger Straße mit den Messpunkten C und D.....	34
4.3 Kahlaische Straße mit den Messpunkten E und F.....	40
4.4 Geschwindigkeitsmessung.....	43
5 Zusammenfassung .....	45
6 Quellen .....	47

## Verwendete Symbole

$A$	Frequenzbewertungsfilter A
$F$	Zeitbewertung FAST (Zeitkonstante = 125 ms)
$L_p$	Schalldruckpegel
$L(t)$	Pegel-Zeit-Verlauf, Momentanwerte des Schalldruckpegels zur Zeit $t$
$L_{AF}(t)$	Pegel-Zeit-Verlauf: Frequenzbewertung A, Zeitbewertung FAST
$L_{eq}, L_{Aeq}$	energieäquivalenter Dauerschallpegel
$L_m$	energieäquivalenter Dauerschallpegel für die Messzeit $T_M$
$L_{T0}$	Einzelereignispegel
$L_{max}, L_{Amax}$	maximaler Vorbeifahrtspegel (hier maximaler Momentanwert)
$\Delta L_{max}, \Delta L_{Amax}$	maximaler Pegelanstieg
$L_{MAX}$	maximaler Schalldruckpegel
$L_{MIN}$	minimaler Schalldruckpegel
$L_{tm3}, L_{tm5}$	mittlere Taktmaximalpegel bezogen auf Takte von 3 bzw. 5 Sekunden
$t$	Zeit
$T_0$	Bezugszeit zur Bestimmung des Einzelereignispegels
$T_M$	Messzeit zur Bestimmung des Einzelereignispegels

## 1 Zielstellung

In der Stadt Jena wurde die zulässige Höchstgeschwindigkeit an einigen Bundesstraßen zwischen 22 und 6 Uhr von 50 km/h auf 30 km/h reduziert, um dadurch die nächtliche Lärmimmission zu verringern. Im durchgeführten Projekt wurde untersucht, ob die nächtliche Absenkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit an Bundesstraßen tatsächlich eine Lärmreduktion bewirkt.

## 2 Methoden und verwendete Technik

Das Projekt bestand aus zwei Teilen. Im ersten Teil wurde die Geräuschemission durch einzelne Vorbeifahrten mit vier verschiedenen Fahrzeugtypen bei vier Geschwindigkeiten auf einer „Teststrecke“ gemessen. Ziel dieser Messungen war die Beantwortung der Frage, ob nur die Geschwindigkeit oder auch andere Größen wie insbesondere die gewählte Getriebestufe maßgebend für die Geräuschemission eines Fahrzeuges sind.

Im zweiten Teil fanden an fünf Messorten an der B7 bzw. an der B88 in Jena Geräuschemessungen im realen Straßenverkehr statt. Ziel dieser Messungen war die Beantwortung der Frage, ob die Verringerung der nächtlich zulässigen Höchstgeschwindigkeit die Geräuschemission tatsächlich nennenswert verringert.

Alle Messungen fanden in Anlehnung an DIN 45642 in einem Abstand von 7,5 m zur Mitte des Fahrstreifens und in 1,2 m Höhe über der Fahrbahnoberfläche statt. (An der Kahlaischen Straße wurde parallel eine Messung in 25 m Abstand von der Fahrbahnmitte durchgeführt.) Für alle Messungen wurden nur Zeiten mit trockener Fahrbahn und geringen Windgeschwindigkeiten gewählt.

Bei alle Messungen wurde zunächst der Pegel-Zeitverlauf  $L(t)$  über die gesamte Messzeit aufgezeichnet. Alle Messungen wurden A-bewertet und mit der Zeitbewertung FAST durchgeführt. Der Pegel-Zeitverlauf  $L_{AF}(t)$  besteht aus einer Folge von Momentanwerten, welche im Messgerät für die eingestellte Integrationszeit gebildet werden. Die Integrationszeit betrug jeweils 0,5 s. Nur bei den Vorbeifahrtmessungen vom April mit dem Toyota betrug sie 1 s. Zur Wahl der Integrationszeit enthält DIN 45642 keine Angaben.

## 2.1 Zusammenfassung der Literaturstudie

Zur Vorbereitung auf die Messungen wurde nach Literaturstellen recherchiert, welche das Thema Verkehrslärmmessung behandeln. Die wichtigsten Inhalte der recherchierten Quellen werden kurz zusammengefasst.

In der Veröffentlichung **„Vergleich von Schall-Immissionsmessungen bei Straßenverkehrslärm mit standardisierten und binauralen Geräten“** aus dem Institut für Strassen- und Verkehrswesen der Universität Stuttgart (Henrik Schwarz, 2002) sind Unterschiede zwischen Verkehrslärmmessungen mit einem normgerechten Schalldruckpegelmessgerät und einem Kunstkopf-Messgerät herausgearbeitet. U.a. äußert der Autor Kritik an der überwiegenden Verwendung des äquivalenten Dauerschallpegel  $L_{eq}$  als wesentlichen Parameter. Kurze Ereignisse mit hohem Schalldruckpegel beeinflussen diesen Mittelungspegel sehr stark, obwohl sie nur einen kleinen Ausschnitt der gesamten Situation repräsentieren.

In der Diplomarbeit **„Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen auf die Lärmbelästigung“** an der Universität Innsbruck (Peter Schick, 1998) werden verschiedene Maßnahmen, so auch die Absenkung der Verkehrsgeschwindigkeit, hinsichtlich ihrer lärmindernden Wirkung verglichen. Neben vielen theoretischen Betrachtungen wurden auch Messungen durchgeführt. Die Mittelung über 33 Pkw-Vorbeifahrten bzw. die sich daraus ergebende Regressionskurve weist bei einer Reduktion der Geschwindigkeit von 50 auf 30 km/h eine Minderung im Einzelereignispegel um 4 dB aus.

In dem Bericht **„Neues EMPA-Modell für Strassenlärm“** der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt aus Dübendorf (CH) von 1997 ist ein Berechnungsmodell für Straßenverkehrslärm beschrieben, das anhand von einzelnen Vorbeifahrtmessungen am realen Verkehr in den Kategorien Pkw und Lkw, sowie durch separate Messungen des Antriebs- und Rollgeräusches aufgestellt wurde. Als Grundlage dienten Messungen der maximalen Vorbeifahrtspegel in 7,5 m Abstand mit gleichzeitiger Geschwindigkeitsmessung. Zur Auswertung wurde zudem der berechnete Einzelereignispegel herangezogen.

In der Veröffentlichung „**Können Lärminderungsmaßnahmen mit geringer akustischer Wirkung wahrgenommen werden**“ vom Umweltbundesamt (J. Ortscheid u. H. Wende, 2004) wird der Standpunkt kritisch diskutiert, dass Lärminderungsmaßnahmen erst ergriffen werden sollen, wenn dadurch eine Pegelminderung von mindestens 3 dB erzielt werden. Es sind Ergebnisse empirischer Untersuchungen aufgelistet, welche belegen, dass für die Betroffenen solche Maßnahmen dennoch hörbar sind. Demnach sind die Autoren der Überzeugung, dass Pegeländerungen von Verkehrsräuschen, die kleiner als 3 dB ausfallen, von den Anwohnern gut wahrgenommen werden können. Somit sollten auch verkehrsorganisatorische Maßnahmen mit geringer akustischer Wirkung realisiert werden.

## 2.2 Verwendete Messtechnik

Für die Messungen wurden zwei Schallpegelmesser der Firma SVANTEK mit Windschirm eingesetzt: SVAN 912 A und SVAN 957. Eine Übersicht zur verwendeten Technik gibt folgende Tabelle.

**Tabelle 1: Übersicht zur verwendeten Messtechnik**

	Beschreibung
<b>SVAN 912 A</b>	Schallpegelanalysator der Klasse 1 nach IEC 61672
Frequenzbereich	2 Hz - 20 kHz
Messbereich	12 dB bis 136 dB
<b>SVAN 957</b>	Schallpegelanalysator der Klasse 1 nach IEC 61672
Frequenzbereich	0,5 Hz - 20 kHz
Messbereich	25 dB bis 143 dB
<b>SV 30 A</b>	Akustischer Kalibrator der Klasse 1 nach IEC 60942
Signal	94 dB bei 1 kHz

## 2.3 Vorbemerkungen zur Vorbeifahrtsmessung

Die Vorbeifahrtsmessungen fanden an mehreren Tagen im Zeitraum zwischen dem 15.04. und dem 27.07.2010 statt. Als „Teststrecke“ wurde aufgrund der geringen Verkehrsdichte sowie des geraden und ebenen Straßenverlaufs die Brüsseler Straße im Gewerbegebiet Lobeda-Süd, zwischen dem Baumarkt „Hornbach“ und der DEKRA ausgewählt.

Für alle untersuchten Fahrzeuge wurden folgende Kombinationen aus Geschwindigkeit und Getriebestufe vermessen.

- 30 km/h, 2. Gang
- 30 km/h, 3. Gang
- 40 km/h, 3. Gang
- 50 km/h, 3. Gang
- 50 km/h, 4. Gang
- 60 km/h, 4. Gang

Es wurden für jede Kombination drei gültige Wiederholungen durchgeführt. Gültige Messungen sind Messungen ohne Störung durch Fremdgeräusche und einer Pegeldifferenz von mindestens 10 dB.



Abbildung 1: Messstrecke der Vorbeifahrtsmessungen vom 15.04.2010 (Toyota Corolla)

Als charakteristische Größen zur Beschreibung der einzelnen Vorbeifahrten wurden aus dem Pegel-Zeit-Verlauf  $L_{AF}(t)$  folgende Parameter extrahiert bzw. berechnet:

- der maximale Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$
- der maximale Pegelanstieg  $\Delta L_{Amax}$
- der Einzelereignispegel  $L_{T0}$

Als maximaler Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  wurde der jeweils maximale Wert aus dem Pegel-Zeitverlauf  $L_{AF}(t)$  ermittelt. Für den maximalen Pegelanstieg  $\Delta L_{Amax}$  wurde die maximale Änderung des Pegel-Zeitverlauf  $L_{AF}(t)$  innerhalb einer Sekunde berechnet. Für den Einzelereignispegel  $L_{T0}$  wurde die Definition nach DIN 45642 (S.5) zu Grunde gelegt.

$$L_{T0} = L_m + 10 \lg \left( \frac{T_M}{T_0} \right) \text{ dB(A)} \quad (1)$$

Wird der auf eine Sekunde ( $T_0$ ) normierte  $L_{T0}$  von einer Vorbeifahrt eines einzelnen Pkw oder Lkw bestimmt, so sollte die Messzeit  $T_M$  den Zeitraum umfassen, in dem der Schalldruckpegel vor dem Maximum um 10 dB steigt und nach dem Maximum um 10 dB sinkt. Für diesen relevanten Zeitabschnitt  $T_M$  wird der Mittelungspegel  $L_m$  gebildet. Der Einzelereignispegel  $L_{T0}$  über der Zeit  $T_0$  enthält die gleiche Energie wie der Mittelungspegel  $L_m$  über die Zeit  $T_M$ .

Somit lassen sich Schallereignisse mit unterschiedlicher Zeitdauer und Intensität vergleichen.

## 2.4 Vorbemerkungen zur Messung am realen Verkehr

Die Messungen wurden im Zeitraum zwischen dem 10.06. und dem 20.09.2010 durchgeführt. Die Messpunkte (MP) befanden sich nach Absprache zwischen den Projektpartnern an der Erfurter, der Camburger und der Kahlaischen Straße:

MP A	Erfurter Str. 60 (gegenüber)
MP B	Erfurter Str. 13
MP C	Camburger Str. (Nähe Leipziger Str. 64)
MP D	Camburger Str. (Nähe Leipziger Str. 70 / 78)
MP E	Kahlaische Str. (Puschkinplatz)
MP F	wie MP E, aber größere Entfernung (25 m statt 7,5 m)

Alle Messpunkte wiesen eine gerade, ebene und glatte Fahrbahn auf. Nur am Messpunkt B befanden sich ein leichter Anstieg sowie ein Kanaldeckel.

Die Messungen fanden überwiegend an den Wochentagen Dienstag bis Mittwoch i.d.R. von 21:00 Uhr bis 23:00 Uhr statt. (Lediglich die orientierende Messung in der Kahlaischen Straße zum Einfluss von Eisen- und Straßenbahn wurde an einem Montag durchgeführt. Gemessen wurde hier von 20:00 Uhr bis 23:45 Uhr.)

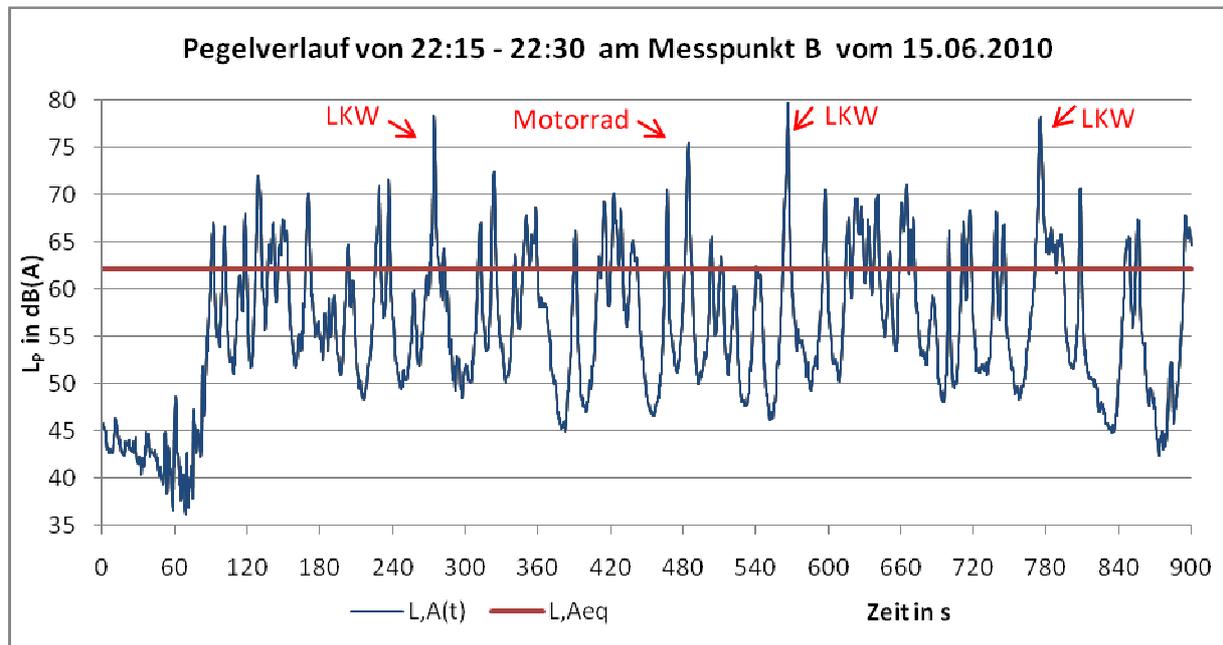
Es wurden also sowohl eine Stunde (bzw. zwei Stunden) mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h als auch eine Stunde (bzw. fast zwei Stunden) mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h erfasst. Die gesamte Messzeit wurde in Intervalle von acht mal 15 Minuten unterteilt. Die Viertelstundenintervalle wurden separat ausgewertet. Betrachtet wurden

- der energieäquivalente Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  über 15 Minuten,
- der energieäquivalente Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  über 60 Minuten
- sowie die Häufigkeitsverteilung verschiedener Pegelklassen.

Dargestellt und verglichen wurden die Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  über die Beurteilungszeiträume von 15 bzw. 60 Minuten.

Weiterhin gehören zu den Basisdaten für jedes Zeitintervall der maximale Schalldruckpegel  $L_{MAX}$ , der minimale Schalldruckpegel  $L_{MIN}$  sowie die Mittelungspegel des Taktmaximalpegels für Zeitintervalle von 3 Sekunden  $L_{tm3}$  und 5 Sekunden  $L_{tm5}$ . Der Vollständigkeit halber werden diese Größen im Bericht mit aufgeführt, auch wenn sie für die Auswertung nicht näher betrachtet wurden.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch den Pegel-Zeit-Verlauf  $L_{AF}(t)$ . Bei einer Integrationszeit von 500 ms besteht ein 15 Minutenintervall aus 1800 Momentanwerten. Einzelne Ereignisse sind gut aufzulösen.



**Abbildung 2: Beispiel des Pegel-Zeit-Verlaufs über 15 Minuten (900 s) mit energieäquivalentem Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$**

Da der Mittelungspegel ein sehr allgemeines Kriterium ist und die Geräuschbelastung von Anwohnern nur unzureichend beschreibt, wurden im nächsten Schritt Häufigkeitsverteilungen der Momentanwerte näher untersucht. Dabei werden die Momentanwerte in 5 dB(A)-Klassen eingeteilt. Die Häufigkeit des Auftretens bestimmter Pegelklassen für die Zeitintervalle vor und nach 22 Uhr konnte anschließend miteinander verglichen werden. Die betrachteten Häufigkeitsverteilungen sind anschaulicher als die sonst übliche Pegelstatistik, liefern aber ähnliche Ergebnisse.

Während der Messungen wurden eigene Verkehrszählungen durchgeführt. Dabei wurde nach Fahrtrichtung und Fahrzeugtyp unterschieden. An einigen Messtagen wurden parallel durch die Stadt Jena Erhebungen zur Verkehrsstatistik incl. Geschwindigkeitsmessung vorgenommen. Leider konnte dies aus technischen Gründen nicht an allen Messtagen geschehen. Zum Einsatz kam das Radarmessgerät („Blitzer“) und das Verkehrserfassungsgerät SR4 der Firma SIERZEGA.

### 3 Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen

Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der durchgeführten Vorbeifahrtsmessungen und beschreibt die untersuchten Fahrzeuge.

**Tabelle 2: Übersicht Vorbeifahrtsmessungen mit verschiedener Fahrzeugtypen**

	<b>Zeit</b>	<b>Fahrzeug</b>	<b>Motor</b>	<b>Messgerät</b>
<b>15. bis 22.04.2010</b>	14 - 16 Uhr	<b>Toyota Corolla</b>	Ottomotor	SVAN 912 A
		Bj. 1996	55 kW	1 s
<b>08.06.2010</b>	16 - 18 Uhr	<b>Transporter</b>	Dieselmotor	SVAN 957
		Bj. 2007	74 kW	1/2 s
<b>27.07.2010</b>	16 - 19 Uhr	<b>Audi A4</b>	Dieselmotor	SVAN 957
		Bj. 2010	88 kW	1/2 s
		<b>Opel Meriva</b>	Dieselmotor	SVAN 957
		Bj. 2007	74 kW	1/2 s

Die Messdaten wurden mit dem Schallpegelmesser SVAN 957 (Integrationszeit von 0,5 s) erhoben. Lediglich bei der ersten Messreihe mit dem Toyota Corolla fand der Schallpegelmesser SVAN 912 A (Integrationszeit von 1 s) Verwendung.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt jeweils in einer Tabelle für jedes Fahrzeug. Die logarithmisch gemittelten maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  und Einzelereignispegel  $L_{T0}$  der verschiedenen Geschwindigkeiten und Betriebszustände mit den dazugehörigen Standardabweichungen sind im Folgenden auch graphisch dargestellt.

In einem eigenen Abschnitt (Kap. 3.5) werden die maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$ , die Einzelereignispegel  $L_{T0}$  und die maximalen Pegelanstiege  $\Delta L_{Amax}$  für die verschiedenen Fahrzeuge direkt verglichen und interpretiert.

### 3.1 Kompaktklasse - Toyota Corolla

Im Zeitraum zwischen den 15.04 und 22.04.2010 wurden mit einem Toyota Corolla Vorbeifahrtsmessungen durchgeführt.

Tabelle 3: Übersicht der Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen Toyota Corolla

	30 km/h 2. Gang	30 km/h 3. Gang	40 km/h 3. Gang	50 km/h 3. Gang	50 km/h 4. Gang	60 km/h 4. Gang
$L_{Amax}$ Messung 1 in dB(A)	59,0	59,5	62,1	66,2	66,4	68,8
$L_{Amax}$ Messung 2 in dB(A)	59,6	59,2	62,7	66,8	66,6	69,2
$L_{Amax}$ Messung 3 in dB(A)	59,3	58,8	62,2	66,0	65,2	68,9
Mittelwert $L_{Amax}$ in dB(A)	59,3	59,2	62,3	66,3	66,1	69,0
Standardabweichung	0,3	0,4	0,3	0,4	0,8	0,2
Mittelwert $\Delta L_{Amax}$ in dB/s	3,3	2,8	4,5	5,2	5,1	7,0
Mittelwert $L_{T0}$ in dB(A)	65,6	66,9	67,4	69,7	70,0	71,4
Drehzahl in U/min	2000	1300	1800	2300	1700	2100

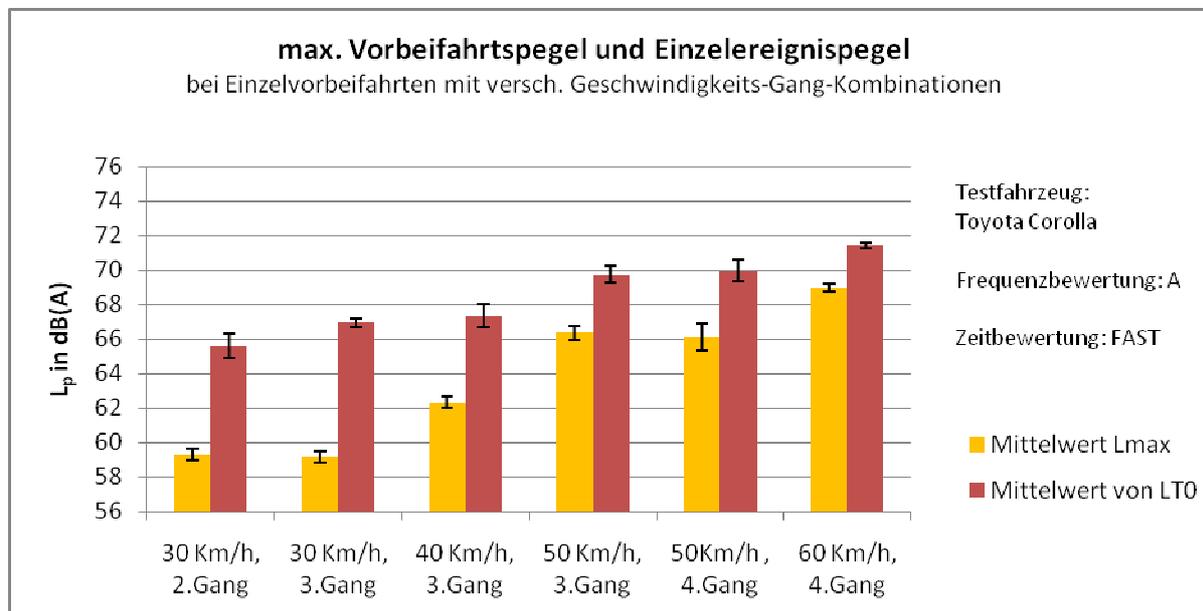


Abbildung 3: Vergleich der gemittelten maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  und der gemittelten Einzelereignispegel  $L_{T0}$  mit den jeweiligen Standardabweichungen für die Messreihe Toyota Corolla

## 3.2 Transporter - Ford Transit

Am 8.06.2010 wurden mit einem Transporter Ford Transit Vorbeifahrtsmessungen durchgeführt. Die Intervallzeit wurde für diese und alle folgenden Messungen auf 500 ms verringert.

Tabelle 4: Übersicht der Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen Ford Transit

	30 km/h 2. Gang	30 km/h 3. Gang	40 km/h 3. Gang	50 km/h 3. Gang	50 km/h 4. Gang	60 km/h 4. Gang
$L_{Amax}$ Messung 1 in dB(A)	68,0	62,7	66,4	69,2	69,5	71,6
$L_{Amax}$ Messung 2 in dB(A)	66,4	62,7	67,0	70,9	69,7	72,2
$L_{Amax}$ Messung 3 in dB(A)	67,4	62,4	68,7	69,8	69,4	71,1
Mittelwert $L_{Amax}$ in dB(A)	67,3	62,6	67,5	70,0	69,5	71,7
Standardabweichung	0,8	0,2	1,2	0,9	0,2	0,6
Mittelwert $\Delta L_{Amax}$ in dB/s	4,5	3,5	5,2	6,4	6,0	7,5
Mittelwert $L_{T0}$ in dB(A)	71,5	67,3	70,4	72,1	71,5	73,0
Drehzahl in U/min	2500	1500	2000	2200	1750	2100

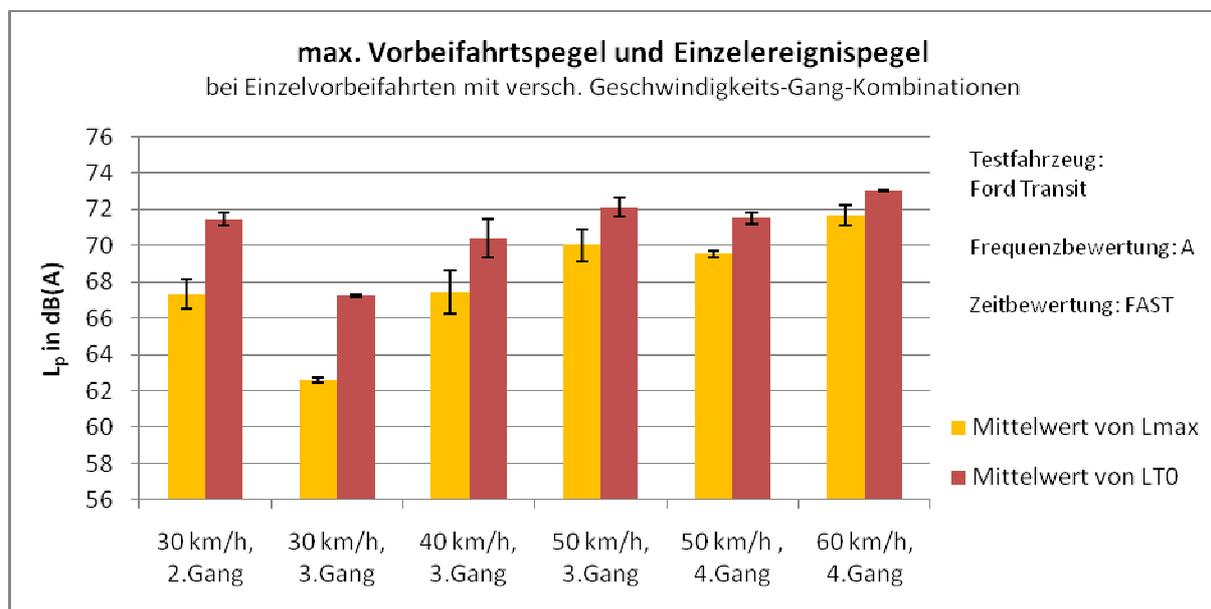


Abbildung 4: Vergleich der gemittelten maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  und der gemittelten Einzelereignispegel  $L_{T0}$  mit den jeweiligen Standardabweichungen für die Messreihe Ford Transit

### 3.3 Mittelklassewagen - Audi A4

Am 27.7.2010 wurden Vorbeifahrtmessungen mit einem Mittelklassewagen des Typs Audi A4 Avant vorgenommen.

Tabelle 5: Übersicht der Ergebnisse der Vorbeifahrtmessungen Audi A4

	30 km/h 2. Gang	30 km/h 3. Gang	40 km/h 3. Gang	50 km/h 3. Gang	50 km/h 4. Gang	60 km/h 4. Gang
$L_{Amax}$ Messung 1 in dB(A)	63,9	62,8	67,3	70,7	70,9	72,9
$L_{Amax}$ Messung 2 in dB(A)	64,7	63,6	67,3	70,4	70,1	73,0
$L_{Amax}$ Messung 3 in dB(A)	64,9	62,7	67,5	70,5	71,0	74,2
Mittelwert $L_{Amax}$ in dB(A)	64,5	63,1	67,4	70,5	70,7	73,4
Standardabweichung	0,5	0,5	0,1	0,2	0,5	0,7
Mittelwert $\Delta L_{Amax}$ in dB/s	3,4	3,3	4,7	5,5	6,8	7,0
Mittelwert $L_{T0}$ in dB(A)	68,6	67,6	70,5	72,7	72,6	75,1
Drehzahl in U/min	1600	1050	1400	1800	1300	1600

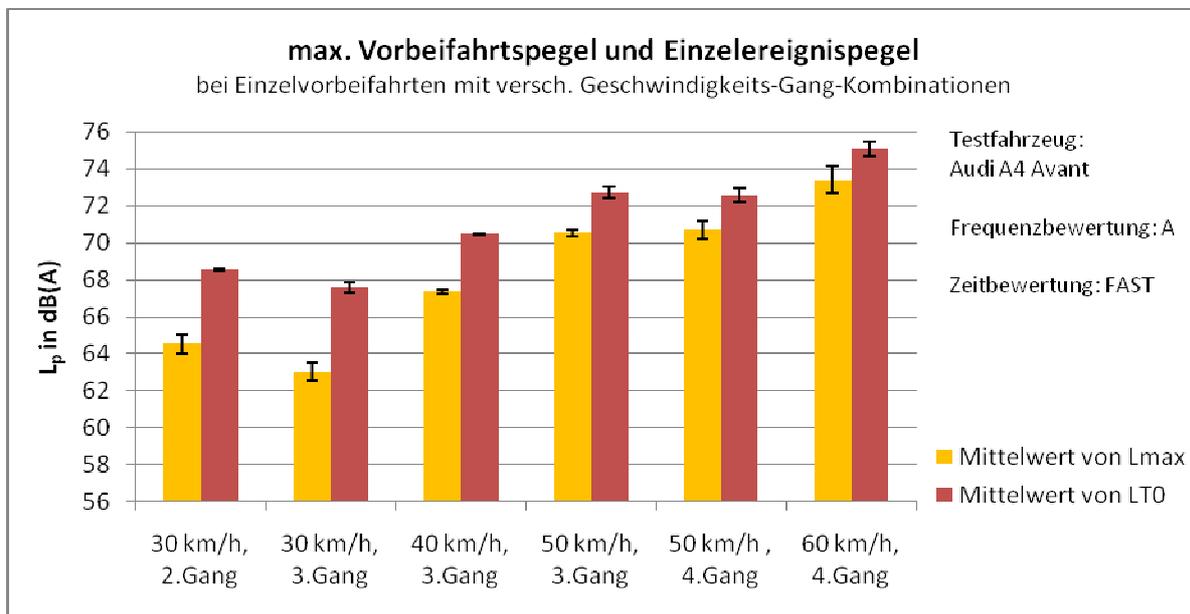


Abbildung 5: Vergleich der gemittelten maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  und der gemittelten Einzelereignispegel  $L_{T0}$  mit den jeweiligen Standardabweichungen für die Messreihe Audi A4

### 3.4 Mini-Van - Opel Meriva

Ebenfalls am 27.7.2010 wurden mit einem Mini-Van des Typs Opel Meriva Vorbeifahrtsmessungen durchgeführt.

Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse der Vorbeifahrtsmessungen Opel Meriva

	30 km/h 2. Gang	30 km/h 3. Gang	40 km/h 3. Gang	50 km/h 3. Gang	50 km/h 4. Gang	60 km/h 4. Gang
$L_{Amax}$ Messung 1 in dB(A)	63,3	62,8	67,7	71,6	71,4	74,0
$L_{Amax}$ Messung 2 in dB(A)	62,8	62,5	68,0	71,2	71,9	74,5
$L_{Amax}$ Messung 3 in dB(A)	63,1	63,2	68,0	71,7	70,2	74,8
Mittelwert $L_{Amax}$ in dB(A)	63,1	62,8	67,9	71,5	71,2	74,4
Standardabweichung	0,3	0,4	0,2	0,3	0,9	0,4
Mittelwert $\Delta L_{Amax}$ in dB/s	3,5	3,8	5,0	6,1	6,5	7,4
Mittelwert $L_{T0}$ in dB(A)	67,6	67,0	70,4	73,1	72,7	75,2
Drehzahl in U/min	2100	1500	1900	2300	2100	2000

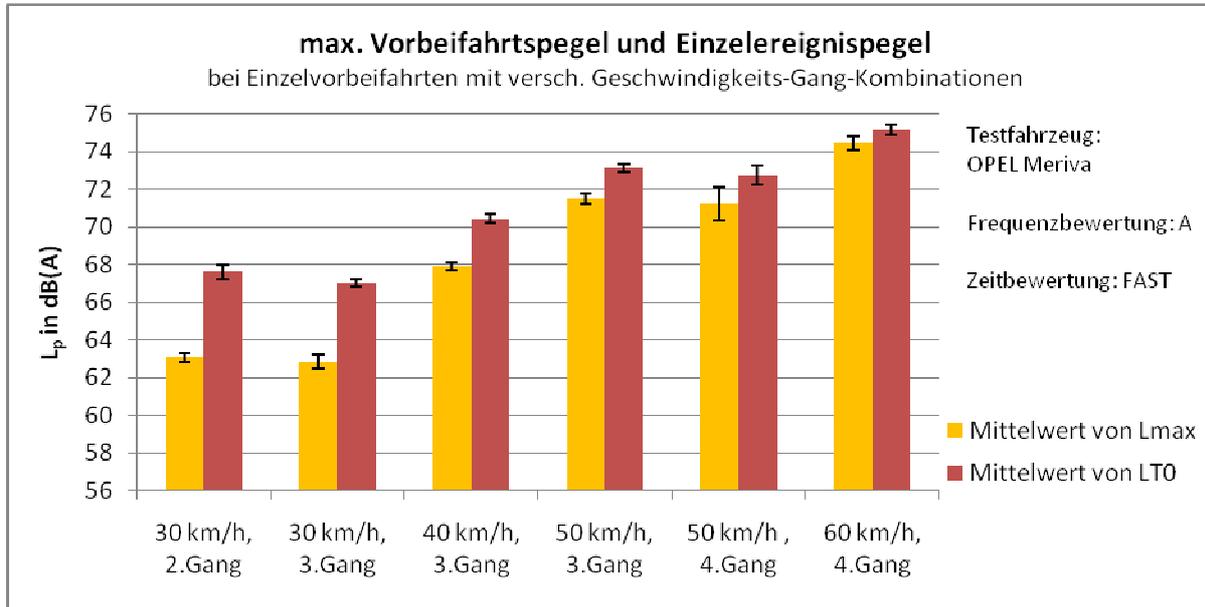


Abbildung 6: Vergleich der gemittelten maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  und der gemittelten Einzelereignispegel  $L_{T0}$  mit den jeweiligen Standardabweichungen für die Messreihe Opel Meriva

### 3.5 Vergleich der Fahrzeugtypen und Interpretation der Messergebnisse

In den folgenden Abbildungen sind die Ergebnisse für die einzelnen Fahrzeuge grafisch zusammengefasst. Ein Vergleich der Geräuschemission der untersuchten Fahrzeugtypen bei den untersuchten Betriebspunkten ist somit gut möglich.

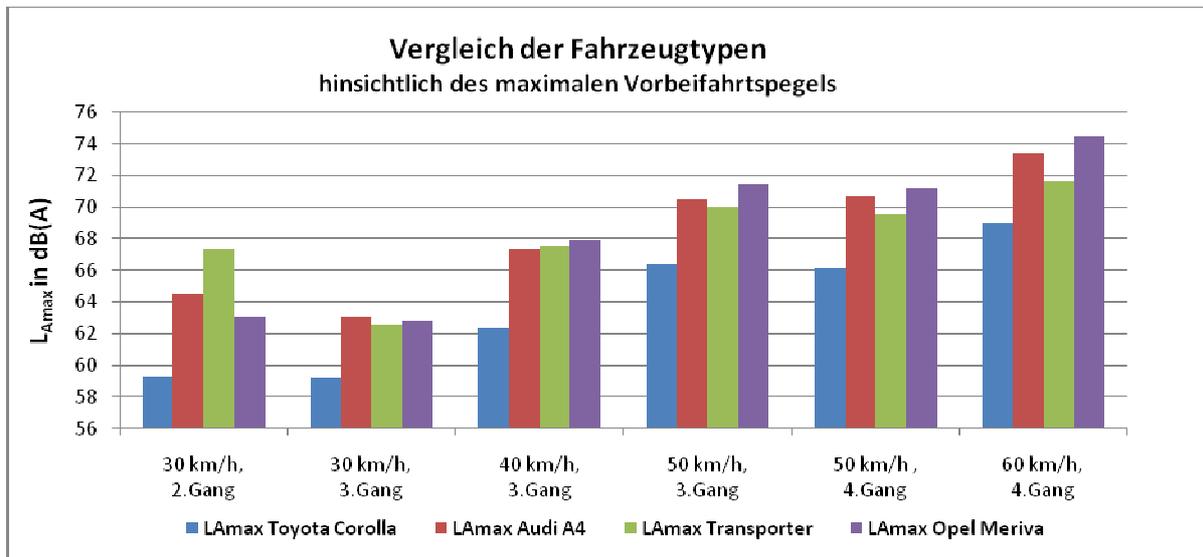
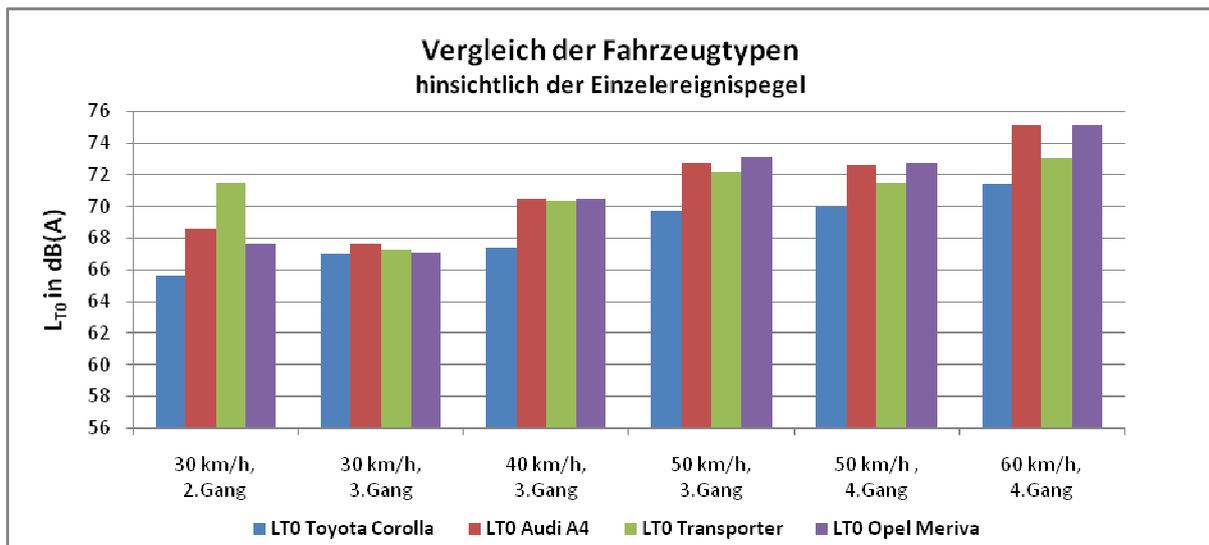


Abbildung 7: Vergleich der gemittelten maximalen Vorbeifahrtspegel der verschiedenen Fahrzeugtypen

Die maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  weisen eine deutliche Abhängigkeit nur von der Geschwindigkeit auf. Die gewählte Gangstufe spielt für die Geräuschemission offenbar eine untergeordnete Rolle. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h sind die maximalen Vorbeifahrtspegel aller Fahrzeuge immer höher als bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h, und zwar auch noch dann, wenn das Fahrzeug bei der Geschwindigkeit von 50 km/h im 4. Gang und bei der Geschwindigkeit von 30 km/h im 2. Gang betrieben wird. Die gewählte Gangstufe spielt nur für den untersuchten Transporter und bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h überhaupt eine Rolle! In diesem Betriebspunkt wird der Motor des Transporters mit einer relativ hohen Drehzahl von 2500 U/min betrieben.

Zwischen den Geschwindigkeiten von 30 km/h und 50 km/h wurden Pegeldifferenzen von 7-8 dB gemessen. Am größten ist der Unterschied mit 8,4 dB beim Opel Meriva. Das leiseste Fahrzeug ist der Toyota Corolla mit Ottomotor. Das lauteste Fahrzeug ist bei der Geschwindigkeit von 30 km/h im 2. Gang der Transporter und bei höheren Geschwindigkeiten der Opel Meriva.



**Abbildung 8: Vergleich des gemittelten Einzelereignispegels der verschiedenen Fahrzeugtypen**

Auch die Einzelereignispegel  $L_{70}$  (Abbildung 8) weisen eine deutliche Abhängigkeit nur von der Geschwindigkeit auf. Die gewählte Gangstufe spielt für die Geräuschemission offenbar eine untergeordnete Rolle.

Der Vergleich der Einzelereignispegel  $L_{70}$  zeigt einen ähnlichen Trend wie der Vergleich der maximalen Vorbeifahrtspegel. Die Pegeldifferenzen fallen allerdings etwas geringer aus, weil die längere Einwirkzeit bei niedrigen Geschwindigkeiten Berücksichtigung findet; der Pegelzuwachs bei einer Erhöhung der Geschwindigkeit von 30 km/h auf 50 km/h liegt für den Einzelereignispegel bei 5-6 dB.

Die Unterschiede zwischen den Testfahrzeugen sind für den Einzelereignispegel deutlich geringer als beim maximalen Vorbeifahrtspegel.

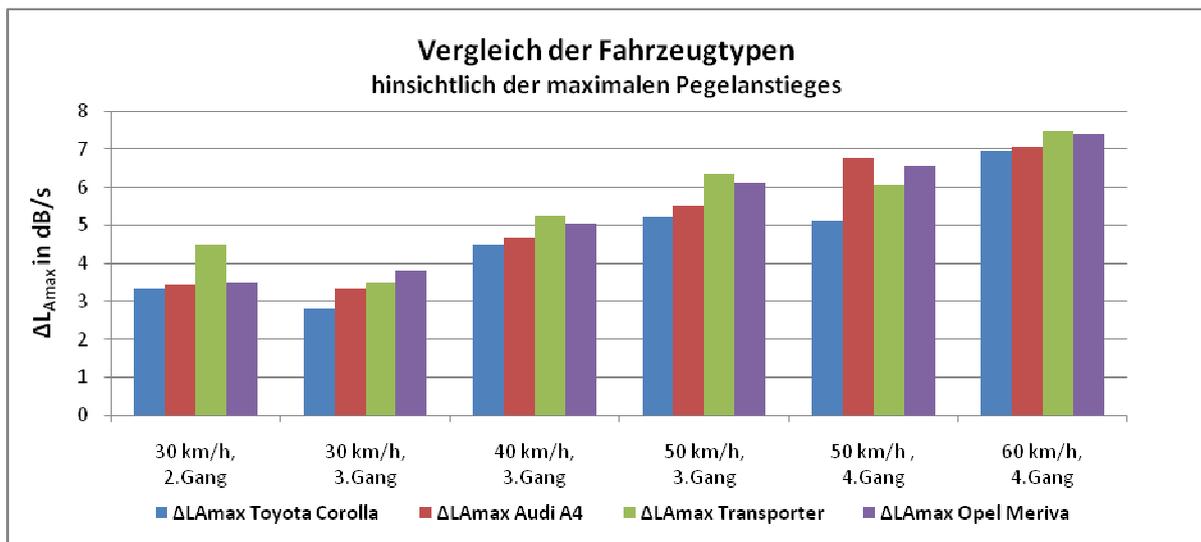


Abbildung 9: Vergleich des gemittelten maximalen Pegelanstieges der verschiedenen Fahrzeugtypen

Abbildung 9 zeigt die maximalen Pegelanstiege. Bei 30 km/h liegen die maximalen Pegelanstiege bei etwa 3 dB/s für die Pkw und etwa 4 dB/s für den Transporter und steigen bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h auf etwa 7 dB/s an.

Auch die maximalen Pegelanstiege weisen eine deutliche Abhängigkeit nur von der Geschwindigkeit auf. Die gewählte Gangstufe spielt für die Geräuschemission offenbar eine untergeordnete Rolle.

Für alle Messungen mit Technik der Klasse 1 ist von einer Messunsicherheit  $< 0,7$  dB auszugehen. Da bei den Vorbeifahrtsmessungen vor allem die Differenzen betrachtet werden, ist die Auswirkung dieser Unsicherheit wesentlich geringer. Einen größeren Einfluss hat der Umstand, dass nicht jede Vorbeifahrt identisch abläuft. Deshalb wurden mehrere Wiederholungen durchgeführt. Die Standardabweichungen waren dabei i.d.R. deutlich kleiner als 1 dB.

## 4 Ergebnisse der Messungen an Bundesstraßen in Jena

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über Messtage und Messpunkte für die Untersuchungen am realen Verkehr. Desweiteren sind Angaben zur Verkehrszählung und Geschwindigkeitsmessung enthalten.

**Tabelle 7: Übersicht zu den Messzeiten und Messpunkten am realen Verkehr**

		Zeit	Messpunkt	Verkehrszählung	Geschwindigkeitsmessung
<b>Erfurter Str. B 7</b>					
<b>10.06.2010</b>	Do	21-23 Uhr	<b>A</b>	ja	
			<b>B</b>	ja	
<b>15.06.2010</b>	Di	21-23 Uhr	<b>A</b>	ja	
			<b>B</b>	ja	Blitzgerät
<b>16.06.2010</b>	Mi	21-23 Uhr	<b>A</b>	ja	
			<b>B</b>	ja	
<b>Camburger Str. B 88</b>					
<b>14.09.2010</b>	Di	21-23 Uhr	<b>C</b>	ja	
<b>15.09.2010</b>	Mi	21-23 Uhr	<b>C</b>	ja	
			<b>D</b>	-	SR 4
<b>Kahlaische Str. B 88</b>					
<b>20.09.2010</b>	Mo	21-23 Uhr	<b>E</b>	ja	SR 4
			<b>F</b>	-	

Alle Messungen fanden mit dem Schallpegelmesser SVAN 957 statt. Dieser liefert für jedes Messintervall (15 min) eine Ergebnisdatei mit Basisdaten. Die Loggerdatei des Pegel-Zeit-Verlaufs wird über den Zeitraum der gesamten Messung fortgeschrieben.

## 4.1 Erfurter Straße mit den Messpunkten A und B

Die folgenden Tabellen zeigen die Basisdaten der Messungen an der Erfurter Straße in der Zeit vom 10. bis 16.6.2010. Die Messungen an der Erfurter Straße waren mit drei Messtagen an je zwei Messorten die umfangreichsten.

**Tabelle 8: Ausgewählte Pegel, Intervall: 15 Minuten, Messort: A, Datum: 10.06.2010**

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
21:00 – 21:15	83,0	38,5	63,1	66,8	68,0
21:15 – 21:30	79,1	35,7	62,4	65,9	67,2
21:30 – 21:45	87,8	36,5	63,8	68,3	69,2
21:45 – 22:00	79,8	36,5	61,7	65,4	66,3
22:00 – 22:15	77,7	37,2	60,0	63,5	64,5
22:15 – 22:30	72,7	34,1	58,4	61,6	62,9
22:30 – 22:45	79,7	35,6	59,4	62,6	64,0
22:45 – 23:00	76,7	35,8	58,3	61,5	62,6

**Tabelle 9: Ausgewählte Pegel, Intervall: 15 Minuten, Messort: B, Datum: 10.06.2010**

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
21:00 – 21:15	99,0	39,4	62,8	77,4	79,5
21:15 – 21:30	79,7	41,8	62,6	66,5	68,1
21:30 – 21:45	79,9	37,0	62,8	66,5	67,5
21:45 – 22:00	83,6	36,3	62,9	67,3	68,9
22:00 – 22:15	82,2	35,8	61,0	64,7	66,1
22:15 – 22:30	74,5	33,6	59,7	63,3	64,6
22:30 – 22:45	80,1	39,1	60,8	64,4	65,9
22:45 – 23:00	84,3	35,4	59,6	64,2	65,7

Tabelle 10: Ausgewählte Pegel, Intervall: 15 Minuten, Messort: A, Datum: 15.06.2010

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
21:00 – 21:15	86,2	36,8	64,8	69,2	70,4
21:15 – 21:30	76,2	36,4	63,1	66,3	67,4
21:30 – 21:45	75,3	32,3	61,2	64,5	65,7
21:45 – 22:00					
22:00 – 22:15			60,5*		
22:15 – 22:30			60,5*		
22:30 – 22:45			60,1*		
22:45 – 23:00			59,4*		

\* mit Excel auf Grundlage der über Momentanwerte berechnet

Tabelle 11: Ausgewählte Pegel, Intervall: 15 Minuten, Messort: B, Datum: 15.06.2010

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
21:00 – 21:15	84,8	40,2	64,8	69,2	70,4
21:15 – 21:30	77,0	37,6	63,7	67,1	68,3
21:30 – 21:45	75,7	35,5	62,2	65,8	67,1
21:45 – 22:00	89,1	32,7	63,0	68,7	70,5
22:00 – 22:15	80,0	35,6	61,6	65,2	66,7
22:15 – 22:30	80,7	34,8	62,1	66,1	67,4
22:30 – 22:45	76,6	35,6	61,0	64,4	65,4
22:45 – 23:00	78,2	38,3	60,2	63,8	64,9

Tabelle 12: Ausgewählte Pegel, Intervall: 15 Minuten, Messort: A, Datum: 16.06.2010

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
21:00 – 21:15	82,2	39,2	63,8	67,7	68,4
21:15 – 21:30	77,3	38,6	63,5	67,0	68,3
21:30 – 21:45	77,4	36,6	63,0	66,5	67,6
21:45 – 22:00	78,4	36,8	62,1	65,7	66,8
22:00 – 22:15	76,3	37,0	59,7	63,1	64,2
22:15 – 22:30	87,2	37,7	61,4	66,8	68,2
22:30 – 22:45	84,3	38,2	62,0	65,5	66,4
22:45 – 23:00	75,8	34,8	59,6	62,8	64,1

Tabelle 13: Ausgewählte Pegel, Intervall: 15 Minuten, Messort: B, Datum: 16.06.2010

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
21:00 – 21:15	89,6	35,8	65,2	70,9	72,7
21:15 – 21:30	76,6	39,2	63,8	67,1	68,3
21:30 – 21:45	75,9	39,0	63,2	66,6	67,8
21:45 – 22:00	81,8	35,2	62,8	66,6	68,1
22:00 – 22:15	74,9	38,1	60,4	63,6	64,9
22:15 – 22:30	90,0	35,7	61,6	71,0	73,1
22:30 – 22:45	83,9	37,6	62,5	66,2	67,2
22:45 – 23:00	80,9	34,2	60,4	64,3	66,0

Bei der Messung am 15.06. kam es am Messort A zu einer Unterbrechung der Messung. Zu diesem Zeitpunkt waren bereits 45 Minuten der Messzeit vorüber. Die Messung wurde dann mit einer Zeitverzögerung von ca. 10 Minuten wieder gestartet. Daher hatten sich die Speicherintervalle verschoben; es war somit nicht möglich, für die Viertelstundenintervalle nach 21:45 Uhr die Basisdaten aus dem Schallpegelmesser auszulesen. Nachträglich wurden der  $L_{Aeq}$  für die Viertelstundenintervalle zwischen 22:00 Uhr und 23:00 Uhr mit Hilfe von Excel berechnet.

Wie aus den Tabellen zu entnehmen ist, verteilen sich die Minimal- und Maximalwerte der Schalldruckpegel eher zufällig über die beschriebenen Messzeiträume. Bei den Maximalwerten konnte dies auch so erwartet werden, da sie durch Einzelereignisse wie Motorrad- und Lkw-Vorbeifahrten bestimmt werden.

Der durchschnittliche  $L_{Aeq}$  an Messort A betrug vor 22 Uhr 62,9 dB(A) und nach 22 Uhr 59,9 dB(A). Am Messort B betrug der durchschnittliche  $L_{Aeq}$  vor 22 Uhr 63,3 dB(A) und nach 22 Uhr 60,9 dB(A).

Es ergeben sich somit Differenzen von 3,0 dB am Messort A und 2,4 dB am den Messort B für die Zeiten vor und nach 22 Uhr. Dabei kann allerdings nicht zwischen der Lärmreduktion durch die Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der Lärmreduktion durch die Verringerung der Verkehrsdichten unterschieden werden.

Im Durchschnitt wurden am Messort B um 0,4 dB bzw. nach 22 Uhr 1,0 dB höhere Pegel gemessen. Grund dafür sind der Kanaldeckel und der leichte Anstieg.

Parallel zu den Messungen der Schalldruckpegel wurden an beiden Messorten Verkehrszählungen durchgeführt.

Tabelle 14: Ergebnisse der Verkehrszählung Erfurter Straße und  $L_{Aeq}$  zum Vergleich

Uhrzeit	Messpunkt A			Messpunkt B		
	$L_{Aeq}$ in dB(A)	$\Sigma$ Vorbeifahrten	$\Sigma$ Lkw	$L_{Aeq}$ in dB(A)	$\Sigma$ Vorbeifahrten	$\Sigma$ Lkw
<b>Messtag 1 : 10.06.2010 (Do)</b>						
21:00-21:15	63,1	124	1	62,7	112	2
21:15-21:30	62,4	118	1	62,6	118	1
21:30-21:45	63,8	116	3	62,8	112	4
21:45-22:00	61,7	85	1	62,9	95	1
22:00-22:15	60,0	90	4	61,0	96	4
22:15-22:30	58,4	82	1	59,7	89	0
22:30-22:45	59,4	85	1	60,8	89	2
22:45-23:00	58,3	70	1	59,6	78	1
21:00-22:00	<b>62,8</b>	<b>443</b>	<b>6</b>	<b>62,8</b>	<b>437</b>	<b>8</b>
22:00-23:00	<b>59,1</b>	<b>327</b>	<b>7</b>	<b>60,3</b>	<b>352</b>	<b>7</b>
<b>Messtag 2 : 15.06.2010 (Di)</b>						
21:00-21:15	64,8	118	2	64,8	110	2
21:15-21:30	63,1	103	1	63,7	105	1
21:30-21:45	61,2	73	1	62,2	73	1
21:45-22:00	62,4	70	2	63,0	76	2
22:00-22:15	60,5	87	3	61,6	91	3
22:15-22:30	60,5	83	4	62,1	85	3
22:30-22:45	60,1	101	0	61,0	103	0
22:45-23:00	59,4	67	0	60,2	73	0
21:00-22:00	<b>63,1</b>	<b>364</b>	<b>6</b>	<b>63,5</b>	<b>364</b>	<b>6</b>
22:00-23:00	<b>60,1</b>	<b>338</b>	<b>7</b>	<b>61,3</b>	<b>352</b>	<b>6</b>
<b>Messtag 3 : 16.06.2010 (Mi)</b>						
21:00-21:15	63,8	113	1	65,2	113	1
21:15-21:30	63,5	110	1	63,8	109	1
21:30-21:45	63,0	96	0	63,2	97	0
21:45-22:00	62,1	74	2	62,8	78	2
22:00-22:15	59,7	71	2	60,4	71	2
22:15-22:30	61,4	73	3	61,6	76	3
22:30-22:45	62,0	93	1	62,5	91	1
22:45-23:00	59,6	76	0	60,4	78	0
21:00-22:00	<b>63,1</b>	<b>393</b>	<b>4</b>	<b>63,8</b>	<b>397</b>	<b>4</b>
22:00-23:00	<b>60,8</b>	<b>313</b>	<b>6</b>	<b>61,3</b>	<b>316</b>	<b>6</b>

Die gesamte Verkehrsdichte ist wie erwartet vor 22 Uhr stets höher als nach 22 Uhr. Dabei waren die Unterschiede am 10.06. am größten und traten am 15.06. kaum in Erscheinung.

So wurden am 10.06. am Messort A 116 Fahrzeuge und am Messort B 85 Fahrzeuge mehr in der Stunde vor 22 Uhr gezählt. Am 15.06. beträgt der Unterschied nur 26 Fahrzeuge am Messort A und 12 Fahrzeuge am Messort B.

Bei der Betrachtung der Lkw-Dichte lassen sich hingegen kaum Unterschiede zwischen den Zeiträumen vor und nach 22 Uhr feststellen. Die Lkw-Verteilung kann also im Zeitraum von 21:00 Uhr bis 23:00 Uhr als zufällig angesehen werden.

Folgende Grafiken zeigen den Verlauf der  $L_{Aeq}$  für je 15 und 60 Minuten sowie die dazugehörige Verkehrsdichte. Dabei sind die Anzahl der insgesamt beobachteten Vorbeifahrten und die Zahl der Lkw-Vorbeifahrten separaten Kurven zu geordnet. Die Anzahl der Lkw-Vorbeifahrten wurde zur besseren Erkennbarkeit zehnfach überhöht dargestellt.

Anschließend sind in sechs weiteren Diagrammen (Abbildungen 16 bis 21) die dazugehörigen Häufigkeitsverteilungen zu sehen. Dargestellt ist die relative Häufigkeit des Auftretens von Momentanwerten in den jeweiligen Pegelklassen. Es ist deutlich zu erkennen, dass höhere Pegel nach 22 Uhr weniger häufig auftreten.

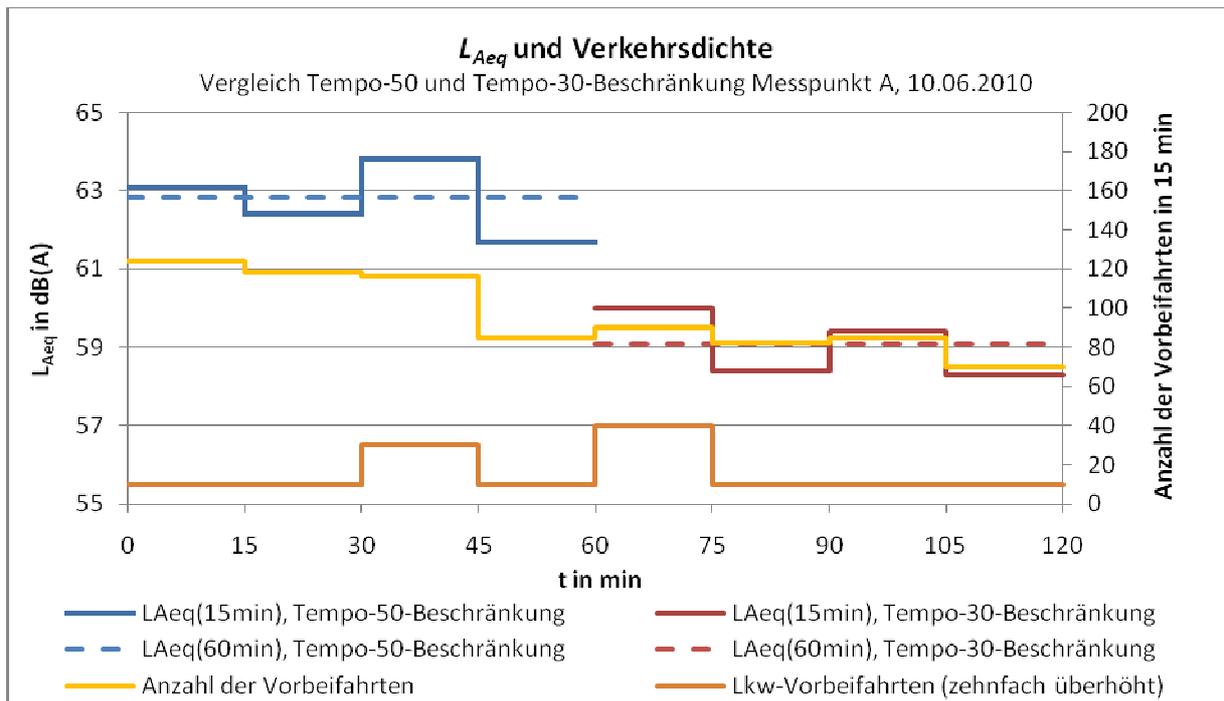


Abbildung 10: L<sub>Aeq</sub> über 15 Minuten und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: A, Datum: 10.06.2010

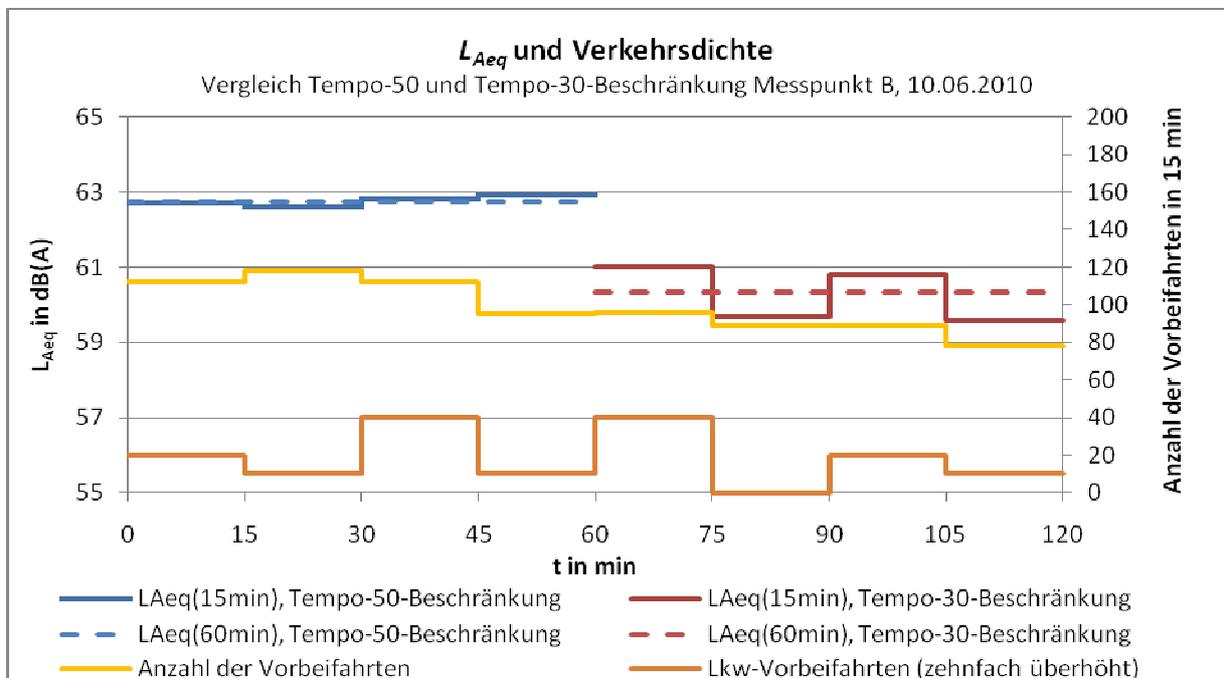


Abbildung 11: L<sub>Aeq</sub> über 15 Minuten und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: B, Datum: 10.06.2010

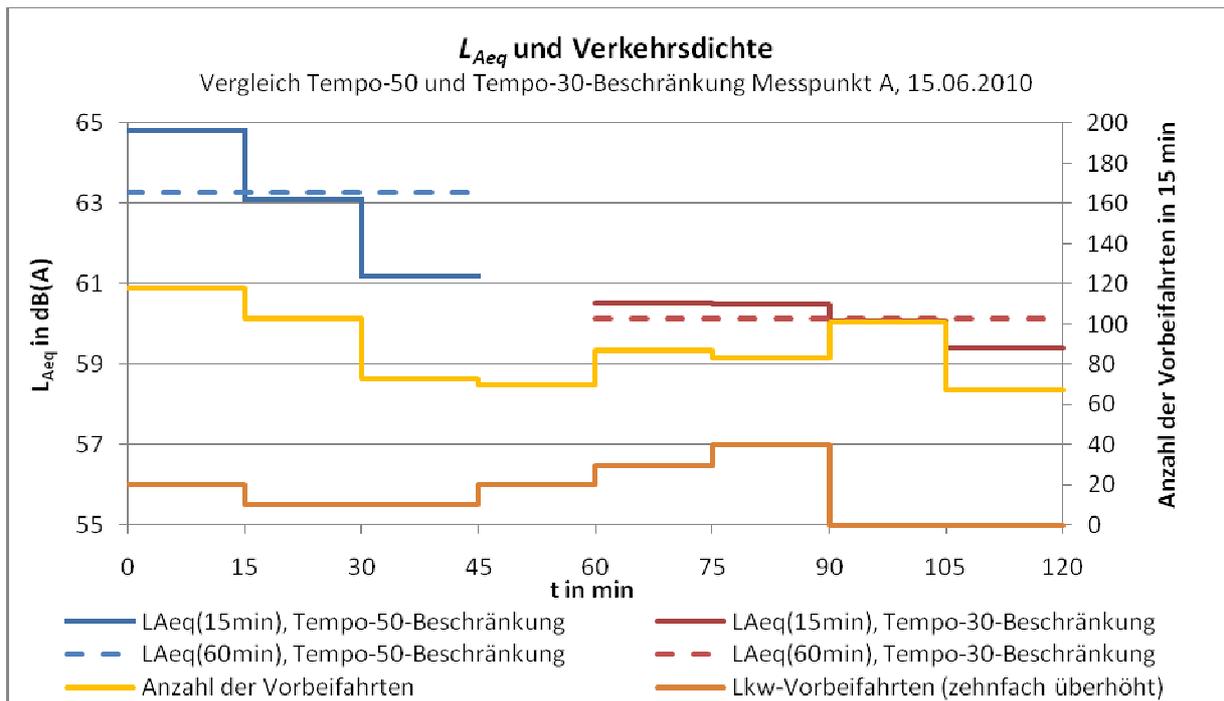


Abbildung 12: L<sub>Aeq</sub> über 15 Minuten und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: A, Datum: 15.06.2010

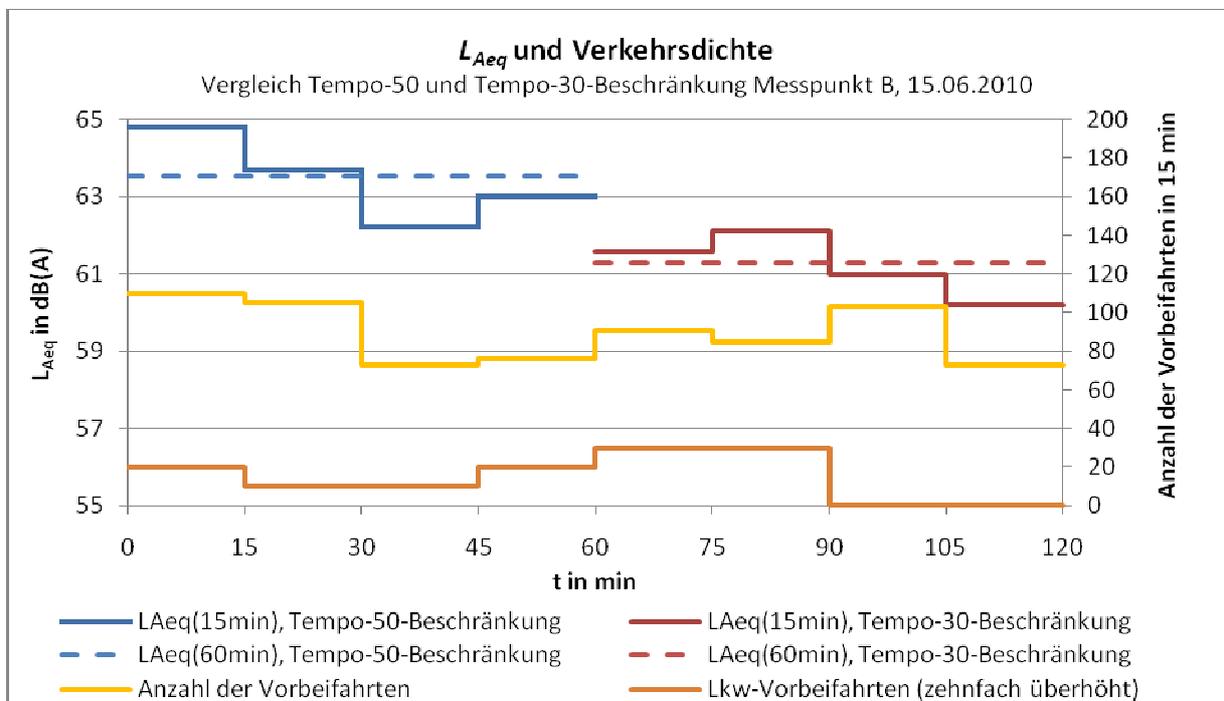


Abbildung 13: L<sub>Aeq</sub> über 15 Minuten und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: B, Datum: 15.06.2010

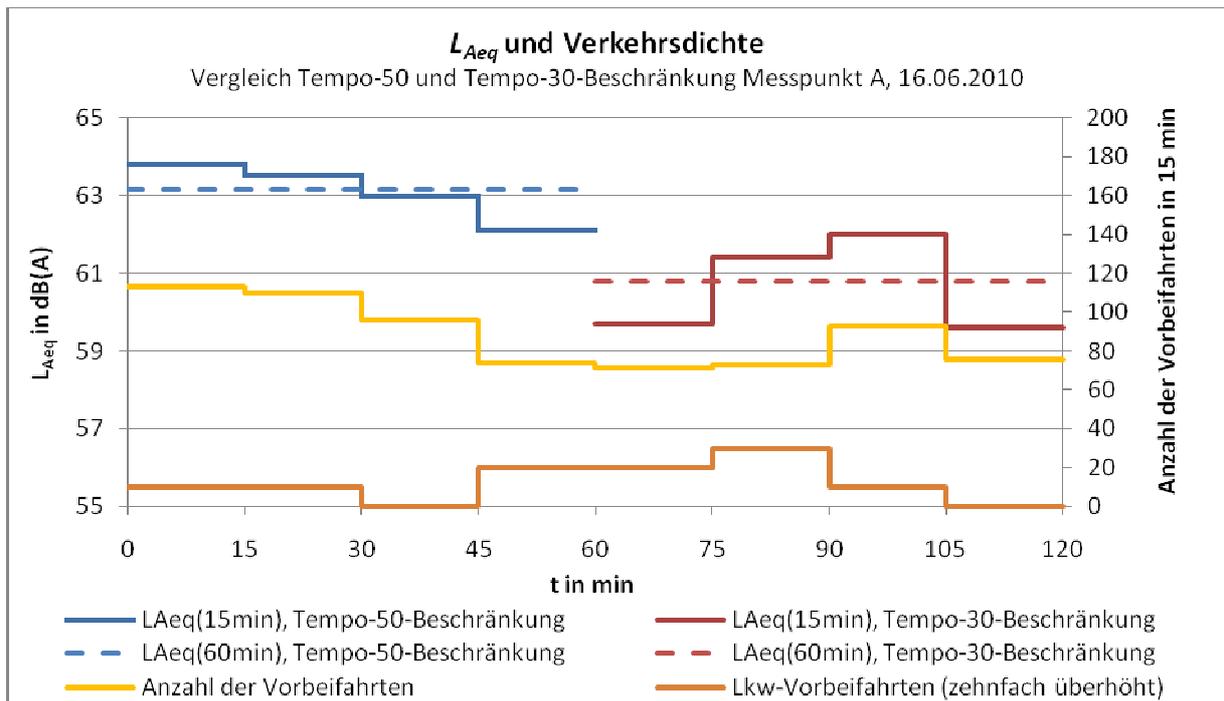


Abbildung 14:  $L_{Aeq}$  über 15 Minuten und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: A, Datum: 16.06.2010

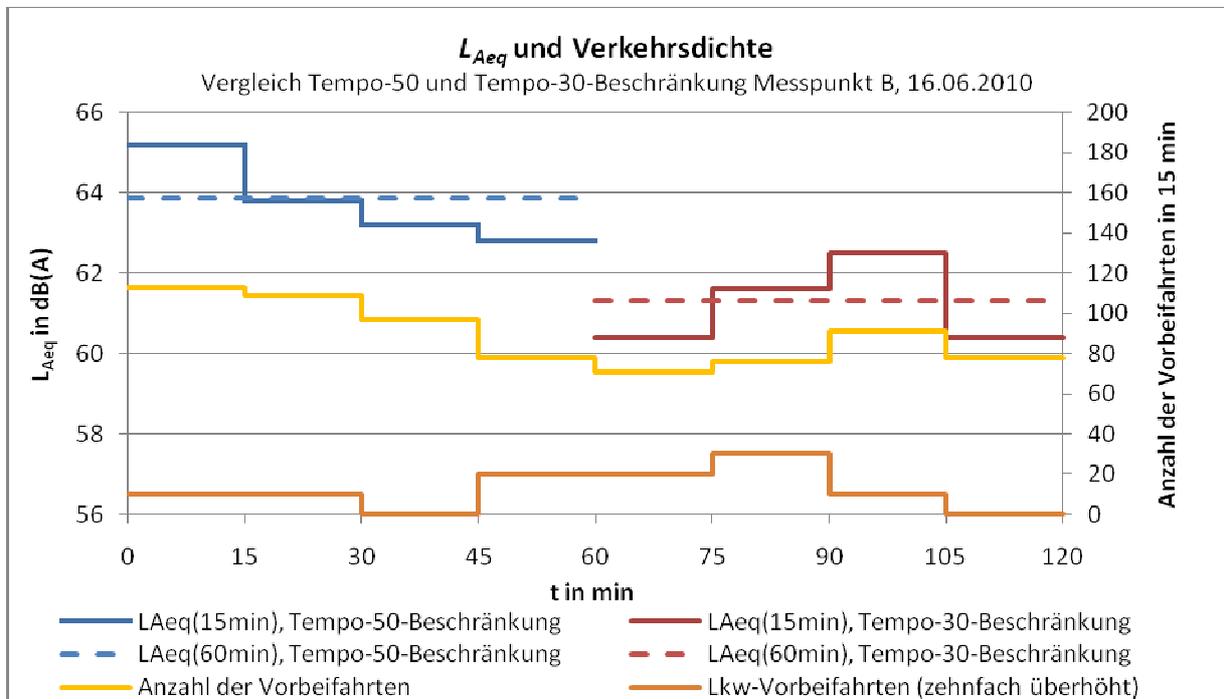


Abbildung 15:  $L_{Aeq}$  über 15 Minuten und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: B, Datum: 16.06.2010

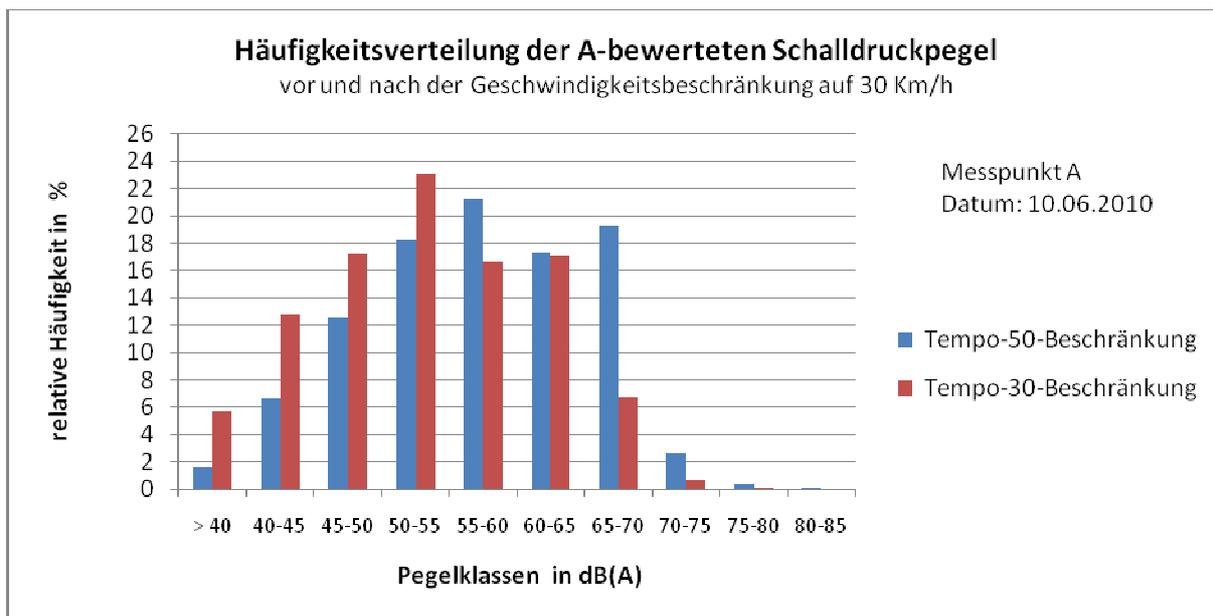


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der A-bewerteten Schalldruckpegel in 5 dB(A)-Klassen von 40 dB(A) bis 85 dB(A), Messort: A, Datum: 10.06.2010

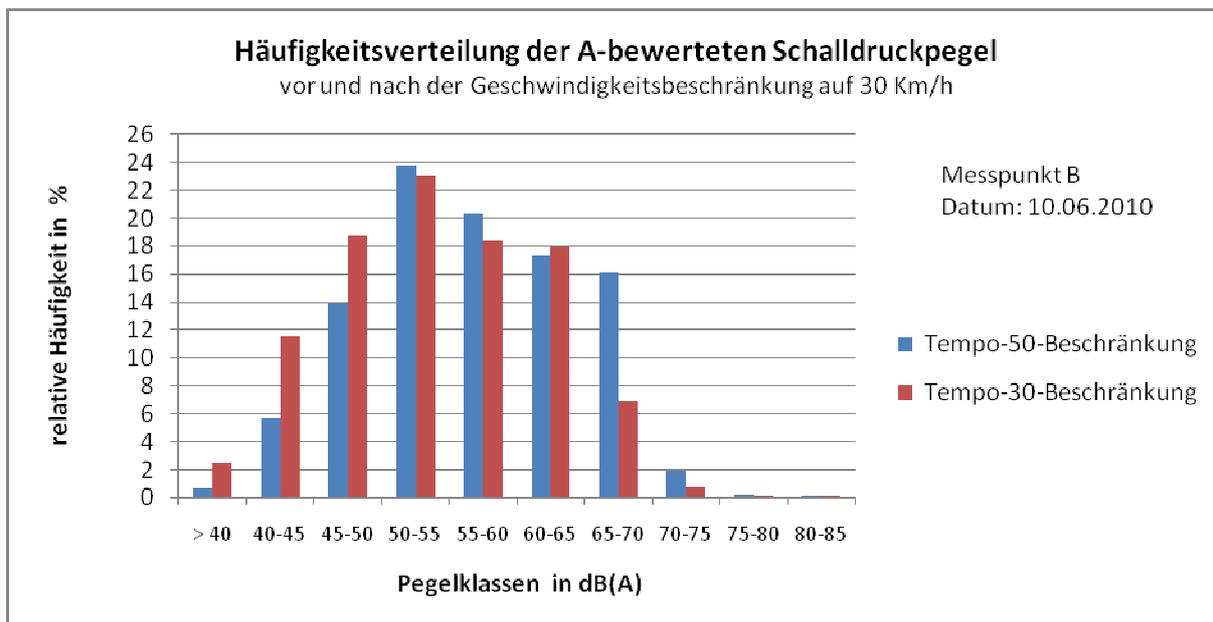


Abbildung 17: Häufigkeitsverteilung der A-bewerteten Schalldruckpegel in 5 dB(A)-Klassen von 40 dB(A) bis 85 dB(A), Messort: B, Datum: 10.06.2010

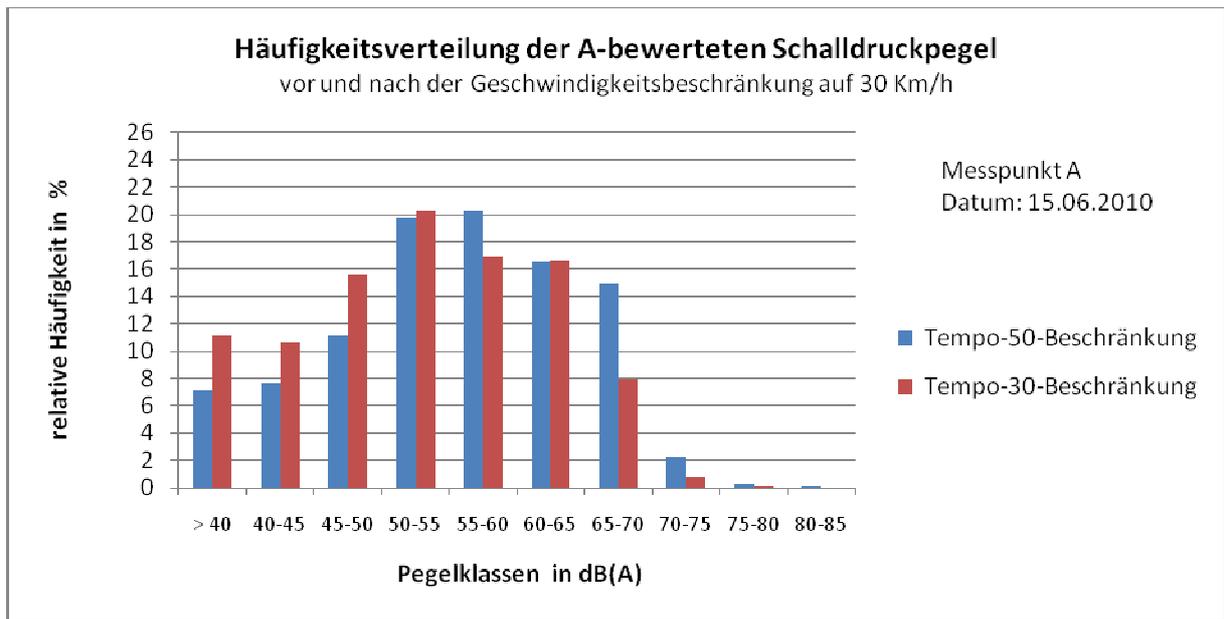


Abbildung 18: Häufigkeitsverteilung der A-bewerteten Schalldruckpegel in 5 dB(A)-Klassen von 40 dB(A) bis 85 dB(A), Messort: A, Datum: 15.06.2010

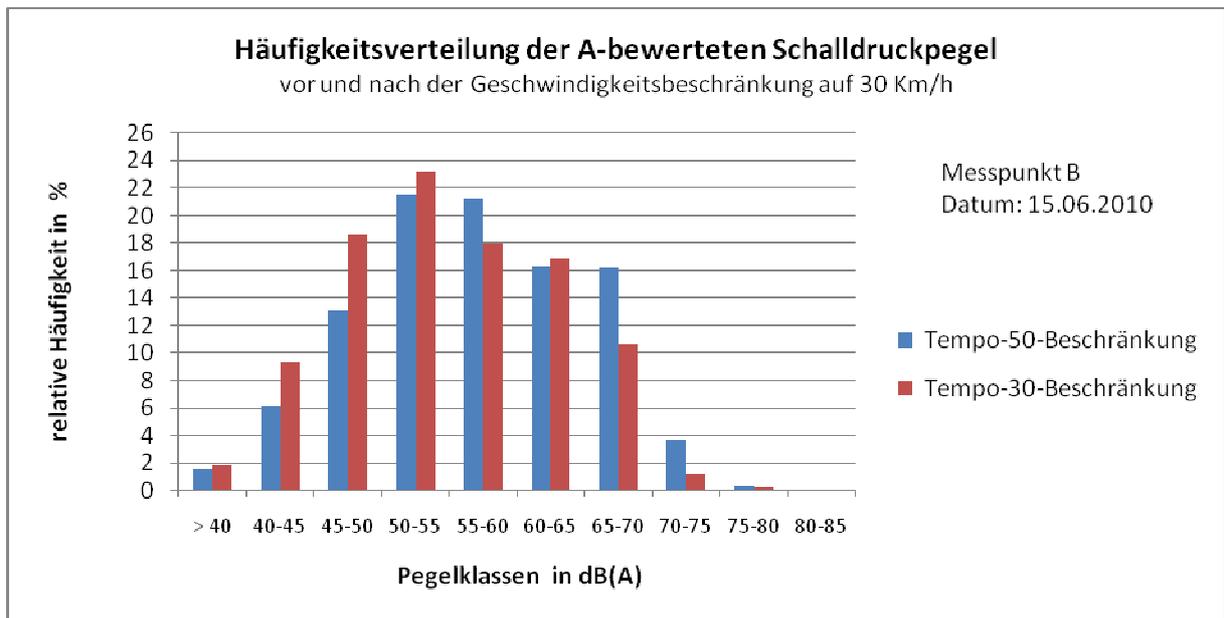


Abbildung 19: Häufigkeitsverteilung der A-bewerteten Schalldruckpegel in 5 dB(A)-Klassen von 40 dB(A) bis 85 dB(A), Messort: B, Datum: 15.06.2010

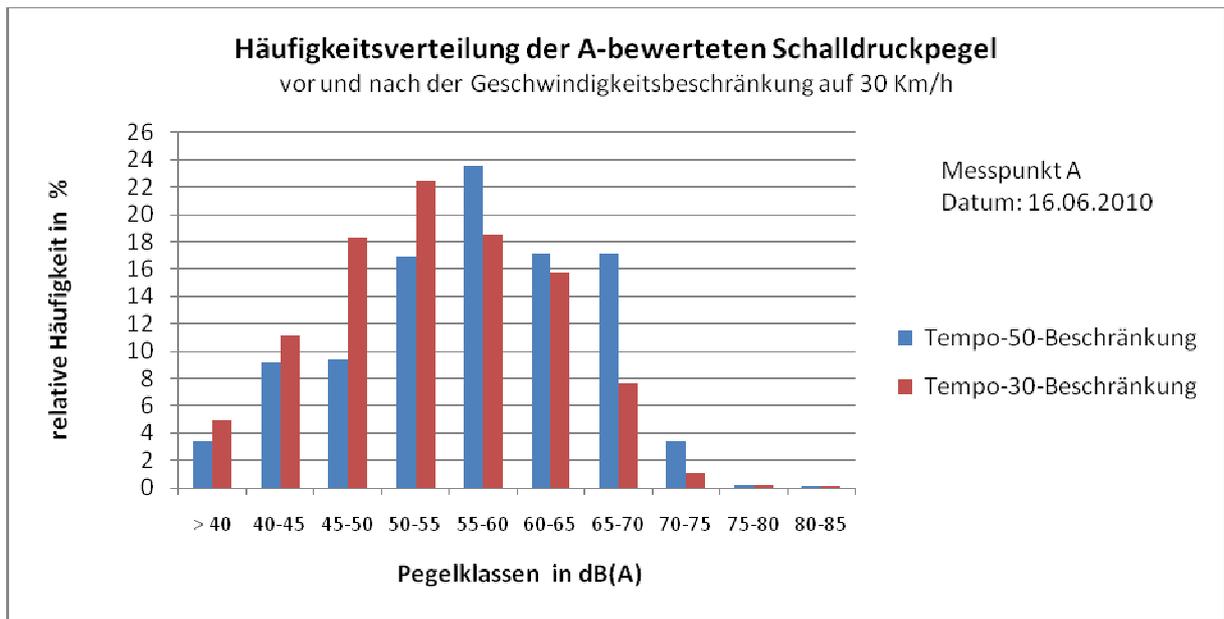


Abbildung 20: Häufigkeitsverteilung der A-bewerteten Schalldruckpegel in 5 dB(A)-Klassen von 40 dB(A) bis 85 dB(A), Messort: A, Datum: 16.06.2010

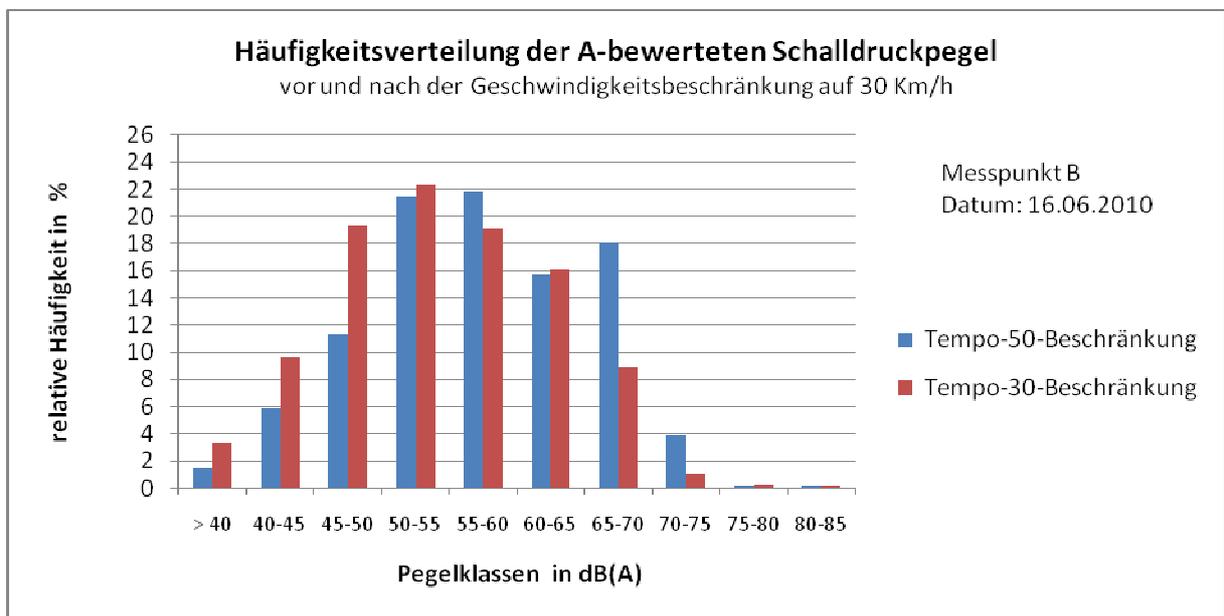
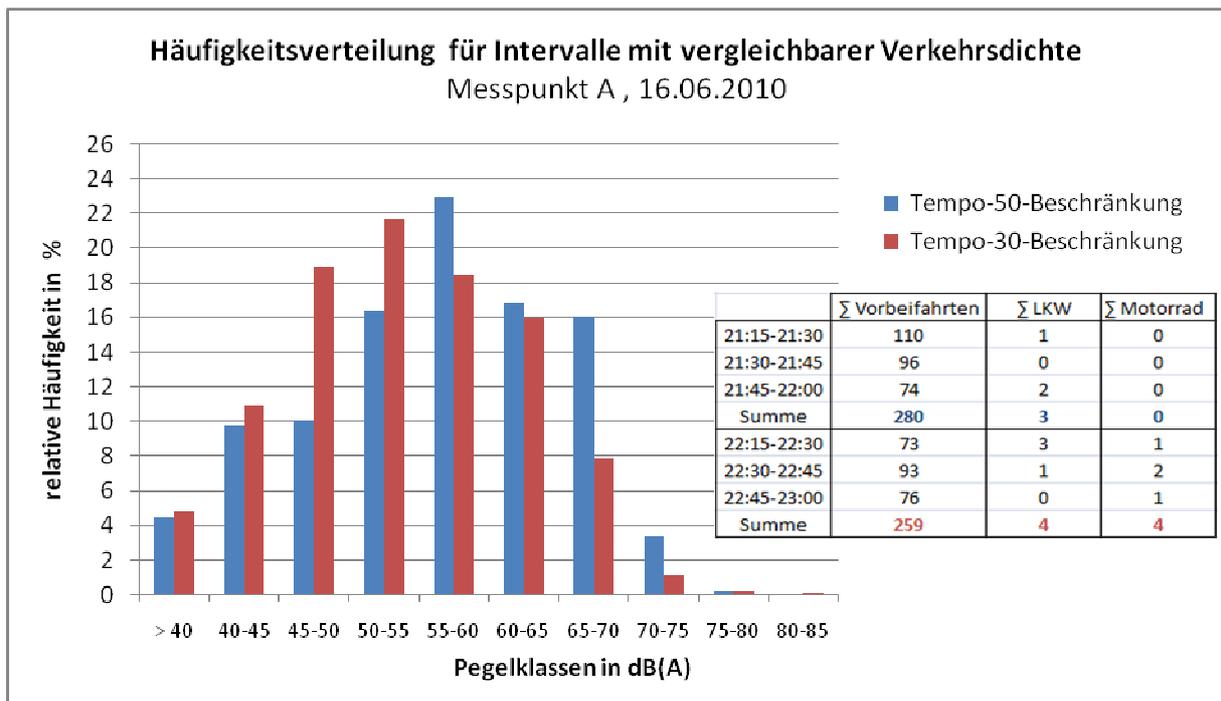


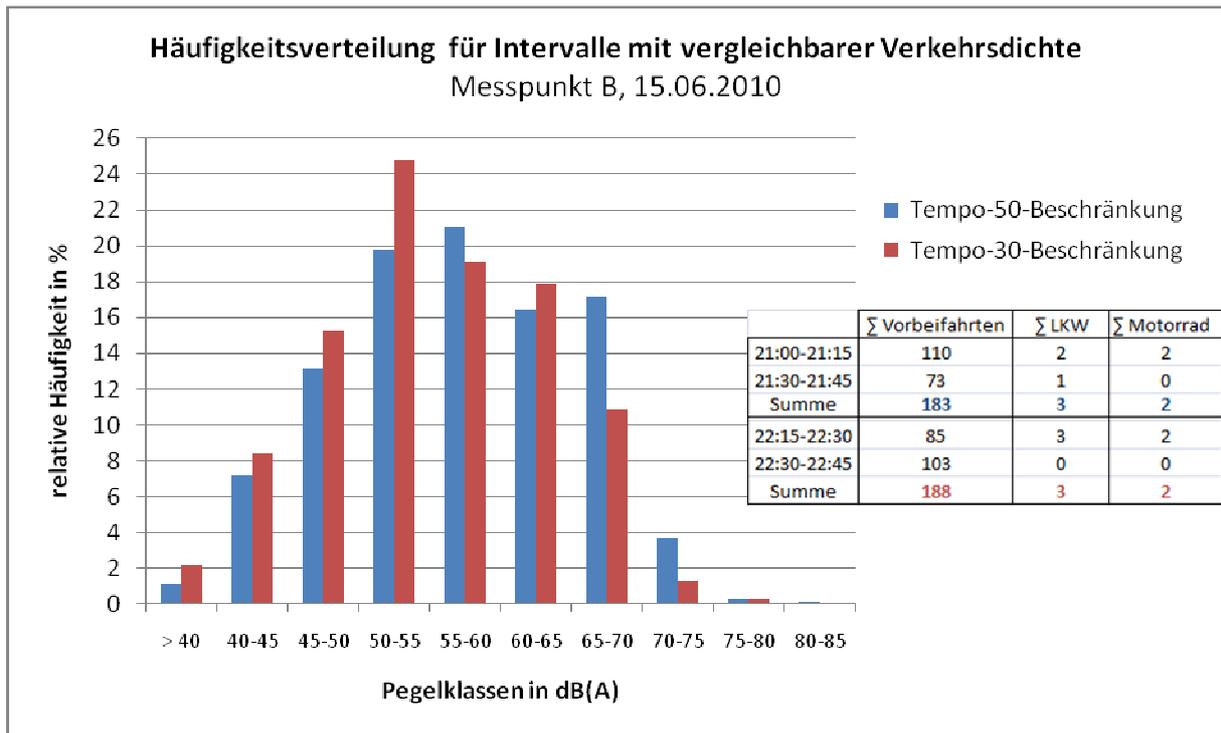
Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der A-bewerteten Schalldruckpegel in 5 dB(A)-Klassen von 40 dB(A) bis 85 dB(A), Messort: B, Datum: 16.06.2010

Die Auswertung der Verkehrszählung zeigt, dass für alle Messtage Unterschiede zwischen der Verkehrsdichte vor und nach 22 Uhr bestehen. Um diese unterschiedlichen Verkehrsdichten in der Auswertung der Häufigkeitsverteilung zu berücksichtigen, sind in den folgenden Abbildungen 22 und 23 Häufigkeitsverteilungen von Messpunkt A und Messpunkt B für Zeiträume mit vergleichbarer Verkehrsdichte dargestellt.



**Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung für Intervalle mit vergleichbarer Verkehrsdichte für Messpunkt A vom 16.06.2010**

Die Abbildung 22 zeigt, dass auch bei vergleichbarer Verkehrsdichte die relativen Häufigkeiten der Momentanwerte vor 22 Uhr im akustisch besonders wichtigen Pegelbereich oberhalb von 65 dB(A) wieder deutlich höher sind als die relativen Häufigkeiten der Momentanwerte nach 22 Uhr. Zwischen 65 und 70 dB(A) wird durch die Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h die relative Häufigkeit von rund 16% um die Hälfte auf rund 8% reduziert. Im Pegelbereich von 70 bis 75 dB(A) verringert sich die relative Häufigkeit der Momentanwerte sogar um zwei Drittel von rund 3% auf 1%. (Für diese Auswahl der Pegelbereiche wird angenommen, dass die 21 Vorbeifahrten, die für die Zeit mit Tempo-50-Beschränkung mehr registriert wurden, durch die eine Lkw-Vorbeifahrt und vier Motorrad-Vorbeifahrten, die für das Intervall „Tempo-30-Beschränkung“ mehr registriert wurden, kompensiert werden.)



**Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung für Intervalle mit vergleichbarer Verkehrsdichte für Messpunkt B vom 15.06.2010**

Abbildung 23 zeigt ebenfalls, dass die relativen Häufigkeiten der Pegelbereiche oberhalb von 65 dB(A) mit einem Tempolimit von 50 km/h vor 22 Uhr deutlich höher sind als für die relativen Häufigkeiten mit einem Tempolimit von 30 km/h nach 22 Uhr. In den akustisch relevanten Intervallen von 65 bis 70 dB(A) und von 70 bis 75 dB(A) wird die relative Häufigkeit durch die Lärmschutzmaßnahme um etwa ein Drittel verringert.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Häufigkeitsverteilungen für Zeiträume mit vergleichbarer Verkehrsdichte (Abb. 22 und 23) und mit abweichender Verkehrsdichte (Abb. 16 bis 21) zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen. Im Folgenden wird daher auf die Betrachtung der Häufigkeitsverteilungen mit vergleichbarer Verkehrsdichte verzichtet.

## 4.2 Camburger Straße mit den Messpunkten C und D

Die Messungen an der Camburger Straße fanden am 14. und 15.9.2010 statt. Am 15.09. kam es am Messort C zu einer Verzögerung und die Messung konnte erst 21:15 gestartet werden. Da an diesem Tage am auch am Messort D gemessen wurde, ist der geringe Datenausfall unkritisch. Weil beide Messorte nur etwa 60 m auseinander lagen, wurde auf eine zusätzliche Verkehrszählung verzichtet. Zunächst werden wieder die Basisdaten für alle drei Messungen und die Zusammenfassung der Verkehrszählung präsentiert.

Tabelle 15: Ergebnisse der Verkehrszählung Camburger Straße und  $L_{Aeq}$  zum Vergleich

Uhrzeit	Messpunkt C			Messpunkt D		
	$L_{Aeq}$ in dB(A)	$\Sigma$ Vorbeifahrten	$\Sigma$ Lkw	$L_{Aeq}$ in dB(A)	$\Sigma$ Vorbeifahrten	$\Sigma$ Lkw
<b>Messtag 4 : 14.09.2010</b>						
21:00-21:15	63,8	79	0			
21:15-21:30	62,4	47	0			
21:30-21:45	62,2	60	0			
21:45-22:00	62,7	50	0			
22:00-22:15	61,8	62	1			
22:15-22:30	59,2	45	0			
22:30-22:45	58,8	38	0			
22:45-23:00	58,2	33	1			
21:00-22:00	<b>62,8</b>	<b>236</b>	<b>0</b>			
22:00-23:00	<b>59,7</b>	<b>178</b>	<b>2</b>			
<b>Messtag 5 : 15.09.2010</b>						
21:00-21:15	-	67	3	63,40	67	3
21:15-21:30	63,7	90	1	63,30	90	1
21:30-21:45	63,4	79	0	62,90	79	0
21:45-22:00	64,2	61	2	63,00	61	2
22:00-22:15	62,9	61	1	62,40	61	1
22:15-22:30	61,2	59	0	61,10	59	0
22:30-22:45	58,2	37	0	58,00	37	0
22:45-23:00	58,7	31	0	58,50	31	0
21:00-22:00	<b>63,8</b>	<b>297</b>	<b>6</b>	<b>63,2</b>	<b>297</b>	<b>6</b>
22:00-23:00	<b>60,7</b>	<b>188</b>	<b>1</b>	<b>60,4</b>	<b>188</b>	<b>1</b>

Tabelle 16: Ausgewählte Pegel für Viertelstundenintervalle, Camburger Straße

Uhrzeit	$L_{MAX}$ in dB(A)	$L_{MIN}$ in dB(A)	$L_{eq}$ in dB(A)	$L_{tm3}$ in dB(A)	$L_{tm5}$ in dB(A)
<b>Messpunkt C, 14.09.2010</b>					
21:00 – 21:15	81,8	36,1	63,8	67,7	69,4
21:15 – 21:30	78,4	35,8	62,4	66,3	67,6
21:30 – 21:45	74,8	37,5	62,2	66,2	67,5
21:45 – 22:00	84,2	36,2	62,7	66,9	68,8
22:00 – 22:15	84,6	37,0	61,8	66,1	67,3
22:15 – 22:30	76,4	35,5	59,2	62,6	64,0
22:30 – 22:45	74,9	34,9	58,8	62,3	63,3
22:45 – 23:00	81,9	33,4	58,2	62,9	64,2
<b>Messpunkt C, 15.09.2010</b>					
21:00 – 21:15					
21:15 – 21:30					
21:30 – 21:45	77,2	36,9	63,4	67,0	68,1
21:45 – 22:00	84,1	35,2	64,2	68,2	69,7
22:00 – 22:15	85,2	36,0	62,9	67,1	69,0
22:15 – 22:30	78,8	37,1	61,2	64,7	66,4
22:30 – 22:45	73,1	34,8	58,2	62,1	63,0
22:45 – 23:00	82,3	34,7	58,7	63,4	65,2
<b>Messpunkt D, 15.09.2010</b>					
21:00 – 21:15	88,9	39,5	63,4	68,6	70,1
21:15 – 21:30	77,0	40,1	63,3	66,7	67,9
21:30 – 21:45	76,0	39,4	62,9	66,4	67,3
21:45 – 22:00	78,0	37,8	63,0	65,9	67,1
22:00 – 22:15	84,1	38,7	62,4	65,7	66,9
22:15 – 22:30	75,6	38,5	61,1	64,4	66,0
22:30 – 22:45	72,5	35,7	58,0	61,2	62,3
22:45 – 23:00	82,4	36,2	58,5	63,5	64,0

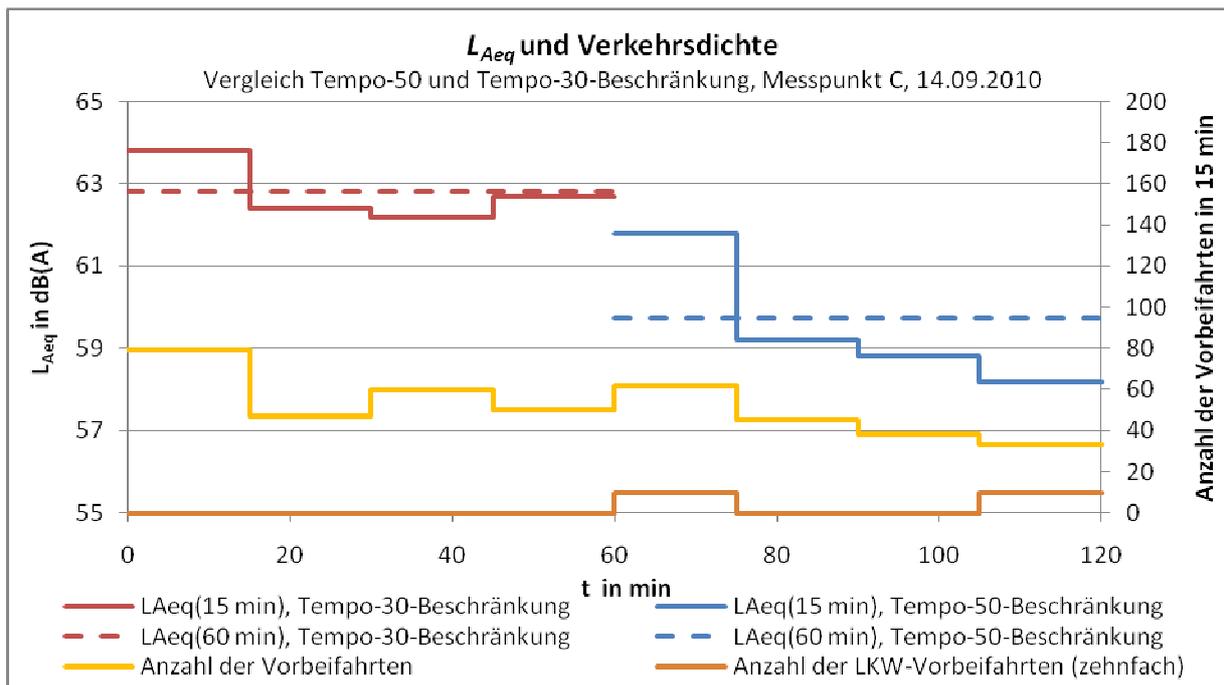


Abbildung 24:  $L_{Aeq}$  gemittelt über 15 und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: C; Datum: 14.09. 2010, 21 bis 23 Uhr

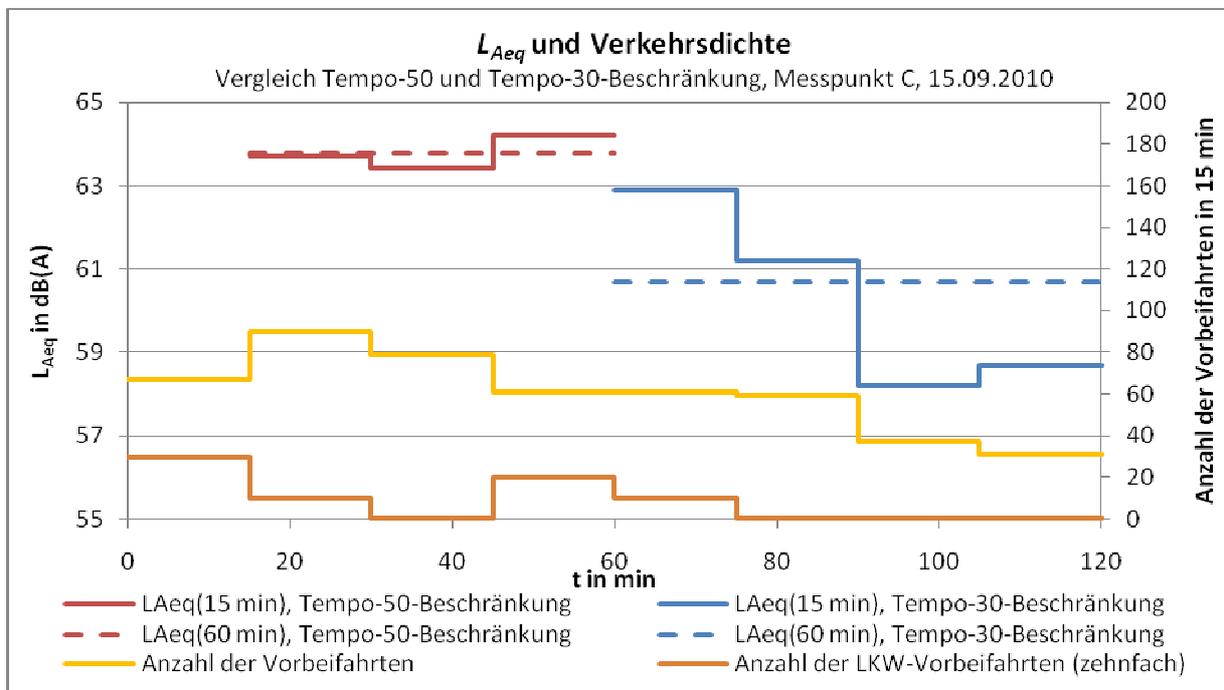


Abbildung 25:  $L_{Aeq}$  gemittelt über 15 und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: C; Datum: 15.09. 2010, 21 bis 23 Uhr

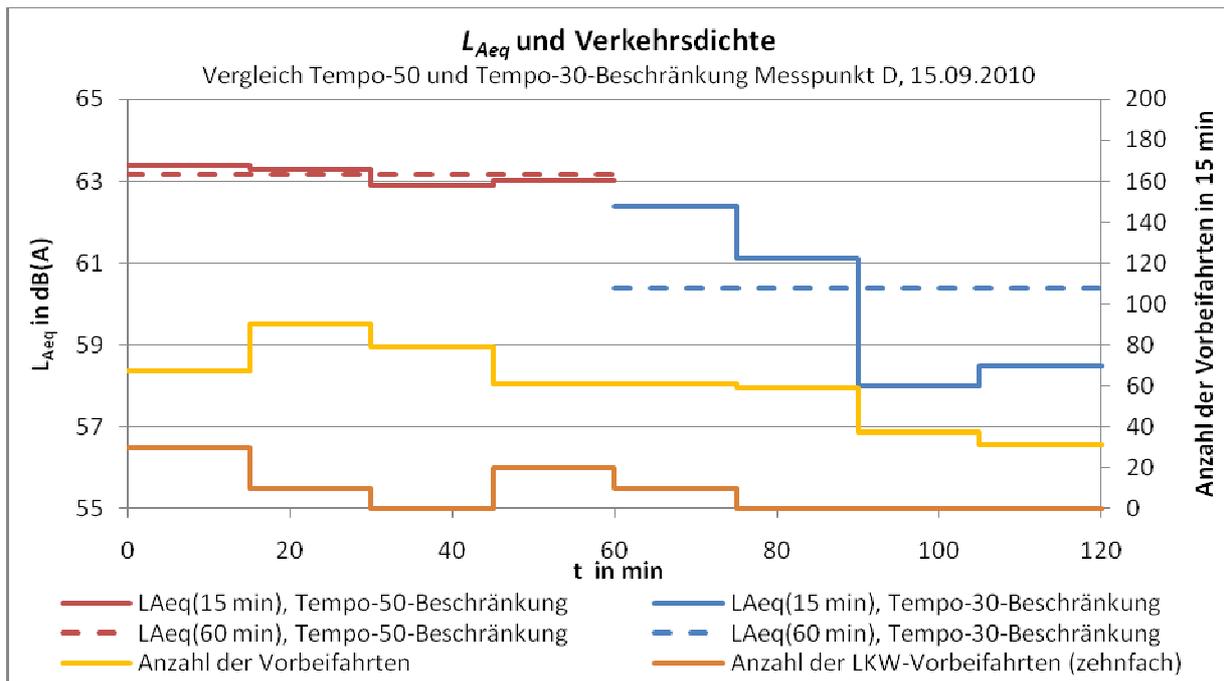


Abbildung 26:  $L_{Aeq}$  gemittelt über 15 und über 60 Minuten im Vergleich zur Verkehrsdichte, die Lkw-Dichte ist zehnfach überhöht dargestellt, Messort: D; Datum: 15.09. 2010, 21 bis 23 Uhr

Der durchschnittliche  $L_{Aeq}$  an Messort C betrug vor 22 Uhr 63,3 dB(A) und nach 22 Uhr 60,2 dB(A). Am Messort D betrug der durchschnittliche  $L_{Aeq}$  vor 22 Uhr 63,2 dB(A) und nach 22 Uhr 60,4 dB(A).

Es ergeben sich somit Differenzen von 3,1 dB am Messort C und 2,8 dB am den Messort D für die Zeiten vor und nach 22 Uhr. Dabei kann allerdings nicht zwischen der Lärmreduktion durch die Verringerung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit und der Lärmreduktion durch die Verringerung der Verkehrsdichten unterschieden werden.

Im Folgenden werden analog zur Auswertung Erfurter Straße die Häufigkeitsverteilungen für die Zeiten vor und nach 22 Uhr verglichen.

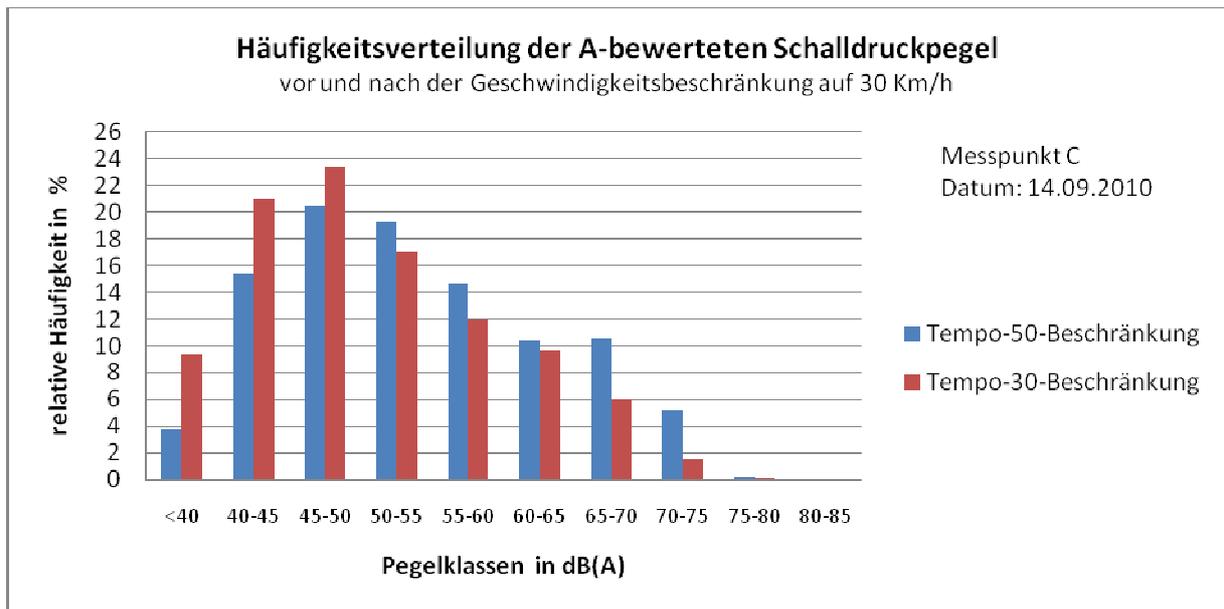


Abbildung 27: Häufigkeitsverteilung der Pegelklassen vor und nach 22 Uhr für Messpunkt C vom 14.09.2010

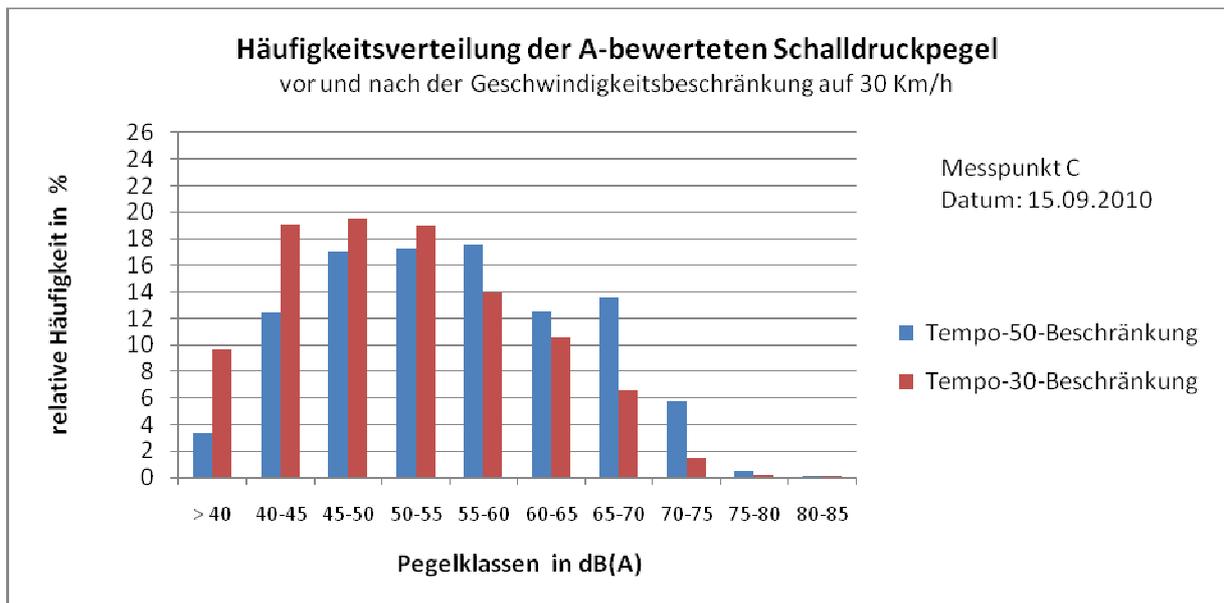


Abbildung 28: Häufigkeitsverteilung der Pegelklassen vor und nach 22 Uhr für Messpunkt C vom 15.09.2010

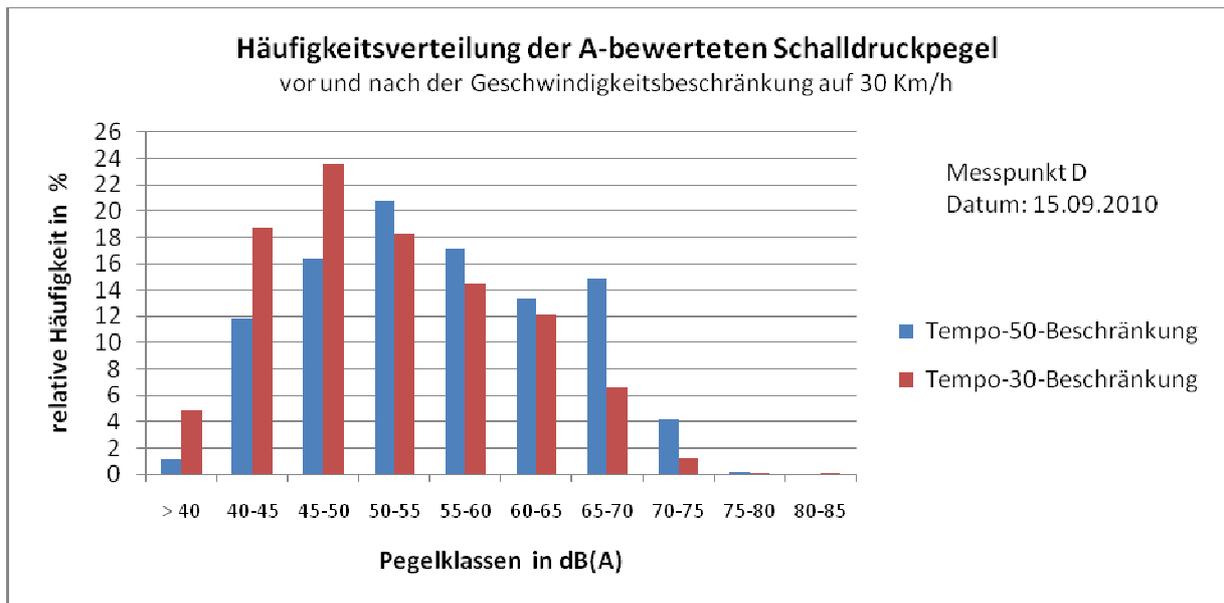


Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung der Pegelklassen vor und nach 22 Uhr für Messpunkt D vom 15.09.2010

Die Abbildungen 27 bis 29 zeigen, dass die relativen Häufigkeiten der Pegelbereiche oberhalb von 65 dB(A) mit einem Tempolimit von 50 km/h vor 22 Uhr deutlich höher sind als für die relativen Häufigkeiten mit einem Tempolimit von 30 km/h nach 22 Uhr. In den akustisch relevanten Intervallen von 65 bis 70 dB(A) und von 70 bis 75 dB(A) wird die relative Häufigkeit durch die Lärmschutzmaßnahmen etwa halbiert.

### 4.3 Kahlaische Straße mit den Messpunkten E und F

Bei den Messungen in der Kahlaischen Straße stand der Einfluss von Straßen- und Eisenbahn im Vordergrund. Die Messungen fanden aus Gründen der anhaltend ungünstigen Witterung an einem Montag statt. Es wurde über fast vier Stunden von 20:00 bis 23:45 Uhr mit zwei Messgeräten in unterschiedlicher Entfernung (Abstand zur Fahrbahnmitte 7,5 m und 25 m) gemessen. Der zusätzliche Messpunkt mit einer Entfernung von 25 m zur Fahrbahnmitte wurde gewählt, weil so die Entfernung des Messortes zur Straße einerseits ähnlich groß wird wie zu den Gleisen von Straßen- und Eisenbahn.

Folgende Tabelle zeigt einen Überblick der Mittelungspegel über jeweils 15 Minuten und die dazugehörigen Ergebnisse der Verkehrszählung inklusive Schienenverkehr.

**Tabelle 17:  $L_{Aeq}$  und Zusammenfassung der Verkehrszählung in Intervallen von 15 Minuten, Messorte: E und F, Datum: 20.09.2010**

Uhrzeit	$L_{Aeq}$ 7,5 m in dB(A)	$L_{Aeq}$ 25 m in dB(A)	Anzahl Vorbeifahrten gesamt	Anzahl Lkw	Anzahl Straßen- bahn	Anzahl Regional- bahn	Anzahl ICE	Anzahl Güter- züge
20:00-20:15	60,9	53,7	125	0	1	0	0	0
20:15-20:30	68,7	66,5	115	0	3	1	1	1
20:30-20:45	60,3	53,9	106	0	2	1	0	0
20:45-21:00	66,3	60,4	100	1	1	1	1	0
<b>21:00-21:15</b>	<b>70,3</b>	<b>68,8</b>	<b>87</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
21:19-21:30	60,4	55,3	78	2	2	0	1	0
21:30-21:45	-	53,5	83	1	0	0	0	0
21:45-22:00	61,3	55,6	86	0	2	1	0	0
22:00-22:15	62,7	58,9	63	0	0	1	0	0
22:15-22:30	61,4	58,5	60	0	2	0	0	1
<b>22:30-22:45</b>	<b>55,9</b>	<b>48,7</b>	<b>44</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
22:45-23:00	62,8	59,9	49	1	2	1	0	0
23:00-23:15	66,9	64,7	25	1	0	0	1	1
23:15-23:30	66,7	65,1	24	0	2	1	0	1
23:30-23:45	69,0	68,0	16	1	0	0	0	1
<b>20:00-22:00</b>	<b>65,4</b>	<b>62,6</b>	<b>780</b>	<b>4</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
<b>22:00-23:45</b>	<b>65,2</b>	<b>63,3</b>	<b>281</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

Die Mittelungspegel der Viertelstundenintervalle schwanken sehr stark. Im Zeitraum 21:00 bis 21:15 Uhr waren der  $L_{Aeq}$  mit 70 bzw. 69 dB(A) und drei Bahnen am höchsten und 22:30 bis 22:45 Uhr mit 56 bzw. 49 dB(A) und ohne Bahn am geringsten. Die Grafik 30 zeigt die Mittelungspegel der Viertelstunden für beide Messpunkte sowie die Ergebnisse der Verkehrszählung. Anders als an den Messorten ohne Schienenlärm schwanken die Mittelungspegel sehr stark. Der wesentliche Grund für diese Schwankungen ist der Lärm der vorbeifahrenden Züge und speziell der Güterzüge. Im Unterschied zu den Personenzügen (Regionalverkehr und ICE) sind die Güterzüge wesentlich lauter und emittieren mehr Lärm wegen ihrer größeren Länge (im Vergleich zum Regionalverkehr) bzw. ihrer niedrigeren Geschwindigkeit (im Vergleich zum ICE). Die Zeitintervalle mit den höchsten Schalldruckpegeln korrelieren mit den Vorbeifahrten von Güterzügen.

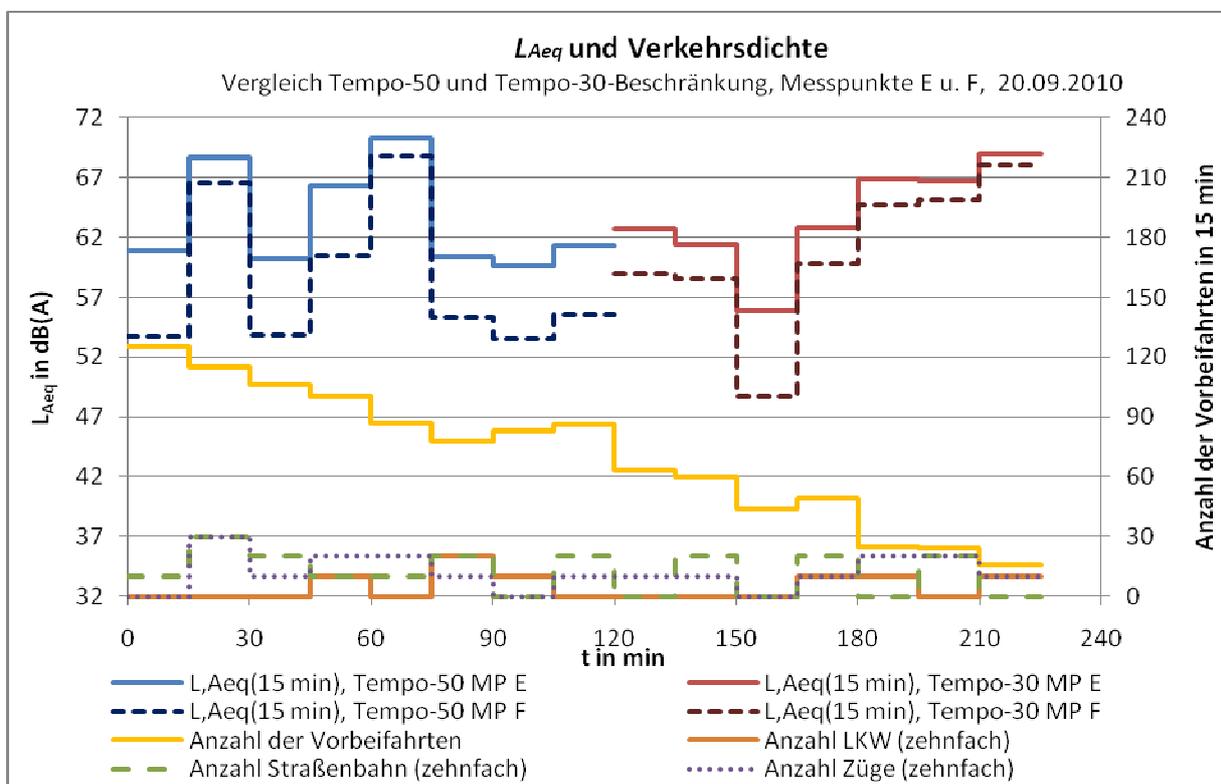


Abbildung 30:  $L_{Aeq}$  gemittelt über 15 Minuten und Verkehrsdichte, die Anzahl der Lkw, Bahnen und Züge ist zehnfach überhöht dargestellt, Messorte: E u. F; Datum: 20.09.2010, 20:00 bis 23:45 Uhr

Die Häufigkeitsverteilungen der Pegelklassen in Abbildungen 31 und 32 lassen bei sehr hohen Pegeln über 70 dB(A) und besonders über 80 dB(A) sogar einen Anstieg für die Zeit nach 22 Uhr erkennen. Verursacht wird dieser Anstieg natürlich nicht durch die Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h, sondern durch die erhöhte Anzahl von Güterzügen.

Im Pegelklassen-Bereich 50 bis 70 dB(A) sind dagegen durch die Begrenzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h ähnlich deutliche Verbesserungen zu erkennen wie an den anderen Messorten.

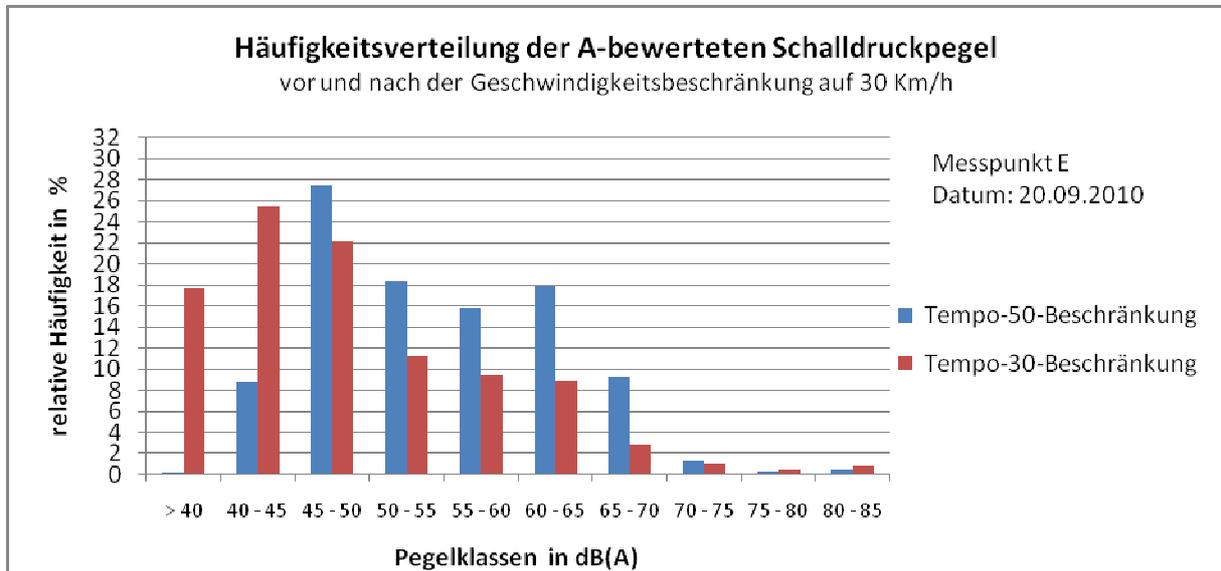


Abbildung 31: Häufigkeitsverteilung der Pegelklassen vor und nach 22 Uhr für Messpunkt E vom 20.09.2010

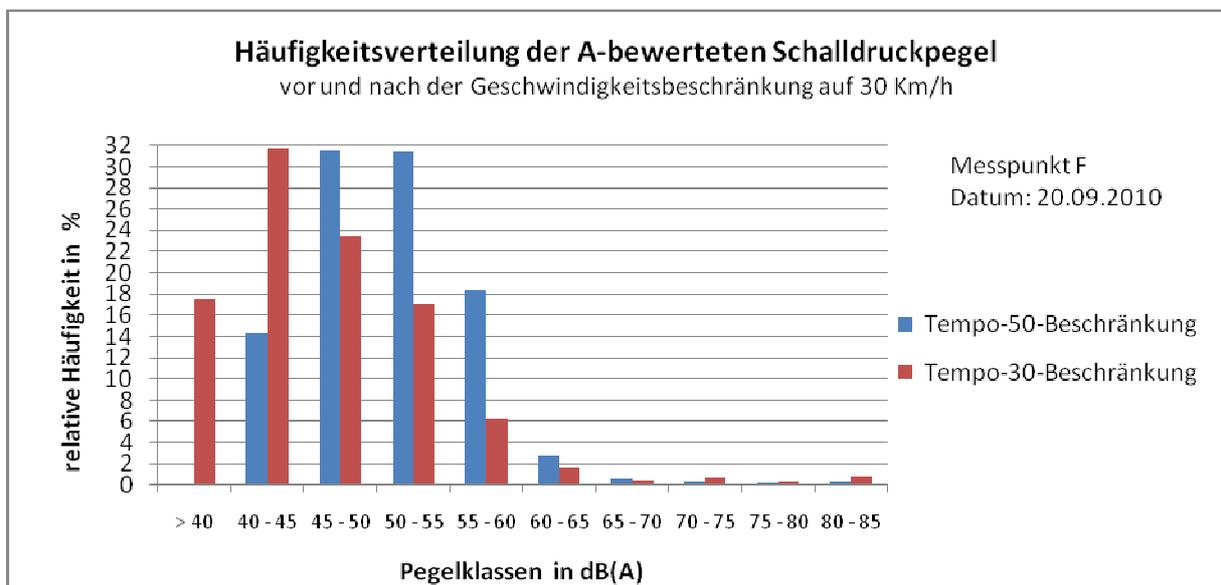


Abbildung 32: Häufigkeitsverteilung der Pegelklassen vor und nach 22 Uhr für Messpunkt F vom 20.09.2010

Wie bei den Vorbeifahrtmessungen ist auch hier für die Technik der Klasse 1 von einer Messunsicherheit < 0,7 dB auszugehen. Für die Messungen am realen Verkehr sind ebenfalls vor allem die Differenzen von Bedeutung. Die Auswirkung der geringen Messunsicherheit wird dadurch weiter verringert. Einen wesentlich größeren Einfluss haben einzelne zufällige Ereignisse mit extremer Pegelcharakteristik. Um den objektiven Charakter zu wahren, wurden die Pegel-Zeit-Verläufe nicht verändert.

#### 4.4 Geschwindigkeitsmessung

An drei Tagen fanden neben den Messungen zur Lärmimmission Geschwindigkeitsmessungen statt. Am 15.6.10 erfolgte diese mit dem Blitzgerät am Messpunkt B von 21 bis 23 Uhr. Der Blitz war nicht aktiv. Alle anderen Messungen wurden mit dem unscheinbaren Verkehrserfassungsgerät SR4 über mehrere Tage durchgeführt. Die Daten bzw. die Auswertungen wurden von der Stadt Jena zur Verfügung gestellt. Tabelle 18 zeigt die Ergebnisse für die bereits betrachteten Messzeiten.

**Tabelle 18: Ergebnisse der Messungen zur Verkehrsstatistik an drei Messtagen vor u. nach 22 Uhr**

		21 - 22 Uhr				22 - 23 Uhr			
		Fahrzeuge gesamt	Lkw	mittl. Geschw. in km/h	Über- tretungen	Fahrzeuge gesamt	Lkw	mittl. Geschw. in km/h	Über- tretungen
<b>Erfurter Str. 13</b>									
15.06.10	Di	297	20%	<b>47</b>	25%	310		<b>38</b>	88%
<b>Camburger Str. Ecke Leipziger Str.</b>									
15.09.10	Mi	342	15%	<b>46</b>	31%	195	20%	<b>38</b>	84%
<b>Kahlaische Str. 2</b>									
20.09.10	Mo	350	26%	<b>49</b>	42%	242	33%	<b>45</b>	97%

Alle untersuchten Zeiträume belegen, dass die Geschwindigkeitsbegrenzung nur von etwa 10% der Fahrzeuge eingehalten wird. Die mittlere Geschwindigkeit liegt in der betrachteten Stunde vor 22 Uhr knapp unter 50 km/h und in der Stunde nach 22 Uhr bei etwa 40 km/h. Die größte gemessene Geschwindigkeitsdifferenz trat mit 9 km/h am 15.6.10 auf. An den

ändern beiden Tagen lagen die mittleren Geschwindigkeiten sogar nur 8 bzw. 5 km/h auseinander.

Erweitert man den Zeitraum und schaut sich Geschwindigkeiten für die gesamte Nacht an, ist ein Geschwindigkeitsanstieg festzustellen. Die folgende Tabelle zeigt einen Auszug aus der Gesamtauswertung des Verkehrserfassungsgerätes SR4 über mehrere Tage. Am schnellsten wird danach nachts in der Kahlaischen Straße gefahren. Die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Tag und Nacht verringern sich deutlich auf 6 und 4 km/h. Wegen Rückstau im Berufsverkehr war in der Kahlaischen Straße die mittlere Geschwindigkeit am Tage sogar niedriger als in der Nacht.

**Tabelle 19: Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessung über mehrere Tage u. Nächte, Sept. 2010**

		06 - 22 Uhr				22 - 06 Uhr			
	Tage	Fahr- zeuge gesamt	Lkw	mittl. Geschw. in km/h	Über- tretungen	Fahr- zeuge gesamt	Lkw	mittl. Geschw. in km/h	Über- tretungen
<b>Erfurter Str. 13</b>									
<b>Sept. 10</b>	8 d			<b>48</b>				<b>44</b>	
<b>Camburger Str. Ecke Leipziger Str.</b>									
<b>Sept. 10</b>	6 d			<b>45</b>				<b>39</b>	
<b>Kahlaische Str. 2</b>									
<b>Sept. 10</b>	2 d			<b>38</b>				<b>46</b>	

Für weitere Untersuchungen wären Aussagen zur Genauigkeit des Verkehrserfassungsgerätes SR4 sinnvoll. Bei der Zählung und vor allem bei der Klassifizierung der Fahrzeugtypen traten teilweise große Abweichungen zu den eigenen Zählungen auf.

## 5 Zusammenfassung

### Geräuschemissionsmessungen einzelner Fahrzeuge auf einer „Teststrecke“

Es wurden Vorbeifahrtsmessungen mit vier Fahrzeugtypen durchgeführt. Beim Vergleich der Geräuschemission dieser Fahrzeuge bei Geschwindigkeiten von 50 km/h und 30 km/h ergeben sich durch die Geschwindigkeitsreduktion Differenzen im maximalen Vorbeifahrtspegel  $L_{Amax}$  von 7-8 dB.

Im Unterschied zum maximalen Vorbeifahrtspegel berücksichtigt der Einzelereignispegel  $L_{T0}$  die längere Einwirkzeit des Geräusches bei niedrigen Geschwindigkeiten. Daher fallen Pegeldifferenzen etwas geringer aus. Sie liegen für die genannten Geschwindigkeitsunterschiede bei 5-6 dB.

Im Gegensatz zur Geschwindigkeit spielt die Wahl der Getriebestufe offenbar kaum eine Rolle für die Geräuschemission. Das Geräusch von Straßenfahrzeugen wird auch bei noch relativ niedriger Geschwindigkeit weitgehend durch das Reifen-Fahrbahngeräusch bestimmt.

### Geräuschimmissionsmessungen im realen Verkehr

In der Erfurter und Camburger Straße wurden an fünf Tagen Schallpegel aufgezeichnet. Im Durchschnitt ergaben sich Differenzen im Mittelungspegel  $L_{Aeq}$  von etwa 3 dB für die Zeiten vor und nach 22 Uhr. Ein Teil der Geräuschminderung ist allerdings auf die unterschiedlichen Verkehrsdichten zurückzuführen.

Zusätzlich wurden die gemessenen Lärmpegel in Pegelklassen eingeteilt. Betrachtet wurde die relative Häufigkeit der Pegelklassen für die Zeiten vor und nach 22 Uhr. Bei allen Messungen wurde die relative Häufigkeit der besonders wichtigen Pegelklassen von 65-70 dB(A) und 70-75 dB(A) durch die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h deutlich reduziert, und zwar auch noch dann, wenn Zeitintervalle mit sehr ähnlicher Verkehrsdichte verglichen wurden! Dies zeigt, dass durch die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h eine deutliche Verminderung der Lärmimmission erreicht werden kann.

Parallel durchgeführte Geschwindigkeitsmessungen zeigten, dass nur etwa 10% der Fahrzeuge die Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h einhalten. Die mittlere Geschwindigkeit nach 22 Uhr betrug etwa 40 km/h. Bei konsequenter Durchsetzung der

Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h durch häufige Geschwindigkeitsüberwachung könnte die Lärmimmission noch deutlich weiter reduziert werden.

An einem Tag fanden Messungen in der Kahlaischen Straße statt. Wie erwartet werden die Mittelungspegel dort vom Schienenverkehr dominiert. Aber sogar an diesem stark vom Schienenverkehrslärm beeinflussten Messort sind akustisch positive Auswirkungen der Beschränkung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h nachweisbar, da auch hier wie an den anderen Messorten nach 22 Uhr Schalldruckpegel im Bereich der Pegelklassen von 60 bis 70 dB(A) deutlich seltener auftreten.

## 6 Quellen

- Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 45642: Messung von Verkehrsgeräuschen, Ausgabe 2004-06
- Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 45641: Mittellung von Schallpegeln, Ausgabe 1990-06
- Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN 61672-1: Schallpegelmesser: Teil 1: Anforderungen, 2003-10
- Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt: Neues EMPA-Modell für Strassenlärm, Dübendorf (CH), 1997
- Ortscheid, J. u. Wende, H.: Können Lärminderungsmaßnahmen mit geringer akustischer Wirkung wahrgenommen werden“ Umweltbundesamt, 2004
- Schick, Peter: Auswirkung von Verkehrsberuhigungsmaßnahmen auf die Lärmbelastung: 1998-02, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
- Schwarz, Henrik: Vergleich von Schall-Immissionsmessungen bei Straßenverkehrslärm mit standardisierten und binauralen Geräten, Veröffentlichung aus dem Institut für Straßen- und Verkehrswesen an der Universität Stuttgart, 2002